



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ
ΣΤΡΑΓΓΙΣΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΧΥΤΑ ΧΑΝΙΩΝ

Παπασταύρου Χρυστάλλα

Επιτροπή: Καθηγητής Ευάγγελος Διαμαντόπουλος (επιβλέπων)
Καθηγητής Αλέξανδρος Οικονομόπουλος
Αν. Καθηγητής Γιδαράκος Ευάγγελος

ΧΑΝΙΑ 2007

Ευχαριστίες

Φτάνοντας στο τέλος της διπλωματικής μου εργασίας θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή μου κ. Ευάγγελό Διαμαντόπουλο, για την εμπιστοσύνη που μου επέδειξε στην ανάθεση του θέματος, για την ευκαιρία που μου έδωσε να συνεργαστώ μαζί του αποκομίζοντας σωρεία εμπειριών, καθώς και για την καθοδήγηση, τις συμβουλές και την άψογη συνεργασία μας καθ' όλη την διάρκεια της εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω θερμά την υπεύθυνη του εργαστηρίου «Τεχνολογίας Και Διαχείρισης Περιβάλλοντος» κ. Βέτα Κουκουράκη για την πολύτιμη βοήθεια, καθοδήγηση, τις συμβουλές, την υποστήριξη, την υπομονή της κατά την διάρκεια των πειραματικών μετρήσεων και στην συντέλεση της ποιοτικής αναβάθμισης της εργασίας μου.

Τον υπεύθυνο εργαστηρίου της ΔΕΔΙΣΑ Χανίων, Χημικό κ. Κωνσταντίνο Αντωνογεώργιο για την προθυμία, την βοήθεια του κατά την συλλογή των δειγμάτων και για τις πολύτιμες πληροφορίες που μου προσκόμισε.

Τα αξιότιμα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, καθηγητές κ. Αλέξανδρο Οικονομόπουλο και κ. Ευάγγελο Γιδάρακο, για την συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους μεταπτυχιακούς και διδακτορικούς του εργαστηρίου για τη άψογη συνεργασία και συνήπαρξη μας στο χώρο του εργαστηρίου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	9
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
2.1.1 Διαλυμένη οργανική ύλη	10
2.1.2 Ανόργανα συστατικά	13
2.1.3 Βαρέα μέταλλα	16
2.1.4 Ξενοβιοτικές οργανικές ενώσεις (XOCs)	20
2.2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΤΡΑΓΓΙΣΜΑΤΩΝ	22
2.3 ΣΥΝΘΕΣΗ ΣΤΡΑΓΓΙΣΜΑΤΩΝ	23
2.4 ΥΔΑΤΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ	25
2.5 ΚΙΝΗΣΗ ΣΤΡΑΓΓΙΣΜΑΤΩΝ	26
2.5.1 Νόμος Darcy	27
2.5.2 Κίνηση συστατικών στραγγισμάτων	27
2.5.2.1 Συμμεταφορά	28
2.5.2.2 Διάχυση	28
2.5.2.3 Μηχανική Διασπορά	29
2.5.2.4 Ρόφηση	29
2.5.2.5 Χημικές / Βιολογικές αντιδράσεις	30
2.6 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΤΡΑΓΓΙΣΜΑΤΩΝ	30
2.6.1 Αφαίρεση από τον ΧΥΤΑ των ανεπεξέργαστων στραγγισμάτων 31	
2.6.2 Φυσικοχημική επεξεργασία	33
2.6.2.1 Κροκίδωση/ Συσσωμάτωση/ Καθίζηση	33
2.6.2.2 Έλεγχος pH	37
2.6.2.3 Εκφύσηση αμμωνίας	38
2.6.2.4 Αντίστροφη όσμωση	39
2.6.2.5 Ακτινοβολία γ	42
2.6.2.6 Προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα	43
2.6.2.7 Χημική Οξειδωση-Οξελιδωση με υποχλωριώδες άλας	50
2.6.3 Βιολογική επεξεργασία	51
2.6.3.1 Αερόβιες διαδικασίες	52
2.6.3.2 Σταλακτικό φίλτρο	53
2.6.3.3 Ενεργός ιλύς	53
2.6.3.4 Αεριζόμενες λίμνες	56
2.6.3.5 Περιστρεφόμενοι βιολογικοί δίσκοι (RBC)	58
2.6.3.6 Συστήματα δεξαμενών εναλλασσόμενων φάσεων (SBR)	60
2.6.4 Αναερόβια επεξεργασία	62
2.6.5 Εδαφική επεξεργασία	63
2.7 ΗΛΕΚΤΡΟΧΗΜΙΚΗ ΟΞΕΙΔΩΣΗ	65
2.8 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΤΑΦΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΧΑΝΙΩΝ	69
2.8.1 Εισαγωγή	69
2.8.2 ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΧΥΤΑ	71
2.8.2.1 Μορφολογία θέσης του έργου	71

2.8.2.2	Έκταση του έργου	72
2.8.2.3	Λεκάνη απόθεσης	72
2.8.2.4	Συλλογή στραγγισμάτων	73
2.8.2.5	Μονάδα επεξεργασίας στραγγισμάτων	74
2.8.2.6	Διάγραμμα ροής της επεξεργασίας στραγγισμάτων	76
2.8.2.7	Συλλογή βιοαερίου	76
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	77
3.1	ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ	77
3.1.1	Δείγματα	77
3.1.2	Υλικά	78
3.2	ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ	79
3.2.1	COD	79
3.2.2	BOD ₅	80
3.2.3	Αιωρούμενα Στερεά	82
3.2.4	Ολικός Φωσφόρος (TP)	82
3.2.5	Ολικό Άζωτο (TN)	84
3.2.6	pH	84
3.2.7	Χρώμα	85
3.2.8	Τοξικότητα	85
3.2.9	Αγωγιμότητα	87
3.2.10	Βαρέα Μέταλλα	88
3.3	ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ	90
3.3.1	Κροκίδωση	90
3.3.2	Προσρόφηση	91
3.3.3	Ηλεκτροχημική οξείδωση	92
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	93
4.1	ΑΡΧΙΚΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΣΤΡΑΓΓΙΣΜΑΤΩΝ	93
4.2	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΡΟΚΙΔΩΣΗΣ	95
4.3	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΔΙΑΥΓΑΣΜΕΝΟΥ-ΥΠΕΡΚΕΙΜΕΝΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΣΤΗ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΔΟΣΗ ΚΡΟΚΙΔΩΤΙΚΟΥ	97
4.4	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ	98
4.4.1	Διάγραμμα συγκέντρωσης του COD συναρτήσει της συγκέντρωσης του ενεργού άνθρακα	98
4.4.2	Ισόθερμη προσρόφησης	100
4.4.3	Ισόθερμη Freundlich	101
4.4.4	Ισόθερμη Langmuir	103
4.5	ΚΙΝΗΤΙΚΑ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ	104
4.5.1	Κινητική προσρόφησης 3 ωρών με κονιοποιημένο ενεργό άνθρακα (PAC ⁰)	104
4.5.2	Κινητική προσρόφησης 12 ωρών με κοκκώδη ενεργό άνθρακα (GAC ⁰)	106
4.6	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΧΗΜΙΚΗΣ ΟΞΕΙΔΩΣΗΣ	108
4.6.1	Αποτελέσματα 1 ^{ης} Ηλεκτροχημικής Οξείδωσης	108
4.6.2	Αποτελέσματα 2 ^{ης} Ηλεκτροχημικής Οξείδωσης	109
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	112
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		113
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι		115

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II.....	124
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ III.....	126

Περίληψη

Διανύοντας τον 21^ο αιώνα, τα στερεά απόβλητα καταλήγουν σε ΧΥΤΑ ο οποίος είναι ένας συνδυασμός ενός χώρου ειδικά επιλεγμένου, διαμορφωμένου, εξοπλισμένου και ενός τρόπου λειτουργίας, διαχείρισης και παρακολούθησης που ικανοποιεί ορισμένες προδιαγραφές. Ποσότητες νερού που διηθούνται από βροχοπτώσεις αναμιγνύονται με αποστραγγίζουσες ποσότητες υγρών του ΧΥΤΑ με αποτέλεσμα τη δημιουργία ποσότητας υγρής φάσης, γνωστό ως στραγγίσμα.

Τα στραγγίσματα που παράγονται από τους ΧΥΤΑ μεταναστεύουν και αποτελούν μεγάλη απειλή για τη ρύπανση του υδροφόρου ορίζοντα, τα οικοσυστήματα και την ανθρώπινη υγεία. Γι' αυτό και επιβάλλεται ο έλεγχος και η σωστή επεξεργασία των στραγγισμάτων.

Στην παρούσα εργασία στόχος είναι ο χαρακτηρισμός των στραγγισμάτων του ΧΥΤΑ Χανίων και με φυσικοχημικές μεθόδους επεξεργασίας (κροκίδωση και προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα) να προσδιοριστεί η βέλτιστη δόση κροκιδωτικού στην οποία επιτυγχάνεται μέγιστη απομάκρυνση του COD και BOD₅. Όπως επίσης και ο προσδιορισμός της ποσότητας ενεργού άνθρακα κατά τη διεργασία της προσρόφησης σε κροκιδωμένο δείγμα στη βέλτιστη δόση κροκιδωτικού για περαιτέρω μείωση του COD.

Το 1^ο κεφάλαιο αναφέρεται σε μια εισαγωγή που αφορά στραγγίσματα από ΧΥΤΑ. Στο 2^ο κεφάλαιο γίνεται μια περιγραφή στο τρόπο παραγωγής, σύνθεσης, κίνησης και περιγραφής του υδατικού ισοζυγίου των στραγγισμάτων. Περιγράφονται αναλυτικά οι φυσικοχημικές και βιολογικές μέθοδοι επεξεργασίας των στραγγισμάτων. Επίσης ακολουθεί μια γενική περιγραφή του ΧΥΤΑ Χανίων και τεχνική περιγραφή του όσο αφορά τον τρόπο συλλογής και επεξεργασίας των στραγγισμάτων. Στο 3^ο κεφάλαιο περιγράφονται οι πειραματικές διαδικασίες που ακολουθήθηκαν και οι αναλυτικές μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν. Στο 4^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα πειραματικά αποτελέσματα και στο 5^ο κεφάλαιο τα συμπεράσματα που εξάγονται από την πειραματική εκτέλεση και τα αποτελέσματα.

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, το υψηλό ποσοστό αύξησης του πληθυσμού, η εκβιομηχάνιση και η αστικοποίηση, είναι οι αιτίες για διάφορα περιβαλλοντικά προβλήματα σε όλο τον κόσμο. Σήμερα, η διαχείριση των στερεών αποβλήτων και η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων είναι τα σημαντικότερα προβλήματα που αντιμετωπίζει η σημερινή κοινωνία.

Ένας από τους παράγοντες, που αποτελούν σημαντική επιβάρυνση για το περιβάλλον είναι τα αστικά απορρίμματα. Ο όγκος των απορριμμάτων που παράγονται συνεχώς αυξάνει λόγω της αύξησης του ρυθμού ανάπτυξης αλλά και της αλλαγής στα καταναλωτικά πρότυπα. Ταυτόχρονα, όμως, αυξάνεται και η ευαισθητοποίηση της κοινής γνώμης και γίνεται ολοένα και πιο έντονη η απαίτηση των πολιτών, για την ορθή διαχείρισή τους.

Η ποσότητα των στερεών αποβλήτων που παράγονται σε όλο τον κόσμο αυξάνεται σε υψηλά ποσοστά: το 1970 η κατά κεφαλήν παραγωγή ήταν μεταξύ 200 έως 500 g.d⁻¹, το 2000 η κατά κεφαλήν παραγωγή έχει φθάσει σε τιμές μεταξύ 1000 και 2000 g.d⁻¹. Αν και υπάρχουν διάφορες εναλλακτικές λύσεις για τη μείωση ή την επεξεργασία και τη διάθεσή των αστικών αποβλήτων, ο ΧΥΤΑ είναι η πιο κοινή αναπτυγμένη πρακτική και στις αναπτυσσόμενες χώρες. Ο όρος «υγειονομική ταφή» χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στη δεκαετία του 1930, στη Καλιφόρνια, για να περιγράψει μια απλή δραστηριότητα διάστρωσης, συμπίεσης και κάλυψης ΑΣΑ με εδαφικό υλικό σε ημερήσια βάση. Επικρατεί γενικώς μια άποψη των πολλών ότι είναι η μόνη μέθοδος επεξεργασίας που προσφέρει πλήρη επίλυση του προβλήματος χωρίς να δημιουργεί δευτερεύουσες αρνητικές επιπτώσεις. Η άποψη αυτή όμως δεν στέκει, αφού η ταφή των ΑΣΑ «παράγει» διασταλάγματα (στραγγίσματα), βιοαέριο και άλλες ανεπιθύμητες εκροές που πρέπει να τύχουν ειδικής διαχείρισης. Η δημιουργία των στραγγιδίων αποτελεί μία φυσική διεργασία, η οποία εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες, καθώς και από την θέση και τον τρόπο λειτουργίας του ΧΥΤΑ. Είναι το αποτέλεσμα του ξεπλύματος των διαφόρων οργανικών ενώσεων που δημιουργούνται κατά τις αερόβιες και αναερόβιες διεργασίες διάσπασης των απορριμμάτων στον ΧΥΤΑ. Η επεξεργασία και αδρανοποίηση των

στραγγιδίων, τα οποία αποτελούν ένα ιδιαίτερα σοβαρό περιβαλλοντικό πρόβλημα, αποτελεί επιτακτική ανάγκη, λόγω της σωρείας των προβλημάτων που μπορεί να δημιουργήσουν τα ανεπεξέργαστα στραγγίσματα. Εάν δεν εξετάζονται κατάλληλα μπορούν να προκαλέσουν ρύπανση στην ποιότητα των υπογείων και επιφανειακών νερών, προβλήματα υγείας και να επηρεάσουν το περιβάλλον. Είναι σημαντικό ότι τα στραγγίσματα αντιμετωπίζονται και περιλαμβάνονται για να αποτρέψουν αυτά τα περιστατικά.

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι ο χαρακτηρισμός των στραγγισμάτων του ΧΥΤΑ Χανίων και η επεξεργασία τους με φυσικοχημικές μεθόδους, όπως κροκίδωση και προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα, για την εύρεση της βέλτιστης δόσης κροκιδωτικού στην οποία επιτυγχάνεται μέγιστη απομάκρυνση του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD) και του βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου (BOD₅). Όπως επίσης και ο προσδιορισμός της ποσότητας ενεργού άνθρακα που προστίθεται στο διαυγασμένο-υπερκείμενο υγρό μετά το τέλος της διεργασίας της κροκίδωσης, για περαιτέρω μείωση του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου(COD).

Κεφάλαιο 2 Θεωρητικό Μέρος

2.1 Εισαγωγή

Τα στραγγίσματα είναι υγρά που δημιουργούνται στον ΧΥΤΑ από την αποσύνθεση του οργανικού μέρους των απορριμμάτων, την επιφανειακή απορροή, το υπόγειο νερό και από τη διείσδυση των νερών της βροχής στη μάζα τους. Κατά την πορεία των υγρών μέσα από τη μάζα των απορριμμάτων διαλύονται και παρασύρονται διάφορες ουσίες και έτσι μπορούν να μολύνουν τα επιφανειακά και υπόγεια νερά. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται για πολλά χρόνια μετά το κλείσιμο του ΧΥΤΑ. Κατά την κατασκευή ενός νέου ΧΥΤΑ πρέπει να εγκατασταθούν συστήματα συλλογής και επεξεργασίας των στραγγισμάτων, ώστε να προστατευτούν τα επιφανειακά και υπόγεια νερά. Η σύνθεση, ο σχηματισμός, η μετακίνηση, και ο έλεγχος των στραγγισμάτων εξετάζονται σε αυτό το τμήμα.

Τα στραγγίσματα μπορούν να χαρακτηριστούν σαν ένα υδατικό διάλυμα που αποτελείται από τέσσερις ομάδες ρύπων:

- Διαλυμένη οργανική ουσία, που εκφράζεται ως το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD) ή το συνολικό οργανικό άνθρακα (TOC), συμπεριλαμβανομένου του CH_4 , τα πτητικά λιπαρά οξέα (ειδικότερα στην όξινη φάση της σταθεροποίησης αποβλήτων).
- Ανόργανα συστατικά: Ca , Mg , Na , K , NH_4^+ , Fe , Mn , Cl , SO_4^{2-} και HCO_3^- .
- Βαρέα μέταλλα: Cd , Cr , Cu , Pb , Ni και Zn .
- Ξενοβιοτικές οργανικές ενώσεις (XOCs) που προέρχονται από οικιακά ή βιομηχανικά χρησιμοποιούμενες χημικές ουσίες, εμφανίζονται σε χαμηλές συγκεντρώσεις στα στραγγίσματα. Επίσης περιέχονται μεταξύ των άλλων συστατικών μια μίξη αρωματικών υδρογονανθράκων, φαινολών και χλωριωμένων αλιφατικών. [2]

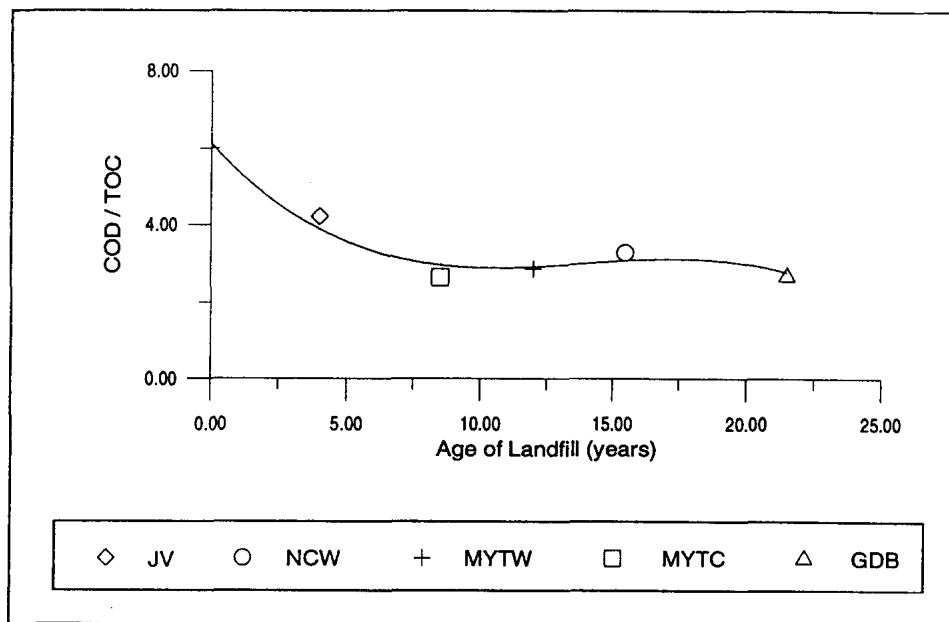
Άλλα συστατικά δευτερεύουσας σημασίας που εμφανίζονται στα στραγγίσματα είναι το B , As , Se , Ba , Li , Hg και Co . Γενικά τα συστατικά αυτά βρίσκονται σε χαμηλές συγκεντρώσεις και είναι δευτερεύουσας σημασίας [2].

Τα χαρακτηριστικά και η ροή των στραγγισμάτων διαφέρουν σε κάθε ΧΥΤΑ και εξαρτώνται από την σύνθεση των στερεών αποβλήτων, την ηλικία του ΧΥΤΑ και τη διαπερατότητα του τύπου κάλυψης. Η σύνθεση στερεών αποβλήτων ποικίλλει ουσιαστικά με τη θέση, την εποχή, τις μεθόδους διαχείρισης των αποβλήτων και της διάθεσης τους, τις διαδικασίες δειγματοληψίας και ταξινόμησης [3].

2.1.1 Διαλυμένη οργανική ύλη

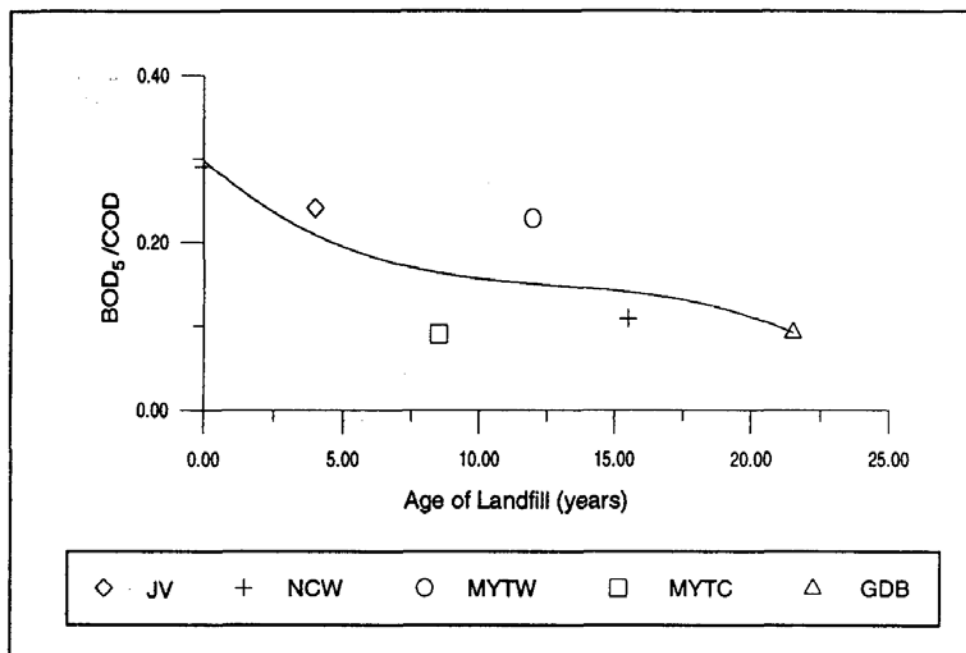
Η ισχύς του στραγγίσματος που παράγεται σε ένα ΧΥΤΑ μπορεί να αξιολογηθεί σύμφωνα με τις παραμέτρους όπως είναι το COD, BOD₅, και ο οργανικός άνθρακας (TOC). Η αναλογία του COD/TOC εκφράζει τα χαρακτηριστικά του οργανικού μέρους στο στράγγισμα, και χρησιμοποιείται για να καθορίσει οποιαδήποτε σχέση με την ηλικία του ΧΥΤΑ. Η αλλαγή στην αναλογία COD/TOC με την ηλικία των διαφορετικών ΧΥΤΑ παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 2-1.

Με την αύξηση της ηλικίας του ΧΥΤΑ, η αναλογία COD/TOC έτεινε να μειωθεί. Για νέο ΧΥΤΑ κυμαίνεται από 4,1 και για ώριμο ΧΥΤΑ 2,7. Όπως αναφέρεται από τον Cameron και McDonald (1982), η μέγιστη πιθανή αναλογία COD/TOC είναι περίπου 4,0 για νέο ΧΥΤΑ και για ώριμο 1,16. Η μείωση αυτή της αναλογίας στα στραγγίσματα μπορεί να εξηγηθεί από την παρουσία μιας οξειδωμένης κατάστασης του οργανικού άνθρακα, ο οποίος λειτουργεί λιγότερο διαθέσιμος σαν πηγή ενέργειας για τη μικροβιακή ανάπτυξη. Η αύξηση των οξειδωμένων συστατικών τα οποία είναι προϊόντα αποικοδόμησης της μικροβιακής δραστηριότητας αυξάνονται με την αύξηση της ηλικίας του ΧΥΤΑ. [1]



Διάγραμμα 2-1

Μεταβολές στο λόγο COD/TOC σε σχέση με την ηλικία του ΧΥΤΑ [1]



Διάγραμμα 2-2

Μεταβολές στο λόγο BOD₅/COD σε σχέση με την ηλικία του ΧΥΤΑ[1]

Οι μεταβολές στη βιοαποικοδομησιμότητα των στραγγισμάτων εκφράζονται με το λόγο του BOD₅/COD. Το BOD₅ λειτουργεί σαν δείκτης

επισήμανσης πιθανής επεξεργασίας με βιολογικές διεργασίες. Η αναλογία BOD_5/COD παρουσιάζει μια μείωση όσο αυξάνεται η ηλικία των ΧΥΤΑ όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 2-2. Η τάση είναι παρόμοια με αυτήν για την αναλογία COD/TOC . Παρατηρείται ότι ένα μεγάλο μέρος του οργανικού υλικού είναι βιοαποικοδομήσιμο και η απομάκρυνση του από τους ΧΥΤΑ είναι δυνατή με βιολογικές διεργασίες. Ένα ποσό βιολογικά αδρανούς υλικού σε ώριμους ΧΥΤΑ είναι εμφανές από την αναλογία BOD_5/COD [1].

Αρχικά η τιμή του λόγου αυτού είναι μεγαλύτερη ή ίση από 0,5 ενώ η διακύμανση στην περιοχή 0,4-0,6 εκλαμβάνεται ως ένδειξη ότι το οργανικό υλικό που περιέχεται στο στράγγισμα είναι εύκολα βιοαποδομήσιμο. Σε παλαιούς ΧΥΤΑ, η τιμή του λόγου BOD_5 / COD βρίσκεται στην περιοχή 0,05-0,2 που αποτελεί ένδειξη χαμηλής βιοαποδομησιμότητας, λόγω μετατροπής της οργανικής ύλης σε φουλβικά και χουμικά οξέα [4].

Η διαλυμένη οργανική ύλη στο στράγγισμα αποτελεί μια από τις κυριότερες παραμέτρους και καλύπτει μια ποικιλία οργανικών προϊόντων διάσπασης που κυμαίνονται από μικρά πτητικά οξέα ως δύσκολα βιοδιασπάσιμα οργανικά συστατικά. Η εύρεση μεθόδων απομάκρυνσης είναι δύσκολη χωρίς διευκρίνιση του οργανικού συστατικού. Δυστυχώς, υπάρχουν γενικά πολύ λίγες πληροφορίες για τη σύνθεση της διαλυμένης οργανικής ύλης στα στραγγίσματα των ΧΥΤΑ. Παρόλα αυτά, μερικές έρευνες σχετικά με τα DOC των ΧΥΤΑ είναι διαθέσιμες [2]. Σε μια μελέτη που πραγματοποιήθηκε από τον Harmsen (1983), έγινε ανάλυση ενός στραγγίσματος στην όξινη φάση και ένα άλλο στράγγισμα στη φάση μεθανογένεσης. Το στράγγισμα στην όξινη φάση, περισσότερο από 95% του DOC (περιεκτικότητα 20.000 mg/L) αποτελείτο από πτητικά λιπαρά οξέα και μόνο 1,3% του DOC αποτελείται από μεγάλου μοριακού βάρους συστατικά ($MB>1000$). Κατά τη φάση της μεθανογένεσης στο στράγγισμα, δεν ανιχνεύθηκαν πτητικά οξέα, αμίνες ή αλκοόλες, και το 32% του DOC (2100 mg/L) περιείχε ενώσεις μεγάλου μοριακού βάρους ($MB>1000$). Σε ένα στράγγισμα στη φάση της μεθανογένεσης περιγράφηκε περισσότερο από 60% του DOC σαν υλικά αποσύνθεσης. Σε έρευνες που πραγματοποιήθηκαν σε αναερόβιες και αερόβιες συνθήκες για στραγγίσματα που έχουν περάσει ένα πρότυπο υδροφόρο στρώμα, διαπιστώθηκε ότι μόνο το 6-30% του DOC θα μπορούσε να περιγραφεί ως φουλβικά οξέα [2].

Για πιο λεπτομερή χαρακτηρισμό του DOC στο στράγγισμα και της ρύπανσης που προκαλεί στα υπόγεια νερά, απαιτείται η απομόνωση και ο καθαρισμός του DOC. Αυτές οι διαδικασίες μπορούν ενδεχομένως να αλλάξουν τις ιδιότητες της οργανικής ύλης αλλά είναι απαραίτητο να καθαριστεί το υλικό προκειμένου να επιτευχθούν τα αποτελέσματα. Ο Weis και άλλοι (1989) σύγκριναν τα φουλβικά οξέα από τα στραγγίσματα των ΧΥΤΑ με τα νερά ενός βάλτου. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι τα φουλβικά οξέα που απομονώθηκαν από το στράγγισμα είχαν υψηλότερη περιεκτικότητα C, H, και S, και μικρότερες ποσότητες φαινολικών ομάδων, χαμηλότερη χωρητικότητα συμπλόκων σε Cu και χαμηλότερο μοριακό βάρος. Σύμφωνα με έρευνα του Christensen και άλλους ερευνητές (1998), υπολογίστηκε 82% του DOC δείγματος υπόγειου νερού, μολυσμένο από στραγγίσματα το οποίο είχε συλλεχθεί σε λιγότερο από 10m κάτω από το ΧΥΤΑ Vejle (DK), ότι περιείχε 49% φουλβικά οξέα, 8% χουμικά οξέα και 25% υδρόφιλο κλάσμα. Με βάση το μοριακό βάρος (περίπου 2000 MB), η στοιχειώδη σύνθεση και η οξύτητα, το φουλβικό όξινο κλάσμα και το κλάσμα των υδροφιλικών έμοιαζε με φουλβικά οξέα από άλλη προέλευση, όπου δεδομένου ότι το χουμικό οξύ είχε μάλλον χαμηλό μοριακό βάρος [2].

2.1.2 Ανόργανα συστατικά

Τα στραγγίσματα από ΧΥΤΑ περιέχουν ανόργανα συστατικά όπως Ca, Mg, Na, K, NH_4^+ , Fe, Mn, Cl, SO_4^{2-} και HCO_3^- . Η συγκέντρωση των ανόργανων συστατικών μειώνεται με την αύξηση της ηλικίας του ΧΥΤΑ. Οι παράμετροι, όπως το pH και η αναλογία θειικών προς χλωριούχων ($\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}$), δείχνουν το βαθμό σταθεροποίησης του ΧΥΤΑ. Οι συγκεντρώσεις μερικών από τα ανόργανα μακροσυστατικά στα στραγγίσματα εξαρτώνται, όπως και στην περίπτωση της διαλυμένης οργανικής ουσίας, από τις διαδικασίες σταθεροποίησης του ΧΥΤΑ. Δεδομένου ότι το pH που ανέχονται τα μεθανογενή βακτηρίδια είναι συνήθως 6-8, το στράγγισμα χαρακτηρίζεται από ουδέτερες τιμές pH στη φάση της μεθανογένεσης. Ο Πίνακας 2-1 δείχνει ότι τα κατιόντα Ca, Mg, Fe, Mn, είναι ελάχιστα στη φάση της μεθανογένεσης, λόγω του υψηλού pH (αυξάνοντας την προσρόφηση και την καθίζηση) και της

χαμηλής περιεκτικότητας της διαλυμένης οργανικής ύλης, τα οποία μπορούν να γίνουν σύμπλοκα με τα κατιόντα. Οι συγκεντρώσεις θειικών είναι επίσης χαμηλές στη φάση της μεθανογένεσης λόγω της μικροβιακής αναγωγής του SO_4^{2-} σε S^{2-} .

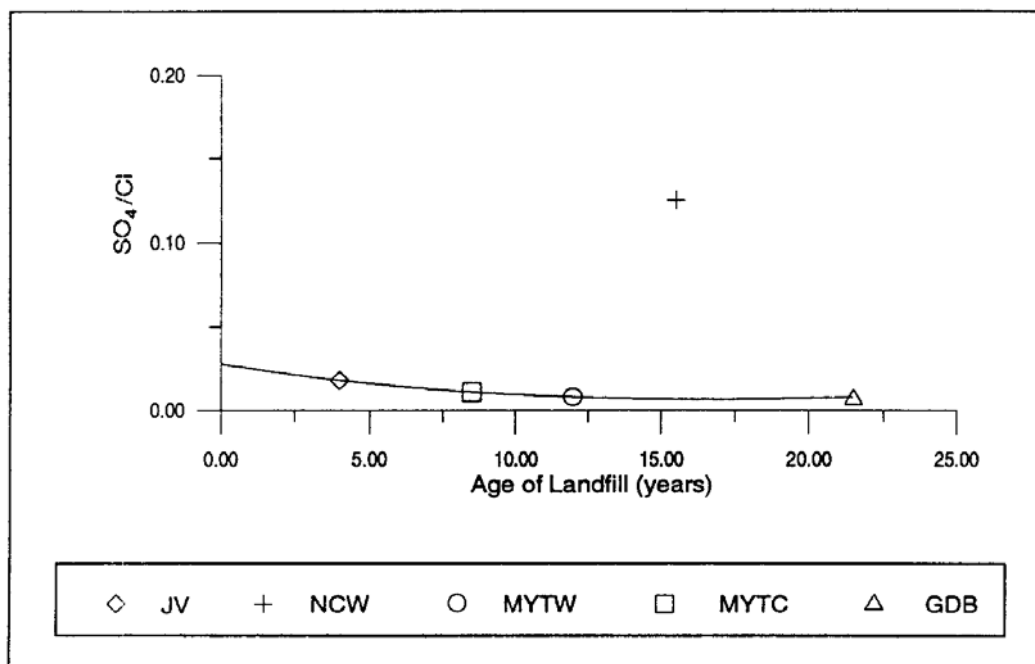
Ο Πίνακας 2-1 παρουσιάζει επίσης τις μέσες τιμές για τις παραμέτρους (Na, K, και Cl^-) στις οποίες δεν παρατηρείται διαφορά μεταξύ της όξινης και μεθανογενής φάσης. Τα συστατικά αυτά επηρεάζονται σε μικρό βαθμό από την προσρόφηση, συμπλοκοποίηση και την καθίζηση. Ο πίνακας αυτός είναι βασισμένος σε λεπτομερείς μελέτες που διεξάγονταν από Ehrig και Ehrig σε έναν μεγάλο αριθμό ΧΥΤΑ στη Γερμανία. Παρόμοια συμπεράσματα παρουσιάζονται σε μια μελέτη 13 υγειονομικών ΧΥΤΑ στο Wisconsin στις ΗΠΑ, όπου βρέθηκαν ισοδύναμα διαστήματα συγκέντρωσης και χρονικής εξάρτησης των επιλεγμένων παραμέτρων [1].

Στο Διάγραμμα 2-3 παρουσιάζεται γραφικά η μείωση της αναλογίας $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ για στραγγίσματα σε σχέση με την ηλικία διαφόρων ΧΥΤΑ. Δεδομένου ότι τα χλωριούχα αντιπροσωπεύουν αδρανή, μη βιοαποικοδομήσιμα συστατικά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση του βαθμού ρύπανσης του στραγγίσματος. Η γρήγορη μείωση του λόγου $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ μπορεί να αποδοθεί στη μείωση της συγκέντρωσης των θειικών ως αποτέλεσμα των αναερόβιων συνθηκών που επικρατούν στο ΧΥΤΑ, κάτω από τα οποία τα θειικά μειώνονται τα σουλφίδια. Μια παρόμοια μείωση σε αυτήν την αναλογία βρέθηκε από τον Pohland (1972), σε στραγγίσματα που παράγονταν σε ελεγχόμενο ΧΥΤΑ με επανακυκλοφορία [1].

Παράμετροι	Φάση οξέων		Φάση μεθανογένεσης		Μέσος όρος
	Μέσος όρος	Διακύμανση	Μέσος όρος	Διακύμανση	
pH	6,1	4,5-7,5	8	7,5-9	
BOD ₅	1300	4000-40000	180	20-550	
COD	22000	6000-60000	3000	500-4500	
BOD ₅ / COD	0,58		0,06		
Θειικά (SO ₄)	500	70-1750	80	10-420	
Ca	1200	10-2500	60	20-600	
Mg	470	50-1150	180	40-350	
Fe	780	20-2100	15	3-280	
Mn	25	0,3-65	0,7	0,03-45	
Αμμώνιο-N (NH ₄)					741
Cl					2120
K					1085
Na					1340
Ολικός φώσφορος (TP)					6
Cd					0,005
Cr					0,28
Co					0,05
Cu					0,065
Pb					0,09
Ni					017
Zn	5	0,1-120	0,6	0,03-4	

Πίνακας 2-1

Η σύνθεση του στραγγίσματος με μέσες τιμές και διακυμάνσεις στις παραμέτρους με διαφορές μεταξύ της φάσης οξέων και μεθανογένεσης και μέσες τιμές για τις παραμέτρους που δεν έχουν παρατηρημένες διαφορές μεταξύ των δυο φάσεων, όλες οι τιμές είναι σε mg/L εκτός από το pH και το λόγο BOD₅/COD [1].



Διάγραμμα 2-3

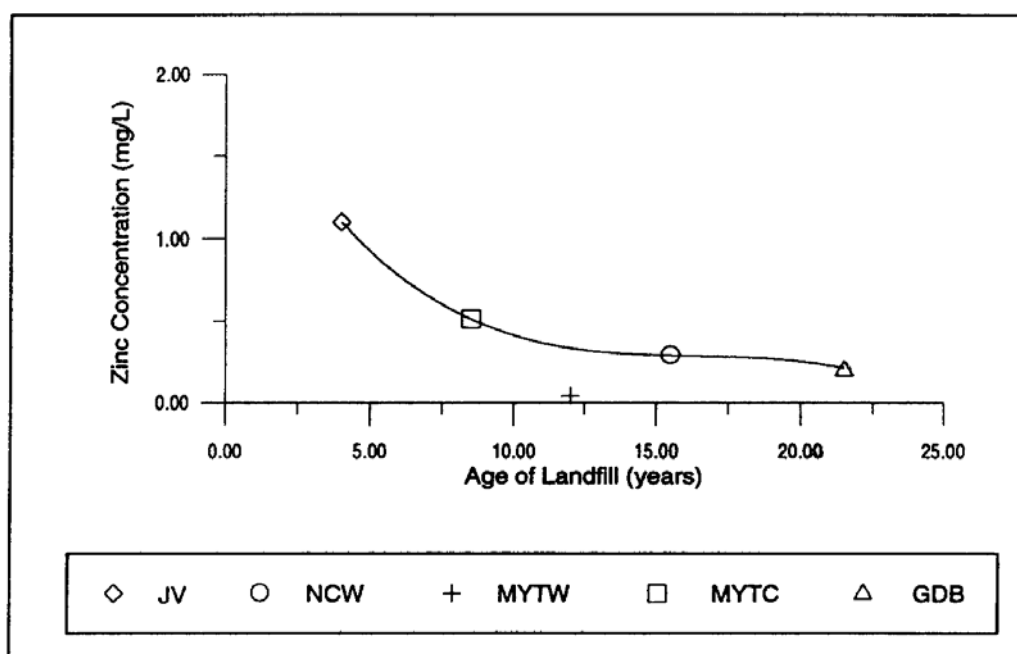
Μεταβολές στο λόγο SO_4/Cl σε σχέση με την ηλικία του ΧΥΤΑ [1].

