



Διπλωματική εργασία:
«ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ
ΥΔΡΟΘΕΙΟΥ ΣΤΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ
ΤΟΥ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ»

ΜΙΧΑΛΟΔΗΜΗΤΡΑΚΗ ΕΛΕΝΗ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΚΡΗΤΗΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΚΑΛΟΓΕΡΑΚΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

(επιβλέπων καθηγητής)

ΧΑΝΙΑ,

ΛΑΖΑΡΙΔΗΣ ΜΙΧΑΗΛ

ΙΟΥΝΙΟΣ 2011

ΨΥΛΛΑΚΗ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑ

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	2
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ABSTRACT	6
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	9
2.1 ΟΣΜΕΣ	9
2.2 ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΤΩΝ ΟΣΜΩΝ - ΤΡΟΠΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	9
2.3 ΒΑΘΜΟΣ ΟΧΛΗΣΗΣ	16
2.4 ΠΗΓΕΣ ΟΣΜΩΝ	17
2.5 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΟΣΜΩΝ	20
2.6 ΥΔΡΟΘΕΙΟ	20
2.7 ΑΜΜΩΝΙΑ	23
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	25
3.1 ΜΕΤΡΗΣΗ ΥΔΡΟΘΕΙΟΥ	25
3.2 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΜΜΩΝΙΑΣ	29
3.3 GC-MS ΧΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ	29
4. ΠΟΣΟΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΟΣΜΩΝ ΣΤΗ ΔΕΥΑΗ	31
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	31
4.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ	32
4.2.1. ΣΗΜΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ	33
4.3 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΕΔΙΟΥ	43
4.4 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΟΣΜΩΝ ΣΤΟΥΣ ΓΕΙΤΟΝΙΚΟΥΣ ΟΙΚΙΣΜΟΥΣ	52
4.4.1 ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	53
4.4.2 ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΠΑΡΑΠΟΝΩΝ	53
4.4.3. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΕ ΟΙΚΙΕΣ	55
4.4.4 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ	63

5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΒΙΟΦΙΛΤΡΟΥ ΑΠΟΣΜΗΣΗΣ	63
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	63
5.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ	64
5.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	65
5.3.1 ΥΔΡΟΘΕΙΟ	65
5.3.2 ΑΜΜΩΝΙΑ	66
5.3.3 ΆΛΛΕΣ ΟΥΣΙΕΣ	70
5.3.4 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ	73
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	74
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	74
8. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	74

Ευχαριστίες

Κατά τη διάρκεια της φοίτησής μου στο Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος μου δόθηκε η ευκαιρία να ασχοληθώ στα πλαίσια της μεταπτυχιακής μου διατριβής με ένα θέμα που αφορά την πόλη μου, τον εντοπισμό και την καταγραφή των εκπομπών υδρόθειου στο Βιολογικό Καθαρισμό Ηρακλείου.

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όλους εκείνους που συνέβαλλαν στην επιτυχή περάτωση της πτυχιακής μου εργασίας.

Συγκεκριμένα, δεν μπορώ να μην εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους Παπαδογιάννη Μπάμπη και Κρυσταλλία Σηφακάκη καθώς και στους υπόλοιπους εργαζομένους της ΔΕΥΑ Ηρακλείου για τη συνεργασία και την παροχή απαραίτητων πληροφοριών.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που συμμετείχαν στη συμπλήρωση του ερωτηματολογίου της έρευνας που πραγματοποίησα και ιδιαίτερα εκείνους που δέχτηκαν να πραγματοποιηθούν οι εικοσιτετράωρες μετρήσεις στο χώρο τους.

Ευχαριστώ θερμά και τον κύριο Χάρη Δασκαλάκη για την πολύτιμη βοήθειά του στη διεξαγωγή των μετρήσεων στο βιόφιλτρο της Creta Farm και την ίδια την εταιρία για την παραχώρηση του εξοπλισμού για της μετρήσεις παροχής και pH.

Ιδιαίτερα ευχαριστώ τον επιβλέποντα καθηγητή μου κύριο Νικόλαο Καλογεράκη για την καθοδήγηση και την άψογη συνεργασία που είχαμε.

Ευχαριστώ επίσης την κυρία Ψυλλάκη και τον κύριο Λαζαρίδη που μαζί με τον επιβλέποντα καθηγητή αποτελούν την τριμελή επιτροπή αξιολόγησης της μελέτης μου.

Τέλος ευχαριστώ για τη συνεργασία το Μάκη Χουρδάκη, τη Κωστούλα Τσουρουνάκη καθώς και όλους τους φίλους μου για τη στήριξη τους.

Ιούνιος 2011

Οι οσμές είναι το πρώτο θέμα που απασχολεί την κοινή γνώμη όσον αφορά τις μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, καθώς η συγκέντρωσή τους στην ατμόσφαιρα ακόμη και σε πολύ μικρές τιμές δύναται να προκαλέσει φαινόμενα όχλησης. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε ειδικός εξοπλισμός για τον ποσοτικό προσδιορισμό δύο πολύ αντιπροσωπευτικών ενώσεων που συμβάλουν σημαντικά στην περιβαλλοντική όχληση. Οι ενώσεις που μελετήθηκαν είναι το υδρόθειο (H_2S) και η αμμωνία (NH_3) οι οποίες ποσοτικοποιήθηκαν επιτόπου με ειδικά φορητά όργανα που μετρούν συγκεντρώσεις μικρότερες εκείνων που αναγνωρίζονται από την ανθρώπινη όσφρηση. Ο ειδικός εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις πεδίου των οσμηρών ενώσεων αυτών περιγράφεται στο κεφάλαιο 3.

Το υδρόθειο αποτελεί μια αντιπροσωπευτική ένωση καθώς είναι το πιο συχνά εμφανιζόμενο οσμάριο σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, είναι πολύ πτητικό και δύναται να ανιχνευτεί ευκολότερα (Gostelow et al. 2001). Σύμφωνα με τα παραπάνω μπορεί να αποτελέσει δείκτη του συνολικού προβλήματος μιας μονάδας (Priest et al., 1994) καθώς συνεισφέρει περισσότερο στη χαρακτηριστική δυσάρεστη οσμή.

Στο κεφάλαιο 4 περιγράφεται η διαδικασία λήψης των μετρήσεων στην περίπτωση της ΔΕΥΑΗ (Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης Ηρακλείου). Η εκτίμηση των εκπομπών των οσμών έγινε μέσω μετρήσεων κοντά στην πηγή αλλά και με συνεχή καταγραφή της συγκέντρωσης σε σημεία περιμετρικά των εγκαταστάσεων, ενώ παράλληλα έγινε μια προσπάθεια καταγραφής τυχόν παραπόνων από κατοίκους της περιοχής.

Στο κεφάλαιο 5 περιγράφονται οι μετρήσεις αμμωνίας και υδρόθειου που πραγματοποιήθηκαν σε βιόφιλτρο απόσμισης των αερίων θαλάμου πάχυνσης χοίρων της Creta Farm στο Ρέθυμνο. Υπολογίστηκαν οι τιμές των εκπεμπόμενων αερίων υδρόθειου και αμμωνίας από το θάλαμο και η απομάκρυνσή τους από το βιόφιλτρο συναρτήσει της παροχής και του pH του υγρού διαβροχής.

Τέλος παρουσιάζονται τα συμπεράσματα και τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την παρούσα διατριβή.

Abstract

The presence of odorous compounds is an important issue of public concern in the implementation of wastewater treatment plants. Their concentration in the atmosphere even at very small values may cause nuisance effects. In this study we used special equipment to quantify two odorous compounds that contribute significantly to environmental disturbance. The compounds studied are hydrogen gaseous sulfide (H_2S) and ammonia (NH_3), which quantified the field with special portable measuring devices that measure concentrations lower than those recognized by human olfaction. The odorous compounds are contributors to the characteristic odor and can be an indicator of the overall problem of a unit (Priest et al., 1994).

Chapter 3 describes the specific equipment used for the quantification of the odorous compounds.

Hydrogen sulphide is a union representative and is most often displayed in sewage treatment plants, is very volatile and can be detected easily (Gostelow et al. 2001).

Chapter 4 describes the followed procedure used for the measurements in the case of DEYA Heraklion. The concentration of odors emissions was measured not only near the source but also at points around the facilities with continuous recording of concentration, while an attempt was made to record any complaints from local residents.

Chapter 5 describes ammonia and hydrogen sulfide measurements at the entry and exit point of a biofilter used by Creta Farm in Rethymnon for deodorization of the gas coming from a pig fattening chamber. The values of the emitted gases hydrogen sulphide and ammonia from the chamber as well as the removal of the odours compounds were calculated as a function of supply and the pH of the spraying liquid.

Finally, the conclusions and findings of the research are presented and analyzed.

1. Εισαγωγή

Αν και η συλλογή όμβριων υδάτων εφαρμοζόταν από τους αρχαίους χρόνους, η συστηματική συλλογή των υγρών αποβλήτων χρονολογείται στα τέλη του 1800 με αρχές του 1900. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα οι συνθήκες υγιεινής να είναι συχνά υποβαθμισμένες με παρελκόμενο την εκδήλωση ασθενειών (όπως αυτή της χολέρας) που σχετίζονται με περιττωματικά βακτήρια, έντομα και τρωκτικά. Τα ανθρώπινα απόβλητα δεν ήταν δεκτά στους υπονόμους του Λονδίνου μέχρι το 1815, στη Βοστώνη μέχρι το 1833 και στο Παρίσι μέχρι το 1880. Η ανάπτυξη της θεωρίας των σπορίων από τους Koch και Paster στο δεύτερο μισό του 19^{ου} αιώνα σηματοδότησε την έναρξη μιας νέας περιοχής στην υγειονομική (Βαγενάς, 2004). Προοδευτικά και κάτω από την πίεση των θανατηφόρων επιδημιών χολέρας άρχισε η κατασκευή δικτύων ακαθάρτων νερών (Λονδίνο 1855, Παρίσι 1880) και δημιουργήθηκαν μικτά συστήματα αποχετεύσεως. Το σοβαρότερο υγειονομικό μειονέκτημα των συστημάτων αυτών είναι ότι κατέληγαν – ή οπωσδήποτε υπερχειλίζαν στις περιόδους αιχμής, λόγω βροχής – στους πλησιέστερους αποδέκτες (ρέματα, ποτάμια, λίμνες, θάλασσες), που γειτονεύουν κατά κανόνα με κατοικημένες περιοχές με αποτέλεσμα να δημιουργούνται αντιαισθητικές εικόνες και φυσικά ενοχλητικές καταστάσεις δυσοσμίας [\(Γ. Τοσσουνίδης, 2005\)](#). Μέχρι τότε η σχέση μεταξύ μόλυνσης και ασθένειας δεν ήταν καλά κατανοητή και η επιστήμη της βακτηριολογίας καθώς βρισκόταν σε νηπιακή κατάσταση δεν είχε εφαρμοστεί στο αντικείμενο της επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Οπότε οι αποκρουστικές οσμές των αποβλήτων ίσως αποτέλεσαν την αφορμή για τις πρώτες ενέργειες επεξεργασίας των ανθρώπινων αποβλήτων πριν την διάθεση τους.

Σύμφωνα με την οδηγία Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) της Ευρωπαϊκής Ένωσης που έχει δώσει τον ορισμό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, οι οσμές που εκλύονται από ανθρωπογενείς πηγές αποτελούν ατμοσφαιρικούς

ρύπους (Directive 2008/1/EC). Η κύρια επίπτωση από την παρουσία οσμηρών ουσιών στην ατμόσφαιρα είναι η όχληση που προκαλείται στους ανθρώπους. Η ανίχνευση της οσμής και η αίσθηση που προκαλείται στους ανθρώπους από την εισπνοή οσμών είναι μια εξαιρετικά σύνθετη διαδικασία, παρόλα αυτά οι επιπτώσεις των φαινομένων όχλησης λόγω οσμών συσχετίζονται πρωταρχικά με την ψυχολογική πίεση παρά με τις βλάβες που προκαλούν στην υγεία. Μπορεί να έχουν κοινωνικό-οικονομικές επιπτώσεις, να οδηγήσουν σε αποθάρρυνση επενδύσεων και της τοπικής ανάπτυξης (Δ. Βαγενάς, 2004). Καθίσταται έτσι αναγκαία η ύπαρξη ενός βασικού πλάνου αντιμετώπισης των οσμών σε κέντρα επεξεργασίας λυμάτων το οποίο θα περιλαμβάνει τον εντοπισμό των πηγών έκλυσής τους, την κάλυψή τους και τη μεταβίβαση τους σε ένα κεντρικό σύστημα επεξεργασίας (Tchobanoglous and Burton, 2007).

2. Θεωρητικό Υπόβαθρο



2.1 Οσμές

Οι ουσίες που προκαλούν την αίσθηση της όσφρησης είναι γνωστές ως οσμές. Η ανίχνευση των οσμών προκύπτει από το ερέθισμα του οσφρητικού αισθητήριου συστήματος, το οποίο αποτελείται από δύο ξεχωριστά υποσυστήματα, το οσφρητικό επιθήλιο και το τρίδυμο νεύρο. Αν και ο αληθινός μηχανισμός της όσφρησης δεν είναι πλήρως κατανοητός, οι διαθέσιμες τεχνικές απεικόνισης του εγκεφάλου υποδεικνύουν τα orbitofrontal (εικόνα Κεφαλαίου), insula και piriform ως τα τρία τμήματα που συμβάλουν περισσότερο (Dr. J. Frasnelli, 2011). Είναι όμως γνωστό ότι η εμπειρία και η ευαισθησία του ατόμου καθώς και η κατάσταση στην οποία βρίσκεται επηρεάζουν την ικανότητα αντίδρασής του στις διάφορες οσμές. Οι χημικές και φυσικές ιδιότητες των περισσότερων οσμηρών ουσιών προκαλούν τα ερεθίσματα της όσφρησης στα αισθητήρια κύτταρα που είναι υπεύθυνα για την μυρωδιά. Το οσφρητικό όργανο είναι ικανό να ανιχνεύει και να κάνει διακρίσεις μεταξύ πολλών χιλιάδων διαφορετικών οσμών και μπορεί να εντοπίσει κάποιες από αυτές σε συγκεντρώσεις χαμηλότερες από αυτές που ανιχνεύονται από τα διαθέσιμα αναλυτικά εργαλεία σήμερα, όπως ο αέριος χρωματογράφος.

2.2 Ανίχνευση των οσμών - Τρόποι μέτρησης

Η ενόχληση που μπορεί να προκληθεί από μια οσμή είναι αποτέλεσμα συνδυασμού των ιδιοτήτων και των χαρακτηριστικών της, όπως: η ένταση, η διάρκεια της έκθεσης στο ερέθισμα, η συχνότητα της εμφάνισης, η ποιότητα της οσμής, η ανοχή του αποδέκτη. Για τον προσδιορισμό των μονάδων μέτρησης και τον καθορισμό των επιθυμητών ορίων για τις οσμές χρησιμοποιείται ευρύτερα η μέθοδος της ολφακτομετρίας (olfactometry) (CEN, 2003). Ακολούθως αναλύεται

η μέθοδος αυτή καθώς επίσης και κάποιες βασικές έννοιες που έχουν προταθεί και χρησιμοποιούνται.

European Odour Unit: Εκφράζει τη συγκέντρωση της οσμής στην ατμόσφαιρα και ισούται με τον αριθμό των αραιώσεων ενός δείγματος αέρα με ίσους όγκους άοσμου αέρα ώστε το μίγμα να έχει συγκέντρωση ίση με το όριο ανίχνευσης της συγκεκριμένης οσμής (CEN, 2003).

Με **το μέτρο της έντασης** εκφράζεται η δύναμη της αίσθησης της οσμής και σχετίζεται με τη συγκέντρωση της οσμής. Η ένταση της οσμής γίνεται αντιληπτή απευθείας χωρίς καμία γνώση της συγκέντρωσής της ή τον βαθμό της απαιτούμενης αραιώσης αέρα για την εξάλειψή της. Σύμφωνα με το νόμο των Weber-Fechner, η ένταση του ερεθίσματος που προκαλείται από μια οσμή συγκέντρωσης C, δίνεται από την παρακάτω εξίσωση (Wright, 1982):

$$I = k_w \log(C / C_0) + k$$

όπου:

I: η ένταση της οσμής

k_w : Η σταθερά των Weber-Fechner

C: Συγκέντρωση της οσμής

C_0 : Συγκέντρωση της οσμής στο όριο ανίχνευσης (εξ ορισμού ίση με 1 όταν χρησιμοποιούνται Odour Units)

k: Σταθερά που σχετίζεται με τη χρήση των μέσων επιπέδων έντασης.

Άλλη μια συσχέτιση της έντασης του προκαλούμενου ερεθίσματος με τη συγκέντρωση της οσμής, περιγράφεται από το νόμο του Steven (Wright, 1982):

$$I = k \cdot C^n$$

Όπου n, σταθερά που κυμαίνεται μεταξύ 0.2 και 0.8 ανάλογα με την κάθε χημική ένωση.

Χαρακτήρας οσμής ή **ποιότητα** είναι η ιδιότητα που την ξεχωρίζει από άλλη οσμή παρόμοιας έντασης. Η ποιότητα της οσμής σχετίζεται με το χαρακτηρισμό της οσμής ως «ευχάριστη» ή «δυσάρεστη». Ως κριτήριο εμπεριέχει κάποια υποκειμενικότητα, ωστόσο έχουν προταθεί κάποιοι συντελεστές για την κάθε οσμή. Για τον προσδιορισμό του χαρακτήρα της οσμής χρησιμοποιούνται κάποιοι

δείκτες όπως έχουν προσδιοριστεί από τον Dravnieks (1984). Η κλίμακα που χρησιμοποιήθηκε κυμαίνεται από -4 μέχρι +4. Οι αρνητικές τιμές αντιστοιχούν σε «δυσάρεστες» οσμές ενώ οι θετικές τιμές σε «ευχάριστες οσμές».

Πέρα από τα χαρακτηριστικά των οσμών, ένας παράγοντας που καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο αυτές γίνονται αντιληπτές είναι η **ανοχή του αποδέκτη**. Όπως είναι κατανοητό η ευαισθησία των ανθρώπων στις οσμές δεν είναι για όλους η ίδια. Η ηλικία, τυχόν προβλήματα υγείας που σχετίζονται με το αναπνευστικό σύστημα αλλά και η ίδια η ικανότητα της όσφρησης είναι μερικές παράμετροι που την επηρεάζουν. Γίνεται επομένως κατανοητό πως όσο μεγαλύτερος πληθυσμός βρίσκεται εκτεθειμένος σε κάποια οσμή τόσο να αυξάνεται η πιθανότητα να βρεθούν περισσότεροι ευαίσθητοι αποδέκτες στον πληθυσμό αυτόν. Η οδηγία της USEPA για τις οσμές προτείνει όρια σε odour units ανάλογα με τον αριθμό των κατοίκων της περιοχής γύρω από την πηγή της οσμής.

Πίνακας 2.1: Προτεινόμενα όρια επιπέδων οσμών σε κατοικημένες περιοχές (USEPA, 2007).

Αριθμός Κατοίκων	Προτεινόμενο Όριο (OU)
>2.000	2
>350	4
>60	6
>12	8
<12	10
<12	10

Η **προσαρμογή** ή η κούραση του οσφρητικού οργάνου είναι ένα φαινόμενο που συμβαίνει όταν άνθρωποι (με φυσιολογική εμπειρία στην αίσθηση της όσφρησης) αποκτούν μειωμένη αντίληψη στην ένταση μιας οσμής, έπειτα από συνεχή έκθεση στο ερέθισμα. Η κανονική λειτουργία της όσφρησης επανέρχεται σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα μετά την απομάκρυνση του ερεθίσματος, ανάλογα φυσικά με την έντασή του. Κατά κανόνα η προσαρμογή σε μια συγκεκριμένη οσμή δεν επηρεάζει την ικανότητα ενός ατόμου να εντοπίσει άλλες. Ένα άλλο

φαινόμενο γνωστό ως εθισμός ή επαγγελματική ανοσμία παρουσιάζεται όταν ένας εργαζόμενος εξαιτίας μιας μακροπρόθεσμης έκθεσης αναπτύσσει ένα μεγαλύτερο όριο ανοχής για μια οσμή. Η ανοσμία μπορεί να εμφανιστεί σε διάφορα επίπεδα: ολοκληρωτική αδυναμία όσφρησης, ολοκληρωτική αδυναμία όσφρησης σε συγκεκριμένες οσμές ή μειωμένη ευαισθησία σε συγκεκριμένες οσμές.

Η κλίμακα δεικτών οσμής, δηλαδή η κλίμακα για τις συγκεντρώσεις των οσμών (**Odour index scale**), ποσοτικοποιεί τη δυνατότητα μιας συγκεκριμένης ένωσης να προκαλέσει όχληση λόγω της οσμής της σε συνθήκες εξάτμισης (Amore και O'Neill, 1988). Η κλίμακα αυτή αποτελεί έναν τυποποιημένο τρόπο για την αναφορά των τιμών συγκεντρώσεων των οσμών έτσι ώστε να υπάρχει ένα κοινό σημείο αναφοράς για τον καθορισμό πολιτικής και τη λήψη αποφάσεων. Ο δείκτης οσμής είναι ένα αδιάστατο μέγεθος και ορίζεται ως: Δείκτης οσμής = $10 \text{ Log (συγκέντρωση οσμής)}$

Τεχνικές χαρακτηρισμού-ποσοτικοποίησης των οσμών

Οι τεχνικές μέτρησης συγκέντρωσης των ενώσεων με όργανα μέτρησης έχουν το πλεονέκτημα της επαναληψιμότητας και του ακριβούς ποσοτικού προσδιορισμού της συγκέντρωσής των. Η επικρατούσα και περισσότερο διαδεδομένη μέθοδος ταυτοποίησης πτητικών οργανικών ενώσεων που εμπεριέχονται σε αέρια δείγματα είναι η αέρια χρωματογραφία. Η τεχνική αυτή είναι εξαιρετικά ευαίσθητη και έχει το βασικό πλεονέκτημα ότι μπορεί να προσδιορίσει ποιοτικά αλλά και ποσοτικά τις οσμηρές ενώσεις που είναι παρούσες στα δείγματα αέρα που έχουν συλλεχθεί. Η αέρια χρωματογραφία έχει χρησιμοποιηθεί επιτυχώς για τον προσδιορισμό των συγκεκριμένων ενώσεων που ευθύνονται για τις οσμές. Δυστυχώς, δεν έχει αποδειχθεί η ορθότητα αυτής της τεχνικής για επιτυχή ανίχνευση και προσδιορισμό των ποσοτήτων των οσμών που προέρχονται από τις εγκαταστάσεις συλλογής, επεξεργασίας και διάθεσης των υγρών αποβλήτων, λόγω των πολλών ενώσεων που περιλαμβάνουν (Tchobanoglous and Burton, 2007). Πολύ σημαντικό ρόλο στη μέθοδο αυτή, παίζει η εξαιρετικά δύσκολη διαδικασία συλλογής και λήψης των αέριων δειγμάτων καθώς διέπονται από χημική αστάθεια και κυρίως διότι δεν δύναται να ανιχνευτούν με αναλυτικές

τεχνικές σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις. Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι ακόμη και η χρήση μιας ευαίσθητης τεχνικής όπως η αέρια χρωματογραφία, δεν μπορεί να εγγυηθεί ένα σίγουρο τρόπο ανίχνευσης των οσμηρών ενώσεων.

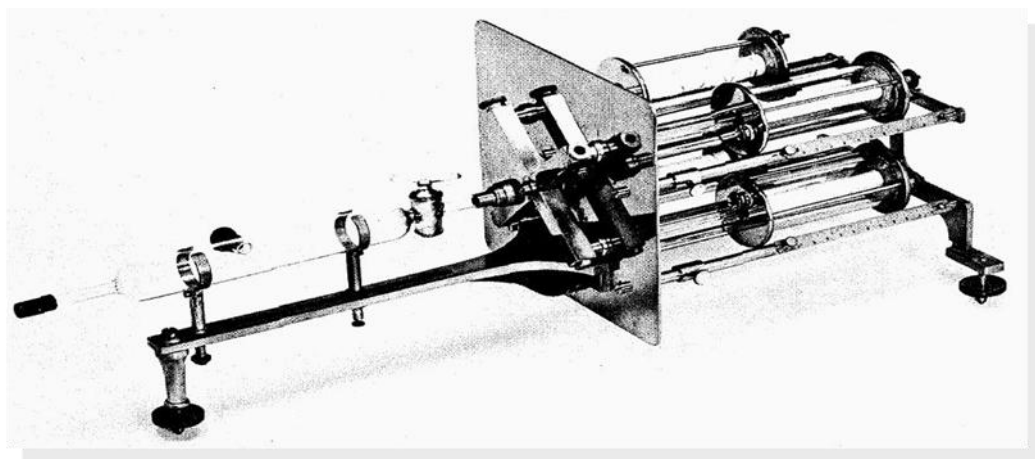
Σύμφωνα με το ευρωπαϊκό πρότυπο EN13725:2003, «Ποιότητα του αέρα - Προσδιορισμός της συγκέντρωσης οσμών με δυναμική ολφακτομετρία» (Air quality – Determination of odour concentration by dynamic olfactometry), η **ολφακτομετρία** παρέχει μια ισχυρή, επιστημονικά αντικειμενική μέθοδο για την αξιολόγηση των οσμών. Με τη μέθοδο αυτή, για τη μέτρηση της συγκέντρωσης της οσμής χρησιμοποιούνται ανθρώπινα υποκείμενα. Κατά τη μέτρηση με το ολφακτόμετρο, τα μέλη των ειδικών ομάδων εκτίθενται στο δείγμα. Αρχικά, το δείγμα είναι πολύ αραιωμένο, ώστε η οσμή να μη γίνεται αντιληπτή από κανένα άτομο. Έπειτα, η συγκέντρωση αυξάνεται, με αραιώση του δείγματος με όλο και λιγότερο καθαρό αέρα με δεδομένο, ακριβή ρυθμό έως ότου το ήμισυ των μελών της ομάδας εμπειρογνομόνων να δηλώνουν ότι μπορούν να ανιχνεύσουν την οσμή. Εξ' ορισμού η ελάχιστη συγκέντρωση στην οποία το 50% των μελών της ομάδας εμπειρογνομόνων μπορεί να μυρίσει την οσμή, καλείται **Όριο ανίχνευσης οσμής** (detection threshold) και είναι ίσο με 1 μονάδα οσμής ανά κυβικό μέτρο (1 odour unit per cubic meter). Ουσιαστικά είναι η συγκέντρωση της οσμής με πιθανότητα 0,5 να ανιχνευθεί υπό τις συνθήκες του τεστ. Για τον υπολογισμό των αρχικών μονάδων οσμής του δείγματος, προστίθενται όλες οι αραιώσεις που απαιτούνται για την επίτευξη αυτού του ορίου. Αν το δείγμα είχε αραιωθεί, για παράδειγμα, 536 φορές, προκειμένου να φτάσουν στο 1 ΟΥ, τότε η αρχική συγκέντρωση οσμής του δείγματος ήταν 536 (ou/m³).

Όριο αναγνώρισης οσμής (recognition threshold): Είναι η ελάχιστη συγκέντρωση μιας συγκεκριμένης χημικής ένωσης όπου όταν μια ομάδα ειδικών εκτεθεί σε αυτήν θα είναι σε θέση (τουλάχιστον το 50% της ομάδας) να αναγνωρίσουν τον «χαρακτήρα» του ερεθίσματος. Έχει διαπιστωθεί ότι συνήθως το όριο αναγνώρισης οσμής είναι 2 με 10 φορές μεγαλύτερο από το όριο ανίχνευσης οσμής. Ουσιαστικά είναι η συγκέντρωση της οσμής με πιθανότητα 0,5 να αναγνωρισθεί υπό τις συνθήκες της ολφακτομετρίας.

