

Πρόλογος.....	4
Περίληψη .....	5
Abstract .....	6

<b>Κεφάλαιο 1- Περιγραφή του χώρου και εισαγωγή στα στερεά απορρίμματα και τη λυματολάσπη .....</b>	<b>7</b>
1.1 Γενικά για τη διαχείριση στερεών αποβλήτων .....	7
1.1.1 Αστικά απορρίμματα .....	10
1.1.2 Ιλύς (λυματολάσπη).....	13
1.2 Γενικά για την περιοχή .....	14
1.3 Τεκτονικά και σεισμολογικά στοιχεία .....	16
1.3.1 Γεωμορφολογικά και Γεωλογικά στοιχεία .....	16
1.3.2 Γεωμορφολογικές συνθήκες του Ακρωτηρίου Χανίων .....	17
1.3.3 Γεωλογική δομή της περιοχής.....	19
1.3.4 Σεισμοτεκτονικά στοιχεία .....	23
1.3.5 Καρστικά φαινόμενα.....	28
1.4 Χλωρίδα της ευρύτερης περιοχής .....	30
1.4.1 Βλάστηση και χλωρίδα στην περιοχή του έργου .....	31
1.5 Πανίδα στην ευρύτερη περιοχή του έργου .....	36
1.6 Ιστορικό Μεσομυρίου .....	39
1.7 Παρούσα κατάσταση του Μεσομυρίου .....	45
1.7.1 Κτιριακές εγκαταστάσεις.....	45
1.7.2 Χώρος εναπόθεσης των δεματοποιημένων απορριμμάτων:....	47
1.8 Ποσότητες απορριμμάτων και λυματολάσπης .....	61
1.8.1 Ποσότητες απορριμμάτων.....	61
1.8.2 Ποσότητες λυματολάσπης.....	63

<b>Κεφάλαιο 2 - Αέριες μετρήσεις .....</b>	<b>66</b>
2.1 - Γενικά για το βιοαέριο.....	66
2.2 - Στάδια παραγωγής Βιοαερίου .....	67
2.3 - Ποιοτική σύσταση του βιοαερίου .....	72
2.3.1 Άζωτο ( $N_2$ ) .....	74
2.3.2 Οξυγόνο ( $O_2$ ) .....	75
2.3.3 Υδρογόνο ( $H_2$ ) .....	76
2.3.4 Διοξείδιο του άνθρακα( $CO_2$ ).....	77
2.3.5 Μεθάνιο ( $CH_4$ ) .....	78
2.3.6 Υδρόθειο ( $H_2S$ ) .....	80
2.3.7 Μονοξείδιο του άνθρακα ( $CO$ ) .....	81
2.4 Κίνηση βιοαερίου .....	82
2.4.1 Παράγοντες κίνησης βιοαερίου.....	82
2.4.2 Κίνηση του βιοαερίου στο χώρο του Μεσομυρίου.....	94
2.5 Μετρήσεις βιοαερίου.....	95
2.5.1 Ποιοτική μέτρηση βιοαερίου .....	95
2.5.1.1 - Η τεχνική της μέτρησης των αερίων .....	97
2.5.1.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά του αναλυτή.....	97
2.5.1.3 Κάτοψη του αναλυτή .....	98
2.5.1.4 Πλάγια όψη του αναλυτή.....	99
2.5.1.5 Μέτρηση της συγκέντρωσης των εδαφικών αερίων .....	99

2.5.1.6 Αναλυτικά αποτελέσματα μετρήσεων .....	Error! Bookmark not defined.
2.5.1.7 Σχολιασμός αποτελεσμάτων .....	106
2.5.2 Ποσοτική σύσταση βιοαερίου .....	108
2.5.2.1 Πειραματική διαδικασία τεχνικής σταθερού θαλάμου SCT ...	108
2.5.2.2 Διαδικασία μετρήσεων .....	112
2.5.2.3 Αέριος χρωματογράφος .....	113
2.5.2.4 Διαδικασία μετρήσεων αερίου χρωματογράφου .....	116
2.5.2.5 Αποτελέσματα μετρήσεων αερίου χρωματογράφου .....	117
2.5.2.6 Επεξεργασία αποτελέσματα μετρήσεων αερίου χρωματογράφου .....	117
Κεφάλαιο 3 – Μετρήσεις υγρών διασταλαγμάτων .....	119
3.1 Προετοιμασία των δειγμάτων .....	119
3.1.1 Γενικοί κανόνες κατά την δειγματοληψία .....	120
3.1.1.1 Συλλογή δειγμάτων .....	120
3.1.1.2 Τρόπος δειγματοληψίας με μπουκάλια .....	120
3.1.2 Γενικοί κανόνες που πρέπει να ακολουθούνται στο εργαστήριο .....	122
3.1.3 Αραίωση .....	123
3.1.4 Διήθηση .....	124
3.1.5 Χώνευση .....	125
3.2 Ποιοτικά χαρακτηριστικά υγρών δειγμάτων .....	127
3.2.1 Θολότητα .....	128
3.2.2.1 Θερμοκρασία .....	129
3.2.2.2 Ειδική αγωγιμότητα .....	129
3.2.2.3 Αλκαλικότητα .....	131
3.2.2.4 - Ενεργός οξύτητα (pH) .....	132
3.2.2.5.1 Ολικά αιωρούμενα στερεά .....	134
3.2.2.5.1.1 Αρχή της μεθόδου .....	134
3.2.2.5.1.2 Υπολογισμοί .....	135
3.2.2.5.2 Πτητικά αιωρούμενα στερεά VSS .....	135
3.2.2.5.2.1 Υπολογισμοί .....	136
3.2.3.1 Ολικά κολοβακτηρίδια .....	137
3.2.3.2 Κοπρανώδη κολοβακτηρίδια .....	137
3.2.4.1 Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (Biochemical Oxygen Demand-BOD) .....	137
3.2.4.2 Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο((Chemical Oxygen Demand - COD) .....	140
3.3 Άλλα χαρακτηριστικά υγρών δειγμάτων .....	143
3.3.1 Φωσφορικά ιόντα (Ενεργά/ Ορθοφωσφορικά) .....	143
3.3.2 Βαρέα μέταλλα .....	144
3.3.2.1 Γενικά χαρακτηριστικά Μολύβδου , Καδμίου και Υδράργυρου. ....	146
3.3.1 Αναλύσεις .....	149
3.4 Διαδικασία μετρήσεων .....	149
3.4.1 Μέθοδος διήθησης .....	150
3.4.1.1 Αρχή μεθόδου .....	150
3.4.1.2 Επιλογή του σωστού όγκου δείγματος διήθησης .....	150
3.4.1.3 Πειραματικό μέρος .....	151

3.5 Αναλυτικά αποτελέσματα μετρήσεων .....	157
3.5.1 Τυπικές τιμές στραγγισμάτων .....	160
3.5.2 Σχολιασμός αποτελεσμάτων .....	162
3.6 Μέτρηση του δείκτη τοξικότητας LC <sub>50</sub> .....	167
3.6.1 Πειραματικό μέρος.....	168
3.6.1.1 Όργανα και υλικά:.....	168
3.6.1.2 Χρησιμοποιούμενη μέθοδος προσδιορισμού.....	168
3.6.1.3 Πειραματική διαδικασία.....	169
3.6.1.4 Δημιουργία διαλυμάτων αραιώσης τοξικού αποβλήτου:.....	170
3.6.1.5 Πλήρωση των κυψελίδων:.....	170
3.6.1.6 Μεταφορά των νεογνών στις κυψελίδες δοκιμής .....	171
3.6.1.7 Επώαση των νεογνών εντός των κυψελίδων και σημείωση των αποτελεσμάτων: .....	171
3.6.2 Πειραματικά δεδομένα.....	172
3.6.3 Επεξεργασία αποτελεσμάτων .....	173
3.6.3.1 Υπολογισμός αριθμού μικροοργανισμών που απεβίωσαν..	173
3.6.3.2 Εύρεση της τιμής του δείκτη τοξικότητας LC 50 .....	178
3.6.4 Σχολιασμός αποτελεσμάτων .....	183
3.7 Βιβλιογραφία .....	185

## Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία που εκπονήθηκε σε συνεργασία με τον καθηγητή του Πολυτεχνείου Κρήτης, του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος, κ. Ευάγγελο Γιδάρακο έχει ως θέμα την εκτίμηση της επικρατούσας κατάστασης στο χώρο εναπόθεσης δεματοποιημένων απορριμμάτων της περιοχής του Μεσομουρίου του νομού Χανίων.

Ευχαριστούμε ιδιαίτερα τον καθηγητή του Τ.Ε.Ι. Χανίων στο τμήμα Φυσικών Πόρων κ. Παντελή Σουπιό για την πολύτιμη καθοδήγηση που μας παρείχε. Επίσης ευχαριστούμε όλα τα μέλη του εργαστηρίου “Διαχείρισης τοξικών και επικίνδυνων αποβλήτων” του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης για την βοήθεια που μας παρείχαν σε εργαστηριακές αναλύσεις. Τέλος ευχαριστούμε Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Χανίων και ιδιαίτερα τους κυρίους Μαρινάκη Δημήτριο και Βαρδάκη Εμανουήλ για τη βοήθεια που μας παρείχαν στο χώρο του Μεσομουρίου.



## Περίληψη

Ο βασικός στόχος της εργασίας είναι η εκτίμηση της επικρατούσας κατάστασης στο χώρο εναπόθεσης δεματοποιημένων απορριμμάτων της περιοχής του Μεσομουρίου στο νομό Χανίων. Πιο συγκεκριμένα ο κύριος στόχος της παρούσας μελέτης είναι η εύρεση των ακριβών τιμών των αέριων και υγρών εκπομπών από την περιοχή. Κατόπιν μέσω συνδυασμού των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τις εργαστηριακές μετρήσεις με βιβλιογραφικά στοιχεία γίνεται μια ενδελεχής ανάλυση των αποτελεσμάτων.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια περιγραφή του χώρου εναπόθεσης απορριμμάτων του Μεσομουρίου και της γύρω περιοχής, ενώ επίσης αναφέρονται μερικά γενικά στοιχεία για τα στερεά απορρίμματα και για την λάσπη που προέρχεται από βιολογικούς καθαρισμούς. Στο δεύτερο κεφάλαιο εξετάζονται οι αέριες εκπομπές του χώρου (βιοαέριο) και αναλύονται ποσοτικά και ποιοτικά όλες οι παράμετροι. Με βάση τα βιβλιογραφικά στοιχεία και τις αναμενόμενες τιμές των παραμέτρων, γίνεται και σχολιασμός των αποτελεσμάτων. Στο τρίτο κεφάλαιο εξετάζονται τα υγρά διασταλλάγματα τα οποία παράγονται από τον χώρο. Από βιβλιογραφικά στοιχεία κάνουμε τις αντιπροσωπευτικές αναλύσεις για υγρά διασταλλάγματα από χώρους εναπόθεσης απορριμμάτων και κατόπιν συγκρίνουμε τα αποτελέσματα που προκύπτουν με αυτά τις βιβλιογραφίας.

## **Abstract**

The main objective of this work is to estimate the prevailing situation in the space used as a landfill in the region of Mesomouri in the prefecture of Chania. More concretely the main objective of the present study is to estimate the precise values of gases and liquid emissions from the region. Then by combining knowledge we acquired from books and past thesis with the results from the laboratorial measurements with bibliographic elements we have a precise analysis of the results.

In the first chapter we find a description of the area that used for the deposition of litter at Mesomouri and the surroundings, while certain general elements for the solid litter and for the mud that emanates from biological cleanings are also mentioned. In the second chapter all the parameters of the air emissions (biogas) are examined and analyzed quantitatively and qualitatively. Using knowledge acquired through extensive book reading and the results of the measurements the problem is discussed. In the third chapter are examined the liquid emissions which are produced by the landfill. From bibliographic elements we make the representative analyses for the liquid emissions and then we compare the results with them of the bibliography.

## **Κεφάλαιο 1- Περιγραφή του χώρου και εισαγωγή στα στερεά απορρίμματα και τη λυματολάσπη**

### **1.1 Γενικά για τη διαχείριση στερεών αποβλήτων**

Ξεκινώντας την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας πρέπει να δοθούν κάποιοι ορισμοί σχετικά με ορισμένες λέξεις που χρησιμοποιούνται κατά κόρον σε αυτή. Έτσι λοιπόν ρύποι είναι ουσίες, οργανισμοί ή ενέργεια που διατίθεται στο περιβάλλον σε ποσότητα, συγκέντρωση ή διάρκεια ανώτερη από την αφομοιωτική του ικανότητα με συνέπεια μετρήσιμη τροποποίηση του φυσικού οικοσυστήματος. Η διαδικασία διάθεσης ρύπων στο περιβάλλον ονομάζεται ρύπανση και το αίτιο που την προκαλεί ρυπαντής. Όταν δε η ρύπανση οφείλεται σε παθογόνους μικροοργανισμούς μιλάμε για μόλυνση. Τοξικοί είναι οι ρύποι που μπορούν να προκαλέσουν βλάβες σε οργανισμούς, όταν η ποσότητα, η συγκέντρωση ή η διάρκειά τους υπερβαίνει κάποιο όριο (όριο τοξικότητας – Lethal dosage LD50). Ωστόσο ένας ρύπος μπορεί να είναι τοξικός για κάποιους οργανισμούς και μη τοξικός (ακόμη και να αποτελεί τροφή) για κάποιους άλλους.

Στερεά απόβλητα είναι τα στερεά ή ημιστερεά υλικά τα οποία, κάτω από κάποιες συγκεκριμένες συνθήκες, δεν έχουν αρκετή αξία ή χρησιμότητα για τον κάτοχό τους ώστε αυτός να συνεχίσει να υφίσταται τη δαπάνη, τη μέριμνα ή το βάρος της διατήρησής τους. Είναι τα στερεά υλικά που ανακύπτουν ως παραπροϊόντα από τις δραστηριότητες των νοικοκυριών, των βιομηχανικών εγκαταστάσεων, των εμπορικών εγκαταστάσεων, των γεωργικών και εξορυκτικών δραστηριοτήτων, κτλ. Τα στερεά απόβλητα ομαδοποιούνται γενικά σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- Τα αστικά απόβλητα (απορρίμματα) και
- Ειδικά απόβλητα που χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:
  1. Επικίνδυνα απόβλητα
  2. Μη επικίνδυνα ειδικά
  3. Ιατρικά απόβλητα

Αναλυτικότερα τα στερεά απόβλητα περιλαμβάνουν:

- Αστικά απορρίμματα (οικιακά, βιοτεχνικά, εμπορικά, οδοκαθαρισμού κλπ.)
- Στερεά ή υδαρή (με αξιόλογο ποσοστό αιωρούμενων ουσιών) απόβλητα που δε μπορούν να διατεθούν μαζί με τα οικιακά (ορισμένα βιομηχανικά, τοξικά ή αδρανή και απόβλητα της βιομηχανίας παραγωγής ενέργειας)
- Πετρελαιοειδή απόβλητα (προέρχονται από την επεξεργασία του πετρελαίου, διυλιστήρια, χημικά εργοστάσια, ναυπηγία κλπ.)
- Απόβλητα γεωργικών και κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων
- Απόβλητα ορυχείων και μεταλλείων
- Απόβλητα εκσκαφών (από ξηρά και θάλασσα).
- Απόβλητα οικοδομικών κατεδαφίσεων
- Ιλύς από την επεξεργασία αστικών και βιομηχανικών λυμάτων
- Απόβλητα εμπορικών δραστηριοτήτων
- Ιατρικά απόβλητα
- Ελαστικά
- Σκράπ (π.χ. αποσυρθέντων αυτοκινήτων, παλαιών ηλεκτρονικών υπολογιστών κλπ.).

Στον παρακάτω πίνακα δείχνονται οι συνήθεις πηγές και τα είδη των αστικών απορριμμάτων. Επισημαίνεται η διαφοροποίηση μεταξύ οικιακών και αστικών αποβλήτων. Κατά κανόνα, η ιλύς βιολογικών καθαρισμών, τα

υπολείμματα της καύσης, τα υπολείμματα των κατασκευαστικών δραστηριοτήτων και των κατεδαφίσεων και τα απόβλητα των νοσοκομείων δεν περιλαμβάνονται στα ΑΣΑ, δεδομένου ότι δεν έχουν κοινά χαρακτηριστικά με τα οικιακά απόβλητα. Βέβαια τα απόβλητα αυτά είναι πιο εύκολο να αναλυθούν, από την άποψη ότι, ανά κατηγορία αποβλήτων, έχουν μεγαλύτερο βαθμό ομοιομορφίας από ότι τα οικιακά απόβλητα.

**Πίνακας 1: Πηγές στερεών απορριμμάτων σε μια κοινότητα**

Χαρακτηρισμός πηγής αποβλήτων	Τυπικές δραστηριότητες ή εγκαταστάσεις όπου παράγονται	Τύποι και συστατικά αποβλήτων
Οικιακά απόβλητα	Μονοκατοικίες, πολυκατοικίες	Τροφικά υπολείμματα, χαρτί, χαρτόνι, πλαστικά, ύφασμα, δέρμα, απορρίμματα κήπου, ξύλο, γυαλί, τενεκέδες, αλουμίνιο, άλλα μέταλλα, στάχτη, απορρίμματα από τους δρόμους, ειδικά απορρίμματα (μαζί με ογκώδη αντικείμενα, αναλώσιμα ηλεκτρονικά, «λευκές συσκευές» που συλλέγονται ξεχωριστά), οικιακά επικίνδυνα απορρίμματα.
Εμπορικά απόβλητα	Καταστήματα, εστιατόρια, αγορές, εργασιακά κτήρια, ξενοδοχεία, συνεργεία αυτοκινήτων, κ.ά.	Χαρτί, χαρτόνι, πλαστικά, ξύλο, τροφικά υπολείμματα, γυαλί, μέταλλα, ειδικά απορρίμματα (όπως παραπάνω), επικίνδυνα απορρίμματα, κ.ά.
Απόβλητα ιδρυμάτων	Σχολεία, νοσοκομεία, φυλακές, κυβερνητικά κέντρα.	Όπως τα εμπορικά παραπάνω.
Απόβλητα κατασκευών και κατεδαφίσεων	Περιοχές που κατασκευάζονται, επισκευές ή ανακαίνιση δρόμων, κατεδάφιση κτηρίων, σπασμένα πεζοδρόμια.	Ξύλο, χάλυβας, τσιμέντα, κ.ά.
Απόβλητα καθαρισμού κοινόχρηστων χώρων	Καθαρισμός δρόμων, διαμόρφωση εξωτερικών χώρων, πάρκα και ακτές, άλλες ψυχαγωγικές περιοχές.	Ειδικά απορρίμματα, απορρίμματα από τους δρόμους, κλάδεμα δέντρων, απορρίμματα από πάρκα, ακτές και ψυχαγωγικές περιοχές.
Εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων	Νερό, λύματα και απόβλητα βιομηχανικών διαδικασιών.	
Α.Σ.Α.	Όλα τα παραπάνω	Όλα τα παραπάνω
Βιομηχανικά	Κατασκευαστικές, διυλιστήρια, χημικά εργοστάσια, ενεργειακά εργοστάσια, κατεδαφίσεις.	Απορρίμματα από βιομηχανικές διαδικασίες, μη – βιομηχανικά απορρίμματα μαζί με τροφικά υπολείμματα, στάχτη, μπάζα, ειδικά απορρίμματα, επικίνδυνα απορρίμματα.
Γεωργικά	αγροτικές περιοχές, γαλακτοκομεία, μέρη	Χαλασμένα τροφικά απορρίμματα, γεωργικά, επικίνδυνα απορρίμματα.

	πάχυνσης ζώων, κ.ά.	
--	---------------------	--

Στο χώρο εναπόθεσης απορριμμάτων του Μεσομουρίου υπάρχουν όλα τα είδη των στερεών αποβλήτων εκτός ίσως από τα πετρελαιοειδή και τα απόβλητα ορυχείων και μεταλλείων. Ωστόσο η πλειονότητα των αποβλήτων αποτελείται από αστικά απόβλητα (ή απορρίμματα) και από Ιλύς από την επεξεργασία αστικών και βιομηχανικών λυμάτων γι αυτό θα αναφερθούμε σε αυτά εκτενέστερα παρακάτω.

### **1.1.1 Αστικά απορρίμματα**

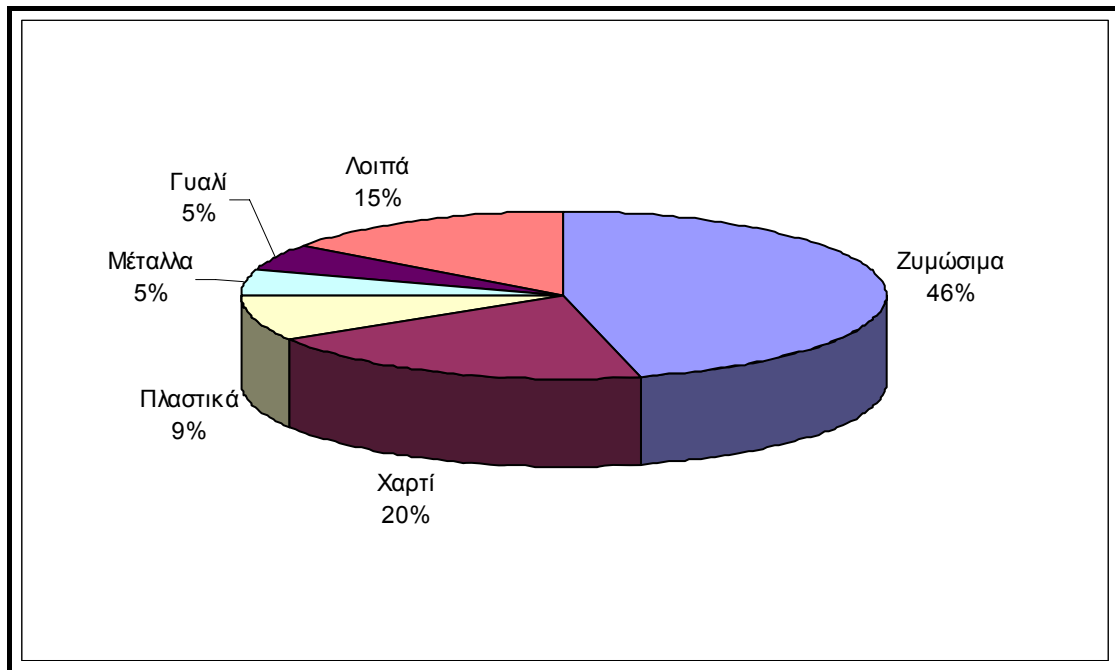
Τα Α.Σ.Α. είναι τα στερεά απόβλητα που παράγονται από τις δραστηριότητες των νοικοκυριών (οικιακά στερεά απορρίμματα), των εμπορικών δραστηριοτήτων (εμπορικά στερεά απορρίμματα), τον καθαρισμό δρόμων και άλλων κοινόχρηστων χώρων, καθώς και άλλα στερεά απόβλητα (από ιδρύματα, επιχειρήσεις, κλπ.) τα οποία μπορούν από τη φύση τους ή τη σύνθεσή τους να εξομοιωθούν με τα οικιακά στερεά απορρίμματα. Εξαιρέση αποτελούν τα απόβλητα εκσκαφών και οικοδομικών κατεδαφίσεων, οι ιλύες βιολογικών καθαρισμών, τα υπολείμματα της καύσης, όπως επίσης και τα κατεστραμμένα αυτοκίνητα και τα απόβλητα των νοσοκομείων, εφόσον δεν έχουν κοινά χαρακτηριστικά με τα οικιακά απορρίμματα. Σε γενικές γραμμές πάντως το τι είναι ή δεν είναι Α.Σ.Α. είναι θέμα ορισμού ή σύμβασης.

Τα οικιακά απορρίμματα παρουσιάζουν μεγάλη ανομοιογένεια ως προς τη σύστασή τους. Η ποιοτική ανάλυση αποσκοπεί στο να προσδιορίσει βασικές ποσοστιαίες κατηγορίες υλικών σε αυτά, προκειμένου να προσδιοριστούν πληροφορίες απαραίτητες για την κατάρτιση σχεδίων διαχείρισης, επεξεργασίας και αξιοποίησής τους. Η πιο συνηθισμένη κατηγοριοποίηση των

απορριμμάτων, όπως προέκυψε από σειρά δειγματοληψιών και αναλύσεων, περιλαμβάνει τα εξής κλάσματα:

- Ζυμώσιμα: τροφικά υπολείμματα και κήπου
- Χαρτί: κάθε είδους χαρτιά και χαρτόνια που προέρχονται κυρίως από έντυπο υλικό και συσκευασίες προϊόντων
- Μέταλλα: περιλαμβάνεται το σύνολο των μεταλλικών υλικών που απαντώνται στα απορρίμματα. Είναι δόκιμος ένας διαχωρισμός σε σιδηρούχα και μη σιδηρούχα μέταλλα (κυρίως λόγω της μαγνητικής ιδιότητας των πρώτων), με τα τελευταία να έχουν ως κυριότερο αντιπρόσωπο το αλουμίνιο. Σε ορισμένες αναλύσεις έχουν εξετασθεί ως ξεχωριστή υποκατηγορία και οι μπαταρίες λόγω της σχετικά υψηλότερης επικινδυνότητάς τους.
- Γυαλί: η διαχείριση αποβλήτου γυαλιού στη χώρα μας πάσχει κυρίως από την έλλειψη υαλουργιών, κυρίως σε περιοχές μακριά από την Αττική. Είναι δόκιμος ο διαχωρισμός σε λευκό, καφέ και πράσινο γυαλί, όσον αφορά την ανακύκλωση, καθώς η παραγωγή καφέ και λευκού γυαλιού απαιτεί υαλότριμα μόνο του ίδιου χρώματος.
- Πλαστικό: περιλαμβάνεται το σύνολο των πολυμερών απορριμμάτων. Η κατηγορία αυτή γίνεται διαρκώς μεγαλύτερη κατά τα τελευταία χρόνια και στη χώρα μας ως συνέπεια της αλλαγής των καταναλωτικών συνηθειών (στροφή σε συσκευασμένα προϊόντα, κ.λπ.). Χαρακτηριστικό της κατηγορίας αυτής είναι η έντονη ανομοιογένειά της, λόγω των πολλών χρησιμοποιούμενων πολυμερών (π.χ. PVC, PE, PP, PS, PET, ABS, κ.λπ.).
- Δέρμα, Ξύλο, Ύφασμα, Λάστιχο: χαρακτηρίζονται ως λοιπά καύσιμα (Δ.Ξ.Υ.Λ.)

- Αδρανή: στην κατηγορία αυτή ανήκουν χημικά ανενεργά υλικά που καταλήγουν στα οικιακά απορρίμματα, όπως πέτρες, χώματα κλπ.
- Λοιπά: εδώ ανήκουν τα υλικά που δεν μπορούν να κατανεμηθούν σε καμία από τις παραπάνω κατηγορίες.



**Εικόνα 1: Μέση ποσοστιαία σύσταση οικιακών απορριμμάτων για το 1997**

Τα οικιακά απορρίμματα έχουν ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά. Τα ποσοτικά έχουν να κάνουν με την ποσότητα των απορριμμάτων, η οποία εξαρτάται από το βιοτικό επίπεδο των ανθρώπων και την γενικότερη ανάπτυξη της χώρας. Έτσι η παραγωγή απορριμμάτων αυξάνεται όσο αυξάνεται το εισόδημα των πολιτών και ανάπτυξη της χώρας. Στην Ελλάδα ύστερα από μελέτες έχει βρεθεί ότι ο κάθε άνθρωπος παράγει κατά μέσο όρο 0,8 – 1,0 κιλά απορριμμάτων την ημέρα, μια μέτρια ποσότητα αν αναλογιστούμε ότι στον Καναδά για παράδειγμα το αντίστοιχο ποσοστό είναι 2,5 κιλά την ημέρα. Τα ποιοτικά διαχωρίζονται στα φυσικά, τα χημικά, τα μικροβιολογικά και τα βιολογικά. Τα φυσικά χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν τον προσδιορισμό της



φυσικής σύστασης των απορριμμάτων, το ειδικό τους βάρος, το μέγεθος, τη διαπερατότητα και την πυκνότητά τους. Τα χημικά έχουν να κάνουν με τον προσδιορισμό της υγρασίας, της χωρητικότητας της υγρασίας, των πτητικών στερεών, τη στοιχειακή ανάλυση, τη θερμογόνο δύναμη και τη θερμοκρασία τήξης τέφρας των απορριμμάτων. Τέλος τα βιολογικά χαρακτηριστικά μας πληροφορούν για τη δυνατότητα αποικοδόμησης των απορριμμάτων και για το κατά πόσο εκλύουν οσμές, ενώ τα μικροβιολογικά για το ποσοστό των μολυσματικών αποβλήτων στην παραγόμενη ποσότητα απορριμμάτων.

### **1.1.2 Ιλύς (λυματολάσπη)**

Κατά την επεξεργασία καθαρισμού των αποβλήτων, μαζί με την τελική απορροή, που πρέπει να διατεθεί κατάλληλα, παράγονται ταυτόχρονα και παραπροϊόντα όπως: σχαρίσματα, άμμος, ξαφρίσματα και λάσπη από τις δεξαμενές καθίζησης. Από τα παραπροϊόντα το σημαντικότερο σε όγκο και δυσκολότερο σε χειρισμό και διάθεση είναι η λάσπη ή ιλύς. Η λάσπη είναι ένα παχύρρευστο υγρό που περιέχει 40 περίπου φορές περισσότερες στερεές ουσίες από τα αστικά λύματα. Μετά την επεξεργασία της συμπύκνωσης, της χώνευσης και της αφυδάτωσης η λάσπη παίρνει μια σχετικά στερεή μορφή αν και διατηρεί αρκετή υγρασία (60%). Οι ιλείς παράγονται από τις εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού τόσο των αστικών όσο και των βιομηχανικών λυμάτων. Σημαντική παράμετρος για την περαιτέρω αξιοποίηση της λάσπης είναι η περιεκτικότητά της σε βαρέα μέταλλα και άλλους ρύπους, η οποία καθορίζεται από τη φύση των λυμάτων και το είδος της εγκατάστασης βιολογικού καθαρισμού. Η φύση της λυματολάσπης βρίσκεται σε άμεση συνάρτηση με το βιοτικό επίπεδο των ανθρώπων ενώ η ποσότητά της έχει να κάνει με τον πληθυσμό τους και την ύπαρξη ή όχι βιομηχανικών εγκαταστάσεων.



**Εικόνα 2: Λυματολάσπη που έχει αποτεθεί στο χώρο εναπόθεσης απορριμμάτων του Μεσομουρίου**

## **1.2 Γενικά για την περιοχή**

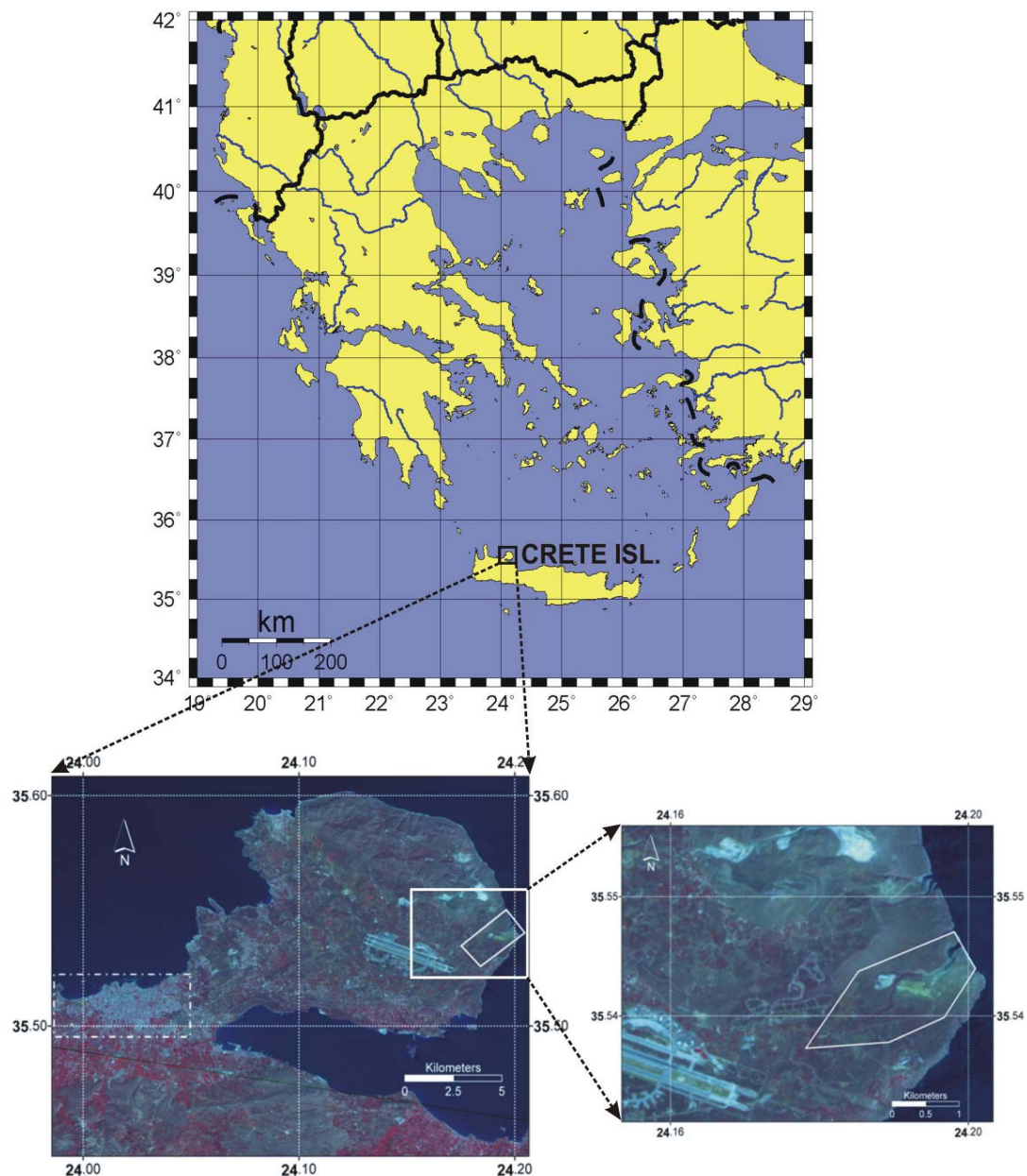
Στο βορειοανατολικό τμήμα του νομού των Χανίων και ανατολικά της πόλεως των Χανίων βρίσκεται η χερσόνησος του Ακρωτηρίου. Ενώνεται με το υπόλοιπο νησί με ένα «λαιμό» πλάτους περίπου 3 Km διαμορφώνοντας έτσι Βόρεια τον κόλπο των Χανίων και Νότια τον κόλπο της Σούδας.

Η θέση «Μεσομούρι» βρίσκεται στον μυχό των απολήξεων της χαράδρας του Κουρουπητού, στο ανατολικό άκρο του Ακρωτηρίου Χανίων, σε ευθεία απόσταση 15 χλμ. ανατολικά από την πόλη των Χανίων και 3,5 χλμ., ανατολικά από τον οικισμό Μουζουρά.

Η περιοχή γύρω από το Μεσομούρι ανήκει στη χαμηλή ζώνη του Ακρωτηρίου και υπόκειται διοικητικά στον ομώνυμο δήμο και στη νομαρχία Χανίων. Οι ακτές που σχηματίζονται βορειοανατολικά του Μεσομουρίου είναι

απότομες και βραχώδης και οδηγούν στο Κρητικό πέλαγος. Μορφολογικά η περιοχή αναπτύσσεται σε χαμηλά υψόμετρα (από 120 m ως 160 m) και οι κλίσεις είναι γενικά ήπιες και κυμαίνονται κατά μέσο όρο από 6 % ως 7 %.

Το γεωμορφολογικό ανάγλυφο και η γεωλογική σύσταση του Ακρωτηρίου έχουν ευνοήσει τη δημιουργία πολλών χαραδρώσεων και σπηλαίων. Χαρακτηριστικά μπορούμε να αναφέρουμε ότι στην εδαφική περιφέρεια του Ακρωτηρίου υπάρχουν 100 περίπου αξιόλογα σπήλαια πολλά από τα οποία παρουσιάζουν αρχαιολογικό, ιστορικό και βιολογικό ενδιαφέρον.



### **Εικόνα 3: Ακρωτήριο – Χανιά**

#### **1.3 Τεκτονικά και σεισμολογικά στοιχεία**

##### **1.3.1 Γεωμορφολογικά και Γεωλογικά στοιχεία**

Η μελέτη των γεωλογικών δεδομένων της ευρύτερης περιοχής, βασίστηκε στην αξιολόγηση των στοιχείων που προέκυψαν κυρίως από τις ακόλουθες εργασίες:

- Γεωλογικές εργασίες πεδίου.
- Επεξεργασία δορυφορικών εικόνων της Δυτικής Κρήτης των δορυφόρων Landsat και Spot 2 της ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας.
- Επεξεργασία των γεωλογικών και τεκτονικών χαρτών της περιοχής Ακρωτηρίου Χανίων και συγκεκριμένα των ακόλουθων:
  - Γεωλογικός χάρτης κλίμακα 1/50.000, φύλλο Χανιά, Ι.Γ.Μ.Ε.
  - Γεωλογικός χάρτης κλίμακα 1/200.000 της Νήσου Κρήτης, N. Creytdurg et.al, 1978.
  - Γεωλογικός χάρτης κλίμακα 1/725.000 της ευρύτερης περιοχής «Στρογγυλό Κεφάλι» Ακρωτηρίου Χανίων, Μαριολάκος κ.ά., 1996.
  - Χάρτης τεκτονικών ασυνεχειών με υδρολογικά στοιχεία κλ.1/50.000, φύλλο Χανιά, Δεμίρης, Μελαδιώτης, Παυλάκης, 1994.
  - Σεισμοτεκτονικός χάρτης Νήσου Κρήτης κλίμακα 1/250.000, Δρακόπουλος κ.ά., 1983.

Από την επεξεργασία όλων των παραπάνω στοιχείων που έγινε στα πλαίσια της Μελέτης Προέγκρισης Χωροθέτησης του έργου «Μονάδα Μηχανικής Διαλογής και Κομποστοποίησης και Χώρος Υγειονομικής Ταφής

στη θέση «Κορακία» νοτίως της χαράδρας του Κουρουπητού Ακρωτηρίου Χανίων», εκπονήθηκαν και παρουσιάζονται:

- Γεωλογικός χάρτης κλίμακας 1/25.000, της ευρύτερης περιοχής του έργου.
- Δύο γεωλογικές τομές κλίμακας 1/25.000.
- Οι γεωμορφολογικές, γεωλογικές, τεκτονικές και σείσμοτεκτονικές συνθήκες της ευρύτερης περιοχής σε ακτίνα περίπου 5 χλμ.

### **1.3.2 Γεωμορφολογικές συνθήκες του Ακρωτηρίου Χανίων**

Η σημερινή γεωμορφολογική εικόνα που παρουσιάζει το Ακρωτήριο Χανίων οφείλεται σε διάφορα γεωλογικά φαινόμενα, κυρίως όμως στην έντονη επίδραση των τεκτονικών γεγονότων που έλαβαν χώρα κατά τη χρονική περίοδο του Μειόκαινου έως σήμερα. Από τη δράση των τεκτονικών αυτών γεγονότων διαμορφώθηκαν οι μακρομορφολογικοί χαρακτήρες της περιοχής ενώ η λεπτομερέστερη μορφολογική της υφή έχει διαμορφωθεί από τις διαδικασίες της διάβρωσης και της αποσάθρωσης των πετρωμάτων της.

Αποτέλεσμα των γεωλογικών αυτών διαδικασιών είναι η διαμόρφωση της σημερινής γεωμορφολογικής δομής του Ακρωτηρίου που χαρακτηρίζεται, από ποικιλομορφίες και αντιθέσεις. Στην μικρή συγκριτικά έκταση του αναπτύσσονται τόσο η ορεινή όσο και η χαμηλή ζώνη που παρουσιάζονται με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Η ορεινή ζώνη χαρακτηρίζεται από ένα εκτεταμένο ορεινό όγκο που αναπτύσσεται με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, καταλαμβάνοντας το βορειοανατολικό τμήμα του Ακρωτηρίου. Δομείται εξ ολοκλήρου από

ανθρακικά πετρώματα, ενώ παρουσιάζεται με πολυάριθμες βουνοκορφές υψομέτρων συνήθως 350 – 420 μέτρα με υψηλότερη τη «Σκλόκα» που με υψόμετρο 529 μέτρα δεσπόζει στο ανατολικό του τμήμα. Ο ορεινός όγκος διασχίζεται κατά θέσεις από μικρά ως επί το πλείστον φαράγγια και ρέματα που έχουν δημιουργηθεί από το συνδυασμό ρηξιγενούς τεκτονικής και γρήγορων ανυψωτικών κινήσεων που επιτάχυναν τη διαδικασία της διάβρωσης. Το ανάγλυφο χαρακτηρίζεται από εξαιρετική τραχύτητα και παντού επικρατεί η εικόνα του ορεινού βραχώδους τοπίου με τα πολύμορφα πρηνή που χαρακτηρίζονται από ισχυρές κλίσεις και με τις πολυάριθμες καρστικές δομές που έχουν σχηματίσει ποικίλου μεγέθους και μορφής έγκοιλα, σπήλαια, δολίνες, δακτυλογλυφές κ.α.

- Μέσω μεταπτωτικών ρηγμάτων διευθύνσεων κυρίως ΒΔ-ΝΑ ο ορεινός όγκος μεταβαίνει στη χαμηλή ζώνη υψομέτρων 0 - 220 μέτρα περίπου, που καταλαμβάνει το δυτικό και νοτιοδυτικό τμήμα του Ακρωτηρίου που δομείται κυρίως από μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, μάργες, και αλλουβιακούς σχηματισμούς. Στο κεντρικό τμήμα δεσπόζει το τεκτονικό βύθισμα του Ακρωτηρίου που αναπτύσσεται με υψόμετρα 110 - 150 μέτρα περίπου. Η μορφολογία της χαμηλής ζώνης παρουσιάζεται σε γενικές γραμμές αρκετά ομαλή και το ανάγλυφο της χαρακτηρίζεται γενικά ήπιο δημιουργώντας έτσι ισχυρή αντίθεση με αυτό της ορεινής ζώνης. Εξαίρεση αποτελούν οι λόφοι υψομέτρων έως 220 μέτρα περίπου που αναπτύσσονται στη νότια περιοχή του Ακρωτηρίου (λόφος Βίγλες κ.α.) και που κατά θέσεις χαρακτηρίζονται από έντονες μορφολογικές κλίσεις.

- Η παραθαλάσσια ζώνη αναπτύσσεται περιμετρικά του Ακρωτηρίου και παρουσιάζεται με εξαιρετικές ποικιλομορφίες. Στο βόρειο - βορειοανατολικό τμήμα του ο ορεινός όγκος βυθίζεται κυριολεκτικά στη θάλασσα του Κρητικού πελάγους διαμορφώνοντας έτσι μεγάλες κλίσεις και απότομες βραχώδεις ακτές. Αντίθετα στο βορειοδυτικό και νοτιοανατολικό τμήμα του Ακρωτηρίου, δημιουργούνται μικροί κόλποι και παραλίες κατάλληλες για χρήσεις αναψυχής - τουρισμού όπως είναι οι περιοχές Σταυρού, Καλαθά, Μαράθι, κ.α.

### **1.3.3 Γεωλογική δομή της περιοχής**

Από την επεξεργασία των στοιχείων της γεωλογικής χαρτογράφησης που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της μελέτης που αναφέρθηκε ανωτέρω, στην ευρύτερη περιοχή του έργου και σε ακτίνα 5 χλμ., προκύπτει ότι οι γεωλογικοί σχηματισμοί που δομούν την περιοχή ενδιαφέροντος αντιστοιχούν στα κατώτερα καλύμματα της Κρήτης και στα νεότερα ιζήματα του Νεογενούς. Αναλυτικότερα, η γεωλογική δομή σε σειρά όμοια με αυτή της στρωματογραφικής διάταξης, δηλαδή από τα κατώτερα προς τα ανώτερα μέλη, είναι:

1. Ενότητα Πλακωδών Ασβεστόλιθων. Αποτελεί μία από τις πλέον γνωστές γεωλογικές ενότητες της Κρήτης που ανήκει στα κατώτερα καλύμματα και δομεί μεγάλο μέρος των Λευκών Ορέων. Στην περιοχή μελέτης αποτελεί τη βαθύτερη εμφανιζόμενη ενότητα και συνιστά το γεωλογικό υπόβαθρο της ευρύτερης περιοχής Ακρωτηρίου.

Αποκαλύπτεται με την μορφή τεκτονικού παράθυρου, με μικρές σχετικά εμφανίσεις στην ορεινή περιοχή της Σκλόκας και σε αυτήν ανατολικά του χωριού Χωρδάκι.

Η εν λόγω ενότητα εμφανίζεται στην περιοχή ενδιαφέροντος με τη χαρακτηριστική λεπτοστρωματώδη έως μεσοστρωματώδη ανάπτυξη, τεφρόμαυρων ισχυρά ανακρυσταλλωμένων ασβεστόλιθων, που έχουν μεταμορφωθεί σε συνθήκες, υψηλής πίεσης και χαμηλής θερμοκρασίας και παρουσιάζονται κυριολεκτικά με την μορφή μαρμάρων. Παρουσιάζουν δε ένα χαρακτηριστικό αποχωρισμό σε «πλάκες», πάχους 10 - 30 αη ή και παραπάνω, απ' όπου και πήραν την ονομασία τους, ενώ προς τους ανώτερους ορίζοντες οι πλακώδεις ασβεστόλιθοι εξελίσσονται σε παχυστρωματώδεις. Κατά θέσεις, και σε πολύ περιορισμένη σχετικά κλίμακα παρατηρούνται οι γνωστές για την ενότητα υπόλευκες πυριτολιθικές παρεμβολές που παρουσιάζονται με την μορφή φακών και βολβών.

Οι πλακώδεις ασβεστόλιθοι στην περιοχή μελέτης, αναπτύσσονται με μικρές σχετικά γωνίες κλίσεις των στρωσιγενών τους επιπέδων (100-300) και με επικρατέστερες διευθύνσεις νοτιοδυτικές.

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που περιγράψαμε, χαρακτηρίζονται από τη σταθερή και ομοιόμορφη λιθοφασική τους εξέλιξη, αποτελώντας πελαγικά ιζήματα που σχηματίστηκαν σε ήρεμο περιβάλλον μεγάλου βάθους κατά τη χρονική περίοδο του Ιουρασικού και νεότερα (Φυτρολάκης, 1980).

2. Ενότητα Τρυπαλίου. Πάνω στην ενότητα των Πλακωδών Ασβεστόλιθων μέσω κυρίως τεκτονικών επαφών εμφανίζεται επωθημένη η ανθρακική



ενότητα του Τρυπαλίου που αναπτύσσεται και στην μεγαλύτερη έκταση της περιοχής μελέτης, με τα γνωστά σε όλους γκριζότεφρα και βραχώδη πετρώματα της, που χαρακτηρίζονται από το έντονο τραχύ τους ανάγλυφο και από τις πολυάριθμες καρστικές δομές.