Η τάση μείωσης του $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ συσχετίζεται αντιστρόφως με τις πιθανές τιμές οξειδοαναγωγής (ORP) και έτσι επιβεβαιώνει το υψηλό βαθμό αναερόβιωσης στο ΧΥΤΑ. Η σημαντικότερη επίδραση της αλλαγής του λόγου $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ ή του ORP είναι στη διαλυτότητα των μεταλλικών ιόντων. Τα θειικά ιόντα που παράγονται ως αποτέλεσμα της βιολογικής δράσης σε αναερόβιο περιβάλλον αντιδρούν με τα μεταλλικά ιόντα και σχηματίζουν αδιάλυτα μεταλλικά θειικά ιζήματα [1].

2.1.3 Βαρέα μέταλλα

Πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις περιεκτικότητας σε βαρέα μέταλλα, σε 10 δείγματα στραγγίσματος που συλλέχθηκαν από ΧΥΤΑ με διαφορετική ηλικία στο Χογκ Κογκ. Κατόπιν αναλύσεων έδειξαν ότι μερικά βαρέα μέταλλα, όπως το χρώμιο, ο χαλκός, ο σίδηρος, και ο ψευδάργυρος, ήταν σε υψηλές συγκεντρώσεις στο αρχικό στάδιο. Εντούτοις, οι συγκεντρώσεις αυτών των βαρέων μετάλλων μειώνονται γρηγορότερα με την ηλικία των ΧΥΤΑ σε σχέση

με άλλα ανόργανα συστατικά. Τα χαρακτηριστικά αποτελέσματα για τον ψευδάργυρο παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 2-4. Για νέους ΧΥΤΑ, υπήρχε αύξηση διαλυτότητας των μετάλλων λόγω των χαμηλών τιμών pH που προκλήθηκαν από την μεγάλη παραγωγή των οργανικών οξέων. Δεδομένου ότι η ηλικία του ΧΥΤΑ αυξήθηκε, η επακόλουθη αύξηση στο pH προκάλεσε μια μικρή σταθεροποίηση. Επίσης, η χαμηλή συγκέντρωση του ψευδάργυρου στα επόμενα στάδια μπορεί να οφείλεται σε αντιδράσεις προσρόφησης και καθίζησης, η οποία επισημάνθηκε από μια βαθμιαία αύξηση του ORP με την αύξηση της ηλικίας των ΧΥΤΑ [1].



Διάγραμμα 2-4

Μεταβολές στις συγκεντρώσεις ψευδαργύρου σε σχέση με την ηλικία του ΧΥΤΑ. [1]

Οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων μπορούν να εξηγηθούν από τους μέσους όρους των τιμών της φάσης μεθανογένεσης από 20 γερμανικούς ΧΥΤΑ όπως φαίνεται στο Πίνακα 2-1. Οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στα στραγγίσματα από τα διαφορετικούς ΧΥΤΑ (βλέπε Πίνακα 2-1) παρουσιάζουν σημαντικές αλλαγές. Οι μέσες συγκεντρώσεις μετάλλων, είναι αρκετά χαμηλές. Μια έρευνα για 106 παλαιών δανέζικων ΧΥΤΑ έδειξε ότι οι

συγκεντρώσεις μετάλλων για τους παλαιούς ΧΥΤΑ είναι επίσης χαμηλές: 0,006 mg Cd/L, 0,13 mg Ni/L, 0,67 mg Zn/L, 0,07 mg Cu/L, 0,07 mg Pb/L και 0,08 mg Cr/L. Μέταλλα όπως ο υδράργυρος (Hg) και το κοβάλτιο (Co) είναι σπάνια στα στραγγίσματα και μαζί με το μεταλλοειδές αρσενικό (As), δεν εξετάζονται σε αυτό το πλαίσιο. Ο σίδηρος και το μαγγάνιο συνήθως δεν θεωρούνται βαρέα μέταλλα και εξετάζονται στο τμήμα ανόργανων συστατικών [2].

Διάφορες έρευνες έχουν εντοπίσει τα είδη καδμίου (Cd) στα στραγγίσματα από ΧΥΤΑ και έχει διαπιστωθεί ότι ο ελεύθερος δισθενής Cd^{2+} σχηματίζει μόνο ένα μικρό μέρος της συνολικής περιεκτικότητας σε Cd (κυμαίνεται μεταξύ ελάχιστου ποσοστού και του 1/3 του συνολικού περιεχομένου). Τα σύμπλοκα ήταν και οργανικά και ανόργανα. Το μεγαλύτερο ποσοστό των δύο ομάδων των συμπλόκων χαρακτηρίζονται ως ασταθή σύμπλοκα που ανακατανέμονται εύκολα. Έρευνες επίσης έδειξαν ότι ένα σημαντικό αλλά ιδιαίτερα μεταβλητό, μέρος των βαρέων μετάλλων συνδέθηκε με την περιεκτικότητα σε κολλοειδή του στραγγίσματος. Και στις τρεις έρευνες, η σύγκριση της κατανομής της οργανικής ύλης και των βαρέων μετάλλων υποδεικνύει ότι τα βαρέα μέταλλα στα κολλοειδή δεν αφορούσαν απλά την οργανική ύλη, ακόμα κι αν οι κολλοειδή ουσίες διαδραματίσουν έναν σημαντικό ρόλο όσον αφορά τη συσσώρευση των βαρέων μετάλλων [2].

Παράμετροι	Έυρος
pH	4,5-9
Ειδική Αγωγιμότητα (mS/cm)	2500-35 000
Ολικά Στερεά	2000-60 000
<i>Οργανική Ύλη</i>	
Ολικός Οργανικός Ανθρακός	30-29 000
(TOC)	20-57 000
BOD ₅	140-152 000
COD	0,02-0,8
BOD ₅ / COD	14-2500
Οργανικό Άζωτο	
<i>Ανόργανα Μακροσυστατικά</i>	0,1-23
Ολικός φώσφορος (TP)	150-4500
Χλωριούχα	8-7750
Σουλφίδια	610-7320
Υδρογονάνθρακες	70-7700
Na	50-3700
K	50-200
Αμμώνιο-N (NH ₄)	10-7200
Ca	30-15 000
Mg	3-550
Fe	0,03-1400
Mn	4-70
Διοξείδιο πυριτίου	
<i>Ανόργανα Ιχνοστοιχεία</i>	0,01-1
Αρσενικό	0,0001-0,4
Cd	0,005-1,5
Cl	0,005-10
Cu	0,001-5
Pb	0,00005-0,16
Υδράργυρος	0,015-13
Ni	0,03-1000
Zn	

Πίνακας 2-2
Σύνθεση στραγγισμάτων από ΧΥΤΑ

2.1.4 Ξενοβιοτικές οργανικές ενώσεις (XOCs)

Ο Πίνακας 2-3 παρουσιάζει τις διακυμάνσεις των συγκεντρώσεων των ξενοβιοτικών οργανικών ενώσεων (XOCs) στα στραγγίσματα από τους ΧΥΤΑ. Ο πίνακας είναι βασισμένος σε ΧΥΤΑ με τα συστήματα συλλογής στραγγισμάτων. Παρατηρούνται μεγάλα εύρη, απεικονίζονται στις διάφορες πρακτικές διάθεσης, στη σύνθεση των αποβλήτων, στις τεχνολογίες και την ηλικία του ΧΥΤΑ. Τα πιο συχνά XOCs που συναντώνται είναι οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες (βενζόλιο, τολουόλιο, αιθυλοβενζόλιο, ξυλένιο) και αλογονομένοι υδρογονάνθρακες όπως τετραχλωροαιθυλένιο και το τριχλωροαιθυλένιο. Αυτοί οι ρύποι είναι επίσης αυτοί που βρίσκονται στις υψηλότερες συγκεντρώσεις. Μια άλλη σημαντική ομάδα πρόσφατα προσδιορισμένων ενώσεων στα στραγγίσματα είναι το ζιζανιοκτόνο φαινοξυαλκανικό οξύ. Ειδικά το MCPP (ή Mecorprop) έχει παρατηρηθεί συχνά [2].

Συστατικά	Διακύμανση (μg/L)
Αρωματικοί υδρογονάνθρακες	
Βενζόλιο	1-1630
Τολουόλιο	1-12300
Ξυλένιο	4-3500
Αιθυλικό βενζόλιο	1-1280
Τριμαιθυλοβενζόλιο	4-250
Ναφθαλίνη	0,1-260
Αλογονομένοι υδρογονάνθρακες	
Χλωροβενζόλιο	0,1-110
1,2 Διχλωροβενζόλιο	0,1-32
1,4 Διχλωροβενζόλιο	0,1-16
1,1,1 Τριχλωροβενζόλιο	0,1-3810
Τριχλωροαιθυλένιο	0,7-750
Τετραχλωροαιθυλένιο	0,1-250
Μεθυλοχλωρίδιο	1,0-64
Χλωροφόρμιο	1,0-70
Φαινόλες	
Φαινόλη	1-1200
Κρεσόλη	1-2100
Μικροβιοκτόνα Mecorprop ^a	2,0-90
Διάφορα	
Ακετόνη	6-4400
Διαιθυλοφθαλείνη	10-660
Φθαλικός διβουτυλεστέρας	5,0-15
Τετραυδροφουράνιο Φωσφορικός	9-430
Τριβουτυλεστέρας	1,2-360
Καμφορά ^b	I ^c

Πίνακας 2-3

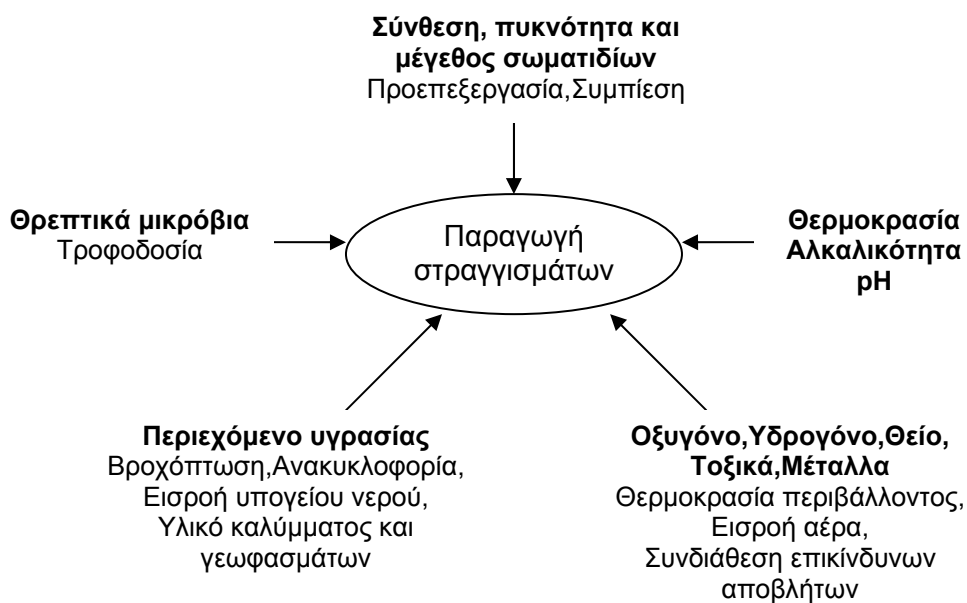
Τα πιο συχνά παρατηρούμενα ξеноβιοτικά οργανικά συστατικά (XOCs) στα στραγγίσματα από ΧΥΤΑ. Περιλαμβάνονται μόνο οι ρύποι που έχουν παρατηρηθεί σε περισσότερες από τρεις ανεξάρτητες έρευνες [2].

2.2 Παραγωγή στραγγισμάτων

Τα στραγγίσματα παράγονται κυρίως από επιφανειακά νερά (βροχοπτώσεις) που εισέρχονται στο σώμα του ΧΥΤΑ ή άλλων ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων στην επιφάνεια ενός ενεργού ή κλειστού ΧΥΤΑ. Άλλοι παράγοντες που συμβάλουν στην παραγωγή τους είναι η ροή υπογείου και επιφανειακού νερού, η υγρασία που περιέχεται στα ίδια τα απορρίμματα (ΑΣΑ) ή άλλα πρόσθετα (π.χ. ιλύς) όπως επίσης, η υγρασία που περιέχεται στις επικαλύψεις και η βιολογική αποικοδόμηση. Η ποσότητα, η ποιότητα και ο ρυθμός με τον οποίο παράγονται τα στραγγίσματα εξαρτώνται από τους παρακάτω παράγοντες:

- ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις (ένταση, συχνότητα και διάρκεια των βροχοπτώσεων)
- η ποιότητα του υλικού επικάλυψης
- γεωμορφολογία της τοποθεσίας
- προεπεξεργασία, βάθος, πυκνότητα και υγρασία απορριμμάτων
- διείσδυση υπογείου και επιφανειακού νερού και
- παραγωγή αερίων.

Τα στραγγίσματα από νέους ΧΥΤΑ παράγονται με χαμηλούς ρυθμούς όσο αυξάνεται ο όγκος των απορριμμάτων στο ΧΥΤΑ και όσο μεγαλύτερη επιφάνεια μένει εκτεθειμένη στα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα. Μέγιστη παραγωγή στραγγισμάτων παρουσιάζεται λίγο πριν το τέλος λειτουργίας του και ακόμα μια σημαντική πτώση παρατηρείται με την τοποθέτηση του τελικού καλύμματος. Το Σχήμα 2-1 απεικονίζει τους παράγοντες που επιδρούν στη παραγωγή στραγγισμάτων, από τις οποίες μπορούν να επηρεαστούν ή να ελεγχθούν.



Σχήμα 2-1

Παράγοντες που επιδρούν στην παραγωγή στραγγισμάτων σε ΧΥΤΑ. [6]

2.3 Σύνθεση στραγγισμάτων

Τα στραγγίσματα δημιουργούνται όταν το νερό διηθείται μέσω των στερεών αποβλήτων που υποβάλλονται στην αποσύνθεση μαζί με τα βιολογικά υλικά και τα χημικά συστατικά. Η περισσότερη οργανική ουσία που περιλαμβάνεται στα στερεά απόβλητα είναι βιοαποικοδομήσιμη και μπορεί να κατανεμηθεί σε απλούστερες ενώσεις ανά αναερόβιους και αερόβιους μικροοργανισμούς, που οδηγούν στο σχηματισμό των στραγγισμάτων. Το στράγγισμα που παράγεται από τις βιοχημικές διαδικασίες χαρακτηρίζεται από υψηλές συγκεντρώσεις οργανικών και ανόργανων συστατικών. Με τη διείσδυση νερού στα απορρίμματα, το υπάρχον στράγγισμα αραιώνεται και έτσι δημιουργείται νέο στράγγισμα διαφορετικής συγκέντρωσης.

Η σύνθεση των στραγγισμάτων εξαρτάται εκτός των άλλων, σε πολύ μεγάλο βαθμό από το είδος και τη σύνθεση των απορριμμάτων που έχουν διατεθεί στον ΧΥΤΑ. Η συγκέντρωση των οργανικών ουσιών εξαρτάται επίσης από την ηλικία του ΧΥΤΑ και από την δραστηριότητα των μεθανοβακτηριδίων [22].

Τα αντιπροσωπευτικά στοιχεία όσον αφορά τα χαρακτηριστικά των στραγγισμάτων για νέους και ώριμους ΧΥΤΑ παρουσιάζονται στο Πίνακα 2-4.

Λόγω της μεγάλης διακύμανσης των συγκεντρώσεων των συστατικών για τα διάφορα συστατικά που αναφέρονται στο Πίνακα 2-4 η χημική σύνθεση των στραγγισμάτων διαφέρει ανάλογα με την ηλικία του ΧΥΤΑ. Οι τυπικές παράμετροι για το χαρακτηρισμό των στραγγισμάτων συνοψίζονται στο Πίνακα 2-4.

Τα δύο πιο σημαντικά συστατικά των στραγγισμάτων είναι οι οργανικές χημικές ενώσεις και τα βαρέα μέταλλα. Οι οργανικές χημικές ενώσεις εμφανίζονται με τη μορφή ευδιάλυτων ή αιωρούμενων προϊόντων βιοαποδόμησης, αλλά και ως οργανικές ενώσεις που έχουν αποβληθεί μαζί με τα απορρίμματα. Οι τιμές BOD_5 , TOC και COD σε στραγγίσματα που ανακύπτουν στα δύο πρώτα χρόνια μετά την απόθεση φτάνουν δεκάδες χιλιάδες mg/L. Για παράδειγμα, στραγγίσματα που παράγονται στην όξινη φάση έχουν σχετικά χαμηλό pH και υψηλές συγκεντρώσεις BOD_5 , TOC, COD, θρεπτικών και βαρέων μετάλλων. Στα στραγγίσματα συνήθως εμφανίζονται τα μέταλλα: Cd, Cr, Cu, Pb, Ni και Zn, των οποίων οι ποσότητες τους εξαρτώνται από την ενεργό οξύτητα (pH) και την ταχύτητα ροής των στραγγισμάτων [5].

Παρατηρείται να συμβαίνει ακριβώς το αντίθετο στη φάση της μεθανογένεσης, στραγγίσματα που παράγονται στη φάση αυτή έχουν υψηλό pH και χαμηλότερες συγκεντρώσεις BOD_5 , TOC, COD, θρεπτικών και βαρέων μετάλλων. Το pH δεν εξαρτάται μόνο από τις συγκεντρώσεις των λιπαρών οξέων, αλλά και από την μερική πίεση του CO_2 στο εσωτερικό του ΧΥΤΑ. Η μεταβλητή σύνθεση των στραγγισμάτων δυσκολεύει τον σχεδιασμό και τη λειτουργία των συστημάτων επεξεργασίας τους [4].

Συστατικά	Μονάδες	Νέοι ΧΥΤΑ (<2 ετών)	Ωριμοί ΧΥΤΑ (>10 ετών)	
		Διακύμανση	Τυπική Τιμή	Διακύμανση
BOD ₅	mg/L	2000-30000	10000	100-200
TOC	mg/L	1500-20000	6000	80-160
COD	mg/L	3000-60000	18000	100-500
Ολικά αιωρούμενα στερεά	mg/L	200-2000	500	100-400
Οργανικό άζωτο	mg/L	10-800	200	80-120
Αμμωνιακό άζωτο	mg/L	10-800	200	20-40
Νιτρικά	mg/L	5-40	25	5-10
Ολικός φώσφορος	mg/L	5-100	30	5-10
Ορθοφωσφορικά	mg/L	4-80	20	4-8
Αλκαλικότητα σαν CaCO ₃	mg/L	1000-10000	3000	200-1000
pH		4,5-7,5	6	6,6-7,5
Ολική σκληρότητα σαν CaCO ₃	mg/L	300-10000	3500	200-500
Ασβέστιο	mg/L	200-3000	1000	100-400
Μαγνήσιο	mg/L	50-1500	250	50-200
Κάλιο	mg/L	200-1000	300	50-400
Νάτριο	mg/L	200-2500	500	100-200
Χλώριο	mg/L	200-3000	500	100-400
Θεϊκά άλατα	mg/L	50-1000	300	20-50
Ολικός σίδηρος	mg/L	50-1200	60	20-200

Πίνακας 2-4

Τυπικές τιμές περιεχόμενου στραγγίσματος από νέους και ώριμους ΧΥΤΑ [4].

2.4 Υδατικό Ισοζύγιο

Ο υπολογισμός των στραγγισμάτων που φτάνει στον πυθμένα δεν μπορεί να υπολογιστεί με ακρίβεια λόγω έλλειψης είτε δεδομένων είτε τεχνογνωσίας [5]. Η δυνατότητα σχηματισμού στραγγισμάτων μπορεί να εκτιμηθεί με βάση το υδατικό ισοζύγιο ενός ΧΥΤΑ. Το υδατικό ισοζύγιο ενός ΧΥΤΑ περιλαμβάνει το άθροισμα όλων των ποσοτήτων του νερού που εισέρχονται στο σώμα του ΧΥΤΑ και η αφαίρεση όσων καταναλώνονται σε χημικές και βιοχημικές αντιδράσεις ή ποσότητες που διαφεύγουν ως υδρατμοί,

ή κατακρατούνται από τα απορρίμματα και τις επικαλύψεις τους, ή διατίθενται για την αναερόβια βιοαποδόμηση. Η ποσότητα των σχηματιζόμενων στραγγισμάτων είναι η ποσότητα του νερού που υπερβαίνει την υδροχωρητικότητα των απορριμμάτων [4] . Τα συστατικά που αποτελούν το υδατικό ισοζύγιο παρουσιάζονται στο Σχήμα 2-2.



Σχήμα 2-2

Υδατικό ισοζύγιο ενός ΧΥΤΑ [13]

2.5 Κίνηση στραγγισμάτων

Υπό κανονικές συνθήκες, τα στραγγίσματα συγκεντρώνονται στη βάση του ΧΥΤΑ. Εάν η βάση του ΧΥΤΑ δεν είναι κατάλληλα μονωμένη τότε τα στραγγίσματα κινούνται προς τα κάτω. Επίσης παρατηρείται και μια πλευρική κίνηση τους, όταν την επιτρέπει η υδρογεωλογία. Η κάθετη κίνηση είναι ιδιαίτερα σημαντική λόγω του ότι οδηγεί στη ρύπανση των υπόγειων νερών, την ανθρώπινη υγεία και προκαλεί επιπτώσεις στα υδρόβια οικοσυστήματα. [4, 13]

2.5.1 Νόμος Darcy

Η ποσότητα των στραγγισμάτων που διαφεύγουν από την βάση ενός ΧΥΤΑ μπορεί να υπολογισθεί με το νόμο του Darcy:

$$Q = -KA \frac{dh}{dl}$$

όπου:

Q : ποσότητα στραγγισμάτων που διηθούνται από την βάση του ΧΥΤΑ στο υπέδαφος (m³/sec)

K : υδραυλική αγωγιμότητα (m²/sec)

A : επιφάνεια κάθετη στη διεύθυνση της ροής μέσω της οποίας κινούνται τα στραγγίσματα (m²)

dh/dl : υδραυλική κλίση στη διεύθυνση της ροής (m/m)

Το μείον στο νόμο Darcy χρησιμοποιείται για να προκύπτει θετική παροχή, αφού η απώλεια, dh(κλίση) είναι πάντα αρνητική. Η υδραυλική αγωγιμότητα είναι συνάρτηση του ρευστού και του γεωλογικού μέσου:

$$K = \frac{k\rho g}{\mu}$$

όπου:

k : ειδική διαπερατότητα (m²)

ρ : πυκνότητα ρευστού (kg/m³)

μ : δυναμικό ιξώδες ρευστού (kg/m)

g : επιτάχυνση βαρύτητας (9,81m/sec²)

[4]

2.5.2 Κίνηση συστατικών στραγγισμάτων

Η κίνηση των στραγγισμάτων στο υπέδαφος είναι αποτέλεσμα μιας σειράς διεργασιών και φαινομένων, όπως συµµεταφορά (advection), διάχυση, διασπορά, προσρόφηση (adsorption) και χημικών- βιολογικών αντιδράσεων.

2.5.2.1 Συμμεταφορά

Συμμεταφορά είναι η κίνηση των συστατικών, που οφείλεται στην ταχύτητα των στραγγισμάτων στο υπέδαφος. Η ταχύτητα αυτή υπολογίζεται με το νόμο του Darcy και μεταξύ άλλων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υπολογισθεί ο χρόνος διαρροής (breakthrough time) μέσω ενός μονωτικού υλικού [4] .

2.5.2.2 Διάχυση

Διάχυση είναι το φαινόμενο μεταφοράς της κινητικής ενέργειας των μορίων. Λαμβάνει χώρα χωρίς να υπάρχει υδραυλική κλίση στο σύστημα (συμμεταφορά), από σημεία υψηλής συγκεντρώσεως σε σημεία χαμηλής συγκεντρώσεως. Το φαινόμενο περιγράφεται από τους νόμους του Fick. Ο Fick προσδιόρισε ότι η μεταφορά μάζας λόγω διάχυσης ήταν ευθέως ανάλογη προς την επιφάνεια διατομής της συσκευής και της κλίσης της συγκέντρωσης.

$$J_m \propto A \frac{dC}{dx} \Rightarrow \boxed{J_m = -DA \frac{dC}{dx}} \Rightarrow \text{Πρώτος νόμος του Fick}$$

όπου:

J_m : η παροχή μάζας λόγω μοριακής διάχυσης

A : επιφάνεια διατομής

dC/dx : κλίση συγκέντρωσης

D : συντελεστής μοριακής διαχυτότητας

Ο πρώτος νόμος του Fick μπορεί να γραφτεί ανά μονάδα επιφάνειας.

$$F_m = -D \frac{dC}{dx}$$

όπου:

F : παροχή μάζας

[23]

2.5.2.3 Μηχανική Διασπορά

Μηχανική διασπορά είναι μια διεργασία ανάμιξης που οφείλεται σε τρεις μηχανισμούς:

- Διαφορά στην ταχύτητα του ρευστού, όπως κατανέμεται στην διατομή των πόρων. Η ταχύτητα στο μέσο του πόρου είναι μεγαλύτερη από ότι κοντά στα τοιχώματα.
- Η ροή γύρω από τους κόκκους του στερεού προκαλεί αλλαγές στη μέση ταχύτητα των διαφόρων πόρων.
- Η πολυπλοκότητα του μέσου (tortuosity), που οφείλεται σε ένα πολύπλοκο σύστημα πόρων διαφόρων μεγεθών και σχημάτων, έχει ως αποτέλεσμα οι γραμμές ροής σε αυτούς να μην είναι παράλληλες προς τη διεύθυνση της μέσης ταχύτητας.

Ο συνδυασμός μοριακής διάχυσης και μοριακής διασποράς λέγεται υδροδυναμική διασπορά. Το αποτέλεσμα της υδροδυναμικής συμπεριφοράς είναι ότι κάποια μόρια νερού ή ρύπων θα κινούνται ταχύτερα από την μέση ταχύτητα του ρευστού και κάποια άλλα βραδύτερα. Έτσι μπορεί να υπάρχει άφιξη ρύπων σε ένα σημείο νωρίτερα από ότι υπολογίζεται με την μέση ταχύτητα (Νόμος Darcy).

2.5.2.4 Ρόφηση

Προσρόφηση είναι η διεργασία της φυσικής συσσώρευσης συστατικών/μορίων/σωματιδίων που βρίσκονται σε ένα διάλυμα πάνω σε μια κατάλληλη διεπιφάνεια. Η προσρόφηση είναι μια διεργασία μεταφοράς μάζας κατά την οποία ένα συστατικό που βρίσκεται στην υγρή φάση μεταφέρεται στη στερεή φάση. Είναι δηλαδή επιφανειακό φαινόμενο. Αντιθέτως, απορρόφηση (absorption) είναι η διεργασία κατά την οποία μια ουσία συσσωρεύεται μέσα σε μια άλλη φάση, εκπροσωπεί την είσοδο σωματιδίων ή μορίων μέσα στους πόρους ενός απορροφητικού υλικού και συνεπώς δεν είναι επιφανειακό φαινόμενο. Η μαθηματική σχέση μεταξύ της συγκέντρωσης ενός ρύπου στο νερό και της συγκέντρωσης του προσροφητή σε σταθερή θερμοκρασία και

συνθήκες ισορροπίας λέγεται ισόθερμος. Η ισόθερμος Freundlich είναι η επικρατούσα ισόθερμος σε προβλήματα ρυπάνσεως εδαφών και υπογείου ύδατος. Ο όρος ρόφηση (sorption) περιλαμβάνει δύο ξεχωριστούς όρους, προσρόφησης και απορρόφησης, είναι ο γενικός όρος για τη διεργασία κατά την οποία ένα συστατικό κινείται από μια φάση για να συγκεντρωθεί σε μια άλλη φάση [20].

2.5.2.5 Χημικές / Βιολογικές αντιδράσεις

Πολλοί ρύποι υφίστανται χημικούς και βιολογικούς μετασχηματισμούς στο υπόγειο περιβάλλον με αποτέλεσμα την ελάττωση της συγκέντρωσης τους. Αν είναι γνωστή η κινητική των αντιδράσεων αυτών είναι δυνατό να υπολογισθεί η συγκέντρωση τους ως συνάρτηση του χρόνου.

2.6 Μέθοδοι Επεξεργασίας Στραγγισμάτων

Οι περιπτώσεις διαχείρισης στραγγισμάτων είναι πολλές και ο τρόπος διαχείρισης της κάθε μιας είναι μοναδικός, καθώς παρατηρούνται διακυμάνσεις στη σύσταση των στραγγισμάτων. Το γεγονός ότι τα χαρακτηριστικά κάθε περιοχής ποικίλουν και διαφέρουν μεταξύ τους οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η βέλτιστη επιλογή διάθεσης για μια περιοχή ενδέχεται να είναι ακατάλληλη για εφαρμογή σε κάποια άλλη.

Στη συνέχεια θα αναφερθούν εναλλακτικές περιπτώσεις επεξεργασίας και διάθεσης που χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές ή εξετάστηκαν σε πιλοτική κλίμακα και συνοψίζονται παρακάτω:

- I. Απομάκρυνση του ανεπεξέργαστου στραγγίσματος από τον ΧΥΤΑ
 - Υποεπιφανειακή διαρροή
 - Απόρριψη σε επιφανειακά νερά
 - Απομάκρυνση με βυτιοφόρα σε:
 - Αποχετευτικές εγκαταστάσεις
 - Διάθεση στην θάλασσα
 - Σύνδεση με το αποχετευτικό δίκτυο

- II. Επί τόπου επεξεργασία και εν συνεχεία απόρριψη σε αποχετευτικό δίκτυο ή επιφανειακά νερά
- Φυσικοχημική
 - κροκίδωση/ συσσωμάτωση/ καθίζηση
 - Έλεγχος pH, αερισμός και εκφύσηση με αέρα
 - Αντίστροφη όσμωση
 - Ακτινοβολία γ
 - Προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα
 - Οξειδωση με ClO^+
 - Βιολογική
 - Αερόβια
 - Σταλακτικό φίλτρο
 - Ενεργός ιλύς
 - Αεριζόμενες λίμνες
 - Περιστρεφόμενους βιολογικούς δίσκους (Rotating Biological Conductors, RBC)
 - Σύστημα δεξαμενών εναλλασσόμενων φάσεων διαλείποντος έργου (Sequencing Batch Reactors, SBR)
 - Αναερόβια
- III. Επεξεργασία εδάφους

2.6.1 Αφαίρεση από τον ΧΥΤΑ των ανεπεξέργαστων στραγγισμάτων

Σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να είναι αποδεκτό να επιτρέπεται η υποεπιφανειακή διάθεση των στραγγισμάτων. Στο παρελθόν υπήρξε τέτοιου είδους εφαρμογή χωρίς να προκαλεί μεγάλη περιβαλλοντική επιβάρυνση είτε σε περιοχές όπου βρίσκονται υδροφόρα στρώματα ακατάλληλα προς οποιαδήποτε χρήση (π.χ. υφάλμυρα ή αλμυρά νερά) ή όπου υπάρχουν αρκετές ενδείξεις για ικανοποιητική φυσική αποδόμηση των συστατικών των στραγγισμάτων. Με την υποεπιφανειακή διάθεση των στραγγισμάτων έχει παρατηρηθεί ζημιά σε υδάτινους πόρους, την ανθρώπινη υγεία και σε οικολογικά συστήματα. Η αντίληψη του μεγέθους των κινδύνων και οι υψηλές

δαπάνες για μέτρα προστασίας ελαχιστοποιούν τον αριθμό των περιπτώσεων που η επιλογή της υποεπιφανειακή διάθεσης θα επιτρέπεται στο μέλλον σε χώρους που δέχονται επικίνδυνα στερεά απόβλητα.

Η απορρίψη στα επιφανειακά νερά γίνεται κατόπιν συγκατάθεσης των αρχών, σε ελάχιστες περιπτώσεις όπου η ηλικία και η διάλυση των στραγγισμάτων βρίσκονται σε χαμηλά επίπεδα επικινδυνότητας. Μελέτες που έγιναν έδειξαν ότι ο χρόνος που απαιτείται για να μπορέσουν να διατεθούν τα στραγγίσματα στα υπόγεια νερά χωρίς καμιά επεξεργασία είναι εξαιρετικά μεγάλος (300-600 χρόνια για ΧΥΤΑ επικίνδυνων απορριμμάτων) και ξεπερνά ακόμα και τον χρόνο κατά τον οποίο συνήθως προβλέπεται να εφαρμοστεί κάποιο είδος επεξεργασίας (50-100 χρόνια).

Ρυθμός Παραγωγής στραγγισμάτων	ΧΥΤΑ Επικίνδυνων απορριμμάτων	ΧΥΤΑ αστικών απορριμμάτων	ΧΥΤΑ μη επικίνδυνων και μη ισχυρών οργανικών	Ανόργανα απορρίμματα
Μέσος 200 mm/yr	600	300	150	100
Υψηλός 400 mm/yr	300	150	75	50

Πίνακας 2-5

Εκτιμώμενος χρόνος (έτη) για την ασφαλή διάθεση
στραγγισμάτων σε υπόγεια νερά.

Η πιο κοινή μέθοδος διάθεσης εκτός περιοχής ήταν είτε μέσω βυτιοφόρων φορητών οχημάτων είτε μέσω άντλησης μεταφορά των στραγγισμάτων σε μια μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Το κατά πόσο είναι δυνατό να γίνει αυτό εξαρτάται πολύ από την φύση των στραγγισμάτων και η δυναμικότητα επεξεργασίας της μονάδας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

Οι αρχές συνήθως επιτρέπουν περιοδική διάθεση στραγγισμάτων γνωστής σύστασης φοβούμενες ότι μια υψηλότερη παροχή επικίνδυνων συστατικών σε υψηλές συγκεντρώσεις υπάρχει πιθανότητα να θέσει ολόκληρη την μονάδας επεξεργασίας σε κίνδυνο. Συνήθως επιλέγεται η προεπεξεργασία

πριν την διάθεση σε μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων για την αφαίρεση συστατικών όπως τα σουλφίδια.

2.6.2 Φυσικοχημική επεξεργασία

Οι φυσικοχημικές διεργασίες επεξεργασίας αποτελούν ίσως τις πιο διαδεδομένες μεθόδους, οι οποίες έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως και ο τρόπος δράσης τους είναι αρκετά μελετημένος. Συνεχώς βρίσκονται τρόποι βελτιστοποίησης της δόσης τους ή παραλλαγές των τυπικών μορφών τους. Ορισμένες από τις φυσικοχημικές διεργασίες που αναφέρονται πιο κάτω εφαρμόζονται για την προεπεξεργασία των στραγγισμάτων πριν την κύρια επεξεργασία τους με κάποια άλλη μέθοδο. [15,16]

2.6.2.1 Κροκίδωση/ Συσσωμάτωση/ Καθίζηση

Η κροκίδωση και η συσσωμάτωση αποτελούν διεργασίες απομάκρυνσης αιωρούμενων στερεών, μη βιοδιασπάσιμων οργανικών ενώσεων, βαρέων μετάλλων, κolloειδών σωματιδίων και διαλυμένων ουσιών (διαμέτρου μικρότερα από 1 μ m) από ένα διάλυμα, οι οποίες εφαρμόζονται όταν οι ρυθμοί καθίζησης των παραπάνω συστατικών είναι ιδιαίτερα αργοί και αναποτελεσματικοί. Η διαδικασία συσσωμάτωσης αποσταθεροποιεί τα κolloειδή μόρια με την προσθήκη ενός πηκτικού. Βασικός σκοπός των διεργασιών κροκίδωση-συσσωμάτωση, είναι η συνένωση μικρών σωματιδίων σε μεγαλύτερα τα οποία απομακρύνονται στη συνέχεια από το υγρό με μη δαπανηρές διαδικασίες διαχωρισμού σωματιδίων, όπως είναι η καθίζηση με βαρύτητα και η διήθηση [15,16].

Η προσθήκη απλών χημικών ουσιών που συνίστανται από μια ακολουθία μίξης, κροκίδωσης, συσσωμάτωσης και καθίζησης μπορεί να είναι χρήσιμη είτε πριν είτε μετά από άλλες διαδικασίες επεξεργασίας, όπως παρουσιάζονται στο Πίνακα 2-6 που ακολουθεί. Αυτός ο τύπος επεξεργασίας έχει μελετηθεί σε πιλοτική κλίμακα και ενσωματώθηκε σε ελάχιστες πραγματικού μεγέθους εφαρμογές της επεξεργασίας στραγγισμάτων. Η

φυσικοχημική επεξεργασία των στραγγισμάτων έχει υιοθετηθεί και έχει μελετηθεί λόγω του ότι περιλαμβάνει:

- Μείωση των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων στερεών ώστε να ελαχιστοποιηθούν τα προβλήματα στις επόμενες βιολογικές διαδικασίες, να ελαχιστοποιήσει τα προβλήματα με το φράξιμο σωλήνων, βαλβίδων κλπ., επίσης να αποτρέψει το φράξιμο των στηλών ενεργοποιημένου άνθρακα.
- Αφαίρεση της θολότητας και του χρώματος από τις εκροές.
- Απομάκρυνση σταθεροποιημένης λάσπης ή ιζημάτων του στραγγίσματος.
- Μερική αφαίρεση του οργανικού φορτίου σε ένα βιολογικό σύστημα.
- Καθίζηση του σιδήρου, του μαγγανίου, του ανθρακικού άλατος του ασβεστίου και των βαρέων μετάλλων, με προσθήκη κροκιδωτικών που οδηγού στο σχηματισμό θρόμβων, για να προστατεύσει τις φυσικές εγκαταστάσεις και να αποτρέψει την τοξικότητα και την συγκέντρωση ανόργανων στερεών στις βιολογικές διαδικασίες.