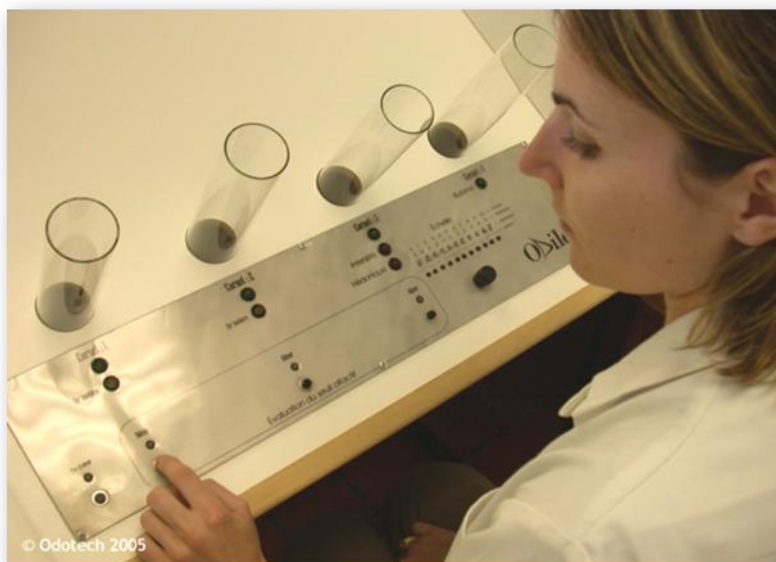
Πίνακας 2.2: Όρια ανίχνευσης οσμηρών ενώσεων (C.P.C.B., 2008).

Χημική Ένωση	Μοριακός τύπος	Μοριακό Βάρος	Όριο αναγνώρισης (ppm v/v)
Ανόργανες ενώσεις			
Αμμωνία	NH ₃	17	17
Χλώριο	Cl ₂	71	0.08
Υδροθείο	H ₂ S	34	0.00047
Όζον	O ₃	48	0.5
Διοξείδιο του θείου	SO ₂	64	2.7
Οξέα			
Οξικό οξύ	CH ₃ CO OH	60	1
Βουτυρικό οξύ	CH ₃ CH ₂ CH ₂ COOH	88	0.12
Προπανοϊκό οξύ	CH ₃ CH ₂ COOH	74	0.028
Αμίνες			
Μεθυλαμίνη	CH ₃ NH ₂	31	4.7
Διμεθυλαμίνη	(CH ₃) ₂ NH	45	0.34
Τριμεθυλαμίνη	(CH ₃) ₃ N	59	0.0004
Αιθυλαμίνη	C ₂ H ₅ NH ₂	45	0.27
Διαιθυλαμίνη	(C ₄ H ₉) ₂ NH	129	0.02
Δι-ισοπροπυλαμίνη	(C ₃ H ₇) ₂ NH ₂	101	0.13
Μερκαπτάνες			
Βενζυλομερκαπτάνη	C ₆ H ₅ CH ₂ SH	124	0.0002
Αιθυλομερκαπτάνη	C ₂ H ₅ SH	62	0.0003
Μεθυλομερκαπτάνη	CH ₃ SH	48	0.0005
Φαινυλομερκαπτάνη	C ₆ H ₅ SH	110	0.0003
Προπυλομερκαπτάνη	C ₃ H ₇ SH	76	0.0005
Σουλφίδια			
Διαιθυλ-σουλφίδιο	(C ₂ H ₅) ₂ S	106	0.02
Διμεθυλοσουλφίδιο	(CH ₃) ₂ S	62	0.001
Διμεθυλοδισουλφίδιο	(CH ₃) ₂ S ₂	94	0.0076
Οργανικές ετεροκυκλικές ενώσεις			
Ινδόλη	C ₆ H ₄ (CH) ₂ NH	117	0.0001
Πυριδίνη	C ₅ H ₅ N	79	0.0001
Σκατόλη	C ₉ H ₉ N	131	0.001

Η ολφακτομετρία χρησιμοποιείται για περισσότερο από έναν αιώνα τώρα. Η πρώτη αναφορά για το όριο κατωφλιού οσμής έγινε το 1848 και από τη δεκαετία του 1890 εμφανίζονται ολοκληρωμένες μελέτες. Το πρώτο ολφακτόμετρο κατασκευάστηκε στο Πανεπιστήμιο της Ουτρέχτης, στην Ολλανδία, όπως φαίνεται στην εικόνα 1. Στην εικόνα 2 φαίνεται ένα σύγχρονο μοντέλο ολφακτόμετρου κατά τη χρήση.



Εικόνα 2.1: Μοντέλο ολφακτόμετρου του καθηγητή Zwaardemaker, Ολλανδία, 1886 (Πηγή: www.odotech.com)



Εικόνα 2.2: Σύγχρονη συσκευή ολφακτομετρίας της εταιρείας Odotech (Πηγή: www.odotech.com)

2.3 Βαθμός όχλησης

Η όχληση που προκαλείται από την παρουσία μιας οσμηρής ένωσης στην ατμόσφαιρα αναφέρεται στην απόκριση του κάθε ατόμου που εκτίθεται σε μια συγκεκριμένη τιμή συγκέντρωσής της και ποικίλει από άτομο σε άτομο. Η πιθανότητα όχλησης που προκαλείται, είναι μια παράμετρος που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τη μελέτη της έκθεσης των ανθρώπων στις οσμές, καθώς ατομικές οχλήσεις μπορεί να παρατηρούνται σε σχετικά μεγάλο βαθμό ακόμα και αν η τιμή της συγκέντρωσης δεν έχει υπερβεί το όριο ανίχνευσης. Ο βαθμός της όχλησης που θα προκληθεί από την παρουσία μιας οσμής στην ατμόσφαιρα, δεν εξαρτάται μόνο από την πιθανότητα ανίχνευσης της αλλά και από το είδος της κάθε οσμής. Για το λόγο αυτό έχει προταθεί (Nicell, 2003) η χρήση μιας παρόμοιας σχέσης που ποσοτικοποιεί το βαθμό της όχλησης χρησιμοποιώντας

$$A = \frac{10}{1 + \left(\frac{C_{5AU}}{C} \right)^{\frac{1-a}{a}}}$$

μια δεκαβάθμια κλίμακα:

όπου:

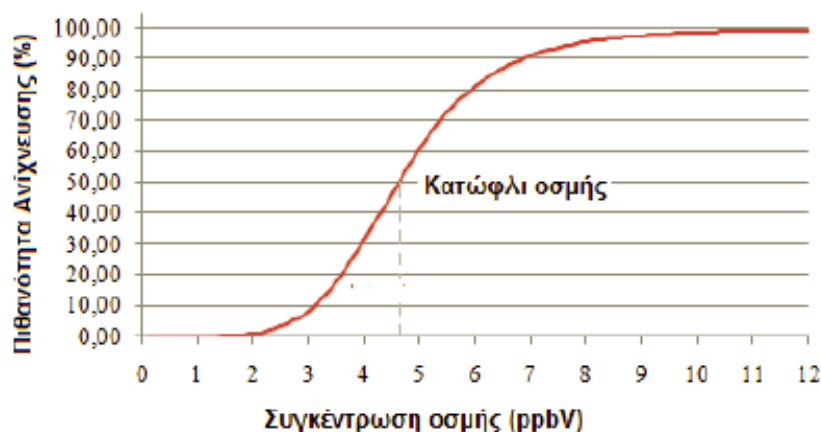
A: ο βαθμός όχλησης που μετριέται σε AU, Annoyance Units (Μονάδες όχλησης)

C: Η συγκέντρωση της οσμηρής ένωσης (σε ppm)

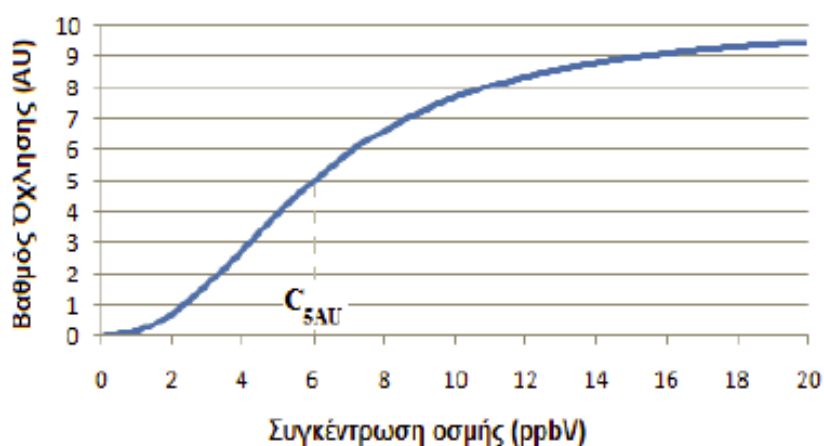
C_{5AU}: Η συγκέντρωση (σε ppm) της οσμής που αντιστοιχεί σε βαθμό όχλησης ίσο με 5 AU

α: Αδιάστατη σταθερά που εκφράζει την «επιμονή» της όχλησης, κυμαίνεται από 0 μέχρι 1 ανάλογα με την ένωση (Nicell, 2003).

Από στατιστική επεξεργασία πειραμάτων ολφακτομετρίας, η συγκέντρωση C_{5AU} για το υδρόθειο έχει οριστεί ίση με 23 ppb και 35 ppm για την αμμωνία. Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται οι καμπύλες που δίνουν το βαθμό όχλησης λόγω της παρουσίας υδρόθειου και αμμωνίας στην ατμόσφαιρα. Όπως φαίνεται από τα διαγράμματα, σε μια μείωση της συγκέντρωσης της αμμωνίας και του υδρόθειου κατά το ίδιο ποσοστό, ο βαθμός όχλησης που προκαλείται από την αμμωνία θα ελαττωθεί λιγότερο σε σχέση με το βαθμό όχλησης λόγω του υδρόθειου.



Σχήμα 2.1: Πιθανότητα ανίχνευσης υδρόθειου



Σχήμα 2.2: Βαθμός όχλησης λόγω της ύπαρξης συναρτήσει της συγκέντρωσης υδρόθειου στην ατμόσφαιρα

2.4 Πηγές οσμών

Οσμές μπορούν να προκύψουν από πολλές πηγές. Οι περισσότερες από τις πηγές είναι ανθρωπογενείς. Οι πηγές αυτές μπορούν να ταξινομηθούν ως σημειακές, (πηγές που περιορίζονται οι εκπομπές από καμινάδες, εξατμίσεις και επιφανειακές πηγές (μπορεί να είναι, μονάδες επεξεργασίας λυμάτων, χοιροτροφικές εγκαταστάσεις, ΧΥΤΑ κλπ.). Στον παρακάτω πίνακα υποδεικνύονται οι διάφορες οσμηρές χημικές ενώσεις που εκπέμπονται από βιομηχανικές δραστηριότητες.

Πίνακας 2.3: Κύριες ανθρωπογενείς πηγές οσμών και οι εκπεμπόμενες ενώσεις (C.P.C.B., 2008).

Πηγή	Κύριες Ενώσεις
Βιομηχανία προϊόντων χάρτου	Μερκαπτάνες, υδρόθειο
Βιομηχανία λιπασμάτων	Αμμωνία, ενώσεις αζώτου
Βιομηχανία πετρελαίου	Θειούχες ενώσεις, μερκαπτάνες
Βιομηχανία Τροφίμων	Οργανικές ενώσεις
Χοιροστάσια	Υδρόθειο, αμμωνία
Κέντρα Επεξεργασίας Λυμάτων, ΧΥΤΑ	Υδρόθειο

Πίνακας 2.4: Χαρακτηριστικές οσμές ενώσεων που συνδέονται με την διαχείριση υγρών αποβλήτων (Tchobanoglous and Burton, 2007)

Οσμώδης ένωση	Χαρακτηριστική οσμή
Αμμωνία	Καυστική, ερεθιστική
Χλώριο	Καυστική, αποπνικτική
Χλωροφαινόλη	Ιατρική οσμή
Κροτυλική μερκαπτάνη	Βρωμερή
Θειούχο διμεθύλιο	Αποσυνθεμένο λαχανικό
Θειούχο διφαινύλιο	Δυσάρεστη
Αιθυλική μερκαπτάνη	Αποσυνθεμένο λαχανικό
Αιθυλικό σουλφίδιο	Οσμή που προκαλεί ναυτία
Υδρόθειο	Σάπιο αυγό
Ινδόλη	Περιττώματος, προκαλεί ναυτία
Μεθυλική αμίνη	Σάπιο, ψαριού
Μεθυλική μερκαπτάνη	Αποσυνθεμένο λαχανικό
Σκατόλη	Περιττώματος, προκαλεί ναυτία
Διοξείδιο του θείου	Καυστική, ερεθιστική
Θειοκρεσόλη	Αποπνικτική, ταγκάδα
Τριμεθυλική αμίνη	Καυστική, ψαριού

Στα συστήματα συλλογής υγρών αποβλήτων υπάρχει πολύ υψηλή πιθανότητα απελευθέρωσης οσμών. Οι κύριες πηγές των οσμηρών ενώσεων στα συστήματα αυτά είναι: από βιολογική μετατροπή υπό αναερόβιες συνθήκες της οργανικής ουσίας που περιέχει άζωτο και θείο και την εκροή βιομηχανικών υγρών αποβλήτων που μπορεί να περιέχουν οσμώδεις ενώσεις ή ενώσεις που μπορεί να αντιδράσουν με ενώσεις υγρών αποβλήτων και να παράγουν οσμώδεις ενώσεις. Τα οσμώδη αέρια που απελευθερώνονται στους υπονόμους μπορούν να καταλήξουν σε βαλβίδες εκτόνωσης, στα ανοίγματα, καταπακτές και στόμια αερισμού (Tchobanoglous and Burton 2007). Οι κύριοι τύποι οσμών που αντιμετωπίζονται στις εγκαταστάσεις διαχείρισης υγρών αποβλήτων αναφέρονται στον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 2.4).

Οι οσμές είναι δυνατό να υπάρχουν ή να δημιουργούνται στο αποχετευτικό δίκτυο και στη μονάδα επεξεργασίας. Από τη στιγμή που θα σχηματιστούν, τείνουν να μεταφέρονται στην ατμόσφαιρα με τη ροή του αέρα, σε σημεία όπου η τύρβη είναι μεγάλη ή εκεί όπου υπάρχει μεγάλη διεπιφάνεια αέρα - νερού. Το επίπεδο των οσμών αυξάνεται με την ανακύκλωση υγρών κατά τη διάρκεια της διεργασίας, ιδιαίτερα όταν ανακυκλώνονται υγρά που παράγονται από τη χώνευση ή την ξήρανση της λάσπης. Ειδικότερα προβλήματα απαντώνται σε:

- Σημεία εισόδου: ισχυρές οσμές στο εισερχόμενο ρεύμα οδηγούν σε υψηλά επίπεδα απελευθέρωσης.
- Πρωτοβάθμιες δεξαμενές καθίζησης: εάν δέχονται ένα ιδιαίτερα οσμηρό ρεύμα ή εάν συγκεντρωθεί μεγάλη ποσότητα λάσπης στη δεξαμενή.
- Δευτεροβάθμια επεξεργασία, εάν η τροφοδοσία είναι ιδιαίτερα οσμηρή ή το φορτίο εισόδου είναι μεγάλο.
- Σημεία μεταφοράς, αποθήκευσης, επεξεργασίας λάσπης, ιδιαίτερα σε μη επαρκώς σταθεροποιημένες λάσπες.
- Διαρροές ή εκπομπές βιοαερίου από αναερόβια χώνευση
- Στο πρώτο σημείο εκφόρτωσης της χωνευμένης λάσπης.

Οι ουσίες που είναι υπεύθυνες για τη διάχυση των ενοχλητικών οσμών στις γειτονικές περιοχές των εγκαταστάσεων συλλογής και διαχείρισης λυμάτων είναι γενικά αέρια ανόργανα ή εξαιρετικά πτητικά οργανικά προϊόντα. Τα πρώτα είναι κυρίως το αποτέλεσμα βιολογικής δραστηριότητας στο χώρο των αποβλήτων

ενώ τα τελευταία παράγονται εξαιτίας της παρουσίας βιομηχανικών λυμάτων. Εκτός από το υδρόθειο και την αμμωνία, ένας μεγάλος αριθμός πτητικών οργανικών ενώσεων μπορεί να ενταχθεί στην κατηγορία των δύσοσμων αερίων προερχόμενων από δίκτυα αποχέτευσης. Τέτοιου είδους ενώσεις είναι τα πτητικά λιπαρά οξέα (Volatile Fatty Acids) προερχόμενα από την αναερόβια διάσπαση υδρογονανθράκων, αλλά και οι μερκαπτάνες οι οποίες σχηματίζονται κυρίως από τη διάσπαση διαφόρων πρωτεϊνών.

Με λίγες εξαιρέσεις, οι κύριοι τύποι των οσμών που αντιμετωπίζονται στις εγκαταστάσεις διαχείρισης υγρών αποβλήτων, περιέχουν άζωτο ή θείο. Η χαρακτηριστική μυρωδιά των οργανικών ενώσεων που περιέχουν θείο είναι αυτή του αποσυντεθειμένου οργανικού υλικού. Η μυρωδιά του σάπιου αυγού λόγω του υδρόθειου είναι η οσμή που αντιμετωπίζεται συχνότερα στις εγκαταστάσεις αυτές. Η παρουσία του υδρόθειου οφείλεται στο αναγωγικό περιβάλλον, το οποίο χαρακτηρίζεται από χαμηλές τιμές οξειδοαναγωγικού δυναμικού.

2.5 Επιπτώσεις των οσμών

Οι δυσάρεστες οσμές μπορεί να προκαλέσουν ανορεξία, μειωμένη κατανάλωση νερού, δυσκολία στην αναπνοή, αναγούλα, εμετό και πνευματική διαταραχή. Για τους ανθρώπους, οι οσμές σε χαμηλές συγκεντρώσεις συσχετίζονται πρωταρχικά με την ψυχολογική πίεση παρά με τις βλάβες που προκαλούν στην υγεία. Σε ακραίες περιπτώσεις μπορεί να οδηγήσουν σε καταπάτηση προσωπικής και κοινωνικής υπερηφάνειας, επίδραση στις ανθρώπινες σχέσεις, αποθάρρυνση επενδύσεων, χαμηλό κοινωνικό-οικονομικό κατεστημένο και αποθάρρυνση ανάπτυξης (Δ. Βαγενάς, 2004). Γενικότερα η υποβάθμιση της ποιότητας ζωής κοντά σε εγκαταστάσεις που εκλύουν οσμές μπορεί να οδηγήσει σε αρκετά αρνητικά κοινωνικά και οικονομικά αποτελέσματα.

2.6 Υδρόθειο

Το υδρόθειο (H_2S) είναι ένα βαρύτερο από τον αέρα, άχρωμο αέριο με υπόγλυκη γεύση και χαρακτηριστική οσμή που θυμίζει χαλασμένα αυγά και μπορεί να είναι δηλητηριώδες σε υψηλές συγκεντρώσεις (Hazardous Substances Data Base 2006). Η ανθρώπινη όσφρηση μπορεί να ανιχνεύσει το υδρόθειο σε χαμηλές

συγκεντρώσεις στον αέρα, ωστόσο, υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να προκαλέσουν απώλεια της ικανότητας ανίχνευσής του. Το γεγονός αυτό καθιστά το υδρόθειο επικίνδυνο. Το υδρόθειο εμφανίζεται τόσο στη φύση όσο και από ανθρώπινες δραστηριότητες.

Το υδρόθειο από φυσικές πηγές:

Το υδρόθειο είναι μία από τις κύριες συνιστώσες στο φυσικό κύκλο του θείου. Βακτήρια, μύκητες και ακτινομύκητες απελευθερώνουν υδρόθειο κατά την αποσύνθεση πρωτεϊνών που περιέχουν θείο, καθώς και από την άμεση μείωση του θειικού (SO_4^{2-}). Υδρόθειο επίσης καταναλώνεται από τα βακτήρια που βρίσκονται στο έδαφος και στο νερό, τα οποία το οξειδώνουν σε στοιχειακό θείο. Φωτοσυνθετικά βακτήρια μπορούν να οξειδώνουν υδρόθειο σε θείο και θειικό απουσία οξυγόνου (*EPA 1993, WHO 1981*).

Υδρόθειο συνήθως εκπέμπεται από ηφαίστεια, ιαματικές πηγές και στάσιμα νερά. Κάθε χρόνο 100 με 324 εκατομμύρια τόνοι υδρόθειου εκλύονται από φυσικές πηγές. Οι φυσικές αυτές εκπομπές αντιστοιχούν περίπου στο 90% του συνόλου του υδρόθειου στην ατμόσφαιρα (*EPA 1993*).

Το υδρόθειο από ανθρωπογενείς πηγές

Το υδρόθειο ως ένα φυσικό συστατικό του πετρελαίου, του θείου και των κοιτασμάτων φυσικού αερίου, μπορεί να εκλυθεί κατά την εξόρυξη, τη μεταφορά και τον εξευγενισμό των πόρων αυτών. Επίσης συναντάται συχνά σε εγκαταστάσεις ή βιομηχανίες όπως διυλιστήρια πετρελαίου, εγκαταστάσεις φυσικού αερίου, πετροχημικές εγκαταστάσεις, χώρους υγειονομικής ταφής, εγκαταστάσεις επεξεργασίας κοπριάς, εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, βυρσοδεψεία, εγκαταστάσεις παραγωγής συνθετικού μεταξιού, εργοστάσια παραγωγής ασφάλτου και πίσσας. Στις περιπτώσεις αυτές είτε χρησιμοποιείται ως αντιδραστήριο ή παράγεται ως υποπροϊόν της παραγωγής ή των βιομηχανικών διεργασιών. Στα νοικοκυριά το υδρόθειο μπορεί να προκύψει από κατάχρηση των προϊόντων καθαρισμού αποχετεύσεων. Μπορεί να εντοπιστεί ακόμα και στον καπνό του τσιγάρου και στις εκπομπές από τα βενζινοκίνητα οχήματα.

Ενδογενής παραγωγή υδρόθειου

Εκτός από εξωγενείς πηγές ο άνθρωπος μπορεί να εκτεθεί στο υδρόθειο από την ενδογενή παραγωγή. Το σώμα μας παράγει μικρές ποσότητες υδρόθειου, το μεγαλύτερο μέρος των οποίων προκύπτει από το μεταβολισμό ορισμένων αμινοξέων (π.χ. κυστεΐνη) από βακτήρια που υπάρχουν στον εντερικό σωλήνα και το στόμα. Επίσης παράγεται στον εγκέφαλο και σε κάποιους μυς (π.χ. θωρακική αορτή) από ένζυμα που βρίσκονται σε αυτούς τους ιστούς. Το υδρόθειο που παράγεται στο στόμα έχει μετρηθεί σε συγκεντρώσεις από 1 έως 100 ppb και αποτελεί παράγοντα της κακής αναπνοής (halitosis). Στο γαστρεντερικό σωλήνα παράγεται από βακτήρια κατά την πέψη τροφών με φυτικές ή ζωικές πρωτεΐνες που περιέχουν θείο (EPA 2003).

Επιδράσεις υδρόθειου

Ο γενικός πληθυσμός εκτίθεται κυρίως στο υδρόθειο μέσω της εισπνοής. Αν και η στοματική και δερματική απορρόφηση μπορεί επίσης να συμβεί, αλλά έχει μικρή συμβολή στη συνολική επιβάρυνση του σώματος. Η αναπνευστική οδός και το νευρικό σύστημα είναι οι πιο ευαίσθητοι στόχοι της τοξικότητας υδρόθειου. Η έκθεση σε υψηλά επίπεδα συγκέντρωσης υδρόθειου μπορεί να προκαλέσει μακροχρόνιες επιπτώσεις στο νευρικό σύστημα.

Η έκθεση σε χαμηλές συγκεντρώσεις υδρόθειου μπορεί να προκαλέσει ερεθισμό στα μάτια, τη μύτη ή το λαιμό. Μπορεί επίσης να προκαλέσει δυσκολία στην αναπνοή σε ασθματικούς. Η σύντομη έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις (άνω των 500 ppm) μπορεί να προκαλέσει απώλεια αισθήσεων. Στις περισσότερες των περιπτώσεων, το άτομο ανακτά τις αισθήσεις του χωρίς άλλες συνέπειες, ωστόσο, σε μερικά άτομα, μπορεί να υπάρχουν μόνιμα ή μακροχρόνια αποτελέσματα όπως πονοκέφαλοι, έλλειψη συγκέντρωσης, διαταραχή της βραχυπρόθεσμης μνήμης, και μειωμένη κινητική λειτουργία. Μεγάλες συγκεντρώσεις υδρόθειου (150 ppm) μπορεί να προκαλέσουν παράλυση του οσφρητικού νεύρου. Αναπνευστική δυσχέρεια και πνευμονικό οίδημα συνδέονται επίσης με την έκθεση σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις υδρόθειου. Πέρα από τα προβλήματα στο αναπνευστικό, έχουν επίσης παρατηρηθεί καρδιαγγειακές επιπτώσεις (π.χ. καρδιακή αρρυθμία και ταχυκαρδία), μετά από οξεία έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις. Η έκθεση σε

χαμηλότερες συγκεντρώσεις υδρόθειου μπορεί να οδηγήσει σε λιγότερο σοβαρές νευρολογικές και αναπνευστικές επιδράσεις. Οι αναφερόμενες νευρολογικές επιπτώσεις περιλαμβάνουν έλλειψη συντονισμού, κακή μνήμη, παραισθήσεις, αλλαγές προσωπικότητας (M. Ishigami, 2009) και ανοσμία (ανοσμία: Η έλλειψη ευαισθησίας σε οσφρητικά ερεθίσματα, απουσία της αίσθησης της όσφρησης [ISO 5492:1992]). Οι επιδράσεις στο αναπνευστικό περιλαμβάνουν ρινικά συμπτώματα, πονόλαιμο, βήχα και δύσπνοια. Δεν έχουν διαπιστωθεί επιπτώσεις στην υγεία για ανθρώπους που εκτίθενται σε συνήθεις περιβαλλοντικές συγκεντρώσεις του υδρόθειου (0.00011 έως 0.00033 ppm). Έως τώρα δεν έχει διαπιστωθεί η δυνατότητά του να προκαλεί ή όχι καρκίνο (U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES 2006) και η περίπτωση να προκαλεί στα ζώα δεν έχει μελετηθεί διεξοδικά. Έχουν καταγραφεί όμως θάνατοι εργαζομένων λόγω εισπνοής μεγάλων ποσοτήτων υδρόθειου σε διάφορες συνθήκες, μεταξύ αυτών, υπόνομοι, βόθροι, μονάδες εκτροφής ζώων, χωματερές και γεωτρήσεις πετρελαίου και φυσικού αερίου. Σε 5 θανατηφόρες περιπτώσεις δηλητηρίασης από υδρόθειο, οι συγκεντρώσεις στο αίμα ήταν από 1.7 μέχρι 3.75 mg/l (W.H.O., 2000).

2.7 Αμμωνία

Η αμμωνία είναι μια φυσική ουσία που προκύπτει από την αποσύνθεση μέσω της δράσης βακτηρίων. Σε κανονικές συνθήκες απαντά ως άχρωμο αέριο, με χαρακτηριστική καυστική και αποπνικτική οσμή. Παρόλη την ευρύτατη χρήση της είναι καυστική, διαβρωτική και δηλητηριώδης. Οι φυσικές εκπομπές της αμμωνίας υπολογίζονται σε 37.108 τόνους ανά έτος, ενώ οι ανθρωπογενείς εκπομπές αμμωνίας στην ατμόσφαιρα φτάνουν τους 4.106 τόνους ανά έτος με το μεγαλύτερο μέρος των να προέρχονται από την παρασκευή οικιακών καθαριστικών (W.H.O., 1986).