Τα ανθρακικά πετρώματα της ενότητας αυτής δομούν όλο το βόρειο και βορειοανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης και συγκεκριμένα την εκτεταμένη ορεινή μάζα από την περιοχή της Αγίας Τριάδας προς την ορεινή περιοχή (Χωρδάκι - Μουζουρά - Σκλόκα, μέχρι και την ανατολική περιοχή του κάμπου (τεκτονικό βύθισμα) Ακρωτηρίου (Αεροδρόμιο, Κουμαρές - Κουρουπητός), όπου μέσω τεκτονικής επαφής συνδέονται πλέον με τους μαργαϊκούς ασβεστόλιθους του νεογενούς.

Στην περιοχή του Κουρουπητού η ενότητα Τρυπαλίου παρουσιάζεται με κυμαινόμενα πάχη γεγονός που οφείλεται στον επωθητικό της χαρακτήρα. Αποτελείται από μία σειρά ανθρακικών πετρωμάτων ηλικίας Ιουρασικής και νεότερης, που έχουν υποστεί ισχυρή τεκτονική καταπόνηση, με αποτέλεσμα τον έντονο κατακερματισμό τους και την ανασυγκόλλησή τους σε διάφορα στάδια. Αναλυτικότερα, στη σύσταση τους μετέχουν οι ακόλουθοι σχηματισμοί:

- Κατώτερα στρωματογραφικά τμήματα: Λεπτοπλακώδεις έως στρωματώδεις υπόλευκοι, λευκότεφροι και σκοτεινότεφροι ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι και δολομιτικοί ασβεστόλιθοι, που κατά θέσεις μοιάζουν με τους Πλακώδεις Ασβεστόλιθους, με τη διαφορά ότι δεν φέρουν πυριτόλιθους (Παυλάκη Κ., 1990).

- Μεσαία και ανώτερα στρωματογραφικά τμήματα: Λευκότεφροι έως τεφροί ασβεστόλιθοι και δολομιτικοί ασβεστόλιθοι που παρουσιάζονται ανακρυσταλλωμένοι και βιτουμενούχοι και ανθρακικά κροκαλολατυποπαγή που παρουσιάζονται σε μαζώδη ανάπτυξη και χαρακτηρίζουν την εν λόγω ενότητα (Παυλάκη Κ., 1990).

Τα πετρώματα της ενότητας Τρυπαλίου και ειδικότερα οι ανώτεροι ορίζοντες παρουσιάζουν ισχυρά φαινόμενα καρστικοποίησης.

3. Νεότερα ιζήματα Νεογενούς. Πάνω στους προορογενετικούς σχηματισμούς που ήδη περιγράψαμε ετπκάθηνται με στρωματογραφική ασυμφωνία ή συνδέονται με τεκτονικές επαφές, τα νεότερα ιζήματα του Νεογενούς που αναπτύσσονται στο νότιο τμήμα της περιοχής του Ακρωτηρίου, με χαρακτηριστικές εμφανίσεις στις περιοχές Στέρνες, Περβολίτσα και Μαράθι. Ανάλογα με τα λιθοφασικά τους χαρακτηριστικά τα κατατάσσουμε στα ακόλουθα μέλη που περιγράφουμε με σειρά όμοια της στρωματογραφικής τους διάταξης από τα κατώτερα προς τα ανώτερα μέλη:

- Ασβεστομαργαϊκή σειρά. Πρόκειται για σχηματισμό ηλικίας Άνω Μειόκαινου έως Κάτω Πλειόκαινου, που αποτελείται κυρίως από συμπαγείς λευκοκίτρινους έως λευκόφαιους, υφαλογενείς και βιοκλαστικούς μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και ασβεστολιθικές ψαμιτομάργες. Παρουσιάζονται με χαρακτηριστική παχυστρωματώδη ανάπτυξη, με μικρές γωνίες κλίσεων των στρωσιγενών τους επιπέδων που έχουν διευθύνσεις βορειοανατολικές-ανατολικές.

- Μαργαϊκή σειρά. Η σειρά αυτή αποτελείται στο σύνολο της σχεδόν από Πλειοκαινικής ηλικίας άσπρες - κιτρινωπές παχυστρωματώδεις και μαζώδεις μάργες που στους ανώτερους ορίζοντες μεταπίπτουν σε λευκοκίτρινες ψαμιτομάργες.

4. Πρόσφατες αποθέσεις Τεταρτογενούς. Επιφανειακά, κατά θέσεις, εμφανίζεται ο αλλουβιακός μανδύας που αποτελείται από καστανέρυθρες αργίλους, ερυθρογή και διάσπαρτες ασβεστολιθικές λατύπες. Δημιουργήθηκε από τα προϊόντα διάβρωσης των ανθρακικών πετρωμάτων και αναπτύσσεται με μικρά πάχη που κυμαίνονται από λίγα εκατοστά έως λίγα μέτρα.

#### **1.3.4 Σεισμοτεκτονικά στοιχεία**

##### **1.3.4.1 Τεκτονική δομή της ευρύτερης περιοχής**

Η γεωμορφολογική δομή της ευρύτερης περιοχής του έργου, όπως αυτή παρουσιάζεται σήμερα με τα ημιορεινά συγκροτήματα, τις απότομες βραχώδεις ακτές, τις έντονες χαραδρώσεις και τις τεκτονικές λεκάνες, οφείλεται σε διάφορα γεωλογικά φαινόμενα, κυρίως όμως στην επίδραση της Αλπικής και της Νεοτεκτονικής τεκτονικής που συνέβαλλαν στην εκδήλωση των ποικίλων παραμορφωτικών φάσεων που εκφράζονται στα πετρώματα με την μορφή της πτυχογόνου και της ρηξιγενούς τεκτονικής. Η πτυχογόνος τεκτονική εκδηλώνεται με την μορφή ποικίλων πτυχών που εμφανίζονται κυρίως στους στρωματώδεις σχηματισμούς της ενότητας των Πλακωδών ασβεστόλιθων. Η ρηξιγενής τεκτονική είναι ιδιαίτερα έκδηλη στην περιοχή και εκδηλώνεται με πλήθος τεκτονικών ασυνεχειών που αντιπροσωπεύονται από πλήθος ρηγμάτων, ρωγματώσεων και διακλάσεων που λόγω του συμπαγούς χαρακτήρα των

ανθρακικών πετρωμάτων, δημιουργούν χαρακτηριστικές και εμφανείς θραυσιγενείς επιφάνειες. Οι ρηξιγενείς ζώνες της περιοχής του Κουρουπητού ακολουθούν τρεις κύριες διευθύνσεις: ΒΔ - ΝΑ, ΒΑ - ΝΔ και Α

- Δ. Οι κυριότερες τεκτονικές ασυνέχειες της περιοχής είναι:

- Οι μεγάλες ρηξιγενείς ζώνες διεύθυνσης ΒΔ - ΝΑ, που οριοθετούν τη δυτική πλευρά του ορεινού όγκου του Ακρωτηρίου και αντιπροσωπεύονται από δύο μεγάλα ρήγματα, που έχουν δημιουργήσει κατά μήκος τους τα δύο χαρακτηριστικά ορεινά επίπεδα. Το ένα αναπτύσσεται κατά μήκος αυτής της διεύθυνσης (διεύθυνση κλίσης  $220^{\circ}\text{N}/85^{\circ}$ ) στο ύψος της περιοχής Χωρδακίου. Σε θέση ανατολικά του Χωρδακίου στο ύψος του δρόμου, παρουσιάζονται χαρακτηριστικοί καθρέπτες με μυλωνιτισποιημένο υλικό. Το δεύτερο αναπτύσσεται με την ίδια διεύθυνση, παράλληλα και χαμηλότερα στο ύψος της περιοχής Μουζουρά, και έχει συμβάλει στη δημιουργία του τεκτονικού βυθίσματος του Ακρωτηρίου, που εκτείνεται νοτιοδυτικά.
- Οι ρηξιγενείς ζώνες διεύθυνσης ΒΔ - ΝΑ, που οριοθετούν το ανατολικό τμήμα της ορεινής μάζας του Ακρωτηρίου και έχουν συμβάλει στη δημιουργία των απόκρημνων βραχωδών ακτών που παρουσιάζουν χαρακτηριστικά πρηνή με ισχυρές κλίσεις.
- Οι ρηξιγενείς ζώνες διεύθυνσης ΒΑ - ΝΔ, που οριοθετούν το νότιο τμήμα της ορεινής μάζας του Ακρωτηρίου και έχουν συμβάλει στη δημιουργία του τεκτονικού βυθίσματος που εκτείνεται νοτιότερα.
- Η ρηξιγενής ζώνη διεύθυνσης ομοίως ΒΑ - ΝΔ που διασχίζει την καρδιά του ορεινού όγκου και παρουσιάζει στην περιοχή ανατολικά του Καλόρουμα χαρακτηριστικούς καθρέπτες με διεύθυνση της

επιφάνειας κλίσης  $325^{\circ}\text{ΒΔ}/25^{\circ}$ .

- Η ρηξινενής ζώνη διεύθυνσης ομοίως ΒΑ - ΝΔ που διασχίζει το νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης (Μαράθι - Περβολίτσα) και φέρνει σε τεκτονική επαφή τα ανθρακικά πετρώματα της ενότητας του Τρυπαλίου με τα νεότερα ιζήματα του Νεογενούς.
- Οι διακλάσεις που κατακερματίζουν τα ανθρακικά πετρώματα και παρουσιάζονται με πυκνά δίκτυα ποικίλων διευθύνσεων με επικρατέστερες διευθύνσεις ανάλογες των μεγάλων ρηξιγενών ζωνών. Σε ισχυρών κλίσεων πρηνή που διατρέχονται από διακλάσεις με ομόρροπες με αυτά επιφάνειες, επικρατούν συνθήκες αστάθειας με αποτέλεσμα να δημιουργούνται καταπτώσεις μικρών ή μεγάλων τεμαχίων βράχων από τις αποκολλήσεις των κερματισμένων πετρωμάτων.

Επισημαίνεται ότι από τις ρηξιγενείς ζώνες της ευρύτερης περιοχής Ακρωτηρίου ορισμένες πιθανόν είναι ενεργές, γεγονός όμως που προσδιορίζεται μόνον από την εκπόνηση ειδικής νεοτεκτονικής μελέτης.

Σήμερα η περιοχή βρίσκεται υπό την επίδραση ευστατικών και τεκτονικών κινήσεων που προκαλούν κυρίως ανυψωτικές μετατοπίσεις.

#### **1.3.4.2 Σεισμικότητα**

Η ευρύτερη περιοχή της Κρήτης χαρακτηρίζεται από έντονη ρηξιγενή τεκτονική που είναι άμεσα συνδεδεμένη με σεισμική δραστηριότητα. Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στην ενεργό τεκτονική του χώρου αυτού που χαρακτηρίζεται από δύο σημαντικές μεγάλες γεωλογικές διαδικασίες:

Η μία σχετίζεται με τη γνωστή αμφιθεατρική υποβύθιση της Αφρικάνικης Πλάκας κάτω από την Ευρασιατική που συντελείται με ρυθμό 1,5 cm το χρόνο και λαμβάνει χώρα κατά μήκος της ελληνικής τάφρου που διέρχεται νότια της Κρήτης. Η δεύτερη σχετίζεται με την μετακίνηση της πλάκας της Ανατολίας που συντελείται κατά μήκος του μεγάλου ομώνυμου ρήγματος προς την περιοχή του Αιγαίου με ρυθμό 2,5 cm το χρόνο. Αποτέλεσμα αυτών είναι ότι στην περιοχή του νοτίου Αιγαίου η σχετική μετακίνηση των πλακών αναπτύσσεται με ρυθμό πέραν των 4 cm το χρόνο, γεγονός που έχει σαν άμεσο επακόλουθο την ανάπτυξη του ορογενούς της Κρήτης και ενός ισχυρού πεδίου τάσεων στην ευρύτερη περιοχή που προκαλεί σεισμούς μικρού και μεγάλου βάθους.

Η Κρήτη κατά τη διάρκεια των παραπάνω σύγχρονων τεκτονικών κινήσεων δε συμπεριφέρεται σαν μία ενιαία συμπαγής και άκαμπτη μάζα, αλλά σαν ένα σύστημα τεκτονικών τεμαχίων που χωρίζονται από μεγάλα ρήγματα. Κάθε τέμαχος αποκτά διαφορετικά μεγέθη κίνησης. Η μέγιστη τιμή ανύψωσης παρατηρήθηκε σε νότιες ακτές της δυτικής Κρήτης και ανέρχεται σε 7,8 m. Υπολογίζεται ότι η μέγιστη ετήσια ανύψωση στη Δυτική Κρήτη ανέρχεται σε 4,5 mm.

Με βάση την εργασία «Σεισμοτεκτονικός χάρτης της Κρήτης» (Δρακόπουλος κ.α. 1983) και εργασίες του κ. Β. Παπαζάχου (1980,1996) σχετικές με τη σεισμική δραστηριότητα της Κρήτης επισημαίνονται τα ακόλουθα:

- Στη περιοχή της Κρήτης και στο ευρύτερο θαλάσσιο χώρο δύο κατηγορίες σεισμών λαμβάνουν χώρα. Οι σεισμοί ενδιάμεσου βάθους (βάθος εστίας μεγαλύτερο των 60 χλμ. και μικρότερο των 180 χλμ.) που

τοποθετούνται στο θαλάσσιο χώρο βόρεια του νησιού, και οι επιφανειακοί σεισμοί (βάθος εστίας μικρότερο των 60 χλμ.) που τα επίκεντρα τους τοποθετούνται πάνω στο νησί ή στο νότιο γειτονικό θαλάσσιο χώρο.

- Οι μεγάλες ρηξιγενείς ζώνες που έχουν επισημανθεί τόσο στον ηπειρωτικό όσο και στο θαλάσσιο χώρο δυτικά - βορειοδυτικά και νότια του νησιού είναι σεισμικά ενεργές.
- Τα περισσότερα επίκεντρα των επιφανειακών σεισμών "βρίσκονται στη θαλάσσια περιοχή νότια της Νήσου, όπου κυριαρχούν οι μεγάλες τεκτονικές τάφροι.
- Ο μεγαλύτερος σεισμός του αιώνα μας που έγινε το 1903 στα Κύθηρα, βορειοδυτικά και σε μικρή απόσταση από την Κρήτη, είχε μέγεθος 8,0 βαθμούς της κλίμακας Richter, με αποτέλεσμα να έχει επιδράσει αποφασιστικά στην κατανομή του σεισμικού κινδύνου από άποψη μέγιστου μεγέθους στην περιοχή Δυτικής Κρήτης.
- Συμπερασματικά καταλήγουμε ότι με βάση όλα τα παραπάνω στοιχεία που παρουσιάστηκαν, η περιοχή του έργου όπως και η ευρύτερη περιοχή της Κρήτης ανήκει σε μία ιδιαίτερα ευπαθή σεισμική ζώνη με υψηλό σεισμικό κίνδυνο. Το γεγονός αυτό πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη στο σχεδιασμό των έργων.
- Με βάση τα στοιχεία από την εργασία «Σεισμοτεκτονικός Χάρτης της Κρήτης», Δρακόπουλος κ.α 1983, προέκυπτε ότι:
  - Αναμενόμενη μέγιστη τιμή μεγέθους σεισμού για την περιοχή Κουρουπητού είναι 7,2 βαθμοί στην κλίμακα Richter, με πιθανότητα 70% να μη σημειωθούν μεγαλύτερες τιμές στα επόμενα 100 χρόνια.

- Αναμενόμενη μέγιστη σεισμική επιτάχυνση για την περιοχή Κουρουπητού, με πιθανότητα 90% να μη σημειωθούν μεγαλύτερες τιμές τα επόμενα 50 χρόνια είναι  $60 - 80 \text{ cm/sec}^2$ .
- Μέγιστη σεισμική ένταση που παρατηρήθηκε τη χρονική περίοδο 1900 - 1981, στην περιοχή Κουρουπητού ήταν 6 - 7 βαθμοί της κλίμακας Mercalli.

### **1.3.5 Καρστικά φαινόμενα**

Η ευρύτερη περιοχή του έργου δομείται από ανθρακικά πετρώματα με έκδηλη ρηξιγενή τεκτονική, με αποτέλεσμα να παρουσιάζει έντονα φαινόμενα καρστικής διάβρωσης που αντιπροσωπεύονται από ποικίλες καρστικές μορφές. Όπως είναι γνωστό η καρστικοποίηση οφείλεται στη χημική διεργασία που αναπτύσσεται κατά τη σταδιακή χημική διάλυση των ανθρακικών κυρίως πετρωμάτων από το νερό και έχει σαν αποτέλεσμα τη διάβρωση τους και τη δημιουργία διάφορων χαρακτηριστικών μορφών τόσο επιφανειακά όσο και υπόγεια. Αντιπροσωπευτικές καρστικές μορφές είναι οι δολίνες, οι πόλγες, τα ποικίλου μεγέθους έγκοιλα, τα σπήλαια, οι καταβόθρες, τα δαιδαλώδη υπόγεια καρστικά δίκτυα κλπ. Η ρηξιγενής τεκτονική μιας περιοχής, διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην όλη διεργασία της καρστικοποίησης. Η κίνηση του νερού και κατ' επέκταση η διάλυση των ανθρακικών πετρωμάτων συνδέεται άμεσα με επιφάνειες ρηγμάτων, διακλάσεων, σχιστότητας και γενικά ποικίλης φύσεως και μεγέθους τεκτονικών ασυνεχειών, που υποβοηθούν την ταχύτερη ανάπτυξη της καρστικής διαβρώσεως.

Η ανάπτυξη της καρστικοποίησης συνδέεται άμεσα με τις επιφάνειες τεκτονικών ασυνεχειών ιδιαίτερα στα προορογενετικά ανθρακικά πετρώματα



της ενότητας του Τρυπαλίου που παρουσιάζουν ισχυρή ρηξιγενή τεκτονική και με επιφάνειες στρώσεων ιδιαίτερα στους νεογενείς μαργαικούς ασβεστόλιθους. Οι αντιπροσωπευτικότερες καρστικές μορφές που συναντάμε είναι:

- Καρστικό ανάγλυφο που αναπτύσσεται καθ' όλη την έκταση των ανθρακικών πετρωμάτων και χαρακτηρίζεται απότραχείες επιφάνειες διάσπαρτες από μικροεγκοιλώδεις οπές που ακολουθούντις διευρύνσεις των ρωγματώσεων και διακλάσεων.
- Πολυάριθμες δολίνες ποικίλου μεγέθους και βάθους που αναπτύσσονται διάσπαρτες καθ' όλη την έκταση του τεκτονικού βυθίσματος του Ακρωτηρίου, που διαμορφώνεται κατάντη των μεγάλων ρηξιγενών ζωνών. Συνήθως καλύπτονται από ερυθρά αργιλικά υλικά που προέρχονται από τη διάβρωση των μητρικών τους πετρωμάτων και που κατά θέσεις αποκτούν πάχος πέραν των 5 μέτρων.
- Καρστικά έγκοιλα που αναπτύσσονται κατά μήκος των επιφανειών των μικρών ή μεγάλων τεκτονικών ασυνεχειών και παρουσιάζονται με μεγάλη ποικιλία μορφών. Οι πιο συνηθισμένες είναι οι κατακόρυφες κοιλότητες ενώ μεμονωμένα συναντάμε και μεγαλύτερα σπηλαιώδη έγκοιλα.
- Φαράγγια. Πρόκειται για μεμονωμένες εικόνες μικρών φαραγγιών που αναπτύσσονται στο ανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης του Ακρωτηρίου προς τη θάλασσα. Αυτά έχουν σχηματιστεί λόγω των ταχέων ανυψωτικών κινήσεων που επικράτησαν στην περιοχή κατά τη διάρκεια των νεότερων γεωλογικών χρόνων και που προκάλεσαν

την ταχεία διάβρωση του εδάφους κατά προτίμηση σε ζώνες τεκτονικών ασυνεχειών.

Ειδικότερα, στην περιοχή του Κουρουπητού η διάβρωση του εδάφους, λόγω της φύσης των γεωλογικών της σχηματισμών που αποτελούνται αποκλειστικά από τα ανθρακικά πετρώματα της ενότητας του Τρυπαλίου, αναπτύσσεται με την μορφή της καρστικοποίησης των ανθρακικών της πετρωμάτων, που όπως αναφέρθηκε οφείλεται στη σταδιακή χημική τους διάλυση από το νερό.

#### **1.4 Χλωρίδα της ευρύτερης περιοχής**

Οι συνηθέστεροι τύποι οικοτόπων στο Ακρωτήρι και στην ευρύτερη περιοχή του έργου είναι οι εξής:

- Μακία ελιάς - χαρουπιάς (*Oleo - ceratonion*)
- Φρύγανα
- Πρωτογενής βλάστηση βραχωδών επιφανειών
- Σπήλαια

Οι τύποι αυτοί είναι γενικότερα χαρακτηριστικοί για την Κρήτη. Στην ευρύτερη περιοχή του έργου κυριαρχούν τα είδη *Olea europaea* (ελιά και αγριελιά), *Pistacia lentiscus* (σκίνος) και *Ceratonia siliqua* (χαρουπιά). Αυτά συνοδεύονται από διάφορα είδη φρυγανών στα οποία συγκύριαρχούν τα είδη *Coridothymus capitatus* (θύμος), *Cistus salicifolius* (λαδανιά) και *Genista acanthoclada* (αχινοπόδι). Συνοδεύονται και από άλλα φυτά της φρυγανικής βλάστησης όπως *Salvia fruticosa* (φασκομηλιά), *Salvia rosmarinifolia* (σγουρή φασκομηλιά), *Satureja thymbra* (θρούμποι), *Sarcopoterium spinosum* (αστοιβίδα), *Drimys maritima* (ασκελετούρα) κ.α. Η πρωτογενής βλάστηση των βραχωδών επιφανειών, που αποτελείται κυρίως

από είδη του γένους *Sedum*, βρύα και λειχήνες, περιορίζεται στα σημεία που υπάρχουν μεγάλοι βράχοι, ενώ τα σπήλαια δε συμμετέχουν στην κάλυψη. Τό ποσοστό που καλύπτεται από τα φρύγανα θεωρείται μεγάλο και οφείλεται στην μακροχρόνια βόσκηση με παράλληλη χρήση φωτιάς. Αυτό τεκμηριώνεται και από την αυξημένη παρουσία της *Drimia maritima* (ασκελετούρας) που αποτελεί δείκτη υπερβόσκησης.

#### **1.4.1 Βλάστηση και χλωρίδα στην περιοχή του έργου**

Οι οικότοποι που συνθέτουν την περιοχή είναι φρύγανα με κωδικό 5420 και καλύπτουν σχεδόν το 80% της περιοχής ενδιαφέροντος. Στα φρύγανα κυρίαρχο είδος είναι τα *Sarcopoterium spinosum* (αστοιβίδα), και *Coridothymus capitatus* (θυμάρι). Σε μικρότερο ποσοστό εμφανίζεται διάσπαρτη Μακία βλάστηση ελιάς -χαρουπιάς (*Olea ceratonia*). Ανατολικά της περιοχής του έργου η φρυγανώδης βλάστηση έχει υποβαθμιστεί και σε πολλά σημεία αντικατασταθεί από τα είδη *Asphodelus aestivus* (ασφόδελος) και *Drimia maritima* (ασκελετούρα), εξαιτίας κυρίως της καύσης των απορριμμάτων στον Κουρουπητό κατά το παρελθόν. Νοτιότερα εμφανίζονται φρύγανα με *Sarcopoterium spinosum* (αστοιβίδα), ελάχιστα *Coridothymus capitatus* (θυμάρια) και *Phlomis cretica* (αγκαραθιές). Ένα άλλο είδος που κυριαρχεί είναι η *Cynara cornigera* (άγρια αγκινάρα) με αρκετά μεγάλο πληθυσμό, που εντοπίζεται στο νότιο τμήμα της περιοχής. Δυτικότερα τα φρύγανα είναι καλά ανεπτυγμένα με κυρίαρχο είδος την αστοιβίδα και διάσπαρτα θυμάρια.

Το βόρειο τμήμα της περιοχής έχει δεχθεί τις λιγότερες επιπτώσεις από την ανεξέλεγκτη απόρριψη των σκουπιδιών στο φαράγγι του Κουρουπητού. Εδώ η φρυγανώδης βλάστηση χαρακτηρίζεται από τα είδη

*Coridothymus capitatus* (θυμάρι) και *Calicome villosa* (ασπάλαθος). Σε αυτό το σημείο το φαράγγι του Κουρουπητού, με το οποίο γειτονεύει άμεσα, είναι καθαρό και η βλάστηση, κυρίως χασμοφυτική, είναι καλά ανεπτυγμένη όπως φαίνεται από το βορειοδυτικό σημείο της εξεταζόμενης περιοχής. Όσον αφορά τα σπάνια και απειλούμενα είδη που υπάρχουν στην περιοχή, σημειώνονται τα ακόλουθα:

- Πληθυσμοί του *Origanum dictamnus* L (Δίκταμος, απειλούμενο είδος, παραρτήματα II/IV της Οδηγίας 92/43/ΕΕΟ) έχουν βρεθεί και σε άλλες περιοχές του βόρειου Ακρωτηρίου.
- Το άγριο κρεμμύδι *allium circinatum* subsp. *circinatum* είναι σπάνιο και έχει περιορισμένο αριθμό πληθυσμών σε όλη την Κρήτη. Στην περιοχή του βόρειου Ακρωτηρίου συναντάται ευρέως και έχουν καταγραφεί τουλάχιστον τέσσερις (4) πληθυσμοί (Βάση Δεδομένων Βοτανικού Μουσείου Μ.Α.Ι.Χ.).
- το είδος *Hypericum aegypticum* L. το οποίο αντιπροσωπεύεται στην Κρήτη από δύο πληθυσμούς. Ο ένας βρίσκεται στην περιοχή της Σητείας και ο άλλος στην περιοχή του Κουρουπητού - Περβολίτσας. Σύμφωνα με τον Greuter et al. (1984) το φυτό εξαφανίστηκε από τη δεύτερη περιοχή εξαιτίας της λειτουργίας του Κουρουπητού. Ευτυχώς το φυτό βρέθηκε στην περιοχή της Περβολίτσας πριν δύο χρόνια (Βάση Δεδομένων Βοτανικού Μουσείου Μ.Α.Ι.Χ.). Το συγκεκριμένο είδος πιθανόν να ευνοηθεί από τη διακοπή της λειτουργίας του Κουρουπητού, αφού αποτελεί το βιότοπο του, που είναι βραχώδη μέρη κοντά στην θάλασσα, και επανακάμψει στην περιοχή. Το ίδιο ίσως ισχύει και για το Δίκταμο, αν βέβαια βρίσκεται σε σχισμές

κάθετων βράχων μέσα στο φαράγγι του Κουρουπητού.

- αξιοσημείωτο είναι το είδος *Nicotiana glauca* με κοινή ονομασία tobacco tree το οποίο άρχισε να φύεται πάνω από τα απορρίμματα στο υλικό επικάλυψης.

Το τελευταίο φυτό προκάλεσε ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθότι όπως φαίνεται και από τις φωτογραφίες φύεται σε αρκετά μεγάλη έκταση του χώρου εναπόθεσης απορριμμάτων του Μεσομουρίου και μάλιστα παρουσιάζει ιδιαίτερη ανάπτυξη. Έτσι αποφασίστηκε να αναζητηθούν περισσότερα στοιχεία για το συγκεκριμένο φυτό καθώς και να γίνει μια ανάλυσή του αναφορικά με την παρουσία βαρέων μετάλλων.

Το είδος ***Nicotiana glauca*** με κοινή ονομασία **tobacco tree** φύεται συνήθως σε ξηρές και διαβρωμένες περιοχές, σε φαράγγια και σε περιοχές αποβλήτων με υψόμετρο κάτω από 3000 πόδια (990 μέτρα). Είναι υπεραιονόβιο φυτό με διακλαδώσεις, θάμνος ή μικρό δέντρο που μπορεί να φτάσει τα 20 πόδια (6,5 μέτρα) ύψος. Τα φύλλα του είναι γαλαζοπράσινα, έχει μακριούς μήσκους οι οποίοι είναι ωοειδείς και απαλοί με μήκος μέχρι 7 ίντσες (18 εκατοστά). Τα λουλούδια του είναι κίτρινα με πέντε απολήξεις και με σχήμα σωληνοειδές. Όλα τα ζώα που έρχονται σε επαφή μαζί του επηρεάζονται λόγω της τοξικότητάς του η οποία οφείλεται στην νικοτίνη, το anabasine και τα πολλά άλλα αλκαλοειδή που είναι παρούσες σε όλα τα είδη *nicotiana*. Η νικοτίνη είναι δηλητηριώδης σε όλα τα ζώα, αλλά τα μηρυκαστικά είναι πιο ανεκτικά στο αλκαλοειδές από ότι είναι τα ζώα με συνηθισμένο στομάχι. Η νικοτίνη απορροφάται εύκολα μέσω των χωνευτικών και αναπνευστικών οδών και έχει μια γρήγορη επίδραση στο νευρικό σύστημα ζώων προκαλώντας συχνά τις δονήσεις μυών, τον ενθουσιασμό, την αταξία, τη ταχεία καρδιακή και

αναπνευστική μέχρι και κώμα. Θάνατος μπορεί να προέλθει από την αναπνευστική παράλυση. Ο καπνός περιέχει επίσης το αλκαλοειδές, anabasine, το οποίο είναι αιτία τερατογένεσης στους χοίρους, τα αρνιά και τους μόσχους. Ποσοτικά, το anabasine διαμορφώνει το 99% της περιεκτικότητας σε αλκαλοειδή του glauca N., και έχει αποδειχθεί ότι είναι υπεύθυνο για σοβαρές σκελετικές παραμορφώσεις στα αρνιά και τους μόσχους οι οποίοι γεννήθηκαν κοντά σε φράγματα και κατανάλωσαν τις εγκαταστάσεις κατά τη διάρκεια της 30 - 60ης ημέρας της κύησης.

Από τα παραπάνω στοιχεία διαπιστώνεται ότι οι συνθήκες στην περιοχή του Μεσομυρίου είναι οι κατάλληλες για την ανάπτυξη του tobacco tree. Επίσης διαπιστώθηκε και η τοξικότητά του που οφείλεται αποκλειστικά στην παρουσία νικοτίνης, anabasine και άλλων αλκαλοειδών που περιέχονται σε όλα τα είδη nicotiana. Η πιθανότητα να αυξάνεται η τοξικότητά του λόγω της παρουσίας βαρέων μετάλλων που θα μπορούσε ίσως να λάβει από τα απορρίμματα, αποκλείστηκε από τις εργαστηριακές αναλύσεις που έγιναν σε δείγμα του εν λόγω φυτού. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων που παρατίθενται παρακάτω δείχνουν ότι τα βαρέα μέταλλα απουσιάζουν ή υπάρχουν σε πολύ μικρή περιεκτικότητα, αφού βρίσκονται κάτω από το όριο ανίχνευσης.

**Πίνακας 2: Περιεκτικότητα σε βαρέα μέταλλα της χλωρίδας**

Βαρέα Μέταλλα	Αποτέλεσμα σε mg/Kg	Όριο ανίχνευσης	Μέθοδος
Μόλυβδος Pb	< 10	10	EN ISO 11885
Κάδμιο Cd	< 0,5	0,5	EN ISO 11885
Υδράργυρος Hg	< 0,3	0,3	EN 1483



**Εικόνα 4: Το tobacco tree φύεται στο χώρο εναπόθεσης απορριμμάτων**



**Εικόνα 5: Δείγμα του tobacco tree στο εργαστήριο**

### 1.5 Πανίδα στην ευρύτερη περιοχή του έργου

Η πανίδα της περιοχής δεν διαφέρει ουσιαστικά από την πανίδα της ευρύτερης περιοχής του Ακρωτηρίου, που γενικά είναι πλούσια σε:

#### Σπονδυλωτά

- Ερπετά (λιακόνι, σιαμαμίθι, πράσινη σαύρα, κολισαύρα).
- Θηλαστικά (διάφορα είδη νυχτερίδας, σκαντζόχοιρος, τρωκτικά, άρκαλος, ζουρίδα, καλιγιαννού, αγριόγατος).

#### Πουλιά

- Μεγάλη ποικιλία αποδημητικών και μόνιμων πληθυσμών ανάμεσα στα οποία περιλαμβάνονται και ορισμένα σπάνια και προστατευόμενα είδη όπως είναι ο χρυσαετός κ.α.

#### Χερσαία

#### μαλάκια

#### Αρθρόποδα

- Μεγάλη ποικιλία από διάφορα είδη αράχνης, κολεοπτέρων, υμενοπτέρων, λεπιδοπτέρων, σκορπιών και ψευδοσκορπιών κλπ.

Πρέπει βέβαια να επισημανθεί ότι ορισμένα από τα παραπάνω αναφερόμενα είδη και συγκεκριμένα εκείνα που απαιτούν σχετικά αδιατάρακτα περιβάλλοντα (π.χ. χρυσαετός) δεν υπάρχουν ή εμφανίζονται σπάνια στην περιοχή, αφενός λόγω της μέχρι πρότινος ανεξέλεγκτης λειτουργίας του Κουρουπητού και αφετέρου λόγω των έργων που εκτελούνται σήμερα στην περιοχή της «Κορακιάς».

Στα παραπάνω πρέπει να προσθέσουμε τα **αίγοπρόβατα** που παρότι δεν αποτελούσαν στοιχείο της πανίδας της περιοχής, η παρουσία τους είναι έντονη λόγω των πολλών κτηνοτροφικών μονάδων στην περιοχή. Αυτό



επιδεινώνει την είδη επιβαρημένη από τον Κουρουπητό και το Μεσομούρι κατάσταση καθώς η ελεύθερη βοσκή τους καταστρέφει ολοκληρωτικά την χλωρίδα της περιοχής. Το πιο ανησυχητικό όμως όλων είναι η εισβολή τους στο χώρο εναπόθεσης απορριμμάτων του Μεσομουρίου από όπου καταναλώνουν τα τοξικής φύσης φυτά που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο της χλωρίδας και που φύονται εκεί, με κίνδυνο να υποστούν ή να μεταδώσουν σε όποιον τα καταναλώσει όλες τις πιθανές παρενέργειες που επίσης αναφέρθηκαν. Παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένες φωτογραφίες των αιγοπροβάτων:



**Εικόνα 6: Τα αιγοπρόβατα στο χώρο του μεσομουρίου**



**Εικόνα 7: Τα αιγοπρόβατα στο Μεσομούρι προς αναζήτηση τροφής**

Συνολικά, όσον αφορά την πανίδα, με τη διακοπή της ανεξέλεγκτης λειτουργίας του Κουρουπητού και την αποκατάσταση του, αλλά και μετά την αποκατάσταση στο «Μεσομούρι», αναμένεται να προκύψουν θετικές επιπτώσεις και συγκεκριμένα:

- Να μειωθούν οι πληθυσμοί των ειδών που εκμεταλλεύονται τα σκουπίδια, με αποτέλεσμα την μείωση των πιθανών κινδύνων που αυτά προκαλούν στον άνθρωπο ως φορείς ασθενειών.
- Να μειωθεί η πίεση που αυτά τα είδη ασκούν στα υπόλοιπα είδη της πανίδας, αφού ο ανταγωνισμός μεταξύ τους θα γίνεται χωρίς το πλεονέκτημα της περίσσειας της τροφής που μέχρι τώρα είχαν τα ανθρωπόφιλα. Με λίγα λόγια η πανίδα θα έρθει σε μια σχετική ισορροπία.
- Να εξαλειφθεί η μόλυνση από τοξικές ουσίες σε διάφορα είδη που ζουν

στην περιοχή και κατά συνέπεια η μεταφορά τους μέσα στην τροφική αλυσίδα, στην κορυφή της οποίας (άρα και τελικός αποδέκτης) συχνά είναι ο άνθρωπος.

- Να αυξηθεί η βιοποικιλότητα της περιοχής αφού θα αναβαθμιστεί συνολικά το περιβάλλον με αποτέλεσμα να επανακάμψουν είδη τα οποία είχαν εκτοπιστεί.

### **1.6 Ιστορικό Μεσομυρίου**

Από το έτος 1965 μέχρι και το 2000 τα αστικά απορρίμματα του δήμου Χανίων και της ευρύτερης περιοχής διατίθονταν ανεξέλεγκτα σε μια περιοχή του γειτονικού δήμου Ακρωτηρίου με την ονομασία 'Κουρουπητός', η οποία όσον αφορά την μορφολογία του εδάφους έχει την μορφολογία χαράδρας. Τα απορρίμματα πολλές φορές αναφλέγονταν με αποτέλεσμα την αέρια και στερεή ρύπανση των γύρω περιοχών αλλά ίσως και μακρινών περιοχών εφόσον υπήρχε άνεμος την ώρα που διενεργείτο η καύση (πράγμα πολύ σύνηθες στην συγκεκριμένη περιοχή). Η ρύπανση αυτή φυσικά επιβεβαιώθηκε από τα αποτελέσματα εργαστηριακών αναλύσεων που έγιναν πάνω σε δείγματα που πάρθηκαν από την ευρύτερη περιοχή. Η ανεξέλεγκτη διάθεση και ανάφλεξη των απορριμμάτων για ένα τόσο μεγάλο χρονικό διάστημα, δημιούργησε μεγάλη επιβάρυνση στο περιβάλλον αλλά και στην υγεία των κατοίκων της ευρύτερης περιοχής των Χανίων, σε σημείο που να μιλάμε για μια από τις μεγαλύτερες πηγές περιβαλλοντικής επιβαρύνσεις στην Κρήτη και από τις μεγαλύτερες σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Λογικό αποτέλεσμα αυτής της συνεχιζόμενης αντιπεριβαλλοντικής συμπεριφοράς ήταν η καταδίκη της Ελλάδας από το ευρωπαϊκό δικαστήριο τον Ιούλιο του 2000, η οποία καταδίκη



υποχρέωνε την Ελληνική Δημοκρατία στην καταβολή χρηματικής ποινής ύψους 20.000 € ημερησίως.

Όπως είναι φυσικό, το ύψος του προστίμου έκανε το κράτος με τους αρμόδιους φορείς του σε συνεργασία με τους τοπικούς φορείς να σκύψουν πάνω από το πρόβλημα του 'Κουρουπητού' και να ασχοληθούν με την λύση του. Έτσι το υπουργείο περιβάλλοντος, χωροταξίας και δημοσίων έργων (Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.) σε συνεργασία με τη Νομαρχιακή αυτοδιοίκηση Χανίων, την τοπική ένωση δήμων και κοινοτήτων νομού Χανίων (Τ.Ε.Δ.Κ.) και την διαδημοτική επιχείρηση διαχείρισης στερεών αποβλήτων Χανίων (Δ.Ε.ΔΙ.Σ.Α.) αποφάσισαν την διακοπή της ανεξέλεγκτης διάθεσης και καύσης στον 'Κουρουπητό' και τη δημιουργία ενός σύγχρονου χώρου υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (Χ.Υ.Τ.Α.) ο οποίος αποφασίστηκε μάλιστα να πλαισιωθεί με την εγκατάσταση και τη λειτουργία ενός εργοστασίου μηχανικής διαλογής και κομποστοποίησης σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά πρότυπα.

Παρά την εύρεση και έναρξη διεκπεραίωσης της λύσης παρέμενε το πρόβλημα της καταβολής του προστίμου, το οποίο θα συνέχιζε μέχρι να σταματήσει η ανεξέλεγκτη διάθεση και καύση στον 'Κουρουπητό' δεδομένου ότι μέχρι την ολοκλήρωση των εργασιών για τη δημιουργία του Χ.Υ.Τ.Α. τα απορρίμματα των Χανίων και της ευρύτερης περιοχής έπρεπε να διατίθενται κάπου. Για αυτό αποφασίστηκε η εγκατάσταση και λειτουργία ενός συγκροτήματος συμπίεσης, δεματοποίησης και αποθήκευσης των απορριμμάτων, φυσικά τα δεματοποιημένα απορρίμματα μετά την αποπεράτωση του Χ.Υ.Τ.Α. θα μεταφέρονταν εκεί.

Μάλιστα για να επιτευχθεί μεγαλύτερη ταχύτητα στην πραγμάτωση του παραπάνω προγράμματος αλλά και για να είναι οι αναγκαίες ενέργειες από

τους διάφορους φορείς συντονισμένες, υπογράφηκε μια προγραμματική σύμβαση ανάμεσα στη Νομαρχιακή αυτοδιοίκηση Χανίων, στο Τ.Ε.Δ.Κ. και την Δ.Ε.ΔΙ.Σ.Α.

Έτσι τον Ιούλιο του 1999 η Νομαρχιακή αυτοδιοίκηση Χανίων διενήργησε διεθνή ανοιχτό διαγωνισμό για την προμήθεια του αναγκαίου μηχανολογικού εξοπλισμού για το συγκρότημα συμπίεσης, δεματοποίησης και αποθήκευσης των απορριμμάτων ενώ προηγουμένως είχε εγκριθεί από το Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. η αναγκαία πίστωση. Παράλληλα η Δ.Ε.ΔΙ.Σ.Α. μίσθωσε οικοπεδική έκταση 50 περίπου στρεμμάτων στη θέση ‘Μεσομούρι’ που ανήκει στα όρια του δήμου Ακρωτηρίου. Η συγκεκριμένη περιοχή κρίθηκε κατάλληλη λόγω της τοποθεσίας της, αφού αφενός βρίσκεται στις παρυφές της χαράδρας του ‘Κουρουπητού’ και επομένως ήταν ήδη υποβαθμισμένη λόγω της μακρόχρονης ανεξέλεγκτης λειτουργίας του ‘Κουρουπητού’ και αφετέρου βρίσκεται δίπλα στη θέση ‘Κορακιά’, η οποία είχε επιλεγεί για την εγκατάσταση του Χ.Υ.Τ.Α. και του εργοστασίου μηχανικής διαλογής και κομποστοποίησης πράγμα που θα βοηθούσε στην πιο εύκολη μεταφορά των δεματοποιημένων απορριμμάτων στο Χ.Υ.Τ.Α.

Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι όσον αφορά το ιδιοκτησιακό καθεστώς της περιοχής του ‘Μεσομουρίου’, η έκταση αυτή απαλλοτριώθηκε με την από 30-6-2000 πράξη νομοθετικού περιεχομένου την οποία υπόγραψε ο Πρόεδρος της Ελληνικής δημοκρατίας, γεγονός που αποτελεί πανελλήνια πρωτοτυπία και επομένως δείχνει την σοβαρότητα της κατάστασης και το πόσο ήθελε το κράτος να βρεθεί μια λύση στο συγκεκριμένο πρόβλημα. Σήμερα η κυριότητα του χώρου ανήκει στην νομαρχιακή αυτοδιοίκηση Χανίων.

Οι εργασίες για την εγκατάσταση του συγκροτήματος συμπίεσης, δεματοποίησης και αποθήκευσης των απορριμμάτων ξεκίνησαν τον Οκτώβριο του 2000 και ολοκληρώθηκαν το Φεβρουάριο του 2001, οπότε και διακόπηκε οριστικά η λειτουργία του 'Κουρουπητού'.

Από το Φεβρουάριο του 2001, άρχισε η συμπίεση και στη συνέχεια δεματοποίηση των οικιακών απορριμμάτων των δήμων Χανίων, Ακρωτηρίου, Σούδας, Κεραμείων, Ελ. Βενιζέλου, Θερίσσου, Ν. Κυδωνίας, Πλατανιά και Μουσούρων που αποτελούν την Διαχειριστική Ενότητα Ε' σύμφωνα με το εγκεκριμένο πλαίσιο σχεδιασμού διαχείρισης στερεών αποβλήτων νομού Χανίων. Η συνολική ποσότητα των απορριμμάτων αυτής της Διαχειριστικής Ενότητας είχε εκτιμηθεί από την μελέτη του σχεδίου διαχείρισης νομού Χανίων ότι θα ήταν 41.100 τόνοι ετησίως.

Ο χώρος εναπόθεσης δεματοποιημένων απορριμμάτων σχεδιάστηκε να δεχτεί τα δέματα από την λειτουργία του συγκροτήματος για χρονικό διάστημα 18 μηνών, αφού είχε εκτιμηθεί ότι ο χρόνος αυτός θα επαρκούσε για τη δημιουργία του Χ.Υ.Τ.Α. στην θέση 'Κορακιά' και επίσης με την προοπτική ότι στη συνέχεια τα δεματοποιημένα απορρίμματα θα μεταφέρονταν στο Χ.Υ.Τ.Α..

Στην πράξη τα πράγματα ήταν λίγο διαφορετικά. Το συγκρότημα συμπίεσης, δεματοποίησης και αποθήκευσης των απορριμμάτων στο 'Μεσομούρι' σταμάτησε την λειτουργία του τον Ιανουάριο του 2003, δηλαδή λειτούργησε για 23 μήνες αντί για 18, ενώ στο χώρο αυτό προσκόμιζαν τα απορρίμματά τους και δήμοι που δεν ανήκαν στη Διαχειριστική Ενότητα Ε', άρα η συνολική ποσότητα των απορριμμάτων που μεταφέρθηκε εκεί ήταν μεγαλύτερη. Τέλος, μετά την παύση της λειτουργίας του 'Μεσομουρίου' και την έναρξη λειτουργίας του Χ.Υ.Τ.Α. στην γειτονική 'Κορακιά', δεν μεταφέρθηκε εκεί

το σύνολο των δεματοποιημένων απορριμμάτων, όπως ήταν στο αρχικό σχέδιο, αλλά μόνο αυτά που ήταν σε θέση να επαναφορτωθούν και να μεταφερθούν χωρίς πρόβλημα και συνολικά μόνο ένα μικρό ποσοστό των απορριμμάτων του 'Μεσομουρίου'. Αυτό έγινε γιατί όταν μετά την ολοκλήρωση των εργασιών στο Χ.Υ.Τ.Α. της 'Κορακιάς' άρχισε η μεταφορά των δεματοποιημένων απορριμμάτων, διαπιστώθηκε ότι αν μεταφέρονταν το σύνολό τους θα επέρχονταν σημαντική πλήρωση του Χ.Υ.Τ.Α.. Έτσι σταμάτησε η μεταφορά και το Φεβρουάριο του 2003, πραγματοποιήθηκε επιφανειακή χωματοκάλυψη του μεγαλύτερου μέρους του απορριμματικού όγκου, ώστε να αποφευχθούν κατά το δυνατόν οι οχλήσεις στο περιβάλλον μέχρι την τελική αποκατάσταση του χώρου.

Επιπρόσθετα, στην ήδη επιβαρημένη κατάσταση όσον αφορά το περιβαλλοντικό μέρος ήρθε να προστεθεί ένα ακόμα πρόβλημα. Μετά την επιφανειακή χωματοκάλυψη η Δ.Ε.Υ.Α. Χανίων χωρίς προηγουμένως να υπάρχει στη μελέτη απόθεσε λυματολάσπη προερχόμενη από το βιολογικό καθαρισμό Χανίων χωρίς να υπάρχουν στοιχεία για την ποσότητα. Το μόνο σίγουρο είναι ότι πρόκειται για μια αρκετά μεγάλη ποσότητα δεδομένων των στοιχείων που παραθέτονται παρακάτω στη παρούσα μελέτη.