Χημικό Προσθήκης	Δόση (kg/m ³)	Καθοριστικός παράγοντας	Εισροή	Εκροή	% μείωση	Σχόλια
Άσβεστος	0,5-2,5	TOC χρώμα	452	360	20-85	Σταθεροποιημένο στράγγισμα συνδιάθεσης, απομάκρυνση ανεξάρτητη της δόσης
Άσβεστος	2,3-4,4	COD BOD ₅ SS Fe Zn	18500 10900 1044 312 21	7200 5200 239 3,8 0,6	61 52 77 99 97	85% αστικά και ~15% βιομηχανικά + κάποια υγρά
Άσβεστος	7 6 4 2 6 4 2	TOC χρώμα χρώμα χρώμα θολερότητα θολερότητα θολερότητα			20 82 47 7 -98 -83 -58	Εκροή από αναερόβια επεξεργασία στραγγίσματος αστικών απορριμμάτων
Άσβεστος	6	TOC COD Fe θολερότητα	9850 22900 200-2000 130 NTU	9250 20700 4 2,2	6 10 >99 98	Μικτός ΧΥΤΑ βιομηχανικών απορριμμάτων
Άσβεστος	2-3	TOC COD	5200 14000	2740 9200	47 34	
Άσβεστος + όζον	0,05-0,25	Fe Mn Zn χρώμα θολερότητα	47 10 12 2500 69	0,7 0,04 0,003 100 2	99 >99 >99 96 97	Αστικά απορρίμματα
Άσβεστος	0,45	COD	2820	2370	26	Αστικά απορρίμματα

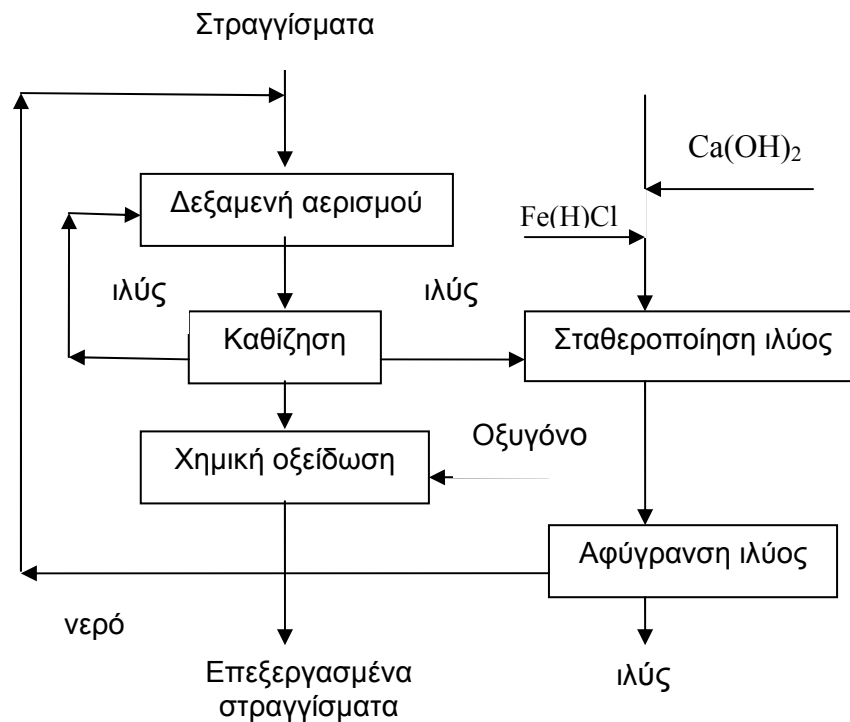
Πίνακας 2-6

Προσθήκη χημικών μέσων κατακρήμνισης στην επεξεργασία στραγγισμάτων [14].

Οι ακόλουθες χημικές ουσίες έχουν εξεταστεί και έχουν χρησιμοποιηθεί σε ορισμένες περιπτώσεις στην πράξη: υδράσβεστος, NaOH, MgOH, άσβεστος, χλωριούχος σίδηρος, θειούχος σίδηρος και διάφορα πολυμερή.

Η επεξεργασία με Ca(OH)_2 έχει αποδειχτεί αρκετά αποτελεσματική και οικονομική, όπως επίσης και η χρήση αργιλίου και τα διάφορα πολυμερή που έχουν χρησιμοποιηθεί στην τελική επεξεργασία της εκροής. Τα αποτελέσματα διαφόρων μελετών που χρησιμοποιούν το Ca(OH)_2 έδειξαν ότι η αφαίρεση των μετάλλων και της θολότητας είναι πολύ αποτελεσματική, ενώ λιγότερο αποτελεσματική είναι η αφαίρεση του χρώματος και ελάχιστα αποτελεσματική η αφαίρεση του οργανικού άνθρακα. Η μεταβολή που θα παρατηρηθεί είναι προφανής όσον αφορά τη μείωση του COD σε στραγγίσματα με υψηλή ισχύ και οι δόσεις που απαιτούνται για να επιτύχουν καλή αφαίρεση χρώματος σε στραγγίσματα που έχουν σταθεροποιηθεί .

Η αποτελεσματικότητα της επεξεργασίας όταν χρησιμοποιείται Ca(OH)_2 εξαρτάται από την ικανότητα διαχωρισμού του ιζήματος από το απόβλητο. Τα στραγγίσματα είναι γνωστό ότι περιέχουν οργανικά μέσα που βοηθούν στη δημιουργία σύμπλοκων, δεν φαίνεται να προκαλούν σοβαρά προβλήματα με την αφαίρεση των μετάλλων. Στο Σχήμα 2-3 παρουσιάζεται ένα διάγραμμα βιολογικής επεξεργασίας και χημικής οξείδωσης.



Σχήμα 2-3

Βιολογική επεξεργασία και χημική οξείδωση στραγγισμάτων [18].

2.6.2.2 Έλεγχος pH

Η τιμή του pH του προς επεξεργασία διαλύματος καθορίζει άμεσα τη διαδικασία της υδρόλυσης, τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του και γενικότερα το είδος των ενώσεων που δύναται να σχηματιστούν μέσα σε αυτό [15,16]. Μια επιπλέον χρήση του ασβεστίου στη διαχείριση στραγγισμάτων ήταν στη μείωση των εκπομπών οσμών από τις δεξαμενές συλλογής στραγγισμάτων. Οι οσμές σουλφιδίων μειώνονται λόγω της αύξησης του pH το οποίο μειώνει το ποσό H_2S που τυχόν ελευθερωθεί. Με τον ίδιο τρόπο μπορούν να περιοριστούν προβλήματα που προκαλούνται από μυρωδιές λιπαρών οξέων, δεδομένου ότι σε τιμές του pH πάνω από 9 συναντώνται σε μορφή ιόντων και έτσι είναι αδύνατον να εξατμιστούν. Οι δόσεις που απαιτούνται για την επίτευξη $pH=10$ κυμαίνονται από $0,5 \text{ kg/m}^3$ για σταθεροποιημένα στραγγίσματα έως 6 kg/m^3 ή περισσότερο για υψηλής ισχύος στραγγίσματα. Έπειτα μετά από πειραματικές δοκιμές παρατηρείται ότι ο αερισμός προκαλεί γρήγορη άνοδο του $pH>9$ ακόμη και για υψηλής ισχύος στραγγίσματα.

2.6.2.3 Εκφύσηση αμμωνίας

Η μέθοδος αυτή έχει βρεθεί ότι είναι τεχνικά εφικτή και μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε πριν είτε μετά από βιολογική επεξεργασία. Η βέλτιστη απομάκρυνση της αμμωνίας με αέρα επηρεάζεται σημαντικά από τη θερμοκρασία, τη ταχύτητα του ανέμου, το ρυθμό αερισμού, το σχηματισμό στέρνας, τη ρύθμιση του pH, την επιφανειακή περιοχή, και την αρχική καθώς και την απαιτούμενη τελική συγκέντρωση στο στράγγισμα.

Τα στραγγίσματα από απόβλητα που έχουν διατεθεί για μεγάλες περιόδους είναι γενικά πιο αδύναμα αλλά περιέχουν σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις αμμωνιακού αζώτου, το οποίο είναι τοξικό και πρέπει να ρυθμιστεί στο τελευταίο υδάτινο αποδέκτη [21]. Σε μια μονάδα που δέχεται 15% βιομηχανικά στερεά και υγρά απορρίμματα η χρήση αεριζόμενης δεξαμενής με χρόνο παραμονής περίπου 10 μέρες και $\text{pH} > 10,5$ ήταν ικανή να μειώσει την τιμή $\text{NH}_3\text{-N}$ από 890 σε 412 mg/L. Η μείωση της αμμωνίας που επιτεύχθηκε και η ικανότητα ομογενοποίησης μέσα στην δεξαμενή μείωσαν σημαντικά τα προβλήματα που παρουσιάζονταν σε επόμενα στάδια βιολογικής επεξεργασίας του στραγγίσματος.

Το υψηλό pH βοηθά και στην απομάκρυνση των βαρέων μετάλλων με την καθίζηση και μετά με αέρα η απομάκρυνση της αμμωνίας από το στράγγισμα, ελαχιστοποιώντας έτσι τις αρνητικές επιδράσεις της αμμωνίας και των βαρέων μετάλλων. Η εκφύσηση με αέρα είναι δαπανηρός τρόπος να μειωθεί η συγκέντρωση αμμωνίας σε χαμηλά επίπεδα. Η ποσότητα αέρα που απαιτείται είναι συνήθως μια τάξη μεγέθους μεγαλύτερη από αυτή που θα απαιτούνταν για βιολογική νιτροποίηση.

Παρόλα αυτά βρέθηκε ότι με την μέθοδο της εκφύσησης αμμωνίας το λειτουργικό κόστος είναι χαμηλότερο από ότι άλλες επεξεργασίες όπως η αντίστροφη όσμωση και η νανοδιήθηση [5].

Συνεπώς η παροχή αέρα είναι μια σημαντική παράμετρος κόστους. Σε περιπτώσεις πολύ χαμηλών θερμοκρασιών ή αδυναμίας ανάπτυξης μικροβιακής δραστηριότητας, δεν υπάρχουν πολλές εναλλακτικές λύσεις και επομένως το υψηλό κόστος της εκφύσησης μπορεί να θεωρηθεί λογικό. Η χρήση πύργων εκφύσησης δεν φαίνεται να μπορεί να εφαρμοστεί στα

περισσότερα στραγγίσματα εξαιτίας λειτουργικών προβλημάτων όπως κλίσης, σχηματισμό προσκολλημένης στο πύργο φλούδας, φραξίματος και παγώματος κατά την διάρκεια του χειμώνα.

Ένας ερευνητής μελέτησε επίσης την επιρροή των περιβαλλοντικών παραγόντων στην αφαίρεση της αμμωνίας αυξάνοντας το pH του στραγγίσματος πάνω από 9 με $\text{Ca}(\text{OH})_2$, με σκοπό τη δημιουργία αερίου NH_3 διοχετεύοντας φουσαλίδες αέρα από το σύστημα. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να επιτευχθεί απομάκρυνση της αμμωνίας στην ατμόσφαιρα μέχρι και 100%. Η αέρια απομάκρυνση ως χημική μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ρύθμιση υπερβολικών συγκεντρώσεων αμμωνίας. Ένας άλλος ερευνητής συνδύασε την αέρια απομάκρυνση με ένα σύστημα στέρνας (950 m^3) και ανέφερε απομάκρυνση μέχρι και 50%. Άλλοι ανέφεραν σχεδόν απομάκρυνση 100% σε εργαστηριακή κλίμακα με στράγγισμα περιεκτικότητας $570 \text{ mg/L NH}_3\text{-N}$. Αναφέρεται ακόμη από άλλον ένα ερευνητή μείωση 90% του ολικού αζώτου μετά από 8 ώρες αερισμού σε pH 10, θερμοκρασία 20°C και μέσο ρυθμό ροής $150 \text{ cm}^3/\text{sL}$. Τελικά παράχθηκε ένα διάλυμα περιεκτικότητας 2,2-2,5 mg/L αμμωνίας [21].

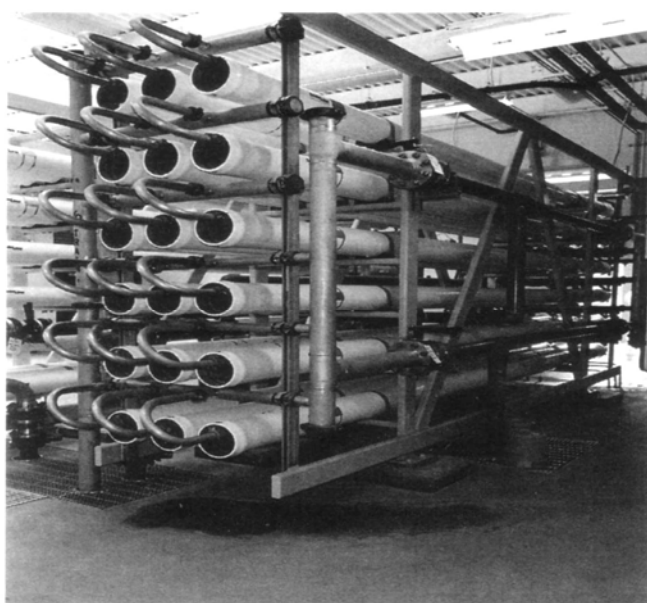
2.6.2.4 Αντίστροφη όσμωση

Με τις υψηλές ροές και τη δυνατότητα να λειτουργήσει πέρα από ένα μεγάλο εύρος τιμών θερμοκρασίας και pH, η αντίστροφη όσμωση (RO) είναι μια άλλη εναλλακτική φυσικοχημική μέθοδος επεξεργασίας για σταθεροποιημένα στραγγίσματα. Σε πολλές περιπτώσεις, τα σταθεροποιημένα στραγγίσματα από τη βιολογική επεξεργασία και τους ώριμους ΧΥΤΑ παρουσιάζουν υψηλές τιμές COD λόγω της παρουσίας ενώσεων ψηλού μοριακού βάρους. Επομένως, ένα πρόσθετο βήμα επεξεργασίας είναι απαραίτητο. Παρατηρήθηκε ότι η επεξεργασία στραγγισμάτων με τη μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης ήταν η πιο αποτελεσματική φυσικοχημική μέθοδος για την απομάκρυνση του COD.

Στη Γερμανία χρησιμοποιείται μια προεπεξεργασία του στραγγίσματος που ακολουθείται από ένα ή δύο στάδια της αντίστροφης όσμωσης. Περισσότερες από 100 εγκαταστάσεις βρίσκονται αυτήν την περίοδο σε

συνεχή λειτουργία σε ΧΥΤΑ στις βόρειες δυτικές ευρωπαϊκές χώρες (43 εγκαταστάσεις RO στη Γερμανία), τη Βόρεια Αμερική και την Άπω Ανατολή.

Με εφαρμογή της αντίστροφης όσμωσης, διαλύτης που περιέχει κατιόντα μετάλλων περνά μέσω μιας μεμβράνης έτσι ώστε οι συγκεντρώσεις τους να μειώνονται. Επιτυγχάνεται ποσοστό απομάκρυνσης 98-99% των οργανικών και ανόργανων συστατικών. Η μέθοδος αντίστροφης όσμωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αφαίρεση των βαρέων μετάλλων, των κολλοειδών σωματιδίων και των διαλυμένων στερεών που περιέχονται στα στραγγίσματα του ΧΥΤΑ.



Σχήμα 2-4

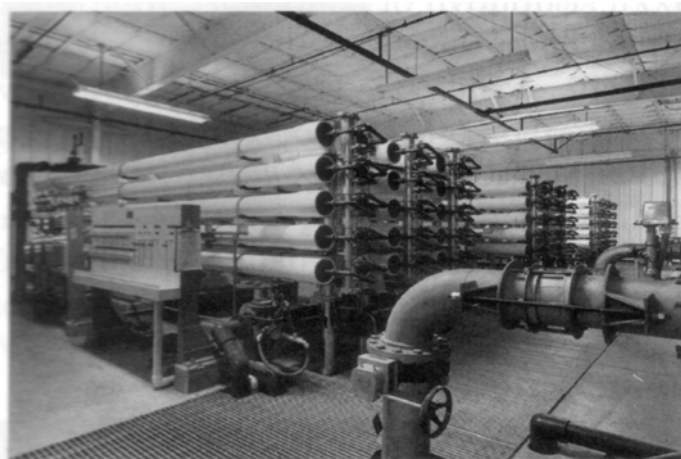
Τυπική εγκατάσταση δοχείων πίεσης με μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης η οποία περιέχει 6 δομοστοιχεία σύνθετων μεμβρανών ελικοειδούς περιέλιξης λεπτού-στρώματος σε σειρά [24].

Για επεξεργασία στραγγισμάτων σε νέο ΧΥΤΑ του Chung Nam (Νότια Κορέα) χρησιμοποιήθηκε σύστημα αντίστροφης όσμωσης, με το οποίο πραγματοποιήθηκε αφαίρεση περίπου 96-97% του COD και της $\text{NH}_3\text{-N}$ με αρχικές συγκεντρώσεις 1500 και 1400 mg/L, αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα υποδήλωναν ότι με την επεξεργασία αυτή αυξανόταν η αποδοτικότητα απομάκρυνσης των μη-βιοδιασπάσιμων οργανικών ενώσεων από τα στραγγίσματα του ΧΥΤΑ. Σε ΧΥΤΑ στο Yachiyo (Ιαπωνία) μελετήθηκε η

αφαίρεση των διοξινών, (π.χ. οι διοξίνες(PCDD), πολυχλωριωμένα διβενζοφουράνια (PCDF) και τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCB), χρησιμοποιώντας την μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης. Στο συγκεκριμένο ΧΥΤΑ η αντίστροφη όσμωση επιτυγχάνει πλήρη αφαίρεση του COD και 98% της $\text{NH}_3\text{-N}$ από 97,4 mg/L και 33,7 mg/L, αντίστοιχα.

Σε μελέτη επεξεργασίας σταθεροποιημένου στραγγίσματος από το ΧΥΤΑ Ihlenberg (Γερμανία) έγινε αξιολόγηση χρησιμοποιώντας μεμβράνες RO και NF. Σε ροή 15 L/(m²h), η RO έδωσε ένα υψηλότερο ποσοστό απομάκρυνσης COD (99%) και 100% της $\text{NH}_3\text{-N}$, σε σχέση με NF (COD: 96%, $\text{NH}_3\text{-N}$: 58%). Γενικώς, η RO παρατηρείται να είναι πιο αποτελεσματική για την απομάκρυνση του COD και του $\text{NH}_3\text{-N}$, σε σχέση με την NF. Περισσότερο από 95% COD απομακρύνθηκε όπως και 96% $\text{NH}_3\text{-N}$ [5].

Η μέθοδος επεξεργασίας με αντίστροφη όσμωση παρά τα πλεονεκτήματά της, παρουσιάζει και μειονεκτήματα λόγω των μικρών μορίων που περνούν μέσω της μεμβράνης υποφέρει από βούλωμα και η παράταση της ζωής της μεμβράνης απαιτεί εξουδετέρωση των αιωρούμενων στερεών και του κολλοειδούς υλικού. Ο τύπος της μεμβράνης, το pH, η πίεση και η προεπεξεργασία είναι σημαντικοί παράγοντες για τον καθορισμό της αποτελεσματικότητας της διαδικασίας επεξεργασίας με αντίστροφη όσμωση. Άλλο ένα μειονέκτημα της RO είναι η μεγάλη κατανάλωση ενέργειας.



Σχήμα 2-5

Μονάδα αντίστροφης όσμωσης [24]

Τα χαρακτηριστικά ορισμένων μεμβρανών έχουν επιπτώσεις στην απόδοση επεξεργασίας των οργανικών ενώσεων και του αμμωνιακού αζώτου. Είναι ευρέως γνωστό ότι η μετάβαση του ύδατος μέσω των μεμβρανών εξαρτάται επίσης από το πορώδες, το υλικό, το πάχος, την τραχύτητα και τη φόρτιση της μεμβράνης. Είναι γνωστό ότι οι μεμβράνες πολυαμιδίων πετυχαίνουν την υψηλότερη απομάκρυνση οργανικών ενώσεων της $\text{NH}_3\text{-N}$, και μπορούν να εργαστούν σε ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών, έναντι εκείνων που αποτελούνται του πολυβινυλικού χλωριδίου.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η επιλογή της κατάλληλης μεμβράνης για την επεξεργασία στραγγίσματος εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως τα χαρακτηριστικά του υγρού αποβλήτου, της φύσης και της συγκέντρωσης των παρόντων συστατικών στο στράγγισμα, το pH και τη θερμοκρασία [5].

2.6.2.5 Ακτινοβολία γ

Η διάσπαση των δύσκολων ουσιών που περιέχονται στα στραγγίσματα έχουν μελετηθεί με τη χρήση ακτινοβολίας που επιφέρει οξείδωση κάτω από αερόβιες συνθήκες. Παρατηρείται μείωση του ολικού οργανικού άνθρακα με τελική μετατροπή του σε διοξείδιο του άνθρακα. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της επεξεργασίας με ακτινοβολία είναι η ικανότητα διάσπασης των περισσότερων οργανικών χωρίς την παραγωγή λάσπης. Για υψηλές συγκεντρώσεις οργανικών, απαιτούνται ισοδύναμα υψηλές δόσεις ακτινοβολίας για τον λόγο αυτό θεωρείται ακριβή επιλογή επεξεργασίας στραγγισμάτων. Ένας λιγότερο δαπανηρός και ταυτόχρονα πολύ αποτελεσματικός συνδυασμός είναι η ακτινοβολία γ (79 kGy σε pH 3) και θρόμβωση χλωριούχου σιδήρου υπό αναερόβιες συνθήκες, με 80% μείωση στα οργανικά [21].

2.6.2.6 Προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα

Προσρόφηση είναι μια διεργασία συσσώρευσης συστατικών που βρίσκονται σε ένα διάλυμα πάνω σε μια κατάλληλη διεπιφάνεια. Είναι μια διεργασία μεταφοράς μάζας κατά την οποία ένα συστατικό που βρίσκεται στην υγρή φάση μεταφέρεται στη στερεή φάση.

Η προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα είναι μια πολύ καλά ανεπτυγμένη μέθοδος επεξεργασίας, με αναφορές για υψηλά ποσοστά απομάκρυνσης στα περισσότερα οργανικά που βρίσκονται στα στραγγίσματα του ΧΥΤΑ, λόγω της μεγάλης ειδικής επιφάνειας που παρουσιάζει και κυμαίνεται από 600 έως 1000m²/gr. Δεν επιτυγχάνεται αποτελεσματική απομάκρυνση για οργανικά όπως είναι η ακετόνη και η μεθανόλη. Η μέθοδος αυτή έχει συχνά χρησιμοποιηθεί στην επεξεργασία βιομηχανικών εκροών (Πίνακας 2-7). Η χρήση της στην επεξεργασία στραγγισμάτων συνίσταται σε απομάκρυνση επικίνδυνων οργανικών συστατικών από βιομηχανικά επικίνδυνα απορρίμματα και αφαίρεση χρώματος και TOC, COD από τα σταθεροποιημένα στραγγίσματα. Μια σημαντική παράμετρος είναι η εκτίμηση της επικινδυνότητας κατά την διάρκεια της θερμικής αναγέννησης του ενεργού άνθρακα και την διαδοχική αποτέφρωση. Βρέθηκε ότι με μετα-καυστήρες όλα τα επικίνδυνα συστατικά καταστρέφονταν και δεν εκπέμπονταν επικίνδυνα αέρια.

Η εφαρμογή της μεθόδου αυτής στο Love Canal είχε την εξής απόδοση [14]:

- Ποσότητα ενεργού άνθρακα που απαιτούνταν: 1kg/m³ (μέση τιμή).
- Εισροή TOC: 780mg/L (μέση τιμή), (120-1960mg/L).
- Εκροή TOC: 98mg/L (μέση τιμή), (50-180mg/L).
- Ποσοστιαία απομάκρυνση: 87% (79-95%).
- Απορρόφηση TOC από τον ενεργό άνθρακα: ~ 680gr TOC /kg άνθρακα.

Τύπος στραγγίσματος	Παράμετρος	Εισροή (mg/L)	Εκροή (mg/L)	Απομάκρυνση %	Δόση Άνθρακα (kg/m ³)	Εκροή (gr/ kg)
Σταθεροποιημένη συνδιάθεση	TOC	407	130	68	5	55
Αερόβια Επεξεργασία Αστικών	COD	184	18,4	90	4	41
Αερόβια Επεξεργασία αστικών	COD	260- 530	-	80	1-20	265

Πίνακας 2-7

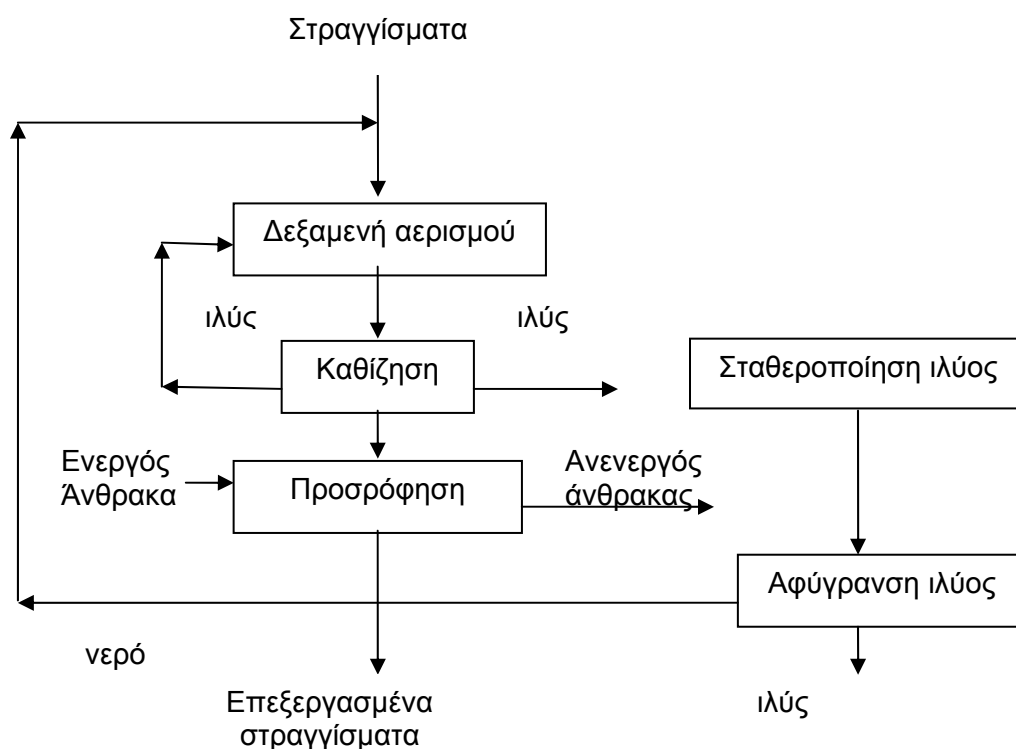
Αφαίρεση οργανικών ουσιών από τον ενεργοποιημένο άνθρακα [14]

Η προσρόφηση μπορεί να συνδυαστεί με το φιλτράρισμα ως προεπεξεργασία για την εμπόδιση εμφράγματος των θέσεων προσρόφησης και την περαιτέρω μείωση των επιπέδων των στερεών. Συνήθως χρησιμοποιούνται φίλτρα άμμου με την δυναμικότητα αντίστροφης πλύσης. Η προσροφητική δυναμικότητα εξαρτάται από τη μέθοδο προετοιμασίας, τις αποθηκευτικές συνθήκες, το μέγεθος των πόρων, την επιφάνεια και το pH του διαλύματος.

Η ποσότητα άνθρακα που απαιτούνταν για την απομάκρυνση του TOC είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή που θα περίμενε κανείς για την περίπτωση επεξεργασίας στραγγισμάτων από αστικά απορρίμματα. Επίσης, δεν υπάρχει πάντα ανάγκη για περαιτέρω επεξεργασία των στραγγισμάτων αυτών εκτός και αν μελέτες τοξικότητας ή αισθητικές προδιαγραφές το απαιτούν. Η μέθοδος της προσρόφησης με ενεργό άνθρακα είναι μια ακριβή επιλογή για την τελική επεξεργασία στραγγισμάτων από τυπικά αστικά απορρίμματα. Τα λειτουργικά και ενεργειακά έξοδα είναι υψηλά και κάνουν τη μέθοδο οικονομικά εφαρμόσιμη μόνο για την απομάκρυνση υπολειμμάτων οργανικών αλλά μόνο όταν τα ολικά διαλυμένα στερεά στο διάλυμα είναι λιγότερα από 200 mg/L. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται συνήθως μόνο για την

επεξεργασία στραγγισμάτων από παλιούς χώρους ταφής ή ως τριτοβάθμια επεξεργασία της τελικής εκροής από βιολογικές μονάδες που είναι εφικτή η μείωση του COD έως και 85% της αρχικής τιμής.

Παρόλα αυτά, η αυξημένη ισχύς των στραγγισμάτων από επικίνδυνα απορρίμματα καθιστά την μέθοδο αυτή πολλές φορές την μόνη εφικτή επιλογή επεξεργασίας. Ένα διάγραμμα ροής βιολογικής επεξεργασίας και προσρόφησης φαίνεται στο Σχήμα 2-6.



Σχήμα 2-6
Βιολογική επεξεργασία και προσρόφηση [18].

Ισόθερμες προσρόφησης

Η διεργασία της προσρόφησης περιγράφεται από τις λεγόμενες ισόθερμες προσρόφησης, οι οποίες αποτελούν μαθηματικές εκφράσεις της προσροφούμενης ουσίας ανά μονάδα μάζας προσροφητικού υλικού συναρτήσει της συγκέντρωσης του ίδιου συστατικού στο αρχικό προς επεξεργασία διάλυμα, σε συνθήκες ισορροπίας και σε σταθερή θερμοκρασία.

Κατά καιρούς έχουν αναπτυχθεί διάφορες ισόθερμες προσρόφησης (βλέπε **Error! Reference source not found.**), πιο σημαντικές από τις οποίες είναι οι εξής [15]:

- η γραμμική ισόθερμη
- η ισόθερμη Freundlich
- η ισόθερμη Langmuir

Γραμμική ισόθερμη

Η γραμμική ισόθερμη είναι σχετικά απλή και ισχύει στην περίπτωση διαλυμένων συστατικών κατά το μισό της διαλυτότητας τους.

Η μαθηματική έκφραση της γραμμικής ισόθερμης είναι: [15]

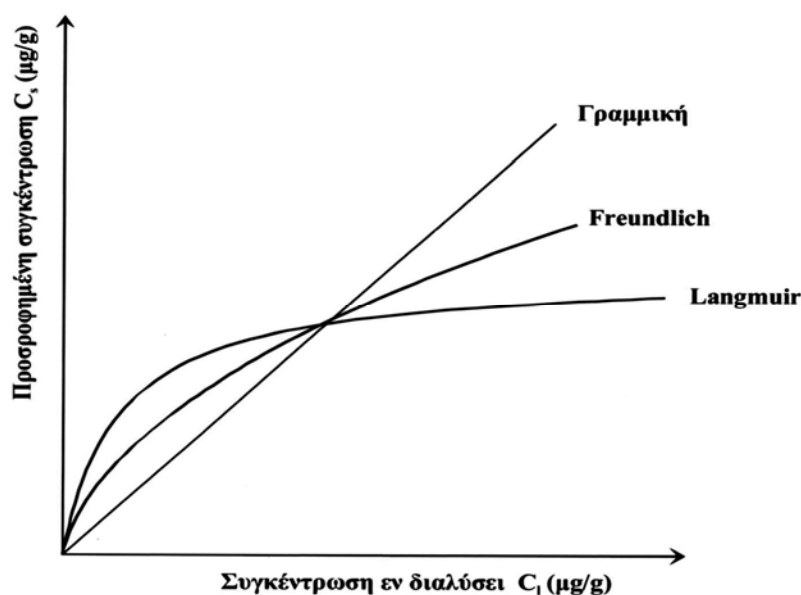
$$q_e = K_d \cdot C_e$$

όπου:

q_e : η ποσότητα της ουσίας που έχει προσροφηθεί ανά μονάδα προσροφητικού υλικού, σε συνθήκες ισορροπίας και σταθερής θερμοκρασίας

K_d : συντελεστής γραμμικής προσρόφησης

C_e : η συγκέντρωση της προσροφούμενης ουσίας στο διάλυμα, σε συνθήκες ισορροπίας και σταθερής θερμοκρασίας



Διάγραμμα 2-5

Γραμμική ισόθερμη και ισόθερμες Langmuir και Freundlich[15]

Ο συντελεστής γραμμικής προσρόφησης K_d αντιστοιχεί στην κλίση της ευθείας, που αποτελεί τη γραφική παράσταση της γραμμικής ισόθερμης προσρόφησης. Γραμμική ισόθερμη με έντονη κλίση δείχνει ότι η εξεταζόμενη ουσία παρουσιάζει μεγάλη τάση προσρόφησης στο χρησιμοποιούμενο προσροφητικό υλικό και έχει μεγάλη τιμή K_d . Αντιθέτως, μικρή κλίση της γραμμικής ισόθερμης προσρόφησης αντιστοιχεί σε χαμηλή τιμή K_d δείχνοντας ότι η εξεταζόμενη ουσία παρουσιάζει την τάση να παραμείνει στο διάλυμα.

Ο συντελεστής γραμμικής ισόθερμης προσρόφησης K_d μπορεί να προσδιοριστεί πειραματικά, από βιβλιογραφικές πηγές ή να εκτιμηθεί μέσω του συντελεστή κατανομής οργανικού άνθρακα K_{oc} . Ο συντελεστής ορίζεται ως η κλίση της καμπύλης $K_d = f(f_{oc})$.

Ισόθερμη Freundlich

Στην ισόθερμη Freundlich υποτίθεται ότι τα σημεία πλήρωσης είναι άπειρα, επομένως μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα σημεία που βρίσκονται μακριά από την πηγή όπου η συγκέντρωση είναι χαμηλή.

Η ισόθερμη Freundlich έχει την ακόλουθη μορφή:

$$q_e = K \cdot C_e^{1/n}$$

όπου:

q_e : η ποσότητα της ουσίας που έχει προσροφηθεί ανά μονάδα προσροφητικού υλικού
σε συνθήκες ισορροπίας και σταθερής θερμοκρασίας

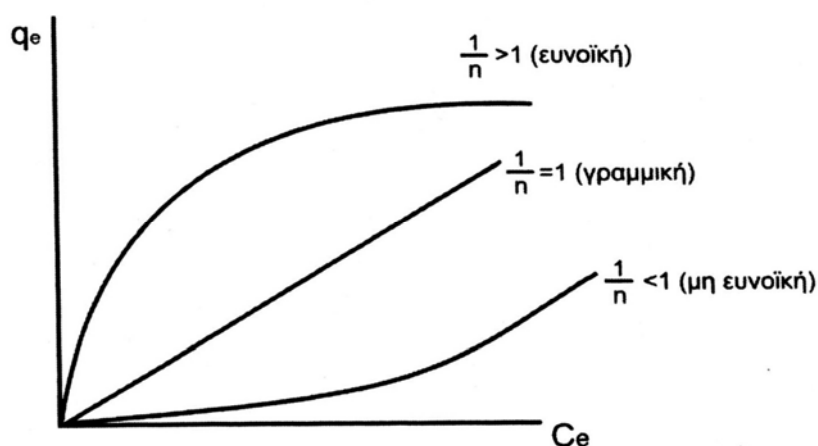
K : ο συντελεστής κατανομής της ισόθερμης Freundlich

C_e : η συγκέντρωση της προσροφούμενης ουσίας στο διάλυμα
σε συνθήκες ισορροπίας και σταθερής θερμοκρασίας

$1/n$: αδιάστατη παράμετρος της ισόθερμης Freundlich

Με βάση την τιμή του $1/n$ διακρίνονται οι εξής προσρόφησης (Διάγραμμα 2-6):

- αν $1/n \rightarrow 0$, η προσρόφηση είναι μη αντιστρεπτή
- αν $1/n=1$, η ισόθερμη είναι γραμμική
- αν $1/n < 1$, η ισόθερμη είναι ευνοϊκή
- αν $1/n > 1$, η ισόθερμη είναι μη ευνοϊκή



Διάγραμμα 2-6

Ταξινόμηση ισόθερμων προσρόφησης Freundlich με βάση
την παράμετρο $1/n$ [19].

Η γραμμική μορφή της ισόθερμης Freundlich παράγεται με
λογαρίθμηση της πιο πάνω εξίσωσης οπότεν γίνεται:

$$\log q_e = \log K + \frac{1}{n} \log C_e$$

Οι όροι K και $1/n$ μπορούν να προσδιοριστούν από την κλίση και την
τεταγμένη επί την αρχή της ευθείας των ελαχίστων τετραγώνων, που

προκύπτει από πειραματικά δεδομένα προσρόφησης σε συνδυασμό με την παραπάνω εξίσωση [15]. Στις περισσότερες περιπτώσεις εφαρμογών μηχανικής περιβάλλοντος η ισόθερμη είναι ευνοϊκή, γιατί πρόκειται για προσρόφηση υδρόφοβων οργανικών ουσιών [19].

Ισόθερμη Langmuir

Η ισόθερμη Langmuir περιγράφει την γραμμική αρχικά αύξηση της προσροφημένης ποσότητας του ρύπου ως προς την συγκέντρωση του, που στη συνέχεια φτάνει σε ένα άνω όριο και τείνει προς την οριζόντια. Αυτό συμβαίνει λόγω της σταδιακής πλήρωσης των ελεύθερων θέσεων. Η ισόθερμη αυτή περιγράφει πλήρως την προσρόφηση στην περιοχή του ρύπου όπου η συγκέντρωση του είναι υψηλή.