Η αμμωνία προκαλεί ερεθισμούς στο αναπνευστικό σύστημα λόγω της καυστικότητάς της. Η έκθεση σε χαμηλές συγκεντρώσεις αμμωνίας δεν αναμένεται να προκαλέσει προβλήματα υγείας. Η εισπνοή συγκεντρώσεων από 1 ppm και άνω ενδέχεται να προκαλέσει πονοκεφάλους, ναυτία, ερεθισμό των

ματιών, της μύτης και του λαιμού. Η έκθεση σε πολύ υψηλά επίπεδα συγκεντρώσεων μπορεί να προκαλέσει σοβαρά εγκαύματα και μόνιμες βλάβες στα μάτια και στο ανώτερο αναπνευστικό σύστημα. Όπως είναι αναμενόμενο, άτομα με άσθμα και εμφύσημα μπορεί να είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στην εισπνοή ακόμα και μικρών συγκεντρώσεων αμμωνίας. Οι ποσότητες αμμωνίας που εισέρχονται στον ανθρώπινο οργανισμό δεν συσσωρεύονται και δεν έχει αναφερθεί κάποια επίπτωση στην υγεία λόγω μακροχρόνιας έκθεσης στην αμμωνία.

Το όριο ανίχνευσης της χαρακτηριστικής οσμής της αμμωνίας έχει προσδιοριστεί σε διάφορες μελέτες και οι τιμές που προέκυπτan κυμαίνονται από 5 - 53 ppm (NRC, 2002; ATSDR 2004; ATSDR 2006; OSHA 2008). Η μέση τιμή των 17 ppm προκύπτει από τα αποτελέσματα αυτά και χρησιμοποιείται σε πολλές μελέτες σχετικά με την αμμωνία ως οσμηρή ένωση (ATSDR, 2006, Amshel et al., 2000; OSHA 2008).

3. Μεθοδολογία

Οι βασικότερες ενώσεις που προκαλούν τα προβλήματα οχλήσεων οσμών σχηματίζονται από αναερόβιες συνθήκες και είναι κυρίως ανόργανες (κυρίως NH_3 , H_2S) και πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC's). Κάθε μια από αυτές δύναται να ανιχνευτεί από τον ανθρώπινο οργανισμό σε διαφορετική συγκέντρωση, με αποτέλεσμα ο χαρακτηρισμός των οσμηρών ενώσεων που περιέχονται σε ένα αέριο ρεύμα συστατικών να καθίσταται εξαιρετικά δύσκολος. Η ένωση που εντοπίζεται ευκολότερα από την ανθρώπινη όσφρηση είναι το υδρόθειο το οποίο μπορεί να γίνει αντιληπτό σε συγκέντρωση μόλις 0.001 ppm. Το υδρόθειο θεωρείται η πιο συνηθισμένη και πιο επικρατούσα ένωση και φέρει χαρακτηριστική οσμή σάπιου αυγού. Οι αζωτούχες οχληρές οργανικές ενώσεις χαρακτηρίζονται από μια οσμή ψόφιου ψαριού ή αποσυντιθέμενου πτώματος. Κοινό σημείο όλων των οχληρών ενώσεων καθίσταται το γεγονός ότι μπορούν πολύ εύκολα να γίνουν αντιληπτές από τον ανθρώπινο οργανισμό σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις.

Η οσμή από τη φύση της είναι ένα φαινόμενο το οποίο μεταβάλλεται πολύ απότομα σε διάστημα ελάχιστων δευτερολέπτων, εξαιτίας της έντονης διακύμανσης των δυναμικών παραγόντων που την επηρεάζουν. Επομένως, με την διεξαγωγή συνεχών και πολλαπλών μετρήσεων να μπορούμε να αποφανθούμε επί τόπου για τη συνεχή διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης και να είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε με ακρίβεια και επί τόπου το μέγεθος της υπέρβασης του ορίου ανίχνευσης.

3.1 Μέτρηση Υδρόθειου

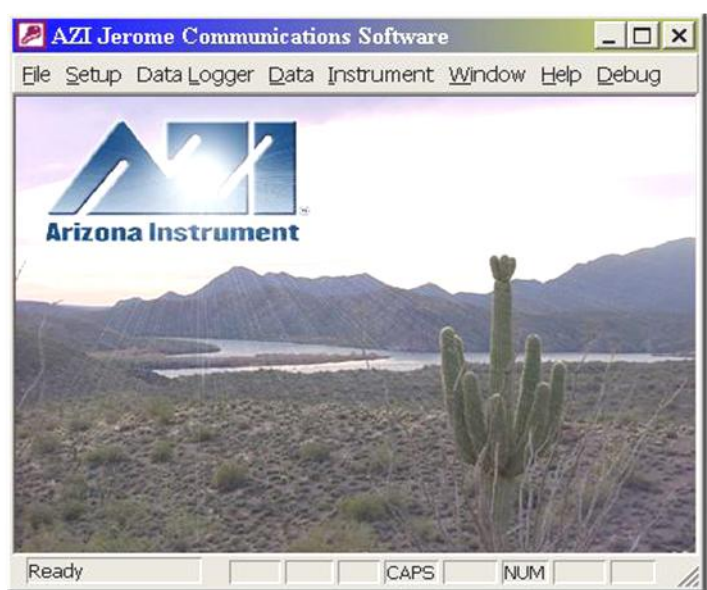
Ο αναλυτής υδρόθειου Jerome 631-X (Arizona Instruments Co. Ltd) καταγράφει τις συγκεντρώσεις υδρόθειου στην ευρεία περιοχή των 0.003ppm-50ppm. Το

όργανο περιέχει ένα ηλεκτροχημικό αισθητήρα κατασκευασμένο από φύλλο χρυσού, τέτοιο ώστε οι μεταβολές στην ηλεκτρική του αντίσταση να είναι ανάλογες της ποσότητας των προσροφημένων μορίων υδρόθειου κατά τη διάρκεια λήψης δειγμάτων. Με το πάτημα του κουμπιού δειγματοληψίας, μια εσωτερική αντλία τραβά αέρα στην ταινία χρυσού για συγκεκριμένο χρόνο και ο αισθητήρας απορροφά το υδρόθειο. Το όργανο καθορίζει την ποσότητα που απορροφάται και την αποτυπώνεται υπό μορφή μετρούμενων συγκεντρώσεων υδρόθειου σε ppm σε ψηφιακή οθόνη του (LCD). Ο χρόνος που απαιτείται για την καταγραφή των τιμών ποικίλει από 5-20sec αντιστρόφως ανάλογα της μετρούμενης συγκέντρωσης. Η ακρίβεια των τιμών μέτρησης εξαρτάται επίσης από τη μετρούμενη περιοχή συγκεντρώσεων. Έτσι για συγκεντρώσεις υδρόθειου στη πρώτη περιοχή τιμών (1-100ppb), η ακρίβεια των μετρήσεων κυμαίνεται στα $\pm 3\text{ppb}$, ενώ στη δεύτερη περιοχή τιμών (100ppb-1ppm) καθίσταται ίση με $\pm 30\text{ppb}$. Αντίστοιχα στη τελευταία περιοχή μετρούμενων τιμών (1-50ppm) η ακρίβεια των μετρήσεων κυμαίνεται στα $\pm 0.3\text{ ppm}$.

Το όργανο έχει την δυνατότητα λήψης 50 έως 500 δειγμάτων, ανάλογα φυσικά με τις συγκεντρώσεις, έως ότου ο αισθητήρας φτάσει σε σημείο κορεσμού. Στο σημείο αυτό είναι απαραίτητο να αφαιρεθεί το συσσωρευμένο υδρόθειο από τον αισθητήρα. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται αναγέννηση και διαρκεί μόλις 10 λεπτά, απαιτεί όμως: να συνδεθεί με ηλεκτρικό ρεύμα, να πραγματοποιηθεί σε περιβάλλον καθαρού αέρα, να ξεκινήσει το πολύ μερικές ώρες από τον κορεσμό και τέλος να μην διακοπεί. Ένα ελάχιστο αναμονής 30 λεπτών πριν από τον μηδενισμό και τη χρήση του Jerome εξασφαλίζει μέγιστη ακρίβεια δείγματος, καθώς κατά τη διάρκεια του κύκλου αναγέννησης του αισθητήρα παράγεται θερμότητα.



Εικόνα 3.1: JEROME® 631-X Hydrogen Sulfide Analyzer (Πηγή: Arizona Instrument LLC Operation Manual)



Εικόνα 3.2: JEROME® Communication Software (JCS) (Πηγή: Arizona Instrument LLC Installation and Operation Manual)

Το κύριο πλεονέκτημα του οργάνου είναι ότι εκτός των μεμονωμένων μετρήσεων (Sample mode) υπάρχει η επιλογή Survey mode, η οποία επιτρέπει την διεξαγωγή συνεχών μετρήσεων. Η λειτουργία αυτή έχει την δυνατότητα αυτόματης λήψης δειγμάτων κάθε 3 με 20 δευτερόλεπτα. Ο χρόνος απόκρισης ποικίλλει ανάλογα με τη συγκέντρωση υδρόθειου και φαίνεται στον παρακάτω πίνακα. Περίπου 100

δείγματα συγκέντρωσης 0.5ppm, μπορεί να ληφθούν πριν από τον κορεσμό του αισθητήρα και την ανάγκη για αναγέννηση. Η λειτουργία αυτή επιλέχθηκε για την διεξαγωγή των μετρήσεων της παρούσας εργασίας έτσι ώστε να μπορούν να αποτυπωθούν ακόμα και οι διακυμάνσεις πολύ μικρού χρονικού διαστήματος που παρουσιάζουν οι οσμές (ARIZONA INSTRUMENT LLC, 2009).

Πίνακας 3.1: Τεχνικές προδιαγραφές του Jerome ® 631-X

Εύρος	0.003ppm (3ppb) έως ppm H ₂ S σε τέσσερα διαβαθμισμένα εύρη τιμών
Ευαισθησία	0.003ppm H ₂ S
Ακρίβεια (Precision)	5% σχετική τυπική απόκλιση
Ακρίβεια (Accuracy)	Range 0: ±0.003ppm στα 0.050ppm H ₂ S Range 1: ±0.03ppm στα 0.50ppm H ₂ S Range 2: ±0.3ppm στα 5.0ppm H ₂ S Range 3: ±2ppm στα 25ppm H ₂ S
Sample mode-Χρόνος απόκρισης:	
10 to 50 ppm (Range 3)	13 seconds
1.0 to 10.0 ppm (Range 2)	16 seconds
0.10 to 1.00 ppm (Range 1)	25 seconds
0.001 to 0.100 ppm (Range 0)	30 seconds
Survey mode-Χρόνος απόκρισης:	
10 έως 50 ppm (Range 3)	3 seconds
1.0 έως 9.9 ppm (Range 2)	6 seconds
0.10 έως 0.99 ppm (Range 1)	15 seconds
0.001 έως 0.099 ppm (Range 0)	20 seconds
Ρυθμός ροής	0.15 liters/min
Περιβάλλον λειτουργίας	Από 0° έως 40 °C,
Διαστάσεις	33 cm L x 15 cm W x 10 cm H
Βάρος	3.18 kg

Ένας περιορισμός κατά τη χρήση του οργάνου είναι ότι καθώς το όργανο είναι σχεδιασμένο για αέριες μετρήσεις και μόνο, ο ακροδέκτης είναι ευαίσθητος στην έκθεση σε οποιοδήποτε υγρό. Οπότε απαιτείται συνεχή παρακολούθηση των μετεωρολογικών προβλέψεων καθώς οι συνεχείς μετρήσεις, ιδίως στις οικίες είναι απαγορευτικές ακόμα και με μικρή πιθανότητα βροχής.

3.2 Μετρήσεις Αμμωνίας

Οι μετρήσεις της αμμωνίας πραγματοποιήθηκαν τον φορητό ηλεκτροχημικό αισθητήρα ανίχνευσης που παρείχε η Creta Farm (TG-501, Gray Wolf Co., Ireland), ο οποίος έχει τη δυνατότητα να μετράει τις συγκεντρώσεις στην περιοχή των 0-500ppm, περιλαμβάνοντας έτσι εκ του ασφαλούς την ευρεία περιοχή τιμών του κατωφλίου οσμής της (0.13-50ppm). Το όργανο αυτό έχει την ικανότητα να καταγράφει συνεχώς τις τιμές της αμμωνίας ανά 10sec, με αποτέλεσμα να παρέχει τη δυνατότητα να εξεταστούν λεπτομερώς οι διακυμάνσεις των οσμών σε κάθε κύκλο συνεχούς δειγματοληψίας. Η τυπική απόκλιση των μετρήσεων του οργάνου φτάνει έως 10% για συγκεντρώσεις μετρούμενης αμμωνίας στη περιοχή 0-99 ppm και δεν ξεπερνά το 5% για την περιοχή των 100-500 ppm. Οι τιμές που προέκυψαν κατά την διάρκεια των μετρήσεων αποθηκεύτηκαν σε ειδικό υπολογιστή τσέπης.

3.3 GC-MS χρωματογραφία

Για την ανίχνευση οσμηρών ενώσεων από μια πηγή, όπου στην παρούσα διπλωματική αποτελεί η έξοδος του βιοφίλτρου της Creta Farm, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της αέριας χρωματογραφίας. Η προσυγκέντρωση των αέριων δειγμάτων έλαβε χώρα με την τεχνική της μικροεκχύλισης στερεάς φάσης (SPME). Οι ίνες, που χρησιμοποιήθηκαν είναι τύπου CAR/PDMS 75μm και PDMS/DVB 65μm (Supelco, Sigma-Aldrich Chemie Gmb). Η περαιτέρω ανάλυση των δειγμάτων έγινε σε αέριο χρωματογράφο και ανιχνευτή μάζας (QP5050A, GC 17-A, Shimadzu). Το όργανο είναι εξοπλισμένο με τριχοειδή στήλη 30 m × 0.25 mm 0.25 μm τύπου HP-5MS (Agilent Technologies). Η θερμοκρασία του εγχυτήρα ήταν 250 °C. Αέριο ήλιο (>99,99%) χρησιμοποιήθηκε ως φέρον αέριο με παροχή 1.2 ml min⁻¹. Αρχικά ο φούρνος της χρωματογραφικής στήλης διατηρήθηκε για 5min στους 50°C, έπειτα προγραμματίστηκε να φτάσει έως τους 200 °C με ρυθμό

5 °C min⁻¹ όπου και παρέμεινε για 2 min. Εν συνεχεία με ρυθμό 10 °C min⁻¹ έφτασε τους 210 °C όπου και διατηρήθηκε για 2min. Ο συνολικός χρόνος ανάλυσης ήταν 40min. Η θερμοκρασία του ανιχνευτή ορίστηκε στους 280°C, η τάση λειτουργίας του ήταν 0.80 kV και το εύρος μάζας που μελετήθηκε ήταν για m/z 40-300 amu. Η ταυτοποίηση των ενώσεων έγινε συγκρίνοντας τα φάσματα μαζών των εκλυόμενων ενώσεων με αυτά της βιβλιοθήκης NIST. Τέλος, έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων με τη διεθνή βιβλιογραφία για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων για την ύπαρξη ενώσεων που προκαλούν το πρόβλημα των οσμών.



4. Ποσοτικός προσδιορισμός εκπομπών οσμών στη ΔΕΥΑΗ

4.1 Εισαγωγή

Η διαχείριση υγρών απόβλητων έχει ως απώτερο στόχο την προστασία του περιβάλλοντος κατά τρόπο συμβατό με τη δημόσια υγεία, την οικονομία και κοινωνικοπολιτικούς παράγοντες. Κατά την υλοποίηση μονάδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, οι οσμές είναι το πρώτο θέμα που απασχολεί την κοινή γνώμη. Οι επιδράσεις των οσμών σε χαμηλές συγκεντρώσεις για τους ανθρώπους σχετίζεται κυρίως με την ψυχολογική πίεση που ασκούν παρά με τις σωματικές βλάβες που προκαλούν. Έτσι καθίσταται απαραίτητη η ανίχνευση, ο χαρακτηρισμός και η ποσοτικοποίηση των οσμών για την αντιμετώπιση και εάν είναι δυνατό εξάλειψη των αντιδράσεων, αφού πρωτίστως έχει διαπιστωθεί πως δεν υπάρχει κίνδυνος για τη δημόσια υγεία.

Οι οσμές των αστικών λυμάτων οφείλονται στην εκπομπή πτητικών συστατικών που περιέχονται στα λύματα ή προκύπτουν κατά την αποδόμηση οργανικού υλικού τους υπό ανοξικές ή αναερόβιες συνθήκες. Οι κυριότερες ουσίες που ευθύνονται για την οσμή των αστικών λυμάτων είναι οι αμίνες, η αμμωνία, το υδρόθειο, οι μερκαπτάνες και η σκατόλη. Η μελέτη των επιπτώσεων των κέντρων επεξεργασίας λυμάτων εστιάζεται συνήθως στη μελέτη των εκλυόμενων ποσοτήτων του υδρόθειου το οποίο με τη χαρακτηριστική του οσμή λειτουργεί σαν δείκτης του συνολικού προβλήματος που δημιουργείται (Kaskura και Tatsukawa, 1995, Gostelow και Parsons, 1999). Για το λόγο αυτό έγιναν μετρήσεις για τον προσδιορισμό των εκπομπών του υδρόθειου ώστε να μελετηθεί η μεταφορά του σε γειτονικούς οικισμούς.

4.2 Περιγραφή της περιοχής δειγματοληψίας

Δ.Ε.Υ.Α.Η.

Η Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης-Αποχέτευσης Ηρακλείου (Δ.Ε.Υ.Α.Η.) ιδρύθηκε το 1983 και η αρμοδιότητα της επεκτείνεται στα Δημοτικά Διαμερίσματα Σκαλανίου, Δαφνών, Βουτών, Σταυρακίων και στους Οικισμούς Καλλιθέας, Βασιλειών και Αγίου Βλάσση (Εικόνα Κεφαλαίου, Αεροφωτογραφία μονάδας επεξεργασίας αστικών λυμάτων δήμου Ηρακλείου). Έχει κατασκευαστεί και λειτουργεί πλήρες αποχετευτικό σύστημα για τη διαχείριση των λυμάτων και των όμβριων της πόλης, το οποίο περιλαμβάνει:

- Δίκτυο συλλογής και μεταφοράς των λυμάτων στο Βιολογικό Καθαρισμό. Το δίκτυο αυτό αποτελείται από αρκετές εκατοντάδες χιλιόμετρων αγωγών, που μεταφέρουν κατά κύριο λόγο με βαρύτητα τα λύματα στο Βιολογικό Καθαρισμό. Τα χαμηλά σημεία του Ηρακλείου, όπως η παράκτια ζώνη, εξυπηρετούνται για τη μεταφορά των λυμάτων τους από δεκαπέντε αντλιοστάσια, τα οποία μεταφέρουν τα λύματα στους κεντρικούς συλλεκτήριους αγωγούς.

- Δίκτυο συλλογής και μεταφοράς των όμβριων υδάτων στη θαλάσσια περιοχή του κόλπου Ηρακλείου. Όλο το παλιό αποχετευτικό δίκτυο του Ηρακλείου έχει μετατραπεί σε δίκτυο όμβριων το οποίο συλλέγει και μεταφέρει τα όμβρια, κατά τις ημέρες των βροχοπτώσεων, σε διάφορα σημεία του θαλάσσιου μετώπου του Ηρακλείου.

- Αγωγό μεταφοράς των επεξεργασμένων λυμάτων από το Βιολογικό Καθαρισμό της πόλης έως το σημείο της υποθαλάσσιας διάθεσής τους. Μετά το Βιολογικό Καθαρισμό τα επεξεργασμένα λύματα μεταφέρονται με αγωγό μήκους 4 χιλιομέτρων επί ξηράς και ενός χιλιόμετρου υπό τη θάλασσα στο τελικό σημείο διάθεσής τους. Αυτό βρίσκεται ανοικτά των εκβολών του ποταμού Γιόφυρου και σε βάθος θαλάσσης περίπου 12 μέτρων.

- Μικροί Βιολογικοί Καθαρισμοί που εξυπηρετούν τα τοπικά διαμερίσματα του Δήμου Ηρακλείου (Δαφνές, Βούτες, Σταυράκια, Σκαλάνι, Βασιλείες, Άγιος Βλάσσης, Καλλιθέα). Οι μικρές αυτές μονάδες βασίζονται σε απλά συστήματα

επεξεργασίας. Έχουν ξεκινήσει να τίθενται σε λειτουργία και η διαδικασία αυτή θα ολοκληρωθεί το προσεχές διάστημα.

- Κέντρο βιολογικού καθαρισμού που επεξεργάζεται τα λύματα της πόλης (ΔΕΥΑΗ, online,2011).

Βιολογικός

Ο κεντρικός Βιολογικός Καθαρισμός του Ηρακλείου ξεκίνησε να λειτουργεί τον Απρίλιο του 1996 και σήμερα παραλαμβάνει και επεξεργάζεται περίπου 30.000 κυβικά λυμάτων ημερησίως, προερχόμενα από το ευρύτερο πολεοδομικό συγκρότημα του Ηρακλείου, που περιλαμβάνει εκτός από το Ηράκλειο, τους Δήμους Ν. Αλικαρνασσοῦ και Γαζίου (Εικόνα Κεφαλαίου).

Αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες εγκαταστάσεις καθαρισμού λυμάτων στην Ελλάδα. Έχει κατασκευαστεί στη θέση Λούτι-Πέραμα της περιοχής Φοινικιάς σε έκταση 80 στρεμμάτων. Έχει σχεδιαστεί να επεξεργάζεται τα λύματα 164.000 ισοδύναμων κατοίκων περίπου με παροχή λυμάτων έως 30.500m³/ημέρα και παροχή βοθρολυμάτων έως 1500m³/ημέρα (η μέση ημερήσια παροχή για το έτος 2008 ήταν 28.100m³/ημέρα) Η τελική απορροή των επεξεργασμένων λυμάτων διοχετεύεται με αγωγό εκβολής μήκους 1000 μέτρων από την ακτή στη θάλασσα, στη θέση Νταμπακαριά του Ηρακλείου.

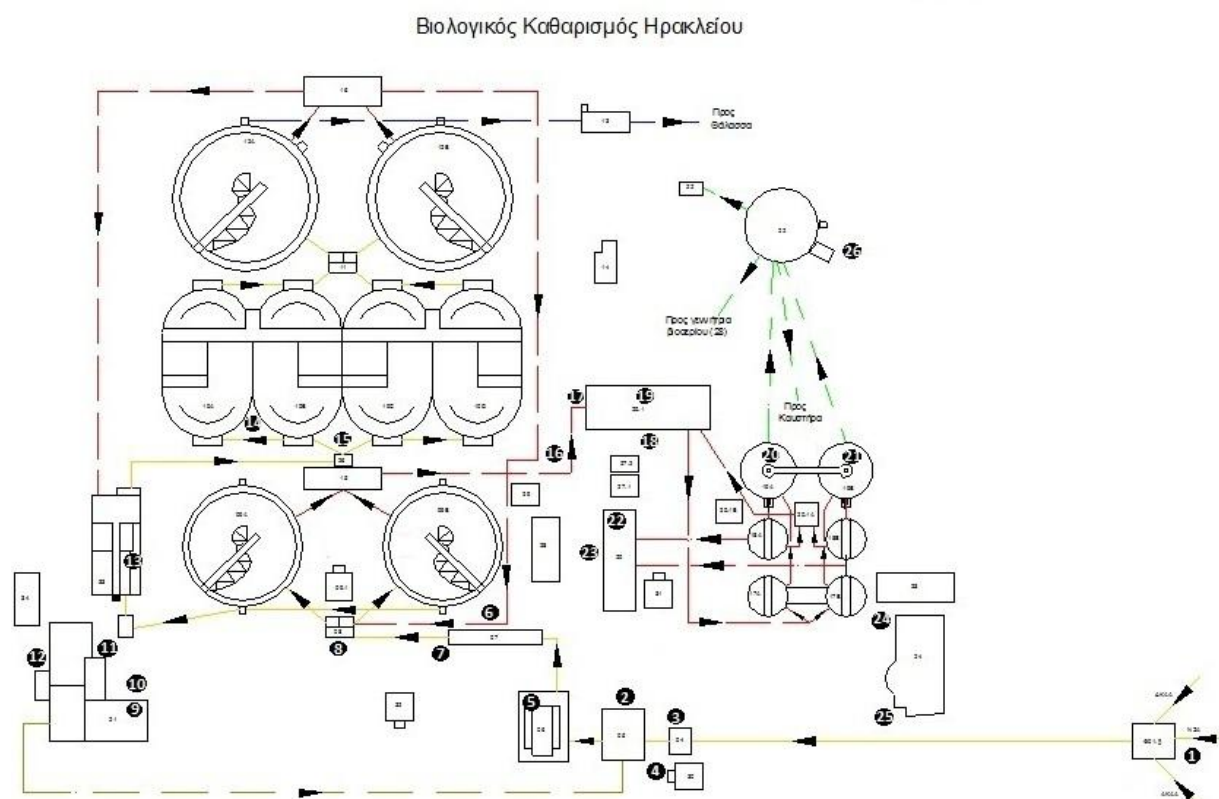
Στη ΜΕΛ Ηρακλείου χρησιμοποιείται σύστημα ενεργής βιομάζας σε αιώρηση και περιλαμβάνει τις παρακάτω γραμμές επεξεργασίας.

- Γραμμή υγρών
- Γραμμή ιλύος
- Γραμμή βιοαερίου

4.2.1. Σημεία δειγματοληψίας

Με τον εντοπισμό των σημειακών εκλύσεων οσμών εντός των ορίων της μονάδας βιολογικού καθαρισμού μπορούν να προσδιοριστούν οι πηγές που προκαλούν την όχληση. Για το λόγο αυτό με τη βοήθεια του επιβλέποντα καθηγητή και τη συνεργασία του προσωπικού της ΔΕΥΑΗ, επιλέχθηκαν 26 σημεία εντός των εγκαταστάσεων για τη λήψη των μετρήσεων με το υδροθειόμετρο. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων το Jerome 631-X λειτουργούσε με συνεχή ρυθμό για την

καταγραφή των στιγμιαίων διακυμάνσεων των συγκεντρώσεων του υδρόθειου ανά σημείο. Τα σημεία αυτά απεικονίζονται στην κάτοψη που ακολουθεί.



Σχήμα 4.1: Κάτοψη της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων της ΔΕΥΑΗ με τα αντίστοιχα σημεία μέτρησης υδρόθειου-

1. Φρεάτιο σύγκλισης των αγωγών. Είναι ένας πλακοσκεπής αγωγός καθαρού πλάτους 1.80m και βάθους 1.80m από τον οποίο εισέρχονται τα λύματα στην εγκατάσταση. Για την καταπολέμηση των οσμών στο φρεάτιο εισόδου των λυμάτων στην εγκατάσταση, προστίθενται απευθείας στα λύματα άλατα σιδήρου. Ο βασικότερος λόγος επιλογής των αλάτων σιδήρου είναι το χαμηλό κόστος του σιδήρου σε σύγκριση με άλλα χημικά μέσα εξουδετέρωσης των οσμών στην υγρή φάση.
2. Κτίριο εσχάρων. Η μονάδα εσχάρωσης όπου καταθλίνονται τα λύματα, αποτελείται από 3 αυτοκαθαριζόμενες εσχάρες τύπου ταινίας με διάκενα εσχарισμού 6mm, δύο μηχανικές εσχάρες με διάκενα εσχарισμού 19mm και ένα κοχλιομεταφορέα για τη μεταφορά των εσχарισμάτων. Οι τοξωτές σχάρες λειτουργούν σαν εφεδρικές και η τροφοδοσία τους γίνεται με υπερχειλίση, σε

περίπτωση που η στάθμη στο κανάλι τροφοδοσίας των εσχάρων ανέβει πάνω από τη συνήθη μέγιστη στάθμη λειτουργίας. (Εικόνα 4.1) Τα κανάλια των εσχάρων είναι εξοπλισμένα με θυροφράγματα απομόνωσης. Για τον έλεγχο των



οσμών εντός του κτιρίου της εσχάρωσης, έχουν τοποθετηθεί σημεία αναρρόφησης οσμών πάνω από κάθε εσχάρα.