Αυτή είναι η κατάσταση του 'Μεσομουρίου' μέχρι σήμερα και όπως είναι αυτονόητο είναι επιτακτική ανάγκη να γίνει αποκατάσταση του χώρου, πράγμα στο οποίο ευελπιστεί η παρούσα μελέτη να βοηθήσει.



**Εικόνα 8: Οι κτιριακές εγκαταστάσεις του συγκροτήματος συμπίεσης, δεματοποίησης και αποθήκευσης των απορριμμάτων στη θέση 'Μεσομούρι'.**



**Εικόνα 9: Για να επέλθει λύση στο πρόβλημα του 'Κουρουπητού' συνεργάστηκαν το (Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.), με τη Νομαρχιακή αυτοδιοίκηση Χανίων, την τοπική ένωση δήμων και κοινοτήτων νομού Χανίων (Τ.Ε.Δ.Κ.) και την διαδημοτική επιχείρηση διαχείρισης στερεών αποβλήτων Χανίων (Δ.Ε.ΔΙ.Σ.Α.)**





**Εικόνα 10:** Το εργοστάσιο μηχανικής διαλογής και κομποστοποίησης στη θέση ‘Κορακιά’ είναι η οριστική λύση του προβλήματος που αφορά την διάθεση των απορριμμάτων του δήμου Χανίων και των όμορων δήμων.

## **1.7 Παρούσα κατάσταση του Μεσομυριού**

### **1.7.1 Κτιριακές εγκαταστάσεις**

Το εργοστάσιο συμπίεσης και δεματοποίησης έχει τεθεί εκτός λειτουργίας από τον Ιανουάριο του 2003. Ο περισσότερος εξοπλισμός έχει μεταφερθεί, ενώ οι σταθερές μονάδες όπως η πρέσα και το σύστημα μεταφοράς των απορριμμάτων και κατόπιν των δεμάτων βρίσκεται ακόμα στον χώρο και είναι προς πώληση. Το κτήριο που στέγαζε το εργοστάσιο συμπίεσης και δεματοποίησης είναι λυόμενο και έχει υποστεί ζημιές, παρόλα αυτά με κάποιες επισκευές και τροποποιήσεις ίσως θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στο μέλλον. Μερικές φωτογραφίες από την παρούσα κατάσταση του κτιριακών εγκαταστάσεων στην περιοχή του ‘Μεσομυριού’ φαίνονται παρακάτω:



**Εικόνα 11: Σταθμός υποδοχής και τροφοδοσίας των απορριμμάτων**



**Εικόνα 12: Μηχανή συμπίεσης των απορριμμάτων (πρέσα)**





**Εικόνα 13: Σύστημα παραλαβής δεματοποιημένων απορριμμάτων**

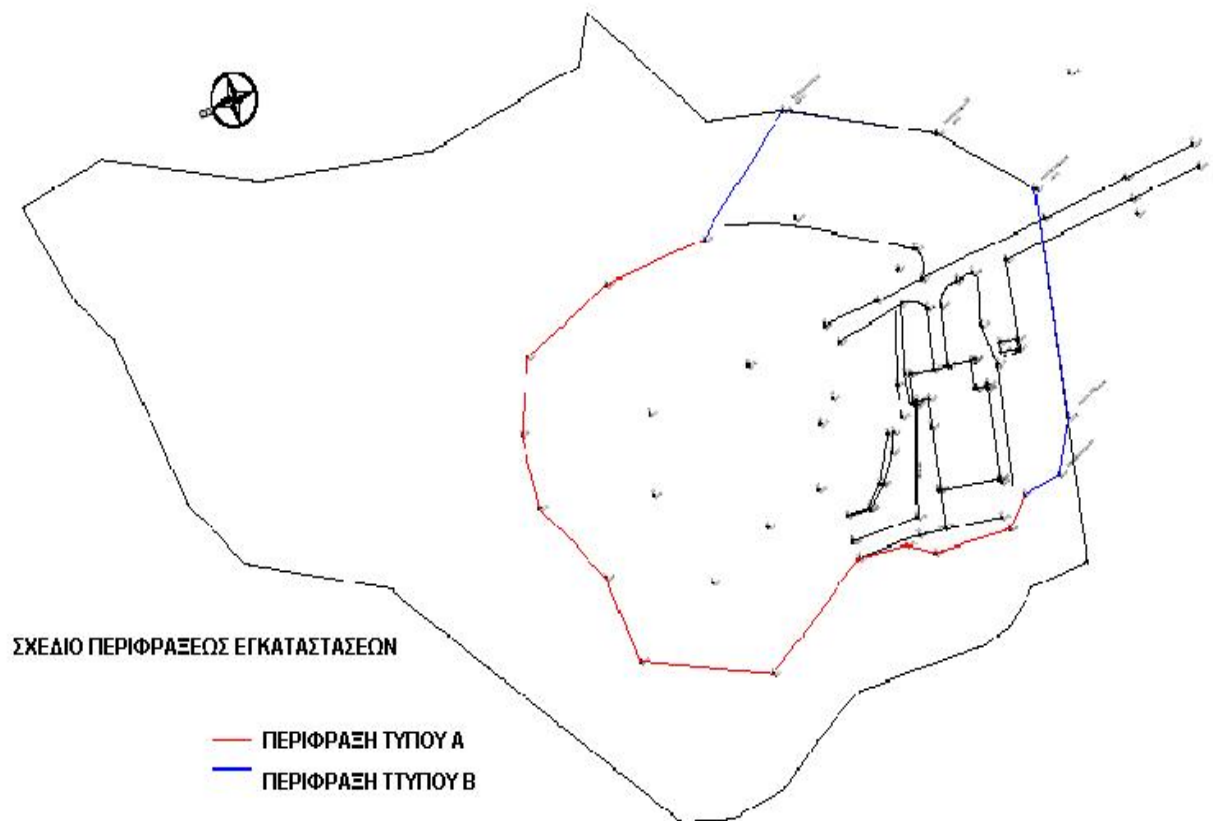
### **1.7.2 Χώρος εναπόθεσης των δεματοποιημένων απορριμμάτων:**

#### **1.7.2.1 Περίφραξη**

Αρχικά ο χώρος εναπόθεσης των δεματοποιημένων απορριμμάτων και των κτιριακών εγκαταστάσεων είχε περιφραχτεί με ανοξείδωτο σύρμα και πάσσαλους ύψους περίπου 1,8 μέτρων. Μετά το κλείσιμο του εργοστασίου έγιναν προσπάθειες επικάλυψης των εναπομεινάντων δεμάτων και αυτό είχε ως αποτέλεσμα την υποχώρηση και την προξένηση σημαντικών βλαβών στην περίφραξη, ενώ σε μερικά σημεία υπήρξε η πλήρης επικάλυψη της που είχε ως αποτέλεσμα την κατάπτωση απορριμμάτων στην γύρο περιοχή και στη χαράδρα που περιβάλλει το Μεσομούρι.

Για το λόγω κατασκευάστηκε και μια δεύτερη περίφραξη σχεδόν παράλληλα με την παλαιά αλλά λίγο πιο μέσα, όπως φαίνεται στο συνημμένο τοπογραφικό και στις φωτογραφίες. Η δεύτερη περίφραξη είναι προχειρότερη, κατώτερων υλικών κατασκευής και ακατάλληλη για τον χώρο του μεσομουρίου.

Το ύψος της είναι λίγο χαμηλότερο από την πρώτη και φτάνει περίπου στο ύψος του 1,5 μέτρου, οι πάσσαλοι και το σύρμα είναι σίδερα που χρησιμοποιούνται ως υλικά οικοδομών και είναι ακατάλληλα για αυτήν την χρήση. Αυτό διαπιστώνεται από την οξείδωση και την υποχώρηση σε μερικά σημεία με αποτέλεσμα την είσοδο αιγοπροβάτων στην περιοχή. Το γεγονός αυτό είναι ιδιαίτερα ανησυχητικό για την ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων και του κρέατος αυτών ζώων, καθώς αυτός ο περιβαλλοντικά επιβαρημένος χώρος θεωρείτε ακατάλληλος για βοσκή. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικές φωτογραφίες της περίφραξης:



**Εικόνα 14: Τοπογραφικό Μεσομουρίου**





**Εικόνα 15: Νέα και παλιά περίφραξη. Και οι δυο έχουν υποστεί ζημιές.**



**Εικόνα 16: Η παλιά περίφραξη υπέστη ζημιές από την προσπάθεια επικάλυψης των δεματοποιημένων απορριμμάτων.**





**Εικόνα 17: Μια γενική άποψη της επικρατούσας κατάστασης. Η περίφραξη επικαλυμμένη από δεματοποιημένα απορρίμματα και υλικό επικάλυψης. Τα απορρίμματα με την βοήθεια της επιφανειακής απορροής ή του αέρα μπορούν να ‘κυλήσουν’ ελεύθερα στην χαράδρα που περιβάλλει το ‘Μεσομούρι’.**



**Εικόνα 18: Δεματοποιημένα απορρίμματα καταπλακώνουν την περίφραξη.**





**Εικόνα 19: Είσοδος των αιγοπροβάτων στην ‘μη προσβάσιμη’ περιοχή του ‘Μεσομουρίου’.**

#### **1.7.2.2 Ακάλυπτα δέματα**

Μετά το κλείσιμο του εργοστασίου συμπίεσης και δεματοποίησης και την μεταφορά μέρους δεμάτων (περίπου 40% των συνολικών δεμάτων) στον ΧΥΤΑ της Κορακιάς, αποφασίσθηκε η παραμονή των υπόλοιπων δεμάτων στον χώρο του Μεσομουρίου και η επικάλυψη τους ώστε να αποφευχθεί η εισχώρηση των υδάτων από τα κατακρημνίσματα και την αισθητική αναβάθμιση του χώρου. Αυτή όμως η επικάλυψη δεν ήταν επαρκής καθώς σε αρκετά σημεία υπάρχουν μεγάλες ποσότητες δεμάτων ακάλυπτες που δημιουργούν πολλά προβλήματα περιβαλλοντικά και αισθητικά. Τα ακάλυπτα αυτά δέματα είναι κυρίως της δεύτερης στρώσης και βρίσκονται στα άκρα του χώρου εναπόθεσης των δεματοποιημένων απορριμμάτων. Ακόμα λόγω των έντονων καιρικών φαινομένων (κυρίως των υψηλών θερμοκρασιών) η ταινία περιτύλιξης των δεμάτων έχει καταστραφεί πλήρως και τα δέματα συγκρατούν την συνοχή τους λόγω συμπίεσης. Τέλος και πιο σημαντικό, όσον αφορά την περιβαλλοντική

επιβάρυνση, είναι ότι πολλά δέματα καθώς και μερικά μη δεματοποιημένα απορρίμματα ή απορρίμματα αποκολλημένα από τα διαλυμένα δέματα, που ήταν τοποθετημένα στην άκρη του χώρου εναπόθεσης των δεμάτων, έχουν παρασυρθεί από τα κατακρυμνήσματα και έχουν κυλήσει στην χαράδρα του Μεσομυρίου και επομένως μερικά από αυτά έφτασαν μέχρι τη θάλασσα. Παρακάτω υπάρχουν μερικές φωτογραφίες που παρουσιάζουν τα ακάλυπτα δέματα:



**Εικόνα 20: Μερικά ακάλυπτα δεματοποιημένα απορρίμματα. Η ταινία περιτύλιξης όπως φαίνεται έχει καταστραφεί τελείως.**





**Εικόνα 21: Μια στρώση ολόκληρη από ακάλυπτα δεματοποιημένα απορρίμματα. Η περιτύλιξη κατεστραμμένη ολοσχερώς.**



**Εικόνα 22: Η επιφανειακή απορροή παρασύρει πολλά απορρίμματα, που πέφτουν στην χαράδρα του Μεσομυριού.**





**Εικόνα 23: Δεματοποιημένα απορρίμματα με κατεστραμμένο το υλικό περιτύλιξης ή απορρίμματα αποκολλημένα από τα δέματα ‘κυλούν’ στην χαράδρα του Μεσομουρίου.**



**Εικόνα 24: Η χαράδρα του Μεσομουρίου γεμάτη από απορρίμματα**



### 1.7.2.3 Λυματολάσπη

Όπως έδειξε η ηλεκτρική τομογραφία του Μεσομουρίου, λυματολάσπη υπάρχει σε όλο το χώρο εναπόθεσης απορριμμάτων. Μάλιστα η μεγαλύτερη ποσότητα δεν φαίνεται αλλά βρίσκεται στο υπέδαφος μαζί με τα απορρίμματα. Η λυματολάσπη προήλθε από το βιολογικό καθαρισμό του δήμου Χανίων. Η εναπόθεσή της έγινε χωρίς κάποιο σχέδιο. Έτσι μπορεί να βρεθεί σε οποιοδήποτε σημείο του χώρου. Επιπρόσθετο πρόβλημα δημιουργεί η λυματολάσπη που τοποθετήθηκε στην επιφάνεια του χώρου, αφού έτσι το έδαφος έγινε πολύ ασταθές κάνοντας την πρόσβαση στο χώρο να είναι δύσκολη και επικίνδυνη. Τέλος η λάσπη που εναποτέθηκε κοντά στην περίφραξη έχει μερικώς παρασυρθεί από την επιφανειακή απορροή με αποτέλεσμα να καταλήγει όπως και μερικά από τα ακάλυπτα απορρίμματα στη χαράδρα του Μεσομουρίου και στη συνέχεια ένα μέρος της στη θάλασσα. Μερικές φωτογραφίες από την λυματολάσπη και την άναρχη εναπόθεσή της φαίνονται παρακάτω:



**Εικόνα 25: Πάνω στο υλικό επικάλυψης δημιουργήθηκαν μεγάλες τρύπες κωνικού περιπίου σχήματος που χρησιμοποιήθηκαν σαν δεξαμενές λυματολάσπης**





**Εικόνα 26: Μια από τις δεξαμενές λυματολάσσης**



**Εικόνα 27: Άλλη μια από τις δεξαμενές λυματολάσσης**





**Εικόνα 28: Λυματολάσπη εναποτέθηκε εκτός από τις δεξαμενές και σε διάφορα σημεία του χώρου ακόμα και κοντά στην περίφραξη χωρίς ορισμένο σχέδιο**



**Εικόνα 29: Η λυματολάσπη που εναποτέθηκε κοντά στην περίφραξη παρασύρθηκε σε ορισμένα σημεία από την επιφανειακή απορροή με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν χείμαρροι λυματολάσπης που καταλήγουν στην χαράδρα του Μεσομουρίου**





**Εικόνα 30: Μεγάλη ποσότητα λυματολάσπης παρασυρμένης από την επιφανειακή απορροή έχει διαπεράσει την περίφραξη**



**Εικόνα 31: Η εναπόθεση της λυματολάσπης στην επιφάνεια του χώρου έκανε το έδαφος να είναι πολύ ασταθές κάνοντας έτσι την πρόσβαση στο χώρο να είναι δύσκολη και επικίνδυνη. Στη φωτογραφία διακρίνονται λείψανα από αιγοπρόβατα που παγιδεύτηκαν στη λάσπη**



#### 1.7.2.4 Στραγγίσματα

Λόγω της κακής επικάλυψης όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, πολλά δεματοποιημένα απορρίμματα έμειναν εκτός της περιοχής επικάλυψης με αποτέλεσμα η δεματοποίηση να καταστραφεί (λόγω της έκθεσης τους στα διάφορα καιρικά φαινόμενα) και τα απορρίμματα να είναι εκτεθειμένα στα παντός τύπου κατακρημνίσματα. Αυτό έχει ως συνέπεια αφενός την αύξηση της σχετικής υγρασίας των απορριμμάτων και αφετέρου την δημιουργία στραγγισμάτων. Τα στραγγίσματα κατά τους χειμερινούς μήνες παρασέρνονται από την επιφανειακή απορροή αρχικά στη χαράδρα που υπάρχει ακριβώς κάτω από την περιοχή του Μεσομουρίου και τελικά μέσω της συμεταφοράς τους, από τον χείμαρρο που σχηματίζεται, καταλήγουν σε μεγάλο ποσοστό στην θάλασσα. Οι επιπτώσεις που επιφέρουν τα στραγγίσματα στο θαλάσσιο οικοσύστημα είναι πολλές και ποικίλες. Δεν έχουν γίνει ακόμα οι κατάλληλες αναλύσεις, αλλά είναι γεγονός ότι προκαλούν σημαντική διαταραχή της ομαλής λειτουργίας της τροφικής αλυσίδας, λόγω της υψηλής περιεκτικότητας τους σε οργανικό υλικό. Έτσι συμβάλλουν στο φαινόμενο του ευτροφισμού και προκαλούν βραχυπρόθεσμες αλλά κυρίως μακροπρόθεσμες επιπτώσεις λόγω της υψηλής συγκέντρωσης των στραγγισμάτων σε ουσίες τοξικής φύσης. Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες που η βροχόπτωση είναι σχεδόν μηδενική και επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες, σχηματίζονται και πάλι στραγγίσματα λόγω της υψηλής υγρασίας των απορριμμάτων. Τα στραγγίσματα βρίσκουν διέξοδο από τις διάφορες τρύπες των δεμάτων και από τα διάκενα που σχηματίζονται μεταξύ των δεμάτων μολύνοντας το έδαφος λόγω της απορρόφησης τους από αυτό. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικές φωτογραφίες από στραγγίσματα:



**Εικόνα 32:** Εξαιτίας της καταστροφής του περιτυλίγματος των δεματοποιημένων απορριμμάτων αλλά και της μη επικάλυψής τους, τα απορρίμματα έμειναν εκτεθειμένα στα κατακρημνίσματα με αποτέλεσμα την αύξηση της σχετικής υγρασίας των απορριμμάτων και την δημιουργία στραγγισμάτων.



**Εικόνα 33:** Κατά τους χειμερινούς μήνες, κατακρημνίσματα παγιδεύονται στις διάφορες τρύπες που υπάρχουν στο χώρο. Το νερό αυτό όπως έδειξαν οι αναλύσεις είναι μολυσμένα.



## 1.8 Ποσότητες απορριμμάτων και λυματολάσπης

‘ Τα δεδομένα με βάση τα οποία έγιναν οι παρακάτω υπολογισμοί για τις ποσότητες των απορριμμάτων και της λυματολάσπης στηρίζονται σε προφορικές μαρτυρίες υπαλλήλων της νομαρχιακής αυτοδιοίκησης Χανίων, του δήμου Χανίων και κυρίως της Δ.Ε.ΔΙ.Σ.Α. καθώς επίσημα γραπτά στοιχεία δεν υπάρχουν. Γι αυτό οι υπολογιζόμενες τιμές παρεκκλίνουν από τις αληθινές, οι οποίες όπως μας φανερώνει η εξέταση του χώρου μάλλον είναι μεγαλύτερες. ’

### 1.8.1 Ποσότητες απορριμμάτων

Όπως αναφέρθηκε στο ιστορικό, στη θέση Μεσομούρι, είχε αποφασιστεί να εναποτεθούν τα απορρίμματα της Ε' Διαχειριστικής Ενότητας δηλαδή τα απορρίμματα των δήμων Χανίων, Ακρωτηρίου, Σούδας, Κεραμείων, Ελ. Βενιζέλου, Θερίσσου, Ν. Κυδωνίας, Πλατανιά και Μουσούρων. Η συνολική ποσότητα των απορριμμάτων αυτής της Διαχειριστικής Ενότητας είχε εκτιμηθεί από την μελέτη του σχεδίου διαχείρισης νομού Χανίων ότι θα ήταν 41.100 τόνοι ετησίως.

Ο χώρος εναπόθεσης δεματοποιημένων απορριμμάτων σχεδιάστηκε να δεχτεί τα δέματα από την λειτουργία του συγκροτήματος για χρονικό διάστημα 18 μηνών. Στην πράξη τα πράγματα ήταν λίγο διαφορετικά. Το συγκρότημα συμπίεσης, δεματοποίησης και αποθήκευσης των απορριμμάτων στο Μεσομούρι σταμάτησε την λειτουργία του τον Ιανουάριο του 2003 δηλαδή λειτούργησε για 23 μήνες αντί για 18 ενώ στο χώρο αυτό προσκόμιζαν τα απορρίμματά τους και δήμοι που δεν ανήκαν στη Διαχειριστική Ενότητα Ε' άρα η συνολική ποσότητα των απορριμμάτων που μεταφέρθηκε εκεί ήταν μεγαλύτερη.

Οι δήμοι που δεν ανήκαν στη Διαχειριστική Ενότητα Ε' και εναπόθεταν τα απορρίμματά τους στη θέση Μεσομούρι δεν είναι μεγάλοι πληθυσμιακά οπότε μπορεί να θεωρηθεί ότι η συνολική ποσότητα των απορριμμάτων είναι

περίπου 45.500 τόνοι ετησίως άρα: 45.500 τόνοι ετησίως X 2 έτη περίπου =  
**91.000 τόνοι περίπου**

Για την εναπόθεση των δεματοποιημένων απορριμμάτων διαμορφώθηκε κατάλληλα επίπεδη έκταση συνολικής επιφάνειας 16 στρεμμάτων, η οποία διαστρώθηκε με αργιλικό υλικό πάχους 20 έως 30 cm. Επίσης εγκαταστάθηκε σύστημα πυρόσβεσης και περιφράχθηκε ο χώρος. Αρχικά είχαν διαμορφωθεί περιφερειακός αλλά και εσωτερικοί διάδρομοι που όμως λόγω της επιμήκυνσης του χρόνου εναπόθεσης κατά περίπου 4 μήνες καλύφθηκαν με δεματοποιημένα απορρίμματα.

Τα δέματα έχουν διαστάσεις: μήκος από 1,4 μέχρι 2 μέτρα

πλάτος από 1,1 μέχρι 1,3 μέτρα

ύψος περίπου 0,75 μέτρα

και βάρος έως 1,5 τόνοι

Τα δέματα τοποθετούνταν το ένα δίπλα στο άλλο και στη συνέχεια όταν γέμιζε ο χώρος, τοποθετούνταν η δεύτερη στρώση πάνω από τα πρώτα δέματα. Έτσι δημιουργήθηκαν ‘πατάρια’ που το καθένα έχει ύψος 3 με 4 δέματα, καθώς το κάθε πατάρι δεν έχει ομοιόμορφο ύψος, λόγω της μορφολογίας του εδάφους και του χώρου γενικότερα. Όταν συμπληρώνονταν το κάθε πατάρι σκεπαζόταν με μια στρώση υλικού επικάλυψης που συνήθως ήταν χώμα. Συνολικά υπάρχουν 3 με 4 πατάρια. Τέλος πρέπει να αναφερθεί ότι εκτός από τα δεματοποιημένα απορρίμματα στο χώρο του Μεσομουρίου εναποτέθηκαν και απορρίμματα μη δεματοποιημένα. Ο κύριος όγκος των μη δεματοποιημένων απορριμμάτων βρίσκεται στη μέση του χώρου και δημιουργούν ένα ύψωμα.

### 1.8.2 Ποσότητες λυματολάσσης

Μετά το κλείσιμο του χώρου εναπόθεσης απορριμμάτων του Μεσομουρίου και χωρίς την απαραίτητη μελέτη μεγάλες ποσότητες λυματολάσσης, του σταθμού βιολογικού καθαρισμού Χανίων, εναποτέθηκαν στην περιοχή του Μεσομουρίου. Ακριβή στοιχεία για την ποσότητα που εναποτέθηκε δεν υπάρχουν καταγεγραμμένα, για τον λόγω αυτό υπολογίσαμε την ποσότητα της λυματολάσσης με βάση στοιχεία που συλλέξαμε προφορικά από τους εμπλεκόμενους φορείς. Τα στοιχεία αυτά, όπως είναι ευνόητο, δεν έχουν μεγάλη ακρίβεια καθώς προέρχονται από προφορικές μαρτυρίες.

Συγκεκριμένα ο σταθμός βιολογικού καθαρισμού Χανίων μετέφερε και κατόπιν χωρίς κάποιο συγκεκριμένο σχέδιο ή πρόγραμμα, εναπόθετει την λυματολάσση στο χώρο. Από την επιτόπια εξέταση που κάναμε βρήκαμε μεγάλες ποσότητες λυματολάσσης στο χώρο από τις οποίες άλλες ήταν ακάλυπτες και άλλες καλυμμένες από χώμα. Η συνολική ποσότητα μπορεί να υπολογιστεί εάν πολλαπλασιάσουμε την χρονική διάρκεια που μεταφέρονταν η λάσπη με τον αριθμό των οχημάτων που την μετέφεραν και με την χωρητικότητα τους σε λάσπη. Τα στοιχεία που συλλέξαμε είναι τα εξής:

**Χρονική διάρκεια εναπόθεσης :** Ένας χρόνος και έξη μήνες = 547 ημέρες

Από τις 547 ημέρες πρέπει να αφαιρέσουμε 1 ημέρα κάθε εβδομάδα (συνολικά 78 ημέρες) για κάθε Κυριακή της εβδομάδας που ήταν αργία οπότε έχουμε:  $547 - 78 = 469$  ημέρες. Αν τώρα συνυπολογίσουμε και τις λοιπές αργίες του έτους τότε η συνολική διάρκεια εναπόθεσης προκύπτει περίπου **400 ημέρες**.

**Οχήματα:** Καθημερινά 2 οχήματα μετέφεραν την λάσπη χωρητικότητας  $15 \text{ m}^3$  περίπου.

Το ειδικό βάρος της λάσπης είναι  $1,02 \text{ tn/m}^3$  το οποίο αν το πολλαπλασιάσουμε με την χωρητικότητα κάθε φορτηγού αυτοκινήτου προκύπτει ότι κάθε αυτοκίνητο μετέφερε **15,3 τόνους** λυματολάσπης περίπου.

#### **Συνολικός όγκος λυματολάσπης :**

$$\text{Χρονική διάρκεια εναπόθεσης} * \text{αριθμό οχημάτων} * \text{χωρητικότητα} = \\ 400 \text{ ημέρες} * 2 \text{ οχήματα /ημέρα} * 15 \text{ m}^3/\text{όχημα} = \mathbf{12000 \text{ m}^3}$$

#### **Συνολικός βάρος λυματολάσπης:**

$$\text{Χρονική διάρκεια εναπόθεσης} * \text{αριθμός οχημάτων} * \text{χωρητικότητα} * \text{ειδικό} \\ \text{βάρος λυματολάσπης} = 400 \text{ ημέρες} * 2 \text{ οχήματα /ημέρα} * 15 \text{ m}^3/\text{όχημα} * 1,02 \\ \text{tn/ m}^3 = \mathbf{12240 \text{ τόνοι}} \text{ λυματολάσπης.}$$

Στο κέντρο περίπου του χώρου εναπόθεσης απορριμμάτων του Μεσομυρίου υπάρχει ένα ύψωμα πάνω στο οποίο έχουν δημιουργηθεί δεξαμενές στις οποίες εναποτίθονταν η λυματολάσπη. Μια από τις δεξαμενές αυτές ήταν άδεια και μετρήσαμε τις διαστάσεις της για να έχουμε μια εικόνα για τον τρόπο και την ποσότητα της λάσπης που μεταφέρθηκε στο ύψωμα αυτό. Η δεξαμενή είχε σχήμα ανεστραμένου κολουρου κώνου με βάση μικρή = 8 m , βάση μεγάλη = 12 m και ύψος = 3,5 m. Ο συνολικός όγκος της δεξαμενής με : βάση μικρή = 20 m , βάση μεγάλη = 26 m και ύψος = 3,5 m. είναι:

$$\text{Όγκος} \quad V = \frac{1}{3} \pi h (a^2 + ab + b^2)$$

όπου α η ακτίνα της μεγάλης βάσης =  $26/2 = 13 \text{ m}$  και b η ακτίνα της μικρής βάσης =  $20/2 = 10 \text{ m}$  άρα:  $V = 1/3 * \pi * 3,5 * (10^2 + 10*13 + 13^2) \rightarrow \mathbf{V=1462 \text{ m}^3}$

Με βάση την χωρητικότητα της δεξαμενής αυτής μπορούμε να υπολογίσουμε την χωρητικότητα και των άλλων δεξαμενών που βρίσκονται στο ύψωμα αυτό και κατόπιν να βρούμε την συνολική ποσότητα λάσπης που

μεταφέρθηκε σε αυτό το ύψωμα. Στο χώρο αυτό υπάρχουν 4 γεμάτες δεξαμενές περίπου μισής χωρητικότητας της άδειας. Άρα η λάσπη που βρίσκεται στο ύψωμα είναι περίπου **3000 m<sup>3</sup>**. Δηλαδή στον υπόλοιπο χώρο εναπόθεσης απορριμμάτων του Μεσομουρίου θα υπάρχουν τουλάχιστον 9000 m<sup>3</sup> ή 9180 τόνοι λυματολάσπης διασκορπισμένα σε διάφορα σημεία.

## **Κεφάλαιο 2 - Αέριες μετρήσεις**

### **2.1 - Γενικά για το βιοαέριο**

Το βιοαέριο είναι ένα ιδιαζούσης μορφής και φύσης αέριο το οποίο συναντάται κατά κόρον σε Χώρους Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) ή γενικότερα σε χώρους όπου έχουμε την αναερόβια διάσπαση οργανικού υλικού. Το βιοαέριο περιέχει συστατικά τα οποία αποτελούν κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία και γενικότερα για το περιβάλλον. Για αυτό πρέπει να γίνετε ένας προσεκτικός έλεγχος και κατακράτηση του σε χώρους όπου έχουμε παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων για την αποφυγή επιβάρυνσης του περιβάλλοντος και της υγείας των ανθρώπων που βρίσκονται κοντά στην περιοχή, αλλά και για την αποφυγή έκρηξης στην περιοχή καθώς ένα από τα κύρια συστατικά του είναι το μεθάνιο του οποίου η εφλεξιμότητα και εκρηξιμότητα είναι πολύ μεγάλη.

Το βιοαέριο όμως λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας σε μεθάνιο, περίπου 50 με 55% κατά όγκο, είναι ένα αρίστης ποιότητας καύσιμο το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας σε μεγάλης κλίμακας ΧΥΤΑ, καθώς το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας εργοστασίου παραγωγής ενέργειας σε μικρού μεγέθους ΧΥΤΑ είναι οικονομικά ασύμφορο.

Στην περιοχή μελέτης μας, την περιοχή του Μεσομουρίου, έχουμε ένα ιδιαζούσης μορφής ΧΥΤΑ στο οποίο λόγω του μικρού μεγέθους του θα αποκλείσουμε την δημιουργία εργοστασίου για την παραγωγή ενέργειας από το παραγόμενο βιοαέριο. Θα εξετάσουμε λεπτομερώς τόσο την ποιοτική και ποσοτική σύσταση του όσο και την επικινδυνότητα του χώρου λόγω του βαθμού εκρηξιμότητας του παραγόμενου βιοαερίου.

## 2.2 - Στάδια παραγωγής Βιοαερίου

Μπορούμε να θεωρήσουμε τον χώρο εναπόθεσης των απορριμμάτων σαν έναν βιοαντιδραστήρα μέσα στον οποίο έχουμε σαν αντιδρώντα τα απορρίμματα και μέσω ενός συνδυασμού φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών έχουμε την παραγωγή στερεών, υγρών (στραγγίσματα) και αερίων (βιοαέριο) προϊόντων. Η παραπάνω διαδικασίες έχουν ως αποτέλεσμα την παραγωγή ενός 'ιδιάζοντος' αερίου γνωστού ως βιοαέριο. Αυτό το αέριο παράγεται από την βιοαποδόμηση των οργανικών υλικών των εναποτηθέμενων απορριμμάτων.

Το βιοαέριο δεν έχει σταθερή σύσταση αφού αυτή μεταβάλλετε χρονικά και μπορούμε να διακρίνουμε τα παρακάτω στάδια:

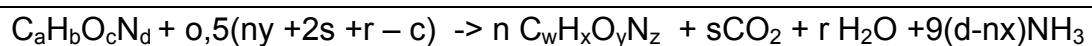
1. Αρχική Προσαρμογή (αερόβια φάση): Η οργανική ύλη υφίσταται βιολογική αερόβια αποδόμηση. Το οξυγόνο προέρχεται από τη μικρή σχετικά ποσότητα του παγιδευμένου αέρα στην απορριμματική μάζα. Η κύρια πηγή μικροοργανισμών είναι το εδαφικό υλικό κάλυψης, τα ανακυκλούμενα διασταλάγματα και η ιλύς βιολογικού καθαρισμού. Στη φάση αυτή, παράγεται αέριο που είναι κατά 90 % διοξείδιο του άνθρακα, δημιουργώντας έτσι όξινα στραγγίσματα.

Ο αερόβιος μετασχηματισμός στερεών αποβλήτων μπορεί να περιγραφεί από την γενική εξίσωση:

Οργανική ύλη + οξυγόνο ( $O_2$ ) + μικροοργανισμούς δίνει:

Νέα κύτταρα + μερικώς αποδομημένα προϊόντα +  $CO_2$  +  $H_2O$  +  $NH_3$  +  $SO_4^{2-}$  + θερμότητα

Αν η οργανική ύλη των ΑΣΑ έχει εμπειρικό τύπο  $C_aH_bO_cN_d$  και τα μερικώς αποδομημένα προϊόντα έχουν  $C_wH_xO_yN_z$  και αν αγνοηθεί η παραγωγή κυττάρων και  $SO_4^{2-}$ , τότε η συνολική ποσότητα οξυγόνου που απαιτείται για την αερόβια σταθεροποίηση του βιοαποικοδομήσιμου οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ μπορεί να προσεγγιστεί από την εξίσωση:



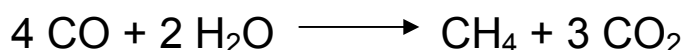
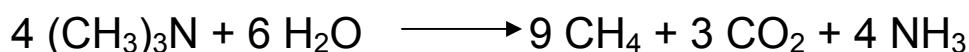
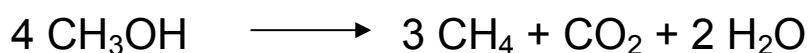
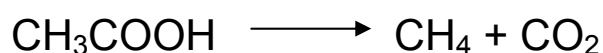
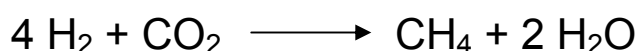
Οι αερόβιοι μικροοργανισμοί παράγουν περίπου 90 %  $CO_2$  με θερμοκρασία που ανέρχεται μέχρι τους 70 °C, ενώ η μεγάλη ποσότητα  $CO_2$  έχει σαν αποτέλεσμα τον σχηματισμό όξινων στραγγισμάτων.

2. Μεταβατική φάση: Στη φάση αυτή, εξαντλείται το ελεύθερο οξυγόνο και δημιουργούνται αρχικά ανοξικές (οι μικροοργανισμοί χρησιμοποιούν το οξυγόνο που περιέχεται στα νιτρικά ιόντα  $NO_3$ ) και τελικά δημιουργούνται αναερόβιες συνθήκες. Το  $NO_3^{2-}$   $SO_4^{2-}$  είναι δυνατόν να συμπεριφέρονται σαν τελικοί δέκτες ηλεκτρονίων σε βιολογικές αντιδράσεις και ανάγονται σε αέριο άζωτο και υδροθείο, ενώ η παραγωγή μεθανίου απαιτεί δυναμικό οξειδοαναγωγής από 150 έως 300mVolt. Καθώς συνεχίζεται η ελάττωση του δυναμικού οξειδοαναγωγής αρχίζουν οι αναερόβιες βιολογικές διεργασίες μετατροπής της οργανικής ύλης σε  $CO_2$ ,  $H_2$  και πτητικά λιπαρά οξέα (Volatile Fatty Acids, VFAs).
3. Αναερόβια Όξινη φάση: Οι βιολογικές διεργασίες που άρχισαν στην μεταβατική φάση επιταχύνονται και έτσι έχουμε την παραγωγή σημαντικών ποσοτήτων οργανικών οξέων, διοξειδίου του άνθρακα και μικρότερες ποσότητες αερίου υδρογόνου. Η μετατροπή της οργανικής ύλης ακολουθεί τρία στάδια.



- Στο πρώτο συμβαίνει ενζυματική υδρόλυση των πολυμερών ενώσεων (λιπών, πρωτεϊνών, πολυσακχαριτών) και η μετατροπή τους σε προϊόντα μικρότερου μοριακού βάρους (μονοσακχαρίτες, αμινοξέα, κλπ) τα οποία ακολούθως μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους μικροοργανισμούς σαν πηγή ενέργειας και άνθρακα.
- Στο δεύτερο στάδιο, συμβαίνει ζύμωση των παραπάνω προϊόντων και παραγωγή καρβοξυλικών οξέων (οξεογένεση) μικρού μοριακού βάρους (προπιονικού, βουτυρικού και οξικού οξέος, τα οποία είναι πρόδρομες ενώσεις του μεθανίου),  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$  και αλκοολών αλλά και μικρών ποσοτήτων φουλβικών οξέων και άλλων πολύπλοκων οργανικών οξέων. Οι μικροοργανισμοί αυτού του σταδίου είναι μη μεθανιογόνα, προαιρετικά αναερόβια και υποχρεωτικά αναερόβια βακτήρια. Το pH των διασταλλαγμάτων είναι χαμηλό λόγω της παρουσίας σε αυτά λιπαρών οξέων και  $\text{CO}_2$ . Λόγω του pH αυξάνεται η συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων και θρεπτικών. Παρατηρείται σημαντική αύξηση του  $\text{BOD}_5$  και COD, λόγω της αύξησης της συγκέντρωσης των λιπαρών οξέων.
- Στο τρίτο στάδιο συμβαίνει οξεογένεση (παραγωγή οξικού οξέος,  $\text{CO}_2$  και  $\text{H}_2$ ) από τα προϊόντα του προηγούμενου σταδίου (προπιονικό, βουτυρικό) από υποχρεωτικά οξεογενή βακτήρια. Στη φάση αυτή το  $\text{CO}_2$  είναι το κύριο συστατικό του βιοαερίου. Η παραγωγή οξικού οξέος από  $\text{CO}_2$  και  $\text{H}_2$  δεν έχει επιβεβαιωθεί ακόμα.

4. Μεθανιογένεση: Το οξικό οξύ ή και τα ( $\text{CO}_2$  και  $\text{H}_2$ ) υφίστανται αναερόβια μικροβιακή μετατροπή σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα. Οι μικροοργανισμοί αυτής της φάσεως είναι υποχρεωτικά αναερόβιοι και ονομάζονται μεθανιογόνα βακτήρια. Αυτά τα βακτήρια μπορούν να χρησιμοποιήσουν περιορισμένο αριθμό υποστρωμάτων, όπως  $\text{CO}_2 + \text{H}_2$ , φορμικό οξύ, μεθανόλη, μεθυλαμίνη και μονοξείδιο του άνθρακα σύμφωνα με τις παρακάτω εξισώσεις:



Απο τις αντιδράσεις αυτές ιδιαίτερη βαρύτητα έχει η παραγωγή μεθανίου απο  $\text{CO}_2 + \text{H}_2$ , οξικό οξύ και φορμικό οξύ, ενώ η χρησιμοποίηση του υδρογόνου απο τα βακτήρια είναι γνωστή σαν διακυτταρική μεταφορά υδρογόνου. Στη φάση αυτή, η αναλογία  $\text{CO}_2/\text{CH}_4$  είναι περίπου 45/55.

Ωρίμανση: Η φάση αυτή αρχίζει, αφού προηγηθεί η μετατροπή της εύκολα διαθέσιμης βιοαποικοδομήσιμης οργανικής ύλης. Με τη συνεχιζόμενη κυκλοφορία του νερού στην απορριμματική μάζα, καθίσταται πλέον δυνατή η διάθεση οργανικής ύλης, που στις

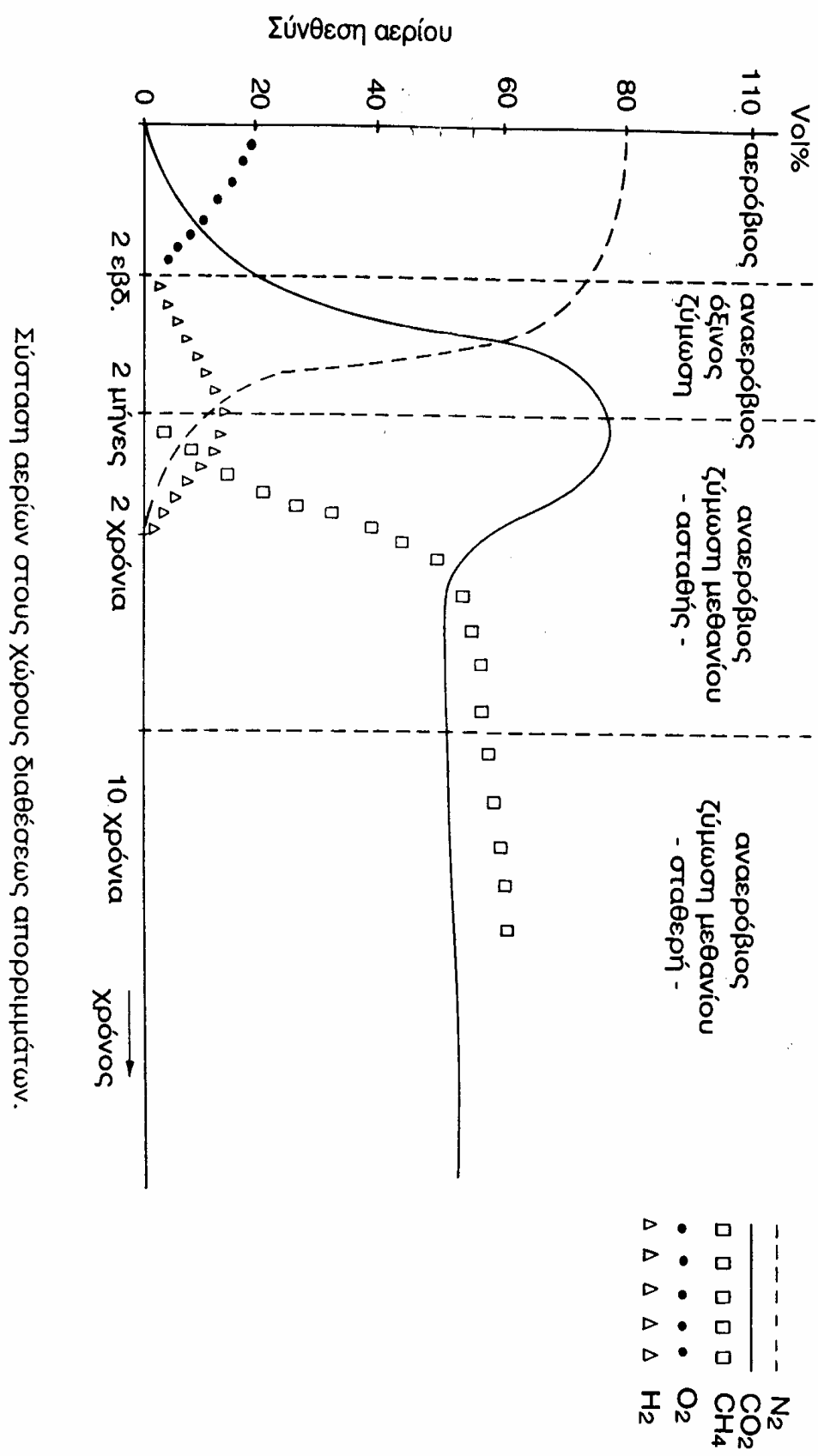
προηγούμενες φάσεις δεν ήταν διαθέσιμη, για μετατροπή σε CO<sub>2</sub> και CH<sub>4</sub>. Ο ρυθμός παραγωγής του βιοαερίου ελαττώνεται σημαντικά λόγω του ότι τα απαραίτητα θρεπτικά υλικά ή έχουν εξαντληθεί ή έχουν απομακρυνθεί με τα διασταλάγματα, γεγονός που δυσχεραίνει τη βιοαποδόμηση της απομένουσας οργανικής ύλης αφού η απομένουσα οργανική ύλη είναι η δύσκολα βιοαποικοδομήσιμη ύλη. Τα κύρια αέρια που παράγονται στη φάση αυτή είναι το CO<sub>2</sub> και το CH<sub>4</sub>, έχουν όμως μετρηθεί και μικρές ποσότητες O<sub>2</sub> και N<sub>2</sub>, σε συνάρτηση με τα μέτρα που έχουν θεσπιστεί για την τελική κάλυψη του ΧΥΤΑ.

**Πίνακας 3: Τυπική εκατοστιαία σύσταση βιοαερίου κατά τη διάρκεια των πρώτων σαρανταοχτώ μηνών από την αποπεράτωση της ταφής (Πηγή: "Solid Wastes", G. Tchobanoglous, H. Theisen, R. Eliassen, McGraw Hill Book Company).**

Χρονικό διάστημα από την αποπεράτωση της ταφής (μήνες)	N <sub>2</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	CH <sub>4</sub> (%)
0-3	5,2	88	5
3-6	3,8	76	21
6-12	0,4	65	29
12-18	1,1	52	40
18-24	0,4	53	47
24-30	0,2	52	48
30-36	1,3	46	51
36-42	0,9	50	47
42-48	0,4	51	48

### **2.3 - Ποιοτική σύσταση του βιοαερίου**

Το βιοαέριο αποτελείται από διάφορα συστατικά μερικά από τα οποία είναι τοξικά και επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον χώρο του ΧΥΤΑ αν βρεθούν σε μεγάλες συγκεντρώσεις. Τα αέρια αυτά δεν έχουν σταθερή συγκέντρωση τα δέκα πρώτα χρόνια λειτουργίας του ΧΥΤΑ αλλά μεταβάλλονται ανα χρονικές περιόδους. Το μεγαλύτερο μέρος των αερίων που το αποτελούν δεν είναι άμεσα τοξικά και επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία αλλά δημιουργούν πολλά μακροπρόθεσμα προβλήματα στο περιβάλλον, όπως αυτό του φαινομένου του θερμοκηπίου το οποίο οφείλετε σε μεγάλο παράγοντα στα αέρια διοξειδίου του άνθρακα και μεθανίου που είναι κύρια συστατικά του βιοαερίου. Άλλα αέρια που είναι δυνατόν να βρίσκονται σε πολύ μικρότερες ποσότητες αλλά είναι άμεσα τοξικά και επικίνδυνα είναι το υδρόθειο και το μονοξείδιο του άνθρακα που συναντούνται σε πολλά ΧΥΤΑ. Το παρακάτω σχήμα μας δίνει τα αέρια που είναι τα κύρια συστατικά του βιοαερίου και την συγκέντρωσή τους με τον χρόνο :



Σύσταση αερίων στους χώρους διαθέσεως απορριμμάτων.

### 2.3.1 Άζωτο ( $N_2$ )

Το άζωτο αν και δεν είναι παράγωγο των διεργασιών δημιουργίας του βιοαερίου από τα απορρίμματα, βρίσκεται μέσα σε αυτό, σε μεγάλη συγκέντρωση λόγω του εγκλωβισμού του ατμοσφαιρικού αέρα μέσα στα απορρίμματα κατά το στάδιο της επικάλυψής τους .