Η ισόθερμη Langmuir είναι η πιο κοινή από όλες τις ισόθερμες που χρησιμοποιούν δύο παραμέτρους και έχει την ακόλουθη μορφή :

$$q_e = \frac{Q \cdot b \cdot C_e}{1 + b \cdot C_e}$$

όπου:

q_e : η ποσότητα της ουσίας που έχει προσροφηθεί ανά μονάδα προσροφητικού υλικού σε συνθήκες ισορροπίας και σταθερής θερμοκρασίας

C_e : η συγκέντρωση της προσροφούμενης ουσίας στο διάλυμα σε συνθήκες ισορροπίας και σταθερής θερμοκρασίας

Q : παράμετρος της ισόθερμης Langmuir

b : παράμετρος της ισόθερμης Langmuir

Η παραπάνω εξίσωση είναι δυνατό να γίνει γραμμική με αντιστροφή της και διαχωρισμό των μεταβλητών και προκύπτει η εξής:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{b \cdot Q} + \frac{C_e}{Q}$$

Ο υπολογισμός των παραμέτρων b και Q , επιτυγχάνεται με γραμμική παλινδρόμηση. Ο όρος $1/Q$, είναι η κλίση της ευθείας που προκύπτει ενώ ο όρος $1/b \cdot Q$, είναι η τομή της ευθείας με τον άξονα yy' [15,19].

2.6.2.7 Χημική Οξειδωση-Οξειδωση με υποχλωριώδες άλας

Το υποχλωριώδες άλας έχει προσελκύσει την προσοχή της επιστημονικής κοινότητας για δύο κυρίως λόγους στην επεξεργασία στραγγισμάτων. Οι λόγοι αυτοί είναι: α) η οξειδωση της υπολειπόμενης αμμωνίας και β) η απολύμανση της εκροής των επεξεργασμένων απορριμμάτων. Σε μια περίπτωση, οι διαδικασίες νιτροποίησης ήταν ανίκανες να ανταποκριθούν στις προδιαγραφές απομάκρυνσης αμμωνίας κατά την διάρκεια χαμηλών θερμοκρασιών. Γνωρίζοντας ότι από μόνο του το μόριο του χλωρίου μπορεί να οξειδώσει αποτελεσματικά μια ποικιλία χημικών ενώσεων όπως είναι η αμμωνία, μερκαπτάνες, σουλφίδια κ.α., χορηγήθηκε δόση υποχλωριώδους άλατος νατρίου για την μείωση της αμμωνίας. Έτσι η χορήγηση δόσης υποχλωριώδους άλατος νατρίου σε μια συγκέντρωση που κυμαίνεται από 115 έως 186 mg/L (ως Cl_2), μείωσε τις συγκεντρώσεις αζώτου, αμμωνίας από περίπου 160 mg/L σε 30 mg/L [14].

Η απολύμανση επεξεργασμένων στραγγισμάτων (COD 150 mg/L, $\text{NH}_3\text{-N}$ 1,8 mg/L, pH 7,4) μπόρεσε να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας παρόμοιες δόσεις υποχλωριώδους άλατος (10 έως 140 mg/L NaOCl). Υψηλότερες δόσεις απαιτήθηκαν για να επιτύχουν ένα επίπεδο αδρανοποίησης για τους ιούς από ότι για τα κολοβακτηρίδια και σε όλες τις περιπτώσεις η έκταση της αδρανοποίησης εξαρτήθηκε ιδιαίτερα και από δόση και από το χρόνο της επαφής. Οι χρόνοι επαφής κυμαίνονταν από 2 έως 100 min. Το υποχλωριώδες άλας νατρίου είναι πιθανό να έχει περιορισμένη εφαρμογή στην επεξεργασία επικίνδυνων απορριμμάτων. Στην απολύμανση δεν απαιτείται πάντα το υποχλωριώδες άλας λόγω του ότι παρουσιάζει δύο μειονεκτήματα:

- α) μπορεί σημαντικά να αυξήσει τις διαλυμένες συγκεντρώσεις στερεών και
- β) υπάρχει κίνδυνος μερικές οργανικές ενώσεις να διαμορφώσουν χλωριωμένα παράγωγα που μπορούν είναι περισσότερο επικίνδυνα από τις αρχικές ενώσεις.

Άλλα οξειδωτικά είναι: το όζον (O_3), το υπερμαγγανικό κάλιο (KMnO_4) και διαδικασίες όπως η υγρή οξειδωση με αέρα.

Λόγω της διαλυτότητας, των περιορισμών μεταφοράς μάζας και του κόστους παραγωγής, το όζον είναι εφαρμόσιμο μόνο σε απόβλητα συνεχούς ροής που περιέχουν λιγότερο από 1% οξειδώσιμα υλικά. Τόσο το όζον όσο και το υπεροξείδιο του υδρογόνου προτιμούνται σε σχέση με τη χλωρίωση για την οξείδωση του υδρογόνου του στραγγίσματος αφού δεν παράγονται υποπροϊόντα. Τα χημικά οξειδωτικά είναι πιο ακριβά για χρήση γι' αυτό και είναι οικονομικά αποδεκτά μόνο για στραγγίσματα με χαμηλή αναλογία BOD/COD και χαμηλές συγκεντρώσεις οργανικών. Η χρήση αλογονομένων οξειδωτικών έχει αναφερθεί ότι παράγει υψηλής τοξικότητας αλογονομένα οργανικά συστατικά.

Αν και μερικά από αυτά έχουν ερευνηθεί σχετικά με την επεξεργασία των στραγγισμάτων, δεν έχει αποδειχθεί να έχουν οποιαδήποτε σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι άλλων μεθόδων.

2.6.3 Βιολογική επεξεργασία

Οι γενικοί στόχοι της βιολογικής επεξεργασίας των αστικών λυμάτων είναι:

- να μετατρέψει (δηλαδή να οξειδώσει) διαλυμένα και σωματιδιακά βιοαποικοδομήσιμα συστατικά σε αποδεκτά τελικά προϊόντα
- να συλλέξει και να ενσωματώσει αιωρούμενα και μη καθιζάνοντα κολλοειδή στερεά σε ένα βιολογικό συσσωμάτωμα ή βιοφίλμ
- να μετατρέψει ή να απομακρύνει θρεπτικά, όπως άζωτο και φώσφορο και
- σε μερικές περιπτώσεις, να απομακρύνει συγκεκριμένα ίχνη οργανικών συστατικών και ενώσεων [24].

Οι τεχνικές βιολογικής επεξεργασίας είναι σημαντικό μέρος πολλών συστημάτων διαχείρισης στραγγισμάτων, ακόμη και για περιοχές που δέχονται επικίνδυνα απορρίμματα. Σε πολλές τέτοιες περιοχές τα στραγγίσματα περιέχουν ακόμα υψηλές συγκεντρώσεις διασπάσιμων ενώσεων άνθρακα ή/ και αμμωνίας. Για αυτά τα συστατικά οι βιολογικές τεχνικές προσφέρουν τη πιο αξιόπιστη και οικονομική επεξεργασία. Επίσης, μπορούν να επηρεάσουν την ικανότητα αφαίρεσης σιδήρου (Fe), μαγγανίου

(Mn) και άλλων μετάλλων, αλλά δεν σχεδιάζονται γι' αυτό το σκοπό. Πολλές βιολογικές διαδικασίες είναι επίσης ικανές να επεξεργαστούν, ή να ανεχτούν, συγκεκριμένα επικίνδυνα συστατικά όπως τα κυανίδια, οι φαινόλες.

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται αερόβιες και αναερόβιες τεχνικές στην επεξεργασία των στραγγισμάτων. Περισσότερη έμφαση έχει δοθεί στις αερόβιες σε σχέση με τις αναερόβιες διαδικασίες. Οι αερόβιες διαδικασίες, παρά τα αυξημένα λειτουργικά κόστη, έχουν μερικά πλεονεκτήματα. Είναι γενικά ευκολότερο να ελεγχθούν, πιο ανεκτικές σε διακυμάνσεις και λιγότερο ευαίσθητες στην τοξική παρεμπόδιση. Επιπλέον, η αφαίρεση αμμωνίας από τα στραγγίσματα δεν μπορεί να επιτευχθεί με αναερόβιες διαδικασίες.

2.6.3.1 Αερόβιες διαδικασίες

Δύο σημαντικοί τύποι στραγγισμάτων μπορούν να εξεταστούν:

- Στραγγίσματα στα οποία οι υψηλές και μέσες συγκεντρώσεις του διασπάσιμου οργανικού άνθρακα αντιμετωπίζονται με την αφαίρεση του συνόλου ή μέρους της αμμωνίας λόγω νέας κυτταρικής αύξησης
- Σταθεροποιημένα στραγγίσματα στα οποία η αμμωνία είναι ο βασικός μολυσματικός παράγοντας και στα οποία πρέπει να επιτευχθεί η νιτροποίηση.

Οι περισσότερες έρευνες έχουν αναφερθεί στον πρώτο τύπο. Κοινή εντύπωση ήταν η παρατήρηση ότι τα στραγγίσματα είναι σταθερά όσον αφορά την επάρκεια σε φώσφορο. Χορήγηση δόσης με φώσφορο για την επίτευξη του λόγου συνολική απαίτηση οξυγόνου/φώσφορο ίσου με 100/1 έχει βρεθεί γενικά να είναι ικανοποιητική. Στη συνέχεια θα συζητηθεί αρχικά η αφαίρεση του διασπάσιμου οργανικού άνθρακα.

2.6.3.2 Σταλακτικό φίλτρο

Διάφορες προσπάθειες έχουν γίνει χρησιμοποιώντας σταλακτικά φίλτρα (trickling filters) για την επεξεργασία στραγγισμάτων. Σχεδόν πάντα έχουν εμφανιστεί προβλήματα λόγω της καθίζησης και της συγκέντρωσης ανόργανων στερεών. Σε ένα παράδειγμα [7] χρησιμοποιήθηκε ένα φίλτρο δύο σταδίων που περιείχε $176,5\text{m}^3$ πλαστικών μέσων σε τυχαία τοποθέτηση. Το εγχείρημα έλαβε χώρα κατά τη χειμερινή περίοδο όπου εμφανίστηκαν προβλήματα με τη συγκέντρωση υδροξειδίου του σιδήρου. Εντούτοις, μια ποσότητα στραγγισμάτων $164\text{ m}^3/\text{d}$ και BOD_5 περίπου 2100 mg/L αντιμετωπίστηκαν τελικά σε ικανοποιητικά επίπεδα, σε επίπεδα οργανικού φορτίου έως $2\text{kg BOD}_5/\text{m}^3$.

Παρόμοια προβλήματα με την απόφραξη έχουν εμφανιστεί και σε άλλα συστήματα επεξεργασίας. Σε μερικές περιπτώσεις η βασική αιτία είναι το ανθρακικό άλας του ασβεστίου παρά το υδροξείδιο του σιδήρου. Αυτά τα προβλήματα μπορούν να αποφευχθούν, είτε με προεπεξεργασία είτε με δημιουργία ανοικτών λιμνοδεξαμενών μεγάλου χρόνου παραμονής πριν από την επεξεργασία. Αυτές επιτρέπουν την καθίζηση ιζημάτων ασβεστίου και σιδήρου προτού εισαχθεί το στράγγισμα στην εγκατάσταση [26].

2.6.3.3 Ενεργός ιλύς

Η ενεργός ιλύς έχει χρησιμοποιηθεί με μεγαλύτερη επιτυχία από τα σταλακτικά φίλτρα αν και έχουν παρουσιαστεί και σε αυτά λειτουργικά προβλήματα.

Στις εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος έχει αποδειχθεί ότι δεν είναι πάντα εύκολο να διατηρηθεί η βιομάζα στον βιολογικό αντιδραστήρα. Εν μέρει αυτό οφείλεται σε ελλιπή σχεδιασμό και κακή λειτουργία της καθίζησης και της ανακυκλοφορίας. Στις περιπτώσεις που δεν εφαρμόστηκε προεπεξεργασία στα στραγγίσματα για την απομάκρυνση του σιδήρου και του ασβεστίου υπήρχε μια τάση για σχηματισμό ανόργανων στερεών μέσα στον αντιδραστήρα. Στην περίπτωση επεξεργασίας στραγγισμάτων τα πτητικά αιωρούμενα στερεά θα είναι περίπου 50% των συνολικών στερεών στον

αντιδραστήρα. Σε μερικές περιπτώσεις η συγκέντρωση των ανόργανων στερεών συνεχίστηκε σε τέτοιο σημείο που απαιτήθηκε ενίσχυση της μικροβιακής δραστηριότητας χρησιμοποιώντας ιλύ από μια κοντινή ΜΕΥΑ. Αυτό βέβαια μπορεί να αποδειχθεί οικονομικότερο σε μικρές μονάδες από την εφαρμογή προεπεξεργασίας για την αφαίρεση των ανόργανων στερεών.

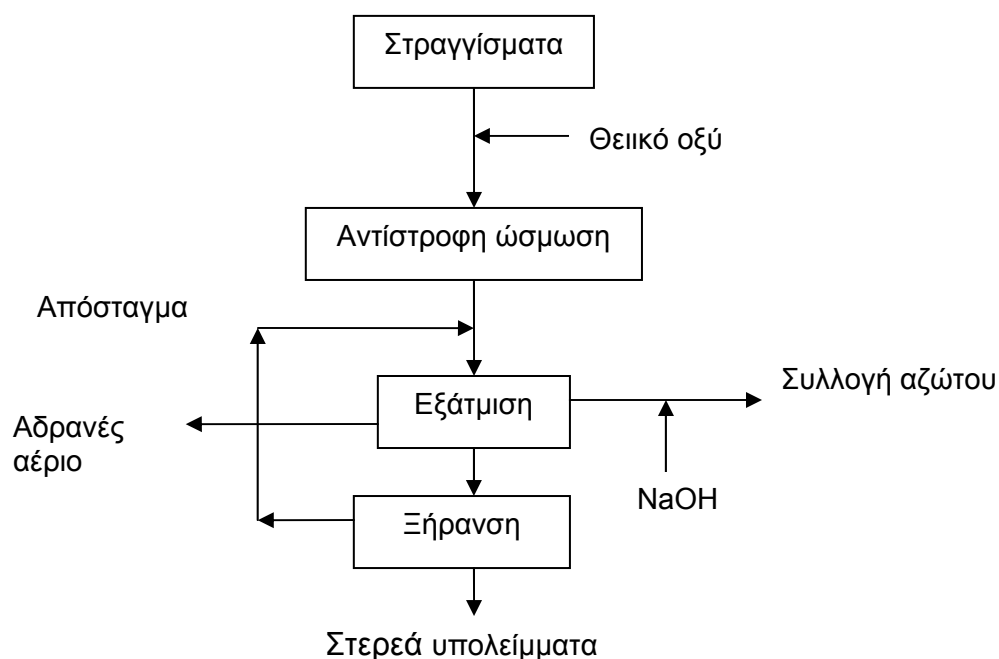
Συστήματα ενεργού ιλύος έχουν χρησιμοποιηθεί συχνά στις βιομηχανικές εφαρμογές όπου οι εκροές περιλαμβάνουν επικίνδυνες οργανικές ενώσεις, όπως οι φαινόλες. Η ενεργός ιλύς μπορεί να μεταχειριστεί πράγματι ένα ευρύ φάσμα οργανικών συστατικών, υπό τον όρο ότι η συγκέντρωσή τους δεν είναι πάρα πολύ υψηλή και ότι ελαχιστοποιείται η πιθανότητα απότομης φόρτωσης. Στραγγίσματα που περιέχουν επικίνδυνα συστατικά, κάτω από μερικές προϋποθέσεις μπορούν να επεξεργαστούν από τις εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος.

Σε μια άλλη περίπτωση [8,9], η υπάρχουσα διαδικασία βελτιστοποιήθηκε με την ενσωμάτωση ενός βιοαντιδραστήρα μεμβράνης (Membrane Bio Reactors, MBR) και διαδικασία αντίστροφης όσμωσης (Reverse Osmosis, RO). Σε αυτή την περίπτωση το πρόβλημα ήταν ότι ο ΧΥΤΑ ήταν αρκετά ώριμος και τα στραγγίσματα πλέον χαρακτηρίζονταν από χαμηλή βιοαποδομησιμότητα. Επιπλέον δύσκολη ήταν και η απονιτροποίηση. Ο MBR αντιδραστήρας (5m^2 , $0,1\mu\text{m}$) αύξησε την ικανότητα απομάκρυνσης της βιοαποδομήσιμης οργανικής ύλης και τον ρυθμό απονιτροποίησης ενώ η RO ($6,7\text{m}^2$, 99% NaCl rejection) χρησιμοποιήθηκε για την φυσική απομάκρυνση των εναπομείναντων νιτρικών ιόντων και της μη βιοαποδομήσιμης οργανικής ύλης.

Η τεχνολογία των μεμβρανών χρησιμοποιήθηκε και από άλλους με σκοπό την βιολογική επεξεργασία στραγγισμάτων. Στην συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν υβριδικά συστήματα:

- ενεργός ιλύς – χημική οξείδωση,
- ενεργός ιλύς – υπερδιήθηση – χημική οξείδωση,
- ενεργός ιλύς – υπερδιήθηση – αντίστροφη ώσμωση.

Από τις παραπάνω διεργασίες αυτή με την βέλτιστη απόδοση ήταν ο συνδυασμός της βιολογικής επεξεργασίας με τεχνικές μεμβρανών υπό πίεση (pressure driven membrane techniques) όπως η υπερδιήθηση και η αντίστροφη ώσμωση.



Σχήμα 2-7

Επεξεργασία στραγγισμάτων με αντίστροφη όσμωση [18].

Η εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου είχε τόσο καλά αποτελέσματα που κατέστη δυνατή η διάθεση των επεξεργασμένων στραγγισμάτων κατευθείαν στον υδάτινο αποδέκτη. Τα ανόργανα στερεά έχουν προκαλέσει επίσης προβλήματα απόφραξης των σωλήνων παροχής αέρα. Ο αφρισμός είναι μια σοβαρή ενόχληση για τις μονάδες ενεργού ιλύος που χρησιμοποιούν συστήματα διάχυσης αερισμού. Τα αντιαφρώδη μέσα μπορούν να βοηθήσουν στο πρόβλημα αλλά μια οικονομικότερη εναλλακτική λύση είναι ο ψεκασμός των στραγγισμάτων πάνω στον αφρό. Η προσέγγιση αυτή χρησιμοποιήθηκε με επιτυχία στη Γερμανία [10].

Τα στραγγίσματα πολλές φορές γίνονται διαβρωτικά σε απροστάτευτους σωλήνες και εγκαταστάσεις. Ως συνέπεια της υψηλής αλατότητας τους, ο χάλυβας, ο γαλβανισμένος χάλυβας και τα στοιχεία αλουμινίου έχουν υποστεί φθορές και γι' αυτό το λόγο πρέπει τα υλικά αυτά να προστατεύονται ή να αποφεύγονται. Εάν τα στραγγίσματα περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις οργανικών διαλυτών τότε οποιοδήποτε συνθετικό υλικό πρόκειται να χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να εξεταστεί. Για τα στραγγίσματα από αστικά απορρίμματα αλλά και από ΧΥΤΑ, υλικά όπως το PVC και το πολυπροπυλένιο έχουν κριθεί κατάλληλα προς χρήση.

2.6.3.4 Αεριζόμενες λίμνες

Οι αεριζόμενες λίμνες έχουν αποδειχθεί πολύ απλές σε λειτουργία και μπορούν να αποφύγουν πολλά από τα προβλήματα των μονάδων ενεργού ιλύος, ιδιαίτερα εάν χρησιμοποιούνται σε ημισυνεχή βάση (batch). Απλές μονάδες έχουν κατασκευαστεί σε περιοχές χρησιμοποιώντας συνθετικές μεμβράνες ως φραγμούς και ως μέσα για τον αερισμό. Υδραυλικοί χρόνοι παραμονής 10-20 ημερών έχουν αποδειχθεί επαρκής για τις αεριζόμενες λίμνες.

Μια πιο λεπτομερή περιγραφή όσον αφορά την απόδοση της διεργασίας σε πραγματική ή πιλοτική κλίμακα ώστε να αναπτυχθούν κινητικές σταθερές έχουν παρουσιαστεί σε μελέτες. Στο Πίνακα 2-8 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από μια αξιολογη μελέτη στο Ηνωμένο Βασίλειο [11] μαζί με μερικά περιορισμένα στοιχεία διαθέσιμα από άλλες μελέτες. Τα ποσοστά οργανικού άνθρακα και οι ρυθμοί παραγωγής στερεών έχουν εκφραστεί χρησιμοποιώντας το COD αντί το BOD₅. Τα αποτελέσματα από όλες αυτές τις πιλοτικής κλίμακας μελέτες έχουν δείξει ότι οι πραγματικές απομακρύνσεις COD υπερβαίνουν την τιμή BOD₅ που μετρίεται στα εισρέοντα στραγγίσματα. Για τα υψηλής ισχύος στραγγίσματα με υψηλή αναλογία BOD₅/ COD, το COD είναι καλύτερος δείκτης από το BOD₅ της συγκέντρωσης του βιολογικά οξειδώσιμου υλικού που θα αφαιρεθεί κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας.

Μέχρι στιγμής δεν έχουν δημοσιευθεί αρκετά αποτελέσματα για την παροχή λεπτομερούς γνώσης των σχέσεων μεταξύ των οργανικών φορτίων, της θερμοκρασίας και της ποιότητας εκροής για αυτόν τον τύπο στραγγισμάτων. Οι αφαιρέσεις οργανικών που πραγματοποιούνται είναι υψηλές σε σχέση άλλων υγρών αποβλήτων και το BOD της εκροής είναι αρκετά χαμηλό για διάθεση. Δοκιμές έχουν δείξει ότι πλήρη αφαίρεση της αμμωνίας θα επιτυγχανόταν σε στραγγίσματα με λόγο BOD/N ίσο ή υψηλότερο από 28:1, καθαρά λόγω της απαίτησης αζώτου για την αύξηση κυττάρων. Επιβάλλεται μια περαιτέρω μελέτη της αφαίρεσης του αζώτου σε στραγγίσματα μέσης ισχύος όπου υπάρχει η δυνατότητα για νιτροποίηση/απονιτροποίηση. Ένα πρόβλημα στην εκροή που παρουσιάζεται

κατά την επεξεργασία των στραγγισμάτων είναι τα αιωρούμενα στερεά. Οι συγκεντρώσεις στην εκροή είναι μεγαλύτερες από 100 mg/L [26].

Μέχρι στιγμής παρατηρείται μια περαιτέρω δυνατότητα επεξεργασίας έτσι ώστε να ικανοποιούνται τα εκάστοτε όρια για διάθεση σε έναν αποδέκτη, ιδιαίτερα όσον αφορά την αμμωνία και τα αιωρούμενα στερεά. Η προσθήκη πολυηλεκτρολυτών για τη βελτίωση της αφαίρεσης στερεών, ο ψεκασμός του εδάφους και οι λίμνες ωρίμανσης είναι όλες μέθοδοι που έχουν χρησιμοποιηθεί επιτυχώς στην πράξη.

	6 °C	12,6 °C	20 °C	Αύγουστος – Μάιος	Ιούλιος – Αύγουστος
Είδος ΧΥΤΑ	Αστικά απορρίμματα			Συνδιάθεση	
Εισροή					
COD	11741	11585	16175	6481	9783
BOD ₅	9220	8980	9686	3564	5966
NH ₃ -N	279	320	535	286	738
SS	294	791	9736	147	663
Εκροή					
COD	215	460	471	939	1088
BOD	20	19	29	118	464
NH ₃ N	6	37	3	80	6,3
SS	42	123	119	101	478
Φορτίο					
kg COD/kgVSS.d	0,17	0,24	0,33	-	-
kg COD/m ³ .d (4000mg/L VSS)	0,68	0,96	1,32	3,5	2,5
Παραγωγή στερεών					
kgVSS.d/ kg COD	0,22	0,25	0,27	-	-
kg SS/ kg COD(55%)VSS	0,40	0,45	0,49	-	-
Χρόνος παραμονής στερών, θ_c, (d)	27	17	11,5	-	-

Πίνακας 2-8

Επεξεργασία υψηλής ισχύος στραγγισμάτων με ενεργό ιλύ /αεριζόμενες λίμνες [11].

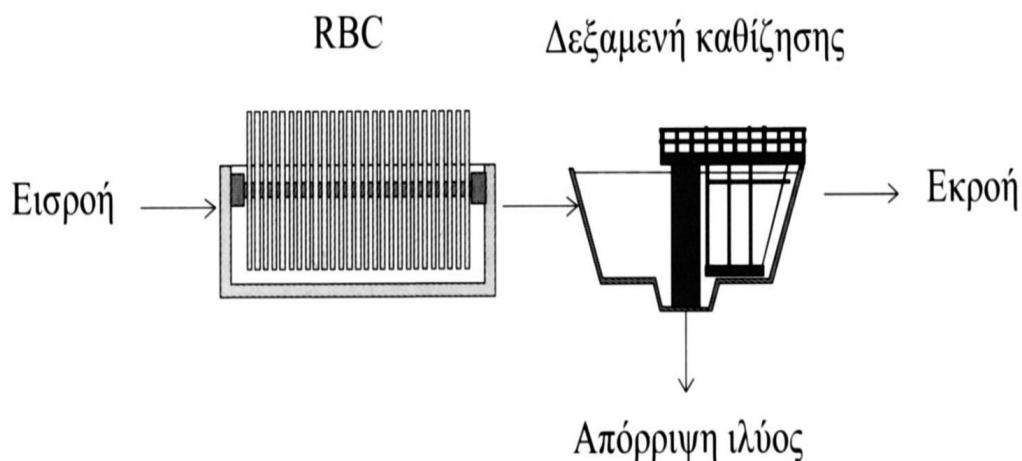
Εάν η δοκιμή τοξικότητας των στραγγισμάτων επικίνδυνων απορριμμάτων δείξει ότι περαιτέρω επεξεργασία είναι απαραίτητη εκτός της φυσικής ή χημικής επεξεργασίας τότε ίσως απαιτηθεί επεξεργασία με ενεργοποιημένο άνθρακα. Συστήματα ενεργού ιλύος έχουν χρησιμοποιηθεί συχνά στις βιομηχανικές εφαρμογές όπου οι εκροές περιλαμβάνουν επικίνδυνες οργανικές ενώσεις, όπως οι φαινόλες.

Η ενεργός ιλύς μπορεί να μεταχειριστεί πράγματι ένα ευρύ φάσμα οργανικών συστατικών, υπό τον όρο ότι η συγκέντρωση τους δεν είναι πάρα πολύ υψηλή και ότι ελαχιστοποιείται η πιθανότητα απότομης φόρτωσης. Στραγγίσματα που περιέχουν επικίνδυνα συστατικά, κάτω από μερικές προϋποθέσεις μπορούν να επεξεργαστούν από τις εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος.

2.6.3.5 Περιστρεφόμενοι βιολογικοί δίσκοι (RBC)

Οι περιστρεφόμενοι βιολογικοί δίσκοι (RBC), εγκαταστάθηκαν πρώτα στη Δυτική Γερμανία το 1960 και αργότερα εισήχθησαν στις ΗΠΑ. Εκατοντάδες εγκαταστάσεις RBC's εγκαταστάθηκαν το 1970 και η διεργασία έχει αξιολογηθεί σε μεγάλο αριθμό αναφορών. Η χρήση περιστρεφόμενων βιολογικών δίσκων (RBC), χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία και τη νιτροποίηση (nitrification). Τα RBC's αποτελούνται από μια σειρά στενά τοποθετημένων κυκλικών δίσκων από πολυστυρένιο ή πολυβινιλοχλωρίδιο οι οποίοι είναι εμβαπτισμένοι στα υγρά απόβλητα και περιστρέφονται δια μέσου αυτών (βλ. Σχήμα 2-8) [24].

Η γενική αρχή που τα διέπει είναι να επιστρέφεται η ροή των υγρών αποβλήτων στη δεξαμενή και συγχρόνως να περιστρέφεται το μέσο προσκόλλησης στα απορρίμματα, ώστε εναλλασσόμενα να εκθέτει το μέσο προσκόλλησης (και την προσκολλούμενη βιομάζα) στον αέρα και στο υγρό. Τα υγρά απόβλητα ρέουν δια μέσου των δίσκων και τα στερεά προκαλούν έμφραξη. Παρόμοια με ένα βιολογικό φίλτρο, τα συστήματα του RBC απαιτούν προεπεξεργασία της πρωτογενούς καθίζησης ή της λεπτής οθόνης και δευτεροβάθμια καθίζηση για το διαχωρισμό υγρών/ στερεών [24].



Σχήμα 2-8

Διάγραμμα ροής για RBC [25].

Συγκρίνοντας ένα RBC με ένα συμβατικό σύστημα ενεργούς ιλύος για την αποτοξικότητα ενός επικίνδυνου χείμαρρου στραγγισμάτων, βρέθηκε ότι οι αποδόσεις της απομάκρυνσης μεταβάλλονταν από 50-95% τόσο για τα οργανικά όσο και για τα τοξικά συστατικά. Με ένα σύστημα RBC επιτυγχανόταν μεγαλύτερη απομάκρυνση οργανικών και βαρέων μετάλλων και έδειξε μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στη ταρακούνηση των οργανικών και τοξικών φορτίων από ότι τα συστήματα ενεργού ιλύος.



Σχήμα 2-9

Τυπική μονάδα RBC (εμβαπτιζόμενος RBC εξοπλισμένος με δοχεία παγίδευσης αέρα) [24].

2.6.3.6 Συστήματα δεξαμενών εναλλασσόμενων φάσεων (SBR)

Το σύστημα δεξαμενών εναλλασσόμενης λειτουργίας (SBR) αποτελεί παραλλαγή του συστήματος ενεργού ιλύος και πραγματοποιείται στην ημισυνεχή λειτουργία της μονάδας. Η μέθοδος επεξεργασίας των στραγγισμάτων με την τεχνολογία SBR, αποτελεί σχετικά πρόσφατη εξέλιξη και έχει εφαρμοστεί επιτυχώς στο εξωτερικό με αντίστοιχα έργα. Η ενεργός ιλύς καθορίζεται ως η διασπορά ζωντανών και μη μικροοργανισμών, στα υγρά απόβλητα. Η μέθοδος της ενεργού ιλύος περιλαμβάνει δύο μεμονωμένες διεργασίες: αερισμό και καθίζηση, οι οποίες πραγματοποιούνται συνήθως σε ξεχωριστές δεξαμενές. Οι ίδιες διεργασίες εφαρμόζονται και κατά τη μέθοδο του SBR, με τη διαφορά ότι πραγματοποιούνται διαδοχικά εντός της δεξαμενής.

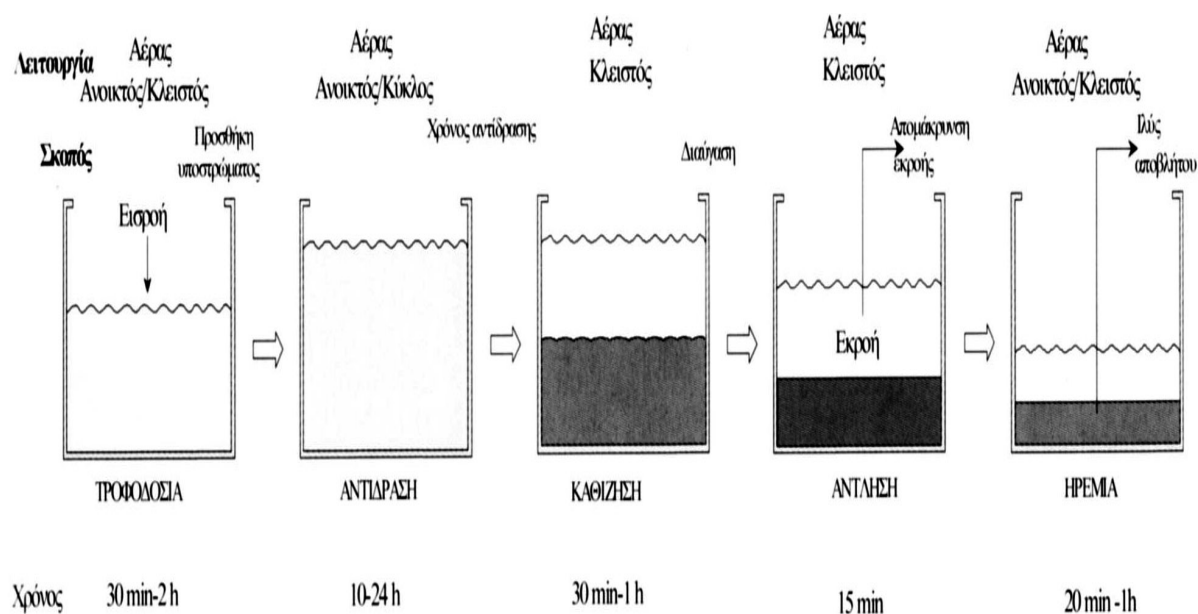
Όλα τα συστήματα SBR έχουν πέντε κοινά βήματα και διεξάγονται με τη σειρά που ακολουθείται:

- πλήρωση,
- αντίδραση(αερισμός)
- ηρεμία(καθίζηση/ διαύγαση)
- άντληση(άδειασμα)
- παύση

Κάθε ένα από αυτά τα βήματα παρουσιάζεται στο Σχήμα 2-10.

Κατά τη διάρκεια αερισμού των απορριμμάτων πραγματοποιείται ανάμιξη και παροχή οξυγόνου, το οποίο ενεργοποιεί τους μικροοργανισμούς που υπάρχουν στο μίγμα. Η βιομάζα καταναλώνει το υπόστρωμα κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες περιβάλλοντος. Κατά τη φάση αυτή οι οργανικές ουσίες μεταβάλλονται και παράγονται τα τελικά προϊόντα και νέα βιομάζα. Η ανάμιξη πρέπει να επαρκεί ώστε να εμποδίζεται η καθίζηση των μικροοργανισμών και να επιτυγχάνεται πλήρης ανάμιξη του υγρού. Η δεύτερη διεργασία που λαμβάνει χώρα, είναι ο διαχωρισμός της βιομάζας και των άλλων αιωρούμενων στερεών από το υγρό, με καθίζηση. Τα στερεά αφήνονται να διαχωριστούν από το υγρό κάτω από συνθήκες ηρεμίας, με αποτέλεσμα ένα διαυγασμένο υπερκείμενο υγρό να μπορεί να αποβληθεί ως εκροή [24].

Οι παραπάνω βασικές διεργασίες σε ένα σύστημα SBR πραγματοποιούνται σε μια δεξαμενή, εφαρμόζοντας χρονικά διακριτές φάσεις λειτουργίας ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα επεξεργασίας.



Σχήμα 2-10

Διάγραμμα ροής αντιδραστήρα SBR [26].

Έχει αποδειχθεί ότι το σύστημα SBR προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα, ειδικά στην περίπτωση της επεξεργασίας στραγγισμάτων. Με την τεχνολογία αυτή επιτυγχάνονται υψηλές αποδόσεις που χαρακτηρίζουν τα συστήματα ενεργού ιλύος, δεδομένου ότι είναι εφικτή η αύξηση της περιεχόμενης βιομάζας στα επιθυμητά επίπεδα. Στη μέθοδο αυτή, οι υψηλές συγκεντρώσεις οργανικού φορτίου που χαρακτηρίζουν τα στραγγίσματα έχουν σαν συνέπεια υψηλούς ρυθμούς αντίδρασης. Ακόμη υπάρχει εξοικονόμηση χώρου και επενδυτικού κόστους γιατί δεν απαιτείται επιπλέον δεξαμενή καθίζησης για τη διαύγαση των υγρών. Εκτιμάται, ότι το σύστημα SBR ικανοποιεί πλήρως τις απαιτήσεις με τις εκροές των επεξεργασμένων στραγγισμάτων και χαρακτηρίζεται από τα εξής πρόσθετα πλεονεκτήματα:

- Λόγω της ημισυνεχούς λειτουργίας του συστήματος προσαρμόζεται ευκολότερα στις σχετικά ισχυρές διακυμάνσεις της ποιότητας των

στραγγισμάτων καθώς και στις διακυμάνσεις δυσκολίας όσον αφορά στη βιοαποδομησιμότητα των συστατικών των στραγγισμάτων.

- Η ημισυνεχής λειτουργία του συστήματος επιτρέπει την προσαρμογή της μεθόδου επεξεργασίας ώστε να ικανοποιεί τις απαιτήσεις σχετικά με την ποιότητα των εκροών. Επιτυγχάνεται με απλή ρύθμιση των χρονοδιακοπών.
- Ένα σύστημα SBR απαιτεί λιγότερη προσοχή κατά τη λειτουργία και συντήρηση από ότι οι συμβατικές μονάδες ενεργού ιλύος.
- Τα λειτουργικά έξοδα συντήρησης του συστήματος είναι μειωμένα, λόγω της απαίτησης για λειτουργία των συστημάτων αερισμού για μικρότερη διάρκεια.
- Το σύστημα SBR παρέχει την δυνατότητα ταυτόχρονης νιτροποίησης και απονιτροποίησης με κατάλληλο έλεγχο της κάθε φάσης που συνιστούν τη διεργασία. Η νιτροποίηση επιτυγχάνεται με πρόσθετο αερισμό των στραγγισμάτων, ενώ η απονιτροποίηση με παράταση της διάρκειας διακοπής αερισμού του συστήματος (φάση καθίζησης) ώστε να επικρατούν αναερόβιες συνθήκες. Σύμφωνα με μελέτες που έγιναν ίσως να απαιτείται έλεγχος pH των στραγγισμάτων και να γίνεται προσθήκη οργανικού άνθρακα για μεγιστοποίηση της απόδοσης των αντιδράσεων νιτροποίησης – απονιτροποίησης.
- Επιτυγχάνεται υψηλή απόδοση της καθίζησης λόγω του ότι επικρατούν πλήρεις συνθήκες ηρεμίας παρέχεται μεγάλη επιφάνεια καθίζησης [26].