Εικόνα 4.1: Αυτοκαθαριζόμενη εσχάρα τύπου ταινίας και μηχανική εσχάρα μονάδας

3. Αντλιοστάσιο αρχικής ανύψωσης. Εκεί βρίσκονται τοποθετημένες 6 υποβρύχιες αντλίες, οι δύο εκ των οποίων είναι εφεδρικές, δυναμικότητας 232lt/s έκαστη και δύο υποβρύχιους αναδευτήρες. Σκοπός της ανάδευσης στο αντλιοστάσιο είναι η αποφυγή κατακαθίσεων και δημιουργίας λάσπης στον πυθμένα της δεξαμενής. Οι εξωτερικές διαστάσεις του αντλιοστασίου είναι 8.6x4.35m. Σε φρεάτιο πριν από το αντλιοστάσιο αρχικής ανύψωσης, όπου σμίγουν οι τρεις κεντρικοί αποχετευτικοί αγωγοί ξεκινά ο παρακαμπτήριος αγωγός. (Εικόνα 4.2)



Εικόνα 4.2: Αντλιοστάσιο αρχικής ανύψωσης

4. Μονάδα απόσμισης πρωτοβάθμιων καθιζήσεων, που προορίζεται για την αντιμετώπιση των οσμεριών που παράγονται κατά την εκροή του υπερκείμενου υγρού από τους υπερχειλιστές των δεξαμενών προκαθίξεσης. Οι δεξαμενές διαθέτουν περιμετρικό κανάλι (Εικόνα 4.3), από τους οδοντωτούς υπερχειλιστές έως το περιμετρικό τοίχο της δεξαμενής, το οποίο είναι καλυμμένο. Μέσω δικτύου αεραγωγών ο αέρας αναρροφάται και οδηγείται στη μονάδα απόσμισης των πρωτοβάθμιων καθιζήσεων. Το βιόφιλτρο της μονάδας απόσμισης των πρωτοβάθμιων καθιζήσεων είναι τύπου “compact” (Εικόνα 4.4).



Εικόνα 4.3: Κάλυμμα καναλιού υπερχείλισης πρωτοβάθμιας καθίξεσης



Εικόνα 4.4: Μονάδα απόσμισης πρωτοβάθμιας καθίξεσης

Η βασική αρχή λειτουργίας του βιόφιλτρου είναι ότι η βιομάζα αποτελεί το υπόστρωμα και το κατάλληλο περιβάλλον για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών και της «βακτηριδιακής χλωρίδας» για την εξουδετέρωση των ρυπαντών όπως υδρόθειο, μεκραπτάνες και αμμωνία. Οι ρυπαντές αυτοί αποτελούν τροφή για τους μικροοργανισμούς οι οποίοι ευδοκιμούν στο περιβάλλον της βιομάζας η οποία διατηρείται σε κατάλληλη υγρασία. Η βιομάζα του βιόφιλτρου αποτελείται από μίγμα ινωδών οργανικών υλικών συνδυάζοντας

διαφορετικές μηχανικές και βιολογικές ιδιότητες, καθώς και από επεξεργασμένα φυσικά υλικά πλούσια σε ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3). Η βιομάζα αυτή είναι κατάλληλη για την επεξεργασία οσμερίων με πολύ μεταβλητά επίπεδα συγκεντρώσεων υδρόθειου και χρησιμοποιεί ως καταλύτη για την εξουδετέρωση των όξινων αερίων τα φυσικώς εμπλουτισμένα σε CaCO_3 υλικά (όστρακα).

5. Μονάδα εξάμμωσης – απολίπανσης Εκεί τα λίπη διαχωρίζονται σε δύο θαλάμους στους οποίους επικρατούν συνθήκες «ηρεμίας» και συλλέγονται με τη βοήθεια ξέστρου τοποθετημένου πάνω σε αυτοκινούμενη γέφυρα (Εικόνα 4.5), σε παρακείμενο φρεάτιο λιποσυλλογής.



Εικόνα 4.5: Αυτοκινούμενες γέφυρες μονάδας εξάμμωσης – απολίπανσης



Εικόνα 4.6: Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης



Εικόνα 4.7: Μετρητής παροχής τύπου Parshall

6. Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης όγκου 3000m^3 , διαμέτρου 30m και βάθος 4.10m (Εικόνα 4.6)
7. Δίαυλος Parshall. Μετά την εξάμμωση – απολίπανση τα λύματα οδεύουν προς τους δύο μετρητές παροχής τύπου Parshall, ο ένας είναι εφεδρικός, με πλάτος στένωσης 800mm όπου γίνεται η μέτρηση της παροχής με τη χρήση διάταξης αισθητήρων με υπερήχους. (Εικόνα 4.7)
8. Θάλαμος διανομής 1. Προορίζεται για την κατανομή της παροχής προς τις δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης.
9. Μονάδα υποδοχής βοθρολυμάτων. Η δειγματοληψία έγινε εντός της μονάδας και κατά τη διάρκεια του αδειάσματος των βυτίων.
10. Εκτός μονάδας υποδοχής βοθρολυμάτων. Η δειγματοληψία έγινε εκτός της μονάδας, εκτός της κουρτίνας αέρα που έχει τοποθετηθεί κατά μήκος του ανοίγματος εισόδου των οχημάτων, για την εμπόδιση διαφυγής οσμών. Η μονάδα (Εικόνα 4.8) αποτελείται από 3 φρεάτια εκκένωσης, κανάλι συλλογής, δύο αυτόκαθαριζόμενες εσχάρες τύπου ταινίας με διάκενα εσχαρισμού 6 mm, μία εφεδρική μηχανική εσχάρα 19mm, δύο κοχλιομεταφορείς για τη μεταφορά των εσχαρισμάτων και δύο δεξαμενές απόσμησης – αερισμού και εξισορρόπησης ροής 788m^3 η κάθε μία, με διαστάσεις $15 \times 15 \times 3.5\text{m}$ Εντός των δεξαμενών είναι εγκατεστημένοι δύο αναδευτήρες ισχύος 15kW έκαστος.
11. Σημείο συλλογής εσχαρισμάτων μονάδας εσχαρισμού (Εικόνα 4.9)
12. Μονάδα απόσμησης σηπτικών δεξαμενών βοθρολυμάτων (Φίλτρο ΠΑΒΕ). Για την αντιμετώπιση των οσμών της σηπτικής δεξαμενής της μονάδας παραλαβής βοθρολυμάτων τα οσμοαέρια μέσω του δικτύου απαγωγής τους οδηγούνται σε φίλτρο ανοικτού τύπου με ώριμο κόμποστ ως πληρωτικό υλικό, αφού πρώτα διέλθουν μέσα από μικρό θάλαμο εφύγρανσης. Η εφύγρανση γίνεται με καταιονισμό νερού σε κατακόρυφο πύργο με πληρωτικά υλικά ο οποίος είναι τοποθετημένος στην κεντρική γραμμή απαγωγής οσμαερίων. (Εικόνα 4.10)



Εικόνα 4.8: Μονάδα υποδοχής βοθρολυμάτων και αυτοκαθαριζόμενες εσχάρες τύπου ταινίας μονάδας υποδοχής βοθρολυμάτων



Εικόνα 4.9: Εσχαρίσματα μονάδας εσχαρισμού



Εικόνα 4.10:
Δίκτυο απόσμησης

13. Δεξαμενή επιλογής. (Εικόνα 4.11) Η μονάδα δέχεται τα λύματα μετά την πρωτοβάθμια καθίζηση. Η δεξαμενή έχει 5 θαλάμους στους οποίους έχουν εγκατασταθεί έξι αναδευτήρες. Στους ενδιάμεσους τοίχους ανάμεσα στις δεξαμενές υπάρχουν εγκοπές ώστε να είναι δυνατή η επικοινωνία μεταξύ των δεξαμενών και να αποφεύγεται η συγκέντρωση λάσπης σε μια δεξαμενή. Ο πρώτος είναι ο ανοξικός

θάλαμος στον οποίο ανακυκλοφορείται και μέρος της ιλύος από τις δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης και διαθέτει δύο αναδευτήρες με διάμετρο πτερωτής 730mm και ισχύ 1.5kW έκαστος. Ο ελάχιστος όγκος αυτού του θαλάμου υπολογίστηκε σε 390m³. Οι τέσσερις θάλαμοι επιλογής υπολογίστηκαν να έχουν ελάχιστο όγκο 500m³. Κάθε ένας εξ' αυτών διαθέτει ένα αναδευτήρα που λειτουργεί συνεχώς. Ο ελάχιστος συνολικά απαιτούμενος όγκος εκτιμήθηκε σε 890m³. Για μεγαλύτερη ασφάλεια και για να εξασφαλιστεί καλύτερο αποτέλεσμα στην ποιότητα της λάσπης η αναερόβια δεξαμενή επιλογής που κατασκευάστηκε έχει όγκο 1200m³. Η διανομή των λυμάτων μεταξύ της ανοξικής δεξαμενής και των δεξαμενών επιλογής γίνεται με τη βοήθεια μιας κάθετης πλάκας διανομής που είναι τοποθετημένη στο κανάλι εισόδου. Ο λόγος διανομής είναι περίπου 10% προς 90% αλλά μπορεί να μεταβάλλεται ανάλογα με την ποιότητα των λυμάτων.



Εικόνα 4.11: Δεξαμενή επιλογής



Εικόνα 4.12:
Δεξαμενές αερισμού

14. Δεξαμενή αερισμού. Η βιολογική επεξεργασία αποτελείται από δύο γραμμές, στις οποίες κατανέμονται τα απόβλητα στο φρεάτιο μερισμού πριν την βιολογική επεξεργασία. Κάθε γραμμή αποτελείται από δύο βιολογικές δεξαμενές (αερισμού – ανοξικές), που λειτουργούν εναλλασσόμενα με τη μέθοδο Bio – Denitro, ως δεξαμενές αερισμού ή ως ανοξικές δεξαμενές 2500m³ έκαστη (834m² και βάθος 3.0m). (Εικόνα 4.12)

15. Δεύτερος θάλαμος διανομής

16. Πέρασμα

17. Σημείο συγκέντρωσης αφυδατωμένης λάσπης

18. Εκτός νέας μονάδας αφυδάτωσης

19. Εντός νέας μονάδας αφυδάτωσης. (Εικόνα 4.13) Το κτίριο της νέας μονάδας αφυδάτωσης βρίσκεται στον χώρο δυτικά των χωνευτών. Το κτίριο αυτό έχει στεγάσει τη νέα ταινιοφιλτρόπρεσα και τράπεζα πάχυνσης, το συγκρότημα προετοιμασίας πολυηλεκτρολύτη, το οποίο εξυπηρετεί τη νέα καθώς και τις παλαιές ταινιοφιλτρόπρεσες και τις νέες αντίστοιχες αντλίες τροφοδοσίας πολυηλεκτρολύτη. Το συγκρότημα αφυδάτωσης της ιλύος αποτελείται από μηχανική τράπεζα πάχυνσης και ταινιοφιλτρόπρεσα τύπου υψηλής πίεσης το οποίο έχει ικανότητα αφυδάτωσης της λάσπης σε συγκέντρωση μεγαλύτερη από 25%. Το νέο συγκρότημα αφυδάτωσης λειτουργεί με ελάχιστη παροχή τροφοδοτούμενης λάσπης 30m³/h σε συγκέντρωση στερεών 5% έως μέγιστη παροχή 50m³/h και συγκέντρωση στερεών 3%. Η συγκέντρωση της αφυδατωμένης ιλύος είναι για μεν τη δευτεροβάθμια λάσπη περίπου 15% ενώ για τη χωνεμένη λάσπη το ποσοστό αυτό ανέρχεται στο 25%.

20. Αναερόβιοι χωνευτές λυματολάσπης

21. Αναερόβιοι χωνευτές λυματολάσπης (Εικόνα 4.14)

22. Οι χωνευτές που έχουν κατάλληλο σύστημα μηχανικής ανάμιξης λειτουργούν στους 35°C με ηλικία λάσπης 20.4 ημερών και έχουν συνολικό όγκο 1700m³ (διάμετρος 13m και ύψος 12.8m).

23. Εντός παλαιάς μονάδας αφυδάτωσης. Η μονάδα παλαιάς αφυδάτωσης είναι εξοπλισμένη με τρεις αντλίες ιλύος θετικής εκτοπίσεως παροχής 15m³/hr στα 4bar η καθεμιά, 2 ταινιοφιλτρόπρεσες δυναμικότητας 11-16m³/hr η καθεμιά, ένα σύστημα προετοιμασίας πολυμερούς, τρεις κοχλιομεταφορείς και

ένα σύστημα έκπλυσης. Για την αποφυγή των οσμών από το κτίριο της παλαιά αφυδάτωσης αναρροφάται αέρας ο οποίος οδηγείται σε μονάδα απόσμησης.



Εικόνα 4.13:

Αφυδατομένη υλής νέας
ταινιοφιλτρόπρεσσας



Εικόνα 4.14: Αναερόβιοι
χωνευτές λυματολάσσης



Εικόνα 4.15:

Αεροφυλάκιο αποθήκευσης
βιοαερίου

24. Εκτός μονάδας αφυδάτωσης
25. Ανάμεσα στο κτίριο συνεργείου και στο κτίριο διοίκησης
26. Ανάμεσα στο κτίριο διοίκησης και στη κεντρική είσοδο

27. Αεροφυλάκιο αποθήκευσης βιοαερίου που παράγεται κατά τη διάρκεια της χώνευσης όγκου 400m³ και πυρσός καύσης περίσσειας βιοαερίου. Η εγκατάσταση έχει λεβητοστάσιο και μηχανοστάσιο. (Εικόνα 4.15)

4.3 Μετρήσεις πεδίου

Οι μετρήσεις του υδρόθειου στο Βιολογικό Ηρακλείου πραγματοποιήθηκαν σε πέντε ημέρες την καλοκαιρινή και φθινοπωρινή περίοδο του 2010, από την 30η Ιουνίου έως την 15η Σεπτέμβρη. Οι μετρήσεις πραγματοποιούνταν πρωινές και μεσημεριανές ώρες κατά τις οποίες υπάρχει το μέγιστο φορτίο στην λειτουργία της μονάδας.

Προκειμένου το δείγμα να είναι αντιπροσωπευτικό και να καλύπτει την θερινή περίοδο, όπου λόγω αυξημένης λειτουργίας της μονάδας αλλά και μετεωρολογικών συνθηκών που εντείνουν την όχληση που μπορεί να προκληθεί λόγω των οσμών μπορεί να παρατηρηθεί μεγαλύτερο πρόβλημα. Οι ημέρες δειγματοληψίας επιλέχθηκαν με αρκετές ημέρες διαφορά, πιο αναλυτικά, έλαβαν χώρα μετρήσεις τις ακόλουθες ημερομηνίες:

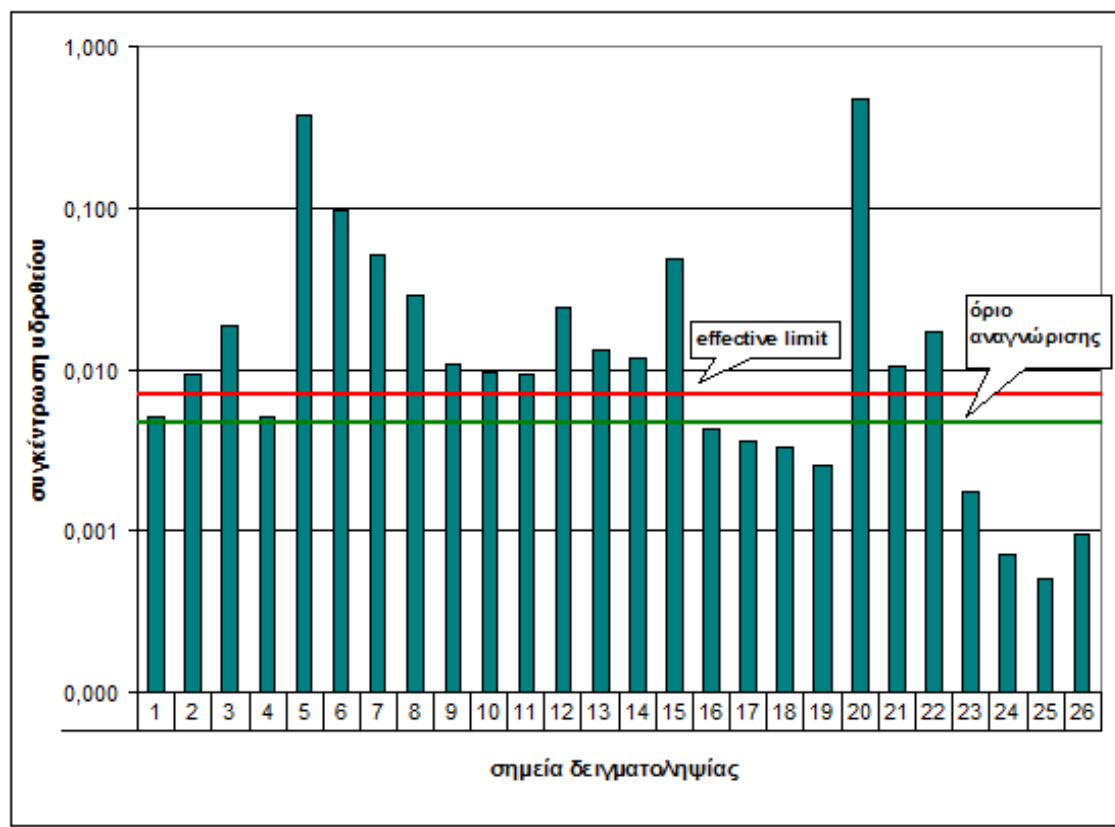
- 30/06/2010
- 06/07/2010
- 23/07/2020
- 24/08/2010
- 15/09/2010

Οι μέσοι όροι των μετρήσεων σε όλα τα σημεία ανά ημέρα μέτρησης: παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα. Παρά γεγονός ότι η έκλυση οσμών διαρκεί συνήθως πολύ λίγο χρονικό διάστημα, είναι δυνατό μια μεμονωμένη υψηλή συγκέντρωση υδρόθειου να επηρεάζει και τα υπόλοιπα σημεία περιμετρικά της κύριας πηγής όχλησης. Με την πρώτη αυτή επεξεργασία των μετρήσεων μπορούν να φανούν οι πιθανές πηγές όχλησης μέσα στην εγκατάσταση. Όλες οι τιμές που παρουσιάζονται στο παρακάτω γράφημα αντιστοιχούν σε μέσους όρους συνεχών μετρήσεων από τα 26 σημεία που ελήφθησαν κατά την διάρκεια των ημερών που αναφέρονται πιο πάνω. Όπως ήταν αναμενόμενο, καθώς το υδρόθριο έχει την ιδιότητα να ανιχνεύεται και να

αναγνωρίζεται σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις, τα περισσότερα σημεία που μετρήθηκαν υπερβαίνουν το όριο αυτό.

Από μετρήσεις συνεχούς ρυθμού επαληθεύτηκε το γεγονός ύπαρξης μεμονωμένων υψηλών τιμών υδρόθειου σε ορισμένα σημεία. Έτσι, κρίθηκε σκόπιμο να εκφραστεί ο χαρακτήρας των οσμών και οι αντίστοιχες οχλήσεις που προκαλούν, μέσω κοινά αποδεκτών μαθηματικών συναρτήσεων όπως η πιθανότητα ανίχνευσης και ο βαθμός όχλησης, οι οποίες έχουν προκύψει από στατιστική επεξεργασία πειραμάτων ολφακτομετρίας.

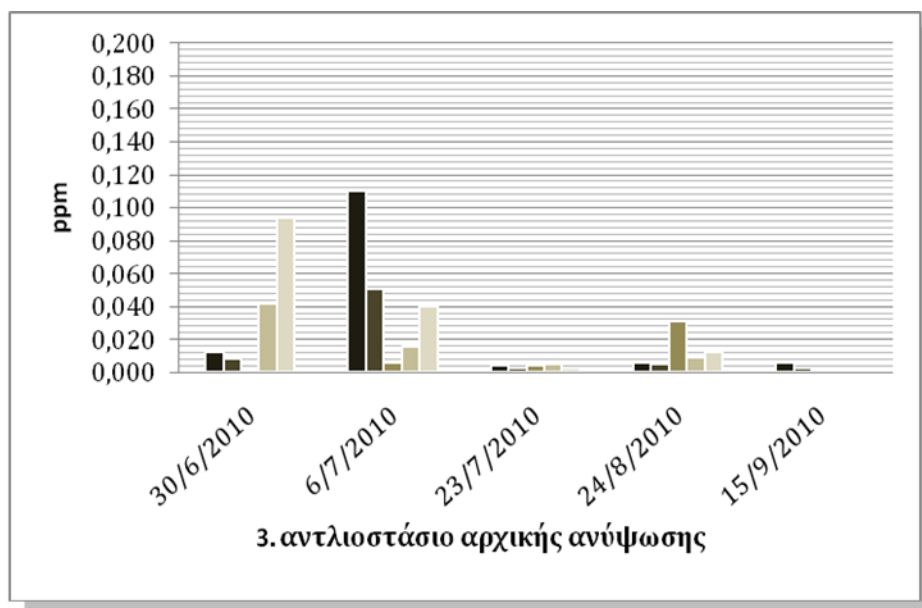
Ο χαρακτηρισμός των τιμών ως «υψηλές» έγινε πρωτίστως με σύγκρισή τους με τα όρια ανίχνευσης και αναγνώρισης για το υδρόθειο από την βιβλιογραφία, αλλά καθώς οι τιμές αυτές είναι πολύ μικρές, προκύπτει η ανάγκη ορισμού ενός νέου ορίου, προσαρμοσμένο στην περίπτωση που μελετάμε. Για τον λόγο αυτό, υπολογίστηκε ένα όριο συγκέντρωσης για το υδρόθειο για το συσχετισμό της όχλησης που μπορεί να προκαλέσει με την απόσταση, για τον εντοπισμό πιθανών οχλήσεων έξω από το όρια του βιολογικού. Το όριο αυτό, που στο εξής θα ονομάζεται *effective limit*, προέκυψε από το συσχετισμό των τιμών βαθμού όχλησης του υδρόθειου με την απόσταση, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης για την μοντελοποίηση της διασποράς των οσμών στην περίπτωση χοιροτροφικών μονάδων με το λογισμικό πρόγραμμα AERMOD (M. Latos, P. Karageorgos et. al. 2010). Από τα σενάρια που προέκυψαν για τον βαθμό όχλησης, επιλέχθηκε το σενάριο εκείνο που είναι πιο κοντά στα δεδομένα της παρούσας μελέτης ενώ ταυτόχρονα καλύπτει τις συνθήκες εκείνες που τον επηρεάζουν αρνητικά, όπως μέγιστες τιμές συγκέντρωσης και δυσμενής μετεωρολογικές συνθήκες. Το σενάριο αυτό υποδεικνύει ότι σε απόσταση 200 μέτρων από την πηγή, όπου αντιστοιχεί στη μέση απόσταση από το κέντρο έως τα όρια του βιολογικού, ο βαθμός όχλησης για το υδρόθειο είναι 5,4 AU. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, από την καμπύλη του βαθμού όχλησης συναρτήσει της συγκέντρωσης, ο βαθμός αυτός αντιστοιχεί σε 6,4 ppb. Με τα όρια αυτά αναδεικνύονται από το παρακάτω διάγραμμα τα σημεία ενδιαφέροντος. Στα σημεία αυτά, οι ενδείξεις του υδροθειόμετρου ξεπερνούν και το κατώφλι του υδρόθειου και το *effective limit*.



-Διάγραμμα 4.1: Διάγραμμα μέσων όρων του συνόλου των μετρήσεων σε όλα τα σημεία για όλες τις ημέρες.

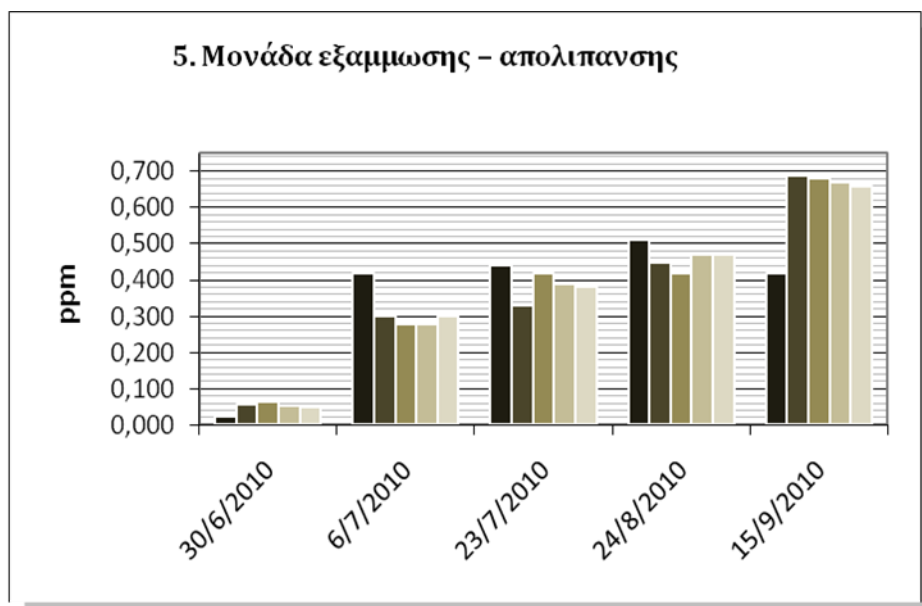
Σύμφωνα με τα παραπάνω, τα σημεία που παρουσιάζουν πρόβλημα είναι τα 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 15, 20 και 22. Τα διαγράμματα με τις μετρήσεις στα υπόλοιπα σημεία παρατίθενται στο Παράρτημα. Αναλυτικότερα οι μετρήσεις στα σημεία όπου παρατηρήθηκαν οι μέγιστες συγκεντρώσεις παρουσιάζονται στις παραγράφους που ακολουθούν.

Διάγραμμα 4.2: Σημείο 3 - Αντλιοστάσιο αρχικής ανύψωσης



Παρατηρούνται έντονες διακυμάνσεις τόσο από μέρα σε μέρα όσο και ανάμεσα στις μετρήσεις της ίδιας μέρας. Την τελευταία μέρα όπου οι μετρήσεις στην πλειοψηφία τους είναι μηδενικές, φαίνεται πως το πότισμα του γκαζόν της εγκατάστασης τις προηγούμενες ώρες συνετέλεσε στο αποτέλεσμα αυτό.