Το άζωτο αποτελεί κύριο χαρακτηριστικό του ατμοσφαιρικού αέρα και είναι το αέριο που έχει την μεγαλύτερη συγκέντρωση σε αυτόν, περίπου 78% κατ' όγκο. Το άζωτο είναι επίσης και το χαρακτηριστικό στοιχείο (συστατικό) όλων των φυτικών και ζωικών λευκωμάτων. Τόσο τα φυτά όσο και τα ζώα, για να αναπτυχθούν, αλλά και για να διατηρηθούν στην ζωή, έχουν ανάγκη από πρωτεΐνες, δηλαδή έμμεσα από άζωτο, το οποίο μάλιστα μερικά φυτά το δεσμεύουν απευθείας από την ατμόσφαιρά.

Κατά το πρώτο στάδιο της αρχικής προσαρμογής το άζωτο βρίσκεται σε σταθερή συγκέντρωση μέσα στο βιοαέριο με αναλογία 78% δηλαδή είναι το άζωτο του ατμοσφαιρικού αέρα το οποίο έχει εγκλωβισθεί μέσα στα απορρίμματα. Κατά το δεύτερο στάδιο, το στάδιο της μεταβατικής φάσης το άζωτο που υπάρχει στο παραγόμενο βιοαέριο των απορριμμάτων αρχίζει να μειώνετε γραμμικά λόγω της αναερόβιας διεργασίας που λαμβάνει χώρα στα απορρίμματα και λόγω εξόδου του στον ατμοσφαιρικό αέρα μαζί με το βιοαέριο από τους πόρους του υλικού επικάλυψης.

Κατά την Τρίτη βάση η οποία είναι και η τελευταία στην οποία έχουμε παρουσία αζώτου στο βιοαέριο, το άζωτο συνεχίζει να μειώνεται, τώρα όμως λογαριθμικά έως ότου φτάσει σε μηδενική συγκέντρωση. Αφού δεν είναι δυνατή η εισροή ατμοσφαιρικού αέρα μέσα στα απορρίμματα δεν είναι δυνατόν να ξαναεμφανιστεί σαν συστατικό του βιοαερίου, αν έχουμε την εμφάνιση του μετά

το τρίτο στάδιο σε μεγάλες ποσότητες τότε αυτό είναι ένδειξη ότι έχουμε εισροή ατμοσφαιρικού αέρα στα απορρίμματα λόγω κακής επικάλυψης ή ρήγματος σε αυτήν.

### **2.3.2 Οξυγόνο ( $O_2$ )**

Το οξυγόνο όπως και το άζωτο αν και δεν είναι παράγωγο των διεργασιών δημιουργίας του βιοαερίου από τα απορρίμματα, βρίσκεται μέσα σε αυτό, σε λόγω του εγκλωβισμού του ατμοσφαιρικού αέρα μέσα στα απορρίμματα κατά το στάδιο της επικάλυψής τους

Το οξυγόνο αποτελεί το δεύτερο κυριότερο χαρακτηριστικό του ατμοσφαιρικού αέρα και βρίσκεται σε συγκέντρωση 20,94% κατ' όγκο. Είναι απαραίτητο συστατικό για την επιβίωση σχεδόν όλων των ζωντανών οργανισμών. Το οξυγόνο σχηματίζει ενώσεις με όλα τα χημικά στοιχεία εκτός από τα ευγενή αέρια He, Ne και Ar, ενώ με τα πιο πολλά αντιδρά απευθείας. Η ταχύτητα της αντίδρασης τόσο με τα στοιχεία όσο και με τις χημικές ενώσεις εξαρτάται από την φύση της ουσίας και από την θερμοκρασία στην οποία λαμβάνει χώρα η αντίδραση.

Κατά το πρώτο στάδιο της αρχικής προσαρμογής το οξυγόνο βρίσκεται σε σταθερή συγκέντρωση μέσα στο βιοαέριο με αναλογία 20,94% δηλαδή είναι το οξυγόνο του ατμοσφαιρικού αέρα το οποίο έχει εγκλωβιστεί μέσα στα απορρίμματα. Το οξυγόνο αυτό καταναλώνετε περίπου όλο κατά την πρώτο στάδιο με περίπου λογαριθμικό ρυθμό καθώς είναι το 'καύσιμο' των διαφόρων αερόβιων μικροοργανισμών για την βιολογική αερόβια αποδόμηση των απορριμμάτων. Αφού οι μικροοργανισμοί αυτοί καταναλώσουν όλο το υπάρχον οξυγόνο κατόπιν αρχίζουν να πεθαίνουν από ασφυξία λόγω έλλειψης του οπότε και αρχίζει και το δεύτερο στάδιο της μεταβατικής φάσης.

### 2.3.3 Υδρογόνο ( $H_2$ )

Το υδρογόνο ( $H_2$ ) είναι ένα άγευστο, άχρωμο, και άοσμο αέριο. Είναι το αφθονότερο στοιχείο στον κόσμο και το δέκατο αφθονότερο στοιχείο της γήινης επιφάνειας.

Το υδρογόνο βρίσκεται σε μικρή συγκέντρωση στον ατμοσφαιρικό αέρα περίπου 0,05% κατ' όγκο, για αυτόν τον λόγο κατά το πρώτο στάδιο αποδόμησης των στερεών απορριμμάτων βρίσκεται σε αυτήν την πολύ μικρή συγκέντρωση.

Κατά το δεύτερο στάδιο έχουμε μια περίπου λογαριθμική αύξηση της συγκέντρωσης του υδρογόνου, η οποία φτάνει περίπου στο 17% στο τέλος του δευτέρου σταδίου. Η αύξηση αυτή οφείλεται στην δράση των αναερόβιων μικροοργανισμών που αναπτύσσονται στην φάση αυτή, οι οποίοι χρησιμοποιούν την οργανική ύλη που περιέχετε στα απορρίμματα ως υλικό θρέψης και από την διάσπαση της έχουμε την παραγωγή υδρογόνου ( $H_2$ ).

Το παραχθέν υδρογόνο της πρώτης φάσης αρχίζει να μειώνεται γραμμικά κατά την τρίτη φάση αποδόμησης έως ότου μηδενιστεί η συγκέντρωσή του μέσα στο βιοαέριο. Η μείωση αυτή οφείλεται σε δύο παράγοντες από τους οποίους ο ένας δεν έχει ακόμα επιβεβαιωθεί και αυτοί είναι:

- λόγω της παραγωγής οξικού οξέος από  $CO_2$  και  $H_2$  η οποία και δεν έχει επιβεβαιωθεί ακόμα και
- λόγω της φάσης της μεθανιογένεσης που λαμβάνει χώρα κατά το τρίτο στάδιο: Στην φάση αυτή το υδρογόνο υφίσταται αναερόβια μικροβιακή μετατροπή σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα.



### 2.3.4 Διοξείδιο του άνθρακα( $\text{CO}_2$ )

Το διοξείδιο του άνθρακα είναι άχρωμο, άοσμο και μη δηλητηριώδες. Βρίσκεται σε πολύ μικρές ποσότητες στον ατμοσφαιρικό αέρα της τάξης του 0,0315% . Το διοξείδιο του άνθρακα αν και όχι άμεσα τοξικό αποτελεί έναν σημαντικό ρύπο λόγω των μακροπρόθεσμων αποτελεσμάτων του, αφού εξαιτίας της απορρόφησης του στην υπέρυθρη περιοχή του φάσματος συμβάλλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Αύξηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα μπορεί να οδηγήσει σε επιπλέον αύξηση της θερμοκρασίας διαταράσσοντας το κλίμα της γης.

Το διοξείδιο του άνθρακα παρατηρείτε στις πολύ μικρές συγκεντρώσεις που βρίσκετε στην ατμόσφαιρα κατά σχεδόν όλη την αερόβια φάση. Στο τέλος της, όπου και έχουμε την εξάντληση όλου του οξυγόνου, έχουμε μια μικρή αύξηση του  $\text{CO}_2$ , η οποία κατά το δεύτερο στάδιο της μεταβατικής φάσης καταλήγει σε μια γραμμική αύξηση μεγάλης κλίσης αφού με την δημιουργία ανοξικών συνθηκών οι διάφοροι μικροοργανισμοί που υπάρχουν μετατρέπουν την οργανική ύλη κυρίως σε  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$  και πτητικά στερεά.

Κατά την αναερόβια όξινη φάση έχουμε και τη μέγιστη συγκέντρωση του  $\text{CO}_2$ , περίπου 70% της συνολικής συγκέντρωσης του βιοαερίου, η οποία εμφανίζεται με την μορφή κοίλης καμπύλης μικρής κλίσης και οφείλετε στην ζύμωση διαφόρων προϊόντων μικρού μοριακού βάρους όπως μονοσακχαρίτες, αμινοξέα κλπ η οποία έχει σαν παράγωγο το διοξείδιο του άνθρακα. Κατά το μέσο του ίδιου σταδίου έχουμε μια γραμμική μείωση του διοξειδίου του άνθρακα με μέτρια κλίση η οποία οφείλετε στην κατανάλωση του από διάφορα βακτήρια που παράγουν μεθάνιο μέχρις ότου η συγκέντρωση του φτάσει σε συγκέντρωση περίπου 45% της συνολικής συγκέντρωσης του βιοαερίου όπου

και σταθεροποιείτε σε αυτήν τιμή λόγω της οξεογένεσης που λαμβάνει χώρα στα απορρίμματα και έχει σαν κύριο παραγόμενο αέριο το διοξείδιο του άνθρακα.

Το διοξείδιο του άνθρακα παραμένει σταθερό σε αυτήν την τιμή όλο το τέταρτο στάδιο, το στάδιο της μεθανιογένεσης αφού το υπάρχον οξικό οξύ ή και τα ( $\text{CO}_2$  και  $\text{H}_2$ ) υφίστανται αναερόβια μικροβιακή μετατροπή σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα.

Κατά το πέμπτο στάδιο, αυτό της ωρίμανση παρατηρούμε μια σταθερή και σταδιακή μείωση των συγκεντρώσεων του διοξειδίου του άνθρακα η οποία είναι ανάλογη του χρόνου.

### **2.3.5 Μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ )**

Το μεθάνιο είναι κορεσμένος υδρογονάνθρακας με χημικό τύπο  $\text{CH}_4$ . Είναι ένα άχρωμο, άοσμο και πολύ ελαφρύ αέριο. Είναι ο πιο άφθονος υδρογονάνθρακας και αυξάνετε με ρυθμό 1,2 με 1,9 % ενώ ο ίδιος ο ρυθμός αυξάνετε. Το μεθάνιο επιδρά σημαντικά στο κλίμα της γης αφού είναι ένα από τα αέρια του θερμοκηπίου. Είναι το πρώτο μέλος της σειράς των κορεσμένων υδρογονανθράκων και βρίσκεται στη φύση σε πηγές φυσικού αερίου, στα αέρια των πετρελαιοπηγών, ως συστατικό του παραγόμενου βιοαερίου σε ΧΥΤΑ κλπ. Έχει πολλές εφαρμογές είτε ως καύσιμο, είτε ως πρώτη ύλη σύνθεσης άλλων οργανικών ενώσεων.

Το μεθάνιο το οποίο εντοπίζετε στα ΧΥΤΑ παράγεται από βακτήρια, τα οποία δεν χρειάζονται το φως του Ήλιου ή το οξυγόνο για να επιβιώσουν, δηλαδή είναι αναερόβια βακτήρια, και τροφοδοτούνται από αντιδράσεις διοξειδίου του άνθρακα με υδρογόνο, αέρια τα οποία βρίσκονται σε μεγάλες ποσότητες μέσα σε αυτά και από τις οποίες παράγεται μεθάνιο.

Το μεθάνιο όπως προαναφέρθηκε είναι ένα από τα αέρια που επιδρούν σημαντικά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου ενώ την ίδια στιγμή οι μεγάλες ποσότητες που μπορεί να εκλύονται από ένα ΧΥΤΑ έχουν αρνητική επίδραση στο περιβάλλον χώρο και στην υγεία του ανθρώπου. Για αυτούς τους λόγους είναι απαραίτητη η συγκράτηση του με διάφορες μεθόδους και στην συνέχεια η καύση του για να εξουδετερωθεί. Αν έχουμε μεγάλης κλίμακας ΧΥΤΑ μπορούμε να το χρησιμοποιήσουμε ως καύσιμο για την παραγωγή ενέργειας αφού είναι μιας πρώτης τάξης καύσιμο με μεγάλη θερμογόνο δύναμη.

Το μεθάνιο παρατηρείται κατά την Τρίτη φάση παραγωγής βιοαερίου την αναερόβια όξινη φάση κατά την οποία έχει εξαντληθεί όλο το οξυγόνο που περιέχετε στα απορρίμματα και το διοξείδιο του άνθρακα και το υδρογόνο, αέρια τα οποία είναι απαραίτητα για την επιβίωση των βακτηρίων που παράγουν μεθάνιο βρίσκονται σε μέγιστη συγκέντρωση.

Κατά την Τρίτη φάση παρατηρούμε μια γραμμική αύξηση της συγκέντρωσης του μεθανίου έως ότου φτάσει την τιμή 50-55% της συνολικής συγκέντρωσης του βιοαερίου. Κατά το στάδιο αυτό παρατηρούμε μείωση των αερίων που τροφοδοτούν τα βακτήρια που παράγουν μεθάνιο. Συγκεκριμένα παρατηρούμε μια γραμμική μείωση του υδρογόνου έως ότου η συγκέντρωσή του να ελαχιστοποιηθεί και γραμμική μείωση του διοξειδίου του άνθρακα η οποία σταματάει σε συγκέντρωση περίπου 45% της συνολικής συγκέντρωσης του βιοαερίου από 70% που ήταν πριν. Το μεθάνιο παραμένει στην σταθερή συγκέντρωση 50-55% της συνολικής συγκέντρωσης του βιοαερίου μέχρι και το τέλος του τέταρτου σταδίου αν και έχουμε την παρουσία υδρογόνου αλλά έχουμε σταθερή συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα και έχουμε την παρουσία

οξικού οξέως το οποίο υφίσταται αναερόβια μικροβιακή μετατροπή σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα.

Κατά το πέμπτο στάδιο, αυτό της ωρίμανση παρατηρούμε μια σταθερή και σταδιακή μείωση των συγκεντρώσεων του μεθανίου η οποία είναι ανάλογη του χρόνου.

### **2.3.6 Υδρόθειο ( $H_2S$ )**

Το υδρόθειο είναι τοξικό αέριο με χαρακτηριστική μυρωδιά χαλασμένου αυγού. Παρά την μεγάλη τοξικότητα του, η πολύ μικρή συγκέντρωση του στον ατμοσφαιρικό αέρα, της τάξης 0.05 ppb, δεν θέτει σε κίνδυνο την ανθρώπινη υγεία παρά μόνο σε χώρους που μπορεί να έχουμε μεγάλη συγκέντρωση του, όπως ορισμένους εργοστασιακούς χώρους.

Το υδρόθειο σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις είναι υπεύθυνο για την υποβάθμιση του χώρου λόγω δυσοσμίας, τον κίνδυνο πρόκλησης προβλημάτων υγείας στον άνθρωπο και την υποβάθμιση των χρωστικών που βασίζονται στον μόλυβδο λόγω της αντίδρασης του υδρόθειου με το μόλυβδο και την δημιουργία μελάνων σουλφιδίων.

Η παρουσία υδρόθειου σε ένα ΧΥΤΑ είναι πολύ πιθανή αφού μια φυσική πηγή παραγωγής του είναι η αποσύνθεση του οργανικού υλικού, η οποία λαμβάνει χώρα σε μεγάλη κλίμακα μέσα σε ένα ΧΥΤΑ. Εάν υπάρχει μεγάλη συγκέντρωση υδρόθειου τότε ο κύριος μηχανισμός απομάκρυνσης είναι η οξείδωσή του σε  $SO_2$  στην ατμόσφαιρα. Αυτό το  $SO_2$  κατόπιν αφαιρείτε ή στην αέρια φάση ή σαν αεροζόλ με υγρή ή ξηρή απόθεση.

Για να μετρηθούν τα επίπεδα συγκέντρωσης του υδρόθειου στην περιοχή του Μεσομυρίου χρησιμοποιήσαμε την πειραματική τεχνική του σταθερού

θαλάμου( static chamber technique (SCT) ). Κατόπιν των μετρήσεων που διεξάγαμε και κατόπιν τις αναλυτικής τους εξέτασης στο εργαστήριο καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι η ποσότητα του υδρόθειου που υπάρχει στον χώρο δεν είναι ανησυχητική, τα αποτελέσματα αναφέρονται αναλυτικά στο κεφάλαιο 2.5.2.5

### **2.3.7 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)**

Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι ένα άχρωμο, άοσμο και άγευστο αέριο που παράγεται από την ατελή καύση του άνθρακα σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση:



Το CO παράγεται φυσικά από την αποσύνθεση της χλωροφύλλης, τις πυρκαγιές στα δάση, από την φωτόλυση του μεθανίου και των τερπενίων και από την μικροβιακή δράση. Οι ανθρωπογενείς πηγές του CO είναι τα μέσα μεταφοράς, η απόθεση στερεών αποβλήτων, η παραγωγή σιδήρου κλπ.

Αφού σε ένα ΧΥΤΑ είναι ένας χώρος απόθεσης στέρεων αποβλήτων και σύγχρονος είναι δυνατόν να έχουμε και αποσύνθεση χλωροφύλλης και φωτόλυση του μεθανίου, αλλά και πυρκαγιές όταν ο χώρος είναι αφύλακτος είναι πολύ πιθανόν να έχουμε αυξημένες συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα, για αυτόν τον λόγο πρέπει να μετρήσουμε τις συγκεντρώσεις του.

Για να μετρηθούν τα επίπεδα συγκέντρωσης του μονοξειδίου του άνθρακα στην περιοχή του Μεσομουρίου χρησιμοποιήσαμε την πειραματική τεχνική του σταθερού θαλάμου (static chamber technique (SCT)). Κατόπιν των μετρήσεων που πήραμε και κατόπιν τις αναλυτικής τους εξέτασης στο εργαστήριο καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι η ποσότητα του μονοξειδίου του άνθρακα που

υπάρχει στον χώρο δεν είναι ανησυχητική, τα αποτελέσματα αναφέρονται αναλυτικά στο κεφάλαιο 2.5.2.5

## **2.4 Κίνηση βιοαερίου**

Μόλις τα αέρια που συνθέτουν το βιοαέριο παραχθούν κάτω από την επιφάνεια του ΧΥΤΑ, έχουν την τάση να μετακινηθούν μακριά από αυτόν. Διαστέλλονται, γεμίζουν τα διαθέσιμα κενά, και έτσι κινούνται η μεταναστεύουν διαμέσου των περιορισμένων κενών, μέσα στα απορρίμματα και στο έδαφος που σκεπάζει τον ΧΥΤΑ. Η φυσική τάση των αερίων που είναι ελαφρύτερα από τον σέρα, όπως το  $\text{CH}_4$ , είναι η ανοδική κίνηση, συνήθως διαμέσου της επιφάνειας του ΧΥΤΑ. Η ανοδική κίνηση των αερίων παρεμποδίζεται από την πυκνή συμπίεση των απορριμμάτων ή από το είδος της τελικής κάλυψης του ΧΥΤΑ. Όταν η ανοδική κίνηση των αερίων παρεμποδίζεται, τότε τα αέρια τείνουν να κινηθούν οριζόντια σε άλλες περιοχές μέσα ή έξω από τον ΧΥΤΑ, όπου η ανοδική κίνηση επιτρέπεται. Βασικά τα αέρια ακολουθούν το μονοπάτι με τη λιγότερη αντίσταση. Μερικά αέρια όπως το  $\text{CO}_2$  είναι πυκνότερα από τον αέρα και συγκεντρώνονται υποεδάφειες περιοχές, όπως διάδρομοι διάφορων χρήσεων.

### **2.4.1 Παράγοντες κίνησης βιοαερίου**

**Διάχυση (συγκέντρωση):** Η διάχυση περιγράφει την φυσική, τάση ενός αερίου να φτάσει σε μια ομοιόμορφη συγκέντρωση σε ένα δοσμένο χώρο, είτε είναι ένα δωμάτιο είτε η ατμόσφαιρα της γης. Τα αέρια σε ένα ΧΥΤΑ κινούνται από περιοχές, υψηλής συγκέντρωσης σε περιοχές χαμηλότερης συγκέντρωσης. Επειδή οι συγκεντρώσεις των αερίων μέσα στο χώρο ταφής είναι μεγαλύτερες από αυτές έξω από αυτόν, τα αέρια διαχέονται έξω από τον ΧΥΤΑ σε περιοχές με μικρότερες συγκεντρώσεις.

**Πίεση:** Η συσσώρευση αερίων μέσα στο ΧΥΤΑ δημιουργεί περιοχές υψηλής πίεσης στις οποίες η κίνηση των αερίων περιορίζεται από τα συμπιεσμένα απορρίμματα ή τα καλύμματα εδάφους και περιοχές χαμηλής πίεσης όπου η κίνηση των αερίων δεν περιορίζεται. Η διακύμανση της πίεσης προκαλεί την κίνηση των αερίων από τις περιοχές με την υψηλή πίεση προς τις περιοχές με τη χαμηλότερη πίεση. Η κίνηση των αερίων από περιοχές υψηλής πίεσης σε περιοχές χαμηλής πίεσης είναι γνωστή ως **συμμεταφορά** (convection). Όσο παράγονται περισσότερα αέρια, η πίεση μέσα στον ΧΥΤΑ αυξάνεται, συνήθως με αποτέλεσμα οι πιέσεις μέσα στον ΧΥΤΑ να είναι μεγαλύτερες από την ατμοσφαιρική πίεση ή την πίεση εσωτερικών χώρων (π.χ. σπίτια, εγκαταστάσεις). Τότε τα αέρια κινούνται προς τον περιβάλλοντα αέρα ή τον αέρα εσωτερικά.

**Διαπερατότητα:** Τα αέρια όπως προαναφέραμε θα κινηθούν από το μονοπάτι της μικρότερης αντίστασης. Η διαπερατότητα είναι ένα μέτρο του πόσο εύκολα αέρια ή υγρό ρέουν διαμέσου συνεχόμενων κενών ή πόρων στα απορρίμματα ή από έδαφος, Ξηρά, αμμώδη εδάφη είναι πολύ διαπερατά ενώ οι υγροί άργιλοι τείνουν να είναι πολύ λιγότεροι διαπερατοί. Τα αέρια τείνουν να κινούνται διαμέσου περιοχών υψηλής διαπερατότητας (άμμος ή χαλίκι) παρά από περιοχές με χαμηλή διαπερατότητα (άργιλος, ιλύες). Τα τελικά καλύμματα των ΧΥΤΑ συνήθως φτιάχνονται από εδάφη χαμηλής διαπερατότητας όπως άργιλος. Τα αέρια σε ένα καλυμμένο ΧΥΤΑ τείνουν να κινούνται οριζόντια παρά κάθετα.

#### **2.4.1.1 Συνθήκες που επηρεάζουν την κίνηση του βιοαερίου**

Η κατεύθυνση, η ταχύτητα, και η απόσταση που θα διανύσει το βιοαέριο

εξαρτώνται από ένα μεγάλο αριθμό παραμέτρων που περιγράφονται παρακάτω:

**Είδος τελικού καλύμματος:** Αν το τελικό κάλυμμα του Χ.Υ.Τ.Α. αποτελείται από σχετικά διαπερατά υλικά, όπως χαλίκια ή άμμος, το βιοαέριο θα κινηθεί προς τα πάνω, διαμέσου του καλύμματος. Αν όμως το κάλυμμα αποτελείται από άργιλο και ιλύες, δηλαδή είναι λίγο διαπερατό, τα αέρια θα έχουν την τάση να κινηθούν οριζόντια, κάτω από την επιφάνεια του ΧΥΤΑ. Αν πάλι ένα τμήμα του ΧΥΤΑ είναι πιο διαπερατό από το υπόλοιπο, τότε τα αέρια θα μεταναστεύσουν μέσω αυτού του τμήματος.

**Φυσικές και ανθρωπογενείς δίοδοι:** Τάφροι, χαντάκια, και θαμμένοι διάδρομοι διάφορων χρήσεων όπως για παράδειγμα για σωληνώσεις, μπορούν να αποτελέσουν μέσο διακίνησης του βιοαερίου. Ακόμα η φυσική γεωλογία πολλές φορές παρέχει υπόγεια μονοπάτια για την κίνηση των αερίων (π.χ. ρήγματα, πορώδεις έδαφος).

**Ταχύτητα και κατεύθυνση ανέμου.** Η φυσική κίνηση του βιοαερίου, αφού εξέλθει από το έδαφος, εξαρτάται από τον άνεμο. Ο άνεμος διαλύει το βιοαέριο με φρέσκο αέρα καθώς αυτό κινείται πέρα από τον ΧΥΤΑ. Η ταχύτητα και η κατεύθυνση του ανέμου καθορίζουν τη συγκέντρωση του βιοαερίου στην ατμόσφαιρα, η οποία μπορεί να μεταβληθεί πολύ από μέρα σε μέρα, ακόμα και από ώρα σε ώρα. Νωρίς το πρωί για παράδειγμα, οι άνεμοι είναι πιο ήπιοι και παρέχουν την ελάχιστη διάλυση και διασπορά του βιοαερίου σε άλλες περιοχές.

**Υγρασία:** Όταν επικρατούν συνθήκες υγρής εδαφικής επιφάνειας αποτρέπεται η μετακίνηση του βιοαερίου από την κορυφή του ΧΥΤΑ στην



ατμόσφαιρα. Η βροχή και η υγρασία, ακόμη, ενδέχεται να διεισδύσουν στα κενά των πόρων και να πάρουν τη θέση των αερίων στους πόρους.

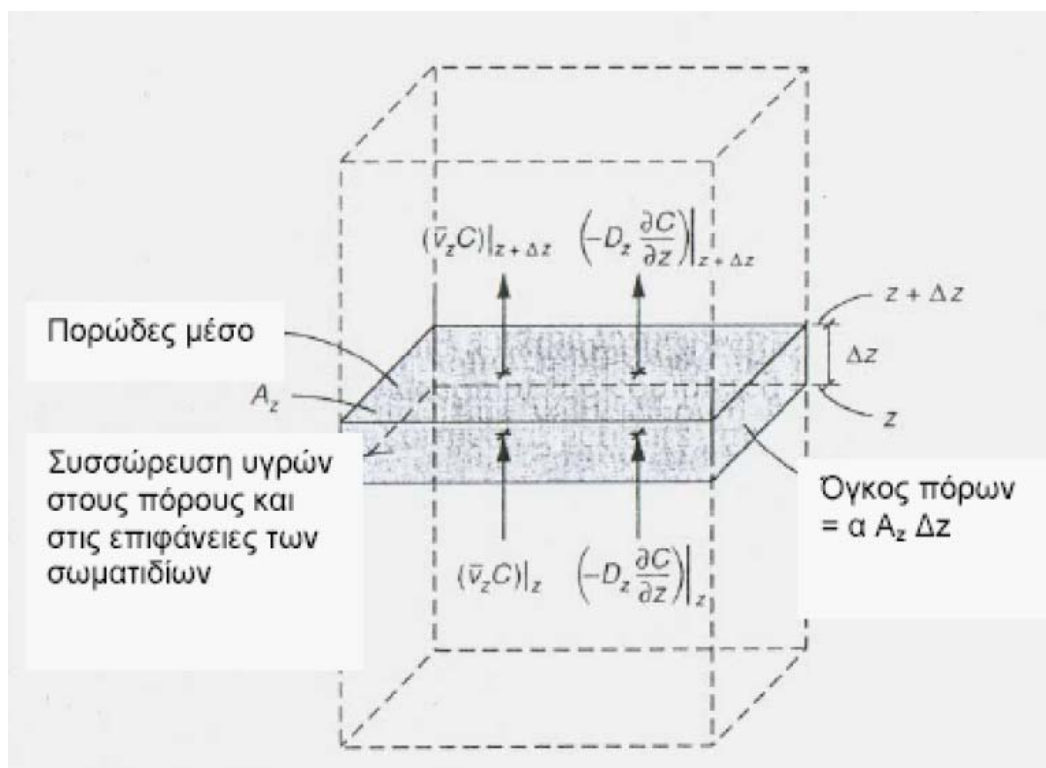
**Ύψος του υδροφόρου ορίζοντα:** Η κίνηση των αερίων επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις του ύψους του υδροφορέα. Αν το υπόγειο νερό ανέβει σε μια περιοχή, τότε θα εκτοπίσει όλα τα αέρια και θα τα αναγκάσει να ακολουθήσουν ανοδική πορεία.

**Θερμοκρασία:** Η αύξηση της θερμοκρασίας ενισχύει την κίνηση των σωματιδίων των αερίων και τείνει να αυξήσει τη διάχυση τους. Έτσι σε θερμές συνθήκες τα αέρια εξαπλώνονται γρηγορότερα. Αν και οι χώροι ταφής συνήθως διατηρούν μια σταθερή θερμοκρασία, οι κύκλοι ψύξης και θέρμανσης προκαλούν θραύση της επιφάνειας του χώρου, με αποτέλεσμα την οριζόντια και κατακόρυφη κίνηση των αερίων. Η ύπαρξη παγωμένου εδάφους πάνω από τον ΧΥΤΑ παρέχει ένα φυσικό εμπόδιο στην ανοδική εξάπλωση των αερίων, και ευνοεί την οριζόντια κίνηση τους.

**Βαρομετρική πίεση και πίεση αερίων στο έδαφος:** Η διαφορά μεταξύ στην πίεση των αερίων στο έδαφος και στην βαρομετρική πίεση επιτρέπει στο βιοαέριο να κινηθεί κατακόρυφα ή πλευρικά, ανάλογα με το ποια πίεση είναι μεγαλύτερη. Όταν πέφτει η βαρομετρική πίεση, το βιοαέριο τείνει να μεταναστεύσει έξω από τον ΧΥΤΑ, ενώ όταν ανεβαίνει το βιοαέριο κινείται προσωρινά οριζόντια μέσα στον ΧΥΤΑ.

**Εξισώσεις κίνησης του βιοαερίου:** Κάτω από φυσιολογικές συνθήκες, τα αέρια που παράγονται στους ΧΥΤΑ απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα μέσω της μοριακής διάχυσης. Στην περίπτωση ενός ενεργού ΧΥΤΑ, η πίεση στο εσωτερικό του είναι συνήθως μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική πίεση και το βιοαέριο θα απελευθερωθεί και λόγω συμμεταφοράς (δρῶσα δύναμη η

διαφορά πίεσης) αλλά και λόγω διάχυσης (δρῶσα δύναμη η διαφορά συγκέντρωσης). Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την κίνηση του βιοαερίου είναι η ρόφηση του στα υγρά ή στερεά συστατικά και η παραγωγή ή κατανάλωση του διαμέσου χημικών αντιδράσεων ή βιολογικής δραστηριότητας. Η γενική εξίσωση που ακολουθεί συσχετίζει αυτούς τους παράγοντες σε ένα μονοδιάστατο (κάθετο) όγκο ελέγχου.



Εικόνα 34: Όγκος ελέγχου για την κατακόρυφη κίνηση του Βιοαερίου

Η εξίσωση είναι:

$$\alpha(1 + \beta) \cdot \frac{\partial C_A}{\partial t} = -V_z \cdot \frac{\partial C_A}{\partial z} + D_z \cdot \frac{\partial^2 C_A}{\partial z^2} + G$$

Όπου:

$\alpha$  = συνολικό πορώδες,  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$

$\beta$  = παράγοντας καθυστέρησης (ρόφηση, αλλαγή φάσης), αδιάστατο

$C_A$  = συγκέντρωση της ένωσης A,  $\text{g}/\text{cm}^3$

$V_z$  = ταχύτητα λόγω συµµεταφοράς στην κατακόρυφη διεύθυνση,  $\text{cm}/\text{s}$

$D_z$  = συντελεστής ενεργούς διάχυσης,  $\text{cm}^2/\text{s}$

$G$  = παράµετρος που αναφέρεται σε όλα τα φαινόµενα παραγωγής,  $\text{g}/\text{cm}^3$

χρήση του Νόµου του Darcy

$k$  = διαπερατότητα εδάφους,  $\text{m}^2$

$\mu$  = ιξώδες του αέριου µίγµατος,  $\text{N s}/\text{m}^2$

$z$  = βάθος,  $\text{cm}$

Η ταχύτητα λόγω συµµεταφοράς  $V_z$  στην κατακόρυφο, υπολογίζεται µε τη χρήση του Νόµου του Darcy.

$$V_z = -\frac{k}{\mu} \cdot \frac{dP}{dz}$$

$V_z$  = ταχύτητα λόγω συµµεταφοράς στην κατακόρυφη διεύθυνση,  $\text{m}/\text{s}$

$k$  = διαπερατότητα εδάφους,  $\text{m}^2$

$\mu$  = ιξώδες του αέριου µίγµατος,  $\text{N s}/\text{m}^2$

$P$  = πίεση,  $\text{N}/\text{m}^2$

$z$  = βάθος,  $\text{m}$

Τυπικές τιμές για την ταχύτητα αυτή των βασικών αερίων των ΧΥΤΑ είναι της τάξεως του 1 έως 15  $\text{cm}/\text{day}$ . Οι λύσεις της εξίσωσης (1) εξαγονται συνήθως µε τη χρήση αριθµητικών µεθόδων πεπερασµένων στοιχείων ή διαφορών. Για την εκτίµηση των εκποµπών χωρίς να απαιτείται η επίλυση πολύπλοκων διαφορικών εξισώσεων, µπορούν να χρησιµοποιηθούν

απλοποιημένες μορφές της εξίσωσης (1). Για παράδειγμα, αν αγνοηθούν τα φαινόμενα ρόφησης και παραγωγής, κάτω από σταθερές συνθήκες (Stady-state) έχουμε:

$$0 = -V_z \cdot \frac{dC_A}{dz} + D_z \cdot \frac{\partial^2 C_A}{\partial z^2}$$

Αν δεν παράγεται πια βιοαέριο σε σημαντικές ποσότητες, παραμένει μόνο το τμήμα της εξίσωσης που αφορά τη διάχυση το οποίο μπορεί να ολοκληρωθεί για να δώσει την ακόλουθη εξίσωση:

$$N_A = -D_z \cdot \frac{dC_A}{dz}$$

όπου:

$N_A$  = πυκνότητα ροής του βιοαερίου, g/cm<sup>2</sup>s

Ο συντελεστής της ενεργής διάχυσης είναι μια συνάρτηση τόσο της μοριακής διάχυσης όσο και του πορώδους του εδάφους. Η ακόλουθη σχέση καθορίστηκε εμπειρικά για την κίνηση ατμών Lindane διαμέσου του εδάφους:

$$D_z = D \cdot \frac{(a_{gas})^{10/3}}{a^2}$$

$D_z$  = ταχύτητα λόγω συµµεταφοράς στην κατακόρυφη διεύθυνση, cm<sup>2</sup>/s

$D$  = συντελεστής διάχυσης, cm<sup>2</sup>/s

$a_{gas}$  = πορώδες γεμάτο με αέρια, cm<sup>3</sup>/ cm<sup>3</sup>

$\alpha$  = συνολικό πορώδες, cm<sup>3</sup>/ cm<sup>3</sup>

Μία άλλη προσέγγιση που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του συντελεστή ενεργούς διάχυσης είναι:

$$D_z = D \cdot a \cdot \tau$$

όπου :

$\tau$  = ο συντελεστής στρεβλότητας (τυπική τιμή = 0,67)

#### **2.4.1.2 Κίνηση των βασικών αέριων που συνθέτουν το βιοαέριο**

Αν και η μεγαλύτερη ποσότητα του  $\text{CH}_4$  διαφεύγει στην ατμόσφαιρα, έχουν παρατηρηθεί υψηλές συγκεντρώσεις και  $\text{CH}_4$  αλλά και  $\text{CO}_2$  (40% κ.ό.) στο έδαφος, σε αποστάσεις μεγαλύτερες των 100 μέτρων από τα όρια του ΧΥΤΑ. Σε χώρους ταφής που δεν συλλέγεται το βιοαέριο, η έκταση αυτής της πλευρικής κίνησης διαφέρει ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του τελικού καλύμματος και των εδαφών που τους περιβάλλουν. Αν το  $\text{CH}_4$  δεν εξαερίζεται με ελεγχόμενο τρόπο, μπορεί να συσσωρευτεί (επειδή η ειδική του βαρύτητα είναι μικρότερη από του αέρα) κάτω από κτίρια ή άλλους κλειστούς χώρους μέσα ή κοντά στο ΧΥΤΑ. Με σωστή συλλογή, το  $\text{CH}_4$  δεν αποτελεί πρόβλημα (εκτός από το ότι είναι αέριο του θερμοκηπίου). Από την άλλη όμως, το  $\text{CO}_2$  προκαλεί πολλά προβλήματα λόγω της πυκνότητάς του. Είναι περίπου 1,5 φορές πιο πυκνό από τον αέρα και 2,8 φορές πιο πυκνό από το  $\text{CH}_4$ . Έτσι έχει την τάση να κινείται προς τον πυθμένα του χώρου ταφής με αποτέλεσμα να παρατηρούνται υψηλές συγκεντρώσεις στο τμήμα αυτό για αρκετά χρόνια.

#### **Ανοδική κίνηση του βιοαερίου**

Το  $\text{CH}_4$  και το  $\text{CO}_2$  μπορούν να απελευθερωθούν στην ατμόσφαιρα διαμέσου του καλύμματος της κορυφής με συμμεταφορά και διάχυση. Η ροή λόγω της

διάχυσης μπορεί να υπολογιστεί από τις εξισώσεις και υποθέτοντας ότι η κλίση της συγκέντρωσης είναι γραμμική και το έδαφος είναι ξηρό, δηλαδή  $\alpha_{\text{gas}} = \alpha$ . Με την παραδοχή του ξηρού εδάφους εισάγεται ένας παράγοντας ασφάλειας, ο οποίος καλύπτει την πιθανή διήθηση μιας ποσότητας νερού μέσα στους πόρους και τη μείωση της πλήρωσης τους με αέρια. Έτσι προκύπτει η εξίσωση:

$$N_A = - \frac{D \cdot a^{4/3} \cdot (C_{A_{\text{atm}}} - C_{A_{\text{fill}}})}{L}$$

όπου:  $N_A$  = πυκνότητα ροής του βιοαερίου, g/cm<sup>2</sup>s

$C_{A_{\text{atm}}}$  = συγκέντρωση του συστατικού A στην επιφάνεια του καλύμματος του ΧΥΤΑ, g/cm<sup>3</sup>

$C_{A_{\text{fill}}}$  = η συγκέντρωση του συστατικού A στο κάτω μέρος του καλύμματος του ΧΥΤΑ, g/cm<sup>3</sup>

$L$  = πάχος του εδαφικού καλύμματος, cm

Τυπικές τιμές για τους συντελεστές της διάχυσης του CH<sub>4</sub> και του CO<sub>2</sub> είναι 0,20 και 0,13 cm<sup>2</sup>/s αντίστοιχα.

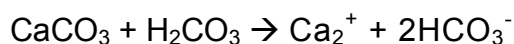
### **Καθοδική κίνηση του βιοαερίου**

Τελικά, το διοξείδιο του άνθρακα, λόγω της πυκνότητάς του, θα συσσωρευτεί στον πυθμένα του ΧΥΤΑ. Αν έχει τοποθετηθεί γεωμεμβράνη στον πυθμένα του ΧΥΤΑ, το διοξείδιο του άνθρακα θα κινηθεί προς τα κάτω λόγω διάχυσης, διαμέσου της γεωμεμβράνης και διαμέσου των υποκείμενων σχηματισμών, μέχρι να φτάσει στο υπόγειο νερό (η κίνηση του CO<sub>2</sub> περιορίζεται με τη χρήση συνθετικών μεμβρανών). Το CO<sub>2</sub> διαλύεται εύκολα

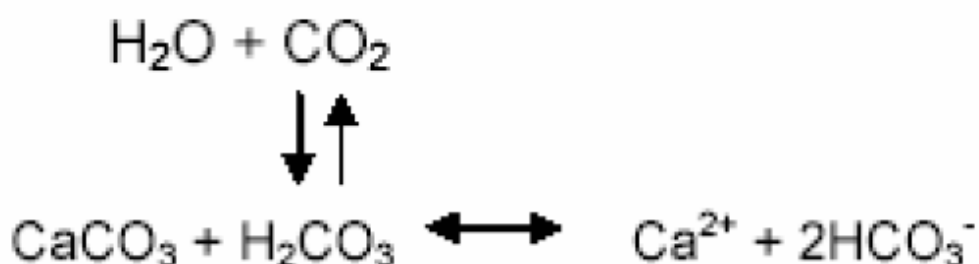
στο νερό και αντιδρά με αυτό για το σχηματισμό  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , όπως φαίνεται στην αντίδραση που ακολουθεί:



Η αντίδραση αυτή ελαττώνει το pH, με συνέπεια την αύξηση της σκληρότητας και του περιεχόμενου σε μέταλλα του υπόγειου νερού, μέσω διαλυτοποίησης. Για παράδειγμα, αν υπάρχει στερεό ανθρακικό ασβέστιο στη δομή του εδάφους, το ανθρακικό οξύ θα αντιδράσει με αυτό και θα σχηματιστεί διανθρακικό ασβέστιο με βάση την παρακάτω αντίδραση:



Για μια δοσμένη αέρια συγκέντρωση του  $\text{CO}_2$ , θα συνεχιστεί αντίδραση που φαίνεται στην εξίσωση (5) μέχρι να επιτευχθεί χημική ισορροπία όπως φαίνεται στην παρακάτω εξίσωση:



Έτσι, κάθε διεργασία που αυξάνει το ελεύθερο διοξείδιο του άνθρακα που υπάρχει στο διάλυμα, θα προκαλέσει μεγαλύτερη διάλυση του ανθρακικού ασβεστίου. Η αυξημένη σκληρότητα που προκύπτει είναι η κύρια συνέπεια της παρουσίας του  $\text{CO}_2$  στο υπόγειο νερό.

### Κίνηση των ιχνοαερίων (Trace gases)

Για τις οριακές συνθήκες που φαίνονται στην παρακάτω εικόνα, η εξίσωση μπορεί να τροποποιηθεί για τα αέρια που βρίσκονται ως ίχνη στους ΧΥΤΑ ως εξής:

$$N_i = -\frac{D \cdot a^{4/3} \cdot (C_{iatm} - C_{is}W_i)}{L}$$

Όπου

$N_i$  = πυκνότητα ροής του συστατικού  $i$ ,  $g/cm^2s$

$D$  = συντελεστής διάχυσης,  $cm^2/s$

$C_{iatm}$  = συγκέντρωση του συστατικού  $i$  στην επιφάνεια του καλύμματος του ΧΥΤΑ,  $g/cm^3$

$C_{is}$  = συγκέντρωση κορεσμού ατμών του συστατικού  $i$ ,  $g/cm^3$

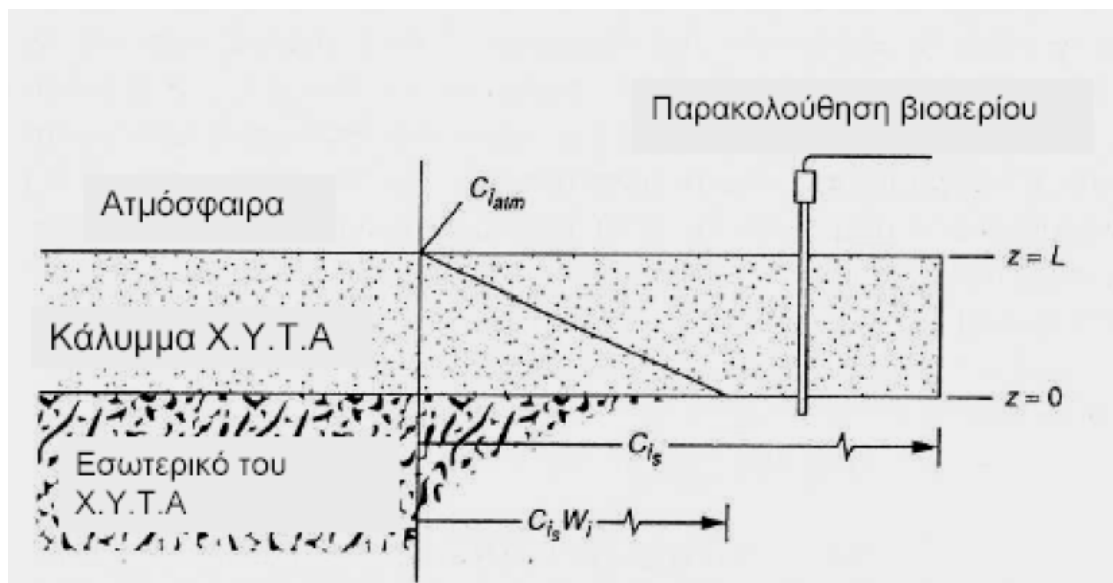
$W_i$  = παράγοντας που δείχνει το πραγματικό κλάσμα του ίχνους  $i$  στα απορρίμματα

$C_{is} W_i$  = συγκέντρωση του ίχνους  $i$  στο κάτω μέρος του καλύμματος του ΧΥΤΑ,  $g/cm^3$

$L$  = πάχος του εδαφικού καλύμματος,  $cm$

Η παραπάνω εξίσωση μπορεί να απλοποιηθεί με την παραδοχή ότι η  $C_{iatm}$  είναι μηδενική. Η παραδοχή αυτή είναι λογική επειδή η συγκέντρωση των ιχνών που φτάνουν την επιφάνεια του ΧΥΤΑ σχεδόν μηδενίζεται λόγω διασποράς και διάχυσης στον σέρα.





**Εικόνα 35: κίνηση των ιχναερίων διαμέσου του τελικού καλύμματος**

Με βάση την παραπάνω παραδοχή, η εκτίμηση για την πυκνότητα ροής μάζας των αερίων είναι συντηρητική. Η αύξηση στην τιμή της  $C_{iatm}$  θα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της πυκνότητας ροής. Η απλοποιημένη μορφή της εξίσωσης είναι η παρακάτω:

$$N_i = -\frac{D \cdot a^{4/3} \cdot (C_{is} W_i)}{L}$$

Οι εκτιμώμενες τιμές του συντελεστή διάχυσης  $D$  δώδεκα αερίων που συναντώνται ως ίχνη, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα, για θερμοκρασίες από 0 - 50 °C. Οι τιμές του πορώδους κυμαίνονται από 0,01 έως 0,3 για τις διαφορετικές τιμές αργίλου, Ο όρος  $C_{is} W_i$  αναφέρεται στη συγκέντρωση του συστατικού του ενδιαφέροντος, στην κορυφή του ΧΥΤΑ και μόλις κάτω από το τελικό κάλυμμα.