2.6.4 Αναερόβια επεξεργασία

Οι αναερόβιες διαδικασίες μπορούν να είναι ιδανικές για την αρχική επεξεργασία των υψηλής ποιότητας στραγγισμάτων. Παρόλα αυτά οι εφαρμογές τους είναι λιγότερες από την αερόβια επεξεργασία. Είναι φανερό ότι καλής ποιότητας εκροή (δηλαδή με χαμηλή συγκέντρωση COD) μπορεί να επιτευχθεί μόνο με χαμηλότερους ρυθμούς παροχής και η αφαίρεση αμμωνίας είναι σχεδόν αμελητέα. Ογκομετρικές παροχές πάνω από 6 kgCOD/m³ αντιμετωπίζονται δίνοντας σχετικά υψηλά ποσοστά απομάκρυνσης. Οι

ενεργειακές ανάγκες που θα απαιτούνταν για τα ακατέργαστα στραγγίσματα είναι υψηλές σε σχέση με την αερόβια επεξεργασία της εκροής σε επόμενο στάδιο [26].

Τα βαρέα μέταλλα τείνουν να συσσωρεύονται στη λάσπη αλλά δεν έχει προκύψει κανένα πρόβλημα με την παρεμπόδιση της μικροβιακής ανάπτυξης ως αποτέλεσμα αυτού. Κατά την αερόβια επεξεργασία απαιτούνται υψηλές θερμοκρασίες για να καταστεί πιο αποδοτική η επεξεργασία και αυτό επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση του αέριου μεθανίου που παράγεται στη διαδικασία. Έχει υπολογιστεί ότι απαιτούνταν COD εισροής >7000 mg/L ώστε η διαδικασία να παράγει αρκετή ενέργεια για την κάλυψη των αναγκών της. Η παραγωγή στερεών είναι αρκετά λιγότερη απ' ό,τι στην αερόβια επεξεργασία παρόμοιων στραγγισμάτων.

2.6.5 Εδαφική επεξεργασία

Η εδαφική επεξεργασία περιλαμβάνει την αργή ροή του στραγγίσματος σε μια κεκλιμένη κατά προτίμηση με φυτά και συνδυάζει το όφελος της εξατμισοδιαπνοής, της φυσικοχημικής επεξεργασίας (π.χ. καθίζηση, προσρόφηση, οξείδωση, διήθηση) και της βιολογικής επεξεργασίας (π.χ. οξείδωση των οργανικών ουσιών, νιτροποίηση/απονιτροποίηση). Δεν έχει γίνει ποσοτικοποίηση των μηχανισμών αλλά η τεχνική έχει εφαρμοστεί σε στραγγίσματα από ΧΥΤΑ. Η απορροή από το βρεχόμενο έδαφος είναι κατάλληλης ποιότητας για την διάθεση χωρίς περισσότερη επεξεργασία. Η επεξεργασία εδάφους έχει αποδειχτεί να είναι σημαντικά φτηνότερη από άλλες επιλογές διάθεσης. Μπορεί να είναι μια ανέξοδη και φτηνή επιλογή επεξεργασίας αλλά σε πολλές περιπτώσεις απαιτεί μια προεπεξεργασία για να μειώσει τις υψηλές συγκεντρώσεις μολυσματικών παραγόντων πριν από την εφαρμογή και έχει κάποιο περιορισμό το χειμώνα και κατά τη διάρκεια των βρόχινων περιόδων [3].

Υπάρχουν ποικίλες εφαρμοζόμενες ροές οι οποίες είναι αναγκαίο να εκτιμηθούν ξεχωριστά για την κάθε περίπτωση, ανάλογα με τη διαθεσιμότητα του εδάφους και την ποιότητα των στραγγισμάτων. Τυπικές τιμές εφαρμογής είναι μέχρι 45 m³/ha.d ή 4,5mm/d. Έγινε χρήση κλίσεων μεταξύ 1:10 και 1:30.

Η χρήση σωλήνων με οπές ίσως να είναι κατάλληλη για πιο απότομες κλίσεις αλλά οι ψεκαστήρες ή τα ακροφύσια ψεκασμού μπορούν να προσφέρουν το πιο αποτελεσματικό σύστημα διανομής για μικρότερες κλίσεις εδάφους. Οι παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπόψη στο σχεδιασμό των συστημάτων και τους ρυθμούς εφαρμογής είναι: ποιότητα απορριμμάτων, επίδραση στη βλάστηση, επίδραση στο χώμα, επίδραση στα υπόγεια νερά, οσμές, αεριοποίηση και κατανομή του ψεκασμού.

Αξιόλογες απομακρύνσεις είναι δυνατόν να επιτευχθούν στην ποιότητα των στραγγισμάτων σχετικά με το οργανικό φορτίο, της αμμωνίας, των μετάλλων και των αιωρούμενων στερεών. Για μη επεξεργασμένα στραγγίσματα η επεξεργασία εδάφους δεν είναι δυνατόν να επιτύχει μεγάλη βελτίωση παρά μόνο όταν χρησιμοποιηθούν πολύ χαμηλές τιμές φόρτισης. Για την αφαίρεση επικίνδυνων συστατικών από τα στραγγίσματα όπως είναι το άζωτο και η αμμωνία υπάρχουν ελάχιστες πληροφορίες [26].

Τα στραγγίσματα λόγω της σύστασης τους είναι ικανά να βλάψουν την εδαφολογική δομή και τη βλάστηση. Η καθίζηση των ανόργανων στερεών που περιέχουν οξειδία σιδήρου, ανθρακικό άλας ασβεστίου και πιθανώς βαρέα μέταλλα έχει προκαλέσει το στιγματισμό της βλάστησης και ανάπτυξη μιας στεγανής κρούστας στην επιφάνεια των ΧΥΤΑ. Ακόμα σε μερικά στραγγίσματα παρουσιάζεται έντονη αλατότητα η οποία προκαλεί διάφορα προβλήματα. Οι υψηλές συγκεντρώσεις των ιόντων νατρίου και καλίου μπορούν να αλλάξουν την εδαφολογική δομή ως αποτέλεσμα των αντιδράσεων ανταλλαγής ιόντων με τα αργιλικά μεταλλεύματα.

Επίσης είναι υπαρκτή η ενόχληση κατά την διασπορά του ψεκασμού και η απελευθέρωση των οσμών. Εάν στα στραγγίσματα περιέχονται επικίνδυνα συστατικά, τότε ο κίνδυνος από την χρησιμοποίηση ακροφυσίων ψεκασμού είναι πολύ μεγάλος. Τελικώς, η κύρια χρήση της εδαφικής επεξεργασίας στην διαχείριση στραγγισμάτων κατά πάσα πιθανότητα να είναι στη τελική επεξεργασία, για να μειώσει το BOD_5 , την NH_3 και σε υψηλά επίπεδα τα αιωρούμενα στερεά [26].

2.7 Ηλεκτροχημική Οξείδωση

Η μελέτη της ηλεκτροχημικής οξείδωσης στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων άρχισε από το 19^ο αιώνα, όταν ερευνήθηκε η ηλεκτροχημική αποσύνθεση του κυανιδίου. Η εκτενής έρευνα για αυτήν την τεχνολογία άρχισε από την πρόσφατη δεκαετία του '70. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δύο δεκαετιών, οι ερευνητικές εργασίες έχουν στραφεί στην αποδοτικότητα της οξείδωσης των διάφορων ρύπων με διαφορετικό υλικό ηλεκτροδίων, τη βελτίωση της ηλεκτροκαταλυτικής δραστηριότητας και της ηλεκτροχημικής σταθερότητας των υλικών των ηλεκτροδίων, την έρευνα για τους παράγοντες που έχουν επιπτώσεις στην απόδοση της διαδικασίας και την εξερεύνηση των μηχανισμών και των κινητικών της υποβάθμισης των ρύπων. Οι πειραματικές έρευνες εστιάζονται συνήθως στις συμπεριφορές των ανοδικών υλικών, ενώ η επίδραση των καθοδικών υλικών δεν ερευνήθηκε εκτενώς, αν και ο Azzam και άλλοι έχουν βρει μια ιδιαίτερη επιρροή του υλικού αντίθετων ηλεκτροδίων στην ανοδική καταστροφή της φαινόλης 4-CL.

Η ηλεκτροχημική οξείδωση των ρύπων μπορεί να εκπληρωθεί με διάφορους τρόπους. Ευρέως γνωστή είναι η χρήση του χλωρίου και του υποχλωριώδους άλατος που παράγονται ανοδικά για να καταστρέψουν τους ρύπους. Η τεχνική αυτή μπορεί αποτελεσματικά να οξειδώσει πολλούς ανόργανους και οργανικούς ρύπους σε υψηλή συγκέντρωση χλωριδίου και χαρακτηριστικά σε συγκέντρωση μεγαλύτερη από 3 gr/L. Ο πιθανός σχηματισμός των χλωριωμένων οργανικών ενώσεων ή των τελικών προϊόντων που μεσολαβούν εμποδίζει την ευρεία εφαρμογή αυτής της τεχνικής. Επιπλέον, εάν η περιεκτικότητα σε χλωρίδιο του υγρού ανεπεξέργαστου αποβλήτου είναι χαμηλή, ένα μεγάλο ποσό άλατος πρέπει να προστεθεί για να αυξήσει την αποδοτικότητα της διαδικασίας.

Οι ρύποι μπορούν επίσης να αλλοιωθούν από το ηλεκτροχημικά παραγόμενο υπεροξείδιο του υδρογόνου. Τα άλατα που περιέχουν κατιόντα Fe^{2+} ή Bi^{5+} μπορούν να προστεθούν στο υγρό απόβλητο ή να διοχετευτούν επί τόπου σε μια άνοδο διαλύματος σιδήρου για να κάνουν μια αντίδραση ηλεκτρο- fenton. Η χημική αποικοδόμηση της ανιλίνης βρέθηκε να είναι περίπου 95% όταν εφαρμόζεται ταυτόχρονα και η υπέρυθη ακτινοβολία. Το

οξυγόνου από τους θερμαινόμενους ατμούς στο διάλυμα βοηθά επίσης στην αφαίρεση της ανιλίνης όταν είναι ανοικτή την ηλεκτρική ενέργεια. Το ηλεκτρικά παραγόμενο όζον αναφέρεται επίσης για την επεξεργασία υγρού αποβλήτου[12].

Άμεση ανοδική οξείδωση

Η ηλεκτροχημική οξείδωση των ρύπων μπορεί επίσης να εμφανιστεί άμεσα στις ανόδους με την παραγωγή του φυσικά προσροφημένου "ενεργού οξυγόνου" ή το "ενεργό οξυγόνο". Η διαδικασία αυτή καλείται συνήθως ως ανοδική οξείδωση ή άμεση οξείδωση. Το φυσικά προσροφημένο "ενεργό οξυγόνο" προκαλεί την πλήρη καύση των οργανικών ενώσεων, και το "ενεργό οξυγόνο" συμμετέχει στο σχηματισμό των εκλεκτικών προϊόντων οξείδωσης.

Στην ανοδική οξείδωση δεν πρέπει να προστεθεί μεγάλο ποσό χημικών ουσιών στο υγρό απόβλητο ή στο τροφοδοτούμενο O_2 στις καθόδους, χωρίς την τάση της παραγωγής δευτεροβάθμιας ρύπανσης. Αυτά τα πλεονεκτήματα καθιστούν την ανοδική οξείδωση ελκυστικότερη από άλλες διαδικασίες ηλεκτροχημικής οξείδωσης. Το σημαντικό μέρος μιας ανοδικής διαδικασίας οξείδωσης είναι προφανώς το υλικό που αποτελούνται τα ηλεκτρόδια των ανόδων. Τα υλικά ανόδων που ερευνώνται γενικά από τους επιστήμονες περιλαμβάνουν τον υαλώδη άνθρακα, Ti/RuO_2 , $Ti/Pt - Ir$, την οπτική ίνα του άνθρακα, το MnO_2 , το Pt - μαύρο άνθρακα, την τσόχα πορώδους άνθρακα, και τον ανοξειδωτο χάλυβα. Εντούτοις, κανένας από αυτούς δεν αναπτύσσει την ικανοποιητική δραστηριότητα και ίδια χρονική σταθερότητα. Οι άνοδοι που μελετήθηκαν εκτενώς είναι από γραφίτη, Pt , PbO_2 , IrO_2 , TiO_2 , SnO_2 και από συνθετική ταινία διαμαντιού εμπλουτισμένο με βόριο.

Οι ταινίες διαμαντιού (BDD) είναι εμπλουτισμένες με βόριο και είναι ένα νέο υλικό των ηλεκτροδίων ανόδου με υψηλή ανοδική σταθερότητα και αποδεκτή αγωγιμότητα. Επίσης, οι ταινίες διαμαντιού BDD παρουσιάζουν αδρανή χαρακτήρα και είναι ευρέως γνωστό ότι οι ιδιότητες προσρόφησης τους είναι ανύπαρκτες. Αυτό υποδηλώνει ότι το υλικό είναι ιδανικό για μη ενεργό ηλεκτρόδιο στο οποίο η οξείδωση των οργανικών ουσιών και η παραγωγή του οξυγόνου πραγματοποιείται μέσω του σχηματισμού των ριζών υδροξυλίου. Οι άνοδοι από διαμάντι αναπτύσσουν πολύ χαμηλή δραστηριότητα στην αντίδραση παραγωγής O_2 (με υψηλό ηλεκτρικό δυναμικό).

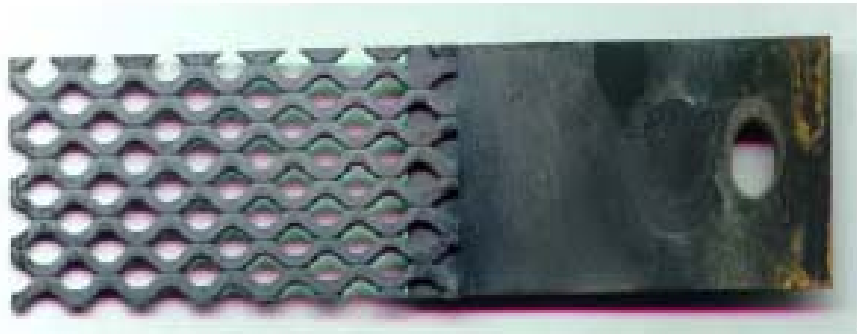
Η ανοδική δραστηριότητα εξαρτάται από την αξία του ηλεκτρικού δυναμικού στην παραγωγή οξυγόνου. Από διάφορα πειράματα φάνηκε ότι τα IrO_2 , Pt, και ο γραφίτης παρουσιάζουν πολύ μικρότερες τιμές από υψηλά δυναμικά στην παραγωγή οξυγόνου. Αυτό υποδηλώνει ότι η αποτελεσματική οξείδωση των ρύπων σε αυτές τις ανόδους εμφανίζεται μόνο στις πολύ χαμηλές παροχές ρεύματος ή στην παρουσία των υψηλών συγκεντρώσεων των χλωριδίων ή των μεταλλικών μεσολαβητών.

Όταν η παροχή ρεύματος είναι υψηλή, η σημαντική μείωση της τρέχουσας αποδοτικότητας αναμένεται από την παραγωγή του οξυγόνου. Η εμπλουτισμένη από βόριο ταινία διαμαντιών (BDD) σε υπόστρωμα τιτανίου ή άλλου μετάλλου βαλβίδων όπως στα ηλεκτρόδια DiaChem δίνει την υψηλότερη τιμή δυναμικού και στην παραγωγή οξυγόνου. Κατά συνέπεια, η ανοδική οξείδωση μπορεί να πραγματοποιηθεί στην επιφάνειά της, σε σημαντικά υψηλή παροχή ρεύματος με το ελάχιστο ποσό παραγωγής οξυγόνου και γίνεται σε δευτερεύουσα αντίδραση. Αυτό οδηγεί σε μια αποτελεσματική και αποδοτική διαδικασία. Είναι πράγματι η πιο ενεργή άνοδος για την οξείδωση των διάφορων υγρών αποβλήτων.

Η μέθοδος αυτή προβλέπει: πλήρης αποχρωματισμός του αποβλήτου, ικανοποιητική συμπεριφορά των περιβαλλοντικών παραμέτρων που χαρακτηρίζουν τα απόβλητα (COD, BOD και τοξικότητα), ολοκλήρωση της κατεργασίας σε σύντομο χρονικό διάστημα, αποφυγή δημιουργίας ιλύος, αποφυγή χημικών πρόσθετων, σταθερότητα και αντοχή των υλικών της εγκατάστασης σε βάθος χρόνου, χαμηλό πάγιο κόστος και χαμηλό κόστος λειτουργίας.

Η αυξημένη ικανότητα της ανόδου διαμαντιού προκαλεί μείωση του COD, οφείλεται στις καλύτερες ηλεκτροχημικές ιδιότητες του βομβαρδισμένου με βόριο τεχνητού διαμαντιού το οποίο επιτυγχάνει πληρέστερη διάσπαση οργανικών ενώσεων σε σχέση με άλλες ανόδους που δοκιμάστηκαν. Το πλεονέκτημα αυτό είναι σημαντικό στην περίπτωση που η ηλεκτροχημική κατεργασία χρησιμοποιείται ως η μοναδική μέθοδος αποχρωματισμού του αποβλήτου και το πάγιο κόστος της ανόδου αντισταθμίζεται από την παραγωγή αποβλήτου φιλικότερου προς το περιβάλλον. Σε περίπτωση όμως που η ηλεκτροχημική μέθοδος χρησιμοποιείται ως στάδιο προκατεργασίας σε συνδυασμό με άλλη μέθοδο κατεργασίας (π.χ την βιολογική κατεργασία), τότε

το πλεονέκτημα αυτό αναιρείται γιατί το COD, το BOD και η τοξικότητα μειώνονται κατά την κατεργασία με τη δεύτερη μέθοδο. Κατά συνέπεια το πάγιο κόστος της ανόδου κρίνεται ως υψηλό και η χρήση μιας άλλης ανόδου είναι οικονομικότερη και χωρίς μεγάλη διαφορά ως προς την τελική απόδοση σε σχέση με την άνοδο διαμαντιού [12].



Σχήμα 2-11
Άνοδος Διαμαντιού

2.8 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΤΑΦΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΧΑΝΙΩΝ

2.8.1 Εισαγωγή

Η υγειονομική ταφή με την παράλληλη εκτροπή των ανακυκλούμενων και των ζυμώσιμων υλικών αποτελεί μια άριστη περιβαλλοντικά λύση για την τελική διάθεση των Αστικών Στερεών Αποβλήτων (ΑΣΑ). Οι πλήρως στεγανοποιημένοι Χώροι Υγειονομικής Ταφής στη περιοχή Κορακιά στο Ακρωτήριο του Νομού Χανίων καταλαμβάνουν 150.000m², με ολική χωρητικότητα 2.200.000m³ και περιλαμβάνουν συλλεκτήριους αγωγούς στραγγισμάτων, διαμορφωμένο πυθμένα και περιμετρική τάφρο διαχείρισης ομβρίων. Η καθημερινή συμπίεση των απορριμμάτων πραγματοποιείται με κομπάκτορα και συνδυάζεται με επαρκή χωματοκάλυψη για τον έλεγχο των οσμών και των εντόμων. Ο πυρσός καύσης με δυνατότητα 250m³ την ημέρα, θα λύσει το πρόβλημα έκλυσης του βιοαερίου στην φάση της μεταφροντίδας. Η εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων της μονάδας εξυπηρετεί τον καθαρισμό των παραγόμενων στραγγισμάτων του ΧΥΤΑ καθώς και των υγρών που παράγονται από τα διάφορα στάδια της παραγωγής.



Σχήμα 2-12

Μονάδα επεξεργασίας στραγγισμάτων του ΧΥΤΑ Χανίων.

Ο σχεδιασμός της βασίζεται στην τεχνολογία των αντιδραστήρων ενεργού ιλύος διαλείποντος έργου όπου επιτυγχάνεται το μεγαλύτερο ποσοστό απομάκρυνσης ενώ περιλαμβάνει και περαιτέρω επεξεργασία με την χρήση τεχνητού υδροβιότοπου ακολουθούμενου από φίλτρα ενεργού άνθρακα. Η τελική εκροή προορίζεται για την άρδευση της μονάδας ενώ υπάρχει η δυνατότητα επανακυκλοφορίας στον ΧΥΤΑ.



Σχήμα 2-13

Κομπάκτορας συμπίεσης

Τέλος η μονάδα διαθέτει πλήρως εξοπλισμένο εργαστήριο χημικών αναλύσεων στο οποίο παρακολουθούνται το σύνολο των περιβαλλοντικών παραμέτρων, όπως είναι η σύσταση βιοαέριου, σύσταση στραγγισμάτων, έλεγχος διαφυγής βιοαέριου, έλεγχος ποιότητας υπογείων υδάτων αλλά και διεργασίες της κομποστοποίησης και του βιολογικού καθαρισμού.

2.8.2 ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΧΥΤΑ

2.8.2.1 Μορφολογία θέσης του έργου

Μορφολογικά το γήπεδο του έργου είναι σχετικά επίπεδο με μικρές υψομετρικές διαφορές, ομαλές κλίσεις της τάξης του 4-8% και χωρίς έντονο ανάγλυφο. Το μέγιστο απόλυτο υψόμετρο είναι 102m (στο ΝΔ όριο του γηπέδου) και το ελάχιστο 56m (στο ανατολικό άκρο). Στο τμήμα του ΧΥΤΑ οι κλίσεις είναι γενικά ήπιες και κυμαίνονται κατά μέσο όρο στο 6-7%. Σύμφωνα με στοιχεία τα οποία προκύπτουν από την αξιολόγηση και επεξεργασία των υδρολογικών και υδρογεωλογικών συνθηκών η κατάσταση που επικρατεί στην περιοχή του μελετώμενου έργου είναι η ακόλουθη:

- Το Ακρωτήριο Χανίων δομείται κατά το μεγαλύτερο τμήμα του από ανθρακικούς σχηματισμούς και από τα αργιλικά προϊόντα της αποσάθρωσης τους. Οι ανθρακικοί αυτοί σχηματισμοί είναι ως γνωστό παρουσιάζονται έντονα καρστικοποιημένα και τεκτονισμένα, οπότε συνθέτουν ένα υδροπερατό καρστικό σύστημα που έρχεται σε άμεση επαφή με τη θάλασσα.
- Τα νερά των βροχών που πέφτουν στο Ακρωτήριο Χανίων, κατά το μεγαλύτερο μέρος τους, κατεισδύουν στα ανθρακικά πετρώματα από τα οποία δομείται και στη συνέχεια εκφορτίζονται στη θάλασσα.
- Λόγω του έντονου τεκτονισμού και της καρστικοποίησης των ανθρακικών αυτών πετρωμάτων, η στάθμη του ελεύθερου υπόγειου ορίζοντα που διαμορφώνεται, είναι στη στάθμη της θάλασσας περί τις ακτές, ενώ στο κέντρο του Ακρωτηρίου ανέρχεται σε επίπεδο λίγων μόνο μέτρων. Αυτό προκύπτει από τις στάθμες της ελεύθερης επιφάνειας του υπόγειου νερού όπως μετράται από γεωτρήσεις που έχουν διανοιχτεί, αλλά και από το υψόμετρο των +5m του πυθμένα της μεγάλης δολίνης ‘ Βόθωνας’ βόρεια του χωριού Πυθάρι. Στη περιοχή του μελετώμενου χώρου ο οποίος αναπτύσσεται μεταξύ των υψομέτρων +60m - +104m, ο τυχόν υπόγειος υδροφορέας, ο οποίος λόγω ποιότητας και ποσότητας είναι μη αξιοποιήσιμος, αναπτύσσεται σε βάθος πέραν των 50m και συνδέεται άμεσα με τη θάλασσα.

2.8.2.2 Έκταση του έργου

Το σύνολο των εγκαταστάσεων πραγματοποιούνται σε γήπεδο συνολικής έκτασης 235,525 στρέμματα, το οποίο βρίσκεται στο Δήμο Ακρωτηρίου Χανίων και ειδικότερα στη θέση Κορακιά νότια της χαράδρας του Κουρουπητού για την εγκατάσταση του ΧΥΤ.

2.8.2.3 Λεκάνη απόθεσης

Η λεκάνη απόθεσης του ΧΥΤΑ, έχει διαμορφωθεί με τη δημιουργία πλευρικών επιφανειών που κατεβαίνουν προς τον πυθμένα του ΧΥΤΑ με κλίσεις της τάξης 1:3. Ουσιαστικά δημιουργήθηκε ένα σκάμμα του οποίου τα περιμετρικά πρανή αποτελούν τμήμα της περιμετρικής οδοποιίας του ΧΥΤΑ. Οι κλίσεις αυτές είναι τέτοιες που εξασφαλίζουν κατά πρώτο λόγο ευστάθεια στην τοποθέτηση του τεχνητού γεωλογικού φραγμού αλλά και στην τοποθέτηση και συγκράτηση όλων των στεγανοποιητικών υλικών του ΧΥΤΑ, και κατά δεύτερο λόγο την ωφέλιμη χωρητικότητα του χώρου.

Ο πυθμένας της λεκάνης έχει διαμορφωθεί σε σχήμα ανάποδου W, του οποίου οι κλίσεις είναι της τάξης του 2% με υψομετρική διαφορά από κάθε κορυφή 30cm. Στα χαμηλότερα υψομετρικά σημεία του πυθμένα έχουν τοποθετηθεί οι συλλεκτήριοι αγωγοί των στραγγισμάτων.

Η έκταση της λεκάνης απόθεσης ανέρχεται περίπου σε 35 100m². Είναι στεγανοποιημένη τόσο στον πυθμένα όσο και στα πρανή της. Οι στεγανοποιητικές στρώσεις που έχουν τοποθετηθεί στην λεκάνη απόθεσης είναι οι εξής:

- Αργιλική στρώση πάχους 50cm
- Γεωμεμβράνη από πάχους 1,5mm
- Γεώφασμα προστασίας της γεωμεμβράνης βάρους 350gr/m²
- Στρώση άμμου προστασίας πάχους 10cm
- Αποστραγγιστική στρώση από χαλίκι πάχους 30cm

2.8.2.4 Συλλογή στραγγισμάτων

Για τη συλλογή των στραγγισμάτων έχει κατασκευαστεί δίκτυο αγωγών σε όλη την έκταση του ΧΥΤΑ. Οι αγωγοί αυτοί είναι από HDPE, διάτρητοι κατά τα 2/3. Η διαμόρφωση του πυθμένα σε σχήμα ανάποδο W χωρίζει από μόνη της την λεκάνη απόθεσης σε 3 μέρη, στα βαθύτερα σημεία των οποίων τοποθετούνται οι αγωγοί συλλογής στραγγισμάτων. Η μέση κλίση του κάθε αγωγού είναι της τάξης του 6% ενώ η διάμετρος τους είναι Φ400. Ο κάθε αγωγός καταλήγει στο χαμηλότερο του σημείο σε μια τάφρο πληρωμένη με χαλίκι 63-110. Από το χαμηλότερο σημείο της τάφρου που βρίσκεται στη μέση του ΒΑ πρανούς της λεκάνης απόθεσης, πραγματοποιείται η άντληση των στραγγισμάτων από αντλία η οποία βρίσκεται εντός αγωγού από HDPE Φ500. Με τη τοποθέτηση της αντλίας εντός αγωγού εξασφαλίζεται η επισκεψιμότητα της αντλίας, αφού υπάρχει η δυνατότητα να εξέρχεται από τον αγωγό ή να αντικαθίσταται.

Σημαντικό στοιχείο του δικτύου συλλογής των στραγγισμάτων είναι η δυνατότητα καθαρισμού του. Ο κάθε αγωγός συλλογής με τυφλό αγωγό καθαρισμού τόσο στα ανάντη όσο και στα κατόντη του κάθε αγωγού. Οι αγωγοί καθαρισμού θα ανεβαίνουν στα πρανή τη λεκάνης απόθεσης από την στέψη τους είναι δυνατός ο καθαρισμός τους.

2.8.2.5 Μονάδα επεξεργασίας στραγγισμάτων

Η εγκατάσταση επεξεργασίας στραγγισμάτων καταλαμβάνει περίπου έκταση 3250m². Σχεδιάστηκε για μέγιστη παροχή 100m³ /ημέρα (2 αντιδραστήρες των 570m³ που επεξεργάζονται 50m³ /ημέρα έκαστος). Οι παράμετροι σχεδιασμού για τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της παροχής που αναφέρονται στην πρόταση προσαρμογής της εγκατάστασης επεξεργασίας στραγγισμάτων της ΕΜΑΚ⁽¹⁾ από την ENVITEC Α.Ε:

BOD₅ : 2250mg/L

COD: 8800mg/L

TSS: 5150mg/L

Αν υποθεθεί ότι οι υπόλοιπες παράμετροι παρέμειναν ως έχουν τότε:

N: 42mg/L

P: 8,3mg/L

Οι απαιτούμενες παράμετροι εξόδου από τους περιβαλλοντικούς όρους της μονάδας είναι:

BOD₅ : <25mg/L

COD: <80mg/L

SS: <25mg/L

TN: <8

N-NH₄ : <3mg/L

N-NO₃ : <3mg/L

TP: <2mg/L

Η εγκατάσταση επεξεργασίας στραγγισμάτων αποτελείται από συνολικά 7 δεξαμενές: δύο δεξαμενές εξισορρόπησης 1100m³ που τροφοδοτούνται απευθείας από τον ΧΥΤΥ⁽²⁾ και τροφοδοτούν τις δύο δεξαμενές διαλείποντος έργου. Οι δεξαμενές διαλείποντος έργου εκρέουν στις δύο κλίνες (700m² έκταση) τεχνητού υδροβιότοπου που με τη σειρά τους τροφοδοτούν την μονάδα των φίλτρων ενεργού άνθρακα. Η εκροή των φίλτρων ενεργού άνθρακα οδηγείται σε μια δεξαμενή 127m³ από όπου και αρδεύεται το σύνολο της ΕΜΑΚ. Υπάρχει η δυνατότητα για ανακυκλοφορία

¹ Εργοστάσιο Μηχανικής Ανακύκλωσης & Κομποστοποίησης

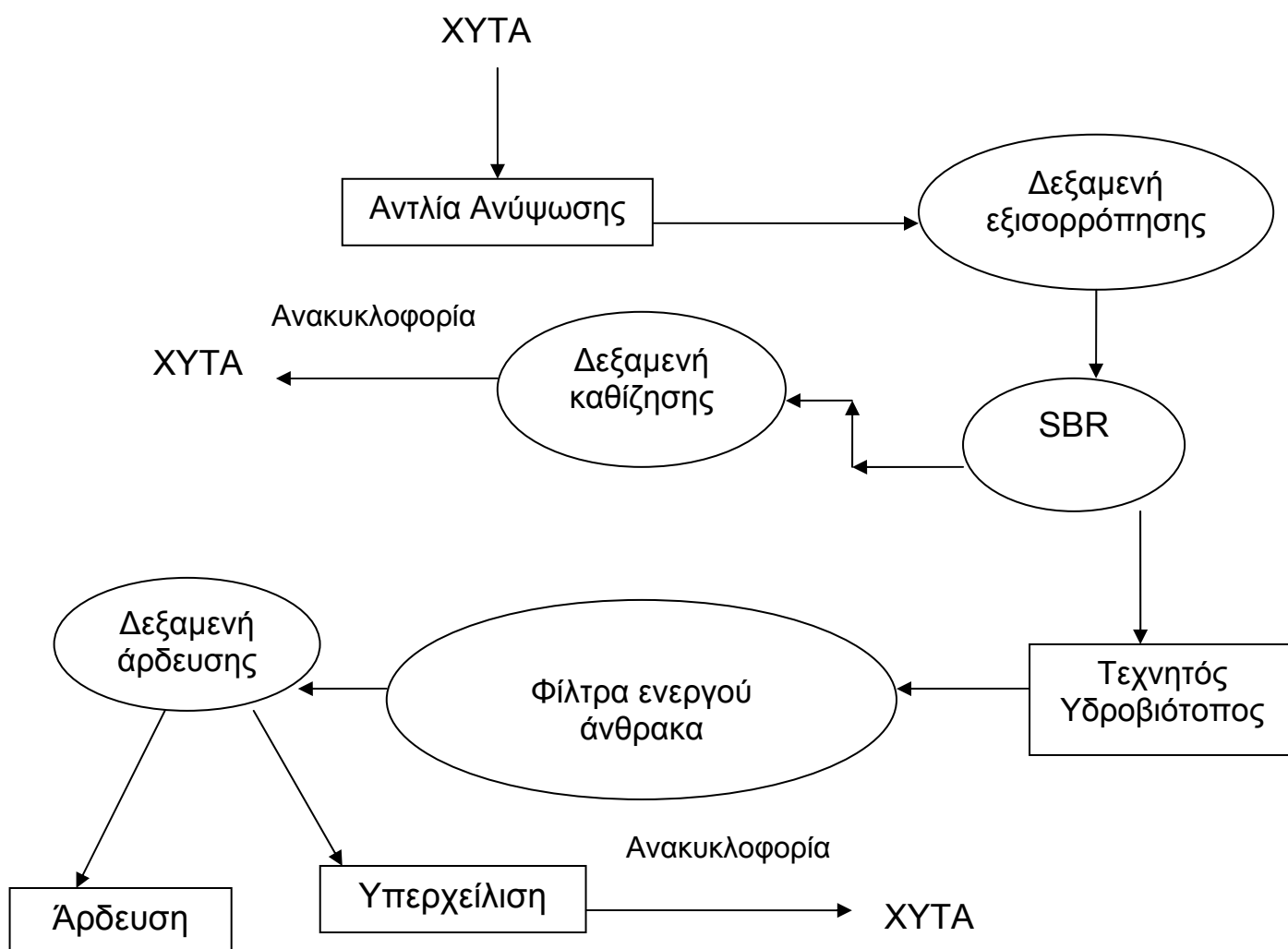
² Χώρος Υγειονομικής Ταφής Υπολειμμάτων

της εκροής με την μεσολάβηση μιας άλλης δεξαμενής 60m³ όπου υπερχειλίζει η δεξαμενή άρδευσης. Τέλος υπάρχει η δυνατότητα για απομάκρυνση της περίσσειας της λάσπης από τις δύο δεξαμενές διαλείποντος έργου σε κωνική δεξαμενή καθίζησης από όπου η λάσπη οδηγείται στον ΧΥΤΥ.

Τα στάδια επεξεργασίας είναι τα εξής:

1. Στις δεξαμενές εξισορρόπησης γίνεται ομογενοποίηση της εισόδου ποιοτικά αλλά και υδραυλικά.
2. Στις δεξαμενές διαλείποντος έργου γίνεται η κύρια βιολογική διεργασία κατά τα γνωστά συστήματα SBR.
3. Οι κλίνες του τεχνητού υδροβιότοπου βρίσκονται κάτω από επιφανειακή ροή με συνεχή ανακυκλοφορία της εκροής της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας με κύριο στόχο την απομάκρυνση των SS αλλά και των υπολειπόμενων επιπέδων BOD₅, TN, TP.
4. Το σύστημα με τα φίλτρα ενεργού άνθρακα κάνει 'polishing' στην τελική εκροή απομακρύνοντας τα ίχνη SS αλλά και αποχρωματίζοντας την.

2.8.2.6 Διάγραμμα ροής της επεξεργασίας στραγγισμάτων



2.8.2.7 Συλλογή βιοαερίου

Η συλλογή βιοαερίου στο ΧΥΤΑ πραγματοποιείται με την κατασκευή γεώτρησης κατακόρυφων φρεατίων αππαγωγής βιοαερίου. Από τα φρεάτια αυτά γίνεται συλλογή και άντληση του βιοαερίου το οποίο του οριζόντιου δικτύου μεταφοράς θα καταλήγει στον πυρσό καύσης δυναμικότητας 250m³/hr.

Κεφάλαιο 3 Πειραματικό Μέρος

3.1 Δείγματα και Υλικά

3.1.1 Δείγματα

Οι εργαστηριακές αναλύσεις των στραγγισμάτων που έγιναν λαμβάνονταν από την «εγκατάσταση επεξεργασίας στραγγισμάτων» της μονάδας που εξυπηρετεί τον καθαρισμό των παραγόμενων στραγγισμάτων του ΧΥΤΑ Χανίων καθώς και των υγρών που παράγονται από τα διάφορα στάδια της παραγωγή. Ο τόπος και η χρονική στιγμή των δειγματοληψιών φαίνονται στο Πίνακα 3-1. Τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν κατά την διάρκεια της παρούσας εργασίας, έλαβαν χώρο στο «Εργαστήριο Τεχνολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος», και περιλάμβαναν αναλυτικές μεθόδους για τον χαρακτηρισμό των δειγμάτων και φυσικοχημικές μεθόδους επεξεργασία, όπως κροκίδωση και προσρόφηση.

Ημερομηνία δειγματοληψίας	Τόπος δειγματοληψίας
16/3/2007	<ul style="list-style-type: none">• Δεξαμενή εξισορρόπησης• Έξοδος τεχνητού υδροβιότοπου
3/5/2007	<ul style="list-style-type: none">• Δεξαμενή εξισορρόπησης• Τέλος βιολογικής επεξεργασίας-Είσοδος τεχνητού υδροβιότοπου• Έξοδος τεχνητού υδροβιότοπου
14/5/2007	<ul style="list-style-type: none">• Έξοδος τεχνητού υδροβιότοπου

Πίνακας 3-1
Χρονοδιάγραμμα δειγματοληψιών

3.1.2 Υλικά

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία ήταν:

- Κροκιδωτικό μέσο: Ένυδρο θειικό αργίλιο 1M ($\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)

Παρασκευή κροκιδωτικού

$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ – alum , MB=666,42

$0,5\text{mole/L} = 0,5 \times 666,42\text{gr/L} = 333,21\text{gr/L}$

Η ογκομετρική φιάλη η οποία χρησιμοποιείται είναι 250ml. Επομένως υπολογίζεται στα 250ml η ποσότητα του ένυδρου θειικού αργιλίου που πρέπει να διαλυθεί έτσι ώστε να το διάλυμα που κατασκευάζεται να είναι περιεκτικότητας 1M.