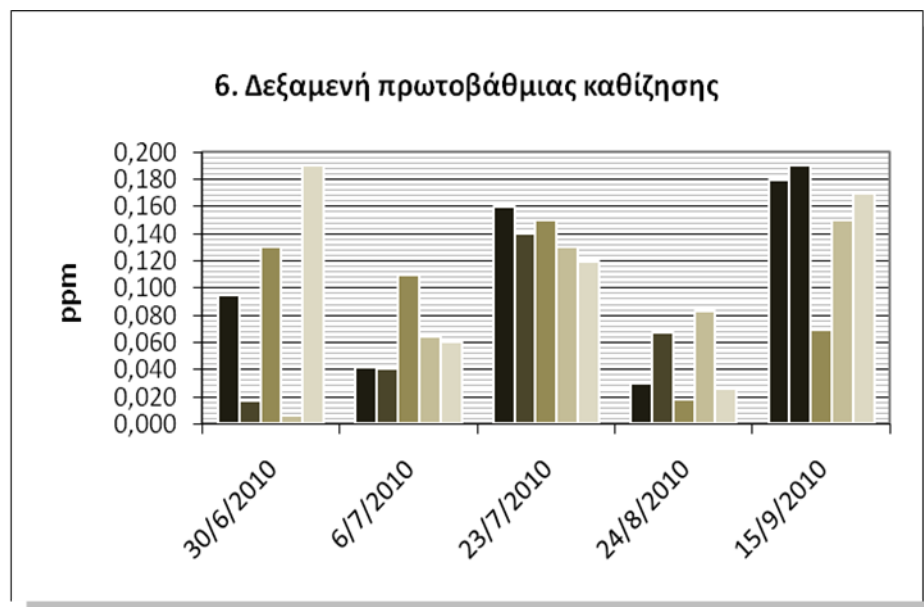
Διάγραμμα 4.3: Σημείο 5 - Μονάδα εξάμμωσης – απολίπανσης



Οι μετρήσεις που λήφθηκαν στη μονάδα ήταν από τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις. Η είσοδος προς τη μονάδα παραμένει κλειστή αλλά η μεταλλική σκεπή έχει διαβρωθεί και είναι διάτρητη σε σημείο που δεν εξασφαλίζει κανένα

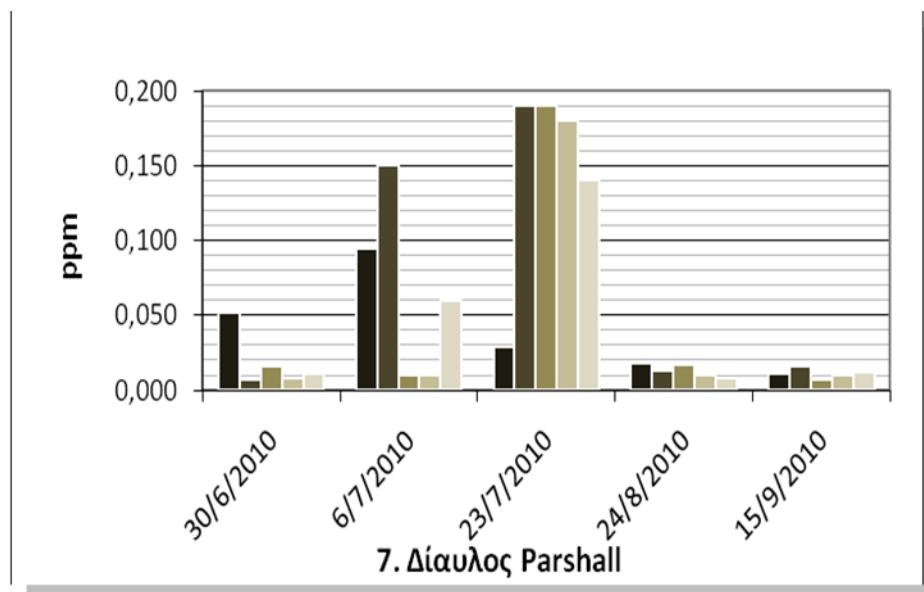
εμπόδιο στη διαφυγή των οσμών, καθιστώντας τη μονάδα μια συνεχή πηγή όχλησης.

Διάγραμμα 4.4: Σημείο 6 - Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης



Διαπιστώνουμε ότι στο συγκεκριμένο σημείο υπάρχει μια διακύμανση στις συγκεντρώσεις μετρούμενου υδρόθειου, αλλά η πλειοψηφία αυτών υπερβαίνει το 0,1ppm που είναι 20 φορές πιο πάνω από το κατώφλι του υδρόθειου.

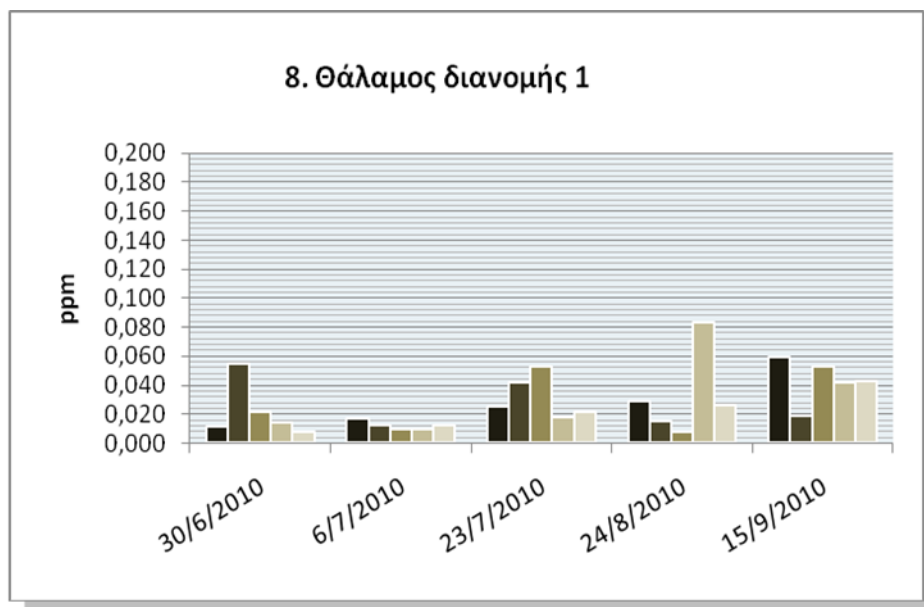
Διάγραμμα 4.5: Σημείο 7- Δίαυλος Parshall



Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο μετρητή παροχής τύπου Parshall μέχρι και τα τέλη Ιουλίου, υπέδειξαν σημαντικές ποσότητες εκπεμπόμενου υδρόθειου.

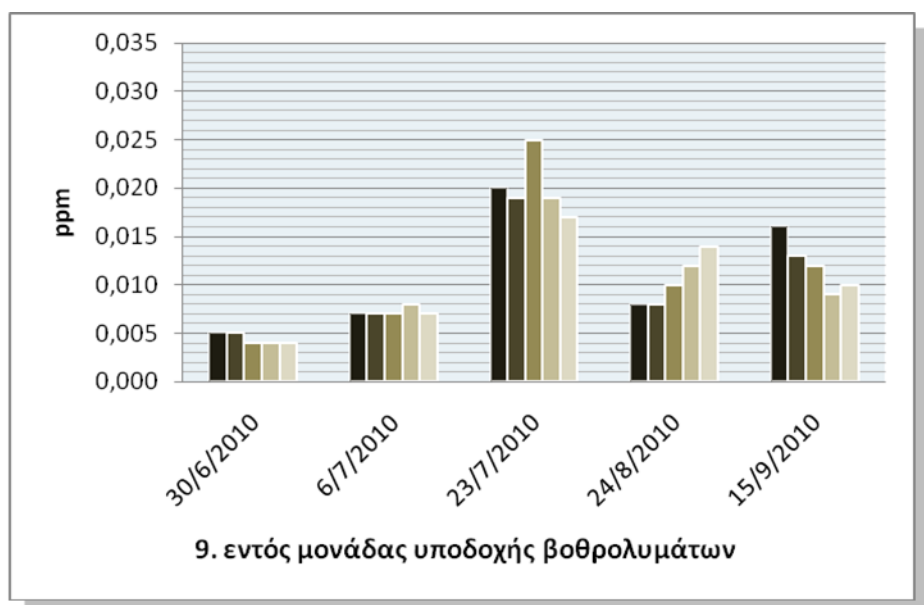
Με την αντικατάσταση του διαβρωμένου στεγάστρου στα μέσα Αυγούστου 2010, το σημείο σταμάτησε να αποτελεί πηγή όχλησης.

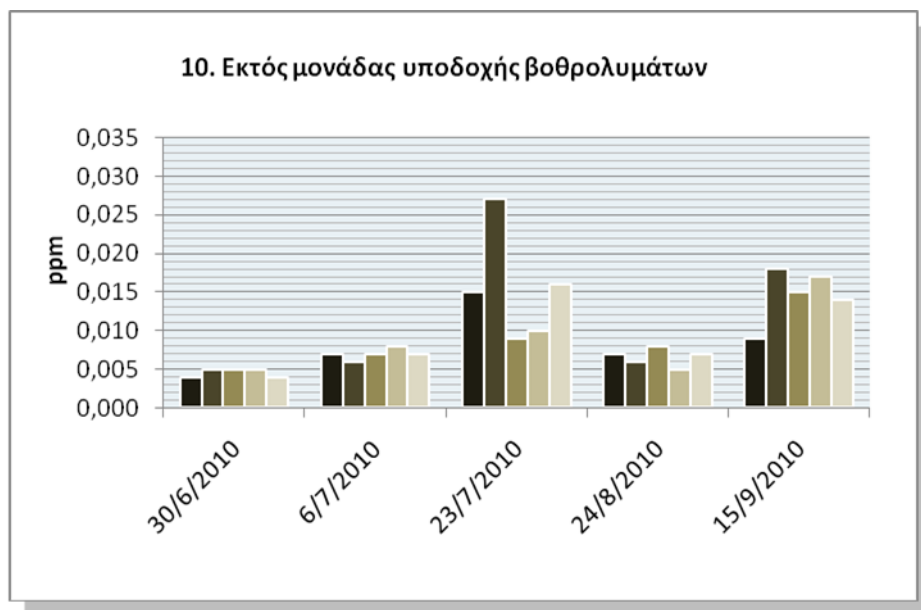
Διάγραμμα 4.6: Σημείο 8 - Θάλαμος διανομής



Το πρώτο σημείο διανομής των λυμάτων δεν παρουσιάζει ίσως τις συγκεντρώσεις υδρόθειου που αναμένονταν, καθώς τα λύματα είναι στα πρώτα στάδια της επεξεργασίας. Αυτό πιθανότατα οφείλεται στο ότι το σημείο είναι κλειστό, κάτι που δεν ισχύει για το δεύτερο σημείο διανομής (σημείο 15) με αποτέλεσμα να προκαλείται συγκριτικά λιγότερη όχληση.

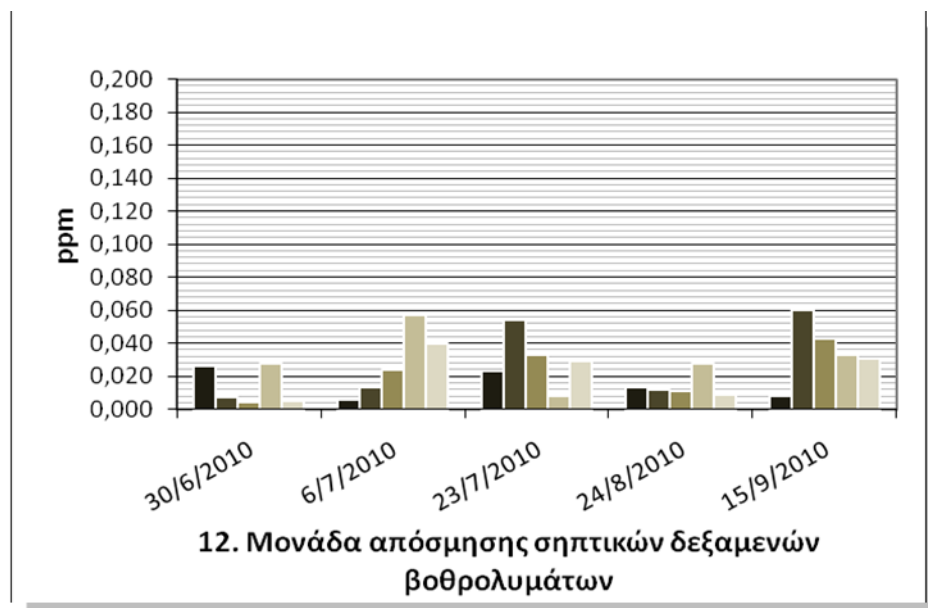
Διάγραμμα 4.7: Σημεία 9&10 - Μονάδα υποδοχής βοθρολυμάτων





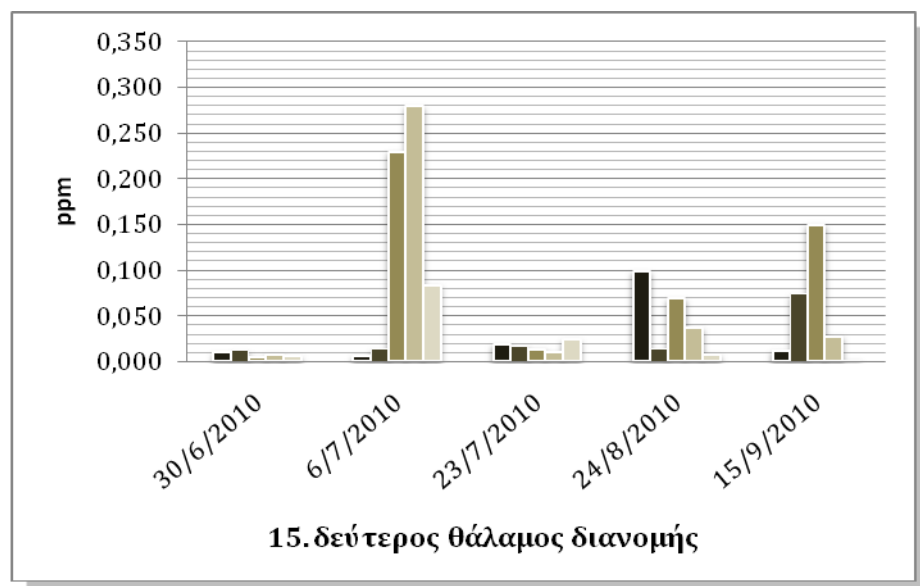
Στο σημείο αυτό είναι η εγκατάσταση υποδοχής βοθρολυμάτων η οποία αποτελείται από 3 φρεάτια εκκένωσης, κανάλι συλλογής, και δύο αυτοκαθαριζόμενες εσχάρες τύπου ταινίας με διάκενα εσχαρισμού 6 mm. Τα φρεάτια εκκένωσης, που μπορούν να δέχονται βοθρολύματα ταυτόχρονα, βρίσκονται σε στεγασμένο χώρο ο οποίος είναι ανοιχτός από την μια πλευρά για την είσοδο των βυτιοφόρων. Στο ανοιχτό αυτό κομμάτι είναι εγκαταστημένη συσκευή συνεχούς παροχής αέρα με σκοπό τη δημιουργία «κουρτίνας» για την εμπόδιση διαφυγής των οσμών. Από την επεξεργασία των μετρήσεων προκύπτει πως ενώ το σύστημα σύνδεσης του φρεατίου με την αντλία του βυτίου δεν έχει διαρροές οσμών, η «κουρτίνα» δεν έχει αποτελεσματική χρήση καθώς οι συγκεντρώσεις εντός και εκτός του στεγάστρου δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές.

Διάγραμμα 4.8: Σημείο 12 - Μονάδα απόσμισης σηπτικών δεξαμενών βοθρολυμάτων



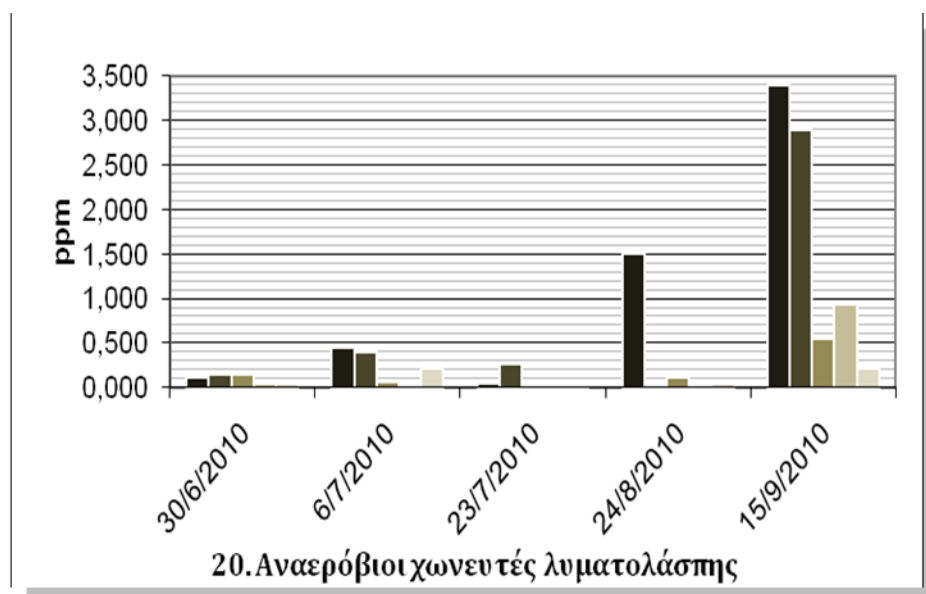
Η μονάδα απόσμισης σηπτικών δεξαμενών βοθρολυμάτων συμπεριελήφθη στα τμήματα του βιολογικού με το μεγαλύτερο πρόβλημα οσμών, καθώς παρουσιάζει μια σχετικά μικρή αλλά σταθερή διακύμανση στις τιμές με μέγιστο τα 0.06ppm.

Διάγραμμα 4.9: Σημείο 15 - Δευτερεύων θάλαμος διανομής



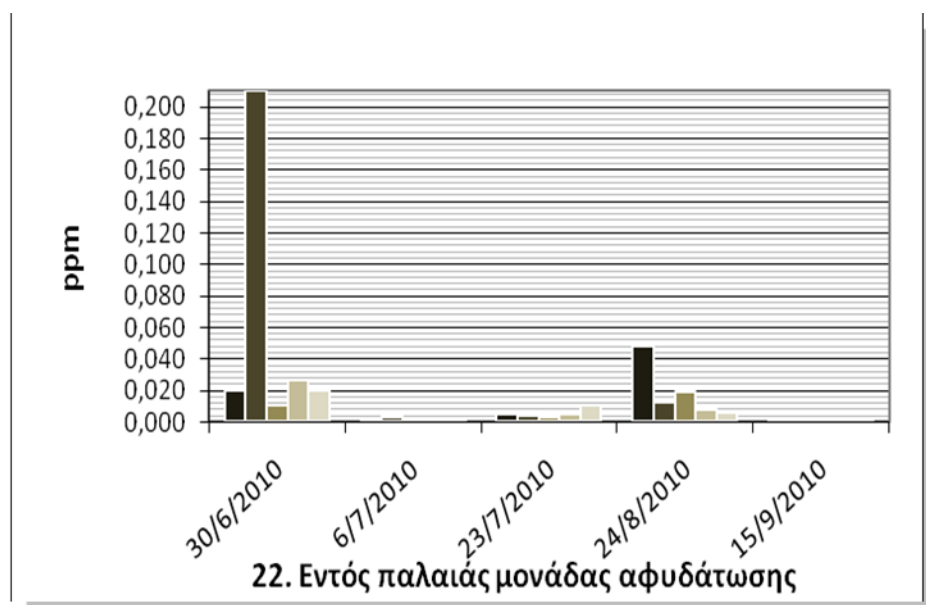
Διαπιστώνουμε ότι στο συγκεκριμένο σημείο υπάρχει μια έντονη διακύμανση στις συγκεντρώσεις μετρούμενου υδρόθειου, τόσο μεταξύ των μετρήσεων της ίδιας μέρας όσο και μεταξύ των ημερών.

Διάγραμμα 4.10: Σημείο 20 - Αναερόβιοι χωνευτές λυματολάσσης



Οι εκπομπές υδρόθειου που μετρήθηκαν εντός της εγκατάστασης ήταν από επιφανειακές πηγές η έξοδος των χωνευτών είναι περίπου 13 μέτρα από το έδαφος οπότε η ανάμιξη με τον αέρα και η αραίωση γίνεται πιο γρήγορα και πιο έντονα επομένως δεν αποτελεί σημαντική πηγή όχλησης. Επιπροσθέτως στα μέσα του Ιουλίου τοποθετήθηκε καπάκι στην έξοδο στην κορυφή του χωνευτή αλλά όπως φαίνεται από το διάγραμμα δεν είχε επίδραση στον εγκλωβισμό των οσμών.

Διάγραμμα 4.11: Σημείο 22 - Εντός παλαιάς μονάδας αφυδάτωσης



Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων παρατηρήθηκε μια μεγάλη μέτρηση με αποτέλεσμα να εμφανίζεται στα σημεία ενδιαφέροντος.

Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι πηγές όχλησης όπως αυτές προέκυψαν από την σύγκριση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις πεδίου, με κύρια σημεία ενδιαφέροντος την μονάδα εξάμμωσης – απολίπανσης και τον πρώτο από τους δύο αναερόβιοι χωνευτές λυματολάσπης.



Εικόνα 4.16: Δορυφορική απεικόνιση των εγκαταστάσεων του Βιολογικού με σημεία ενδιαφέροντος

4.4 Αξιολόγηση οσμών στους γειτονικούς οικισμούς

Πέρα από τις μετρήσεις εντός των εγκαταστάσεων, έγινε μια προσπάθεια αξιολόγησης των οσμών σε περιοχές του βρίσκονται πλησίον του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκαν δύο δράσεις: καταγραφή παραπόνων και συνεχής μετρήσεις σε σημεία περιμετρικά του βιολογικού.

4.4.1 Μετεωρολογικά στοιχεία

Για τις μετρήσεις πεδίου εκτός των ορίων της εγκατάστασης χρειάστηκαν μετεωρολογικά δεδομένα. Οι κύριες παράμετροι που καθόρισαν την επιλογή σημείου δειγματοληψίας και αντίστοιχης μέρας ήταν η κατεύθυνση και η ένταση του ανέμου και η θερμοκρασία.

Τα μετεωρολογικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία λήφθηκαν από τον μετεωρολογικό σταθμό του βιολογικού καθαρισμού της ΔΕΥΑΗ ο οποίος είχε αρχικά εγκατασταθεί από τον ΟΑΝΑΚ για ερευνητικούς σκοπούς. Ο μετεωρολογικός σταθμός MiniMet 2 (Sensor type: SDL 5360), κατασκευασμένος το 1999 από την εταιρία Skye Instruments Ltd μετά την εγκατάστασή του το 2003, ο σταθμός συνέχιζε να λειτουργεί, υπό την τροφοδοσία του φωτοβολταϊκού κυττάρου του, και να καταγράφει μετρήσεις θερμοκρασίας αέρα, ατμοσφαιρικής πίεσης, σχετικής υγρασίας, κατεύθυνσης και ταχύτητας ανέμου και ηλιοφάνειας. Ο σταθμός έχει ρυθμιστεί να καταγράφει τις επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες ανά μία ώρα.

Για την κατασκευή των ροδογραμμάτων (Wind Rose) ταχύτητας και κατεύθυνσης ανέμου χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό WRPLOT View από την Lakes Enviromental Software.

4.4.2 Καταγραφή παραπόνων

Ο Βιολογικός καθαρισμός Ηρακλείου περιστοιχίζεται κυρίως από βιοτεχνίες και εταιρείες, ενώ δυτικά αυτού βρίσκεται το ποτάμι του Γιόφυρου. Βορειοδυτικά και πέρα από τον Γιόφυρο βρίσκονται οι οικισμοί Αη Γιάννης Χωστός, ενώ από την ανατολική πλευρά πέρα από τον κεντρικό δρόμο προς Μαλάδες όπου έχει κατοικίες ανάμεσα σε μικρές καλλιέργειες και χωράφια. Μεταξύ του προσωπικού της ΔΕΥΑΗ και των κατοίκων των γειτονικών οικισμών υπάρχει επικοινωνία και είναι δυνατή η κατάθεση παραπόνων για περιοδικές οχλήσεις.

Για το λόγο αυτό πραγματοποιήθηκαν επισκέψεις σε σπίτια των περιοχών Φοινικιάς και Άη – Γιάννης Χωστός. Κατόπιν υποδείξεων της ΔΕΥΑΗ συντάχθηκε μια λίστα τόσο από οικίες όσο και από επιχειρήσεις που είτε βρίσκονται περιμετρικά σε μικρή απόσταση από αυτήν είτε είχε κατά καιρούς αναφερθεί κάποιο παράπονο όχλησης. Έπειτα από επίσκεψη στην περιοχή και έπειτα από

προσωπική επικοινωνία και έρευνα, η λίστα διευρύνθηκε και μοιράστηκαν τελικά 17 ερωτηματολόγια μαζί με οδηγίες συμπλήρωσης και στοιχεία επικοινωνίας. Τα ημερολόγια περιλάμβαναν πίνακα καταγραφής των οχλήσεων εντός περιόδου 2 εβδομάδων, συγκεκριμένα από 27 Ιουλίου έως 9 Αυγούστου 2010. Ζητήθηκε από τους κατοίκους να καταγράφουν την ημέρα και την ώρα που παρατηρήθηκε δυσοσμία, την ένταση, επιλέγοντας μικρή, μέτρια ή μεγάλη καθώς και την διάρκειά της. Τέλος ζητήθηκε όπου ήταν δυνατό να εκτιμήσουν το είδος της οσμής, εάν δηλαδή θύμιζε πιο πολύ κλούβια αυγά, ψαρίλα ή σαπίλα.

Υπόδειγμα του ερωτηματολογίου καθώς και δορυφορική εικόνα των σημείων διανομής των ερωτηματολογίων επισυνάπτεται στο παράτημα.

Κατά την διεξαγωγή της έρευνας, μας δόθηκε η ευκαιρία για συζήτηση και καταγραφή της γενικής εικόνας που επικρατεί για τα μέτρα που λαμβάνει η ΔΕΥΑΗ για την πιθανή όχληση των περιοίκων. Η αλληλεπίδραση με κατοίκους, καταστηματάρχες και επιχειρηματίες της περιοχής ήταν πολύ ενδιαφέρουσα καθώς, πλην ορισμένων εξαιρέσεων, η γενική ομολογία ήταν πως η δυσοσμία από το Βιολογικό προκαλεί μόνιμη ανησυχία και προβληματισμό, ανεξαρτήτου εποχής. Το γεγονός όμως αυτό έρχεται σε αντίθεση με τα αποτελέσματα των ερωτηματολογίων, καθώς δεν επεστράφησαν όλα, κάποια ήταν κενά, και κάποια με καταγραφή της πρώτης μόνο εβδομάδας.