Compounds	Concentration, mg/m <sup>3</sup>		Scaling factor, W <sub>i</sub>
	Maximum measured <sup>a</sup>	Saturation value	
Benzene	135.9	319,000	0.0004
Chlorobenzene	6.8	54,000	0.0001
Ethylbenzene	414.5	40,000	0.01
1,1,1-Trichlorethane	86.3	715,900	0.0001
Chloroethene	89.2	8,521,000	0.00001
Tetrachloroethene	1331.7	126,000	0.01
Trichloroethene	85.1	415,000	0.0002
Dichloromethane	871.5	1,702,000	0.0005
Trichloromethane	63.9	1,027,000	0.00001
Toluene	1150.5	110,000	0.01

**Εικόνα 36: Δεδομένα από μετρήσεις σε 44 ΧΥΤΑ στην Καλιφόρνια**

#### **2.4.2 Κίνηση του βιοαερίου στο χώρο του Μεσομουρίου**

Τα δύο κυριότερα συστατικά του βιοαερίου είναι το διοξείδιο του άνθρακα και το μεθάνιο.

Το διοξείδιο του άνθρακα λόγω της μεγάλης πυκνότητας του (είναι 1,5 φορές πυκνότερο από τον αέρα) αναμένουμε να κινηθεί προς τα κάτω. Το κατώτερο όριο που μπορεί να φτάσει είναι ο βράχος που υπάρχει κάτω από τον χώρο εναπόθεσης. Φτάνοντας εκεί υπάρχουν δύο ενδεχόμενα, είτε να παραμείνει αποθηκευμένο στο χώρο είτε να διαφύγει λόγω πίεσης από το υποκείμενο βιοαέριο ή μέσω συµµεταφοράς από τα στραγγίσµατα.

Το μεθάνιο είναι πιο ελαφρύ από τον αέρα και για τον λόγο αυτό θα κινηθεί προς τα πάνω και θα εξέλθει στον ατμοσφαιρικό αέρα. Στην περιοχή του Μεσομουρίου έχει γίνει κάλυψη των απορριμμάτων στον επάνω χώρο αλλά ελλιπής κάλυψη στα πλάγια του χώρου. Τα πλάγια τοιχώματα του χώρου σε πολλά σημεία είναι ακάλυπτα ή κακώς καλυμμένα. Ενώ τα δέματοποιημένα απορρίμματα έχουν κενά μεταξύ τα οποία φτάνουν σε μεγάλο βάθος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το μεγαλύτερο μέρος του μεθανίου, να διαφεύγει από τα πλάγια

τοιχώματα. Ένα άλλο μέρος διαφεύγει από το πάνω μέρος του χώρου από τις διάφορες ρωγμές που έχουν δημιουργηθεί στην επικάλυψη. Είναι επίσης πολύ πιθανό κάποια ποσότητα βιοαερίου μη βρίσκοντας τρόπο διαφυγής να αποθηκεύεται σε κάποιες υπόγειες κοιλότητες του χώρου, αυξάνοντας την επικινδυνότητα του χώρου λόγω της μεγάλης εκρηξιμότητας του μεθανίου.

Στο χώρο οι άνεμοι έχουν γενικά υψηλές ταχύτητες, το οποίο σημαίνει ότι τα αέρια που εκλύονται από την περιοχή διαλύονται γρήγορα στον ατμοσφαιρικό αέρα και παρασύρονται σε μεγάλη απόσταση.

## **2.5 Μετρήσεις βιοαερίου**

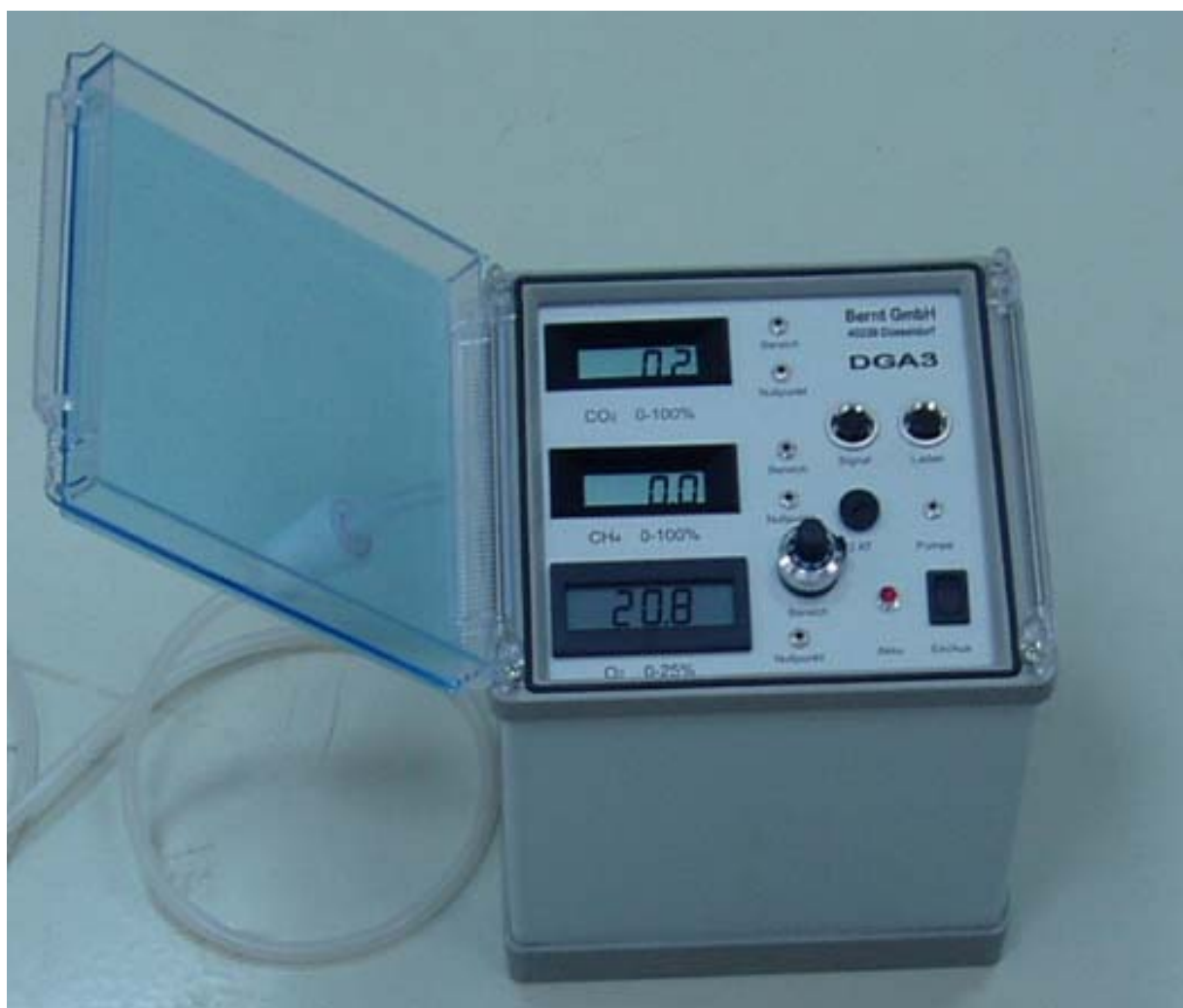
### **2.5.1 Ποιοτική μέτρηση βιοαερίου**

Αρχικά έπρεπε να υπολογίσουμε τις ποσότητες του μεθανίου ( $\text{CH}_4$ ) και του διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) που εκλύονταν από τα απορρίμματα ώστε να διαπιστωθεί το στάδιο βιοαποδόμησης οποίο βρίσκονται τα απορρίμματα αλλά και να βρεθεί η κατανομή των εναποτηθέμενων απορριμμάτων στο χώρο. Επίσης με τις μετρήσεις αυτές θα είναι δυνατό να γίνει μια πρώτη εκτίμηση για το βάθος στο οποίο βρίσκονται τα απορρίμματα με βάση το βάθος που τοποθετείται το σίδερο με το οποίο παίρνονται οι μετρήσεις και το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί για την εμφάνιση των μετρήσεων στο κατράν της συσκευής μέτρησης σε κάθε σημείο.

Μικρότερο βάθος και μικρότερος χρόνος εμφάνισης αποτελεσμάτων είναι σαφής ένδειξη για την εμφάνιση μεγαλύτερων ποσοτήτων απορριμμάτων ή για την ύπαρξη ρωγμών στο υλικό επιφάνειας.

Πια από τις δύο περιπτώσεις ισχύει σε κάθε περίπτωση κρίνεται από τον αναλυτή σύμφωνα με την γεομορφολογική εμφάνιση κάθε σημείο μέτρησης.

Για να πάρουμε τις μετρήσεις μεθανίου ( $\text{CH}_4$ ) και διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) χρησιμοποιήσαμε τον πολυκάναλο αναλυτή αερίων BE – DGA 3 της εταιρίας BERNT MESSTECHNIK Σχήμα 1. Ο αναλυτής αυτός είναι φορητός, εφοδιασμένος με εσωτερική αντλία, λειτουργεί με μπαταρία και προορίζεται για συχνή και κάτω από δύσκολες συνθήκες δειγματοληψία. Με τη χρήση φίλτρων και δειγματοληπτών παρέχει τη δυνατότητα φθηνής και γρήγορης μέτρησης μέχρι τριών αερίων σε συνδυασμούς ανάλογα με τις απαιτήσεις των μετρήσεων. Τα αέρια που μπορεί να μετρήσει είναι το  $\text{CH}_4$ , το  $\text{CO}_2$ , το  $\text{O}_2$  και το  $\text{CO}$ .



**Εικόνα 37: Ο αναλυτής αερίων BE – DGA 3**

### **2.5.1.1 - Η τεχνική της μέτρησης των αερίων**

Η μέτρηση των αερίων (εκτός του O<sub>2</sub>) βασίζεται στην τεχνική της μη διαχεόμενης υπέρυθρης ακτινοβολίας (NDIR – Non dispersive Infrared Radiation). Η καινοτομία στον αναλυτή αυτό είναι ότι υπάρχει ένα μόνο οπτικό μονοπάτι, αντί για δύο που υπάρχουν στα συμβατικά όργανα με NDIR, δύο φίλτρα και ένας ανιχνευτής. Το φίλτρο του δείγματος επιλέγει ένα μήκος κύματος στο οποίο απορροφά το αέριο προς μέτρηση, ενώ το φίλτρο αναφοράς επιλέγει μια περιοχή στην οποία δεν απορροφά κανένα από τα αέρια που υπάρχουν στο δείγμα. Η μέτρηση της απορρόφησης των αερίων γίνεται με την ανάλυση των ηλεκτρικών σημάτων από μικροεπεξεργαστές. Η μέτρηση του O<sub>2</sub> γίνεται με τη χρήση ενός ηλεκτροχημικού κελιού.

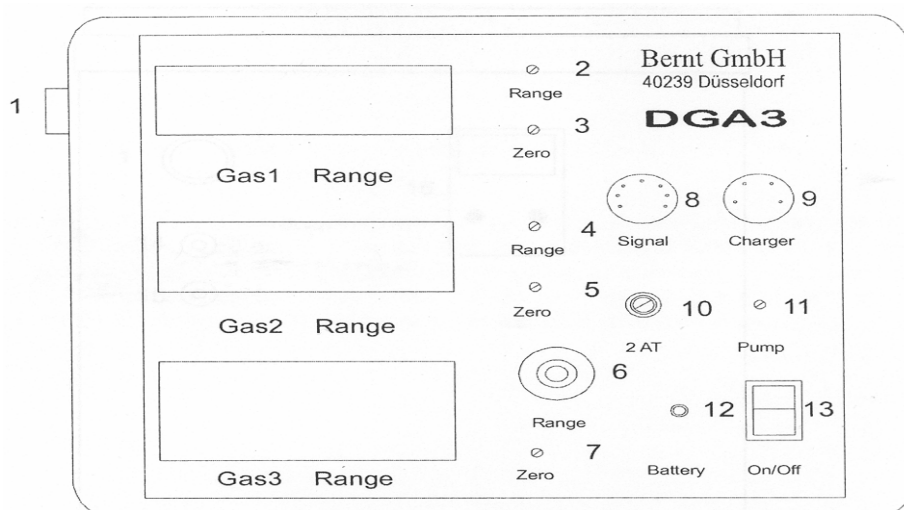
### **2.5.1.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά του αναλυτή**

Οι διαστάσεις του αναλυτή είναι 240 x 210 x 170 mm και το βάρος του είναι 6.5 kg. Περιέχει τέσσερις επαναφορτιζόμενες μπαταρίες των δώδεκα volts που του επιτρέπουν τη συνεχόμενη άντληση και ανάλυση αερίων για επτά ώρες. Το εύρος των θερμοκρασιών στο οποίο δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα είναι από 0 – 45 °C και η επίδραση της θερμοκρασίας είναι ±0,03 % ανά 1 °C. Ο χρόνος προθέρμανσης του οργάνου είναι μικρότερος των τριών λεπτών και ο χρόνος απόκρισης είναι περίπου δέκα δευτερόλεπτα. Οι συγκεντρώσεις των αερίων απεικονίζονται σε οθόνες υγρών κρυστάλλων αλλά υπάρχει και η δυνατότητα λήψης των αποτελεσμάτων σε μορφή γραμμικοποιημένου ρεύματος ή τάσης.

### 2.5.1.3 Κάτοψη του αναλυτή

Στο σχήμα 2 φαίνεται η κάτοψη του αναλυτή BE – DGA 3 και περιγράφονται τα διάφορα μέρη του:

- 1 = ο διακόπτης της αντλίας
- 2 = ο ρυθμιστής του εύρους μέτρησης του αερίου 1
- 3 = ο ρυθμιστής του “μηδέν” του αερίου 1
- 4 = ο ρυθμιστής του εύρους μέτρησης του αερίου 2
- 5 = ο ρυθμιστής του “μηδέν” του αερίου 2
- 6 = ο ρυθμιστής του εύρους μέτρησης του αερίου 3
- 7 = ο ρυθμιστής του “μηδέν” του αερίου 3
- 8 = η έξοδος του σήματος
- 9 = η είσοδος του καλωδίου του φορτιστή
- 10 = ασφάλεια 2AT
- 11 = ο ρυθμιστής της αντλίας
- 12 = φωτεινή ένδειξη της κατάστασης της μπαταρίας
- 13 = ο κεντρικός διακόπτης



**Εικόνα 38: Η κάτοψη του αναλυτή BE – DGA3**

#### 2.5.1.4 Πλάγια όψη του αναλυτή

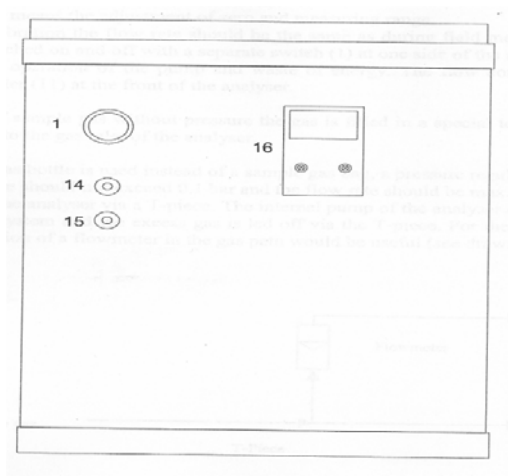
Στο σχήμα 3 φαίνεται η πλάγια όψη του αναλυτή BE – DGA 3 και περιγράφονται τα διάφορα μέρη του:

1 = ο διακόπτης της αντλίας

14 = η είσοδος των αερίων

15 = η έξοδος των αερίων

16 = η υποδοχή για τον ιμάντα μεταφοράς



**Εικόνα 39: Η πλάγια όψη του αναλυτή BE – DGA3**

#### 2.5.1.5 Μέτρηση της συγκέντρωσης των εδαφικών αερίων

Στην περίπτωση που σκοπός είναι η μέτρηση των εδαφικών αερίων (soil gas survey) σε ΧΥΤΑ, ΧΔΑ, ή και σε ρυπασμένα εδάφη, αλλά δεν υπάρχουν πηγάδια άντλησης για να συνδεθεί ο αναλυτής, υπάρχει η δυνατότητα χρήσης της συσκευής Draeger που φαίνεται στο σχήμα 4.



**Σχήμα 40: Η διάταξη μέτρησης των εδαφικών αερίων**

Η συσκευή αυτή είναι ένας ανοξειδωτος σωλήνας με ακροφύσιο ο οποίος τοποθετείται μέσα σε ένα μεγαλύτερο ατσάλινο σωλήνα για προστασία. Αρχικά, για να είναι ευκολότερη η είσοδος του ατσάλινου σωλήνα στη μάζα των απορριμμάτων ή στο έδαφος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα χειροκίνητο τρυπάνι για τη διάνοιξη μιας οπής στην οποία θα εισαχθεί ο σωλήνας. Στη συνέχεια συνδέεται ο αναλυτής με τον ανοξειδωτο σωλήνα με ένα σωληνάκι, στο οποίο έχει τοποθετηθεί ένα φίλτρο υγρασίας, για την προστασία του αναλυτή και κατόπιν εισάγεται μέσα στον ατσάλινο σωλήνα.

Οι μετρήσεις αυτές ήταν αρκετά επίπονες και δύσκολες αφού το βάθος της κάθε μέτρησης έπρεπε να είναι τουλάχιστον 30 εκατοστά κάθετα στην επιφάνεια του εδάφους. Το έδαφος συνήθως ήταν πολύ σκληρό και αδιαπέρατο και για μία μέτρηση χρειάζονταν αρκετές προσπάθειες και χρόνος.

Ακόμη έπρεπε για κάθε μέτρηση να φροντίσουμε όσο το δυνατόν περισσότερο για την στεγανοποίηση της από τον ατμοσφαιρικό αέρα αφού η ύπαρξη ατμοσφαιρικού αέρα σαφώς επηρεάζει αρνητικά την ακρίβεια των



μετρήσεων. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων καθώς και το ακριβές σημείο το οποίο πάρθηκε η κάθε μέτρηση βρίσκονται στους παρακάτω πίνακες:

### 2.5.1.6 Αναλυτικά αποτελέσματα μετρήσεων

#### ΠΡΩΤΗ ΖΩΝΗ

A/A	Σημείο(x,y)	Διοξείδιο του άνθρακα (CO <sub>2</sub> ) %	Μεθάνιο (CH <sub>4</sub> ) %	Βάθος (cm) ±10cm	παρατηρήσεις
1	36, 14	15	18.5	20cm	
2	36, 14	22	27	40cm	
3	36, 14	48	52	65cm	
4	52, 14	9	14	30cm	
5	52, 14	19	25	50cm	
6	52, 14	43	57	80cm	
7	82, 3	18	13.8	30cm	
8	82, 3	26	18.3	50cm	
9	82, 3	52	43	90cm	
10	9, 28	9	7	25cm	
11	9, 28	14	11	45cm	
12	9, 28	27	21	85cm	
13	13, 34	11	8	30cm	
14	13, 34	19	14	50cm	
15	13, 34	33	27	70cm	

#### ΔΕΥΤΕΡΗ ΖΩΝΗ

A/A	Σημείο(x,y)	Διοξείδιο του άνθρακα (CO <sub>2</sub> ) %	Μεθάνιο (CH <sub>4</sub> ) %	Βάθος (cm) ±10cm	παρατηρήσεις
1	10, 2	10	7	20cm	ρωγμή 1
2	10, 2	41	36	55cm	ρωγμή 1
3	10, 2	49	44	80cm	ρωγμή 1
4	107.17	9	11	20cm	
5	107.17	19	18	40cm	
6	107.17	48	49	80cm	
7	112.32	15	12	20cm	
8	112.32	27	22	40cm	
9	112.32	50	47	80cm	

### ΤΡΙΤΗ ΖΩΝΗ

A/A	Σημείο(x,y)	Διοξείδιο του άνθρακα (CO <sub>2</sub> ) %	Μεθάνιο (CH <sub>4</sub> ) %	Βάθος (cm) ±10cm	παρατηρήσεις
1	67, 17	15	12	20cm	
2	67, 17	25	21	40cm	
3	67, 17	49	46	80cm	
4	98.6	17	9	25cm	ρωγμή 2
5	98.6	23	16	45cm	ρωγμή 2
6	98.6	46	44	85cm	ρωγμή 2

Με βάση τις παραπάνω μετρήσεις και τον πίνακα σύστασης των αερίων στους χώρους διάθεσης απορριμμάτων μπορούμε να προβλέψουμε για κάθε σημείο σε πιο ακριβές στάδιο έκλυσης βιοαερίου βρίσκεται και κατόπιν με την μέθοδο της γραμμικής παρεμβολής ή του μέσου όρου των σημείων για περισσότερη απλότητα μπορούμε να κάνουμε μια αρκετά καλή εκτίμηση του σταδίου έκλυσης του βιοαερίου.

Με βάση το στάδιο στο οποίο βρίσκεται η περιοχή που εναποτέθηκαν τα απορρίμματα στο Μεσομύρι μπορούμε να πάρουμε αρκετές πληροφορίες για την κατάσταση στην οποία βρίσκεται η περιοχή του Μεσομυρίου αλλά και για την μελλοντική της συμπεριφορά. Μερικές φωτογραφίες με τις οποίες φαίνεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε κατά το στάδιο των μετρήσεων παρουσιάζονται παρακάτω:



**Εικόνα 41:** Αρχικά για να είναι ευκολότερη η είσοδος του ατσάλινου σωλήνα στη μάζα των απορριμμάτων ή στο έδαφος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα χειροκίνητο τρυπάνι για τη διάνοιξη μιας οπής στην οποία θα εισαχθεί ο σωλήνας. Το στάδιο αυτό δεν είναι απαραίτητο αν διαπιστωθεί ότι ο ατσάλινος σωλήνας μπορεί να εισχωρήσει στα σκουπίδια ή στο έδαφος μόνο με σπρώξιμο.



**Εικόνα 42:** Στη συνέχεια τοποθετείται ο ατσάλινος σωλήνας που φέρει στη μια άκρη του ένα φίλτρο για να μην εισχωρεί το χώμα μέσα ενώ από την άλλη μεριά εισέρχεται ένας ανοξείδωτος σωλήνας με ακροφύσιο ο οποίος ενώνεται το σωληνάκι του μηχανήματος με το οποίο παίρνονται οι μετρήσεις.





**Εικόνα 43:** Αφού έχει συνδεθεί το μηχάνημα, αναμένονται οι μετρήσεις, οι οποίες αργούν λίγο καθώς τα αέρια έχουν να δανείσουν μεγάλη απόσταση και η αντλία δεν πρέπει να δουλεύει με έντονους ρυθμούς για να μην ρουφάει χώμα.



**Εικόνα 44:** Η ίδια διαδικασία πραγματοποιείται και όταν χρειαστεί να παρθούν μετρήσεις από ρωγμές, μόνο που το σίδερο δεν μπορεί να εισχωρήσει σε μεγάλα βάθη λόγω της μορφολογίας του εδάφους.





**Εικόνα 45:** Μετά από την κάθε μέτρηση, το σημείο σημαδεύεται ώστε να είναι γνωστή η θέση του σε περίπτωση που χρειαστεί να παρθούν και άλλες μετρήσεις αλλά κυρίως για να είναι εύκολο να βρεθεί το σημείο κατά την κατασκευή του γεωγραφικού χάρτη που θα δίνει στοιχεία για τα σημεία από τα οποία πάρθηκαν οι διάφορες μετρήσεις και το χώρο γενικότερα.



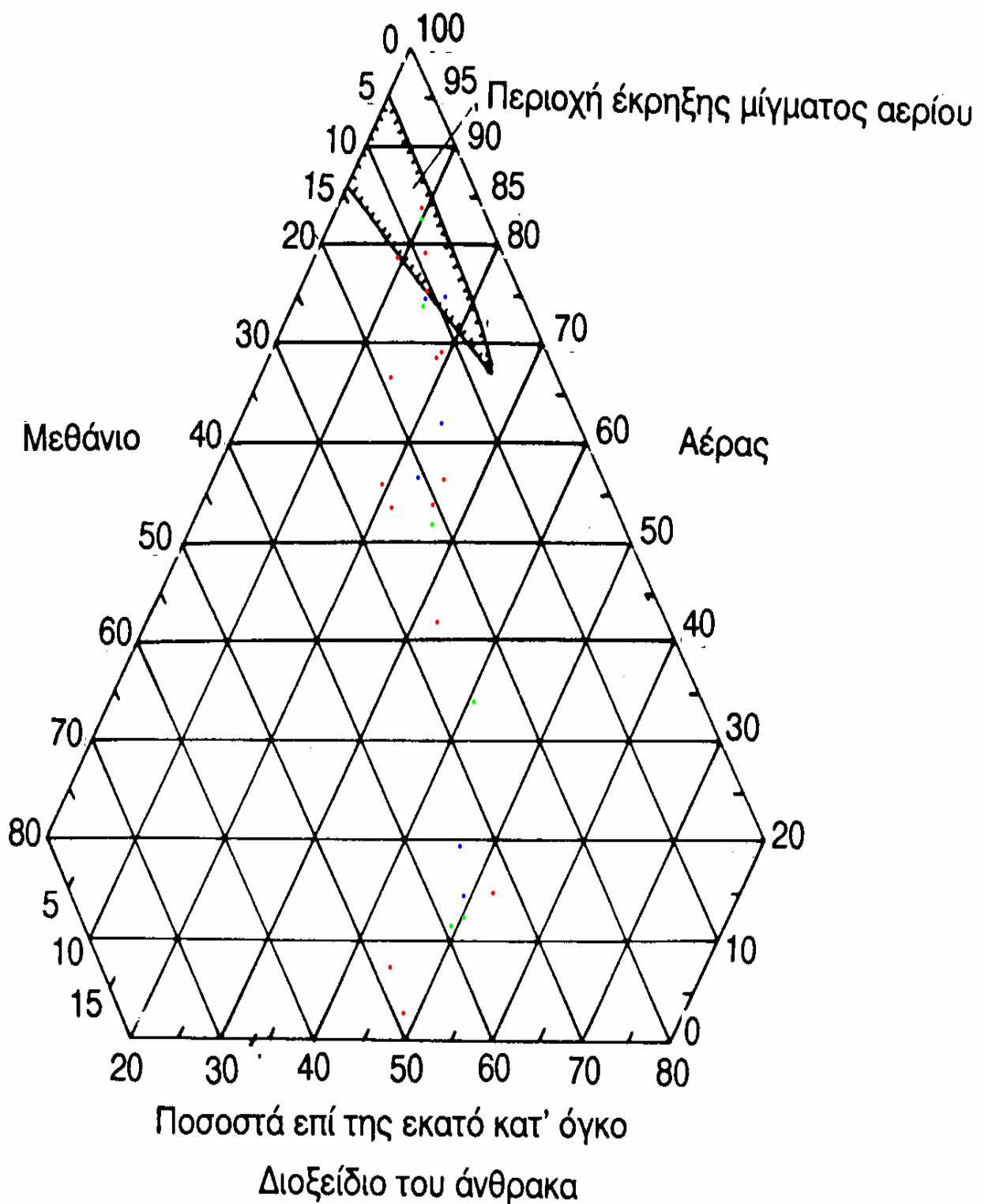
**Εικόνα 46:** Κατά τη διαδικασία των μετρήσεων πρέπει να παίρνονται όλα τα αναγκαία μέτρα για την προστασία του ανθρώπου. Γάντια για την μη επαφή με απορρίμματα, μάσκα για τις οσμές και καπέλο για τον πολύ έντονο ήλιο που είναι χαρακτηριστικό της Κρήτης για τους καλοκαιρινούς μήνες.

#### **2.5.1.7 Σχολιασμός αποτελεσμάτων**

Από τα παραπάνω πίνακα αποτελεσμάτων του φορητού αναλυτή προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

Το μεγαλύτερο μέρος του παραγόμενου βιοαερίου που παράγεται από τα απορρίμματα του χώρου εναπόθεσης απορριμμάτων του Μεσομουρίου βρίσκεται στο μεταίχμιο των σταδίων της αναερόβιας όξινης φάσης και της μεθανιογένεσης. Στην αναερόβια όξινη φάση κύριο συστατικό του βιοαερίου είναι το διοξείδιο του άνθρακα ενώ στην φάση της μεθανιογένεσης η αναλογία του διοξειδίου του άνθρακα-μεθανίου είναι περίπου 45/55. Η διαφορά που υπάρχει στις φάσεις παραγωγής βιοαερίου στα διάφορα σημεία μέτρησης οφείλεται στον διαφορετικό χρόνο εναπόθεσης των απορριμμάτων.

Από το διάγραμμα εκρηξιμότητας του βιοαερίου και με δεδομένα τις τιμές που μετρήσαμε στο πεδίο προκύπτει ότι το παραγόμενο βιοαέριο βρίσκεται σε πολλές περιοχές μέσα στο όριο εκρηξιμότητας, το οποίο σημαίνει ότι είναι δυνατόν στην περιοχή να προκληθούν πυρκαγιές λόγω αυτανάφλεξης του βιοαερίου είτε ακόμα και εκρήξεις αν υπάρχει εγκλωβισμένη κάποια ποσότητα βιοαερίου στο υπέδαφος.



**Εικόνα 47: Διάγραμμα εκρηξιμότητας βιοαερίου.**

Όπου με κόκκινο χρώμα συμβολίζονται οι μετρήσεις από την πρώτη ζώνη, με πράσινο οι μετρήσεις από την δεύτερη και με μπλε οι μετρήσεις της τρίτης ζώνης.

### **2.5.2 Ποσοτική σύσταση βιοαερίου**

Για να έχουμε μια ποσοτική και υψηλής ακριβείας μέτρηση για την σύσταση του παραγόμενου βιοαερίου από το χώρο του Μεσομουρίου αλλά και για τον ρυθμό παροχής του βιοαερίου στο χώρο χρησιμοποιήσαμε την πειραματική τεχνική σταθερού θαλάμου ( static chamber technique (SCT) ). Με τη μέθοδο αυτή αφενώς επιδιώκουμε να πάρουμε μια καλύτερη εικόνα όσον αναφορά την παραγωγή βιοαερίου στην περιοχή του Μεσομουρίου και των συστατικών του. Αφετέρου επιδιώκουμε να μετρήσουμε την καθημερινή παροχή του μεθανίου ( $\text{CH}_4$ ) από την περιοχή ώστε να μετρήσουμε αν το μεθάνιο που παράγεται είναι επαρκές για την παραγωγή βιοκαυσίμου και κατά πόσο επιβαρύνει το περιβάλλον.

#### **2.5.2.1 Πειραματική διαδικασία τεχνικής σταθερού θαλάμου SCT**

Σύμφωνα με την πειραματική διαδικασία η οποία διεξήχθη στον ΧΥΤΑ στην περιοχή Φόδελε του Νομού Ηρακλείου στις 8-7-2005 και στην οποία χρησιμοποιήσαμε την πειραματική τεχνική σταθερού θαλάμου ( static chamber technique (SCT)) το παραγόμενο βιοαερίου εγκλωβίστηκε σε έναν σταθερό ειδικά διαμορφωμένο χώρο ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για να μετρηθούν οι παροχές από την επιφάνεια του ΧΥΤΑ.

Ένας κυλινδρικού σχήματος, ανοιχτό στο κάτω μέρος, βαρέλι με διπλά τοιχώματα τα οποία απέχουν μεταξύ τους 2 με 3 εκατοστά βυθίστηκε περίπου 10 εκατοστά μέσα στην επιφάνεια του ΧΥΤΑ. Ο χώρος που τοποθετείται το βαρέλι πρέπει να είναι ομαλός, επίπεδος και αντιπροσωπευτικός του χώρου μέτρησης. Αφού επιλεγθεί κατόπιν πρέπει να διαμορφωθεί κατάλληλα για να τοποθετηθεί το όργανο, πρέπει ο χώρος να σκαφτεί σε βάθος 10 εκατοστών με σχήμα κυκλικό διαμέτρου λίγο μεγαλύτερη από την διάμετρο του οργάνου.



Αφού διανοιχτεί η τρύπα τοποθετούμε το όργανο και κλείνουμε με χώμα το χώρο έξω από αυτό με χώμα ώστε να μην έχουμε απώλειες από εκροές από τα πλάγια του βιοαερίου ή από εισροές αέρα από τον έξω χώρο.



**Εικόνα 48: Διαμόρφωση χώρου**

Κατόπιν το κενό μεταξύ των τοιχωμάτων γεμίστηκε με νερό, όπως φαίνεται παρακάτω:



**Εικόνα 49: Τοποθέτηση νερού**



Μετά προσαρμόστηκε στην πάνω επιφάνεια ένας όμοιος κύλινδρος με μονό τοίχωμα και έναν ανεμιστήρα προσαρμοσμένο στην μέσα πλευρά του επάνω μέρους, ο οποίος εφαρμόζει ακριβώς στο ήδη τοποθετημένο κύλινδρο έτσι το όργανο μέτρησης κλείνει αεροστεγώς για την αποφυγή διαρροών βιοαερίου από το βαρέλι ή την εισροή ατμοσφαιρικού αέρα η οποία επηρεάζει τις μετρήσεις.



**Εικόνα 50:Τοποθέτηση πάνω μέρους οργάνου**

Με την παραπάνω διαδικασία προκύπτει ένας κλειστός κύλινδρος στο πάνω μέρος και ανοιχτός στο κάτω μέρος από όπου και παρέχετε το βιοαέριο, ο οποίος εγκλωβίζει το παραχθέν βιοαέριο το οποίο με κατάλληλη διαδικασία μπορούμε ακολούθως να το μετρήσουμε.



**Εικόνα 51: Όργανο σε λειτουργία**

Το εμβαδόν της κλειστής επιφάνειας που καταλαμβάνει το όργανο και ο όγκος της είναι 0,69 τετραγωνικά μέτρα και 86,35 λίτρα αντίστοιχα. Η διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας είναι μία ώρα και οι μετρήσεις παίρνονται ανά συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα.

Αφού το αέριο δείγμα συγκεντρωθεί στο εσωτερικό του βαρελιού πρέπει στην συνέχεια να συλλεχθεί και να οδηγηθεί σε έναν αέριο χρωματογράφο, ο οποίος θα μας δώσει αποτελέσματα μεγάλης ακρίβειας. Η συλλογή του βιοαερίου γίνεται από την επάνω επιφάνεια του βαρελιού στην οποία υπάρχει μια ειδικά διαμορφωμένη οπή η οποία επιτρέπει την εξαγωγή αερίου δείγματος, μέσω μιας βελόνας η οποία είναι προσαρτημένη σε μια σύριγγα, ενώ συγχρόνως εμποδίζει την εισαγωγή αέρα μέσα σε αυτό.

Για την συλλογή του βιοαερίου χρησιμοποιήσαμε αεροστεγείς σύριγγες των 60 ml, οι οποίες ήταν προσαρτημένες σε μια στρόφιγγα η οποία έκλεινε ερμητικά την σύριγγα για την αποφυγή απωλειών από τον χώρο της δειγματοληψίας μέχρι των αέριο χρωματογράφο στον οποίο έγιναν οι μετρήσεις. Παρακάτω παρατήθετε μια εικόνα των αναλώσιμων που

χρησιμοποιήθηκαν.



**Εικόνα 52: Αεροστεγή σύριγγα και στρόφιγγα**

#### **2.5.2.2 Διαδικασία μετρήσεων**

Αφού κάναμε αρχικά την ηλεκτρική μέθοδο διασκόπησης στο χώρο, η οποία ήταν απαραίτητη για να εντοπίσουμε τα σημεία όπου θα έχουμε και την μεγαλύτερη παραγωγή βιοαερίου στα οποία και πρέπει να προσαρμόσουμε την πειραματική τεχνική σταθερού θαλάμου( static chamber technique (SCT) ) ώστε τα αποτελέσματα που θα πάρουμε να είναι μετρήσιμα, τοποθετήσαμε το βαρέλι σε τέσσερα διαφορετικά σημεία στο χώρο του Μεσομυρίου, τα οποία έχουν θεωρητικά μεγάλη παροχή βιοαερίου και σε έναν σημείο στο οποίο δεν περιμένουμε την εμφάνιση βιοαερίου, το σημείο οδηγό, το οποίο βρίσκεται στην αρχή της πρώτης ζώνης στο δρόμο που έχει διανοιχτεί και κάτω από τον οποίο βρίσκονται μεγάλες ποσότητες χώματος και μπαζών άρα δεν είναι δυνατή η διέλευση του βιοαερίου.

Σε κάθε ένα από τα πέντε σημεία που τοποθετήσαμε το βαρέλι παίρναμε με την παραπάνω διαδικασία έξι μετρήσεις από κάθε σημείο στα χρονικά διαστήματα:

- 0 min,
- 5 min,
- 10 min,
- 20 min,
- 40 min και
- 60 min.

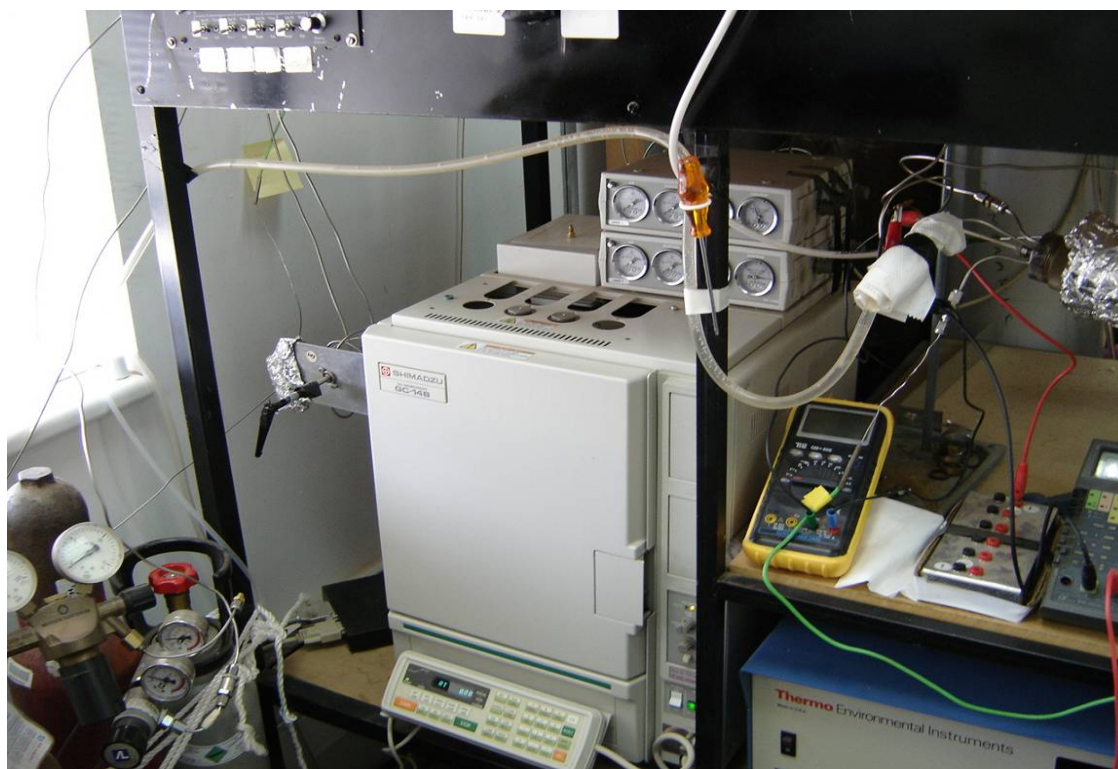
Οι μετρήσεις ανά τα παραπάνω χρονικά διαστήματα είναι απαραίτητες για να κάνουμε την αναγωγή του παραγόμενου βιοαερίου στο χρόνο και με αυτόν τον τρόπο να υπολογίσουμε την παροχή του, στο βαρέλι οδηγό οι αναμενόμενες συγκεντρώσεις πρέπει να είναι μηδενικές. Με αυτό το τρόπο θα έχουμε ένα σταθερό σημείο στο οποίο και θα έχουμε μηδενικές συγκεντρώσεις και τέσσερα άλλα σημεία στα οποία θα έχουμε κυμαινόμενες παροχές βιοαερίου και από τα οποία θα μπορούμε να δούμε χωρικά την κατανομή του παραγόμενου βιοαερίου αλλά και να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα που θα προκύψουν με την μέθοδο της ηλεκτρικής διασκόπησης ώστε να ελαχιστοποιήσουμε την πιθανότητα σφάλματος και να βελτιστοποιήσουμε την ακρίβεια των αποτελεσμάτων στα οποία θα καταλήξουμε.

#### **2.5.2.3 Αέριος χρωματογράφος**

Αφού πήραμε όλες τα δείγματα και από τις πέντε περιοχές μέτρησης κατόπιν τα μεταφέραμε στο εργαστήριο όπου και θα μετριόνταν το κάθε δείγμα σε αέριο χρωματογράφο. Ο αέριος χρωματογράφος είναι ένα όργανο υψηλής πιστότητας και ποιότητας αποτελεσμάτων στο οποίο παρέχουμε το αέριο δείγμα προς εξέταση από μια εσωτερική (φιάλες με πρότυπα αέρια και αέρια προς μέτρηση) ή εξωτερική πηγή όπως στην περίπτωση μας η οποία ήταν μια μικροσύριγγα με μια ειδικά προσαρμοσμένη βελόνα. Το αέριο δείγμα αρχικά



μεταφέρεται στην μικροσύριγγα και κατόπιν το εισάγουμε στον αέριο χρωματογράφο ο οποίος απεικονίζεται παρακάτω.



**Εικόνα 53: αέριος χρωματογράφος**

Κατόπιν το αέριο δείγμα διέρχεται από την ειδική στήλη του αέριου χρωματογράφου η οποία βρίσκεται σε ένα θερμοστατούμενο θάλαμο και διατηρείτε σε σταθερή θερμοκρασία που επιλέγεται ανάλογα με την φύση και τα συστατικά του δείγματος. Η στήλη του αέριου χρωματογράφου αποτελεί την στατική φάση της αέριας χρωματογραφίας. Από τη στήλη αυτή διέρχεται με σταθερή ροή το φέρον αέριο, το οποίο αποτελεί την κινητή φάση του αέριου χρωματογράφου και μπορεί να είναι  $H_2$ ,  $He$ ,  $N_2$  ανάλογα με το είδος του αναλυτή που έχουμε.

Αφού εισάγουμε το δείγμα αυτό αναμειγνύεται με το φέρον αέριο και προωθείτε δια μέσου της στήλης, με αυτό τον τρόπο τα συστατικά του δείγματος κατανέμονται μεταξύ της κινητής και της στατικής φάσης. Η συνεχής ρόφηση- εκρόφηση από την αέρια στην στερεή ή υγρή φάση μειώνει την

ταχύτητα με την οποία κάθε συστατικό περνάει την στήλη. Η μείωση της ταχύτητας κάθε ουσίας που περιλαμβάνεται στο δείγμα εξαρτάται από τις ιδιότητες της ουσίας όπως την πτητικότητα, την πολικότητα κτλ. Με αυτό τον τρόπο η κάθε ουσία περνάει με διαφορετική ταχύτητα μέσα από την στήλη διαχωρισμού, ξεχωρίζοντας με αυτόν τον τρόπο τις άλλες ουσίες.

Ο χρόνος που χρειάζεται μια ουσία για να διατρέξει την στήλη είναι αντιστρόφως ανάλογος με την θερμοκρασία, ενώ η θερμοκρασία είναι ανάλογη με τον αριθμό του φάσματος των ουσιών προς εξέταση. Για τον λόγο αυτό έχουμε υψηλές θερμοκρασίες στους αέριους χρωματογράφους. Τα διαχωρισμένα συστατικά εξέρχονται από το άκρο της στήλης μαζί με το φέρον αέριο και σε αυτό το σημείο ανιχνεύεται η ποσότητα τους. Κατόπιν ο ανιχνευτής παράγει ένα ηλεκτρικό σήμα ανάλογο της ποσότητας της ουσίας που εξέρχεται, το σήμα αυτό κατόπιν μεταφέρεται σαν δεδομένα σε έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή ο οποίος μας δίνει τα αποτελέσματα με την μορφή διαγράμματος (χρωματογράφημα) στο οποίο κάθε συστατικό του δείγματος σχεδιάζεται σαν μια κορυφή σε μια οριζόντια βασική γραμμή



**Εικόνα 54: Γραφική παράσταση του αέριου δείγματος στον υπολογιστή**

#### **2.5.2.4 Διαδικασία μετρήσεων αέριου χρωματογράφου**

Τα δείγματα έπρεπε να μείνουν πρώτα στο χώρο του εργαστηρίου μια έως δύο ώρες ώστε να έχουν την ίδια θερμοκρασία με αυτή του εργαστηρίου όταν θα γίνει η μέτρηση και μετά από την πάροδο αυτού του χρόνου, τα δείγματα μετρήθηκαν χωρίς χρονοτριβή για την αποφυγή απωλειών, από τις σύριγγες, με το χρόνο. Οι μετρήσεις είχαν διάρκεια τέσσερις με πέντε ώρες, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι οι απώλειες λόγω χρόνου αλλά και λόγω μεταφοράς ήταν ελάχιστες, αφού αφενός ο χρόνος που χρειάστηκε για να μετρηθεί και το τελευταίο δείγμα ήταν λιγότερος από οχτώ ώρες και αφετέρου τα μέτρα που πάρθηκαν κατά την δειγματοληψία και την μεταφορά των δειγμάτων ήταν τα ενδεδειγμένα και ήταν πολύ αυστηρά για την αποφυγή λαθών.

Κατόπιν έπρεπε να μεταφερθεί κάθε δείγμα από τη σύριγγα των 60 ml στην οποία ήταν αποθηκευμένο σε μια ειδική μικροσύριγγα με την οποία θα παρέχονταν ποσότητα 1 ml στον αέριο χρωματογράφο. Για να μεταφερθεί το δείγμα στην ειδική μικροσύριγγα χρησιμοποιήθηκε μια στρόφιγγα η οποία προσαρτήθηκε στην σύριγγα, στη συνέχεια αφαιρέθηκε λίγο από το περιεχόμενο της σύριγγας και την κλείστηκε ερμητικά, ώστε η στρόφιγγα να περιέχει και αυτή το αέριο δείγμα προς εξέταση. Κατόπιν μέσω της στρόφιγγας προστέθηκε 1 ml του δείγματος στην μικροσύριγγα και εν συνεχεία προστέθηκε στο αέριο χρωματογράφο. Κατόπιν της παραπάνω διαδικασίας προκύπτουν τα αποτελέσματα της μέτρησης στον ηλεκτρονικό υπολογιστή μετά το πέρας των οχτώ λεπτών, χρόνος ο οποίος είναι απαραίτητος για την μέτρηση ουσιών όπως το υδρόθειο.

#### **2.5.2.5 Αποτελέσματα μετρήσεων αέριου χρωματογράφου**

Αφού ολοκληρώθηκε η μέτρηση τα αποτελέσματα που προέκυψαν διέφεραν σε μεγάλο βαθμό από τα αναμενόμενα. Συγκεκριμένα όλα τα αποτελέσματα από όλα τα σημεία και για όλους τους χρόνους ήταν παρόμοια. Από την μέτρηση των συγκεντρώσεων των στοιχείων που ανιχνεύτηκαν προέκυψε ότι όλα τα δείγματα περιείχαν ατμοσφαιρικό αέρα και τίποτα άλλο. Αυτό σημαίνει ότι η συγκεκριμένη μέτρηση δεν είναι κατάλληλη για τον χώρο του Μεσομουρίου για την μέτρηση των παροχών του παραγόμενου βιοαερίου αλλά μας έδωσε τα εξής πολύ σημαντικά στοιχεία.