Στα 250 ml : $333,21\text{gr} / 4 = 83,3\text{ gr} / 250\text{ ml} \cdot \text{H}_2\text{O}$

Stock: $1\text{M} [\text{Al}^{3+}] = 1000\text{mM}$

- Προσροφητικό μέσο:
 - κονιοποιημένος ενεργός άνθρακας (PAC),
μέγεθος σωματιδίων 0,6 - 0,25mm
 - κοκκώδης ενεργός άνθρακας (GAC),
μέγεθος σωματιδίων 0,075 - 0,15mm

Μια πιο λεπτομερή περιγραφή του ενεργού άνθρακα και για τις δύο μορφές του παρουσιάζονται στο παράρτημα II.

3.2 Αναλυτικές Μέθοδοι

Οι παράμετροι που προσδιορίζονταν σε κάθε δείγμα ήταν :

- COD
- BOD₅
- SS
- TP
- TN
- pH
- Χρώμα
- Τοξικότητα
- Αγωγιμότητα
- Βαρέα Μέταλλα

3.2.1 COD

Το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (Chemical Oxygen Demand-COD) είναι η ποσότητα οξυγόνου που απαιτείται για την πλήρη οξείδωση, σε έντονα οξειδωτικό περιβάλλον της οργανικής ύλης στο δείγμα. Για την μέτρηση του COD στο εργαστήριο χρησιμοποιήθηκαν έτοιμα αντιδραστήρια της εταιρίας Merck.

1. 14541.0001 για COD 25 – 1500 ppm
2. 14555.0001 για COD 500 – 10 000 ppm

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην χημική οξείδωση του υδατικού διαλύματος σε ειδικά φιαλίδια που περιέχουν τα απαραίτητα αντιδραστήρια και διχρωμικό κάλιο ($K_2Cr_2O_7$). Γίνεται χώνευση του αντιδραστήριου με 3ml αδιήθητου δείγματος για 2 ώρες στους 148°C στο θερμοαντιδραστήρα και η μέτρηση της απορρόφησης μετά την χώνευση είναι φωτομετρική, σε φασφατοφωτόμετρο ορατού-υπεριώδους στα 593nm για τα αντιδραστήρια με εύρος 25 – 1500 ppm. Ομοίως γίνεται για τα αντιδραστήρια με εύρος 50 – 10 000ppm, με μόνη διαφορά ότι η χώνευση γίνεται με 1ml αδιήθητου δείγματος. Ο τελικός υπολογισμός του COD γίνεται μέσω των ευθειών βαθμονόμησης που προκύπτουν μετρώντας πρότυπα διαλύματα. Οι απορροφήσεις των πρότυπων διαλυμάτων καθώς και οι καμπύλες βαθμονόμησης για κάθε εύρος συγκεντρώσεων παρουσιάζονται στο παράρτημα Ι.



Σχήμα 3-1
Θερμοαντιδραστήρας χώνευσης.

3.2.2 *BOD*₅

Το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (Biochemical Oxygen Demand- BOD) είναι η ποσότητα οξυγόνου που καταναλώνεται για τη βιοχημική οξείδωση του μείγματος των οργανικών ενώσεων στο δείγμα με προϊόντα CO₂, NH₃ και H₂O.



Σχήμα 3-2
Φιάλες BOD με ειδικά πώματα, τοποθετημένες σε σύστημα μαγνητικού αναδευτήρα

Ο προσδιορισμός του BOD₅ έγινε μανομετρικά με μετρητές πτώσεις πίεσης των εταιριών OXITOP και AQUALYTIC. Σε μπουκάλια σκούρου καφέ χρώματος τοποθετείται ο κατάλληλος όγκος δείγματος, ένας μαγνήτης ανάδευσης, ελαστικό πώμα το οποίο τοποθετείται πριν το μετρητή πτώσης πίεσης (πιεζόμετρο) με 2-3 σταγόνες KOH για συγκράτηση του CO₂. Τα μπουκάλια τοποθετούνται σε σκοτεινό επωαστικό κλίβανο για αποφυγή παραγωγής DO με μηχανισμό της φωτοσύνθεσης, με σταθερή θερμοκρασία στους 20°C υπό ανάδευση για 5 μέρες. Τα πώματα των μπουκαλιών είναι και οι μετρητές της πτώσης πίεσης. Το αριθμητικό αποτέλεσμα που δίνουν πολλαπλασιάζεται με ένα ειδικό συντελεστή. Ο συντελεστής δίνεται από την εταιρία ανάλογα με τον όγκο δείγματος. Το γινόμενο αυτό δίνει την συγκέντρωση του BOD₅.

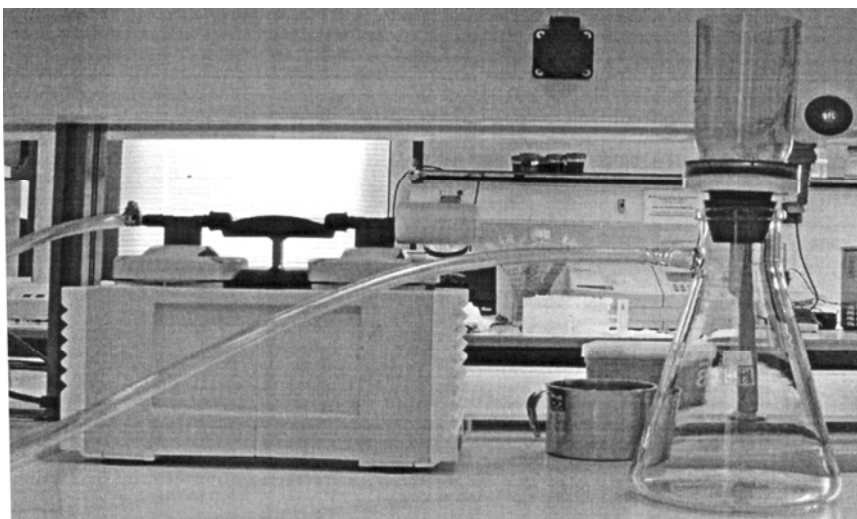
OXITOP			AQUALYTIC		
Εύρος ppm	Όγκος ml	Συντελεστής	Εύρος ppm	Όγκος ml	Συντελεστής
0-200	250	5	0-200	244	5
0-400	164	10	0-400	157	10
0-800	97	20	0-800	94	20
0-2000	43.5	50	0-2000	56	40

Πίνακας 3-2

Αντιστοίχιση εύρους BOD₅, όγκου δείγματος και συντελεστή για κάθε εταιρία.

3.2.3 Αιωρούμενα Στερεά

Ο προσδιορισμός γίνεται με διήθηση υπό κενό συγκεκριμένου όγκου σε υαλόφιλτρα 1μm που έχουν ζυγιστεί πριν την διαδικασία. Μετά τα φίλτρα τοποθετούνται στο φούρνο για ξήρανση στους 105°C. Ακολουθεί νέα ζύγιση του φίλτρου και από τη διάφορα του βάρους και με την διαίρεσή της με τον όγκο του δείγματος υπολογίζεται η συγκέντρωση.



Σχήμα 3-3

Συσκευή διήθησης υπό κενό.

3.2.4 Ολικός Φωσφόρος (TP)

Για την μέτρηση του ολικού φωσφόρου ακολουθούνται δύο στάδια:

1) Διαδικασία Χώνευσης

Για τη χώνευση του φωσφόρου είναι αναγκαία η παρασκευή ενός σύνθετου διαλύματος το οποίο φτιάχνεται με αναλογία:

- 50ml 5N H_2SO_4
- 5ml potassium antimonyl tart rate
- 15ml ammonium molybdate
- 30ml ascorbic acid (φτιάχνεται κάθε που χρησιμοποιείται)
 - 1,76gr ascorbic σε 100ml νερό



Σχήμα 3-4

Διαδικασία χώνευσης

Σε ποτήρι ζέσεως τοποθετούνται 50ml δείγματος, 1ml H_2SO_4 , 5ml HNO_3 και αφήνεται σε χαμηλή θερμοκρασία έτσι ώστε να έχουμε ήπιο βρασμό, με το δείγμα να εξατμίζεται σιγά-σιγά μέχρι να μείνει στο ποτήρι ζέσεως περίπου 1ml. Όταν κρυώσει προσθέτονται σε αυτό 20ml νερό και 1 σταγόνα δείκτη φαινολοφθαλείνης (Φ.Φ). Στη συνέχεια προστίθεται μια-μια σταγόνα NaOH για να εξουδετερωθεί και να πάρει το διάλυμα ελαφρώς ροζ χρώμα. Όταν φτάσει στο σημείο αυτό διηθούμε το διάλυμα με φίλτρο μεμβράνης 0,45μm. Το διήθημα τοποθετείται σε ογκομετρική φιάλη των 100ml και συμπληρώνεται με απιονισμένο νερό μέχρι την χαραγή των 100ml.

2) Μέτρηση ολικού φωσφόρου

Από το διάλυμα της ογκομετρικής φιάλης των 100ml, τα 50ml τοποθετούνται σε ποτήρι ζέσεως και προστίθενται σε αυτό σταγόνα-σταγόνα Φ.Φ. Αν το διάλυμα πάρει κόκκινο-ροζ χρώμα μπαίνει H_2SO_4 μέχρι αποχρωματισμού του. Όταν έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα τότε γίνεται προσθήκη 8ml σύνθετου διαλύματος φωσφόρου. Παρατηρείται μετά από 10-30min maximum ένα μπλε χρώμα, το οποίο δημιουργείται λόγω του μολυβδαινίου που περιέχεται στο σύνθετο διάλυμα και δημιουργεί σύμπλοκα με τα φωσφορικά ιόντα. Η μέτρηση της απορρόφησης γίνεται με μικρές κυψελίδες σε φασφατοφωτόμετρο ορατού-υπεριώδους στα 880nm.

Ο τελικός υπολογισμός του ολικού φωσφόρου γίνεται μέσω των ευθειών βαθμονόμησης που προκύπτουν μετρώντας πρότυπα διαλύματα. Οι

απορροφήσεις των πρότυπων διαλυμάτων καθώς και οι καμπύλες βαθμονόμησης για κάθε εύρος συγκεντρώσεων παρουσιάζονται στο παράρτημα Ι.

3.2.5 Ολικό Αζωτο (TN)

Για την μέτρηση του ολικού αζώτου χρησιμοποιήθηκαν έτοιμα αντιδραστήρια της εταιρίας Merck 1.14763.0001 για εύρος τιμών από 10 – 150 ppm

Για τη μέτρηση ολικού αζώτου είναι απαραίτητη η χώνευση πριν την οποιαδήποτε μέτρηση του. Για την χώνευση απαιτούνται 1ml δείγματος και 9ml απιονισμένου νερού. Ακολουθεί η χώνευση για 1 ώρα στους 120°C σε θερμοαντιδραστήρα. Έπειτα 1ml του χωνευμένου δείγματος και 1ml έτοιμου διαλύματος N-3K μπαίνουν στο έτοιμο αντιδραστήριο. Ο χρόνος αναμονής είναι 10min μέχρι να πάρει το σωστό χρώμα. Ο προσδιορισμός γίνεται με φασματοφωτόμετρο ορατού-υπεριώδους στα 338 nm. Ο τελικός υπολογισμός του ολικού αζώτου γίνεται μέσω των ευθειών βαθμονόμησης που προκύπτουν μετρώντας πρότυπα διαλύματα. Οι απορροφήσεις των πρότυπων διαλυμάτων καθώς και οι καμπύλες βαθμονόμησης για κάθε εύρος συγκεντρώσεων παρουσιάζονται στο παράρτημα Ι.

3.2.6 pH

Το pH ορίζεται ως η αρνητική λογαριθμική συγκέντρωση υδρογονιόντων που περιέχει ένα διάλυμα. Η κλίμακα μέτρησης του pH αναφέρεται στους 25°C και μπορεί να πάρει τιμές από 0 έως 14. Η ουδετερότητα αντιστοιχεί σε pH=7. Δείγματα με τιμές pH μικρότερες από 7 καλούνται όξινα και με τιμές μεγαλύτερες από 7 αλκαλικά.

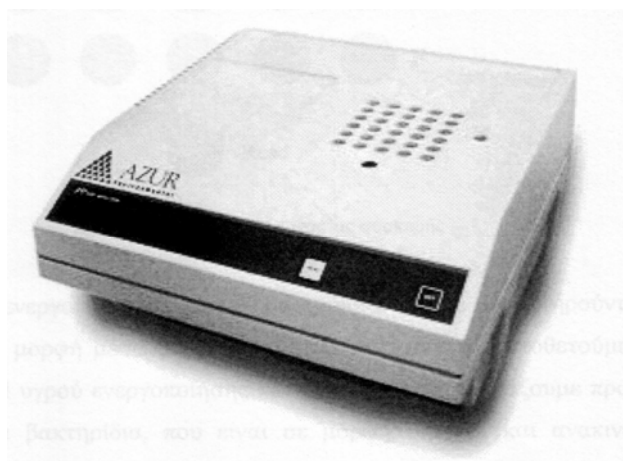
Η μέτρηση του pH γίνεται χρησιμοποιώντας πεχάμετρο της εταιρείας Crison, μοντέλο 2002, με ηλεκτρόδια υάλου. Η βαθμονόμηση του πεχάμετρου γίνεται με δύο ρυθμιστικά διαλύματα στο pH 4 και στο pH 7.

3.2.7 Χρώμα

Η μέτρηση του χρώματος είναι μια φασματοφωτομετρική μέθοδος. Δεν είναι standard methods, είναι μέθοδος η οποία αναφέρεται σε paper. Πριν την διήθηση τα φίλτρα τοποθετούνται σε απιονισμένο νερό για απομάκρυνση οργανικού φορτίου και άνοιγμα των πόρων για καλύτερη επεξεργασία. Γίνεται διήθηση με φίλτρα 0,45μm και το διήθημα μετρείται κυψελίδες των 5cm του φασματοφωτόμετρου στα 410 nm. Ο τελικός υπολογισμός του χρώματος γίνεται μέσω των ευθειών βαθμονόμησης που προκύπτουν μετρώντας πρότυπα διαλύματα. Οι απορροφήσεις των πρότυπων διαλυμάτων καθώς και οι καμπύλες βαθμονόμησης για κάθε εύρος συγκεντρώσεων παρουσιάζονται στο παράρτημα Ι.

3.2.8 Τοξικότητα

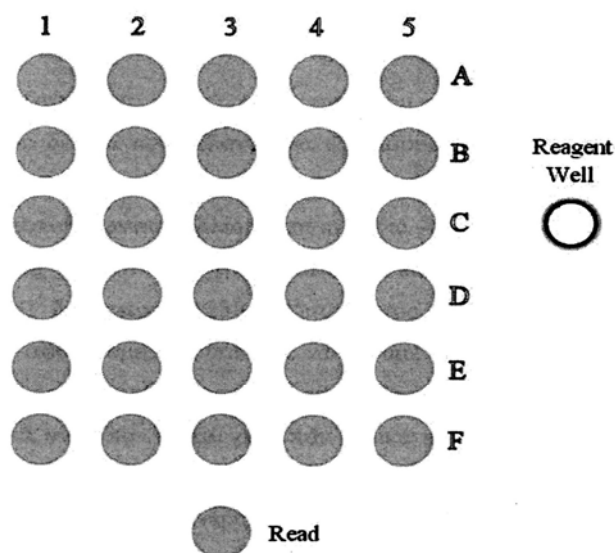
Η μέτρηση της τοξικότητας στα δείγματα έγινε με Microtox Test. Πραγματοποιήθηκαν τα Basic και Basic 81,9% test του Microtox, στη συσκευή Model 500 Analyzer(1998) της εταιρίας AZUR Environmental.



Σχήμα 3-5

Συσκευή Model 500 Analyzer(1998) της εταιρίας AZUR Environmental.

Η συσκευή περιέχει υποδοχές των φιαλιδίων μέσα στα οποία μεταφέρονται οι μικροοργανισμοί και τα δείγματα, μια υποδοχή είναι αυτή στην οποία γίνεται η ενεργοποίηση των μικροοργανισμών με την προσθήκη 1ml υγρού ενεργοποίησης, καθώς και μια υποδοχή η οποία μετράει την απορρόφηση της ακτινοβολίας.



Σχήμα 3-6

Επιφάνεια εργασίας της συσκευής.

Σε μια πρώτη φάση γίνεται ενεργοποίηση των βακτηριδίων που χρησιμοποιούνται κατά την διάρκεια όλης της διαδικασίας μέτρησης. Το βακτηρίδιο που χρησιμοποιείται είναι *Vibrio Fischeri*, το οποίο απαντάται να ζει κυρίως σε θαλασσινό περιβάλλον. Τα βακτηρίδια αυτά διατηρούνται στην κατάψυξη. Σε ένα άδειο φιαλίδιο τοποθετείται 1ml υγρού ενεργοποίησης και στη συνέχεια προστίθενται με μεγάλη προσοχή τα ανενεργά βακτηρίδια, που είναι σε μορφή σκόνης και αναδεύονται καλά. Τα βακτηρίδια από τη στιγμή ενεργοποίησης τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν έως και τρεις ώρες. Ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή των δυο test που πραγματοποιήθηκαν:

1. Basic Test

Το Basic Test είναι το πιο απλό τεστ που περιέχει το Microtox και χρησιμοποιείται για δείγματα που δεν είναι πολύ τοξικά. Το δείγμα εξετάζεται σε συγκεντρώσεις 0%, 5,626%, 11,25%, 22,50% και 45%. Ξεκινάει το τεστ τοποθετώντας φιαλίδια στις κατάλληλες υποδοχές που υποδεικνύονται από τα βήμα που ορίζει το τεστ, δηλαδή στις υποδοχές A1-A5 και B1-B5. Στα B1-B5 τοποθετείται 0,5ml diluent και 1ml στα A1-A4. Στο A5 τοποθετούνται 2,5ml δείγματος, 0,250ml ρυθμιστικό διάλυμα οσμωτικής πίεσης και στο τέλος 0,750ml πετιούνται και να απομείνουν 2ml στο φιαλίδιο. Από αυτό το φιαλίδιο μεταφέρεται 1ml του μίγματος στην υποδοχή A4. Η διαδικασία αυτή γίνεται και

στα A3 και A2, τελικά πετιέται 1ml από το τελευταίο. Το A1 λειτουργεί σαν τυφλό (συγκέντρωση μηδέν). Άρα σε όλα τα φιαλίδια A δηλ. A1-A5 υπάρχει 1ml. Η επόμενη εντολή που εκτελείται είναι η αναμονή για 5min και ακολουθεί η προσθήκη 0,010ml διαλύματος βακτηριδίων στα φιαλίδια B1-B5 από την υποδοχή ενεργοποίησης και μετριέται η αρχική τους απορρόφηση. Και τελικώς γίνεται μεταφορά 0,5ml από τα φιαλίδια με το δείγμα A1-A5 στα B1-B5 και μετριέται η απορρόφηση για διαστήματα 5 και 15min.

2. Basic 81,9% Test

Το Basic 81,9% Test είναι παρόμοιο με το Basic Test. Σε αυτό το τεστ γίνονται περισσότερες αραιώσεις και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του EC_{50} αποβλήτων που είναι ιδιαίτερα τοξικά. Το δείγμα εξετάζεται σε συγκεντρώσεις 0%, 0,3199%, 0,6398%, 1,280%, 2,559%, 5,119%, 10,24%, 20,48%, 40,95% και 81,9%. Ξεκινάει το τεστ τοποθετώντας φιαλίδια στις υποδοχές A1-A5, B1-B5, C1-C5, D1-D5 και F3. Στο F3 τοποθετείται 1,5ml diluent και 1ml στα A1-A5 και C1-C4. Στο C5 τοποθετούνται 2,5ml δείγματος, 0,250ml ρυθμιστικό διάλυμα οσμωτικής πίεσης και στο τέλος 0,750ml πετιούνται και να απομείνουν 2ml στο φιαλίδιο. Από αυτό το φιαλίδιο μεταφέρεται 1ml του μίγματος στην υποδοχή C4. Η διαδικασία αυτή γίνεται διαδοχικά στα C3-C1 και A5-A2, τελικά πετιέται 1ml από το τελευταίο. Το A1 λειτουργεί σαν τυφλό (συγκέντρωση μηδέν). Στα A1-A5 και C1-C5 υπάρχει 1ml μίγματος. Η επόμενη εντολή που εκτελείται είναι η αναμονή για 5min και ακολουθεί η προσθήκη 0,150ml διαλύματος βακτηριδίων από την υποδοχή ενεργοποίησης στο φιαλίδιο F3. Στη συνέχεια μεταφέρεται 0,100ml μίγματος βακτηριδίων από το F3 στα φιαλίδια B1-B5 και D1-D5 και μετριέται η αρχική τους απορρόφηση. Και τελικώς γίνεται μεταφορά 0,9ml από τα φιαλίδια με το δείγμα A1-A5 στα B1-B5 και από τα C1-C5 στα D1-D5 μετριέται η απορρόφηση για διαστήματα 5 και 15min.

3.2.9 Αγωγιμότητα

Η αγωγιμότητα μετριέται από όργανο της εταιρείας Crison, μοντέλο 2202 και τα αποτελέσματα δίνονται σε μονάδες $\mu S/cm$.

3.2.10 Βαρέα Μέταλλα

Για την μέτρηση της συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων στα δείγματα χρησιμοποιείται η μέθοδος της ατομικής απορρόφησης με φλόγα και φούρνο γραφίτη. Το όργανο της ατομικής απορρόφησης είναι της εταιρείας Analytic Jena, μοντέλο 6 Vario. Σε μέταλλα τα οποία αναμένονται υψηλές συγκεντρώσεις χρησιμοποιείται φλόγα, ενώ σε μέταλλα όπου αναμένεται να υπάρξουν χαμηλές συγκεντρώσεις χρησιμοποιείται φούρνος γραφίτη.

Για να είναι επιτρεπτή η μέτρηση των μετάλλων στα δείγματα (στραγγίσματα) είναι αναγκαία η χώνευση τους, με τον ακόλουθο τρόπο: Αρχικά κατασκευάζονται δυο διαλύματα, α) 1:2 HNO₃ και β) 1:2 HCl, δηλαδή:

α) 1ml H₂O+ 1ml HNO₃ = 2ml HNO₃

β) 5ml H₂O+ 5ml HCl = 10ml HCl

Σε ποτήρι ζέσεως τοποθετούνται 100ml δείγματος, 2ml HNO₃ και 10ml HCl. Τοποθετείται σε απαγωγό με ήπιο βρασμό μέχρι να εξατμιστεί και να απομείνουν 25ml στο ποτήρι. Αφήνεται να κρυώσει και διηθείται με φίλτρο 0,45μm το οποίο είχε τοποθετηθεί σε απιονισμένο νερό για απομάκρυνση οργανικού φορτίου και άνοιγμα των πόρων για καλύτερη επεξεργασία. Στη συνέχεια, σε ογκομετρική φιάλη των 100ml αποθηκεύεται το διήθημα και προστίθεται νερό μέχρι τα 100ml.

Για τη μέτρηση των μετάλλων στα δείγματα, η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής: Τοποθετούνται τα δείγματα στις κυψελίδες, οι οποίες τοποθετούνται σε κατάλληλες υποδοχές της ατομικής απορρόφησης. Γίνονται τρεις φορές μετρήσεις του δείγματος αυτόματα από το όργανο και σαν τελικό αποτέλεσμα δίνεται ο μέσος όρος των τριών.

Για την ποσοτικοποίηση χρησιμοποιείται η μέθοδος των πρότυπων καμπύλων. Η βαθμονόμηση του οργάνου γίνεται με πρότυπα διαλύματα γνωστών συγκεντρώσεων, τα οποία μετριοούνται και καταγράφονται από το όργανο της ατομικής απορρόφησης. Με βάση των καταγεγραμμένων τιμών των συγκεντρώσεων κατασκευάζονται οι καμπύλες βαθμονόμησης, από τις οποίες υπολογίζεται η συγκέντρωση του κάθε μετάλλου, σύμφωνα με την απορρόφηση του καθενός από τα δείγματα. Οι απορροφήσεις των πρότυπων διαλυμάτων καθώς και οι καμπύλες βαθμονόμησης για κάθε εύρος συγκεντρώσεων παρουσιάζονται στο παράρτημα Ι.

Μέταλλο	Μήκος Κύματος (nm)
Fe	248,3
Ni	232
Cr	357,9
Cu	324,8
Pb	217

Πίνακας 3-3
Μήκος κύματος μετάλλων.



Σχήμα 3-7
Συσκευή ατομικής απορρόφησης.

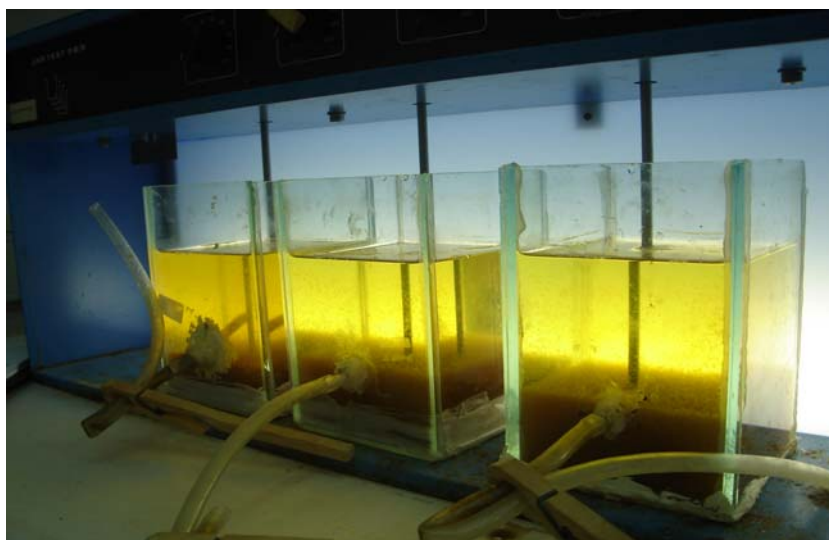
3.3 Εκτέλεση Πειραμάτων

3.3.1 Κροκίδωση

Η εκτέλεση της διεργασίας είχε ως απώτερο σκοπό της, τον προσδιορισμό της βέλτιστης δόσης κροκιδωτικού στην οποία επιτυγχανόταν η μέγιστη απομάκρυνση του COD στα στραγγίσματα του ΧΥΤΑ Χανίων.

Αρχικά γίνεται μέτρηση της συγκέντρωσης του COD στο στράγγισμα και στη συνέχεια τοποθετείται 1,5L στραγγίσματος σε κάθε δοχείο της συσκευής Jar Test. Κάτω από συνθήκες ταχείας ανάδευσης, γίνεται προσθήκη σε κάθε δοχείο της παρακάτω κατάλληλης ποσότητας κροκιδωτικού από διάλυμα $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ συγκέντρωσης 1M σε $[\text{Al}^{3+}]$: 0ml, 0.0075ml, 0.15ml 0.3ml, 0.75ml, 1.5ml, 3ml, 4.5ml, 6ml, 7.5ml, 11.25ml, 15ml και 22.5ml. και 0mM, 0.05mM, 0.1mM, 0.2mM, 0.5mM, 1mM, 2mM, 3mM, 4mM, 5mM, 7.5mM, 10mM και 15mM, αντίστοιχα συγκέντρωση κροκιδωτικού. Μετά την προσθήκη των παραπάνω δόσεων κροκιδωτικού στα έξι δοχεία, ακολουθεί η διεργασία της κροκίδωσης, η οποία αποτελείται από τα εξής στάδια:

- το στάδιο της ταχείας ανάδευσης, για την πλήρη διασπορά του κροκιδωτικού, το οποίο διαρκεί 5min με 200rpm
- το στάδιο της αργής ανάδευσης, για τη συσσωμάτωση των σωματιδίων, και διαρκεί 10min με 45rpm.



Σχήμα 3-8

Επεξεργασμένα στραγγίσματα με κροκίδωση

Στη συνέχεια παύει η ανάδευση και το αιώρημα αφήνεται να καθιζάνει για 30min (χρόνος καθίζησης). Μετά το πέρας του χρόνου καθίζησης λαμβάνεται με σιφώνιο δείγμα από την υπερκείμενη φάση κάθε δοχείου και γίνεται μέτρηση της εναπομένουσας ποσότητας COD κάθε επεξεργασμένου δείγματος.

Λόγω του ότι η συσκευή Jar Test αποτελείται μόνο από 6 δοχεία και οι δοκιμές που πρόκειται να εκτελεσθούν είναι περισσότερες από 6, η παραπάνω διαδικασία εκτελείται ακόμα μια φορά για τις υπόλοιπες δόσεις κροκιδωτικού.

3.3.2 Προσρόφηση

Η προσρόφηση πραγματοποιήθηκε μετά τον προσδιορισμό της βέλτιστης δόσης κροκιδωτικού (3ml), στην οποία επιτυγχανόταν η μέγιστη απομάκρυνση COD από το δείγμα. Αφού διαπιστώθηκε αυτό, το επόμενο βήμα ήταν η εκτέλεση του πειράματος.

Σε εννέα κωνικές φιάλες τοποθετούνται 200ml από το δείγμα που λήφθηκε με σιφώνιο από την υπερκείμενη φάση του δοχείου. Σε κάθε φιάλη προστίθεται επιπλέον η παρακάτω κατάλληλη ποσότητα ενεργού άνθρακα: 0gr, 0.1gr, 0.25gr, 0.5gr, 1gr, 1.5gr, 2gr, 4gr και 6gr. Στη συνέχεια οι φιάλες τοποθετούνται στη συσκευή ανάδευσης και αφήνονται υπό σταθερή ανάδευση (περίπου 100rpm) για 4 ημέρες, ώστε να επιτευχθεί ισορροπία μεταξύ της συγκέντρωσης της διαλυμένης ουσίας στο διάλυμα και της συγκέντρωσης της στην επιφάνεια του προσροφητή. Μετά το πέρας των 4 ημερών η ανάδευση σταματά και το περιεχόμενο κάθε φιάλης διηθείται με τα κατάλληλα υαλόφιλτρα και φίλτρα μεμβράνης, ώστε να κατακρατηθεί ο προσροφητής και να περάσει η εναπομένουσα διαλυμένη ουσία στο διήθημα. Ακολουθεί ποσοτική ανάλυση απορρόφησης του κάθε δείγματος με τη μέθοδο της φασματοφωτομετρίας. Για τον ποσοτικό προσδιορισμό του COD κατασκευάζεται ευθεία βαθμονόμησης με τουλάχιστον τρία πρότυπα διαλύματα στο εύρος των συγκεντρώσεων που αναμένεται μετά το πείραμα της προσρόφησης. Στη βέλτιστη δόση ενεργού άνθρακα που προέκυψε από την ισόθερμη προσρόφησης εκτελέσθηκαν κινητικά προσρόφησης.

3.3.3 Ηλεκτροχημική οξείδωση

Η οξείδωση πραγματοποιήθηκε μετά από προσδιορισμό της βέλτιστης δόσης κροκιδωτικού (3ml), τον προσδιορισμό της ποσότητας ενεργού άνθρακα στην οποία έχει επιτευχθεί ισορροπία μεταξύ της συγκέντρωσης της διαλυμένης ουσίας στο διάλυμα και της συγκέντρωσης της στην επιφάνεια του προσροφητή και επιτυγχανόταν η μέγιστη απομάκρυνση COD από το δείγμα. Με σκοπό τη μεγαλύτερη απομάκρυνση COD από το δείγμα εκτελείται και η ηλεκτροχημική οξείδωση.

Σε δοχείο μεγάλης χωρητικότητας της συσκευής τοποθετούνται 10lt δείγματος. Ανοίγοντας τις κατάλληλες βάνες και βάζοντας σε λειτουργία την μικρή αντλία γίνεται ανακυκλοφορία του δείγματος που βρίσκεται στο δοχείο. Η ηλεκτροχημική αντίδραση αρχίζει όταν μπει σε λειτουργία η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας από το τροφοδοτικό μεταβαλλόμενου ηλεκτρικού δυναμικού. Αρχικά, πριν τροφοδοτηθεί η συσκευή με ηλεκτρικό ρεύμα λαμβάνεται το πρώτο δείγμα, το οποίο αντιπροσωπεύει το χρόνο μηδέν της ηλεκτροχημικής διεργασίας. Λόγω μεγάλης τάσης προς αύξησης της θερμοκρασίας μέσα στο δοχείο, με την συσκευή είναι ενωμένος σωλήνας μέσα στον οποίο κυκλοφορεί νερό από τη βρύση για να κρατά τη θερμοκρασία σε όσο το δυνατό πιο χαμηλά επίπεδα. Η μέγιστη επιτρεπτή θερμοκρασία που προβλέπεται να επικρατεί μέσα στο βαρέλι για την σωστή λειτουργία της συσκευής είναι οι 35°C. Έτσι ανά τακτά χρονικά διαστήματα γίνεται έλεγχος της θερμοκρασίας με θερμόμετρο. Παρόλα αυτά, παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας και επιβάλλεται η τοποθέτηση παγωκυστών στο δοχείο.



Σχήμα 3-9

Διάταξη συσκευής ηλεκτροχημικής οξείδωσης.

Κεφάλαιο 4 Αποτελέσματα

4.1 Αρχικός Χαρακτηρισμός Στραγγισμάτων

Στο Πίνακα 4-1 που ακολουθεί, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλυτικών μεθόδων για τον χαρακτηρισμό των δειγμάτων των στραγγισμάτων, όπως αυτές υπολογίστηκαν κατά την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας.

Παράμετρος	Μονάδες	16/3/2007		3/5/2007		14/5/2007	
Τόπος Δείγματος		(1)	(3)	(1)	(2)	(3)	(3)
pH	-	8,2	8,1	7,81	6,64	7,38	8,09
BOD ₅	mg/L	440	40	720	75	40	-
COD	mg/L	4526	434	8831	795	834	979
Αιωρούμενα Στερεά, TSS	mg/L	310	74	51	116	11	17
Ολικό Άζωτο, TN	mg/L	1458	55	2261	365	358	319
Ολικό Φώσφορο, TP	mg/L	24,06	0,35	22,75	5,13	2,48	3,76
Χρώμα	TCU	7161,74	240	9139	1531	1537	2045
Τοξικότητα, EC ₅₀ ,	%						
→5min		14,94	ΔΑ ³	5,71	ΔΑ ³	ΔΑ ³	ΔΑ ³
→15min		12,94	ΔΑ ³	5,81	ΔΑ ³	ΔΑ ³	ΔΑ ³
<i>Βαρέα Μέταλλα</i>							
Fe	ppm	8,51	1,48	13,51	1,32	<0,25	<0,25
Ni	ppm	0,67	0,01	0,80	0,16	0,14	0,19
Cr	ppm	0,74	0,23	1,16	0,40	0,36	0,29
Cu	ppm	0,03	0,03	0,05	0,09	0,15	0,07
Pb	ppm	0,65	0,06	1,10	0,20	0,07	0,12

Πίνακας 4-1

Αποτελέσματα χαρακτηρισμού: (1): Δεξαμενή εξισορρόπησης. (2): Τέλος βιολογικής επεξεργασίας- Είσοδος τεχνητού υδροβιότοπου. (3): Έξοδος τεχνητού υδροβιότοπου.

³ Δεν ανιχνεύτηκε τοξικότητα γιατί το 100% του δείγματος προκαλεί λιγότερο από 50% της φωταύγειας βακτηριδίων στο δείγμα

Οι παραπάνω δειγματοληψίες είναι αντιπροσωπευτικές της σύνθεσης των στραγγισμάτων που παράγονται από τον ΧΥΤΑ του νομού Χανίων. Το σημείο δειγματοληψίας κάθε φορά ήταν σταθερό όπως αναφέρεται στο πίνακα 4-1.

Οι παράμετροι όπως είναι αναμενόμενο στην είσοδο της δεξαμενής εξισορρόπησης είναι υψηλές και στην έξοδο του τεχνητού υδροβιότοπου εφόσον έχει γίνει βιολογική επεξεργασία οι τιμές των παραμέτρων μειώνονται. Μια σημαντική παράμετρος ευρέως χρησιμοποιούμενη για την μέτρηση του οργανικού φορτίου των υγρών αποβλήτων είναι το COD. Με βάση τις πειραματικές μετρήσεις τα επίπεδα του COD κυμαίνονται από 434 mg/L έως 8831mg/L. Οι διακυμάνσεις που παρατηρούνται στις παραμέτρους οφείλονται στην αστάθεια που παρουσιάζουν τα στραγγίσματα. Η τάξη μεγέθους του COD σε κάθε δειγματοληψία παραμένει ίδια και στην είσοδο της δεξαμενής εξισορρόπησης και στην έξοδο του τεχνητού υδροβιότοπου. Η σύνθεση των στραγγισμάτων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το είδος και τη σύνθεση των απορριμμάτων που έχει διατεθεί στον ΧΥΤΑ. Τα ολικά αιωρούμενα στερεά είναι χαμηλά στη δεξαμενή εξισορρόπησης κατά τη 2^η δειγματοληψία ενώ παρατηρείται μια αύξηση αμέσως μετά την βιολογική επεξεργασία πριν την είσοδο των στραγγισμάτων στο τεχνητό υδροβιότοπο και στη έξοδο του υδροβιότοπου μειώνονται. Το συμπέρασμα που εξάγεται είναι ότι θα υπήρξε διαρροή λυματολάσπης κατά την είσοδο των στραγγισμάτων στον υδροβιότοπο.

Τα βαρέα μέταλλα δεν φαίνονται να αποτελούν σημαντικό πρόβλημα ρύπανσης στα στραγγίσματα. Οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στα στραγγίσματα είναι συχνά χαμηλές, κάτω από 1ppm. Μόνο ο σίδηρος ήταν σε υψηλές συγκεντρώσεις στο αρχικό στάδιο επεξεργασίας των στραγγισμάτων.