Κατά συνέπεια, η έντονη δυσαρέσκεια των κατοίκων, όπως διαφάνηκε από την προσωπική επικοινωνία, δεν καταγράφηκε στα ερωτηματολόγια. Η πλειοψηφία των παρατηρήσεων συγκεντρώνονταν την πρώτη εβδομάδα, ενώ δεν σημειώνονταν πάντα η ένταση και το είδος οσμής. Εξ' αιτίας αυτών δεν υπάρχει κάποιο διακριτό πρότυπο, είναι όμως ασφαλές να καταλήξουμε στα εξής συμπεράσματα:

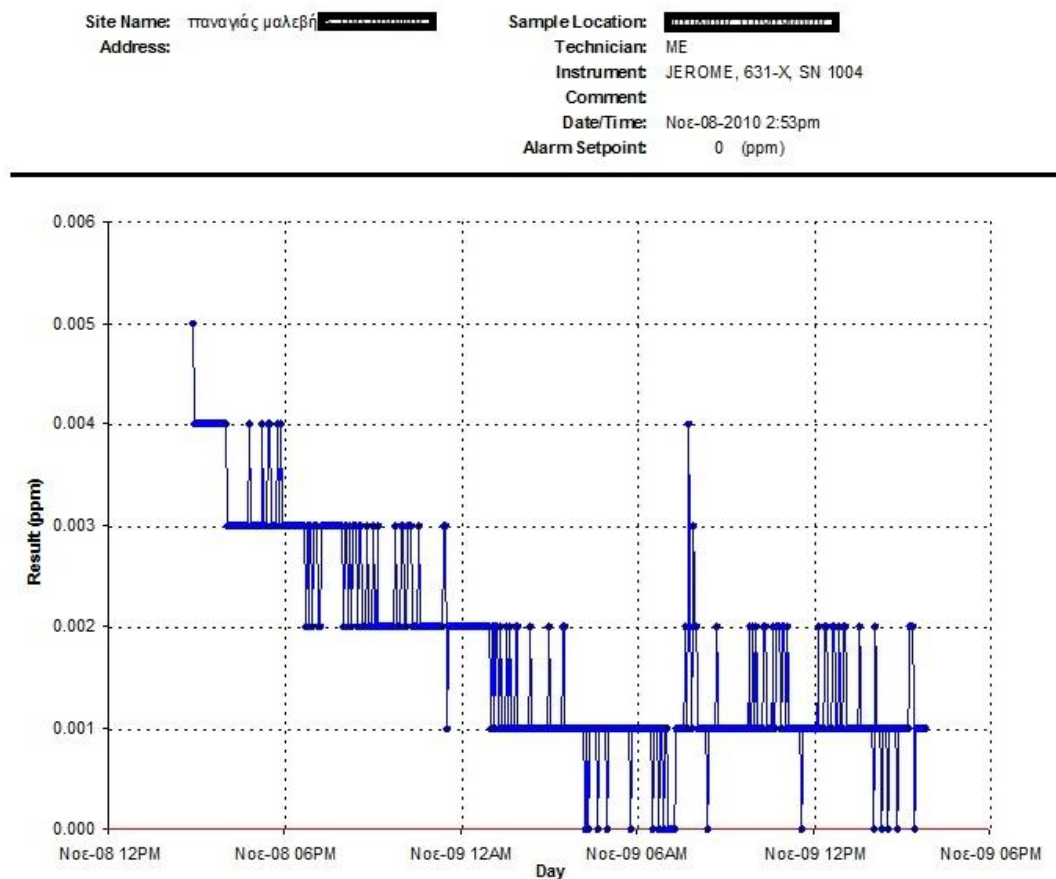
- Στα σημεία Βόρεια, Βορειοδυτικά και Βορειοδυτικά του βιολογικού οι οχλήσεις ήταν κυρίως βραδινές ώρες, μεταξύ 23:00 και 1:30
- Στα σημεία Νότια, Νοτιοδυτικά και Νοτιοανατολικά του βιολογικού οι οχλήσεις ήταν κυρίως πρωινές ώρες, μεταξύ 8:00 και 10:00.
- Οι περισσότερες οχλήσεις παρουσιάζονται απογευματινές ώρες όταν επικρατεί άπνοια.

4.4.3. Μετρήσεις σε οικίες

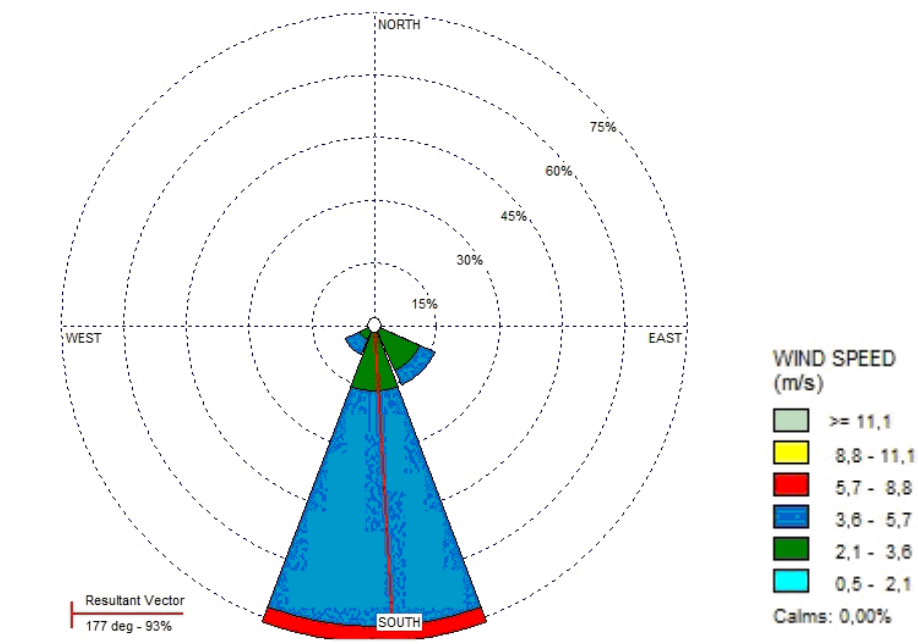
Δεδομένου ότι οι δυσοσμίες δεν είναι συνεχείς ή εξαιρετικά ισχυρές αλλά λαμβάνουν χώρα συνήθως κατά μικρά χρονικά διαστήματα, κρίθηκε απαραίτητο να γίνουν συνεχείς καταγραφές σε επιλεγμένες οικίες σε γειτονικούς οικισμούς για 24 ώρες, υπό δυσμενείς καιρικές συνθήκες. Πιο συγκεκριμένα, σε περιπτώσεις μη ισχυρών ανέμων και με κατεύθυνση από το Βιολογικό προς το επιλεγμένο σημείο και χωρίς πρόγνωση βροχής, πραγματοποιήθηκαν τέσσερις καταγραφές. Τα κτίρια των μετρήσεων επιλέχτηκαν έτσι ώστε να βρίσκονται όσο δυνατό περιμετρικά της ΔΕΥΑΗ, να έχουν καταγραφεί στο παρελθόν παράπονα για οχλήσεις, να υπάρχει η σύμφωνη γνώμη των ιδιοκτητών και ταυτόχρονα να είναι δυνατή η προσωρινή ασφαλής εγκατάσταση του υδροθειόμετρου. Η τοποθέτηση του Jerome γινόταν σε εξωτερικό σημείο σε μπαλκόνι ή περβάζι για να βρίσκεται σε ορισμένο ύψος από το έδαφος με προσανατολισμό προς τη ΔΕΥΑΗ φροντίζοντας να μην υπάρχουν εμπόδια ενδιάμεσα, όπως άλλα κτίρια, ψηλά δέντρα κλπ. Το Jerome ήταν συνεχώς συνδεδεμένο με φορητό υπολογιστή για την 24ωρη καταγραφή, ο οποίος βρισκόταν σε εσωτερικό χώρο. Η καταγραφή των συγκεντρώσεων γινόταν ανά 3 δευτερόλεπτα μέσω του λογισμικού που συνοδεύει το υδροθειόμετρο, το JEROME COMMUNICATION SOFTWARE JCS (2009). Τα αποτελέσματα των μετρήσεων καθώς και οι μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούσαν κατά τη διεξαγωγή τους παρουσιάζονται παρακάτω.

1. Πρώτη καταγραφή

Η πρώτη καταγραφή πραγματοποιήθηκε από 8 έως 9 Νοεμβρίου 2010 σε οικία στα Βορειοδυτικά του βιολογικού. Οι τιμές παραμένουν σταθερά υπό του ορίου αναγνώρισης της οσμής, υποδεικνύοντας έτσι ότι δεν υπήρξε όχληση. Η κορυφή που παρατηρήθηκε είναι της τάξεως των 0.005ppm τιμή αρκετά χαμηλή.



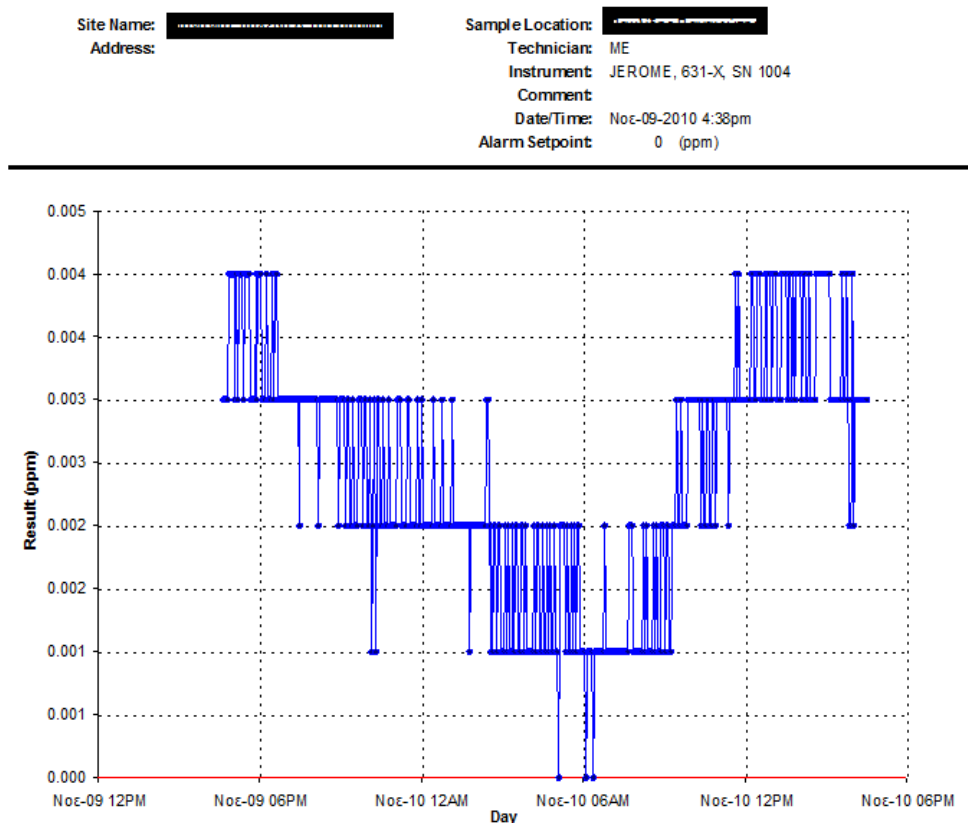
Διάγραμμα 4.13: Μετρούμενες συγκεντρώσεις υδρόθειου ανά ώρα για το πρώτο 24ωρο.



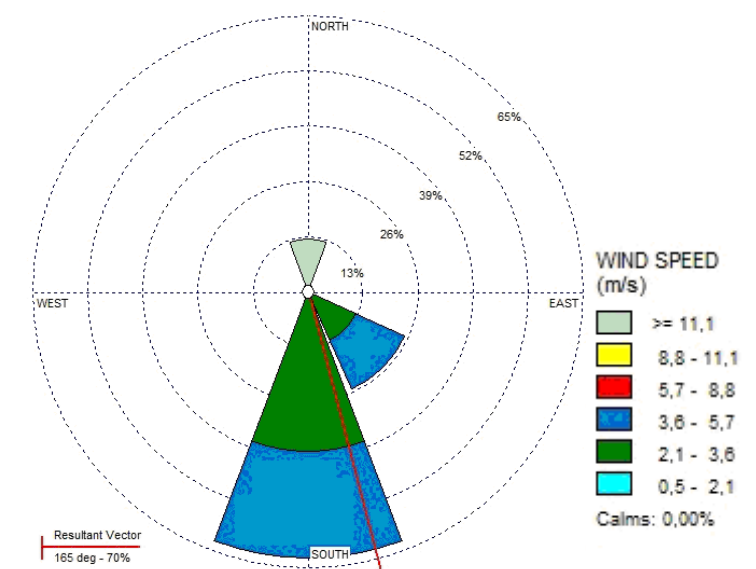
Διάγραμμα 4.14: Ροδόγραμμα πρώτου 24ώρου. Ο άνεμος είναι Νότιος με ταχύτητα 3-4 Beaufort

1. Δεύτερη καταγραφή

Η δεύτερη καταγραφή πραγματοποιήθηκε από 9 έως 10 Νοεμβρίου 2010 σε οικία στα Νότια του βιολογικού. Παρατηρείται ίδιο εύρος τιμών με την πρώτη καταγραφή, δηλαδή από 0 έως και 0.004rpm υδρόθειου.



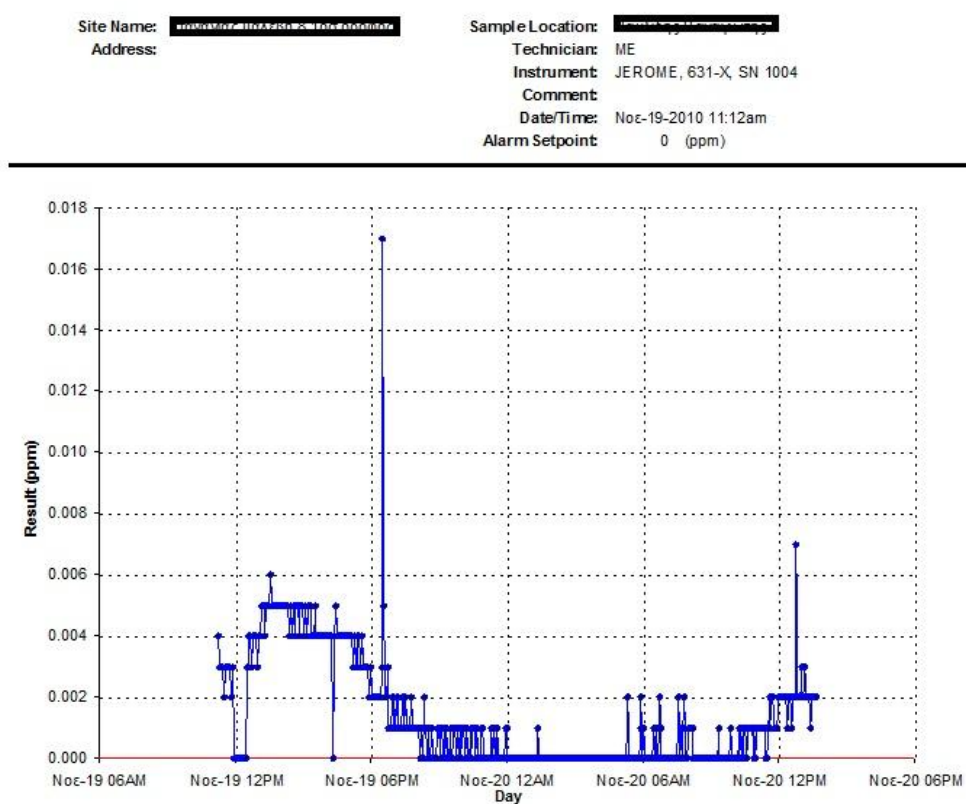
Διάγραμμα 4.15: Μετρούμενες συγκεντρώσεις υδρόθειου ανά ώρα για το δεύτερο 24ωρο.



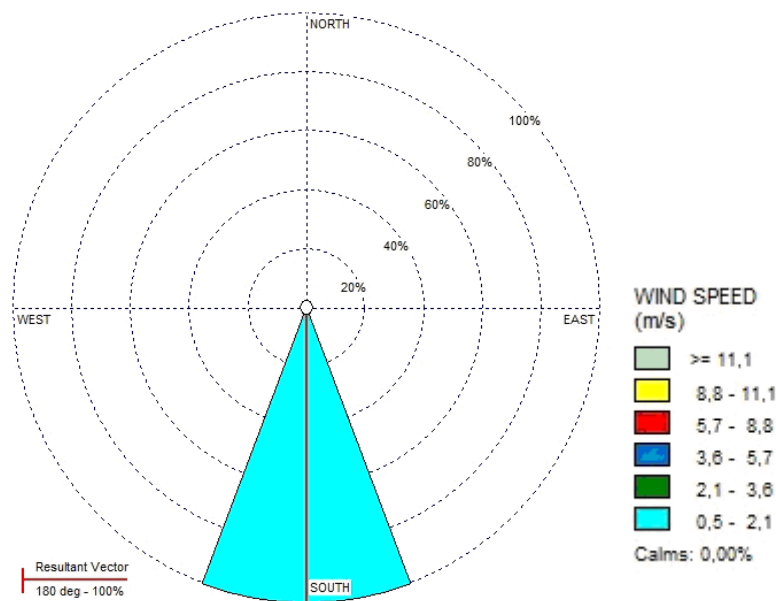
Διάγραμμα 4.16: Ροδόγραμμα δεύτερου 24ώρου. Ο άνεμος είναι Νότιος-Νοτιοανατολικός με ταχύτητα 2-3 Beaufort

2. Τρίτη καταγραφή

Η τρίτη καταγραφή πραγματοποιήθηκε από 18 έως 19 Νοεμβρίου 2010 σε οικία στα Ανατολικά του βιολογικού. Εδώ οι τιμές παρουσιάζουν μια πολύ μικρή άνοδο, καθώς κυμαίνονται από 0 έως 0.005ppm. Η κορυφή των 0.017ppm που παρατηρείται τα ξημερώματα, δεν μπορεί να αποκλειστεί ως τυχαίο σφάλμα καθώς το φαινόμενο των οσμών δεν αποκλείει μεμονωμένα φαινόμενα όχλησης πολύ μικρής χρονικής διάρκειας.



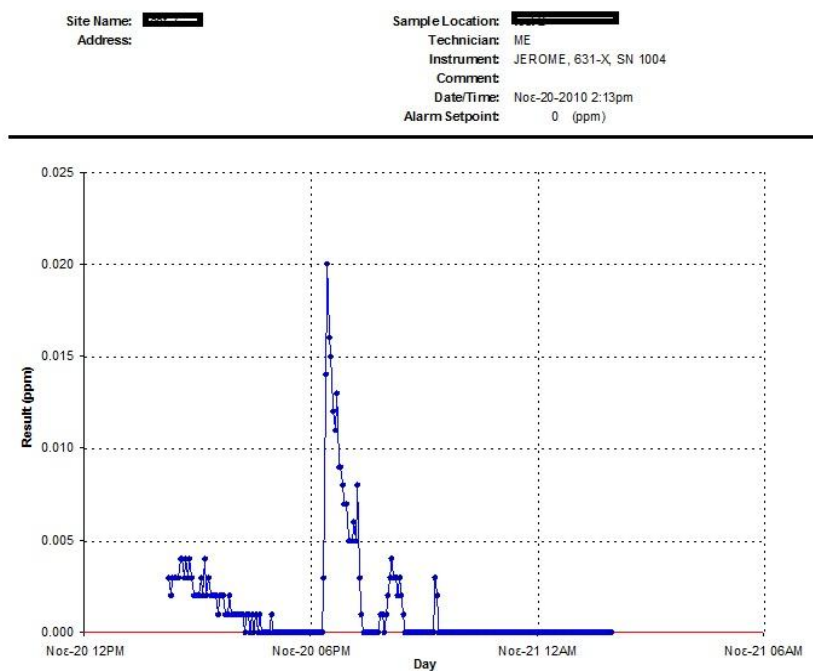
Διάγραμμα 4.17: Μετρούμενες συγκεντρώσεις υδρόθειου ανά ώρα για το τρίτο 24ωρο.



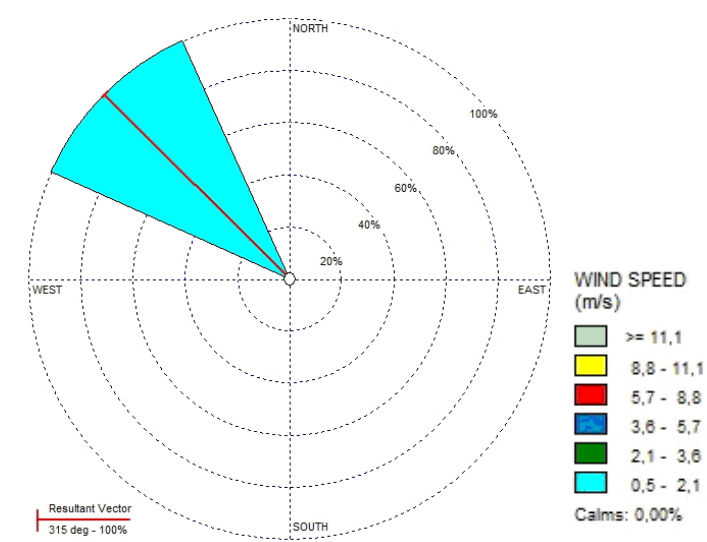
Διάγραμμα 4.18: Ροδόγραμμα τρίτου 24ώρου. Ο άνεμος είναι Νότιος - με ταχύτητα 1-2 Beaufort

3. Τέταρτη καταγραφή

Η τέταρτη καταγραφή πραγματοποιήθηκε από 19 έως 20 Νοεμβρίου 2010 σε οικία στα Βόρεια του βιολογικού. Εδώ παρατηρήθηκαν οι μεγαλύτερες από τις μετρούμενες συγκεντρώσεις από τις μετρήσεις σε οικίες. Οι κάτοικοι της συγκεκριμένης περιοχής έχει εκφράσει στο παρελθόν αρκετά παράπονά για οχλήσεις. Παρά το γεγονός ότι στην πλειοψηφία τους οι καταγραφές είναι χαμηλότερες από το όριο του υδρόθειου, παρουσιάστηκαν αρκετές κορυφές τις πρώτες πρωινές ώρες, με μέγιστο τα 0.02ppm που συμφωνούν με τις δηλώσεις των κατοίκων για οχλήσεις σε άπνοια συνήθως νωρίς το πρωί.



Διάγραμμα 4.19: Μετρούμενες συγκεντρώσεις υδρόθειου ανά ώρα για το τέταρτο 24ωρο.





5. Πειραματική αξιολόγηση βιοφίλτρου απόσμησης

Διάγραμμα 4.20: Ροδόγραμμα τέταρτου 24ώρου. Ο άνεμος είναι Βόρειοδυτικός - με ταχύτητα 1-2 Beaufort

4.4.4 Σχολιασμός

Υπό ήρεμες μετεωρολογικές συνθήκες, οι οσμές, τείνουν να αιωρούνται πάνω από το σημείο εκπομπής τους, καθώς είναι πυκνότερες από τον ατμοσφαιρικό αέρα, δημιουργώντας ένα σύννεφο. Το βράδυ ή τις πρώτες πρωινές ώρες το σύννεφο μπορεί να μεταφερθεί χωρίς να διασπαστεί για μεγάλες αποστάσεις. Αυτό αποτελεί μια εξήγηση του φαινομένου όχλησης σε απόσταση κοντά στο 1.2km από την πηγή όπου έγιναν οι μετρήσεις. Επιπροσθέτως στη συγκεκριμένη περίπτωση το ανάγλυφο της περιοχής, παρουσιάζει υψομετρική διαφορά έως και 30 μέτρα με χαμηλότερο σημείο τις εγκαταστάσεις του Βιολογικού. Το γεγονός αυτό μπορεί να ενισχύσει την παραπάνω εξήγηση μεταφοράς οσμών.

5.1 Εισαγωγή

Στα διάφορα στάδια επεξεργασίας μιας χοιροτροφικής μονάδας καθίσταται αναπόφευκτο να λαμβάνουν χώρα εκπομπές οσμών. Οι οσμές είναι ένα πολύπλοκο μίγμα οργανικών και ανόργανων πτητικών ενώσεων. Η πλειονότητα των ενώσεων αυτών είναι αζωτούχες και θειούχες οργανικές ενώσεις (αμίνες, οξέα, σουλφίδια, θειόλες κτλ.) και η συγκέντρωσή τους στην ατμόσφαιρα ακόμη και σε πολύ μικρές τιμές δύναται να προκαλέσει φαινόμενα όχλησης. Οι οσμηρές ενώσεις αμμωνία (NH_3) και υδρόθειο (H_2S), προέρχονται από την αποδόμηση των αζωτούχων και θειούχων οργανικών ενώσεων αντίστοιχα. Οι οσμηρές αυτές ενώσεις συνεισφέρουν περισσότερο στη χαρακτηριστική δυσάρεστη οσμή και μπορούν να αποτελέσουν δείκτη του συνολικού προβλήματος μιας μονάδας (Priest et al., 1994).

Ο όμιλος Creta Farm είναι μια εταιρεία διεθνούς ανάπτυξης με κατοχυρωμένες πατέντες στην Ελλάδα και σε άλλες 38 χώρες παγκοσμίως και με 200 διαφορετικά προϊόντα, κυρίως αλλαντικά. Οι εγκαταστάσεις της χοιροτροφικής μονάδας όπου έγιναν οι μετρήσεις βρίσκονται στο 15^ο χιλιόμετρο εθνικής οδού Ρεθύμνου– Ηρακλείου στη θέση Λατζιμάς. Εκτείνονται σε έκταση 210 στρεμμάτων με δομημένο χώρο 35.000 τ.μ. Η μονάδα διαθέτει 72 θαλάμους εκτροφής χοίρων. Ανάλογα με το στάδιο εκτροφής των ζώων οι θάλαμοι κατηγοριοποιούνται σε θαλάμους κυοφορίας (10), ανάπτυξης (25) και πάχυνσης (27).

5.2 Περιγραφή της περιοχής δειγματοληψίας

Τις ημέρες 31 Ιανουαρίου και 1 Φεβρουαρίου με τη βοήθεια του κ. Χάρη Δασκαλάκη πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις αμμωνίας και υδρόθειου στην αέρια φάση σε βιόφιλτρο της Creta Farm. Το βιόφιλτρο στο οποίο πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις προορίζεται για την απόσπηση των αερίων του θαλάμου πάχυνσης 16Α και τις ημέρες των μετρήσεων είχε 278 χοίρους. Το δάπεδο του θαλάμου είναι διάτρητο επομένως τα αέρια του θαλάμου βρίσκονται σε επικοινωνία με τα τσιμεντένια κανάλια συλλογής των περιττωμάτων, ένα μέτρο κάτω από τον χώρο παραμονής των ζώων. Ο συνολικός χρόνος παραμονής των περιττωμάτων στα κανάλια ποικίλει από 5 έως 9 μέρες ανάλογα με το πλήθος των χοίρων και τις διαστάσεις του θαλάμου. Τα αέρια οδηγούνται διαμέσου σωλήνα διαμέτρου 60cm από το μέσο του θαλάμου στο βιόφιλτρο, που έχει τοποθετηθεί εκτός του κτιρίου. Το βιόφιλτρο βρίσκεται σε συνεχή λειτουργία από το Σεπτέμβριο του 2010 και συνοπτικά η διάταξη του περιγράφεται από τρία φίλτρα από πεπιεσμένο χαρτί τοποθετημένα παράλληλα με απόσταση μεταξύ τους λιγότερη από μισό μέτρο. Τα φίλτρα διαβρέχονται με επεξεργασμένα λύματα κάθε λεπτό για 10sec και ανά δύο λεπτά η διαβροχή τους σταματάει για 20sec. Οι μετρήσεις έγιναν για δύο διαφορετικές παροχές απερίων στο βιόφιλτρο και για δύο διαφορετικές τιμές pH των λυμάτων διαβροχής ανά παροχή. Οι παροχές που επιλέχθηκαν αντιστοιχούν σε 100% και 50% της συνήθους παροχής και υπολογίστηκαν με ακρίβεια με τη μέτρηση της ταχύτητας αερίων και τη διατομή σωλήνα εισόδου, ενώ το βιόφιλτρο ήταν σε συνεχή λειτουργία με την κάθε παροχή για τουλάχιστον

90 λεπτά πριν από κάθε κύκλο μετρήσεων. Το αρχικό pH των επεξεργασμένων λυμάτων διαβροχής των φίλτρων μετρήθηκε 7 και με την προσθήκη υδροχλωρικού οξέος διατηρήθηκε σε επίπεδα 5 - 6 για το δεύτερο κύκλο μετρήσεων.

Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο κάθε στάδιο για την αντίστοιχη παροχή για το αντίστοιχο pH είχαν διάρκεια 25 λεπτά περίπου. Συγκεκριμένα για το υδρόθειο, οι μετρήσεις έγιναν στα στάδια εισόδου και εξόδου του βιοφίλτρου ανά διάστημα πέντε λεπτών, ενώ οι μετρήσεις αμμωνίας ήταν συνεχείς και πραγματοποιήθηκαν στην είσοδο του κάθε σταδίου του βιοφίλτρου καθώς και στην έξοδο. Οι μετρούμενες συγκεντρώσεις εκφράζονται σε λόγους ανάμιξης, δηλαδή αναλογία όγκου οσμής προς όγκο ατμοσφαιρικού αέρα.

5.3 Αποτελέσματα μετρήσεων

5.3.1 Υδρόθειο

Όπως αναφέρεται παραπάνω, οι μετρήσεις του υδρόθειου έγιναν στην είσοδο και στην έξοδο ανά πέντε λεπτά χωρίς διακοπή του κύκλου διαβροχής. Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται οι ελάχιστες και οι μέγιστες τιμές συγκεντρώσεων που μετρήθηκαν σε ppm, καθώς και οι μέσες τιμές σύμφωνα με τις οποίες έγινε ο υπολογισμός της συνολικής απομάκρυνσης υδρόθειου για δύο παροχές και για δύο τιμές pH ανά παροχή.

Πίνακας 2.1: Μετρήσεις Υδρόθειου

Παροχή Q m³/h	6500	3300	6400	3200
ΕΙΣΟΔΟΣ ppm				
C min	0.14	0.17	0.14	0.27
C max	0.33	0.28	0.32	0.49
C average	0.253	0.24	0.248	0.392
pH	7.4		5.5	
ΕΞΟΔΟΣ ppm				
C min	0.16	0.11	0.21	0.14
C max	0.19	0.15	0.25	0.17

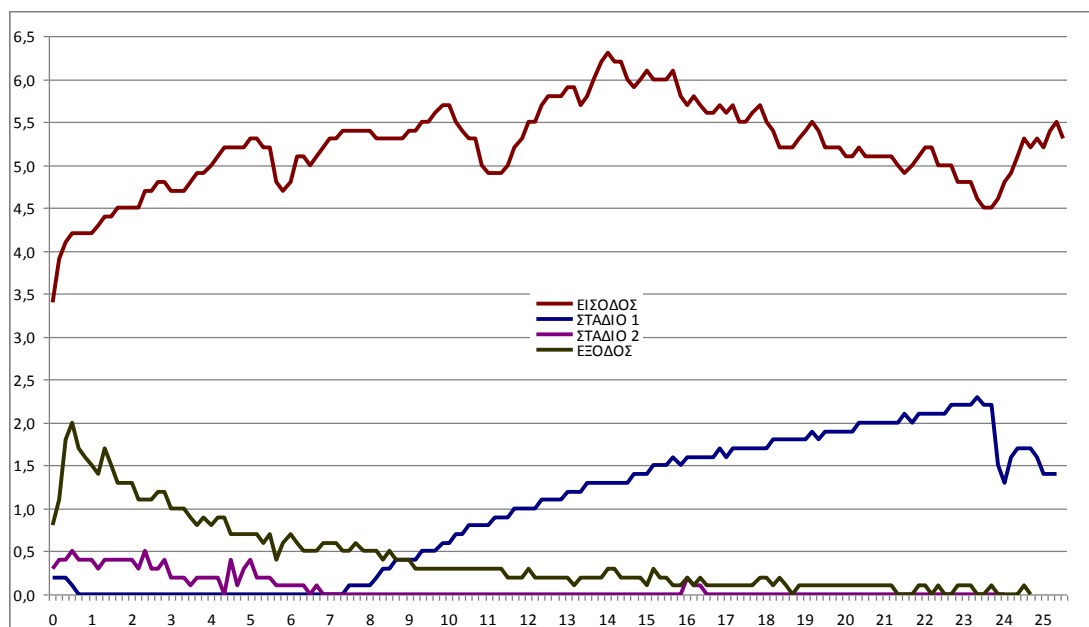
C average	0.18	0.12	0.23	0.15
Removal g/h	476.67	379.5	136.53	768
Removal Efficiency %	28.9%	47.9%	8.6%	61.3%

5.3.2 Αμμωνία

Οι μετρήσεις αμμωνίας με το Gray Wolf έγιναν στα στάδια εισόδου, μεταξύ πρώτου και δεύτερου φίλτρου (στάδιο 1), μεταξύ δεύτερου και τρίτου φίλτρου (στάδιο 2) και μεταξύ τρίτου φίλτρου και εξόδου (έξοδος).

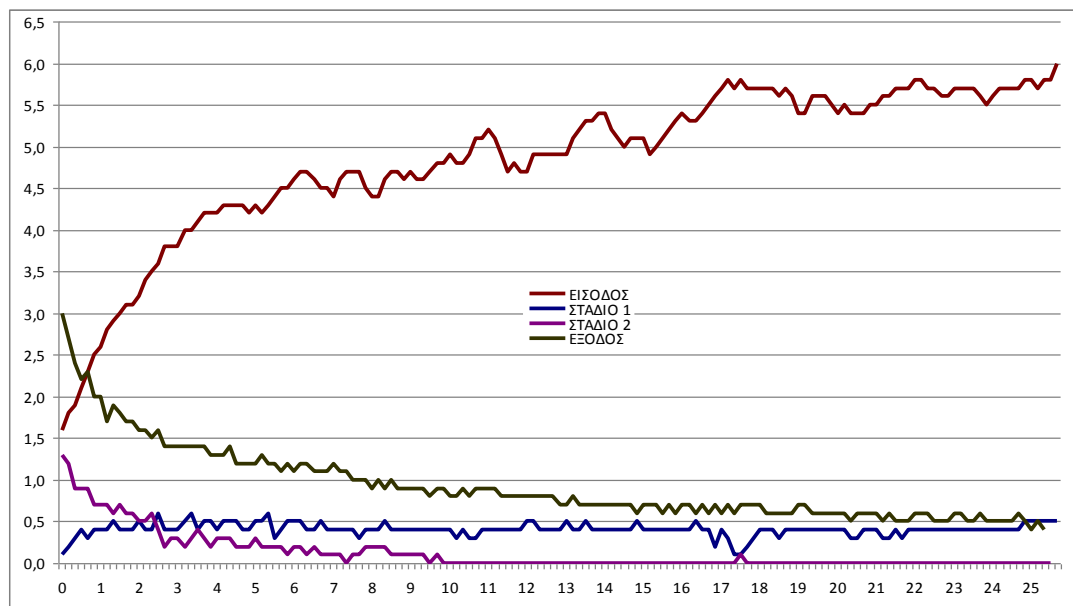
pH 7.4

Στην μεγάλη παροχή, στην είσοδο οι τιμές της αμμωνίας ποικίλουν από 6.3 έως 1.2 ppm με μέση τιμή 5.2 ppm. Οι τιμές εξόδου είχαν μέγιστο 2 ppm, ελάχιστο 0 ppm και μέση τιμή 0.4 ppm. Στο παρακάτω διάγραμμα παρατίθενται οι τιμές συγκέντρωσης ανά στάδιο.



Διάγραμμα 2.1: Συγκέντρωση αμμωνίας σε ppm ανά λεπτό δειγματοληψίας σε κάθε στάδιο με pH λυμάτων διαβροχής 7.4, για την μεγάλη παροχή.

Στην μικρή παροχή, στην είσοδο οι τιμές της αμμωνίας ποικίλουν από 6.0 έως 1.6 ppm με μέση τιμή 4.8 ppm. Οι τιμές εξόδου είχαν μέγιστο 3 ppm, ελάχιστο 0.4ppm και μέση τιμή 0.9ppm. Στο παρακάτω διάγραμμα παρατίθενται οι τιμές συγκέντρωσης ανά στάδιο.



Διάγραμμα 2.2: Συγκέντρωση αμμωνίας σε ppm ανά λεπτό δειγματοληψίας σε κάθε στάδιο με pH λυμάτων διαβροχής 7.4, για την μικρή παροχή.

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι τιμές απομάκρυνσης της αμμωνίας σε mg/h ανά στάδιο καθώς και η απόδοση του βιόφιλτρου για τα δεδομένα εισόδου και εξόδου.

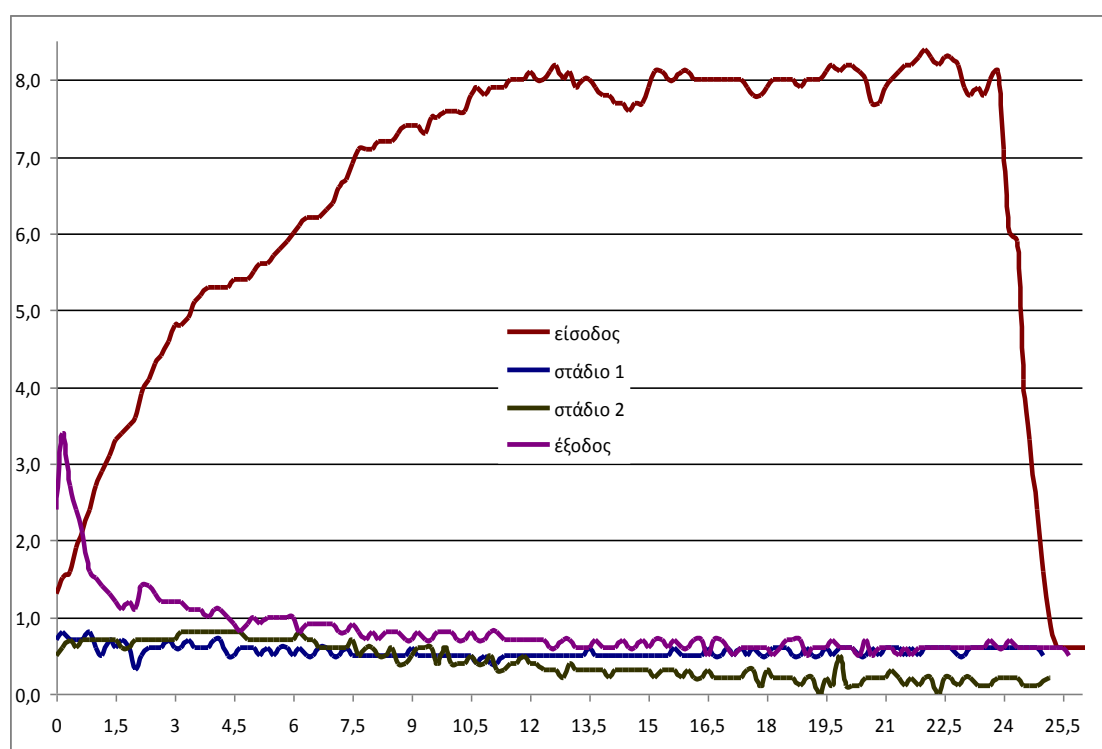
Πίνακας 2.1: Αποτελέσματα μετρήσεων αμμωνίας με pH λυμάτων διαβροχής 7.4

pH	7.4			
Παροχή Q m ³ /h	6500			
	Στάδιο 1	Στάδιο 2	Στάδιο 3	Είσοδος - Έξοδος
Removal g/h	27008.718	-	5387.24	30738.29
Removal Efficiency %	91.8			
Παροχή Q m ³ /h	3300			
	Στάδιο 1	Στάδιο 2	Στάδιο 3	Είσοδος - Έξοδος

Removal g/h	14654.13	904.94	-	12915.61
Removal Efficiency %	80.82			

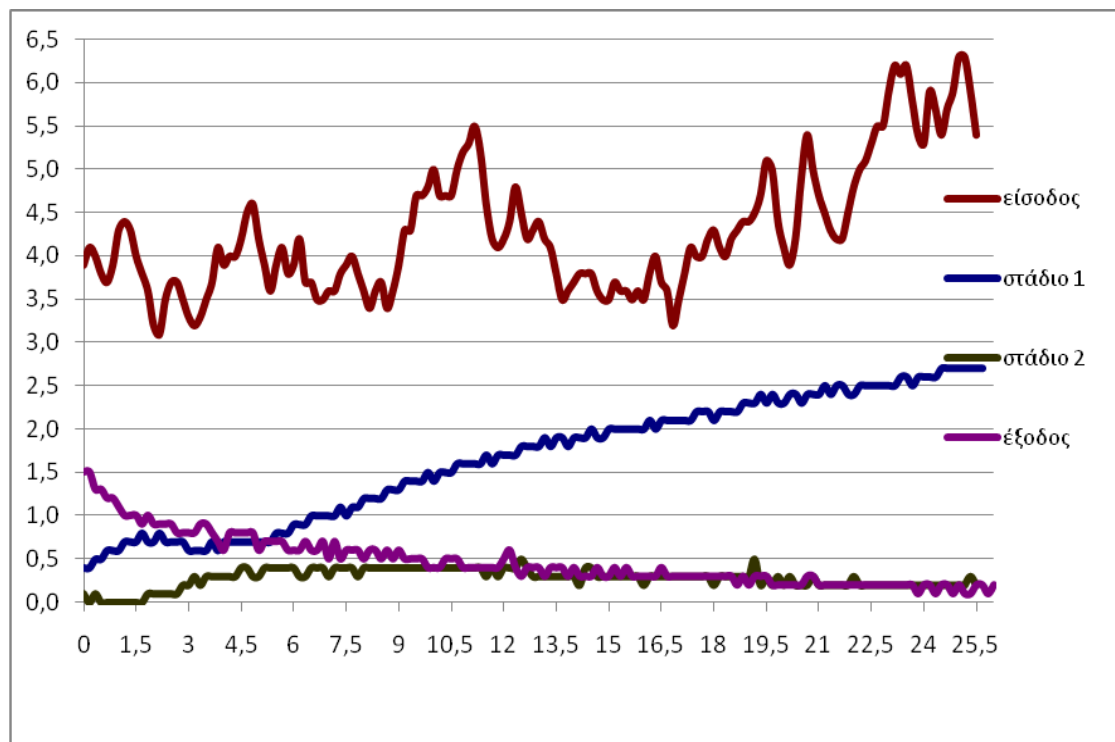
pH 5.5

Στη μεγάλη παροχή, στην είσοδο οι τιμές της αμμωνίας ποικίλουν από 6.3 έως 3.1 ppm με μέση τιμή 4.3 ppm. Οι τιμές εξόδου είχαν μέγιστο 1.5 ppm, ελάχιστο 0.1 ppm και μέση τιμή 0.5 ppm. Στο παρακάτω διάγραμμα παρατίθενται οι τιμές συγκέντρωσης ανά στάδιο.



Διάγραμμα 2.3: Συγκέντρωση αμμωνίας σε ppm ανά λεπτό δειγματοληψίας σε κάθε στάδιο με pH λυμάτων διαβροχής 5.5, για την μικρή παροχή.

Στη μικρή παροχή, στην είσοδο οι τιμές της αμμωνίας ποικίλουν από 8.4 έως 0.6 ppm με μέση τιμή 6.5 ppm. Οι τιμές εξόδου είχαν μέγιστο 3.4 ppm, ελάχιστο 0.5 ppm και μέση τιμή 0.8 ppm. Στο παρακάτω διάγραμμα παρατίθενται οι τιμές συγκέντρωσης ανά στάδιο.



Διάγραμμα 2.4: Συγκέντρωση αμμωνίας σε ppm ανά λεπτό δειγματοληψίας σε κάθε στάδιο με pH λυμάτων διαβροχής 5.5, για την μεγάλη παροχή.

Στον παρακάτω πίνακα έχουν δίνονται οι τιμές απομάκρυνσης της αμμωνίας σε mg/h ανά στάδιο καθώς και η απόδοση του βιόφιλτρου για τα δεδομένα εισόδου και εξόδου.

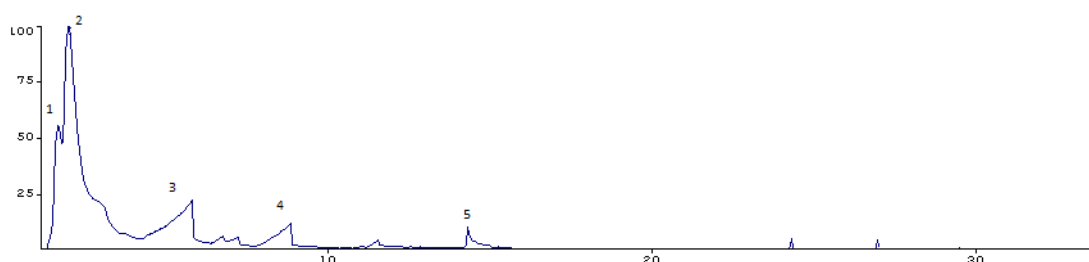
Πίνακας 2.2: Αποτελέσματα μετρήσεων αμμωνίας με pH λυμάτων διαβροχής 5.5

pH	5.5				
Παροχή m ³ /h	Q	6400			
		Στάδιο 1	Στάδιο 2	Στάδιο 3	Είσοδος Έξοδος -
Removal g/h		16858.44	8818.17	-	24448.04
Removal Efficiency %		87.44			
Παροχή m ³ /h	Q	3200			
		Στάδιο 1	Στάδιο 2	Στάδιο 3	Είσοδος Έξοδος -

Removal g/h	19176.24	464.24	-	18311.8
Removal Efficiency %	89.03			

5.3.3 Άλλες ουσίες

Η δειγματοληψία από την είσοδο και την έξοδο του βιόφιλτρου πραγματοποιήθηκε στις 31/1/2011. Η προσυγκέντρωση των αέριων δειγμάτων έλαβε χώρα με τη χρήση της τεχνικής μικροεκχύλισης στερεάς φάσης (SPME). Ο χρόνος δειγματοληψίας ήταν 15 min και πραγματοποιήθηκε στην είσοδο του θαλάμου πάχυνσης των χοίρων, στο εσωτερικό του βιόφιλτρου και στην έξοδο αυτού. Το pH στο συγκεκριμένο βιόφιλτρο ήταν σχεδόν ουδέτερο κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας, ενώ η παροχή ήταν 6700 m³/h. Περαιτέρω ανάλυση των δειγμάτων έγινε σε αέριο χρωματογράφο και ανιχνευτή μάζας (QP5050A, GC 17-A, Shimadzu). Η ταυτοποίηση των ενώσεων έγινε συγκρίνοντας τα φάσματα μαζών των εκλυόμενων ενώσεων με αυτά της βιβλιοθήκης NIST.

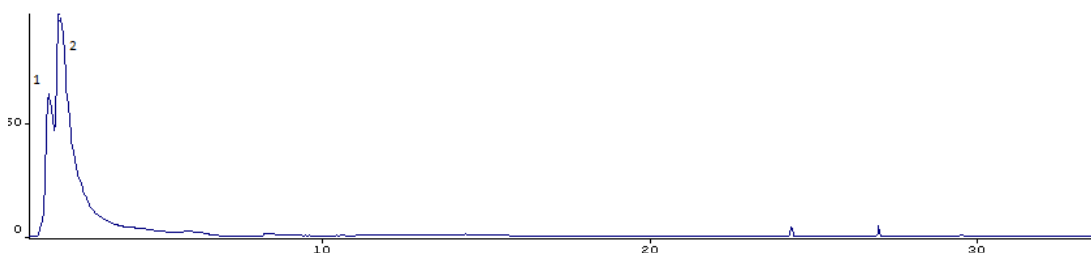


Σχήμα 3.1: GC-MS χρωματογράφημα του δείγματος από την είσοδο του θαλάμου πάχυνσης, χρησιμοποιώντας ένα CAR/PDMS 75μm.

Πίνακας 3.1: Οχλούσες ενώσεις, που ανιχνεύτηκαν στην είσοδο του θαλάμου πάχυνσης των χοίρων με ένα CAR/PDMS 75μm.

Αριθμός κορυφής	Ένωση	Βαθμός ταύτισης (%)	Μοριακό Βάρος
1	Butane	91	58
2	Hexane	86	86
3	Butanoic acid	96	88
4	Pentanoic acid	96	102

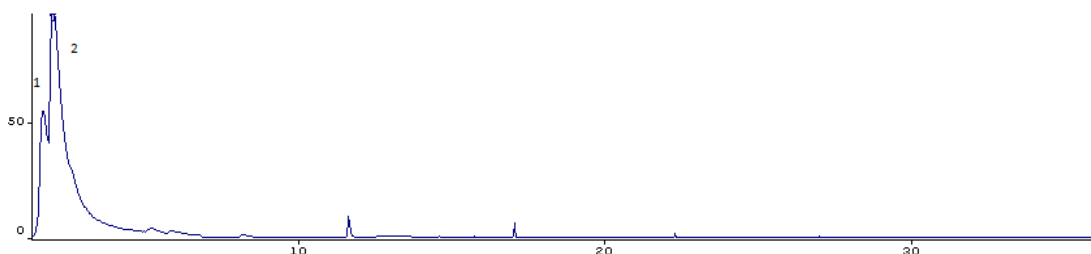
5	4 methylphenol (p-cresol)	91	108
---	---------------------------	----	-----



Σχήμα 3.2: GC-MS χρωματογράφημα του δείγματος από το βιόφιλτρο του θαλάμου πάχυνσης, χρησιμοποιώντας ίνα CAR/PDMS 75μm.

Πίνακας 3.2: Οχλούσες ενώσεις, που ανιχνεύτηκαν στο βιόφιλτρο του θαλάμου πάχυνσης των χοίρων με ίνα CAR/PDMS 75μm.

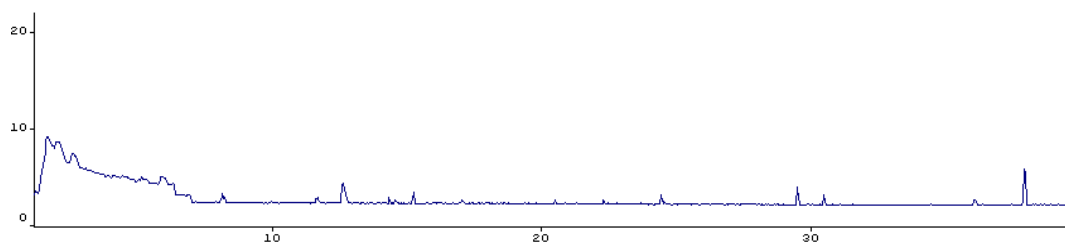
Αριθμός κορυφής	Ένωση	Βαθμός ταύτισης (%)	Μοριακό Βάρος
1	Butane	91	58
2	Hexane	93	86



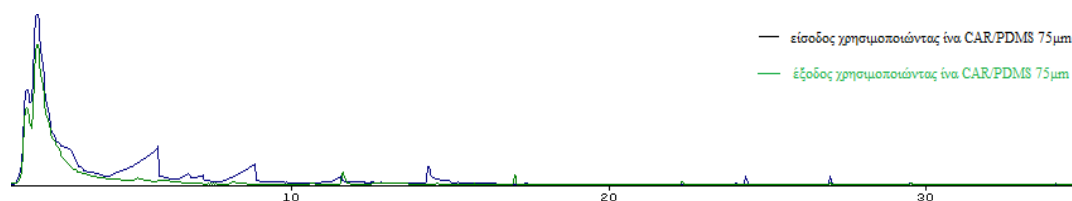
Σχήμα 3.3: GC-MS χρωματογράφημα του δείγματος από την έξοδο του βιόφιλτρου από το θάλαμο πάχυνσης, χρησιμοποιώντας ίνα CAR/PDMS 75μm.

Πίνακας 3.3: Οχλούσες ενώσεις, που ανιχνεύτηκαν στην έξοδο του βιόφιλτρου από το θάλαμο πάχυνσης των χοίρων χρησιμοποιώντας ίνα CAR/PDMS 75μm.

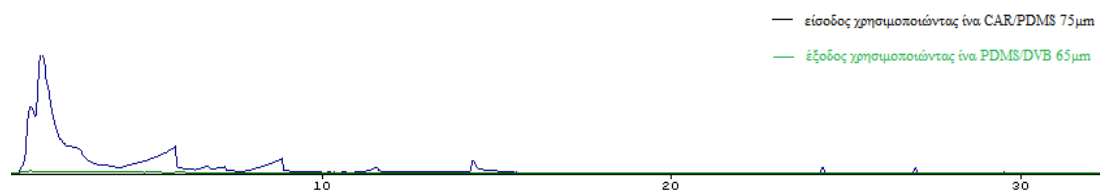
Αριθμός κορυφής	Ένωση	Βαθμός ταύτισης (%)	Μοριακό Βάρος
1	Butane	91	58
4	Hexane	94	86



Σχήμα 3.4: GC-MS χρωματογράφημα του δείγματος από την έξοδο του βιοφίλτρου από το θαλάμο πάχυνσης, χρησιμοποιώντας ίνα PDMS/DVB 65μm.



Σχήμα 3.5: Σύγκριση GC-MS χρωματογραφημάτων 1 και 3.



Σχήμα 3.6: Σύγκριση GC-MS χρωματογραφημάτων 1 και 4.

Τα παραπάνω αποτελέσματα είναι σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία όπου έχει αναφερθεί ότι το πρόβλημα των οσμών που προέρχονται από θαλάμους πάχυνσης των χοίρων οφείλεται στην ύπαρξη ενώσεων όπως: βουτάνιο, εξάνιο, πτητικά λιπαρά οργανικά οξέα (Volatile Fatty Acid; VFA) ή/και 4 methyl phenol (p-cresol).

Συγκρίνοντας τα χρωματογραφήματα εισόδου και εξόδου του βιοφίλτρου (σχήμα 5) που έχει τοποθετηθεί στις εγκαταστάσεις της χοιροτροφικής μονάδας Creta farm είναι εμφανές ότι αυτό είναι σε θέση να απομακρύνει αποτελεσματικά/πλήρως τα πτητικά λιπαρά οργανικά οξέα και την ένωση p-cresol. Η απομάκρυνση όμως των αλκανίων όπως το βουτάνιο και το εξάνιο γίνεται κατά ένα ποσοστό ~15%. Η χρήση της SPME ίνας PDMS/DVB 65μm επιβεβαίωσε ότι στην έξοδο δεν εμφανίζονται αρωματικές ή/και άλλες σχετικά πολικές ενώσεις (σχήμα 6).

5.3.4 Σχολιασμός

Για το υδρόθειο, η μεγαλύτερη απομάκρυνση (61%) παρατηρείται για την μικρή παροχή σε χαμηλότερο Ph (5.5). Η μείωση λόγω λειτουργίας σε pH 7.4 είναι από 61% σε 48%. Ο μέσος όρος των τιμών του εκπεμπόμενου υδρόθειου, που υπολογίστηκε δεν παρουσιάζει μεγάλη μείωση ανά κύκλο δειγματοληψίας.

Όσον αφορά την αμμωνία, η απομάκρυνση που επιτυγχάνεται είναι ικανοποιητική (81-92% σε όλες τις δοκιμές), από το πρώτο κιόλας στάδιο. Είναι εξαιρετικά ενδιαφέρουσα η αύξηση της συγκέντρωσης που παρατηρείται και σε όλες τις περιπτώσεις προς το τέλος των μετρήσεων στο πρώτο στάδιο και που οφείλεται κυρίως στην παύση της διαβροχής. Όπως αναφέραμε για τη δειγματοληψία εντός του βιόφιλτρου ήταν αναγκαίο να διακόψουμε τον κύκλο της διαβροχής. Συγκεκριμένα στο σημείο που παρατηρείται η απότομη αύξηση της συγκέντρωσης η διαβροχή είχε διακοπεί για περίπου 40 λεπτά, για το λόγο αυτό δεν είχε νόημα να υπολογιστεί η απομάκρυνση την περίοδο αυτή. Διαπιστώνεται έτσι η σπουδαιότητα της παραμέτρου αυτής στη συνολική απόδοση του βιόφιλτρου. Εκτιμάται έτσι πως η αύξηση της συχνότητας της διαβροχής μπορεί να έχει θετική επίδραση στην απόσμιση. Όσον αφορά την τιμή του pH, διαπιστώνεται πως η μείωση τέτοιας τάξης, δεν επηρεάζει ουσιαστικά την απόδοση και επομένως το βιόφιλτρο πρέπει να λειτουργεί στο pH που παρατηρείται η μέγιστη απομάκρυνση υδρόθειου (ήτοι 5.5).