#### **2.5.2.6 Επεξεργασία αποτελέσματα μετρήσεων αέριου χρωματογράφου**

Η μεθανιογένεση που λαμβάνει χώρα στο περιοχή του Μεσομουρίου ακολουθεί τους εξής δύο δρόμους

- Είτε το παραγόμενο βιοαέριο παραμένει εγκλωβισμένο σε υπόγειες κοιλότητες ή στα διάκενα μεταξύ των δεματοποιημένων απορριμμάτων, ειδικά στο χώρο κάτω από την ράμπα. Αυτό έχει πολύ αρνητικά αποτελέσματα καθώς σε συνδυασμό με την μεγάλη εκρηξιμότητα του παραγόμενου βιοαερίου οδηγεί στην πιθανότητα δημιουργίας εκρήξεων και πυρκαγιών στην περιοχή.
- Είτε το βιοαέριο εκλύεται από κάποιες ρωγμές του υλικού επικάλυψης, από τις 'λίμνες' λυματολάσπης που υπάρχουν στο χώρο (δεν ήταν δυνατή η διεξαγωγή μετρήσεων πάνω σε αυτές) και από τα πλάγια τοιχώματα, που είναι ακάλυπτα. Οι διασυνδέσεις των διακένων μεταξύ των δεματοποιημένων απορριμμάτων πρέπει να φτάνουν σε μεγάλο βάθος, οδηγώντας με αυτόν τον τρόπο το μεγαλύτερο μέρος του βιοαερίου ανεμπόδιστα στον ατμοσφαιρικό αέρα από τα πλάγια τοιχώματα. Το

πρόβλημα που δημιουργεί αυτή η ανεξέλεγκτη έκλυση από τα πλάγια είναι η αδυναμία συγκράτησης και διαχείρισης του παραγόμενου βιοαερίου με επακόλουθα αρνητικά αποτελέσματα την επιβάρυνση του περιβάλλοντος και την πιθανότητα δημιουργίας πυρκαγιών.

Αφού δεν κατέσται δυνατό λόγω των ιδιοτήτων του χώρου να μετρηθεί η παροχή του παραγόμενου βιοαερίου, αποφασίστηκε η χρησιμοποίηση της πειραματικής τεχνικής σταθερού θαλάμου( static chamber technique (SCT) ) με μια τροποποίηση στον χρόνο μέτρησης, ώστε να δοθεί κατάλληλη παράταση χρόνου για να συλλεχθεί δείγμα ικανό προς μέτρηση από τον αέριο χρωματογράφο. Ο χρόνος μέτρησης ορίστηκε στις δύο ημέρες ενώ η μέτρηση θα δώσει μια ποιοτική εικόνα για τη σύσταση του παραγόμενου βιοαερίου και κατά πόσο αυτό περιέχει τοξικά συστατικά.

Ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία με την προηγούμενη και τα αποτελέσματα φαίνονται παρακάτω.

Παρατηρούμε εκτός από τα συστατικά του ατμοσφαιρικού αέρα, ο οποίος είχε εγκλωβιστεί στο βαρέλι πριν την μέτρηση, την ύπαρξη τόσο μεθανίου όσο και διοξειδίου του άνθρακα, συστατικά τα οποία αναμέναμε, αλλά δεν παρατηρείται ύπαρξη άλλων τοξικών ρύπων όπως μονοξειδίου του άνθρακα ή υδρόθειου.



## **Κεφάλαιο 3 – Μετρήσεις υγρών διασταλαγμάτων**

### **3.1 Προετοιμασία των δειγμάτων**

Προκειμένου οι αναλύσεις που θα διεξαχθούν στο εργαστήριο να είναι υψηλής ακριβείας και οι τιμές να μην αποκλίνουν από τις πραγματικές λόγω ανθρώπινου σφάλματος, πρέπει να τηρηθούν κάποιοι κανόνες. Οι κανόνες αυτοί αφορούν την γενική συμπεριφορά στο εργαστήριο κατά τις αναλύσεις των δειγμάτων και στο πεδίο κατά την δειγματοληψία. Έχουν σχέση με τα όργανα και τα εργαλεία που θα χρησιμοποιηθούν. Αυτά πρέπει να είναι σωστά βαθμονομημένα και καθαρά, να υπάρχει ο κατάλληλος εξοπλισμός, όπως γάντια, μάσκες κτλ τόσο για την ασφάλεια της ακρίβειας των μετρήσεων όσο και του προσωπικού που κάνει τις μετρήσεις.

Ακόμα όταν είναι απαραίτητο λόγω πολυπλοκότητας των μετρήσεων, πρέπει να ακολουθηθούν κάποιες διαδικασίες για την σωστή προετοιμασία των δειγμάτων. Όπως να γίνει αραίωση των δειγμάτων όταν η συγκέντρωση που θέλουμε να μετρήσουμε ξεπερνάει την ευαισθησία του οργάνου, διήθηση για την απομάκρυνση στέρεων που μπορεί να προκαλούν αυξημένη θολότητα στο δείγμα και χώνευση όποτε κρίνεται απαραίτητο. Παρακάτω γίνεται μια λεπτομερής ανάλυση αυτών των παραμέτρων.

### **3.1.1 Γενικοί κανόνες κατά την δειγματοληψία**

#### **3.1.1.1 Συλλογή δειγμάτων**

Τα δοχεία δειγματοληψίας που χρησιμοποιήσαμε ήταν όλα καινούργια και δεν είχαν ξαναχρησιμοποιηθεί σε δειγματοληψίες για την αποφυγή σφάλματος λόγω μη ικανοποιητικού πλυσίματος. Τα δείγματα ήταν όλα αντιπροσωπευτικά του αποδέκτη που πάρθηκαν, δηλαδή η δειγματοληψία έγινε περίπου από το κέντρο της κοιλότητας που περιείχε τα υγρά διασταλάγματα χωρίς να ανακινήσουμε το ίζημα του πυθμένα.

#### **3.1.1.2 Τρόπος δειγματοληψίας με μπουκάλια**

Λόγω έλλειψης βάθους των κοιλοτήτων που περιείχαν τα υγρά διασταλάγματα κρίθηκε αναγκαίο να χρησιμοποιηθεί ένα δεύτερο δοχείο μικρότερο μεγέθους με το οποίο θα τροφοδοτήσουμε το μεγαλύτερο δοχείο, όπως φαίνεται στην εικόνα 55. Όλα τα δοχεία ήταν πλυμένα και χρησιμοποιήθηκαν γάντια.

Μετά την συλλογή των δειγμάτων και αφού κλείσουμε το δοχείο χωρίς να αγγίζουμε το εσωτερικό του ή το πώμα του, μαρκάραμε σε κάθε δοχείο τον τόπο και την ημερομηνία όπως φαίνεται στην εικόνα 56.



**Εικόνα 55: Δειγματοληψία στραγγισμάτων**



**Εικόνα 56: Αρίθμηση δειγμάτων**

### **3.1.2 Γενικοί κανόνες που πρέπει να ακολουθούνται στο εργαστήριο**

Σε περιπτώσεις που δεν είναι δυνατόν να πάρουμε τις τιμές των επιθυμητών παραμέτρων στο πεδίο, οι μετρήσεις πρέπει να γίνουν σε εργαστήριο όπου υπάρχει η κατάλληλη υποδομή. Προκειμένου τα αποτελέσματα που θα προκύψουν να είναι σωστά και αξιόπιστα, πρέπει μετά την κατάλληλη δειγματοληψία, η οποία εξαρτάται από το δείγμα και τις παραμέτρους που θέλουμε να μετρήσουμε, να κάνουμε σωστή και κατάλληλη προετοιμασία των δειγμάτων προς μέτρηση.

- Τα δείγματα πρέπει να διατηρούνται σε κατάλληλη θερμοκρασία, συνήθως σε ψυγείο ή σε καταψύκτη για την αποφυγή αλλοίωσης του δείγματος λόγω χημικών και βιολογικών διεργασιών.
- Όταν πρόκειται να πραγματοποιήσουμε την μέτρηση πρέπει το δείγμα να βρίσκεται σε κατάλληλη θερμοκρασία, συνήθως δωματίου.
- Όλα τα όργανα που θα χρησιμοποιήσουμε πρέπει να είναι καθαρά και πλυμένα με απιονισμένο ή απεσταγμένο νερό για να μην επηρεάσουν τα ιόντα, τα άλατα και διάφορες προσμίξεις που τυχόν περιέχει το νερό της βρύσης την μέτρηση.
- Το προσωπικό που θα διεξάγει τις μετρήσεις πρέπει να είναι κατάλληλα καταρτισμένο και να τηρεί όλα τα μέτρα ασφαλείας.

### 3.1.3 Αραίωση

Για το προσδιορισμό των διαφόρων παραμέτρων των δειγμάτων ήταν αναγκαία η αραίωση τους. Η αραιώσεις είναι απαραίτητες για δύο λόγους:

- αν η συγκέντρωση της παραμέτρου που πρέπει να προσδιοριστεί είναι υψηλή και βρίσκεται εκτός της περιοχής μέτρησης του οργάνου.
- αν άλλες ουσίες που περιέχονται στο δείγμα παρεμποδίζουν τον προσδιορισμό της μετρούμενης παραμέτρου.

Για να πραγματοποιήσουμε την αραίωση, τα παρακάτω όργανα και βοηθητικά μέσα είναι απαραίτητα:

- Ογκομετρικές φιάλες διαφόρων μεγεθών
- Βαθμονομημένη προχοΐδα.
- Πιπέτα με έμβολο αναρρόφησης
- Αποσταγμένο ή πλήρως απιονισμένο νερό.

Με την βοήθεια των παραπάνω μπορούμε να κάνουμε μια σωστή και αξιόπιστη αραίωση της τάξης ppm-αναλυτικής, στην οποία ανήκει και η φωτομετρική μέθοδος που χρησιμοποιήσαμε κυρίως.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων που θα πάρουμε πρέπει να τα πολλαπλασιάσουμε με των συντελεστή αραίωσης ( $D_F$ ) που ορίζεται ως εξής:

$$D_F = \frac{\text{Τελικός όγκος(ολικός όγκος)}}{\text{Αρχικό ζόγκος(όγκος δείγματος)}}$$

Μια αραιώση θα πρέπει πάντα να διενεργείται κατά τέτοιο τρόπο ούτως ώστε το αποτέλεσμα μετά την αραιώση να βρίσκεται πάντα στο μέσον της περιοχής μέτρησης και ο συντελεστής αραιώσης δεν θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος του 100. Εάν είναι αναγκαίες μεγαλύτερες αραιώσεις, αυτές θα πρέπει να γίνονται σε δύο ή περισσότερα στάδια.

#### **3.1.4 Διήθηση**

Η φωτομετρική μέθοδος δεν μπορεί να προσδιορίσει αξιόπιστα πολύ θολά δείγματα για αυτόν τον λόγο τα θολά δείγματα θα πρέπει να διηθούνται πριν την μέτρηση, ώστε να απομακρύνονται σωματίδια σχετικά μεγάλου όγκου τα οποία δεν επιτρέπουν την διέλευση του φωτός μέσα από το δείγμα. Αν δεν διηθηθούν τότε τα αποτελέσματα της μέτρησης θα έχουν πολύ μεγάλες διακυμάνσεις ή αυξημένες τιμές.

Η διήθηση γίνεται εάν περάσουμε το δείγμα μας συνήθως με την βοήθεια μιας μικρής αντλίας μέσα από φίλτρο, με διάμετρο πόρων η οποία ποικίλει ανάλογα με τις ανάγκες της μέτρησης. Εάν η πρώτη διήθηση δεν είναι ικανοποιητική θα πρέπει να γίνει και δεύτερη με φίλτρο που έχει μικρότερη διάμετρο πόρων. Αν η παράμετρος που πρέπει να προσδιοριστεί βρίσκεται στα αιωρούμενα υλικά τότε θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε την μέθοδο της χώνευσης.





**Εικόνα 57: Όργανο διήθησης**

### **3.1.5 Χώνευση**

Τα υλικά που περιέχονται στο νερό μπορούν να εμφανίζονται στο προς εξέταση δείγμα με διαφορετικές μορφές: σαν ιόντα, σαν σύμπλοκα περισσότερο ή λιγότερο ισχυρά συνδεδεμένα ή σαν στερεά. Ανάλογα με τον τρόπο προεπεξεργασίας του δείγματος, τα τρία συστατικά μπορούν να διαχωριστούν.

Η χώνευση οδηγεί την παράμετρο που πρέπει να προσδιοριστεί στην κατάλληλη μορφή για ανάλυση. Τα υλικά χώνευσης στις περισσότερες περιπτώσεις είναι οξέα σε συνδυασμό με οξειδωτικά μέσα. Μόνο κατά εξαίρεση (στον προσδιορισμό του ολικού αζώτου) είναι καταλληλότερη μια αλκαλική χώνευση.

Ποιο είδος χώνευσης είναι αναγκαίο, εξαρτάται από το υγρό και το περιβάλλον του δείγματος. Εάν το δείγμα αναμένεται να περιέχει ιδιαίτερα επιβαρημένο υλικό (υψηλό ποσοστό σε οργανικές ουσίες) ή αδιάλυτες στο νερό ουσίες, η χώνευση με πυκνά οξέα δεν μπορεί να αποφευχθεί.

Για την μέτρηση των βαρέων μετάλλων ήταν απαραίτητη πρώτα η χώνευση των δειγμάτων. Η χώνευση πραγματοποιήθηκε με την παρακάτω διαδικασία:

Σε μια ογκομετρική φιάλη βρασμού των 100 ml προσθέσαμε

- τεμάχια πορσελάνης για την αποφυγή δημιουργίας φυσαλίδων κατά την διάρκεια του βρασμού
- 80 ml του δείγματος προς ανάλυση και
- 5 ml πυκνού νιτρικού οξέος ( $\text{HNO}_3$ ).

Κατόπιν σιγοβράζουμε (στους 100-120 °C )το παραπάνω δείγμα έως ότου ο όγκος του δείγματος(χωρίς τον όγκο των τεμαχίων πορσελάνης) φτάσει τα 15 ml.Εάν το χρώμα του δείγματος δεν είναι ανοιχτόχρωμο και σχετικά διαυγές συνεχίζουμε το σιγανό βρασμό προσθέτοντας πυκνό νιτρικό οξύ ( $\text{HNO}_3$ ) έως ότου το χρώμα του δείγματος δεν είναι ανοιχτόχρωμο και σχετικά διαυγές.

Μετά το πέρας της παραπάνω διαδικασίας διηθούμε το δείγμα αν χρειάζεται (πλύση δύο φορές με 5ml απιονισμένο νερό) και το μεταφέρουμε σε ογκομετρική φιάλη των 100 ml την οποία συμπληρώνουμε με απιονισμένο νερό.

Τα αποτελέσματα τις μετρήσεις των βαρέων μετάλλων θα πρέπει να πολλαπλασιαστούν με τον συντελεστή αραίωσης ( $D_F$ ) ο οποίος είναι ίσος με:

$$A * \frac{B}{C} \text{ σε mg/l}$$

Όπου

- A η συγκέντρωση του μετάλλου στο χωνευμένο διάλυμα
- B ο τελικός όγκος του χωνευμένου διαλύματος
- C ο όγκος του δείγματος



**Εικόνα 58: Διαδικασία χώνευσης**

### **3.2 Ποιοτικά χαρακτηριστικά υγρών δειγμάτων**

Παρακάτω παρουσιάζονται οι βασικές παράμετροι που μετρώνται για να ελεγχθεί η ποιότητα ενός δείγματος Στραγγισμάτων:

- **A. Οργανοληπτικές παράμετροι**

- Θολότητα

- **B. Φυσικοχημικές παράμετροι**

- Θερμοκρασία

- Ειδική αγωγιμότητα

- Αλκαλικότητα

- Ενεργός οξύτητα

- Ολικά στερεά

- **Γ. Μικροβιολογικές παράμετροι**

- Ολικά κολοβακτηρίδια
- Κοπρανώδη κολοβακτηρίδια

- **Δ. Οργανική ρύπανση**

- COD
- BOD

### **3.2.1 Θολότητα**

Μείωση της διαύγειας των στραγγισμάτων προκαλούν αιωρούμενα σωματίδια, όπως λάσπη, οργανικό και ανόργανο υλικό, διαλυτές έγχρωμες οργανικές ενώσεις, πλαγκτόν και άλλοι μικροοργανισμοί. Η Θολότητα είναι μια έκφραση της διάχυσης και της απορρόφησης του φωτός από αυτά τα σωματίδια που δυσκολεύουν τη διέλευση του φωτός. Η Θολότητα μας δίνει μια πρώτη πληροφορία για την σύσταση των στραγγισμάτων. Η μέτρηση της θολότητας έγινε οπτικά στο εργαστήριο και τα δείγματα ήταν της παρακάτω μορφής:



**Εικόνα 59: θολότητα υγρών δειγμάτων**

### **3.2.2.1 Θερμοκρασία**

Η θερμοκρασία επηρεάζει τη διαλυτότητα του οξυγόνου καθώς και την αντοχή των οργανισμών σε ορισμένους ρύπους. Η θερμοκρασία πρέπει να είναι αυτή του περιβάλλοντος, διαφορετικά υπάρχει περίπτωση να γίνουν διάφορες χημικές διεργασίες που μπορεί να αλλάξουν την χημική σύσταση του δείγματος. Οι μετρήσεις της θερμοκρασίας χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό διαφόρων μορφών αλκαλικότητας, σε μελέτες κορεσμού και σταθερότητας με αναφορά στο ανθρακικό ασβέστιο, στον υπολογισμό της αλατότητας και γενικά σε διάφορους εργαστηριακούς υπολογισμούς.

Η μέτρηση της θερμοκρασίας έγινε στο πεδίο με την ηλεκτροχημική μέθοδο και συγκεκριμένα με το φορητό πεχαμετρό, το οποίο παρουσιάζεται παρακάτω, και κυμαινόταν περίπου στην θερμοκρασία περιβάλλοντος. Αυτή η τιμή της θερμοκρασίας εγκυμονεί κινδύνους ειδικά κατά τους καλοκαιρινούς μήνες καθώς υψηλές θερμοκρασίες ευνοούν την ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών στα λήμματα, η οποία σε συνδυασμό με την τάση εξάτμισης που έχουν τα διασταλάγματα τα καθιστούν ιδιαίτερα επικίνδυνα.

### **3.2.2.2 Ειδική αγωγιμότητα**

Είναι η ικανότητα του νερού να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα. Η ικανότητα αυτή εξαρτάται από την παρουσία ιόντων, από τη συνολική τους συγκέντρωση και από τη θερμοκρασία. Διαλύματα με περισσότερα ανόργανα συστατικά είναι σχετικά καλοί αγωγοί, ενώ αντίθετα μόρια οργανικών ενώσεων που δεν διίστανται σε υδατικά διαλύματα άγουν λίγο ή καθόλου το ηλεκτρικό ρεύμα. Υπερκαθαρό νερό όπως το αποσταγμένο, θα έχει πολύ χαμηλή ειδική αγωγιμότητα, ενώ το θαλασσινό νερό θα πρέπει να έχει υψηλή ειδική αγωγιμότητα. Το βρόχινο νερό συχνά διαλύει αέρια και σκόνη και έτσι έχει



μεγαλύτερη ειδική αγωγιμότητα από το αποσταγμένο. Η ειδική αγωγιμότητα είναι μία σημαντική μέτρηση της ποιότητας του νερού γιατί δείχνει το ποσό των διαλυμένων ουσιών σ' αυτό. Όσο μεγαλύτερη είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα τόσο περισσότερες είναι οι ουσίες που περιέχει το νερό. Η αγωγιμότητα μετράται σε  $\text{Ohm}^{-1}/\text{cm}$  ή  $\text{Siemens}/\text{cm}(\text{S}/\text{cm})$ .

Η μέτρηση της αγωγιμότητας έγινε στο πεδίο με την ηλεκτροχημική μέθοδο και συγκεκριμένα με το φορητό αγωγιμόμετρό. Η τιμή της αγωγιμότητα βρέθηκε να είναι σε υψηλά επίπεδα, το οποίο μαρτυρεί μεγάλο ποσοστό διαλυμένων ουσιών και είναι ένδειξη μόλυνσης.



**Εικόνα 60: φορητό αγωγιμόμετρό**

### 3.2.2.3 Αλκαλικότητα

Αλκαλικότητα είναι η ικανότητα του νερού να εξουδετερώσει οξέα ή διαφορετικά η ικανότητα του να αντέχει σε προσθήκη οξέων. Προσθήκες οξέων γίνονται από τη βροχή ή το χιόνι αλλά και από το έδαφος σε κάποιες περιοχές. Η αλκαλικότητα δημιουργείται από τη διάλυση ανθρακικού ασβεστίου από πετρώματα στο νερό. Η αλκαλικότητα είναι σημαντική σε πολλές χρήσεις και κατεργασίες φυσικών και απόβλητων υδάτων. Επειδή η αλκαλικότητα σε πολλά επιφανειακά νερά οφείλεται στην παρουσία ανθρακικών, όξινων ανθρακικών υδροξυλίων αλλά και φωσφορικών, θεωρείται σαν δείκτης των συγκεντρώσεων αυτών των συστατικών. Στην αλκαλικότητα μπορεί επίσης να συμμετέχουν βορικά, φωσφορικά, πυριτικά ή και άλλες βάσεις αν είναι παρούσες.

Η μέτρηση της αλκαλικότητας έγινε στο πεδίο με την ηλεκτροχημική μέθοδο με το φορητό πεχαμετρό. Οι τιμές του pH είχαν αυξημένη αλκαλικότητα που σημαίνει αφενός μεγάλη περιεκτικότητα σε ανθρακικό ασβέστιο, καθώς στην περιοχή γίνονταν και ρήψη οικοδομικών υλικών, ιδιαίτερος ξεραμένου ασβέστη, και αφετέρου ότι η περιοχή του Μεσομουρίου μπορεί να εξουδετερώσει μεγάλες ποσότητες οξέων.



**Εικόνα 61: φορητό πεχάμετρο**

#### **3.2.2.4 - Ενεργός οξύτητα (pH)**

Το pH επηρεάζει σημαντικά την υδρόβια ζωή, την επεξεργασιμότητα του πόσιμου νερού, τη διάβρωση βιομηχανικών εγκαταστάσεων, αποχετευτικών συστημάτων και δικτύων νερού. Ακόμα επιδρά σε φυσικά φαινόμενα, όπως η διαλυτότητα φυσικών συστατικών στο νερό και άρα στη γενικότερη ποιότητα του νερού.

Το pH ορίζεται ως η αρνητική λογαριθμική συγκέντρωση υδρογονιόντων που περιέχει ένα διάλυμα, εκφρασμένη σε γραμμοϊόντα ανά λίτρο διαλύματος:

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

Το καθαρό νερό είναι ελάχιστα ιονισμένο και στους 25 °C η συγκέντρωση υδρογονιόντων και υδροξυλιδόντων σε moles/l διέπεται από την σχέση:

$$[\text{H}^+][\text{OH}^-] = 10^{-14} \quad \text{και} \quad [\text{H}^+][\text{OH}^-] = 10^{-7}$$

Η κλίμακα μέτρησης του pH αναφέρεται στους 25°C και είναι από 0–14. Η ουδετερότητα αντιστοιχεί σε  $\text{pH} = 7$ . Δείγματα με τιμές pH μικρότερες από 7 καλούνται όξινα και με τιμές pH μεγαλύτερες από 7 αλκαλικά.

Η καθαρή βροχή έχει  $\text{pH} \approx 5,65$  λόγω της απορρόφησης του  $\text{CO}_2$  από την ατμόσφαιρα. Στα νερά φυσικής προέλευσης το pH κυμαίνεται από 6,5–8,5. Το pH της θάλασσας είναι περίπου 8. Οι ποταμοί και οι λίμνες με λεκάνες απορρόφησης από ασβεστόχαρα και ανθρακικά πετρώματα έχουν νερά με pH προς την αλκαλική περιοχή ενώ νερά που προέρχονται από πυριτικά πετρώματα έχουν pH ελαφρώς όξινο.

Η μέτρηση του pH έγινε με την ηλεκτροχημική μέθοδο. Το σχετικό όργανο έχει ένα ηλεκτροχημικό αισθητήρα που περιλαμβάνει ένα ηλεκτρόδιο μέτρησης με μεμβράνη υάλου και ένα ηλεκτρόδιο αναφοράς. Τα σύγχρονα ηλεκτρόδια κατασκευάζονται έτσι ώστε η ηλεκτρική τάση μεταξύ των ηλεκτροδίων να είναι 0 mV όταν το pH είναι 7. Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά του pH από 7 τόσο μεγαλύτερη γίνεται και η διαφορά τάσης μεταξύ των ηλεκτροδίων. Το πεχάμετρο χρησιμοποιεί αυτό το σήμα για να υπολογίσει το pH. Πριν από κάθε μέτρηση γίνεται βαθμονόμηση του οργάνου σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Η βαθμονόμηση γίνεται σε δυο τουλάχιστον τιμές, μεταξύ των οποίων βρίσκεται το pH του δείγματος, οι οποίες απέχουν τρεις ή περισσότερες μονάδες μεταξύ τους. Πριν από κάθε μέτρηση τα ηλεκτρόδια ξεπλένονται με αποσταγμένο νερό και σκουπίζονται μαλακά με απορροφητικό χαρτί. Στη συνέχεια τα ηλεκτρόδια βυθίζονται στο δείγμα σε κατάλληλο βάθος και κινούνται με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται αρκετή κίνηση του υγρού ανάμεσα από τα ευαίσθητα στοιχεία του ηλεκτροδίου. Αν η θερμοκρασία του δείγματος διαφέρει περισσότερο από 2°C από τη θερμοκρασία των ρυθμιστικών διαλυμάτων, οι τιμές του pH που λαμβάνονται από το ηλεκτρόδιο ρέπει να

διορθωθούν. Όμως περισσότερα σύγχρονα όργανα είναι εφοδιασμένα με ηλεκτρονικά που διορθώνουν αυτόματα τη μέτρηση ώστε να αναφέρεται σε κανονική θερμοκρασία.3.2.2.5.1 Ολικά αιωρούμενα στερεά

Ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS:Total Suspended) είναι τα στερεά που παραμένουν σε ειδικό φίλτρο με διάμετρο πόρων 0,45  $\mu\text{m}$  κατά τη διήθηση του δείγματος. Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης τους ( $\text{gr/l}$ ) γίνεται με μέτρηση της διαφοράς βάρους του φίλτρου πριν και μετά τη διήθηση συγκεκριμένου όγκου δείγματος. Τα αιωρούμενα στερεά αποτελούνται από ζωντανό και νεκρό πλαγκτόν, άργιλο, ιλύ, αστικά και βιομηχανικά λύματα. Κύρια επίδραση τους είναι η αύξηση της θολότητας, με αποτέλεσμα τη μείωση της διείσδυσης του φωτός άρα και της φυτικής παραγωγής. Ένα μέρος των αιωρούμενων στερεών, τα καθιζάνοντα στερεά, εμποδίζει την αναπαραγωγή των ψαριών, καθώς καλύπτει τις επιφάνειες όπου εναποθέτουν τα αυγά τους.

Η μέτρηση των ολικών αιωρούμενων στερεών (TSS:Total Suspended) έγινε στο εργαστήριο με την μέθοδο της διήθησης σε ειδικό φίλτρο με διάμετρο πόρων 0,45  $\mu\text{m}$  (το οποίο φαίνεται παρακάτω). Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης των ολικών αιωρούμενων στερεών γίνεται με μέτρηση της διαφοράς βάρους του ξηρού φίλτρου πριν και μετά την διήθηση συγκεκριμένου όγκου δείγματος.

#### **3.2.2.5.1.1 Αρχή της μεθόδου**

Μία ποσότητα δείγματος διέρχεται από προζυγισμένο φίλτρο ινών ύαλου και το υπόλειμμα το οποίο συγκρατείται στο φίλτρο ξηραίνεται μέχρι σταθερού βάρους στους 103 - 105  $^{\circ}\text{C}$ . Η αύξηση του βάρους του φίλτρου είναι τα ολικά αιωρούμενα στερεά. Το δείγμα πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικό, γι'



αυτό απαιτείται καλή ανάδευση και αποκλεισμός τυχόν μεγάλων σωματιδίων επιπλεόντων ή συσσωματωμάτων. Ο όγκος του δείγματος πρέπει να είναι τέτοιος ώστε το στερεό υπόλειμμα να μην ξεπερνά τα 20 mg και να εξασφαλίζεται η πλήρης απομάκρυνση του ύδατος από αυτό.

#### **3.2.2.5.1.2 Υπολογισμοί**

Οι τιμές των αιωρούμενων στερεών υπολογίζονται με βάση τον τύπο:

$$SS \text{ ( mg/l )} = (( B - A ) \times 1000)/\text{ml δείγματος}$$

όπου :

- B = βάρος ηθμού μετά την διήθηση σε mg
- A = αρχικό βάρος σε mg

#### **3.2.2.5.2 Πτητικά αιωρούμενα στερεά VSS**

Προσδιορίζονται με καύση του στερεού υπολείμματος (το οποίο είναι τα αιωρούμενα στερεά) στους 550 °C. Κατά την καύση οξειδώνονται πρακτικά όλες οι οργανικές ουσίες, επομένως η απώλεια βάρους η οποία προσδιορίζει τα πτητικά στερεά. Αποτελεί μέτρο των οργανικών ουσιών που περιέχονται στα λύματα ή στα βιομηχανικά απόβλητα, αν και κατά την καύση απομακρύνονται και ορισμένα ανόργανα πτητικά συστατικά.



**Εικόνα 62: Φούρνος για την καύση του στερεού υπολείμματος**

#### **3.2.2.5.2.1 Υπολογισμοί**

Οι τιμές των πτητικών στερεών με βάση τον τύπο :

$$VSS \text{ ( mg/l )} = (( B - C ) \times 1000 ) \times 1000 / \text{ ml δείγματος}$$

όπου :

- B = βάρος κάψας και στερεού υπολείμματος πριν την καύση (mg)
- C = βάρος κάψας και στερεού υπολείμματος μετά την καύση ( mg)



**Εικόνα 63: ξηρό φίλτρο**

### **3.2.3.1 Ολικά κολοβακτηρίδια**

Τα ολικά κολοβακτηρίδια είναι μια ομάδα βακτηριδίων αρκετά διαδεδομένη στη φύση. Όλα τα μέλη των ολικών κολοβακτηριδίων είναι δυνατόν να υπάρχουν στα ανθρώπινα κόπρανα, αλλά κάποια επίσης συναντούνται και στα ζωικά κόπρανα, στο έδαφος, στο ξύλο και σε άλλα μέρη έξω από το ανθρώπινο σώμα. Έτσι η χρησιμότητα των ολικών κολοβακτηριδίων ως δείκτη κοπρανώδους ρύπανσης εξαρτάται από τον βαθμό στον οποίο τα βακτηριακά προέρχονται από τον άνθρωπο, που στην περίπτωση του Μεσομυρίου η όποια ρύπανση, εάν ανιχνευτεί, θα είναι από ανθρώπινο παράγοντα καθώς στο χώρο έχουν εναποτεθεί τεράστιες ποσότητες λυματολάσσης.

### **3.2.3.2 Κοπρανώδη κολοβακτηρίδια**

Τα κοπρανώδη κολοβακτηρίδια είναι μια υποομάδα των ολικών και έχουν κυρίως κοπρανώδη προέλευση. Ωστόσο, ακόμα και αυτή η υποομάδα περιέχει γένη όπως η *Klebsiella* που δεν έχουν κοπρανώδη προέλευση. Η *Klebsiella* συνδέεται κυρίως με απόβλητα από εργοστάσια υφασμάτων, χαρτοπολτού και χαρτοποιίας. Σε τέτοιες περιπτώσεις επιλέγουμε πιο ειδικά κοπρανώδη κολοβακτηρίδια. Για τα νερά αναψυχής, που μπορούμε να θεωρήσουμε τη θάλασσα που βρίσκεται στην κάτω πλευρά της περιοχής του Μεσομυρίου, αυτός ο δείκτης είναι ένας από πιο σημαντικούς.

### **3.2.4.1 Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (Biochemical Oxygen Demand-BOD)**

Μικροοργανισμοί όπως τα βακτήρια είναι υπεύθυνοι για την αποσύνθεση του οργανικού υλικού. Οι μικροοργανισμοί αυτοί είναι αερόβιοι που σημαίνει ότι καταναλώνουν οξυγόνο. Το BOD είναι μία μέτρηση της ποσότητας του

οξυγόνου που καταναλώνεται για την βιοχημική οξείδωσή του μείγματος των οργανικών ενώσεων στο δείγμα, με προϊόντα  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  και είναι ένα μέσο μέτρησης του οργανικού φορτίου των διασταλαγμάτων. Όταν τα επίπεδα του BOD είναι υψηλά, το διαλυμένο οξυγόνο (DO) μειώνεται λόγω κατανάλωσης του από τα βακτήρια και δημιουργούνται συνθήκες ασφυξίας για του υπόλοιπους υδρόβιους οργανισμούς. Γενικά, υψηλά επίπεδα BOD συνδυάζονται με χαμηλές τιμές DO και αντίστροφα. Σε υψηλές τιμές BOD αναπτύσσονται οργανισμοί ανθεκτικοί σε χαμηλό DO όπως σκουλήκια λάσπης, ενώ οργανισμοί με υψηλές απαιτήσεις σε DO (προνύμφες και νύμφες) ίσως δεν μπορούν να επιβιώσουν και εξαφανίζονται (οργανισμοί δείκτες).

Η βιοχημική οξείδωση είναι βραδεία. Σε χρόνο 20 ημερών έχει οξειδωθεί το 95-99% της οργανικής ύλης των λυμάτων. Δεδομένου ότι ο χρόνος αυτός είναι πολύ μεγάλος, συνήθως μετράται το BOD των πρώτων 5 ημερών ( $\text{BOD}_5$ ) όπου έχει διασπαστεί το 70-80% των οργανικών ενώσεων που περιέχουν μόνο C, H, O (αντίδραση 1), ενώ δεν έχει αρχίσει ακόμη η νιτροποίηση των αζωτούχων οργανικών ενώσεων (αντίδραση 2). Οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα είναι οι εξής :

- Αντίδραση 1:



( απλές οργανικές ενώσεις )

- Αντίδραση 2:



( αζωτούχες οργανικές ενώσεις ).

Η σημασία του BOD έγκειται στο ότι αποτελεί μέτρο της κατανάλωσης του διαλυμένου οξυγόνου από τους μικροοργανισμούς για την οξείδωση της

οργανικής ύλης η οποία είναι το κυριότερο ρυπαντικό αποτέλεσμα των αποβλήτων στους αποδέκτες. Είναι όμως προσδιορισμός ιδιαίτερα ευαίσθητος καθώς η παρουσία τοξικών ουσιών (π. χ. βαρέων μετάλλων) καταστρέφει το σύνολο ή μέρος των μικροοργανισμών και παρεμποδίζει τον παραπάνω προσδιορισμό.. Στο καθαρό νερό η τιμή του BOD<sub>5</sub> είναι 1ppm. Όταν η τιμή του BOD<sub>5</sub> προσεγγίζει τα 5ppm, το νερό έχει ρυπανθεί, τα ακατέργαστα λύματα μιας πόλης έχουν συνήθως τιμές BOD<sub>5</sub> 100 - 400mg/l, ενώ στα βιομηχανικά απόβλητα οι τιμές του BOD<sub>5</sub> μπορεί και να ξεπερνούν τα 10.000mg/l.

Η μέτρηση του BOD έγινε στο εργαστήριο με την μέθοδο του BOD<sub>5</sub> δηλαδή την μέτρηση του BOD των πρώτων 5 ημερών με την παρακάτω διαδικασία:

Αρχικά αραιώνουμε τα δείγματα μας γιατί κατά την πενθήμερη επώαση απαιτείται περισσότερο οξυγόνο από αυτό που βρίσκεται διαλυμένο στο δείγμα. Η αραιώση γίνεται σε ογκομετρική φιάλη του 1l με νερό αραιώσης που είναι ήδη έτοιμο. Η αραιώση που θα γίνει καθορίζεται από την τιμή του αναμενόμενου BOD.

Τοποθετούμε τα δείγματα σε γυάλινες φιάλες επώασης, με εσφυρισμένο πώμα, γνωστού όγκου (περίπου 300ml), οι οποίες είναι κατάλληλες για προσδιορισμό BOD<sub>5</sub>. Κάθε φιάλη και το πώμα της θα πρέπει να έχουν τον ίδιο αριθμό αναγνώρισης. Κατόπιν τις τοποθετούμε σε επωαστικό κλίβανο, ο οποίος πρέπει να είναι σκοτεινός, ώστε να αποκλείεται η πιθανότητα παραγωγής DO με το μηχανισμό της φωτοσύνθεσης και σταθερής θερμοκρασίας περίπου 20 + 1°C. Αν το προς εξέταση δείγμα είναι φτωχό σε μικροοργανισμούς, τότε πρέπει να γίνει εμβολιασμός του με πληθυσμό



μικροοργανισμών ικανό να οξειδώσει τις οργανικές ενώσεις που υπάρχουν σε αυτό, το οποίο όμως δεν χρειάστηκε στις μετρήσεις.

Οι φιάλες παραμένουν μέσα στο επωαστικό θάλαμο για πέντε ημέρες, κατά την διάρκεια το δείγμα αναδεύετε με κατάλληλο μηχανισμό και στο τέλος της πέμπτης ημέρας παίρνουμε τις τελικές μετρήσεις.

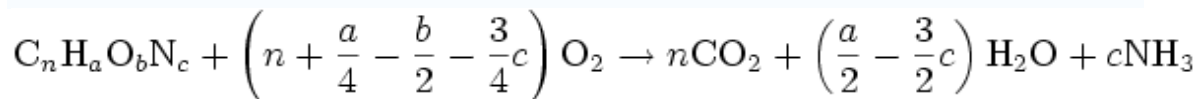


**Εικόνα 64: διαδικασία επώασης BOD<sub>5</sub>**

#### **3.2.4.2 Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (Chemical Oxygen Demand - COD)**

Η παράμετρος COD (Chemical Oxygen Demand, Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο) είναι μία ευρέως αποδεκτή παράμετρος για τον έμμεσο χαρακτηρισμό της ποιότητας του νερού, και πιο συγκεκριμένα της ρύπανσης του νερού η οποία είναι αποτέλεσμα της ύπαρξης οργανικού φορτίου. Ορίζεται σαν το ποσό του οξυγόνου που απαιτείται για τη οξείδωση των χημικών ουσιών που βρίσκονται σε συγκεκριμένη ποσότητα δείγματος νερού. Βασίζεται στο γεγονός ότι σχεδόν όλα τα οργανικά συστατικά μπορούν να οξειδωθούν πλήρως σε διοξείδιο του άνθρακα με έναν ισχυρό οξειδωτικό παράγοντα σε

όξινες συνθήκες. Το ποσό του απαιτούμενου οξυγόνου για να οξειδωθεί ένα οργανικό συστατικό σε διοξείδιο του άνθρακα, αμμωνία και νερό δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:



Το COD αποτελεί ευρέως χρησιμοποιούμενο μέτρο του οργανικού φορτίου των λυμάτων. Έχει το πλεονέκτημα της ταχύτητας (η μέτρηση της ολοκληρώνεται σε 2 με 3 ώρες ενώ η μέτρηση του BOD απαιτεί 5 ημέρες), αλλά έχει το έχει το μειονέκτημα ότι μετρά όχι μόνο βιοδιασπάσιμη αλλά και τη μη βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη. Έχει ιδιαίτερη αξία για τα απόβλητα που περιέχουν τοξικές ουσίες οι οποίες νεκρώνουν τους τοξικές ουσίες οι οποίες νεκρώνουν τους μικροοργανισμούς και παρεμποδίζουν τον προσδιορισμό του BOD. Το ποσό όμως των συνοξειδούμενων ανόργανων ενώσεων πρέπει να βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα ώστε να μην αλλοιώνουν σημαντικά τα αποτελέσματα. Ο λόγος COD/BOD είναι πάντα μεγαλύτερος από τη μονάδα, είναι δε τόσο μεγαλύτερος όσο λιγότερο βιοαποικοδομήσιμα είναι τα απόβλητα. Σε δείγματα από συγκεκριμένες πηγές γνωρίζουμε από εμπειρία την τιμή του λόγου COD/BOD. Στα αστικά λύματα ισχύει COD/BOD ~ 2,5. Η μέτρηση του COD έγινε στο εργαστήριο με το ειδικά σχεδιασμένο πακέτο μετρήσεων της εταιρίας MERCK με την εξής διαδικασία:

Πρώτα πρέπει το δείγμα προς μέτρηση να αποκτήσει θερμοκρασία δωματίου και κατόπιν ακολουθείται η προβλεπόμενη διαδικασία. Η διαδικασία προβλέπει την χρήση μιας ειδικής γυάλινης φιάλης (κυψελίδα) με barcode το οποίο αντιστοιχεί στην μέτρηση του COD. Προσθέτουμε μια μικρή ποσότητα του δείγματος μαζί με διάφορα άλλα αντιδραστήρια, τα αναμειγνύουμε και

αφήνουμε το δείγμα για κάποιο χρονικό διάστημα στην προβλεπόμενη θερμοκρασία στο ειδικό θερμοαντιδραστήρα της MERCK (εικόνα 65).

Μετά την πάροδο αυτού του χρόνου το δείγμα αφαιρείται και τοποθετείται στο ειδικό καρουσέλ, ώστε να δοθεί στο δείγμα ο κατάλληλος χρόνος για να επανέλθει σε τη θερμοκρασία δωματίου. Κατόπιν η κυψελίδα τοποθετείται στον ειδικό υποδοχέα κυψελίδων του φωτομετρικού αναλυτή Spectroquant NOVA 60 της MERCK ώστε να πάρουμε τα τελικά αποτελέσματα, τα οποία εμφανίζονται στο καντράν του μηχανήματος λίγα δευτερόλεπτα μετά την είσοδο της ειδικής γυάλινης φιάλης που περιέχει το δείγμα (εικόνα 66).



**Εικόνα 65: θερμοστάτη MERCK**



**Εικόνα 66 : Spectroquant NOVA 60**

### **3.3 Άλλα χαρακτηριστικά υγρών δειγμάτων**

#### **3.3.1 Φωσφορικά ιόντα (Ενεργά/ Ορθοφωσφορικά)**

Μια ακόμη σημαντική μέτρηση είναι αυτή του ολικού φωσφόρου, η οποία αποτελεί ένδειξη μόλυνσης και σε μεγάλες ποσότητες επηρεάζει αρνητικά τα οικοσυστήματα στα οποία καταλήγει.

Ο φώσφορος και το άζωτο αποτελούν τα βασικά θρεπτικά για την ανάπτυξη των φυτών. Ο φώσφορος όμως βρίσκεται σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις και αποτελεί τον περιοριστικό παράγοντα ανάπτυξης. Έτσι ακόμα και μια πολύ μικρή αύξηση στις συγκεντρώσεις του μπορεί να προκαλέσει πολλά προβλήματα σε υδατικά συστήματα, έχοντας τελικό αποτέλεσμα το φαινόμενο του ευτροφισμού. Οι ενώσεις του φωσφόρου υπάρχουν στα λιπάσματα και στα απορρυπαντικά.

Μορφές του φωσφόρου : Στη φύση, στοιχειακός φώσφορος (P) σπάνια υπάρχει, συνήθως είναι μέρος μιας ρίζας, όπως η φωσφορική ( $\text{PO}_4^{-3}$ ). Στα υδατικά συστήματα, αν είναι ενωμένος με οργανικά μόρια (όπως στους ιστούς φυτών και ζώων) αποτελεί τον οργανικό φώσφορο ενώ ο υπόλοιπος αποτελεί τον ανόργανο φώσφορο. Η ανόργανη μορφή του φωσφόρου είναι αυτή που προσλαμβάνεται από τα φυτά. Τα ζώα μπορούν να χρησιμοποιήσουν και τις δύο μορφές.

Οργανικός και ανόργανος φώσφορος μπορεί να είναι διαλυμένος στο νερό ή αιωρούμενος (όταν βρίσκεται προσκολλημένος στα σωματίδια της στήλης του νερού). Ο φώσφορος αλλάζει μορφές καθώς ανακυκλώνεται στο υδατικό περιβάλλον. Γίνεται στατικός μόνο όταν προσλαμβάνεται από τα φυτά ή όταν προσκολλάται σε σωματίδια που καθιζάνουν. Η μέτρηση του φωσφόρου είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη γιατί αφορά πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις της τάξης του 0,01 mg/l ή ακόμα μικρότερες. Ακόμα και σε τόσο χαμηλές συγκεντρώσεις ο φώσφορος μπορεί να έχει δραματικές επιπτώσεις στα ρέματα. Η μέτρηση της τιμής του ολικού φωσφόρου έγινε με την ίδια διαδικασία που χρησιμοποιήθηκε στη μέτρηση του COD.

### **3.3.2 Βαρέα μέταλλα**

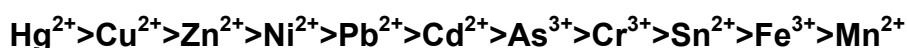
Βαρέα ονομάζονται τα μέταλλα με ατομικό βάρος μεγαλύτερο αυτού του σιδήρου (Fe). Πολλά από αυτά τα μέταλλα σε μικρές ποσότητες είναι απαραίτητα για τη δράση των βιταμινών και τις ζωτικές λειτουργίες, αλλά σε μεγάλες ποσότητες προκαλούν σειρά δυσμενών επιδράσεων. Η κύρια διαφορά από της οργανικές ενώσεις είναι ότι τα βαρέα μέταλλα δεν βιοαποικοδομούνται το οποίο έχει ως αποτέλεσμα μέσω της θρέψης των φυτών αν περάσουν στην τροφική αλυσίδα, να καταλήξουν στους ιστούς των ζώων και τελικά στους



ιστούς του ανθρώπου ως τελικού αποδέκτη. Τα Βαρέα μέταλλα τα παραμένουν στους ιστούς μέχρι το θάνατο του αποδέκτη για αυτό το λόγω είναι πολύ σημαντική η αποφυγή συχνούς προσβολής σε αυτά καθώς δρουν συγκεντρωτικά ακόμη και μετά από δεκαετίες. Η σειρά τοξικότητας για τα διάφορα μέταλλα δίδεται είναι η εξής:

Υδράργυρος > Χαλκός > Ψευδάργυρος > Νικέλιο > Μόλυβδος > Κάδμιο  
> Αρσενικό > Κασσίτερος > Σίδηρος > Μαγγάνιο

ή



Η τοξικότητα των βαρέων μετάλλων εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες μερικοί από τους οποίους είναι:

- η συγκέντρωσή τους,
- το είδος του μετάλλου,
- την ύπαρξη και συνεργατική δράση άλλων μετάλλων
- και το είδος του οργανισμού.