Συγκρίνοντας με άλλες έρευνες που παραγματοποιήθηκαν, π.χ στο Χογκ Κογκ, σε 10 δείγματα στραγγίσματος που συλλέχθηκαν από ΧΥΤΑ κατόπιν αναλύσεων έδειξαν ότι μερικά βαρέα μέταλλα, όπως το χρώμιο, ο χαλκός, ο σίδηρος, και ο ψευδάργυρος, ήταν σε υψηλές συγκεντρώσεις στο αρχικό στάδιο. Επίσης σε έρευνα 106 δανέζικων ΧΥΤΑ οι συγκεντρώσεις μετάλλων είναι χαμηλές: 0,006 mg Cd/L, 0,13 mg Ni/L, 0,67 mg Zn/L, 0,07 mg Cu/L, 0,07 mg Pb/L και 0,08 mg Cr/L.

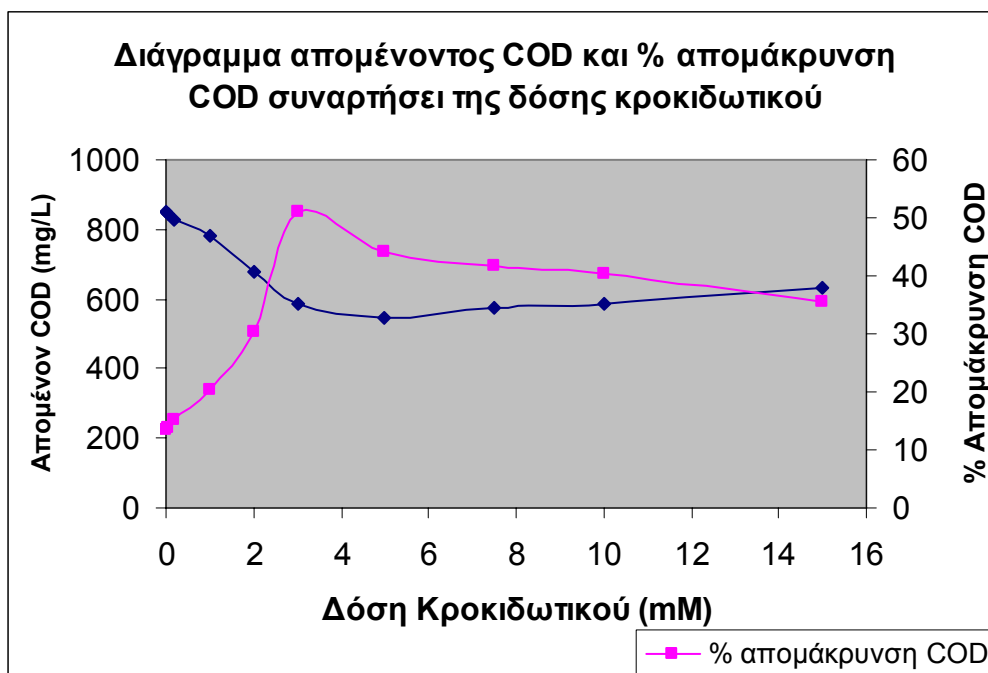
4.2 Αποτελέσματα Κροκίδωσης

Τα αποτελέσματα της κροκίδωσης παρουσιάζονται στο Πίνακα 4-2, οι δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν σε δείγμα από την έξοδο του τεχνητού υδροβιότοπου με σκοπό το προσδιορισμό της βέλτιστης δόσης κροκιδωτικού, στην οποία επιτυγχάνεται μέγιστη απομάκρυνση του COD από το δείγμα.

Δόση κροκιδωτικού (mM)	Απομένον COD (mg/L)	% Απομάκρυνση COD
0,00	849	13,31
0,05	845	13,65
0,10	872	10,93
0,20	830	15,19
0,50	849	13,31
1,00	779	20,46
2,00	680	30,51
3,00	585	51,11
4,00	559	42,93
5,00	545	44,30
7,50	572	41,57
10,00	585	41,21
15,00	632	35,45

Πίνακας 4-2
Αποτελέσματα κροκίδωσης.

Πραγματοποιήθηκαν 13 δοκιμές (βλέπε Πίνακα 4-2) διαφορετικών δόσεων κροκιδωτικού και στην κάθε δόση κροκιδωτικού μετρήθηκε η επί τοις εκατό απομάκρυνση του COD. Στα 0,1mM, 0,5mM και 4mM παρατηρούνται πειραματικά σφάλματα και για τον λόγο αυτό δεν συμπεριλαμβάνονται στο Διάγραμμα 4-1.



Διάγραμμα 4-1

Η % απομάκρυνση του COD και η απομένον συγκέντρωση του COD συναρτήσει της δόσης κροκιδωτικού.

Η επί τοις εκατό απομάκρυνση του COD σε συνάρτηση με την δόση του κροκιδωτικού παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 4-1. Από το διάγραμμα παρατηρείται με την αύξηση της δόσης του κροκιδωτικού να αυξάνεται και η αποσταθεροποίηση των κολλοειδών σωματιδίων που βρίσκονται στο υγρό απόβλητο (στραγγίσματα), με αποτέλεσμα να καθιζάνουν και να μειώνεται το φορτίο. Από τα 3mM και μετά η συγκέντρωση του COD αυξάνεται πράγμα που υποδεικνύει ότι αρχίζουν οι υπερδόσεις του κροκιδωτικού. Έτσι επιλέγεται ως βέλτιστη δόση κροκιδωτικού τα 3mM. Με βέλτιστη δόση κροκιδωτικού τα 3mM επιτυγχάνεται απομάκρυνση του COD 51,11%.

4.3 Χαρακτηρισμός διαυγασμένου-υπερκείμενου δείγματος στη βέλτιστη δόση κροκιδωτικού

Μετά τον προσδιορισμό της βέλτιστης δόσης κροκιδωτικού, γίνεται χαρακτηρισμός του κροκιδωμένου δείγματος και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Πίνακα 4-3.

Παράμετρος	Μονάδες	16/3/2007
pH	-	4,61
BOD ₅	mg/L	-
COD	mg/L	498
Αιωρούμενα Στερεά, TSS	mg/L	5
Ολικό Άζωτο, TN	mg/L	287
Ολικό Φώσφορο, TP	mg/L	<0,5
Χρώμα	TCU	299,57
Τοξικότητα, EC ₅₀ ,	%	
→5min		ΔΑ ⁴
→15min		ΔΑ ⁴
<i>Βαρέα Μέταλλα</i>		
Fe	ppm	<0,25
Ni	ppm	0,09
Cr	ppm	<0,25
Cu	ppm	0,02
Pb	ppm	0,04

Πίνακας 4-3

Χαρακτηρισμός κροκιδωμένου δείγματος στη βέλτιστη δόση κροκιδωτικού (3mM).

Με βάση τα αποτελέσματα του Πίνακα 4-3 που προκύπτουν, παρατηρείται μείωση όλων των παραμέτρων σε σχέση με το αρχικό δείγμα. Όσον αφορά το COD μειώνεται από τα 979mg/L στα 498mg/L, απομάκρυνση μεγαλύτερη από 50%, το ολικό άζωτο παρουσιάζει σχετικά μικρή μείωση,

⁴ Δεν ανιχνεύτηκε τοξικότητα γιατί το 100% του δείγματος προκαλεί λιγότερο από 50% της φωταύγειας βακτηριδίων στο δείγμα

περίπου 10% του αρχικού, όχι όσο αναμενόταν. Ο ολικός φώσφορος είναι μικρότερος του ορίου ανίχνευσης, δηλαδή <0,5ppm και το pH από 8,09 πέφτει στο 4,61, δηλαδή από βασικό γίνεται όξινο. Αξιόλογη μείωση παρουσιάζει το χρώμα στο δείγμα, το οποίο παρουσιάζει 85% αποχρωματισμό, από 2045TCU μειώνεται σε 300TCU,.

Δεν είναι δυνατή εκτίμηση της τοξικότητας γιατί το 100% του δείγματος προκαλεί λιγότερη από 50% της φωταύγειας των βακτηριδίων στο δείγμα.

4.4 Αποτελέσματα προσρόφησης

Στη διεργασία της προσρόφησης και της κινητικής προσρόφησης όλα τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν με διαυγασμένο-υπερκείμενο κροκιδωμένο δείγμα στη βέλτιστη δόση κροκιδωτικού.

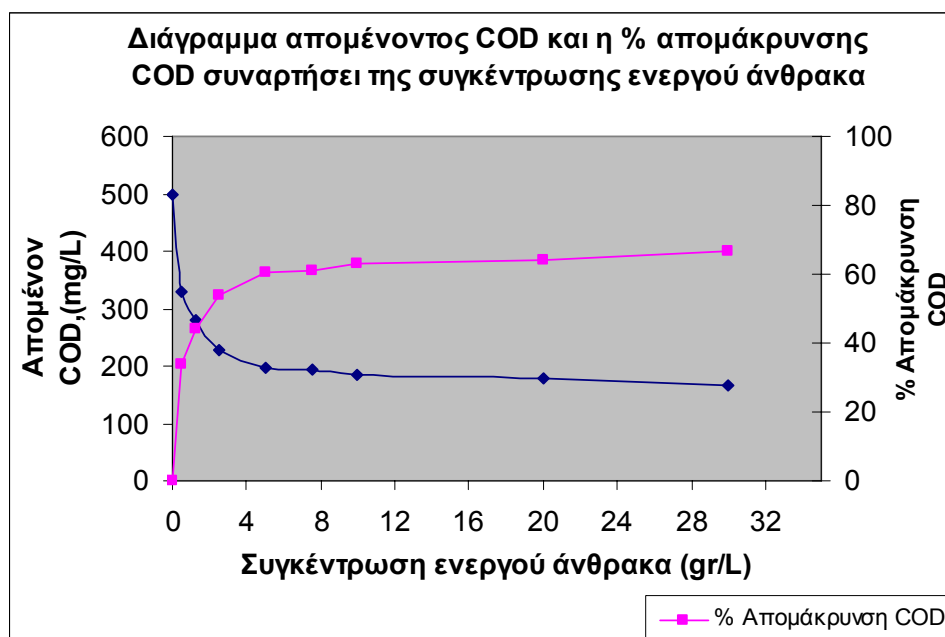
4.4.1 Διάγραμμα συγκέντρωσης του COD συναρτήσει της συγκέντρωσης του ενεργού άνθρακα

Στη συνέχεια παρουσιάζονται στο Πίνακα 4-4 τα αποτελέσματα της 4ήμερης προσρόφησης με κονιοποιημένο ενεργό άνθρακα. Οι ποσότητες με τις οποίες πραγματοποιήθηκε η διεξαγωγή της διεργασίας, η συγκέντρωση του COD μετά την ισορροπία και η % απομάκρυνση του COD αναφέρονται στο Πίνακα 4-4 που ακολουθεί.

Ποσότητα Ενεργού Άνθρακα (gr/L)	Συγκέντρωση COD μετά την ισορροπία (mg/L)	% Απομάκρυνση COD
0,00	498	0,00
0,50	329	33,94
1,25	279	43,98
2,50	229	54,02
5,00	197	60,44
7,50	194	61,04
10,00	185	62,85
20,00	180	63,86
30,00	165	66,87

Πίνακας 4-4

Αποτελέσματα προσρόφησης τεσσάρων ημερών



Διάγραμμα 4-2

Συγκέντρωση COD μετά την ισορροπία και η % απομάκρυνσης του COD συναρτήσει της συγκέντρωσης ενεργού άνθρακα.

Στο Διάγραμμα 4-2 παρατηρείται ότι όσο αυξάνει η ποσότητα του ενεργού άνθρακα αυξάνεται και η μείωση της συγκέντρωσης του COD στο δείγμα. Μεταξύ των συγκεντρώσεων 1,25 gr/L και 2,5 gr/L ενεργού άνθρακα επιτυγχάνεται απομάκρυνση COD πάνω από 50%. Στην συγκεκριμένη περίπτωση λαμβάνεται ως βέλτιστη ποσότητα ενεργού άνθρακα τα 1,25 gr/L ή 0,25 gr/200ml για τυχόν σφάλματα και αριθμητικές ανακρίβειες. Η ποσότητα αυτή λαμβάνεται ως βέλτιστη για την εκτέλεση των κινητικών προσρόφησης, γιατί τυχόν επιλογή μεγαλύτερης ποσότητας ενεργού άνθρακα η κατάσταση ισορροπίας θα επέλθει πολύ γρήγορα και η χωρητικότητα προσρόφησης θα εξαντληθεί νωρίς, χωρίς καμία ουσιαστική μεταβολή. Συνεπώς ένα διάγραμμα με τα πειραματικά δεδομένα δεν θα είχε νόημα αφού δεν θα καταγραφόταν καμία μεταβολή.

4.4.2 Ισόθερμη προσρόφησης

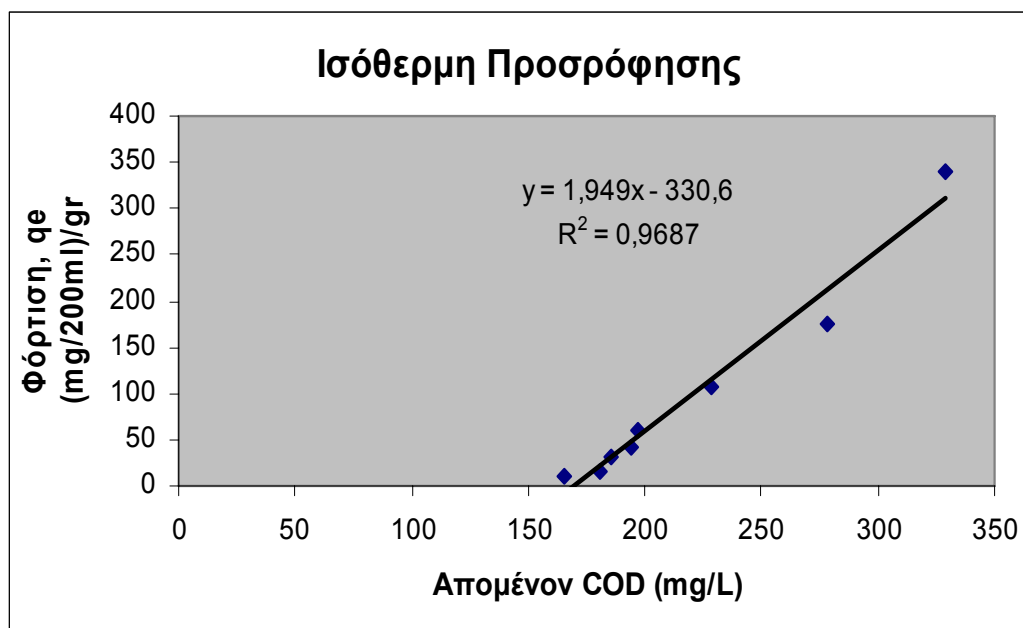
Η ποσότητας της προσροφούμενης ουσίας που μπορεί να κατακρατηθεί από ένα προσροφητικό μέσο εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά και τη συγκέντρωση της προσροφούμενης ουσίας. Η ισόθερμη προσρόφησης αναπτύσσεται τοποθετώντας διαφορετικές ποσότητες ενεργού άνθρακα (βλέπε Πίνακα 4-5) σε έναν σταθερό όγκο υγρού όπου υπάρχει συγκεκριμένη ποσότητα προσροφούμενης ουσίας, μέχρι τα δείγματα να φθάσουν σε ισορροπία.

Ποσότητα Ενεργού Άνθρακα (gr)	Συγκέντρωση COD μετά την ισορροπία (mg/L)	Φόρτιση (qe)
0,10	329	338,67
0,25	279	175,47
0,50	229	107,73
1,00	197	60,20
1,50	194	40,58
2,00	185	31,27
4,00	180	15,88
6,00	165	11,09

Πίνακας 4-5

Αποτελέσματα προσρόφησης 4 ημερών για την κατασκευή της ισόθερμης.

Τα δεδομένα της ισόθερμης τοποθετούνται σε ένα διάγραμμα, η ισόθερμη έχει την μορφή που παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 4-3.



Διάγραμμα 4-3
Ισόθερμη προσρόφησης σε ενεργό άνθρακα.

Η προσροφητική δυναμικότητα του ενεργού άνθρακα, όσον αφορά ένα συγκεκριμένο προσρόφημα, προκύπτει από την παραπάνω ισόθερμη για συγκέντρωση ισορροπίας στην υδατική φάση ίση με την αρχική συγκέντρωση του διαλύματος.

Από το Διάγραμμα 4-3. Παρατηρείται μια ποσότητα συγκέντρωσης COD που δεν μπορεί να προσροφηθεί και αυτό διακρίνεται από την εξίσωση καθώς η ευθεία έπρεπε να ξεκινά από την αρχή των αξόνων. Με βάση την εξίσωση του διαγράμματος υπολογίζεται η συγκέντρωση του COD που δεν προσροφάται, η οποία είναι 170mg/L. Η συγκέντρωση αυτή προκύπτει όταν στη εξίσωση της ευθείας μηδενίσουμε την φόρτιση και λύσουμε ως προς το απομένον COD.

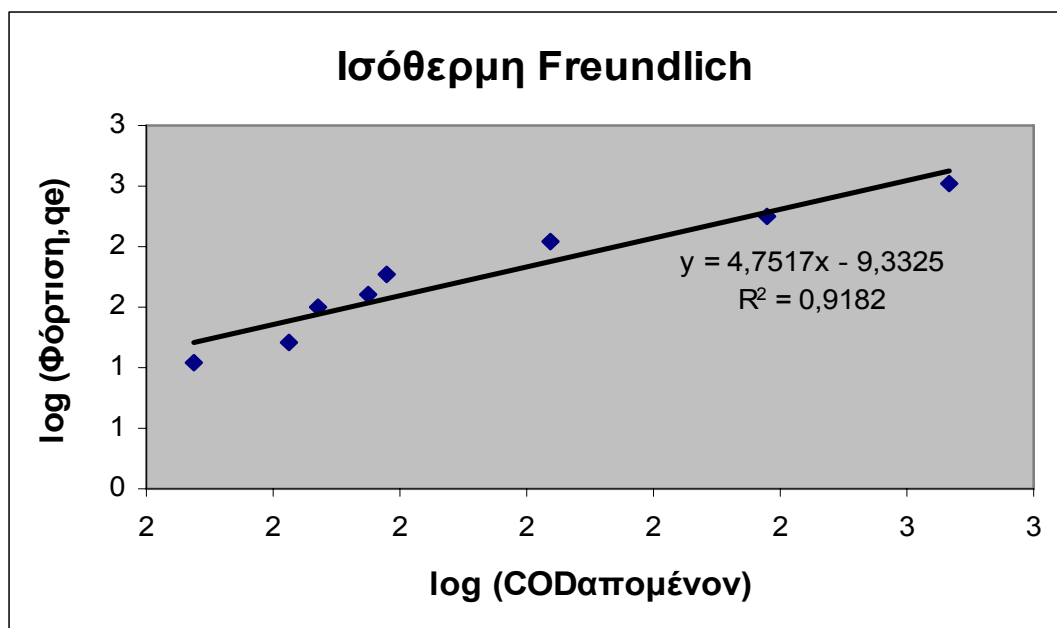
4.4.3 Ισόθερμη Freundlich

Η ισόθερμη Freundlich, οποία περιγράφεται από την σχέση :

$$q_e = 4,65 \times 10^{-10} \times C_e^{4,75}$$

Η ισόθερμη είναι μη ευνοϊκή καθώς ο εκθέτης της ισόθερμης είναι πολύ μεγαλύτερος από τη μονάδα. Η τιμή $4,65 \times 10^{-10}$ είναι παράμετρος που

σχετίζεται με την μέγιστη προσροφητική ικανότητα. Η ισόθερμη Freundlich περιγράφεται στο Διάγραμμα 4-4.



Διάγραμμα 4-4
 Ισόθερμη Freundlich.

Ποσότητα Ενεργού Άνθρακα (gr)	Log (COD _{απομένον}) (mg/L)	Log (Φόρτιση, qe)
0,10	2,52	2,53
0,25	2,45	2,24
0,50	2,36	2,03
1,00	2,29	1,78
1,50	2,29	1,61
2,00	2,27	1,50
4,00	2,26	1,20
6,00	2,22	1,04

Πίνακας 4-6
 Αποτελέσματα προσρόφησης 4 ημερών για την κατασκευή της ισόθερμης Freundlich

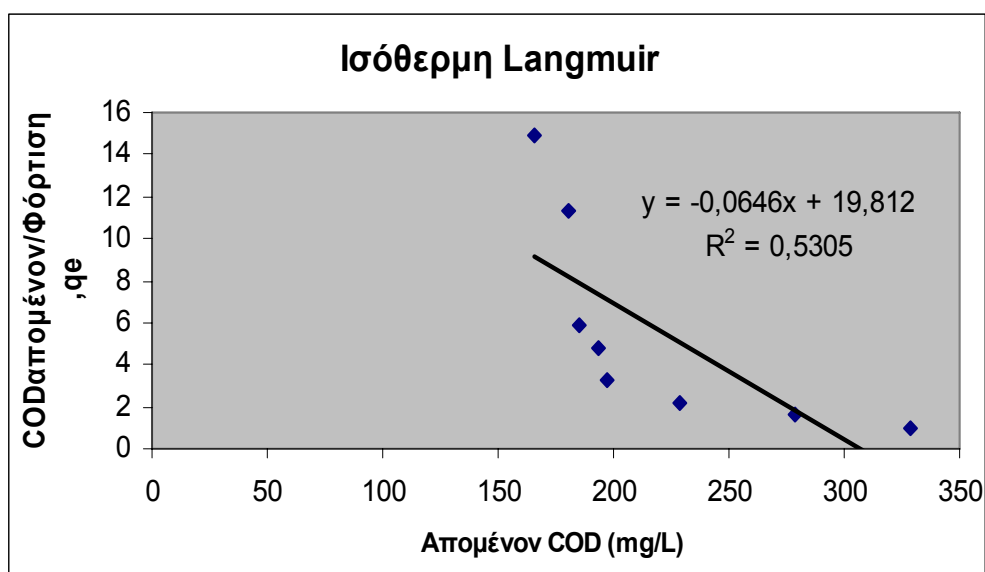
4.4.4 Ισόθερμη Langmuir

Στο Διάγραμμα 4-5 παρουσιάζεται η ισόθερμη Langmuir όπως προκύπτει από τα πειραματικά δεδομένα. Είναι προφανές ότι η ισόθερμη Langmuir παρουσιάζει αρνητική κλίση ενώ με βάση την θεωρία η ισόθερμη Langmuir έχει θετική κλίση. Ο λόγος ίσως να είναι ότι το υπό εξέταση δείγμα (δηλ. στραγγίσματα) αποτελείται από ένα μίγμα οργανικών ουσιών και όχι από μια οργανική ουσία με αποτέλεσμα την διαφοροποίηση των παρακάτω αποτελεσμάτων.

Ποσότητα Ενεργού Άνθρακα (gr)	Συγκέντρωση COD μετά την ισορροπία (mg/L)	Συγκέντρωση COD μετά την ισορροπία / Φόρτιση, qe
0,10	329	0,95
0,25	279	1,59
0,50	229	2,12
1,00	197	3,27
1,50	194	4,7
2,00	185	5,93
4,00	180	11,93
6,00	165	14,91

Πίνακας 4-7

Αποτελέσματα προσρόφησης 4 ημερών για την κατασκευή της ισόθερμης Langmuir.



Διάγραμμα 4-5

Ισόθερμη Langmuir

Σύμφωνα με τα δυο μοντέλα των ισόθερμων, Freundlich και Langmuir, μόνο το μοντέλο του Freundlich μπορεί να προσεγγίσει καλύτερα τα πειραματικά δεδομένα γιατί παρουσιάζει τον μεγαλύτερο συντελεστή διασποράς R^2 . Επίσης η Freundlich βγαίνει μη ευνοϊκή και η Langmuir με αρνητικούς συντελεστές ενώ αναμένονταν να ήταν θετικοί.

4.5 Κινητικά προσρόφησης

Η ισορροπία που περιγράφουν οι ισόθερμες δεν επιτυγχάνεται πάντα στις συσκευές προσρόφησης. Αυτό συμβαίνει γιατί οι ισόθερμες αντιπροσωπεύουν το μέγιστο βαθμό της προσροφητικής ικανότητας του ενεργού άνθρακα. Η επίτευξη της ισορροπίας απαιτεί ένα μεγάλο χρονικό διάστημα. Έτσι, για το πλήρη σχεδιασμό ενός συστήματος προσρόφησης απαιτείται η μελέτη της κινητικής προσρόφησης.

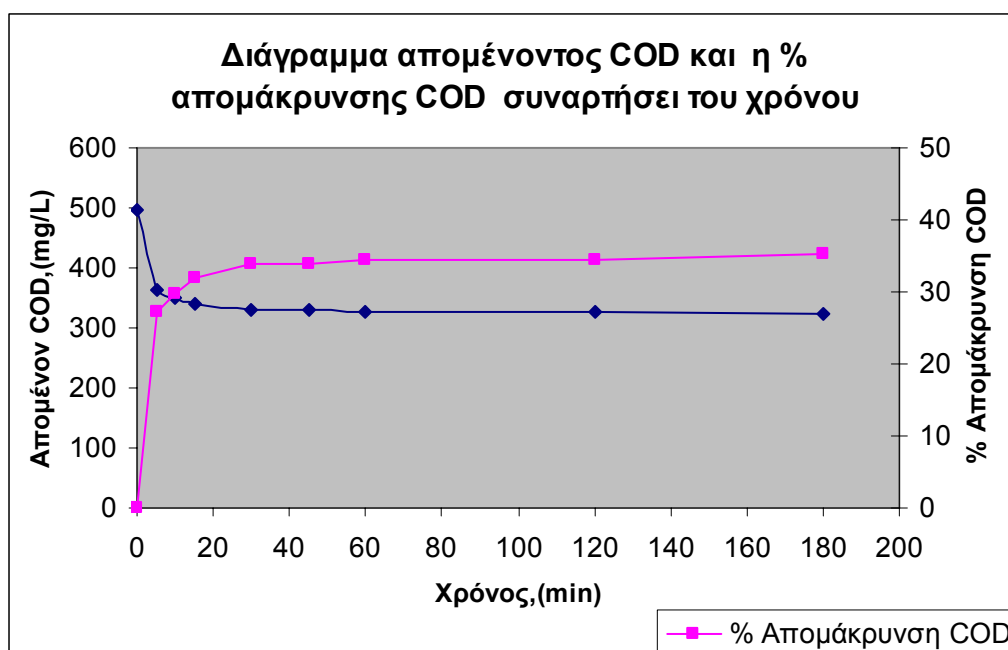
4.5.1 Κινητική προσρόφησης 3 ωρών με κονιοποιημένο ενεργό άνθρακα (PAC⁽⁵⁾).

Η κινητική προσρόφησης 3 ωρών γίνεται με 0,25gr κονιοποιημένο ενεργό άνθρακα σε 200ml δείγματος. Το χρονικό διάστημα μέτρησης, η συγκέντρωση του COD μετά την ισορροπία και % απομάκρυνση του COD παρουσιάζονται στο Πίνακα 4-8.

⁵ Powdered Activated Carbon

Χρονικό Διάστημα (min)	Απομένον COD (mg/L)	% Απομάκρυνση COD
0	498	0,00
5	363	27,17
10	350	29,65
15	339	31,99
30	329	34,00
45	329	34,00
60	327	34,34
120	327	34,34
180	322	35,34

Πίνακας 4-8
Κινητική προσρόφησης 3 ωρών.



Διάγραμμα 4-6
Απομένον συγκέντρωση του COD και η % απομάκρυνση του
συναρτήσει του χρόνου.

Από το Διάγραμμα 4-6 της 3ωρης κινητικής προσρόφησης, παρατηρείται μια πολύ γρήγορη κινητική στην οποία η ισορροπία επέρχεται σε μικρό χρονικό διάστημα. Στα πρώτα 15 λεπτά η προσρόφηση προχωρά

γρήγορα με αποτέλεσμα η συγκέντρωση του COD να μειώνεται αισθητά, ενώ από τα 15 λεπτά και έπειτα λόγω της παρεμποδισμένης διάχυσης στους μικροπόρους, προχωρεί αργά η κινητική και σε σύντομο χρονικό διάστημα επέρχεται ισορροπία. Μια περαιτέρω παράταση χρονικού διαστήματος και μέτρησης της συγκέντρωσης του COD θα ήταν ανώφελη αφού είναι φανερό από το διάγραμμα, ότι η ισορροπία έχει επέλθει. Στα 15 λεπτά η συγκέντρωση του COD μετά την ισορροπία είναι της τάξης του 30% και τελικά καταλήγει στο 34%.

4.5.2 Κινητική προσρόφησης 12 ωρών με κοκκώδη ενεργό άνθρακα (GAC⁽⁶⁾)

Η κινητική προσρόφησης 12 ωρών γίνεται με 0,25gr κοκκώδη ενεργό άνθρακα σε 200ml δείγματος, όπως και στην προηγούμενη κινητική. Το χρονικό διάστημα μέτρησης, η υπολειπόμενη συγκέντρωση του COD και η επί τοις εκατόν απομάκρυνση του COD παρουσιάζονται στο Πίνακα 4-9.

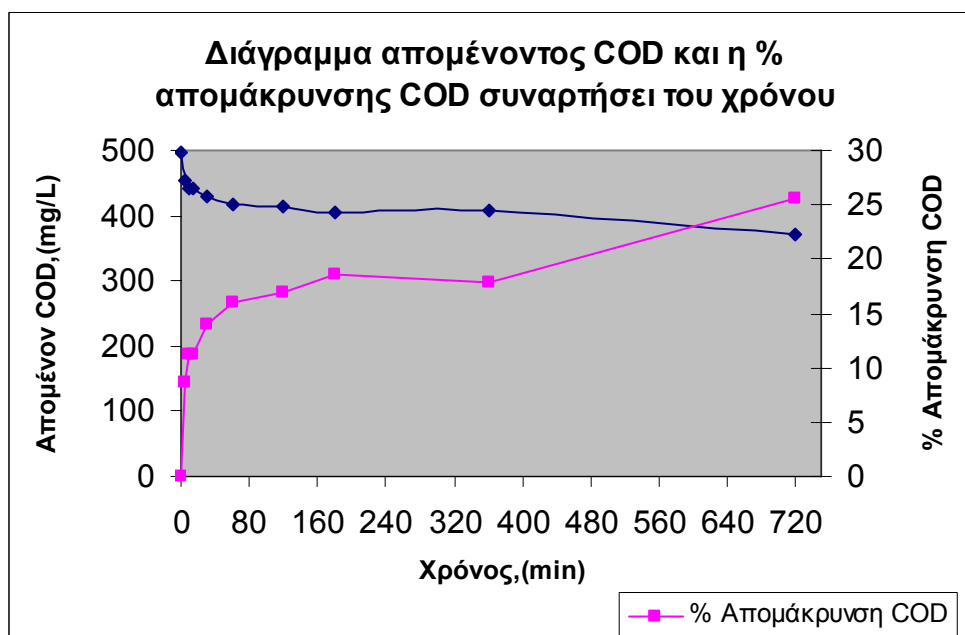
Χρονικό Διάστημα (min)	Απομένον COD (mg/L)	% Απομάκρυνση COD
0	498	0,00
5	455	8,57
10	442	11,24
15	442	11,24
30	429	13,92
60	419	15,93
120	414	16,93
180	405	18,61
360	404	17,94
720	370	25,64

Πίνακας 4-9

Αποτελέσματα χρονικής προσρόφησης 12 ωρών.

⁶ Granular Activated Carbon

Με βάση την θεωρία η προσρόφηση λαμβάνει χώρα στην επιφάνεια του προσροφητικού μέσου και στους μακροπόρους και μεσοπόρους, η ειδική επιφάνεια των τμημάτων αυτών είναι για τα περισσότερα στερεά προσροφητικά μέσα εξαιρετικά μικρή, συγκρινόμενη με την ειδική επιφάνεια των μικροπόρων και η ποσότητα των ουσιών που προσροφούνται στα τμήματα αυτά θεωρείται συνήθως αμελητέα.



Διάγραμμα 4-7

Απομένον συγκέντρωση του COD και η % απομάκρυνση COD συναρτήσει του χρόνου.

Από το Διάγραμμα 4-7 παρατηρείται η κινητική της προσρόφησης με 0,25gr κοκκώδους ενεργού άνθρακα σε 200ml κροκιδωμένου δείγματος, εντός των 12 ωρών η απομάκρυνση του COD που παρουσιάζει είναι ελάχιστη. Μια μεταβολή παρουσιάζεται από τις 6 ώρες έως τις 12 ώρες. Η μεταβολή αυτή είναι δικαιολογημένη με βάση την θεωρία για τον λόγο ότι ο κοκκώδης άνθρακας έχει μικρότερη ειδική επιφάνεια από τον κονιοποιημένο ενεργό άνθρακα, με αποτέλεσμα η διάρκεια της διεργασίας της απομάκρυνσης των προσροφούμενων ουσιών να γίνεται πολύ αργά.

Μια κοινή παρατήρηση από τα Διάγραμμα 4-7 όσον αφορά την προσροφητική ικανότητα των δυο ανθράκων είναι ότι όσο μεγαλύτερη ειδική επιφάνεια και μέγεθος πόρων έχει ο προσροφητής τόσο μεγαλύτερη μεταφορά μάζας προσροφούμενων μορίων εισρέει στους πόρους του προσροφητή.

4.6 Αποτελέσματα Ηλεκτροχημικής Οξειδωσης

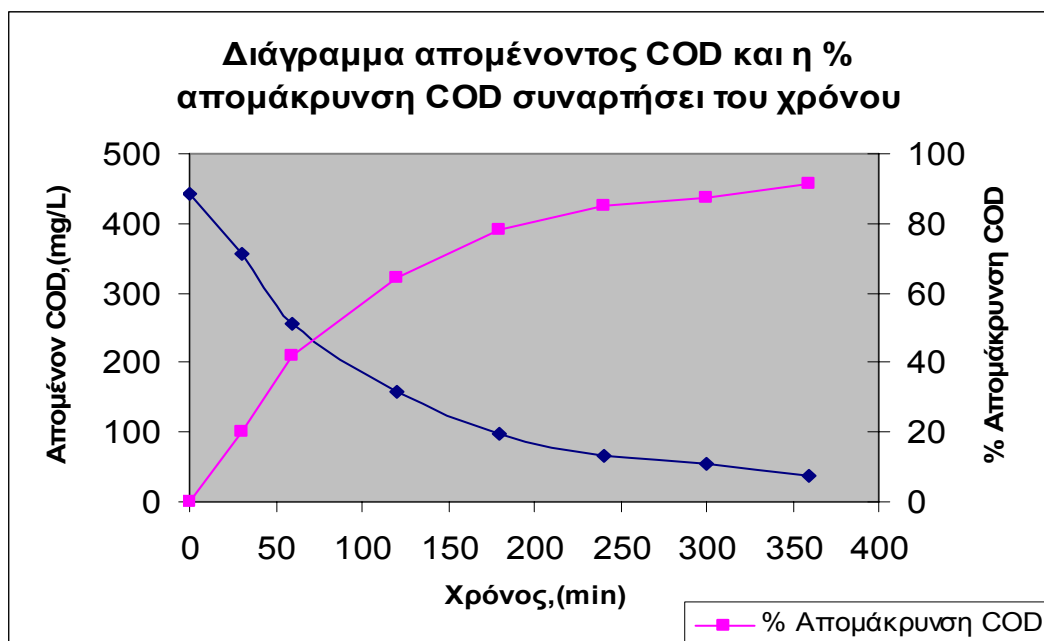
4.6.1 Αποτελέσματα 1^{ης} Ηλεκτροχημικής Οξειδωσης

Για την ηλεκτροχημική οξείδωση χρησιμοποιήθηκαν 10L αρχικού δείγματος στραγγισμάτων. Η πειραματική διαδικασία διήρκησε 6 ώρες. Το pH μετρήθηκε ίσο με 7,94 και η ένταση του ρεύματος αφέθηκε ελεύθερη. Σε καθορισμένα χρονικά διαστήματα γινόταν μέτρηση της απομάκρυνσης του COD από το δείγμα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αναλυτικά στο Πίνακα 4-10.

Χρονικό Διάστημα (min)	Απομένον COD (mg/L)	% Απομάκρυνση COD
0	444	0,00
30	355	19,97
60	257	42,12
120	159	64,26
180	97	78,15
240	67	84,91
300	55	87,54
360	39	91,29

Πίνακας 4-10

Αποτελέσματα ηλεκτρόλυσης 6 ωρών.



Διάγραμμα 4-8

Απομένον συγκέντρωση του COD και η % απομάκρυνση COD συναρτήσει του χρόνου.

Από το Διάγραμμα 4-8 παρατηρείται μια ομοιόμορφη απομάκρυνση του COD σε σχέση με το χρόνο. Στις 2 ώρες η απομάκρυνση ξεπερνάει το 60% και τελικώς η απομάκρυνση φτάνει στα 91%. Το COD είναι σχεδόν ανύπαρκτο στο υπό εξέταση δείγμα, σε σχέση με τις άλλες διεργασίες που εξετάστηκε το δείγμα, όπως για παράδειγμα την κροκίδωση και προσρόφηση. Σε καμία απ' τις δυο δεν επιτεύχθηκε απομάκρυνση μεγαλύτερη από 70%.

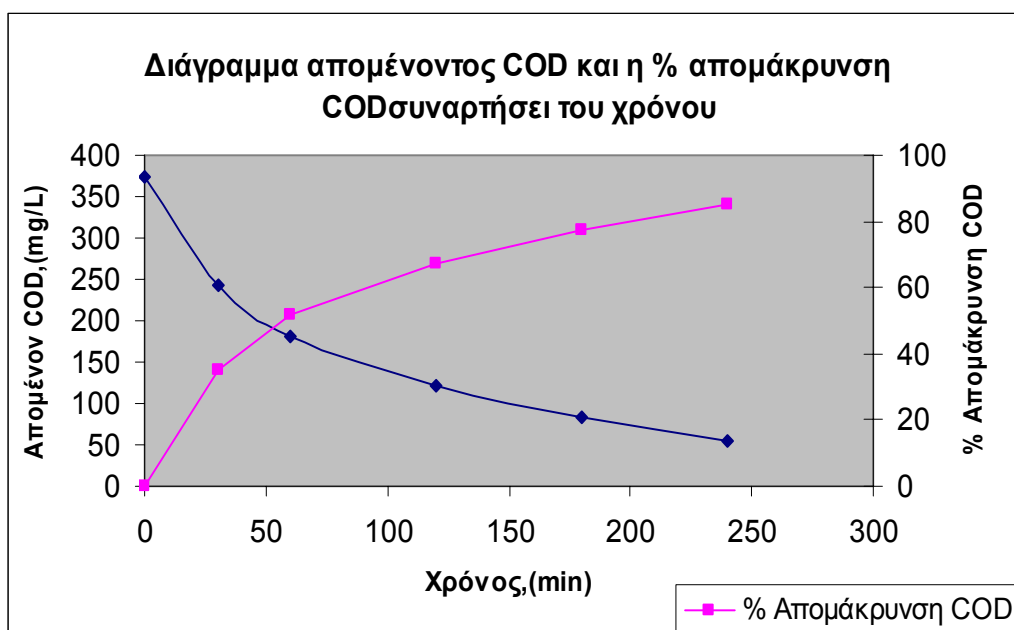
4.6.2 Αποτελέσματα 2^{ης} Ηλεκτροχημικής Οξείδωσης

Στη 2^η ηλεκτροχημική οξείδωση ο όγκος που χρησιμοποιήθηκε είναι ίδιος με τον προηγούμενο, δηλ. 10L αρχικού δείγματος. Γίνεται προσθήκη 6ml θειικού οξέος (H_2SO_4) και στη συνέχεια μετريέται το pH ίσο με 2,63. Στην περίπτωση αυτή η ένταση του ρεύματος δεν είναι σταθερή, μετريέται την στιγμή που γίνεται δειγματοληψία, όπως φαίνεται στο Πίνακα 4-11.

Χρονικό Διάστημα (min)	Ένταση ρεύματος (A)	Απομένον COD (mg/L)	% Απομάκρυνση COD
0	18	374	0,00
30	21,3	242	35,29
60	21	180	51,78
120	21,1	122	67,38
180	21	84	77,63
240	21	53	85,20

Πίνακας 4-11

Αποτελέσματα ηλεκτρόλυσης 6 ωρών.



Διάγραμμα 4-9

Απομένον συγκέντρωση COD και η % απομάκρυνση COD συναρτήσει του χρόνου.

Από το Διάγραμμα 4-9 παρατηρείται πως η απομάκρυνση του COD μειώνεται σταδιακά σε σχέση με το χρόνο και τελικά η απομάκρυνση φτάνει στο 85%. Η παρουσία του θειικού οξέος στο δείγμα δεν συντέλεσε σε ουσιαστική μεταβολή της απομάκρυνσης όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 4-9. Συγκρίνοντας το Διάγραμμα 4-8 και Διάγραμμα 4-9 δεν διακρίνεται καμία

διαφορά, παρά μόνο ότι στο Διάγραμμα 4-9 παρουσιάζεται μια ελαφρώς μεγαλύτερη απομάκρυνση του COD στη πρώτη ώρα απ' ότι το Διάγραμμα 4-8 και ο λόγος είναι η παρουσία του θειικού οξέος. Το υπόλοιπο χρονικό διάστημα των μετρήσεων η απομάκρυνση και στις δυο περιπτώσεις είναι ίδια.

Κεφάλαιο 5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα, που εξάγονται από το χαρακτηρισμό και την φυσικοχημική επεξεργασία των στραγγισμάτων, το συμπέρασμα που προκύπτει είναι πως και οι τρεις επεξεργασίες θεωρούνται ικανοποιητικές ως προς το ποσοστό απομάκρυνσης του COD από τα παραγόμενα στραγγίσματα του ΧΥΤΑ.

Συγκεκριμένα, κατά τη διεργασία της κροκίδωσης και επιλογή της βέλτιστης δόσης κροκιδωτικού τα 3mM η απομάκρυνση του COD έφτασε ποσοστό 51%.

Αντίστοιχα, η προσρόφηση με κονιοποιημένο ενεργό άνθρακα είχε ως αποτέλεσμα απομάκρυνση του COD της τάξης του 70% ενώ η προσρόφηση με κοκκώδη ενεργό άνθρακα έφτασε σε απομάκρυνση μέχρι 35%. Το αποτέλεσμα αυτό εξηγείται βάση του γεγονότος ότι ο κοκκώδης άνθρακας έχει μικρότερη ειδική επιφάνεια από τον κονιοποιημένο ενεργό άνθρακα, με αποτέλεσμα η διάρκεια της διεργασίας της απομάκρυνσης των προσροφούμενων ουσιών να γίνεται πιο αργά. Επίσης λόγω της μικρής ειδικής επιφάνειας και της παρεμποδισμένης διάχυσης στους μικροπόρους, η κινητική είναι αργή και σε σύντομο χρονικό διάστημα επέρχεται ισορροπία. Η προσρόφηση χρησιμοποιείται συνήθως μόνο για την επεξεργασία στραγγισμάτων από παλιούς χώρους ταφής ή ως τριτοβάθμια επεξεργασία της τελικής εκροής από βιολογικές μονάδες που είναι εφικτή η μείωση του COD έως και 85% της αρχικής τιμής.

Η ισόθερμη προσρόφησης προσομοιάζεται ικανοποιητικά από το μοντέλο του Freundlich. Ειδικά στην ισόθερμη Langmuir η μορφή που παρουσιάζει η καμπύλη καταλήγει στο συμπέρασμα ότι το υπό εξέταση δείγμα (δηλ. τα στραγγίσματα) αποτελείται από ένα μίγμα οργανικών ουσιών και όχι από μια συγκεκριμένη οργανική ουσία.

Με την ηλεκτρόλυση του στραγγίσματος η απομάκρυνση COD έφτασε το 92%, με και χωρίς προσθήκη οξειδωτικού. Με την προσθήκη οξειδωτικού μέσου η απομάκρυνση του COD έφτασε στο 92% σε μια ώρα λιγότερη από την μη προσθήκη οξειδωτικού μέσου στο στραγγίσμα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξένη βιβλιογραφία – Ελληνική βιβλιογραφία

- [1] Irene M.-C. Lo. (1996). Characteristics and treatment of leachates from domestic landfills, *Environment International*, 22, 433-442.
- [2] Thomas H. Christensen, Peter Kjeldsen, Poul L. Bjerg, Dorthe L. Jensen, Jette B. Christensen, Anders Baun, Hans-Jørgen Albrechtsen and Gorm Heron. (2001). Biogeochemistry of landfill leachate plumes, *Applied Geochemistry*, 16, 659-718.
- [3] Eng. M.Sc. Diego Paredes. Landfill Leachate Treatment in Constructed Wetlands: Removal of High Nitrogen Loads.
- [4] Tchobanoglous G., Theisen H. and Vigil S. (1993). *Integrated Solid Waste Management*, McGraw-Hill, New York.
- [5] Tonni Agustiono Kurniawan, Wai-hung Lo, Gilbert YS Chan. Physico-chemical treatments for removal of recalcitrant contaminants from landfill leachate, *Journal of Hazardous Materials*, B129, (2006), 80–100.
- [6] El-Fadel, M., Findikakis, A.N., and Leckie, J.O. (1997). Environment impacts of solid waste landfilling. *J.Envir. Manag.*, 50, 1-25.
- [7] Shwer M. (1974). *Surveyor*, May 17, 30-33.
- [8] Bohdziewicz J., Bodzek M. and Gorska, J. (2001). Application of pressure-driven membrane techniques to biological treatment of landfill leachate. *Pro Biochem*, 36, 641-646.
- [9] Jenkins B.M., Mannapperum J.D. and Bakker R.R. (2003). Biomass leachate treatment by reverse osmosis. *Fuel Proc. Tech.*, 81, 223-246.
- [10] Maris P.J., Harington D. and Chismon, G.L. (1983). *Inst. Wat. Poll.Con. Meeting*, Cambridge, November.
- [11] Fraser J.A.L. and Tyler, N. (1983). *Eff. Wat. Treat. J*, April, 149-156.
- [12] Guohua Chen. (2004). Electrochemical technologies in wastewater treatment. *Separation and Purification Tech.* 38, 11–41.
- [13] Mc Bean E.A., Rovers F.A. and Farguhar G.J. (1995). *Solid Waste Landfill Engineering and Desing*. Prentice Hall PTR, Englewood Cliffs.

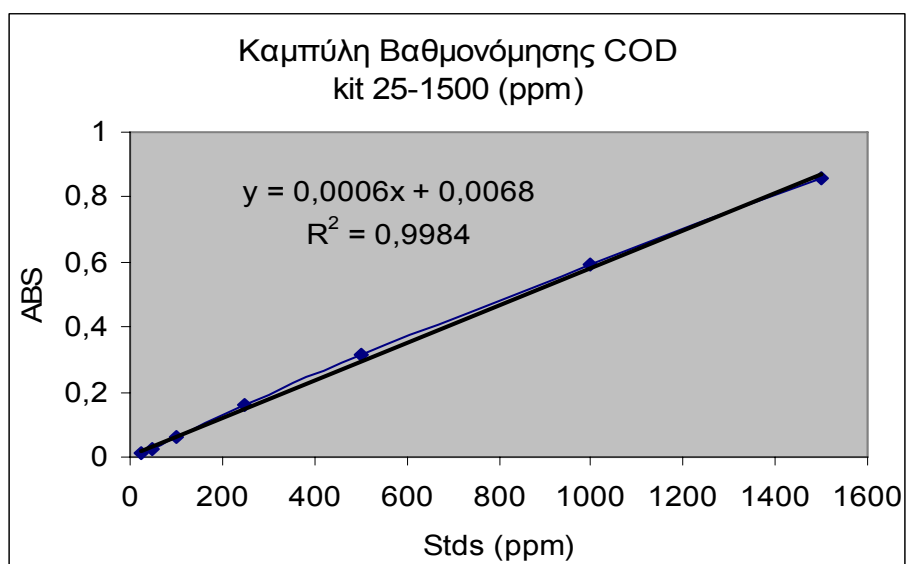
- [14] Coleman A.K. (1985). Alternatives to Landfill. Hazardous Waste Management Handbook, (ED. A. Porteous), Butterworths.
- [15] Γιδάρκος Ε. (2006). Επικίνδυνα Απόβλητα. Εκδόσεις Ζυγός, Θεσσαλονίκη.
- [16] Μήτρακας Μ. (2001). Ποιοτικά Χαρακτηριστικά Και Επεξεργασία Νερού. Δεύτερη Έκδοση, Εκδόσεις Τζίολα.
- [17] Παναγιωτακόπουλος Δ. (2002). Βιώσιμη Διαχείριση Αστικών Στερεών Αποβλήτων. Εκδόσεις Ζυγός, Θεσσαλονίκη.
- [18] Σκορδίλης Α.Δ (2001). Ελεγχόμενη Εναπόθεση Στερεών μη Επικίνδυνων Αποβλήτων, Εκδόσεις ΙΩΝ.
- [19] Διαμαντόπουλος Ε., (2004). Χημικές Διεργασίες στη Επεξεργασία νερού και Υγρών Αποβλήτων, Πανεπιστημιακές Παραδόσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης.
- [20] Λέκκας Θ. (1996). Περιβαλλοντική Μηχανική Ι : Διαχείριση Υδατικών Πόρων. Τμήμα Περιβάλλοντος Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη.
- [21] Νικολόπουλος , Ευθύμιος Ι. (2002). [Βιολογική επεξεργασία στραγγισμάτων από Χ.Υ.Τ.Α. Δήμου Ρεθύμνου. Διπλωματική Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος.](#)
- [22] Περιβαλλοντική Μελέτη ΧΥΤΑ Χανίων.
- [23] Jerald L. Schnoor. Μετάφραση Βασίλειος Χρ. Γκέκας, Καθηγητής Πολυτεχνείου Κρήτης.(2003).Περιβαλλοντικά Μοντέλα, Εκδόσεις Τζίολα.
- [24] Metcalf and Eddy, Inc. Μεταφραστές Αθανάσιος Κούγκολος και Πέτρος Σαμαράς.⁴ Έκδοση. (2006). Μηχανική Υγρών Αποβλήτων. Εκδόσεις Τζίολα.
- [25] Τσαγκαράκης Κ.Π. (2004). Επεξεργασία υγρών αποβλήτων με συμβατικές τεχνολογίες. Διαχείριση Αστικών Υγρών Αποβλήτων, 27-46.
- [26] Οικονομόπουλος Αλέξανδρος Π., (2001). Έλεγχος ρύπανσης νερών, Πανεπιστημιακές Παραδόσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Καμπύλες Βαθμονόμησης

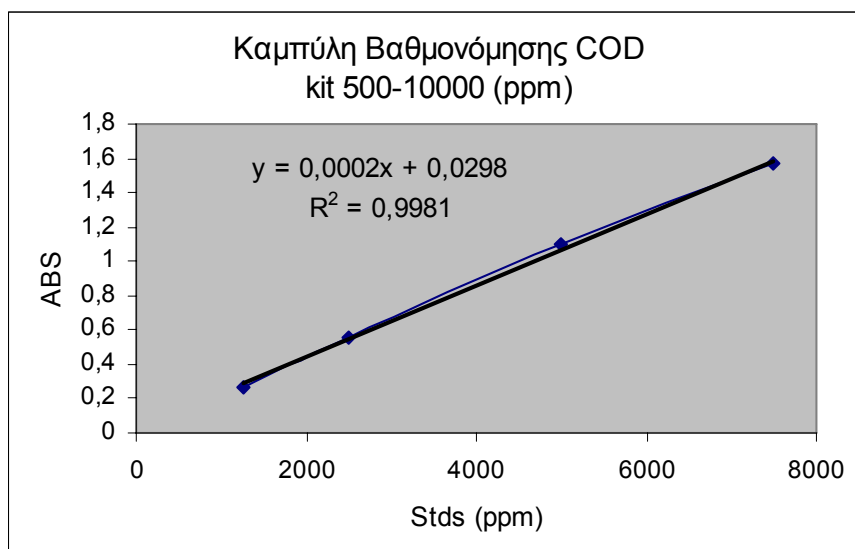
1. Καμπύλη βαθμονόμησης COD για kit 25-1500ppm

Συγκέντρωση (ppm)	Απορρόφηση (ABS)
25	0,014
50	0,022
100	0,06
250	0,16
500	0,313
1000	0,593
1500	0,855



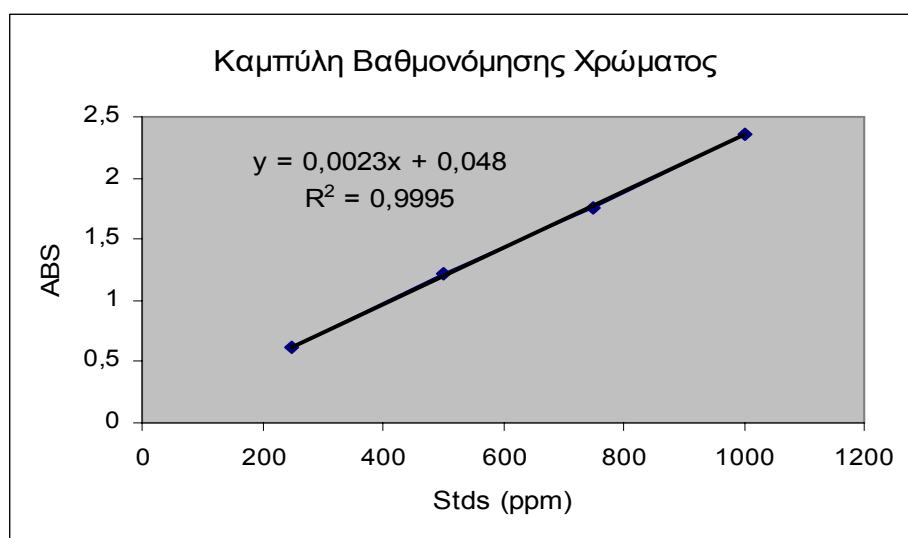
2. Καμπύλη βαθμονόμησης COD για kit 500-10.000ppm

Συγκέντρωση (ppm)	Απορρόφηση (ABS)
1250	0,269
2500	0,558
5000	1,098
7500	1,565



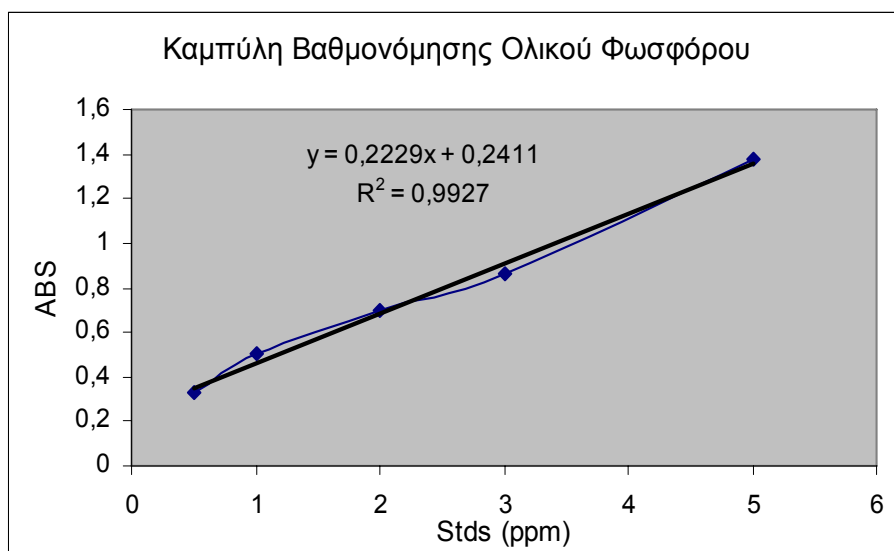
3. Καμπύλη βαθμονόμησης χρώματος

Συγκέντρωση (ppm)	Απορρόφηση (ABS)
250	0,616
500	1,222
750	1,758
1000	2,358



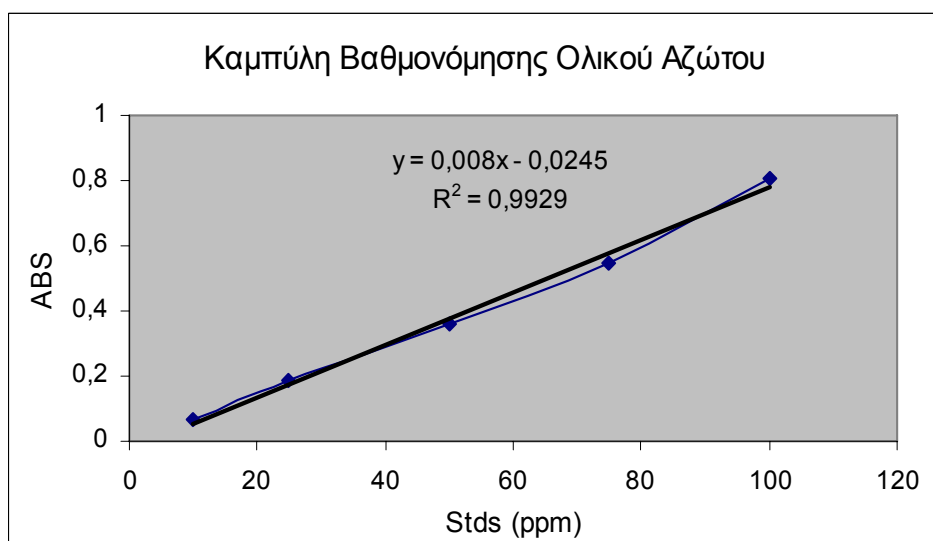
4. Καμπύλη βαθμονόμησης ολικού φωσφόρου

Συγκέντρωση (ppm)	Απορρόφηση (ABS)
0,5	0,334
1	0,5
2	0,7
3	0,86
5	1,375



5. Καμπύλη βαθμονόμησης ολικού αζώτου

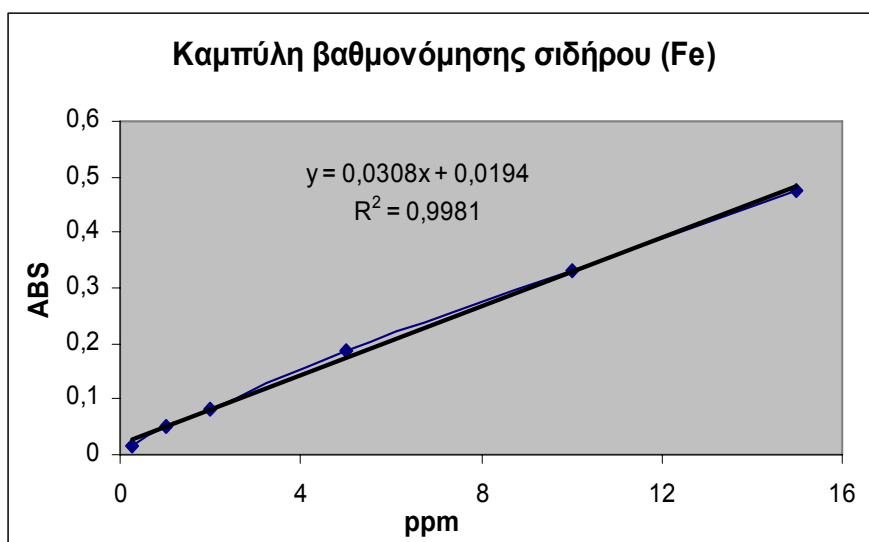
Συγκέντρωση (ppm)	Απορρόφηση (ABS)
10	0,068
25	0,184
50	0,358
75	0,545
100	0,807



6. Καμπύλες βαθμονόμησης βαρέων μετάλλων

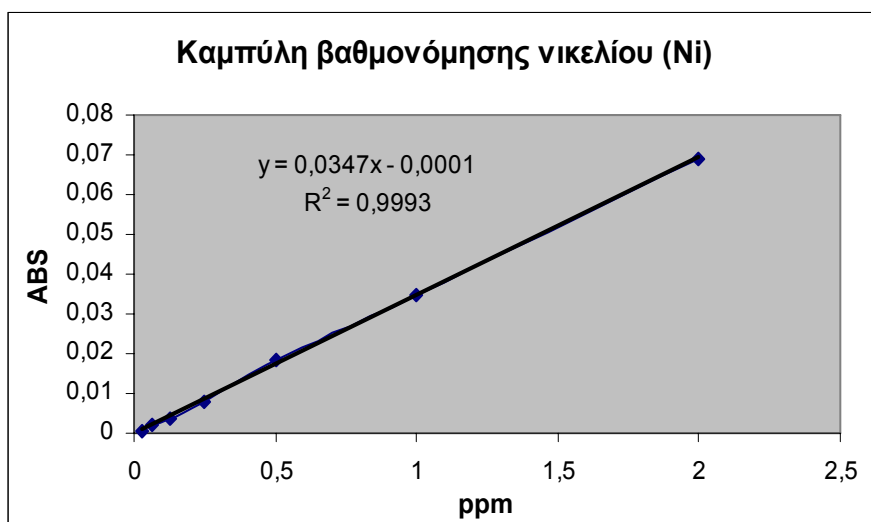
6.1 Καμπύλη βαθμονόμησης σιδήρου (Fe)

Συγκέντρωση (ppm)	Απορρόφηση (ABS)
0,25	0,01628
1	0,05156
2	0,0815
5	0,1852
10	0,331
15	0,4756



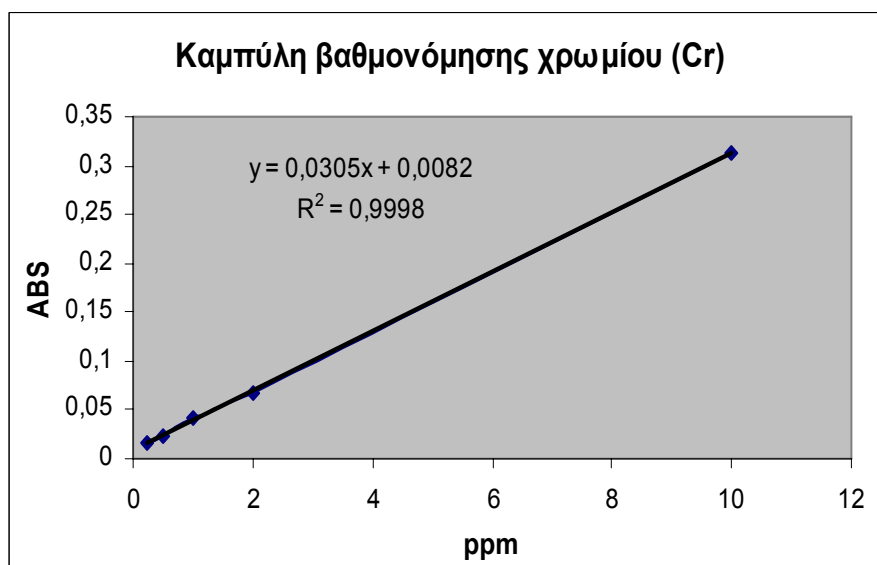
6.2 Καμπύλη βαθμονόμησης νικελίου (Ni)

Συγκέντρωση (ppm)	Απορρόφηση (ABS)
0,03125	0,00075
0,0625	0,00193
0,125	0,00384
0,25	0,00806
0,5	0,01865
1	0,03484
2	0,06889



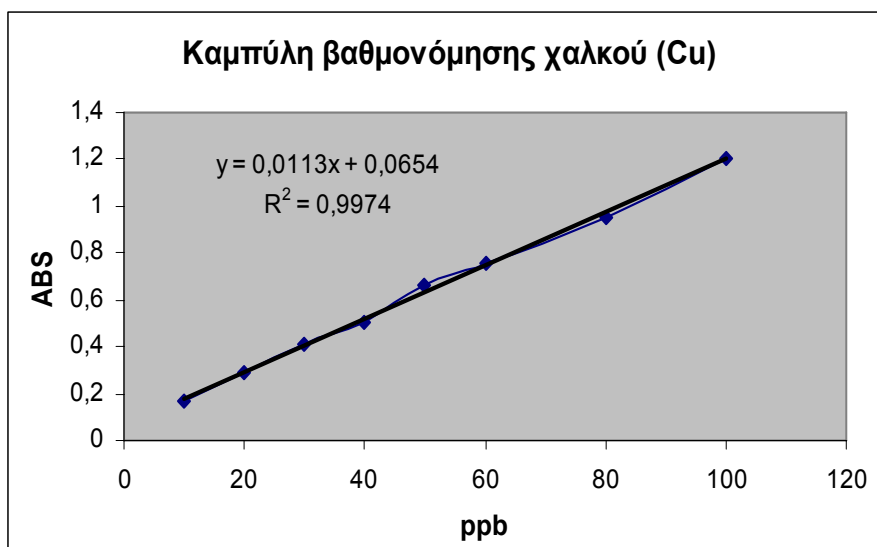
6.3 Καμπύλη βαθμονόμησης χρωμίου (Cr)

Συγκέντρωση (ppm)	Απορρόφηση (ABS)
0,25	0,01647
0,5	0,02366
1	0,04064
2	0,06606
10	0,3139



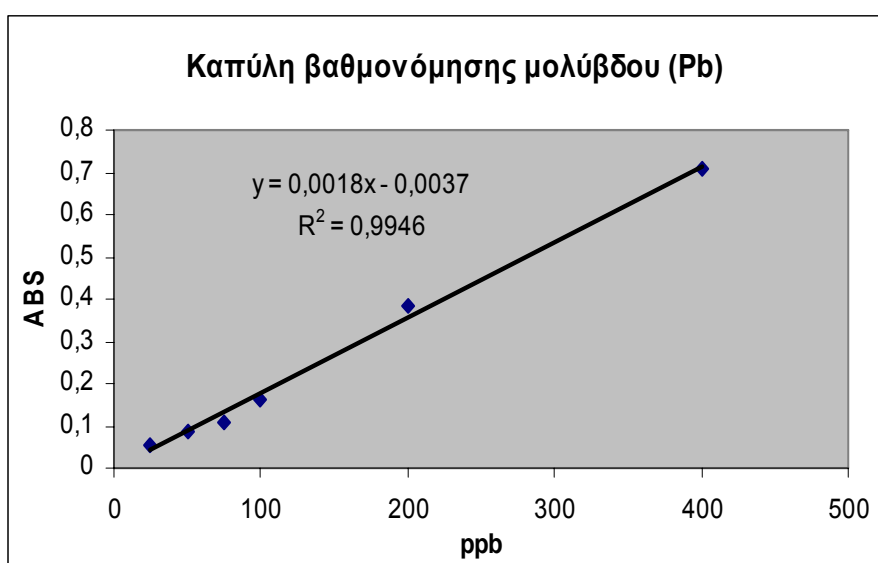
6.4 Καμπύλη βαθμονόμησης χαλκού(Cu)

Συγκέντρωση (ppm)	Απορρόφηση (ABS)
10	0,1726
20	0,2885
30	0,4082
40	0,5017
50	0,6656
60	0,7593
80	0,95
100	1,201



6.5 Καμπύλη βαθμονόμησης μολύβδου (Pb)

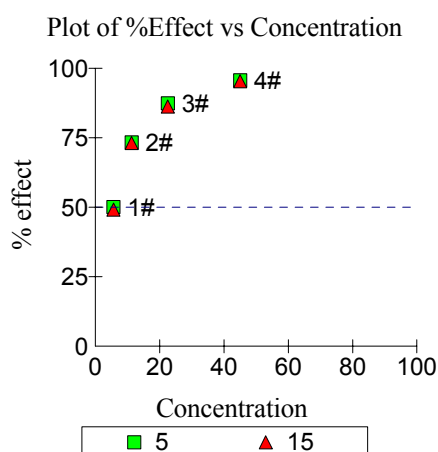
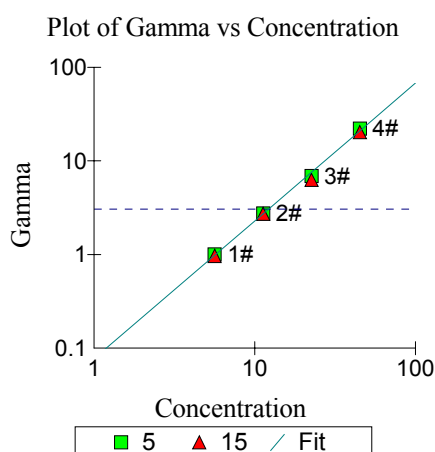
Συγκέντρωση (ppm)	Απορρόφηση (ABS)
25	0,05331
50	0,08691
75	0,1099
100	0,1627
200	0,3852
400	0,7059



Μετρήσεις τοξικότητας

MicrotoxOmni Test Report

Test Protocol: Basic Test
 Sample: Sample 1
 Toxicant:
 Reagent Lot no.:
 Test description:
 Test name: TEST -EISODOY 1
 Database file: C:\Program Files\MicrotoxOmni\db1.mdb



				5 Mins Data:			15 Mins Data:		
Sample	Conc	Io	It	Gamma	% effect		It	Gamma	% effect
Control	0.000	92.96	76.12	0.8188 #			70.92	0.7629 #	
1	5.625	71.68	29.28	1.005 #	50.11%		27.79	0.9678 #	49.18%
2	11.25	68.96	15.08	2.745 #	73.29%		14.14	2.721 #	73.12%
3	22.50	86.90	9.03	6.880 #	87.31%		9.12	6.269 #	86.24%
4	45.00	98.87	3.50	22.13 #	95.68%		3.56	20.19 #	95.28%

- used in calculation; * - invalid data; D - deleted from calcs.

Calculations on 5 Mins data:

EC50 Concentration: 5.714% (95% confidence range: 4.725 to 6.909)

95% Confidence Factor: 1.209

Estimating Equation: $\text{LOG C} = 0.6782 \times \text{LOG G} + 0.7569$

Coeff. of Determination (R^2): 0.9976

Slope: 1.471

Correction Factor: 0.8188

Calculations on 15 Mins data:

EC50 Concentration: 5.806% (95% confidence range: 4.574 to 7.370)

95% Confidence Factor: 1.269

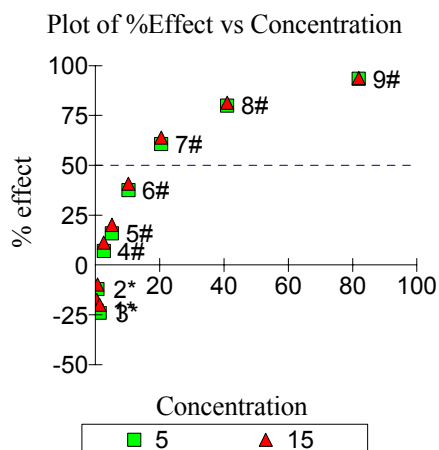
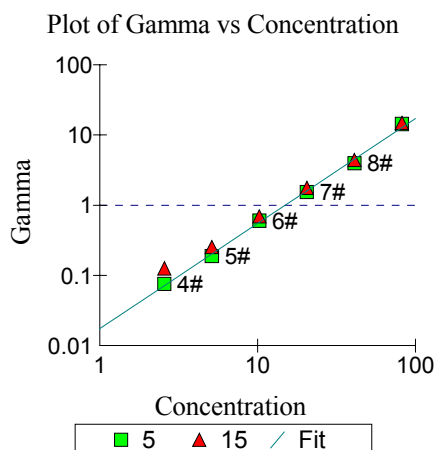
Estimating Equation: $\text{LOG C} = 0.6941 \times \text{LOG G} + 0.7639$

Coeff. of Determination (R^2): 0.9962

Slope: 1.435

Correction Factor: 0.7629

Test Protocol: 81.9% Basic Test
Sample: Sample 1
Toxicant:
Reagent Lot no.:
Test description: -
Test name: eisodos
Database file: C:\Program Files\MicrotoxOmni\db1.mdb



				5 Mins Data:			15 Mins Data:		
Sample	Conc	Io	It	Gamma	% effect		It	Gamma	% effect
Control	0.000	93.85	98.36	1.048 #			102.80	1.095 #	
1	0.3199	85.80	110.38	-0.1853 *	-22.75%		110.35	-0.1483 *	-17.42%
2	0.6398	85.18	100.05	-0.1077 *	-12.07%		102.42	-0.0890 *	-9.771%
3	1.280	73.95	96.04	-0.1930 *	-23.92%		97.08	-0.1656 *	-19.85%
4	2.559	88.14	85.87	0.0757 #	7.043%		85.74	0.1260 #	11.19%
5	5.119	91.56	80.67	0.1895 #	15.93%		80.09	0.2522 #	20.14%
6	10.24	87.66	57.36	0.6017 #	37.57%		56.81	0.6902 #	40.84%
7	20.48	92.91	38.34	1.540 #	60.63%		36.82	1.764 #	63.82%
8	40.95	88.99	18.76	3.972 #	79.89%		18.07	4.394 #	81.46%
9	81.90	93.96	6.44	14.29 #	93.46%		6.48	14.88 #	93.70%

- used in calculation; * - invalid data; D - deleted from calcs.

Calculations on 5 Mins data:

EC50 Concentration: 14.94% (95% confidence range: 13.82 to 16.14)

95% Confidence Factor: 1.081

Estimating Equation: $\text{LOG C} = 0.6675 \times \text{LOG G} + 1.174$

Coeff. of Determination (R^2): 0.9978

Slope: 1.495

Correction Factor: 1.048

Calculations on 15 Mins data:

EC50 Concentration: 12.94% (95% confidence range: 11.53 to 14.53)

95% Confidence Factor: 1.123

Estimating Equation: $\text{LOG C} = 0.7234 \times \text{LOG G} + 1.112$

Coeff. of Determination (R^2): 0.9951

Slope: 1.375

Correction Factor: 1.095

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II

1. Χαρακτηριστικά κοκκώδους ενεργού άνθρακα (GAC)

Product Specification		
Grade	YAO M200 W20	
Description	Activated carbon powder produced from specially selected coconut shell char feedstock by high temperature steam activation	
Particle Size (ASTM D2826)	99% min	-0,15mm
	90% min	-0,075mm
Carbon Tetrachloride Adsorption (Static)	60-70%	
Iodine Number (AWWA B604)	1050 min	
	1100+typical	
Moisture Content (ASTM D2867)	20% max	

2. Χαρακτηριστικά κονιοποιημένου ενεργού άνθρακα (PAC)

Product Specification		
Grade	YAO 30x 60	
Description	Coconut shell based activated carbon produced by high temperature steam activation of specially selected coconut char feedstock	
Particle Size (ASTM D2826)	10% max	+0,6mm
	85% min	0,6-0,25mm
	5% max	-0,25mm
	1% max	-0,21mm
Carbon Tetrachloride Adsorption (ASTM D3467)	60% min	
	65% typical	
Surface Area (BET method N ₂)	1250 m ² /gr typical	
Apparent Density (dry) (ASTM D3802)	470-490 kg/m ³	
Backwashed Denity Ash (ASTM D2866)	440-460 kg/m ³	
Ash (ASTM D2866)	4% max	
Iodine Number (AWWA B604)	1150min	
	1200+typical	
Moisture Content (ASTM D2867)	8%max (as packed)	
Hardness Number (ASTM D3802)	97 min	

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

Φωτογραφίες του ΧΥΤΑ Χανίων



Εικόνα 1.

Άποψη της Ε.Ε.Σ.. Σε πρώτο πλάνο η δεξαμενή εξισορρόπησης 2 σε δεύτερο η 1. Στο βάθος η δεξαμενή SBR2 και το κτίσμα που στεγάζει το σύστημα των φίλτρων.



Εικόνα 2.

Άποψη της Ε.Ε.Σ.. Σε πρώτο πλάνο (αριστερά) η δεξαμενή άρδευσης με την υπερχειλίση της στην δεξαμενή ανακυκλοφορίας (δεξιά). Στο βάθος διακρίνονται: Ο πίνακας ελέγχου της Ε.Ε.Σ., η δεξαμενή SBR2 και η δεξαμενή εξισορρόπησης 1 (βάθος).



Εικόνα 3.
Αεριστήρας.



Εικόνα 4.
Η ενεργή κλίση του τεχνητού υδροβιότοπου