Και μπορεί να εκφραστεί ως νευροφυσιολογικές διαταραχές, γενετικές αλλοιώσεις των κυττάρων (μεταλλάξεις), επιδράσεις στην ενζυμική και ορμονική δραστηριότητα, στις βασικές λειτουργίες του οργανισμού, στην αναπαραγωγή, ή όσο αναφορά την πρόκληση τερατογενέσεων και καρκινογενέσεων.

Τα βαρέα μέταλλα που παρασύρονται μέσω της επιφανειακής απορροής ή με άλλους τρόπους και καταλήγουν σε υδατικούς αποδέκτες είτε καθιζάνουν ως δυσδιάλυτα άλατα ή σύμπλοκα, είτε προσροφώνται στην επιφάνεια του φυτοπλαγκτόν ή ενώσεων με σωματιδιακή μορφή, όπως ένυδρα οξείδια του σιδήρου και του μαγγανίου και τελικά καθιζάνουν, είτε απορροφώνται από διάφορους θαλάσσιους οργανισμούς.

Οι μετρήσεις των βαρέων που πραγματοποιήθηκαν είναι οι ακόλουθες:

Μέτρηση συγκέντρωσης σε μιλιγραμμάρια ανά λίτρο του:

- Μολύβδου Pb (mg/l)
- Καδμίου Cd (mg/l)
- Υδράργυρου Hg (mg/l)

Τα παραπάνω βαρέα μέταλλα επιλέχθηκαν για τους παρακάτω λόγους:

- συναντούνται συχνά σε χώρους διάθεσης απορριμμάτων
- από παλαιότερες αναλύσεις σε χώρους εναπόθεσης απορριμμάτων στην περιοχή των Χανίων και γενικά στην ευρύτερη περιοχή της Κρήτης ήταν αντιπροσωπευτικά δείγματα μόλυνσης
- Τις αρνητικές επιπτώσεις που έχουν στον άνθρωπο τα παραπάνω βαρέα μέταλλα. Ο υδράργυρος μετατρέπεται στο νερό σε μεθυλο-υδράργυρο από τους θαλάσσιους φυτικούς οργανισμούς. Τα μικρά ψάρια τρέφονται με αυτούς τους οργανισμούς, τα οποία με την σειρά τους γίνονται τροφή μεγαλύτερων ψαριών και τελικά ο υδράργυρος καταλήγει στον άνθρωπο που αποτελεί το άκρο αυτής της τροφικής αλυσίδας. Για τον λόγο αυτό στις ΗΠΑ απαγορεύεται η πώληση τροφίμων που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση εάν περιέχουν περισσότερο από 0.5 mg Hg/kg. Ο μόλυβδος επιφέρει παρενέργειες στο μυϊκό σύστημα των βοοειδών, απώλεια των δοντιών και παράλυση του λάρυγγα, σε ποσότητες τις τάξης των 25-50 mg/kg τροφής τους.
- από οικονομοτεχνική άποψη ήταν η καλύτερη επιλογή.

### **3.3.2.1 Γενικά χαρακτηριστικά Μολύβδου , Καδμίου και Υδράργυρου.**

## Μόλυβδος

Μετά την αναγνώριση της τοξικότητας του μολύβδου στην ανθρώπινη υγεία, οι βιολόγοι μελέτησαν εκτεταμένα τόσο της επιδράσεις του όσο και τους μηχανισμούς λήψης του από τους ζώντες οργανισμούς. Η τοξική επίδραση του μολύβδου στην ανθρώπινη υγεία εμφανίζεται στην αρχή σαν μια περιφερειακή νευροπάθεια. Σε ένα μεγάλο αριθμό (περίπου 160) περιστατικών δηλητηρίασης από μόλυβδο, παρουσιάστηκε χρόνια νεφρίτιδα σχεδόν σε όλους, παράλυση των κάτω άκρων κατά ποσοστό 78%, ενώ το 9% εκδήλωσε και κάποιου είδους εγκεφαλοπάθεια. Είναι πιθανή και η δράση του ως καρκινογόνου στοιχείου, αν και αυτό έχει διαπιστωθεί μόνο σε πειραματόζωα.

Ο ευκολότερος τρόπος εισόδου του μολύβδου στην κυκλοφορία του αίματος είναι η εισπνοή, εφόσον τα ιόντα του δεν απορροφούνται εύκολα από το έντερο. Παρά ταύτα οι τροφές και το νερό αποτελούν μια σημαντική πορεία εισόδου του μολύβδου προς τον οργανισμό, εφόσον μεγάλες ποσότητες από τις ενώσεις του, σωματιδιακού όντας τύπου, επικάθονται στο έδαφος.

Στο πλάσμα του αίματος και στα κύτταρα βρίσκουμε τον Pb προσδεδεμένο σε πρωτείνες. Ενώνεται ευχερώς και με την αιμοσφαιρίνη του αίματος. Ο μη προσδεδεμένος σε πρωτείνες μόλυβδος θα καταλήξει στον εγκέφαλο, όπου η τοξικότητά του με την μορφή αλλοιώσεων του εγκεφάλου είναι αποδεδειγμένη. Απεκκρίνεται γρήγορα από το σώμα μέσω των ούρων και της χολής. Παρά ταύτα μια σημαντική ποσότητα συσσωρεύεται στο σώμα όπου το 90% αυτής απαντάται στον σκελετό.

Οι κύριοι "στόχοι" του μολύβδου είναι το κεντρικό νευρικό σύστημα και το αιμοποιητικό.

## **Καδμίο**

Είναι πιο τοξικό από τον μόλυβδο, αλλά η χρήση του είναι σαφώς πιο περιορισμένη. Εισέρχεται στην ζωή μας κυρίως ως πρόσμιξη, σε ελάχιστες ποσότητες, με τον ψευδάργυρο που αποτελεί ένα πολυχρησιμοποιημένο κατασκευαστικό υλικό από τους ανθρώπους. Η κύρια χρήση του καδμίου αφορά τις επιμεταλλώσεις (>50%), τη βιομηχανία χρωμάτων, κραμάτων και πλαστικών. Εισέρχεται στον οργανισμό κυρίως από τις τροφές, περίπου 50 μg/μέρα για αυτούς που ζουν σε πόλεις. Οι καπνιστές έχουν ιδιαίτερο πρόβλημα, εφόσον ένα πακέτο τσιγάρα προσφέρει 3 μg. Λόγω της σαφώς μεγαλύτερης απορροφητικότητας του καδμίου από τους πνεύμονες παρά από το γαστρεντερικό σύστημα, υπολογίζεται ότι ένας καπνιστής του ενός πακέτου την ημέρα παίρνει μέσω των πνευμόνων την ίδια ποσότητα καδμίου με αυτή που παίρνει από τις τροφές. Δόση καδμίου πάνω από 350 mg είναι θανατηφόρος.

Το κάδμιο συσσωρεύεται στο συκώτι και στα νεφρά, όπου με την πάροδο του χρόνου τα καταστρέφει. Έλλειψη ασβεστίου από τον οργανισμό κάνει το πρόβλημα πιο έντονο, εφόσον το ασβέστιο όπως και ο ψευδάργυρος βοηθούν στην απομάκρυνση του καδμίου από τον οργανισμό.

## **Υδράργυρος**

Το πλέον τοξικό από τα βαριά μέταλλα. Σε όλες τις μορφές ο Hg καταστρέφει το συκώτι και τα νεφρά. Αν και οι παγκοσμίως παραγόμενες ποσότητες Hg είναι μικρές (δεν ξεπερνούν τους 104 τόνους/έτος) έχουν παρατηρηθεί στην ατμόσφαιρα πολλές ενώσεις Hg με επαρκή συγκέντρωση και διάρκεια ώστε να προκαλέσουν επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία .

Όταν τα άλατά του βρεθούν στο περιβάλλον αλκυλιώνονται από μικροοργανισμούς ή ένζυμα και εισέρχονται έτσι με ευκολία στο οικοσύστημα, από το οποίο ο άνθρωπος παίρνει πολλές ποσότητες κυρίως με τις τροφές (ψάρια κτλ). Ο αέρας περιέχει περίπου  $50 \text{ ng/m}^3$  υδράργυρο και κάθε άτομο εισπνέει ημερησίως  $1 \text{ }\mu\text{g}$  (του οποίου το 80% απορροφάται από τον οργανισμό). Οι αλκυλιωμένες μορφές του απορροφώνται σχεδόν ποσοτικά, ενώ οι ανόργανες κατά ένα ποσοστό 15%. Οι επιδημιολογικές πληροφορίες είναι ανεπαρκείς για να καθιερώσουμε ένα ασφαλές κριτήριο για αυτό τον ρύπο, εντούτοις ο παγκόσμιος οργανισμός υγείας έχει καθορίσει το επιτρεπτό όριο κάτω από  $40 \text{ }\mu\text{g}$  /μέρα.

### **3.3.1 Αναλύσεις**

Οι αναλύσεις των παραπάνω βαρέων μετάλλων δεν ήταν δυνατόν να πραγματοποιηθούν σε κάποιο εργαστήριο του Πολυτεχνείου Κρήτης. Έτσι έγινε πρώτα η χώνευση των δειγμάτων, με την προαναφερθείσα διαδικασία, και κατόπιν αυτά στάλθηκαν σε τεχνική εταιρία στην Γερμανία η οποία τα ανέλυσε.

### **3.4 Διαδικασία μετρήσεων**

Όλες οι μετρήσεις, εκτός αυτών της θερμοκρασίας, του pH - αλκαλικότητας και αγωγιμότητας οι οποίες ήταν δυνατόν να πραγματοποιηθούν στο πεδίο, πραγματοποιήθηκαν σε διάφορα εργαστήρια του Πολυτεχνείου Κρήτης ανάλογα με τον τομέα εξειδίκευσης που είχε το κάθε ένα. Μετρήσεις που δεν ήταν δυνατόν να πραγματοποιηθούν στο Πολυτεχνείο Κρήτης, όπως αυτές των βαρέων μετάλλων, έγιναν σε τεχνική εταιρία στην Γερμανία η οποία είναι εξειδικευμένη στο αντικείμενο.



Η διαδικασία των μετρήσεων της θολότητας, της θερμοκρασίας, της αλκαλικότητας, της ενεργού οξύτητας, ειδικής αγωγιμότητας έγιναν στο πεδίο με το φορητό πεχάμετρο και αγωγιμόμετρο όπως αναφέρεται παραπάνω, ενώ αυτή των ολικών στερεών, του COD και του BOD έγινε στο εργαστήριο με την προαναφερόμενη διαδικασία. Για την μέτρηση των μικροβιολογικών παραμέτρων των ολικών κολοβακτηριδίων και των κοπρανωδών κολοβακτηριδίων χρησιμοποιήσαμε την μέθοδο της διήθησης η οποία είναι η εξής:

### **3.4.1 Μέθοδος διήθησης**

#### **3.4.1.1 Αρχή μεθόδου**

Η μέθοδος φίλτρου δίνει μία άμεση μέτρηση των βακτηρίων που βρίσκονται σε ένα δεδομένο όγκο νερού. Ένας συγκεκριμένος όγκος διηθείται μέσω μιας μεμβράνης διαμέτρου 0,45  $\mu\text{m}$  και τα βακτήρια κατακρατούνται στην επιφάνεια της. Η μεμβράνη κατόπιν τοποθετείται σε κατάλληλο θρεπτικό μέσο και επωάζεται στην κατάλληλη θερμοκρασία. Οι χαρακτηριστικές αποικίες που αναπτύσσονται μπορούν να μετρηθούν άμεσα. (Κάθε αποικία προέρχεται από ένα βακτήριο και άρα ο αριθμός των αποικιών είναι ο αριθμός των βακτηρίων στο συγκεκριμένο όγκο του νερού).

#### **3.4.1.2 Επιλογή του σωστού όγκου δείγματος διήθησης**

Ο ιδανικός αριθμός αποικιών ανά μεμβράνη είναι μεταξύ 20 και 80. Άρα θα πρέπει να επιλεγεί ένας τέτοιος όγκος ώστε να δώσει ένα σχετικό αριθμό αποικιών. Εμείς επειδή έχουμε στραγγίσματα επιλέγουμε όγκο τάξης μεγέθους 0,0001 ml.

### **3.4.1.3 Πειραματικό μέρος**

Συσκευές και όργανα

- Θάλαμος επώασης
- Κλίβανος υγρής αποστείρωσης
- Συσκευή διήθησης (χωνιά, βάση) και ηλεκτρική αντλία κενού Φιάλη κενού
- Φλόγα Bunsen
- Μεγεθυντικός φακός για μέτρηση αποικιών (Colony counter) Λαβίδα με στρογγυλεμένα άκρα

**Υλικά**

- Τρυβλία Petri 50 mm
- Απορροφητικές βάσεις 47 mm
- Αμπούλες θρεπτικού υλικού MF-Endo κατάλληλου για ανάπτυξη ολικών κολοβακτηριδίων
- Αμπούλες θρεπτικού υλικού M-FC κατάλληλου για ανάπτυξη κοπρανωδών κολοβακτηριδίων
- Αμπούλες θρεπτικού υλικού KF κατάλληλου για ανάπτυξη κοπρανωδών στρεπτόκοκκων
- Φίλτρα grid (με τετραγωνάκια) διαμέτρου 0,45  $\mu\text{m}$
- Αποστειρωμένο νερό

**Γυαλικά**

- Φιάλες δειγματοληψίας γυάλινες ή πλαστικές αποστειρωμένες 500 ml  
Ογκομετρικοί κύλινδροι διαφόρων όγκων
- Ογκομετρικές φιάλες για αραιώσεις
- Πιππέτες 1 ml, 10 ml

#### **3.4.1.4 Δειγματοληψία**

Οι φιάλες δειγματοληψίας που χρησιμοποιούμε είναι γυάλινες ή πλαστικές, αποστειρωμένες.

- Βυθίζουμε τη φιάλη στο νερό κλειστή και ανεστραμμένη.
- Ανοίγουμε τη φιάλη μέσα στο νερό και με μία ελαφρά κλίση τη γεμίζουμε.
- Κλείνουμε τη φιάλη με το πώμα το οποίο κρατάμε προσεκτικά (μόνο από την εξωτερική πλευρά).
- Διατηρούμε το δείγμα στο ψυγείο (4°C) κατά τη μεταφορά του στο εργαστήριο.

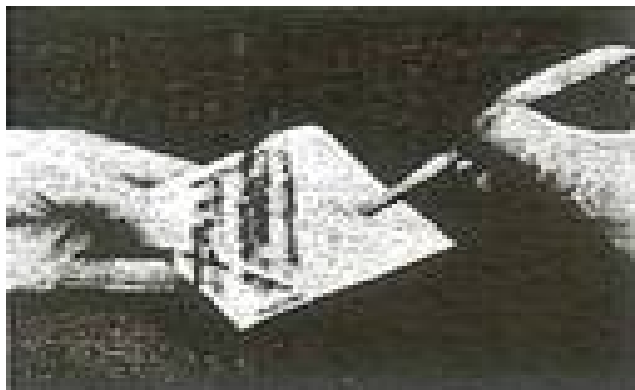
#### **3.4.1.5 Προετοιμασία τρυβλίων με το θρεπτικό μέσο**

Στα τρυβλία 50 mm τοποθετούμε τις απορροφητικές βάσεις και προσθέτουμε την αμπούλα με το κατάλληλο έτοιμο θρεπτικό υλικό (2ml) για κάθε τρυβλίο. Το θρεπτικό υλικό για τα ολικά κολοβακτηρίδια έχει βαθύ κόκκινο χρώμα, ενώ για τα κοπρανώδη πιο ανοικτό κόκκινο που γίνεται μπλε όταν τοποθετηθεί στο τρυβλίο. Για τους κοπρανώδεις στρεπτόκοκκους το θρεπτικό υλικό έχει ανοικτό μοβ χρώμα και γίνεται διαφανές μετά την τοποθέτηση στο τρυβλίο.



#### 3.4.1.6 Διήθηση

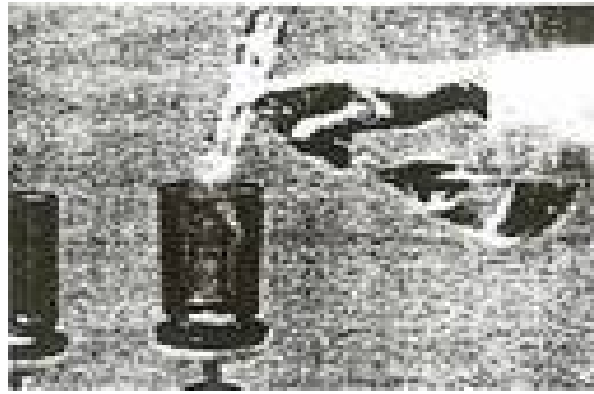
- Με αποστειρωμένη λαβίδα (την περνάμε πάνω από φλόγα), τοποθετούμε πάνω στην βάση της υποδοχής διήθησης, τη μεμβράνη.



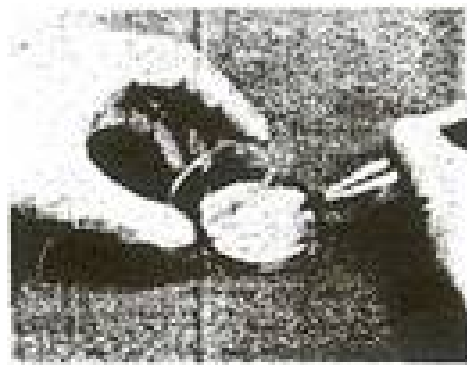
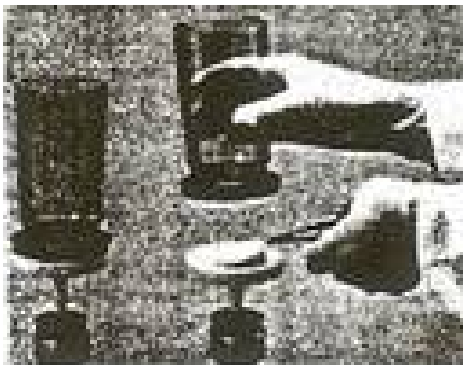
- Επειδή η συσκευή διήθησης μπορεί να δεχθεί τρία χωνιά ταυτόχρονα, διηθούμε τρία δείγματα κάθε φορά. Προσαρμόζουμε τα χωνιά στη θέση τους και διηθούμε πρώτα τα δείγματα ελέγχου (νερό ξεπλύματος). Ακολουθούμε την παρακάτω διαδικασία για όλα τα δείγματα και για τους διαφορετικούς όγκους που έχουμε επιλέξει.



- Ανοίγουμε την αντλία και ξεκινά η διήθηση.
- Όταν έχει περάσει όλο το δείγμα ξεπλένουμε το χωνί με 20-30 ml αποστειρωμένο νερό για 2-3 φορές. Σταματάμε την αναρρόφηση πριν στεγνώσει εντελώς η μεμβράνη.

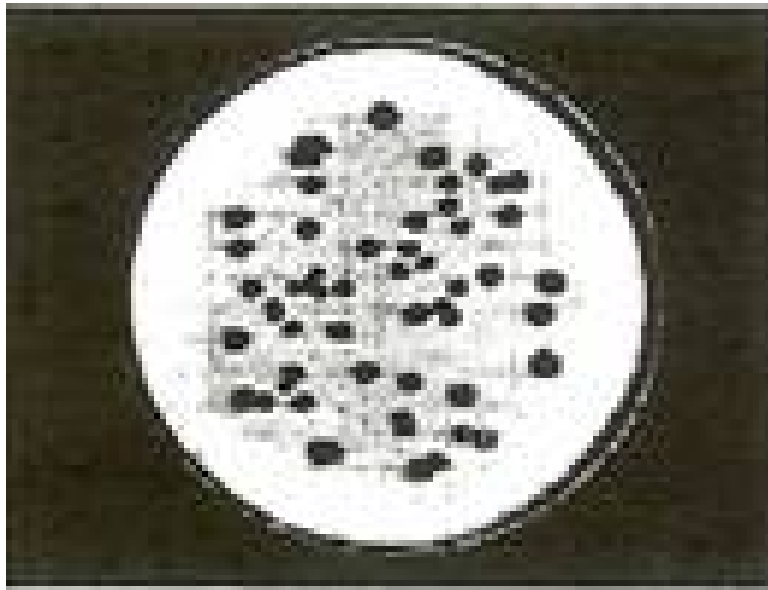


- Αφαιρούμε τη μεμβράνη από τη συσκευή διήθησης και την τοποθετούμε πάνω στο τρυβλίο με το θρεπτικό υλικό.



- Αναστρέφουμε το τρυβλίο και το βάζουμε για επώαση στην κατάλληλη θερμοκρασία και για τον κατάλληλο χρόνο για κάθε βακτηριακό δείκτη. Για τα ολικά κολοβακτηρίδια στους 35°C για 20-22 ώρες, για τα κοπρανώδη κολοβακτηρίδια στους 44,5 °c για 22-26 ώρες
- Αφού ολοκληρωθεί η επώαση παρατηρούμε τα τρυβλία και μετρούμε τις αποικίες που έχουν δημιουργηθεί. Αυτό μπορεί να γίνει με τη χρήση ειδικής συσκευής για τη μέτρηση αποικιών (colony counter). Κάθε βακτηριακός δείκτης εμφανίζεται στο θρεπτικό μέσο που χρησιμοποιήσαμε με συγκεκριμένο χρώμα. Για τα ολικά κολοβακτηρίδια πρέπει να μετρήσουμε τις αποικίες με βαθύ κόκκινο χρώμα με μεταλλική

γυαλάδα, για τα κοπρανώδη κολοβακτηρίδια τις αποικίες με μπλε μεταλλικό χρώμα. Οι αποικίες με διαφορετικό χρώμα από αυτό που αντιστοιχεί σε κάθε βακτηριακό δείκτη δε μετρώνται, αν και είναι περιορισμένες λόγω της επιλεκτικότητας της θερμοκρασίας και του χρησιμοποιούμενου θρεπτικού μέσου.



#### **3.4.1.7 Δείγματα ελέγχου (τυφλά)**

Μαζί με τα δείγματα αναλύουμε και τα τυφλά δείγματα του πεδίου καθώς και τα παρακάτω εργαστηριακά τυφλά :

**Αρνητικά, τρυβλία :** Διηθούμε ένα όγκο (ίσο με του δείγματος) νερού από αυτό που χρησιμοποιούμε για να ξεπλύνουμε το χωνί. Ακολουθούμε την ίδια διαδικασία όπως των δειγμάτων. Κανονικά δεν θα πρέπει να πάρουμε καμία καλλιέργεια. Αυτή η διαδικασία χρησιμοποιείται για να ελέγξουμε πιθανή επιμόλυνση του δείγματος στο εργαστήριο.

**Θετικά τρυβλία :** Διηθούμε ένα δείγμα που γνωρίζουμε ότι έχει βακτήρια, όπως είναι δείγματα βιολογικών καθαρισμών. Το φίλτρο αυτό θα πρέπει να δώσει άφθονες καλλιέργειες. Αυτά τα τρυβλία χρησιμοποιούνται για να



ανιχνεύσουμε πιθανά λάθη ή μεγάλη παρουσία ουσιών κατά την ανάλυση των δειγμάτων στο εργαστήριο που αναστέλλει την ανάπτυξη βακτηρίων.

**Replicates δείγματα :** Ένα δείγμα χωρίζεται σε υποδείγματα και το καθένα από αυτά αναλύεται χωριστά. Αυτά τα υποδείγματα είναι αντίγραφα του ίδιου δείγματος. Τα υποδείγματα διαφορετικών όγκων είναι πολύ χρήσιμα για να πάρουμε το βέλτιστο αριθμό αποικιών ανά μεμβράνη. Συνήθως υποδείγματα των 100, 10, και 1 ml διηθούνται για να πάρουμε ένα αριθμό αποικιών ανά μεμβράνη που μπορεί να μετρηθεί με ακρίβεια (αριθμός μεταξύ 20 και 80). Αυτή η μεμβράνη επιλέγεται για την καταγραφή των αποτελεσμάτων κάνοντας αναγωγή στα 100 ml.

### 3.5 Αναλυτικά αποτελέσματα μετρήσεων

#### 1<sup>η</sup> Δειγματοληψία (Χειμερινοί μήνες)

A/A	Περιοχή δειγματοληψίας	Τοποθεσία	Χρώμα	Θερμοκρασία °C	pH	Αγωγιμότητα mS/cm	COD (mg/l)
1	Μεσομούρι	Περιοχή 1 Είσοδος	Καφετί ανοιχτό	18,3	8,87	3,49	1720
2	Μεσομούρι	Περιοχή 1 (55, 5)	Καφετί	17,8	8,45	5,66	1700
3	Μεσομούρι	Περιοχή 1 ‘Λίμνη’	Πρασινωπό	16,5	10,9	2,51	1580
4	Μεσομούρι	Περιοχή 1 Δρομάκι λάκκος αριστερά	Καφετί (δημιουργία φυσαλίδων)	17,7	7,8	6,76	6020
5	Μεσομούρι	Τέλος περιοχής 1 – Αρχή 2 Τέρμα δεξιά	Καφετί σκούρο	16,8	8,42	9,4	2500
6	Μεσομούρι	Περιοχή 2 Αριστερά τέρμα	Μαύρο (πολύ πυκνό)	18,5	8,28	19,57	5860

A/A	Περιοχή δειγματοληψίας	Τοποθεσία	Ολικός P (mg/l)	BOD <sub>5</sub> (mg/l)	Άζωτο N (mg/l)	Ολικά αιωρούμενα στερεά TSS (gr/l)	Πτητικά στερεά (gr/l)	Ολικά Κολοβακτηρίδια / l
1	Μεσομούρι	Περιοχή 1 Είσοδος	1,30	188	180	0,014	0,009	70.000
2	Μεσομούρι	Περιοχή 1 (55, 5)	10,8	123	200	0,066	0,051	190.000
3	Μεσομούρι	Περιοχή 1 ‘Λίμνη’	4	187	460	0,04	0,01	20.000
4	Μεσομούρι	Περιοχή 1 Δρομάκι λάκκος αριστερά	244	916	1150	0,12	0,08	5.200.000
5	Μεσομούρι	Τέλος περιοχής 1 – Αρχή 2 Τέρμα δεξιά	7,3	227	300	0,12	0,092	2.700.000
6	Μεσομούρι	Περιοχή 2 Αριστερά τέρμα	29,4	696	1950	1,58	0,74	8.600.000

A/A	Περιοχή δειγματοληψίας	Τοποθεσία	Κοπρανώδη Κολοβακτη- ρίδια / l	Μόλυβδος Pb (mg/l)	Κάδμιο Cd (mg/l)	Υδράργυρος Hg (mg/l)	Παρατη- ρήσεις
1	Μεσομούρι	Περιοχή 1 Είσοδος	25.000	< 0,01875	< 0,001875	0,000045	
2	Μεσομούρι	Περιοχή 1 (55, 5)	0	< 0,01875	< 0,001875	0,000073125	
3	Μεσομούρι	Περιοχή 1 ‘Λίμνη’	0	< 0,01875	0,039375	0,00043125	
4	Μεσομούρι	Περιοχή 1 Δρομάκι λάκκος αριστερά	0	< 0,01875	< 0,001875	0,000225	
5	Μεσομούρι	Τέλος περιοχής 1 – Αρχή 2 Τέρμα δεξιά	5.000	< 0,01875	< 0,001875	0,000091875	
6	Μεσομούρι	Περιοχή 2 Αριστερά τέρμα	100.000	< 0,01875	< 0,001875	0,00015	

## 2<sup>η</sup> Δειγματοληψία (καλοκαιρινοί μήνες)

A/A	Περιοχή δειγματοληψίας	Τοποθεσία	Χρώμα	Θερμοκρασία °C	pH	Αγωγιμότητα mS/cm	COD (mg/l)
1	Μεσομούρι	Περιοχή 1 (55, 5)	Μαύρο	22,1	9,08	19,3	8060
2	Μεσομούρι	Περιοχή 1 Δρομάκι λάκκος αριστερά	Μαύρο	23,4	8,06	8,5	15000
3	Μεσομούρι	Τέλος περιοχής 1 – Αρχή 2 Τέρμα δεξιά	Μαύρο	23,8	8,91	15,29	6940
4	Μεσομούρι	Περιοχή 1 ‘Λίμνη’	Πρασινωπό	21,7	9,64	2,36	1300

A/A	Περιοχή δειγματοληψίας	Τοποθεσία	Ολικός P (mg/l)	Άζωτο N (mg/l)	Ολικά αιωρούμενα στερεά TSS (gr/l)	Πτητικά στερεά (gr/l)	Ολικά Κολοβακτη- ρίδια / l
1	Μεσομούρι	Περιοχή 1 (55, 5)	88	1600	0,47	0,39	2.200.000
2	Μεσομούρι	Περιοχή 1 Δρομάκι λάκκος αριστερά	456	3900	32,3	22,5	4.200.000
3	Μεσομούρι	Τέλος περιοχής 1 – Αρχή 2 Τέρμα δεξιά	43	2000	1,72	0,59	6.300.000
4	Μεσομούρι	Περιοχή 1 ‘Λίμνη’	4	900	0,25	0,13	890.000

A/A	Περιοχή Δειγματο- ληψίας	Τοποθεσία	Κοπρανώδη Κολοβακτη- ρίδια / l	BOD <sub>5</sub> (mg/l)	Μόλυβδος Pb mg/l	Κάδμιο Cd mg/l	Υδράργυ- ρος Hg mg/l	Παρατη- ρήσεις
1	Μεσομούρι	Περιοχή 1 (55, 5)	0	200	<0,1	<0,01	0,0001837 5	
2	Μεσομούρι	Περιοχή 1 Δρομάκι Λάκκος αριστερά	0	1300	0,15375	0,0024375	0,0013875	
3	Μεσομούρι	Τέλος περιοχής 1 – Αρχή 2 Τέρμα δεξιά	0	400	<0,1	<0,01	0,0002437 5	
4	Μεσομούρι	Περιοχή 1 ‘Λίμνη’	10.000	200	<0,1	<0,01	0,0000656 25	

### 3.5.1 Τυπικές τιμές στραγγισμάτων

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΌΡΙΑ (mg/l)	ΤΥΠΙΚΗ ΤΙΜΗ (mg/l)
BOD <sub>5</sub>	2000-30000	10000
TOC	1500-20000	6000
COD	3000-45000	18000
Ολικά αιωρούμενα στερεά	200-1000	500
Οργανικό άζωτο	10-600	200
Αμμωνιακό άζωτο	10-800	200
Νιτρικά	5-40	25
Ολικός φώσφορος	1-70	30
Ορθοφωσφορικά	1-50	20
Αλκαλικότητα ως CaCO <sub>3</sub>	1000-10000	3000
PH	5,3-8,5	6
Ολική σκληρότητα ως CaCO <sub>3</sub>	300-10000	3500
Ασβέστιο	200-3000	1000
Μαγνήσιο	50-1500	250
Κάλιο	200-2000	300
Νάτριο	200-2000	500
Χλώριο	100-3000	500
Θείο	100-3000	500
Ολικός Σίδηρος	50-600	60

Πίνακας 1: Τυπική σύνθεση των στραγγισμάτων ενός ΧΥΤΑ

Πηγή: Pealy H, et al (1986)

ΣΥΣΤΑΤΙΚΟ (mg/l)	ΝΕΟΣ Χ.Υ.Τ.Α. (ΚΑΤΩ ΑΠΟ 2 ΕΤΗ) (mg/l)		ΠΑΛΑΙΟΣ Χ.Υ.Τ.Α. (mg/l)
	Εύρος	Τυπικές τιμές	Τιμές άνω δεκαετίας.:
BOD	2.000 - 30.000	10.000	100 - 200
TOC	1.500 - 20.000	6.000	80 - 160
COD	3.000 - 60.000	18.000	100 - 500
TSS	200 - 2.000	500	100 - 400
Οργανικό N	10 - 800	200	80 - 120
NH <sub>3</sub> -N	10 - 800	200	20 - 40
NO <sub>3</sub>	5 - 40	25	5 - 10
Ολικός P, Ορθοφωσφορικά	5 - 100	30	5 - 10
Αλκαλικότητα σε CaCO <sub>3</sub>	1.000 - 10.000	3.000	200 - 1.000
PH	4,5 - 7,5	6	6,6 - 7,5
Ολική σκληρότητα	300 - 10.000	3.500	200 - 500

**Πίνακας 2: Σύθεση των στραγγισμάτων σε σχέση με την ηλικία του ΧΥΤΑ**

Πηγή: Tchobanoglous, Theisen & Vigil (1993)

Οι παραπάνω πίνακες μας πληροφορούν για την τυπική σύθεση των διαφόρων παραμέτρων των στραγγισμάτων των ΧΥΤΑ. Τα στραγγίσματα προορίζονται για βιολογική επεξεργασία καθώς οι τιμές τους είναι πολύ



αυξημένες σε σχέση με τις επιτρεπόμενες τιμές του πόσιμου νερού που παραθέτονται παρακάτω.

### **3.5.2 Σχολιασμός αποτελεσμάτων**

Οι παραπάνω δυο δειγματοληψίες είναι αντιπροσωπευτικές της σύνθεσης των στραγγισμάτων που παράγονται από το χώρο εναπόθεσης απορριμμάτων του Μεσομουρίου. Η πρώτη αποτελεί το μέσο όρο των αναλύσεων των δειγμάτων που πάρθηκαν κατά τους χειμερινούς μήνες και η δεύτερη των αντίστοιχων κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Γενικά κατά τους καλοκαιρινούς μήνες οι συγκεντρώσεις των διαφόρων παραμέτρων είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες των χειμερινών. Αυτό είναι φυσιολογικό αφού κατά τους καλοκαιρινούς μήνες λόγω εξάτμισης και απουσίας κατακρημνισμάτων τα στραγγίσματα έχουν πιο πυκνή σύσταση. Ειδικότερα για την κάθε παράμετρο παρατίθεται αναλυτικός σχολιασμός.

**Θολότητα:** το χρώμα των δειγμάτων είναι σκούρο, πράγμα που υποδηλώνει την ύπαρξη αιωρούμενων σωματιδίων όπως λάσπη, οργανικό και ανόργανο υλικό, διαλυτές έγχρωμες οργανικές ενώσεις, πλαγκτόν και άλλοι μικροοργανισμοί. Το πιο ανοιχτόχρωμο δείγμα είναι αυτό με την ονομασία 'Λίμνη', με πρασινωπό χρώμα, στο οποίο κατά τους καλοκαιρινούς μήνες παρατηρήθηκε γόνος βατραχιών, γεγονός που μας πληροφορεί για την παρουσία οργανικού υλικού και την απουσία υψηλής τοξικότητας. Το χρώμα αυτό οφείλεται πιθανότατα στην αραίωση των στραγγισμάτων της συγκεκριμένης περιοχής από τα κατακρημνίσματα λόγω της μορφολογίας του χώρου.

**Ολικά αιρούμενα στερεά (TSS):** Ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS: Total Suspended) είναι τα στερεά που παραμένουν σε ειδικό φίλτρο με διάμετρο

πόρων 0,45  $\mu\text{m}$  κατά τη διήθηση του δείγματος. Οι τιμές των TSS κατά τους χειμερινούς μήνες κυμαίνονται από 0,014 gr/l έως 1,58 gr/l και κατά τους καλοκαιρινούς μήνες από 0,25 gr/l έως 1,72 gr/l. Η διαφοροποίηση στην τιμή του δείγματος 'Περιοχή 1, δρομάκι λάκκος αριστερά', που είναι 32,3 gr/l κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, οφείλεται στην πολύ πυκνή σύσταση του δείγματος λόγω λυματολάσπης. Οι τιμές των δειγμάτων κατά τους καλοκαιρινούς μήνες είναι λίγο υψηλότερες, κάτι που είναι φυσιολογικό λόγω τις εξάτμισης και της σχεδόν μηδενικής βροχόπτωσης. Οι παραπάνω τιμές μας πληροφορούν ότι τα στραγγίσματα του Μεσομουρίου περιέχουν πολλά σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη από 0,45  $\mu\text{m}$ , γεγονός που κάνει την σύσταση τους πιο πυκνή, ενώ αυξάνουν και τη θολότητα.

**Πτητικά στερεά:** Οι τιμές των πτητικών στερεών κατά τους χειμερινούς μήνες κυμαίνονται από 0,009 gr/l έως 0,74 gr/l και κατά τους καλοκαιρινούς μήνες από 0,13 gr/l έως 0,59 gr/l. Η διαφοροποίηση στην τιμή του δείγματος 'Περιοχή 1, δρομάκι λάκκος αριστερά' κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, που είναι 22,5 gr/l, οφείλεται στην πολύ πυκνή σύσταση του δείγματος λόγω λυματολάσπης. Η μέτρηση αυτή μας πληροφορεί για το ποσό των οργανικών ουσιών που χρειάζονται μεγάλη θερμοκρασία (550  $^{\circ}\text{C}$ ) για να οξειδωθούν. Οι τιμές από το Μεσομύρι δείχνουν την ύπαρξη αρκετών τέτοιων ουσιών.

**Θερμοκρασία:** η διακύμανση της θερμοκρασίας των στραγγισμάτων οφείλεται στην διαδοχή των εποχών. Έτσι κατά τους καλοκαιρινούς μήνες έχουμε υψηλότερες θερμοκρασίες από τους χειμερινούς. Κατά τους χειμερινούς μήνες η θερμοκρασία κυμαίνεται από 16,8 έως 18,5  $^{\circ}\text{C}$  και τους καλοκαιρινούς από 21,7 έως 23,8  $^{\circ}\text{C}$ . Οι διακυμάνσεις μέσα στην ίδια περίοδο μπορεί να οφείλονται είτε σε διαφορετική θέρμανση από τον ήλιο ανάλογα με

τη θέση δειγματοληψίας είτε σε διάφορες χημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στα δείγματα. Σημειώνεται ότι κατά τους καλοκαιρινούς μήνες οι συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας ευνοούν το ρυθμό των χημικών ή βιολογικών διεργασιών στα στραγγίσματα.

**Ολικός φώσφορος (P) και ολικό άζωτο (N):** οι τιμές του ολικού αζώτου και φωσφόρου είναι πάρα πολύ υψηλές αλλά περίπου της ίδιας τάξης με της αναμενόμενες από την βιβλιογραφία (πίνακες 1 και 2). Όπως ήταν αναμενόμενο η τιμές των παραμέτρων αυτών κατά τους καλοκαιρινούς μήνες είναι υψηλότερες από τις αντίστοιχες κατά τους χειμερινούς. Η παραπάνω υψηλές τιμές φανερώνουν την υψηλή συγκέντρωση οργανικού υλικού στα στραγγίσματα με όλες τις αρνητικές συνέπειες όπως του ευτροφισμού που αναφέρθηκαν παραπάνω. Στο σημείο δειγματοληψίας 'Περιοχή 1, δρομάκι λάκκος αριστερά' βρίσκουμε τις υψηλότερες συγκεντρώσεις φωσφόρου και αζώτου, πολύ μεγαλύτερες από τις αναμενόμενες, που οφείλονται στην ύπαρξη μεγάλων ποσοτήτων λυματολάσπης που επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την σύσταση του δείγματος.

**Ενεργός οξύτητα pH:** Το pH των στραγγισμάτων κυμαίνεται κατά τους χειμερινούς μήνες από 7,8 έως 10,9 και κατά τους καλοκαιρινούς μήνες από 8,06 έως 9,64. Το επίπεδο διακύμανσης των τιμών του pH είναι άνω του 7, γεγονός που μας πληροφορεί για την αλκαλική φύση των στραγγισμάτων. Επίσης οι τιμές είναι λίγο υψηλότερες από τις αναμενόμενες, βάση βιβλιογραφίας, που κυμαίνονται από 5,3 έως 8,5. Αυτό συμβαίνει γιατί τα στραγγίσματα περιέχουν ασβεστούχες ή ανθρακικές ουσίες που αυξάνουν την αλκαλικότητα του δείγματος.

**Αγωγιμότητα:** Κατά τους χειμερινούς μήνες η αγωγιμότητα κυμαίνεται από 2,51 έως 9,4 mS/cm με εξαίρεση την τιμή της 'περιοχής 2,αριστερά τέρμα' της οποίας η τιμή βρέθηκε 19,57 mS/cm. Αυτή η αυξημένη τιμή οφείλεται στην μεγάλη πυκνότητα του δείγματος και στην ύπαρξη πολλών αιωρούμενων στερεών και διαλυμένων ουσιών σε αυτό. Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες η αγωγιμότητα αναμένεται να έχει μεγαλύτερες συγκεντρώσεις, αφού είναι ανάλογη της πυκνότητας των δειγμάτων. Οι τιμές της κυμαίνονται από 8,5 έως 19,3 mS/cm με εξαίρεση την τιμή 2,36 mS/cm αφορά την περιοχή 'Λίμνη' οι οποία περιείχε υγρά που ήταν αποτέλεσμα κυρίως των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και επομένως έχουν μικρή αγωγιμότητα. Η τιμή της αγωγιμότητας δείχνει το ποσό των διαλυμένων ουσιών μέσα στα δείγματα. Όπως παρατηρούμε αυτό είναι μεγάλο, ιδιαίτερα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες που έχουμε το φαινόμενο της εξάτμισης και την απουσία ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, με συνέπεια να έχουμε πιο πυκνά δείγματα.

**Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD) και χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD):** Το BOD όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω είναι μία μέτρηση της ποσότητας του οξυγόνου που καταναλώνεται για την βιοχημική οξείδωσή του μείγματος των οργανικών ενώσεων στο δείγμα και είναι ένα μέσο μέτρησης του οργανικού φορτίου των διασταλαγμάτων. Όταν τα επίπεδα του BOD είναι υψηλά, το διαλυμένο οξυγόνο (DO) μειώνεται λόγω κατανάλωσης του από τα βακτήρια και δημιουργούνται συνθήκες ασφυξίας για τους υπόλοιπους υδρόβιους οργανισμούς. Το COD ορίζεται σαν το ποσό του οξυγόνου που απαιτείται για τη οξείδωση των χημικών ουσιών που βρίσκονται σε συγκεκριμένη ποσότητα δείγματος νερού και αποτελεί επίσης

ευρέως χρησιμοποιούμενο μέτρο του οργανικού φορτίου των λυμάτων. Στα δείγματα που πάρθηκαν κατά τους χειμερινούς μήνες τα επίπεδα του BOD κυμαίνονταν από 123 έως 916 mg/l και του COD από 1580 έως 6020 mg/l. Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες τα επίπεδα του BOD κυμαίνονταν από 200 έως 1300 mg/l και του COD από 1300 έως 15000 mg/l. Παρατηρούμε ότι οι τιμές των COD και BOD κατά τους καλοκαιρινούς μήνες είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες κατά τους χειμερινούς. Αυτό δικαιολογείται αφού κατά τους καλοκαιρινούς μήνες έχουμε το φαινόμενο της εξάτμισης και την απουσία ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, με συνέπεια να έχουμε πιο πυκνά δείγματα. Επίσης οι τιμές του COD κατά τη διάρκεια και των δυο χρονικών περιόδων είναι μεγαλύτερες από τις τιμές του BOD αυτό είναι φυσιολογικό αφού ο λόγος COD/BOD είναι πάντα μεγαλύτερος από τη μονάδα. Οι χαμηλές τιμές BOD δείχνουν ότι οι μικροοργανισμοί έχουν καταναλώσει το μεγαλύτερο μέρος των βιοδασπάσιμων οργανικών ενώσεων και οι υψηλές τιμές του COD ότι υπάρχει μεγάλη ποσότητα μη βιοδασπάσιμου υλικού.

**Ολικά κολοβακτηρίδια και κοπρανώδη κολοβακτηρίδια:** Οι τιμές των ολικών κολοβακτηριδίων κατά τους χειμερινούς μήνες κυμαίνονται από 20.000 έως 5.200.000 ανά λίτρο δείγματος ενώ κατά τους καλοκαιρινούς μήνες από 890.000 έως 6.300.000 ανά λίτρο δείγματος. Παρατηρούμε ότι τους καλοκαιρινούς μήνες που οι συνθήκες, όπως για παράδειγμα η θερμοκρασία, ευνοούν πιο πολύ τους μικροοργανισμούς υπάρχει αύξηση του αριθμού τους. Η μεγάλη ποσότητα των ολικών κολοβακτηριδίων οφείλεται στις μεγάλες ποσότητες λυματολάσπης που προέρχεται από το βιολογικό καθαρισμό Χανίων ο οποίος επεξεργάζεται λύματα που είναι στη συντριπτική τους

πλειοψηφία οικιακά. Από τις τιμές παρεκκλίνει αυτή του δείγματος 'Περιοχή 2, αριστερά τέρμα' που περιέχει 8.600.000 ολικά κολοβακτηρίδια ανά λίτρο. Αυτό οφείλεται πιθανότατα στη πολύ πυκνή σύσταση του δείγματος. Όσον αφορά τα κοπρανώδη κολοβακτηρίδια, στα στραγγίσματα του Μεσομουρίου έχουμε μόνο σε ορισμένα σημεία και σε μικρές ποσότητες σε σχέση με τα ολικά. Αυτό είναι φυσιολογικό αφού τα κοπρανώδη κολοβακτηρίδια δεν έχουν κοπρανώδη προέλευση.

**Βαρέα μέταλλα (Pb, Cd, Hg):** Στο χώρο εναπόθεσης απορριμμάτων του Μεσομουρίου δεν αναμενόταν να βρεθούν βαρέα μέταλλα λόγω της σύστασης των απορριμμάτων και της λυματολάσπης που είναι οικιακής φύσης. Ανιχνεύονται ωστόσο κάποιες ποσότητες βαρέων μετάλλων στο δείγμα 'Περιοχή 1, δρομάκι λάκκος αριστερά' που οφείλονται πιθανότατα στις μεγάλες ποσότητες λυματολάσπης.

### **3.6 Μέτρηση του δείκτη τοξικότητας LC<sub>50</sub>**

Οι μετρήσεις του δείκτη τοξικότητας LC<sub>50</sub> (Lethal Concentration: Θανατηφόρα συγκέντρωση) πραγματοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της τοξικότητας των στραγγισμάτων που παράγονται στο χώρο του Μεσομουρίου. Αυτός ο δείκτης εκφράζει τη συγκέντρωση μιας επικίνδυνης ουσίας στο νερό που είναι ικανή να προκαλέσει θάνατο στο 50% ενός εκτιθέμενου πληθυσμού (πειραματόζωα). Οι μικροοργανισμοί που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι *Daphnia magna*.



### **3.6.1 Πειραματικό μέρος**

#### **3.6.1.1 Όργανα και υλικά:**

1. Εφίππια *Daphnia Magna* (συμπυκνωμένο διάλυμα 180)
2. Δισκίο επώασης
3. Φύλλα parafilm
4. Μικροσιφώνια
5. Σιφώνια
6. Θάλαμος επώασης
7. Εμφιαλωμένο μη χλωριωμένο νερό
8. Πιάτο με κυψελίδες
9. Τραπέζι φωτισμού
10. Δείγματα στραγγισμάτων ΧΥΤΑ

#### **3.6.1.2 Χρησιμοποιούμενη μέθοδος προσδιορισμού**

Ο προσδιορισμός της τοξικότητας γίνεται γενικά με τη χρήση υδρόβιων οργανισμών όπως τα οστρακόδερμα *Daphnia*, τα βακτήρια, τα άλγη κλπ. Στη παρούσα εργαστηριακή άσκηση χρησιμοποιείται σετ Daphtoxkit F magna προκειμένου να εκτελεστεί το τεστ τοξικότητας σύμφωνα με τις διεθνείς αποδεκτές τυποποιημένες μεθόδους (OECD και ISO). Οι δοκιμές χρησιμοποιούν τα "νεογνά" *Daphnia magna* που εκκολάπτονται σε περίπου 3 ημέρες από τα αυγά – εφίππια.



Στον παρακάτω πίνακα αναφέρονται οι παράμετροι που επηρεάζουν το τεστ τοξικότητας με *Daphnia magna* και οι τιμές που πρέπει να έχουν, προκειμένου να μην αποτελούν παράγοντες παρεμπόδισης για την εκτίμηση του LC<sub>50</sub>.

Παράμετροι-μέθοδος	pH	O <sub>2</sub> (mg/L)	NO <sub>2</sub> (mg/L)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)
<i>Daphnia magna</i>	5-9	2	29 (23-35.2)	70 (54.5-85.6)	1.8

### 3.6.1.3 Πειραματική διαδικασία

1. Εκκόλαψη των εφίππων *Daphnia magna* (η εκκόλαψη των εφίππων πρέπει να αρχίσει 3 ημέρες πριν από την έναρξη της δοκιμής τοξικότητας):

Αδειάζουμε το περιεχόμενο ενός φιαλιδίου με εφίππια και ξεπλύνουμε λεπτομερώς το φιαλίδιο με νερό βρύσης για να αποβληθούν όλα τα ίχνη του μέσου αποθήκευσης. Μεταφέρουμε τα εφίππια στο δισκίο επώασης μέσα σε 50 ml εμφιαλωμένου μη χλωριωμένου νερού, στο οποίο έχει διοχετευτεί με ακροφύσιο αέρας για την αύξηση της ποσότητας του διαλυμένου οξυγόνου. Καλύπτουμε το δισκίο και αφήνουμε να

επωαστούν τα εφίππια για 3 ημέρες, σε θερμοκρασία 20- 22°C και κάτω από συνεχή φωτισμό (6000 lux).

**Σημείωση:** Το μεγαλύτερο ποσοστό της εκκόλαψης θα εμφανιστεί μεταξύ 72h και 80h της επώασης. Δεδομένου ότι οι τυποποιημένες διαδικασίες δείχνουν ότι τα νεογνά δεν πρέπει να είναι ηλικίας μεγαλύτερα από 24h στην έναρξη της δοκιμής τοξικότητας, τα νεογνά Daphna πρέπει να συλλεχθούν το αργότερο 90h μετά από την έναρξη της επώασης.

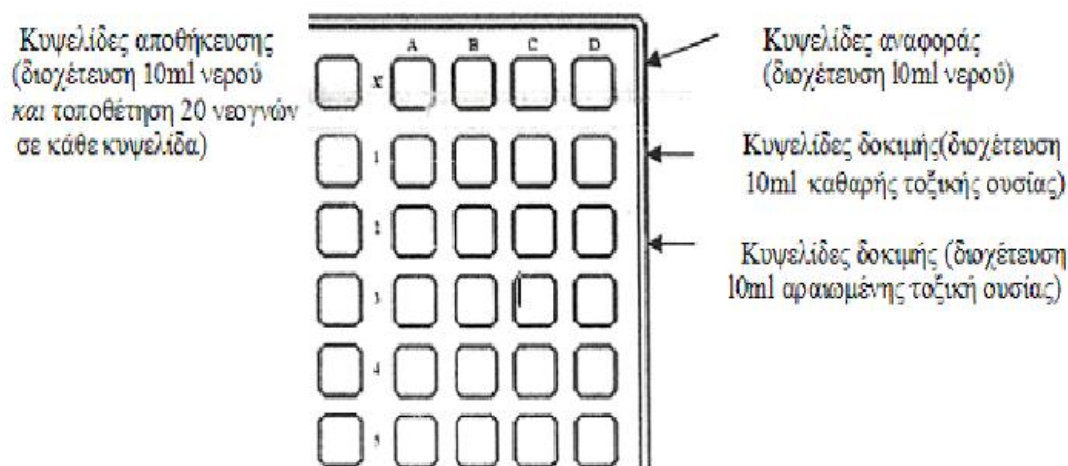
#### **3.6.1.4 Δημιουργία διαλυμάτων αραιώσης τοξικού αποβλήτου:**

Κατασκευάζουμε 5 διαλύματα (Α, Β, Γ, Δ, Ε) των 50ml το καθένα. Το διάλυμα Α αποτελείται από στραγγίσματα ΧΥΤΑ (100%). Τα άλλα τέσσερα διαλύματα (Β, Γ, Δ και Ε) έχουν συγκέντρωση 75, 50, 25 και 10% κ.ο. του διαλύματος Α (σε μη χλωριωμένο εμφιαλωμένο νερό), αντίστοιχα.

#### **3.6.1.5 Πλήρωση των κυψελίδων:**

Οι αναλύσεις διεξάγονται σε ειδικές κυψελίδες δοκιμής (Εικόνα 2). Οι κυψελίδες είναι στο σύνολο τους 30. Η πρώτη στήλη (rinsing wells) αποτελεί χώρο αποθήκευσης των νεογνών (δεν γίνεται δοκιμή σε αυτές), ενώ οι υπόλοιπες στήλες χρησιμοποιούνται για τη δοκιμή. Συγκεκριμένα οι 4 κυψελίδες της πρώτης γραμμής (Α, Β, Γ, Δ) αποτελούν τα δείγματα αναφοράς και σε αυτές διοχετεύεται ειδικό θρεπτικό διάλυμα. Τοποθετούμε με τη βοήθεια σιφωνίου 10 ml ειδικού θρεπτικού διαλύματος σε κάθε μια από τις κυψελίδες αναφοράς. Στις κυψελίδες των υπόλοιπων γραμμών (1-5) διοχετεύεται διάλυμα της τοξικής ουσίας σε διάφορες συγκεντρώσεις (αραιώσεις). Τοποθετούμε με τη Βοήθεια σιφωνίου 10ml κάθε διαλύματος σε κάθε κυψελίδα μιας συγκεκριμένης γραμμής (και στις κυψελίδες αποθήκευσης). Ο σκοπός των κυψελίδων της πρώτης στήλης είναι να γίνει η μεταφορά των νεογνών αρχικά σε αυτές και μετά στις κυψελίδες δοκιμής ώστε να αποτραπεί η αραιώση της τοξικής ουσίας κατά τη διάρκεια της μεταφοράς

των νεογνών από το δισκίο εκκόλαψης στις κυψελίδες δοκιμής εξαιτίας του νερού που θα συµµεταφερθεί αναγκαστικά µαζί µε τα νεογνά.



### 3.6.1.6 Μεταφορά των νεογνών στις κυψελίδες δοκιμής

Τοποθετούµε το δισκίο επώασης στη φωτιζόµενη πλάκα και µεταφέρουµε 20 (κολυµπώντας ενεργά) νεογνά µε µικροσιφώνια στις κυψελίδες αποθήκευσης. Στη συνέχεια τοποθετούµε το πιάτο µε τις κυψελίδες πάνω στην φωτιζόµενη πλάκα και µεταφέρουµε από την κάθε κυψελίδα αποθήκευσης 5 νεογνά σε καθεµία από τις 4 κυψελίδες της ίδιας γραµµής.

### 3.6.1.7 Επώαση των νεογνών εντός των κυψελίδων και σηµείωση των αποτελεσµάτων:

Τοποθετούµε ένα φύλλο Parafilm και την κάλυψη πάνω από το πιάτο των κυψελίδων και αφήνουµε τα νεογνά να επωαστούν στον θάλαµο επώασης στους 20°C στο σκοτάδι. Μετά από 24h επώασης, τοποθετούµε το πιάτο µε τις κυψελίδες πάνω στη φωτιζόµενη πλάκα και µετράµε τον αριθµό των νεκρών και ακινητοποιηµένων οργανισµών στις κυψελίδες δοκιµής και στις κυψελίδες των διαλυµάτων Α έως Δ.

### 3.6.2 Πειραματικά δεδομένα

Τα πειραματικά αποτελέσματα έχουν ως εξής:

#### Περιοχή 1- Δρομάκι λάκκος αριστερά

	A	B	Γ	Δ
Διάλυμα αναφοράς (τυφλό διάλυμα)	5	5	5	5
Στραγγίσματα 100%	0	0	0	0
Στραγγίσματα 75%	0	0	0	0
Στραγγίσματα 50%	0	0	0	0
Στραγγίσματα 25%	0	0	0	0
Στραγγίσματα 10%	0	0	0	0

#### Περιοχή 1- Είσοδος

	A	B	Γ	Δ
Διάλυμα αναφοράς (τυφλό διάλυμα)	5	5	4	5
Στραγγίσματα 100%	4	5	5	4
Στραγγίσματα 75%	3	5	4	4
Στραγγίσματα 50%	5	5	5	5
Στραγγίσματα 25%	5	2	2	0
Στραγγίσματα 10%	5	5	3	5

#### Περιοχή 1- ( 55, 5 )

	A	B	Γ	Δ
Διάλυμα αναφοράς (τυφλό διάλυμα)	4	5	5	5
Στραγγίσματα 100%	0	0	0	0
Στραγγίσματα 75%	0	0	0	0
Στραγγίσματα 50%	0	0	0	0
Στραγγίσματα 25%	5	5	3	5
Στραγγίσματα 10%	4	5	5	5

### Τέλος περιοχής 1 – Αρχή 2, Τέρμα δεξιά

	A	B	Γ	Δ
Διάλυμα αναφοράς (τυφλό διάλυμα)	5	5	5	5
Στραγγίσματα 100%	0	0	0	0
Στραγγίσματα 75%	0	0	0	0
Στραγγίσματα 50%	0	0	0	0
Στραγγίσματα 25%	0	0	0	1
Στραγγίσματα 10%	4	4	5	5

### Περιοχή 1 – 'Λίμνη'

	A	B	Γ	Δ
Διάλυμα αναφοράς (τυφλό διάλυμα)	5	5	5	5
Στραγγίσματα 100%	5	3	2	3
Στραγγίσματα 75%	5	4	5	5
Στραγγίσματα 50%	5	5	5	4
Στραγγίσματα 25%	5	5	5	5
Στραγγίσματα 10%	5	5	4	5

**Σημείωση:** ο αριθμός δείχνει πόσοι από τους μικροοργανισμούς (που ήταν 5 κάθε φορά σε όλες τις περιπτώσεις) επέζησαν. Το Διάλυμα αναφοράς (τυφλό διάλυμα) περιείχε μόνο νερό και θα έπρεπε να μην είχε πεθάνει κανένα πειραματόζωο, στις δύο περιπτώσεις που συνέβη αυτό πιθανώς τα πειραματόζωα δεν άντεξαν στην αλλαγή περιβάλλοντος.

### 3.6.3 Επεξεργασία αποτελεσμάτων

#### 3.6.3.1 Υπολογισμός αριθμού μικροοργανισμών που απεβίωσαν

Στους παραπάνω πίνακες τοποθετείτε η διαφορά  $5 - \chi$  όπου  $\chi$  ο αριθμός των μικροοργανισμών που επέζησαν, για να υπολογιστεί ο αριθμός των μικροοργανισμών που απεβίωσαν σε κάθε περίπτωση, ο μέσος των νεκρών πειραματόζωων και το ποσοστό θανάτωσης %.



### Περιοχή 1- Δρομάκι λάκκος αριστερά

	A	B	Γ	Δ	Μέσος όρος	Ποσοστό θανάτωσης %
Διάλυμα αναφοράς (τυφλό διάλυμα)	0	0	0	0	0	0
Στραγγίσματα 100%	5	5	5	5	5	100
Στραγγίσματα 75%	5	5	5	5	5	100
Στραγγίσματα 50%	5	5	5	5	5	100
Στραγγίσματα 25%	5	5	5	5	5	100
Στραγγίσματα 10%	5	5	5	5	5	100

### Περιοχή 1- Είσοδος

	A	B	Γ	Δ	Μέσος όρος	Ποσοστό θανάτωσης %
Διάλυμα αναφοράς (τυφλό διάλυμα)	0	0	1	0	0,25	5
Στραγγίσματα 100%	1	0	0	1	0,5	10
Στραγγίσματα 75%	2	0	1	1	1	20
Στραγγίσματα 50%	0	0	0	0	0	0
Στραγγίσματα 25%	0	3	3	5	2,75	55
Στραγγίσματα 10%	0	0	2	0	0,5	10

### Περιοχή 1- ( 55, 5 )

	A	B	Γ	Δ	Μέσος όρος	Ποσοστό θανάτωσης %
Διάλυμα αναφοράς (τυφλό διάλυμα)	1	0	0	0	0,3	5
Στραγγίσματα 100%	5	5	5	5	5	100
Στραγγίσματα 75%	5	5	5	5	5	100
Στραγγίσματα 50%	5	5	5	5	5	100
Στραγγίσματα 25%	0	0	2	0	0,5	10
Στραγγίσματα 10%	1	0	0	0	0,3	5

### Τέλος περιοχής 1 – Αρχή 2, Τέρμα δεξιά

	A	B	Γ	Δ	Μέσος όρος	Ποσοστό θανάτωσης %
Διάλυμα αναφοράς (τυφλό διάλυμα)	0	0	0	0	0	0
Στραγγίσματα 100%	5	5	5	5	5	100
Στραγγίσματα 75%	5	5	5	5	5	100
Στραγγίσματα 50%	5	5	5	5	5	100
Στραγγίσματα 25%	5	5	5	4	4,75	95
Στραγγίσματα 10%	1	1	0	0	0,5	10

### Περιοχή 1 – ‘Λίμνη’

	A	B	Γ	Δ	Μέσος όρος	Ποσοστό θανάτωσης %
Διάλυμα αναφοράς (τυφλό διάλυμα)	0	0	0	0	0	0
Στραγγίσματα 100%	0	2	3	2	1,75	35
Στραγγίσματα 75%	0	1	0	0	0,25	5
Στραγγίσματα 50%	0	0	0	1	0,25	5
Στραγγίσματα 25%	0	0	0	0	0	0
Στραγγίσματα 10%	0	0	1	0	0,25	5

Από τα πειραματικά αποτελέσματα και την επεξεργασία τους διαπιστώνεται ότι τα εξεταζόμενα δείγμα στραγγισμάτων ΧΥΤΑ είναι τοξικά σε μεγάλο ποσοστό για τους μικροοργανισμούς.

Πιο συγκεκριμένα στο σημείο ‘περιοχή 1- δρομάκι λάκκος αριστερά’ οι μικροοργανισμοί πεθαίνουν σε όλες τις αραιώσεις, ακόμα και σε αυτή του 10% έχουμε 100 % θάνατο των μικροοργανισμών, το οποίο σημαίνει ότι αυτό το δείγμα είναι ιδιαίτερα τοξικό και επικίνδυνο αν έρθει σε επαφή με ζωντανούς οργανισμούς. Ακόμα αν γίνει η σύγκριση αυτού του δείγματος με

τα υπόλοιπα παρατηρείτε ότι η συγκεκριμένη περιοχή εκλύει τα πιο τοξικά και επικίνδυνα στραγγίσματα. Το οποίο είναι λογικό γιατί σε αυτήν την περιοχή εκτός από τα εναποτεθειμένα απορρίμματα υπάρχει και ένας μεγάλος όγκος λυματολάσπης, αυτός ο συνδυασμός όπως παρατηρούμε είναι ιδιαίτερα επικίνδυνος. Στο σημείο δειγματοληψίας 'περιοχή 1- είσοδος' παρατηρείται μικρό ποσοστό θανάτωσης που αν λάβουμε υπόψη και το θάνατο ενός μικροοργανισμού στο διάλυμα αναφοράς το ποσοστό αυτό γίνεται ακόμα μικρότερο αφού υπάρχει η πιθανότητα μικρής μόλυνσης των δειγμάτων LC 50 λόγω ανθρώπινου παράγοντα (μη καθαρά εργαλεία κλπ). Ακόμα η τιμή της αραιώσης των 25% δεν πρέπει να ληφθεί υπόψη καθώς πρέπει να οφείλετε σε σφάλμα. Η μη τοξικότητα των δειγμάτων είναι αναμενόμενη καθώς στην είσοδο τις περιοχής του Μεσομουρίου δεν έχουμε την παρουσία λυματολάσπης, ενώ τα εναποτεθειμένα απορρίμματα είναι λιγότερα από ότι στις άλλες περιοχές.

Στο σημείο δειγματοληψίας 'περιοχή 1 - (55, 5)' παρατηρείται αυξημένη τοξικότητα καθώς μέχρι και το 50% αραιώση έχουμε πλήρη θάνατο των μικροοργανισμών. Στην αραιώση των 25% έχουμε μια ανεκτικότητα των μικροοργανισμών στον τοξικό ρύπο καθώς πεθαίνει μόνο το 10%. Από το γεγονός αυτό συμπεραίνουμε ότι το δείγμα είναι μεν τοξικό αλλά αν αραιωθεί αρκετά γίνεται σχετικά ήπιο από πλευράς τοξικότητας. Στο σημείο αυτό η παρουσία της λυματολάσπης είναι σχετικά μικρή μπροστά στον όγκο των εναποτεθειμένων απορριμμάτων.

Το σημείο δειγματοληψίας 'τέλος περιοχής 1 – Αρχή 2 τέρμα δεξιά' είναι το σημείο με την μεγαλύτερη τοξικότητα μετά το σημείο 'περιοχή 1-δρομάκι λάκκος αριστερά'. Συγκεκριμένα μέχρι την αραιώση 25% έχουμε

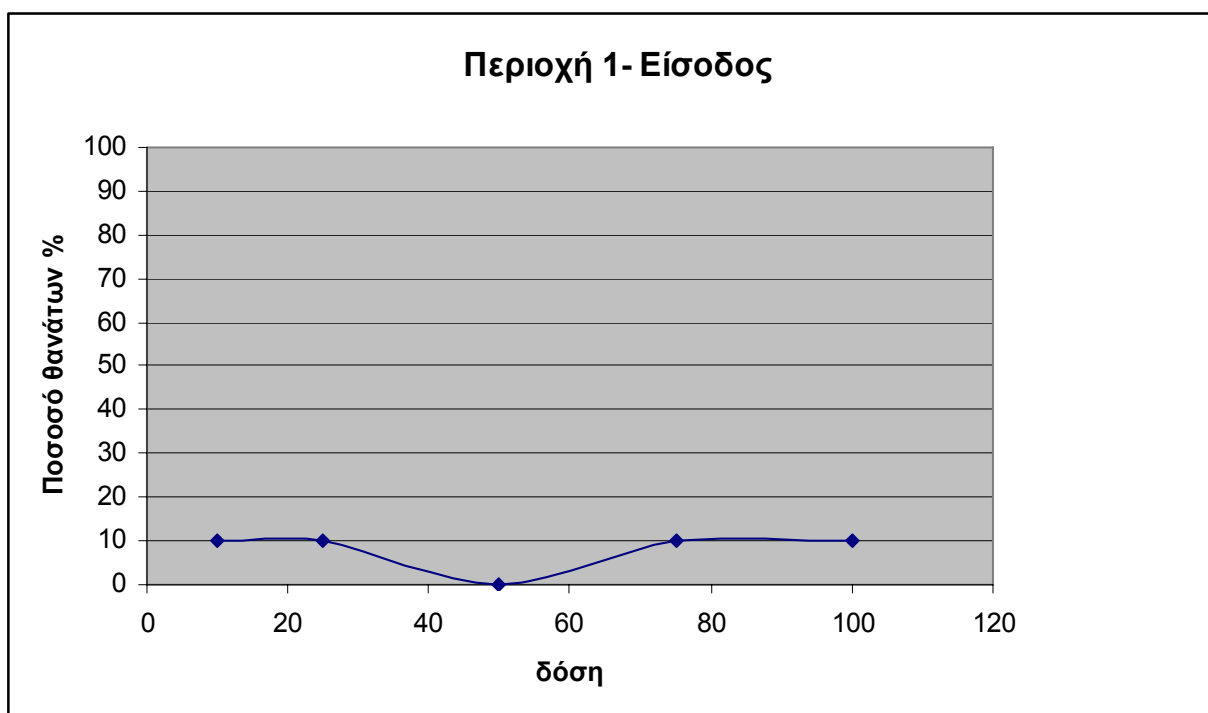
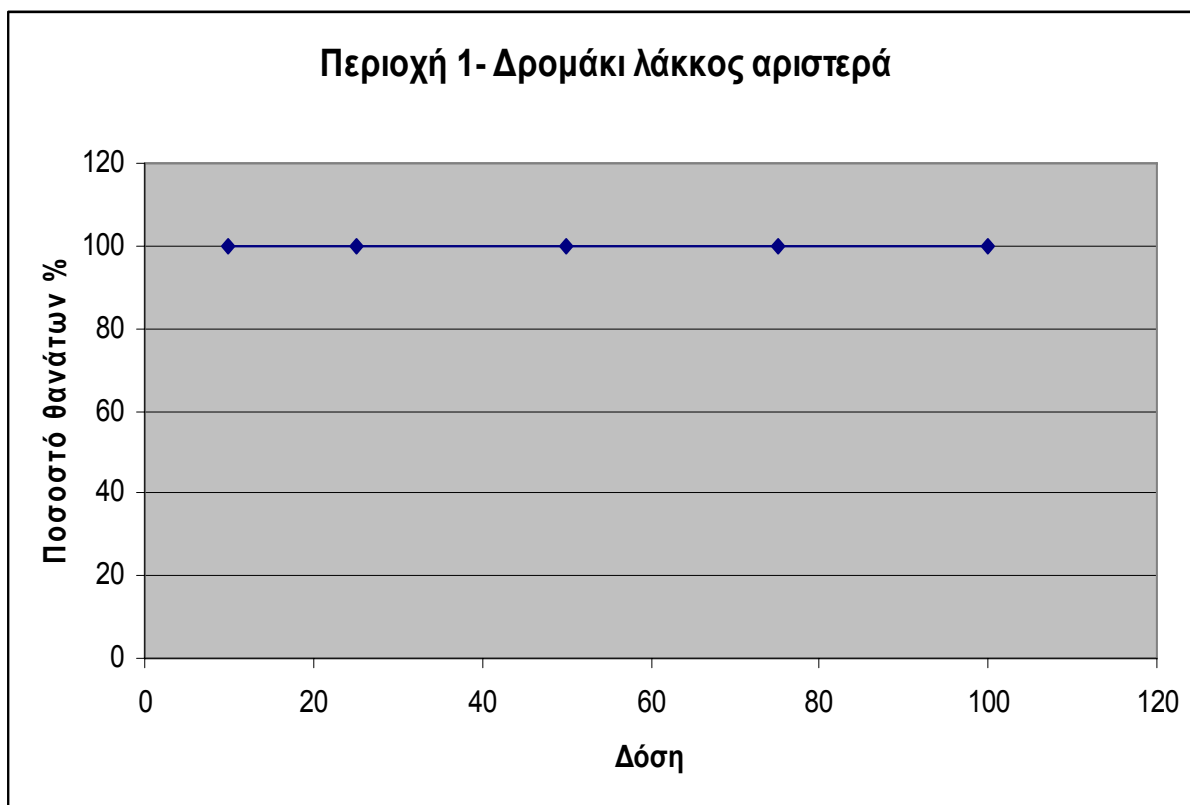
ποσοστό θνησιμότητας 95% δηλαδή σχεδόν όλοι οι μικροοργανισμοί έχουν πεθάνει και μόνο στην αραίωση 10%, η οποία είναι πολύ μεγάλη, έχουμε ποσοστό θνησιμότητας 10%. Στην περιοχή αυτή υπήρχε επίσης μεγάλη ποσότητα λάσπης, η οποία δεν ήταν στην επιφάνεια όπως στην 'περιοχή 1-δρομάκι λάκκος αριστερά' αλλά ήταν αναμειγμένη με το έδαφος και πιθανώς και με τα απορρίμματα κάτω από αυτό. Το σημείο δειγματοληψίας 'περιοχή 1 – λίμνη' παρουσιάζει μικρά ποσοστά θνησιμότητας, χωρίς αραίωση έχουμε 35% θνησιμότητα ενώ με αραίωση τα ποσοστά θνησιμότητας πέφτουν στο 5%. Αύτη η μικρή τοξικότητα του δείγματος είναι αναμενόμενη καθώς αυτή η περιοχή είναι ένας μεγάλος λάκκος που είχε σχηματιστεί για την εναπόθεση λυματολάσπης από τον βιολογικό καθαρισμό του νομού Χανίων. Ο λάκκος αυτός παρέμεινε άδειος και κάθε χειμώνα γεμίζει, από τα κατακρημνίσματα τις περιοχής, σχηματίζοντας μια ιδιόμορφη λίμνη και ένα ιδιόμορφο οικοσύστημα. Τα υγρά που παραμένουν μέσα στο λάκκο έχουν πολύ μικρό ποσοστό στραγγισμάτων από τα απορρίμματα καθώς μόνο από τα πλάγια τοιχώματα είναι δυνατόν στραγγίσματα να καταλήγουν στο λάκκο, ενώ η παρουσία λυματολάσπης και στραγγισμάτων αυτής είναι αμελητέα. Κατά τους χειμερινούς μήνες, οπότε και ο λάκκος είναι γεμάτος με βρόχινο κυρίως νερό, διαπιστώσαμε την παρουσία μεγάλου αριθμού βατράχων και μερικών άλλων μικροοργανισμών (όπως κουνούπια κλπ). Αυτά τα βατράχια όχι μόνο επιβιώνουν, αλλά έχουν προσαρμοστεί απόλυτα σε αυτό το περιβάλλον και γεννάνε μεγάλο αριθμό απογόνων όπως φαίνεται παρακάτω:



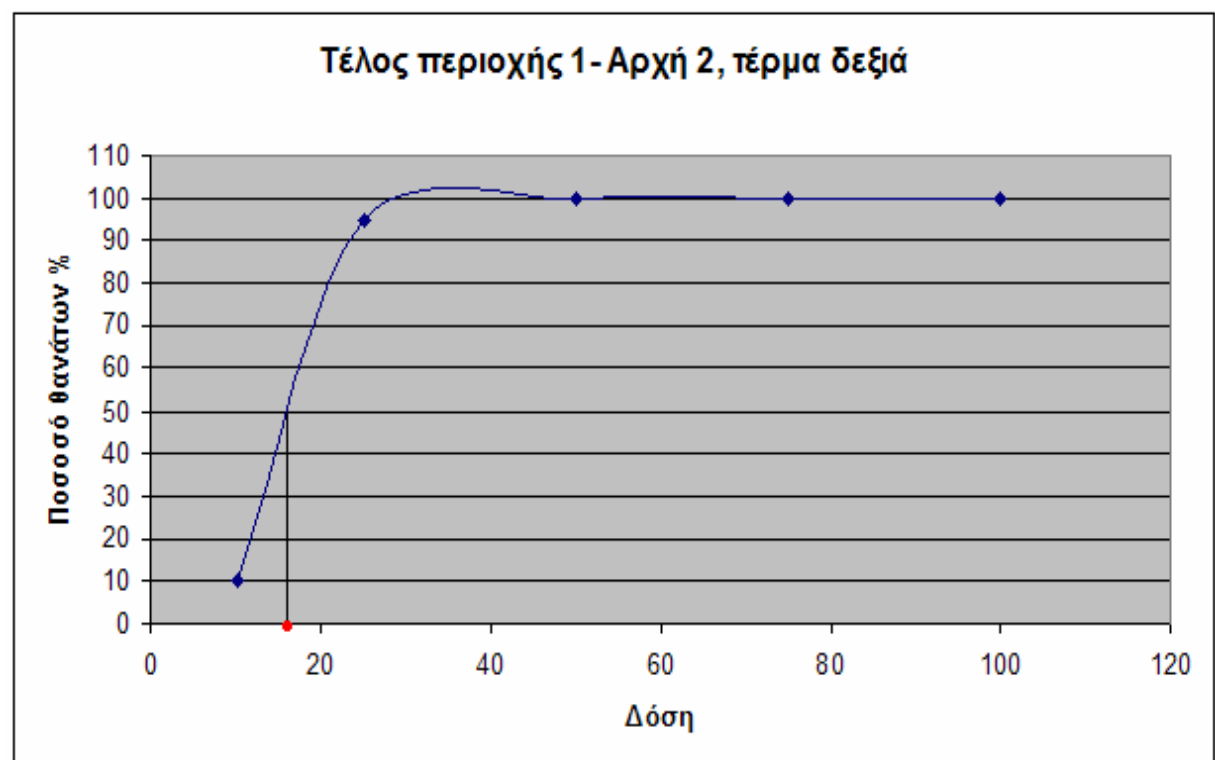
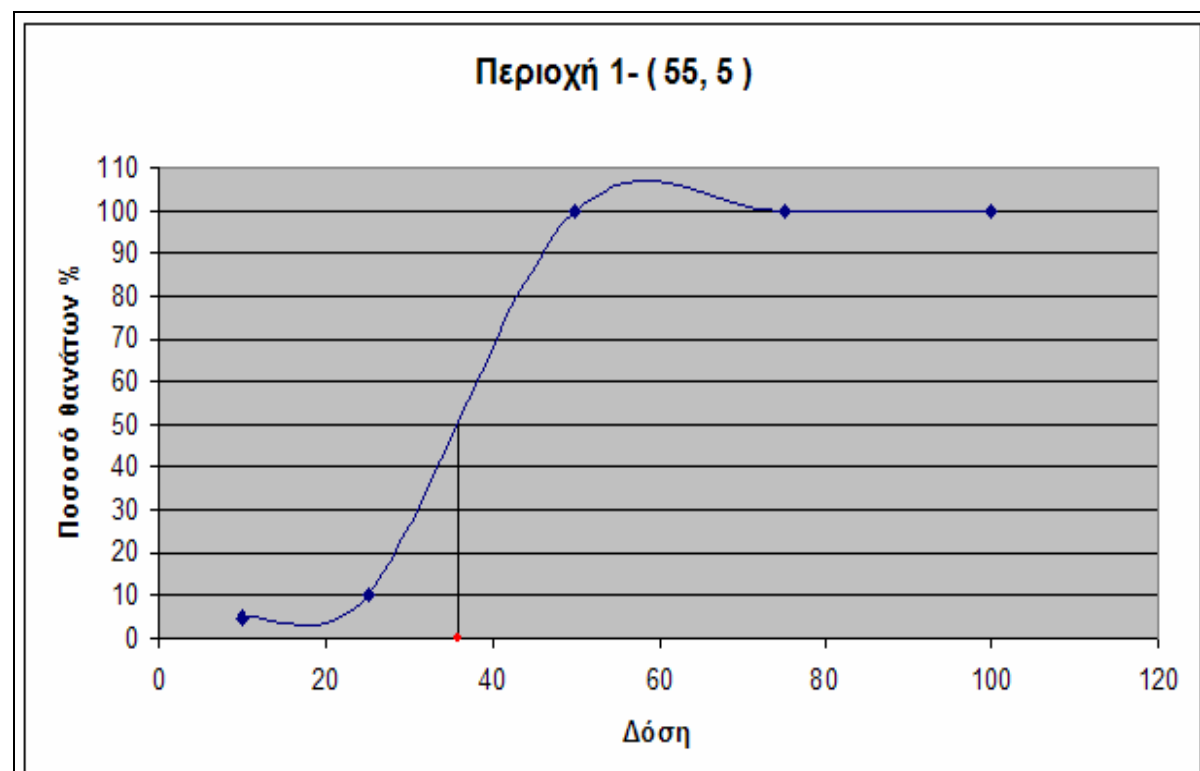
**Εικόνα 67: Γόνος βατράχων στο σημείο ‘περιοχή 1 – ‘λίμνη’**

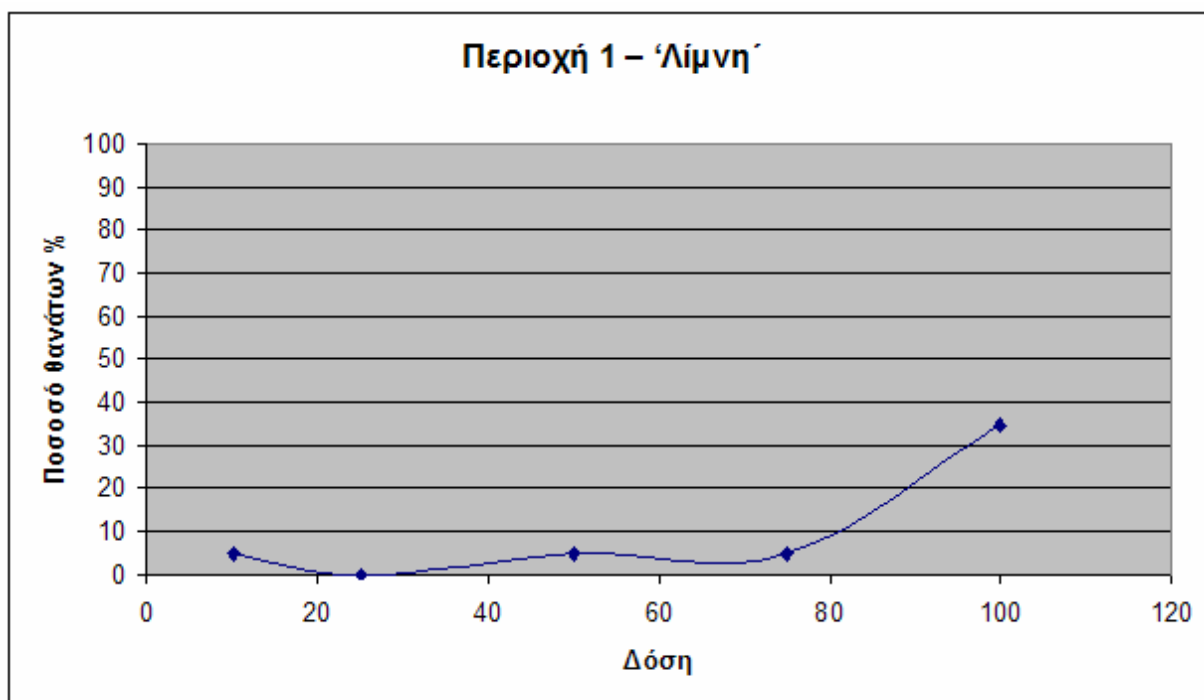
#### **3.6.3.2 Εύρεση της τιμής του δείκτη τοξικότητας LC 50**

Ο δείκτης  $LC_{50}$ , υπολογίζεται από το διάγραμμα δόσης τοξικής ουσίας στο διάλυμα συναρτήσει του ποσοστού θανάτωσης στο αντίστοιχο κάθε φορά διάλυμα. Στο διάγραμμα αυτό βλέπουμε με τη βοήθεια της γραφικής παράστασης την συγκέντρωση της τοξικής ουσίας που είναι ικανή να προκαλέσει θάνατο στο 50 % ενός εκτιθέμενου πληθυσμού. Τα διαγράμματα είναι τα ακόλουθα:









Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε ότι δεν μπορούμε να βρούμε την τιμή του δείκτη τοξικότητας LC 50 για τα σημεία:

- ‘Περιοχή 1- Δρομάκι λάκκος αριστερά’ καθώς το δείγμα μας είναι απόλυτα, 100% τοξικό. Αυτό σημαίνει ότι δόση μέχρι και 10 % αραιώσης που έχουμε υπολογίσει θα είναι τοξική και θανατηφόρα για τους μικροοργανισμούς.
- ‘Περιοχή 1- Είσοδος’, Περιοχή 1 – ‘Λίμνη’ καθώς τα δείγματα αυτά είναι μικρής τοξικότητας. Σε καμία αραιώση δεν είχαμε θάνατο 50 % των μικροοργανισμών.

Για το σημείο ‘Περιοχή 1- (55,5)’ το  $LC_{50}$  ισούται με 36 % δόση. Το ποσοστό είναι λογικό αν δούμε τους υπολογισμούς που έγιναν παραπάνω, στους οποίους φαίνεται καθαρά ότι για δόση 50 % το ποσοστό θανάτωσης είναι 100 % και για δόση 25 % είναι 10 % αντίστοιχα. Οπότε για να θανατωθεί το 50 % του πληθυσμού θα απαιτείται μια δόση κάπου ανάμεσα στα προαναφερόμενα ποσοστά.

Για το σημείο 'τέλος - τέρμα δεξιά' το  $LC_{50}$  ισούται με μόλις 17 % δόση. Το ποσοστό είναι λογικό αν δούμε τους υπολογισμούς που έγιναν παραπάνω, στους οποίους φαίνεται καθαρά ότι για δόση 25 % το ποσοστό θανάτωσης είναι 95 % και για δόση 10 % είναι 10 % αντίστοιχα. Οπότε για να θανατωθεί το 50 % του πληθυσμού θα απαιτείται μια δόση κάπου ανάμεσα στα προαναφερόμενα ποσοστά.

**Σημείωση:** στις γραφικές παράστασης διαπιστώνω μερικές φορές κάποιες ανωμαλίες. Αυτές οφείλονται σε κάποιο λάθος του ανθρώπινου παράγοντα όπως για παράδειγμα τη πιθανή μη σωστή τοποθέτηση των νεογνών, τα οποία πρέπει να τοποθετούνται εντός του υγρού των κυψελίδων και όχι απλά επάνω στην επιφάνεια του υγρού αφού σε μια τέτοια περίπτωση είναι πολύ πιθανό να πεθάνουν εξαιτίας της επιφανειακής τάσης και όχι λόγω της τοξικότητας του υγρού και έτσι τα αποτελέσματα της θνησιμότητας που θα πάρουμε να είναι ανακριβή. Αυτές οι ανωμαλίες δεν υπολογίσθηκαν κατά την εύρεση της τιμής του  $LC_{50}$ .

### **3.6.3.3 Υπολογισμός κατώτερου ορίου συγκέντρωσης τοξικών στραγγισμάτων**

Ο υπολογισμός του κατώτερου ορίου συγκέντρωσης των στραγγισμάτων που προκαλεί αρνητική επιρροή (δηλαδή θανάτους μικροοργανισμών) στον εξεταζόμενο πληθυσμό είναι εφικτός μέσω των παραπάνω γραφικών παραστάσεων. Το κατώτερο όριο είναι το σημείο στο οποίο αρχίζει να μηδενίζει η γραφική παράσταση. Για την Περιοχή 1- Δρομάκι λάκκος αριστερά' αυτό το όριο δεν μπορεί να υπολογιστεί καθώς τα στραγγίσματα είναι πολύ τοξικά. Για την 'Περιοχή 1- Είσοδος' και μη λαμβάνοντας υπόψη τα δύο πρώτα σημεία το κατώτερο όριο συγκέντρωσης

είναι περίπου 50 %. Για την 'Περιοχή 1- (55,5)' και την 'τέλος περιοχής 1 – αρχή 2, τέρμα δεξιά' δεν μπορεί να υπολογιστεί λόγω μεγάλης τοξικότητας, αλλά από τα διαγράμματα η τιμή της είναι πολύ μικρή, κάτω από 10%. Για την 'Περιοχή 1 – 'Λίμνη' με διόρθωση της γραφικής παράστασης υπολογίζεται περίπου 40%.

#### **3.6.4 Σχολιασμός αποτελεσμάτων**

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τα στραγγίσματα τις περιοχής του Μεσομουρίου έχουν μεγάλη σημασία γιατί μας πληροφορούν για τον βαθμό τοξικότητας των στραγγισμάτων. Οπότε μας βοηθούν να καταλάβουμε τι επίδραση μπορεί να έχουν στο περιβάλλον αλλά και στους διάφορους οργανισμούς ανάμεσα στους οποίους και ο άνθρωπος (βέβαια για τον άνθρωπο δεν μπορούν να βγούνε σαφή συμπεράσματα καθώς οι μικροοργανισμοί είναι πολύ πιο ευαίσθητοι). Γνωρίζοντας τις επιδράσεις των στραγγισμάτων μπορούμε να πούμε αν χρειάζεται η λήψη μέτρων για των περιορισμό αυτών και σε περίπτωση που χρειάζεται να ξέρουμε πόσο επιτακτική είναι η ανάγκη και σε τι βαθμό. Στην περίπτωση που μελετήσαμε παραπάνω βλέπουμε ότι η τοξικότητα των στραγγισμάτων είναι αρκετά μεγάλη αφού θανατώνονται όλοι οι μικροοργανισμοί ακόμα σε περιπτώσεις με 10 % αραίωση.

Είναι απαραίτητο να διασφαλίσουμε την υγεία των μικροοργανισμών του εδάφους που είναι τόσο σημαντικοί για το περιβάλλον αλλά και για την αποκατάσταση του χώρου, καθώς διασπάνε πολλούς ρύπους. Απο τα παραπάνω πειραματικά δεδομένα φτάνουμε στα παρακάτω συμπεράσματα όσο αναφορά το δείκτη τοξικότητας  $LC_{50}$ :

- Σε περιοχές όπου έχουμε εναπόθεση απορριμμάτων μαζί με μεγάλη

ποσότητα λυματολάσπης, όπως στην 'περιοχή 1- δρομάκι λάκκος αριστερά' και 'τέλος - τέρμα δεξιά', παρατηρούμε μια πολύ αυξημένη τοξικότητα των δειγμάτων με αποτέλεσμα η θνησιμότητα να είναι πάρα πολύ μεγάλη ακόμα και για αραιώσεις 10 % . Συγκρίνοντας τα παραπάνω αποτελέσματα μπορούμε να πούμε ότι τα στραγγίσματα των απορριμμάτων είναι γενικά τοξικά, αλλά ο συνδυασμός τους με τα στραγγίσματα της λυματολάσπης τα καθιστά ιδιαίτερα τοξικά και επικίνδυνα.

- Μπορούμε να πούμε ότι χρειάζεται η λήψη μέτρων για τον περιορισμό και των έλεγχο των στραγγισμάτων. Καθώς αφενός μπορεί να καταστήσουν το έδαφος ανενεργό σκοτώνοντας τους μικροοργανισμούς που υπάρχουν σε αυτό και αφετέρου πιθανόν να δημιουργήσουν μεγάλα προβλήματα στο τελικό αποδέκτη τους, δηλαδή την παρακείμενη θάλασσα.

### 3.7 Βιβλιογραφία

1. ‘ Μελέτη αποκατάστασης του χώρου εναπόθεσης δεματοποιημένων απορριμμάτων στη θέση Μεσομούρι Ακρωτηρίου Χανίων ’ του τμήματος μελετών & τεκμηρίωσης και της διεύθυνσης προγραμματισμού & Δ.Π.Ε. της νομαρχιακής αυτοδιοίκησης Χανίων.
2. Σημειώσεις του μαθήματος ‘ Έλεγχος ρύπανσης νερών ’ του κ. Αλέξανδρου Π. Οικονομόπουλου (καθηγητής του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος στο Πολυτεχνείο Κρήτης).
3. Σημειώσεις του μαθήματος ‘ Χημεία και έλεγχος ρύπανσης ατμόσφαιρας ’ του κ. Αλέξανδρου Π. Οικονομόπουλου (καθηγητής του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος στο Πολυτεχνείο Κρήτης).
4. Σημειώσεις του μαθήματος ‘ Διαχείριση και επεξεργασία αστικών απορριμμάτων ’ του κ. Ευάγγελου Γιδαράκου (καθηγητής του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος στο Πολυτεχνείο Κρήτης).
5. Σημειώσεις του μαθήματος ‘ Σχεδιασμός σταθμών μεταφόρτωσης και χώρων υγειονομικής ταφής απορριμμάτων ’ του κ. Ευάγγελου Γιδαράκου (καθηγητής του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος στο Πολυτεχνείο Κρήτης).
6. ‘ Επικίνδυνα απόβλητα: διαχείριση, επεξεργασία και διάθεση ’ του κ. Ευάγγελου Γιδαράκου (καθηγητής του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος στο Πολυτεχνείο Κρήτης).
7. ‘ Βιώσιμη διαχείριση αστικών στερεών αποβλήτων ’ του Δημήτριου Χ. Παναγιωτακόπουλου (καθηγητής Πανεπιστημίου Θράκης).



8. Διπλωματική εργασία του Κ. Μαυρόπουλου με επιβλέπων τον κ. Παντελή Σουπιό (καθηγητής του Τ.Ε.Ι. Χανίων στο τμήμα Φυσικών Πόρων) με θέμα ' Ανάπτυξη σύγχρονων μεθοδολογιών σε Χ.Υ.Τ.Α. '.
9. 'Ατμοσφαιρική ρύπανση: επιπτώσεις, έλεγχος και εναλλακτικές τεχνολογίες' του Ιωάννη Β. Γεντεκάκη.
10. Διαδίκτιο (internet).
11. Σκορδίλης Α., 2001, «Ελεγχόμενη Εναπόθεση Στερεών μη Επικίνδυνων Αποβλήτων».
12. Μανιός Θ., 2001, «Σημειώσεις στο μάθημα Διαχείριση και Επεξεργασία Αστικών Απορριμμάτων».
13. Γενειατάκης Μ, 2004, «In situ μετρήσεις βιοαερίου και εκτίμηση ανεξέλεγκτων εκπομπών CH<sub>4</sub> στο χώρο διάθεσης απορριμμάτων (Χ.Δ.Α.) Πέρα Γαλήνων Ηρακλείου».
14. G.Tsokas, P.Soupios, P.Tsourlos, G. Vargemezis, A. Savvaidis, C. Paliadeli- Saatsoglou, S.Drougou, 1999, Geophysical investigations in the area between Eukleia's temple and the theater in ancient Aegae (Verghina) using various methods, Physics in Culture, Ed. K. Paraskevopoulos, An Aristotle University Publication ISBN 960-243-573-9.
15. Tsourlos P.(1995). Modeling interpretation and inversion of multielectrode earth resistivity data-sets. D.Phil. Thesis. University of York.
16. Tsourlos P., and Szymanski J. (1995). Self-correcting approaches to the inversion of resistive tomography field survey data. Poster

presented at the Archaeological Prospection Conference, University of Bradford, U.K., 12-13 September, 1995.

17. ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ Η., κλπ (1996): «Γεωλογική και Υδρογεωλογική έκθεση του υποψήφιου ΧΥΤΑ της Ν. Α. Χανίων, στη θέση Στρογγυλό Κεφάλι». Ν. Α. Χανίων.
18. ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ Η., κλπ (1997): «Γεωλογική και Υδρογεωλογική έρευνα για την προστασία των ρευμάτων και των υπογείων υδροφορέων από τις πιθανές επιπτώσεις λόγω λειτουργίας του ΧΥΤΑ στη θέση Στρογγυλό Κεφάλι». Ν. Α. Χανίων.
19. Μελέτη διαχείρισης διασταλαγμάτων Χ.Υ.Τ.Α / Μάχος Γεώργιος, Αποστολόπουλος Σπυρίδων.
20. Αναλυτική χημεία / Καλλίθρακας – Κόντος Νικόλαος
21. Επεξεργασία και διάθεση υγρών αποβλήτων: αστικά λύματα, βιομηχανικά απόβλητα, ζωικά απορρίμματα / Γρηγόριος Π. Μαρκαντωνάτος.
22. Οδηγία 86/278/ΕΕ
23. ΚΥΑ 114218/31.10.97