Τέλος ανιχνεύθηκαν και άλλες ουσίες όπως βουτάνιο, εξάνιο, πτητικά λιπαρά οργανικά οξέα (Volatile Fatty Acid; VFA) ή/και 4 methyl phenol (p-cresol). Το βιόφιλτρο είναι σε θέση να απομακρύνει πλήρως τα λιπαρά οξέα και την φαινόλη ενώ παρουσιάζει μια μικρή απομάκρυνση (~15%) σε πτητικούς υδρογονάνθρακες οι οποίοι όμως δεν δημιουργούν προβλήματα οσμών.

6. Συμπεράσματα

Η οσμή από τη φύση της είναι ένα φαινόμενο που αφενός μπορεί να έχει πολύ μικρή χρονική διάρκεια και αφετέρου μπορεί να γίνει αντιληπτό από τον άνθρωπο σε εξαιρετικά χαμηλές συγκεντρώσεις των εκπεμπόμενων ενώσεων. Επομένως, ο εντοπισμός των πηγών όχλησης και η ποσοτικοποίηση του φαινομένου αποτελεί μια πολύπλοκη διαδικασία.

Η διαδικασία που ακολουθείται για μια ολοκληρωμένη διαχείριση των οσμών σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων είναι ο εντοπισμός των πηγών όχλησης και η αντιμετώπιση αυτών εντός της εγκατάστασης.

Η παρούσα εργασία επικεντρώθηκε στην επικρατούσα των ενώσεων, το υδρόθειο, όπου με ειδικό φορητό όργανο μέτρησης μπορεί να ποσοτικοποιηθεί μέχρι το όριο ανίχνευσής του από την ανθρώπινη όσφρηση, με αποτέλεσμα να γνωρίζουμε ανά πάσα χρονική στιγμή αν υπάρχει σημαντική ή μη υπέρβαση αυτού. Οι συγκεντρώσεις του υδρόθειου που μετρήθηκαν κυμαίνονταν από 0 μέχρι 1.6ppm. Μέσω αυτών των μετρήσεων ποσοτικοποιήθηκαν οι εκπομπές υδρόθειου από τις συγκεκριμένες πηγές.

Σε ορισμένα από τα σημεία που επιλέχθηκαν έλαβαν χώρα παρεμβάσεις (πριν και κατά τη διάρκεια των μετρήσεων) και αξιολογήθηκε η συμβολή τους στην αντιμετώπιση της διαφυγής των οσμών.

Η ανίχνευση των κύριων πηγών όχλησης προερχόμενων από τη ΔΕΥΑΗ ολοκληρώθηκε με επιτυχία. Οι κύριες πηγές υδρόθειου εντοπίστηκαν ότι είναι:

- Αντλιοστάσιο αρχικής ανύψωσης
- Μονάδα εξάμμωσης – απολίπανσης
- Δίαυλος Parshall.
- Θάλαμος διανομής 1
- Δεύτερος θάλαμος διανομής
- Αναερόβιοι χωνευτές λυματολάσπης

- Εντός παλαιάς μονάδας αφυδάτωσης

Προκειμένου να υπάρχει μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα για την όχληση που προκαλείται από το Βιολογικό Ηρακλείου, κρίθηκε αναγκαίο να πραγματοποιηθούν μετρήσεις και εκτός των ορίων της εγκατάστασης. Έχουν διατυπωθεί επανειλημμένα παράπονα από τους περιοίκους για την δυσοσμία που προκύπτει λόγω της λειτουργίας των εγκαταστάσεων. Από τις 24ωρες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε διάφορες αποστάσεις από τις πηγές μέχρι τα 1.2km και με κατεύθυνση ανέμου από το Βιολογικό προς το εκάστοτε σημείο, διαπιστώθηκε ότι οι τιμές συγκέντρωσης του υδρόθειου που προέκυπταν ήταν στην πλειοψηφία τους μικρότερες από το όριο αναγνώρισης της οσμής (4.7ppb). Παρατηρήθηκαν ωστόσο ορισμένα φαινόμενα όχλησης πολύ μικρής διάρκειας που καταγράφηκαν και ξεπέρασαν το κατώφλι οσμής με ανώτερη τιμή τα 20 ppb. Οι συγκεντρώσεις που μετρήθηκαν βρίσκονται σε επίπεδα για τα οποία δεν υπάρχουν επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων που εκτίθενται σε αυτές.

Ωστόσο, η έκθεση των σε οσμές χαμηλών συγκεντρώσεων ασκεί πρωτίστως ψυχολογική πίεση παρά σωματικές βλάβες κυρίως για τους ανθρώπους που κατοικούν κοντά στις πηγές των ρύπων αυτών. Κατά την καταγραφή των παραπόνων, πλην ορισμένων εξαιρέσεων, η γενική ομολογία ήταν πως η δυσοσμία από τον βιολογικό προκαλεί μόνιμη ανησυχία και προβληματισμό, ανεξαρτήτου εποχής. Το γεγονός όμως αυτό έρχεται σε αντίθεση με τα αποτελέσματα των ερωτηματολογίων, καθώς όσα επεστράφησαν ήταν ημιτελή επομένως δεν διαπιστώθηκε κάποιο διακριτό πρότυπο.

Όσον αφορά την χοιροτροφική μονάδα της Creta Farm στο Ρέθυμνο, ελέγχθηκε ο έλεγχος της απόδοσης απομάκρυνσης των οσμών από το βιόφιλτρο ενός από τους θαλάμους πάχυνσης. Βάσει των αποτελεσμάτων, διαπιστώθηκε ότι όσον αφορά την αμμωνία, η απομάκρυνση που επιτυγχάνεται είναι ικανοποιητική (81-92% σε όλες τις δοκιμές), από το πρώτο κιόλας στάδιο. Για το υδρόθειο, δεν επιτυγχάνεται πλήρης απόσμιση καθώς η μεγαλύτερη απομάκρυνση υπολογίστηκε σε 61%, και μειώνεται με την αύξηση του pH. Τέλος παρατηρείται αύξηση της συγκέντρωσης σε όλες τις περιπτώσεις προς το τέλος των μετρήσεων στο πρώτο στάδιο και που οφείλεται κυρίως στην παύση της διαβροχής.

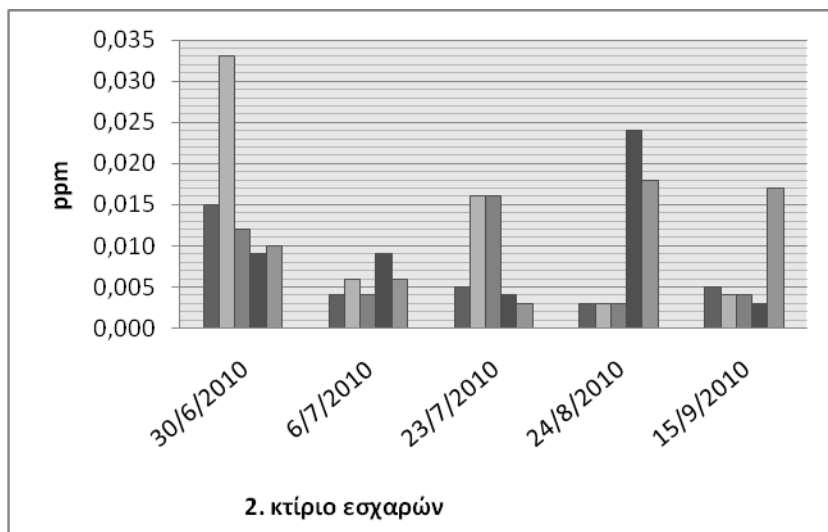
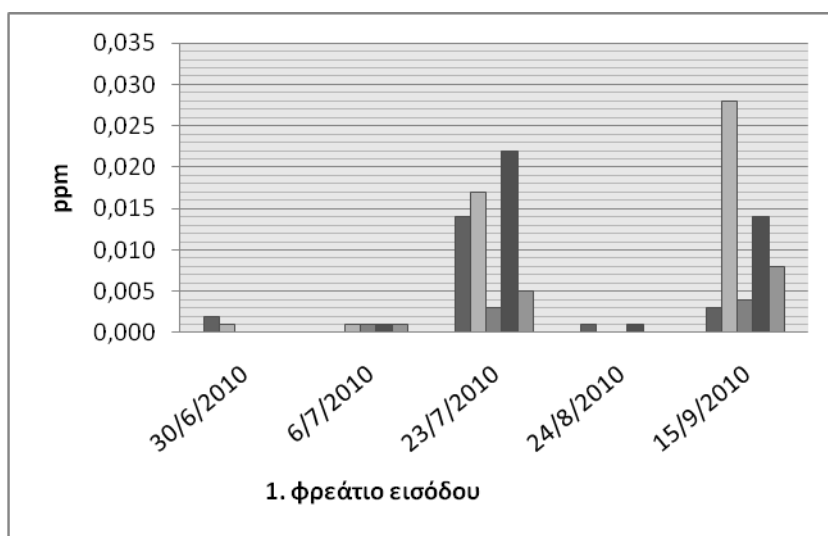
Διαπιστώνεται έτσι η σπουδαιότητα της παραμέτρου αυτής στη συνολική απόδοση του βιόφιλτρου. Εκτιμάται έτσι πως η αύξηση της συχνότητας της διαβροχής μπορεί να έχει θετική επίδραση στην απόσμηση. Όσον αφορά την τιμή του pH, διαπιστώνεται πως η μείωση τέτοιας τάξης, δεν επηρεάζει ουσιαστικά την απόδοση και επομένως το βιόφιλτρο πρέπει να λειτουργεί στο pH που παρατηρείται η μέγιστη απομάκρυνση υδρόθειου (ήτοι 5.5).

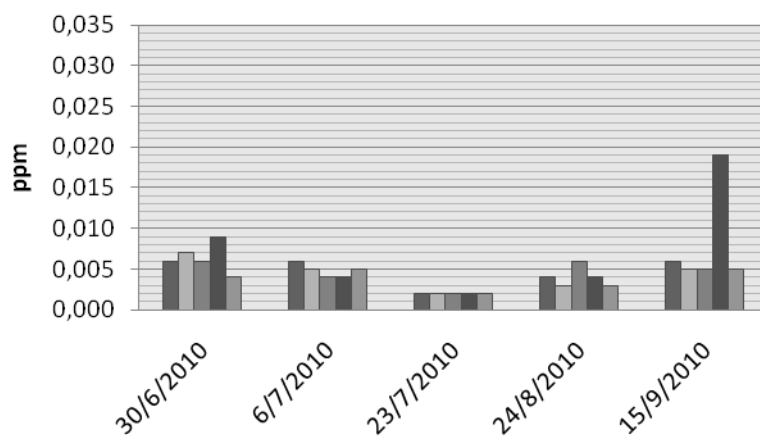
7. Βιβλιογραφικές αναφορές

- ARIZONA INSTRUMENT LLC, JEROME® 431-X Hydrogen Sulfide ANALYZER OPERATION MANUAL, May 2009
- CEN, 2003. Air quality—Determination of odour concentration by dynamic olfactometry. European Standard EN13725. Brussels, Belgium.
- Central Pollution Control Board (C.P.C.B.) (2008). “Guidelines on odour pollution & its control”, Ministry of Environment & Forests, Government of India
- Dr.J. Frasnelli «With which part of the brain do we smell? » Posted by Thierry Page on Tue, Mar 01, 2011The Odor Management Blog
- E.C. (2008) “Directive 2008/1/EC of the European Parliament and of the council of 15 January 2008 concerning integrated pollution prevention and control”, Official Journal of the European Union, 29/1/2008.
- Gostelow P., Parsons S. A., Stuetz R. M. (2001). Odour measurements for sewage treatment works. *Water Research* **35**, 579-597.
- Gostelow P., Parsons, S. A. and Lovell, M. (2004). Integrated odour modeling for sewage treatment works. *Water Science and Technology* **50**(4), 169–176.
- Hazardous Substances Data Base 2006
- Kaskura, T. and Tatsukawa, K. (1995). On the scent of a good idea for odour removal. *Water Quality International*. No. 2, pp. 24– 27.
- Mari Ishigami, Keiko Hiraki, Ken Umemura, Yuki Ogasawara, Kazuyuki Ishii, and Hideo Kimura, A source of Hydrogen Sulfide and a mechanism of its release in the brain, *Antioxidants & redox signaling*, vol. 11, no. 2, p.205-214.

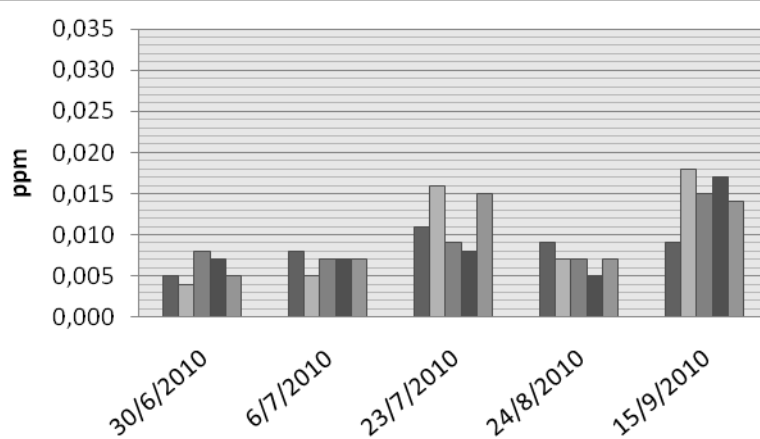
- Nicell, J. 2003. Expressions to Relate Population Responses to Odor Concentration. *Atmosph. Environ.* 37, 4955-4964.
- Priest, J.B., J. Zhu, R. Maghirang, L.L. Christianson and G.L. Riskowski. 1994. Agricultural environments and their effects on animals, plants, workers, and the structure. ASAE Paper 94-4587. St. Joseph, MI: ASAE
- Tchobanoglous and Burton, “Μηχανική Υγρών Αποβλήτων, Επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση, Metcalf & Eddy, 2007”, Εκδόσεις Τζιόλια, 15.
- TOXICOLOGICAL PROFILE FOR HYDROGEN SULFIDE, U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, July 2006
- Wright R. H. “The Sense of Smell”, CRC Press Inc, Florida, 1982
- Γεώργιος Τοσουνίδης «Συστήματα επεξεργασίας αποβλήτων για μικρούς και απομονωμένους οικισμούς. Εφαρμογή στη Λέσβο.»,"« MSc Thesis, Environmental Science Department University of the Aegean, (2005)
- Δημήτριος Β. Βαγενάς, 2004, “Διαχείριση Υγρών Αποβλήτων”, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, 3, 31-34
- Δημοτικές Επιχειρήσεις Ύδρευσης – Αποχέτευσης Ηρακλείου, <http://deyah.gr>. Accessed 20/03/2011

8. Παράρτημα

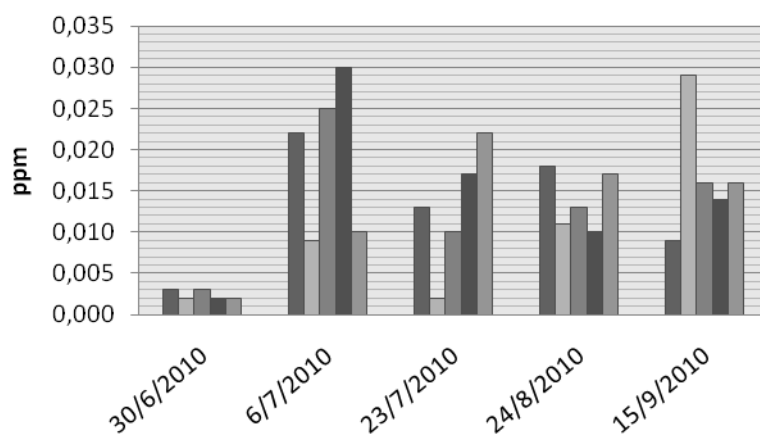




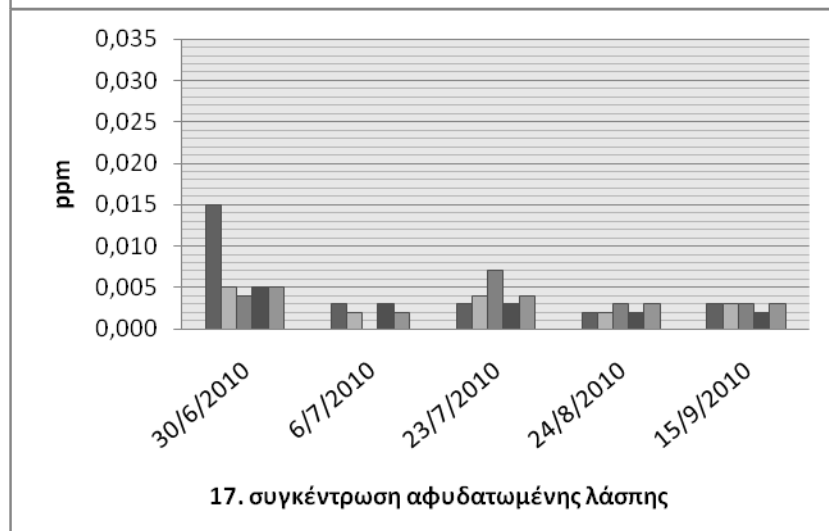
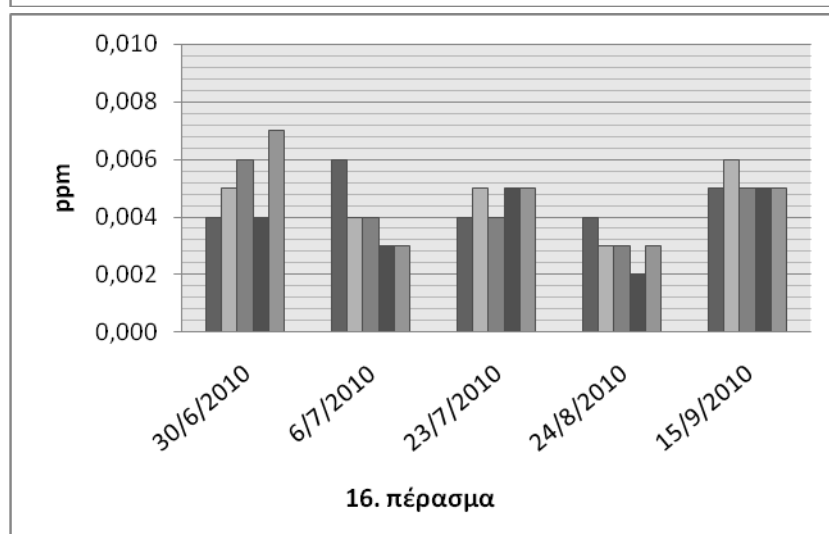
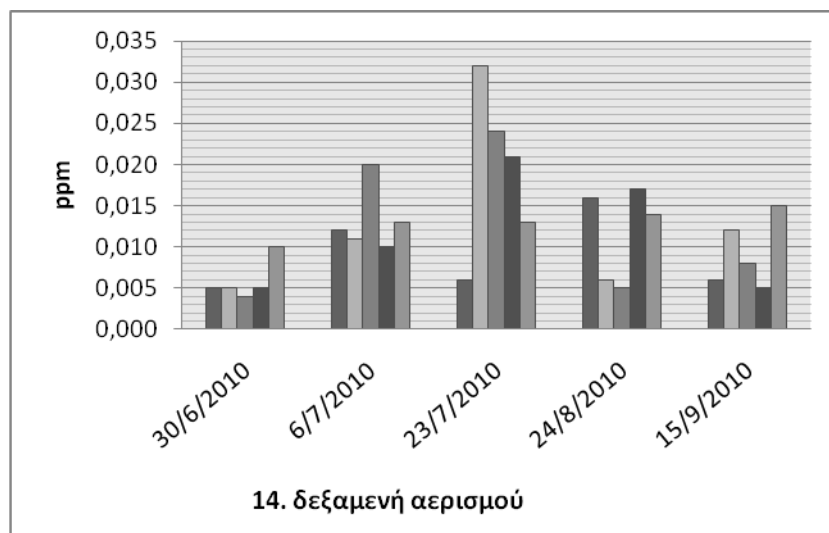
4. μονάδα απόσμισης πρωτοβάθμιων καθιζήσεων

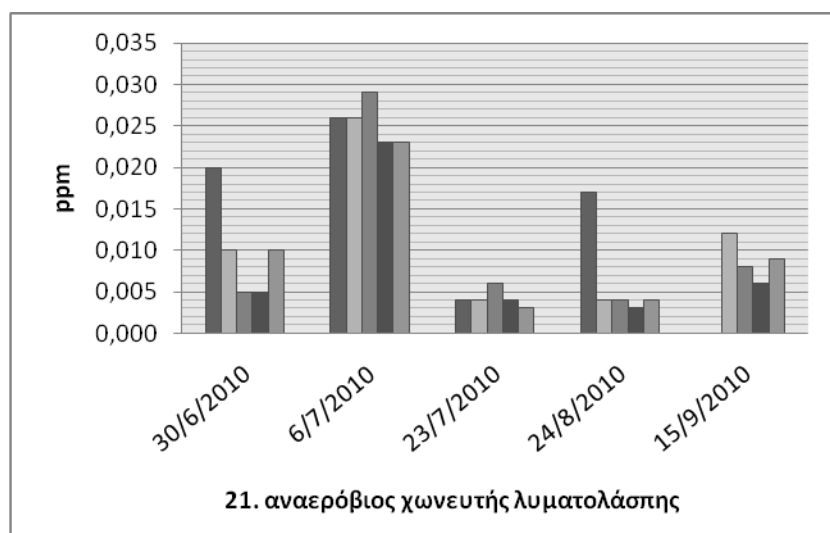
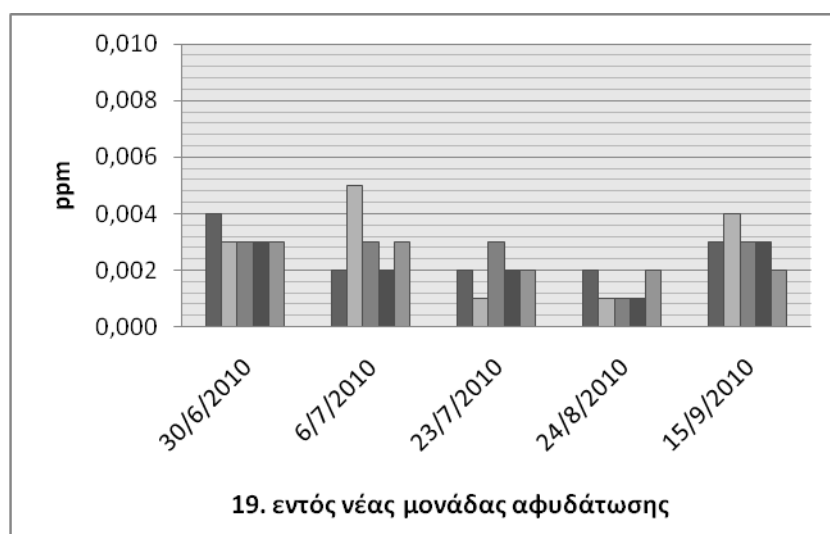
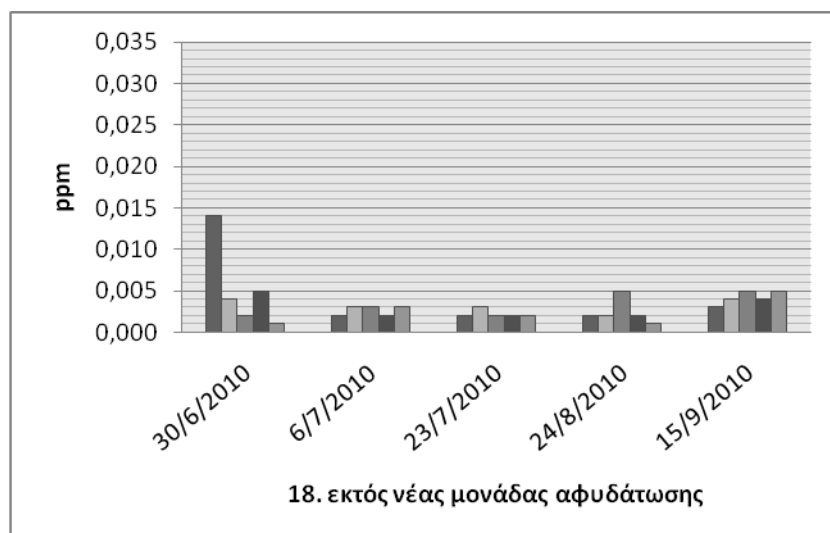


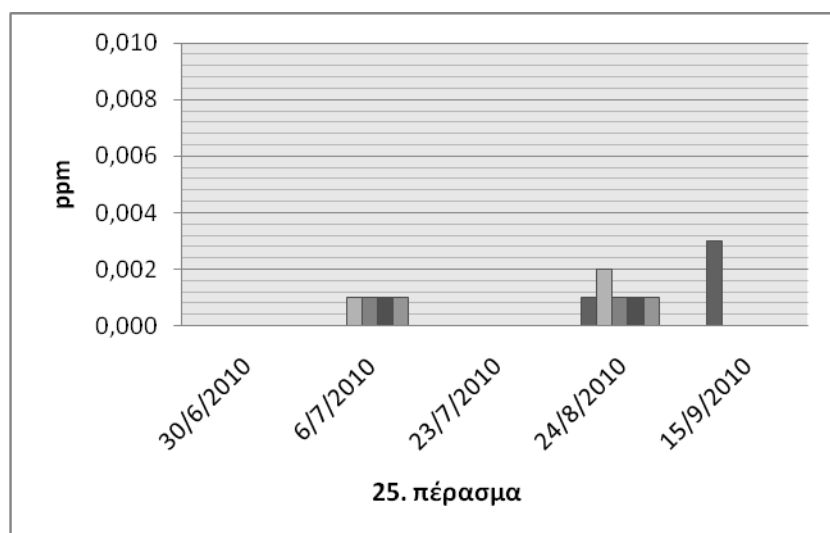
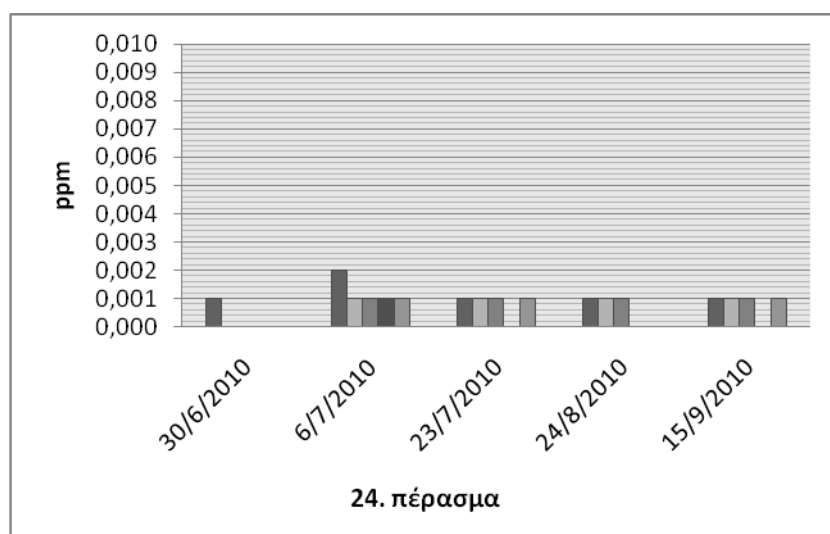
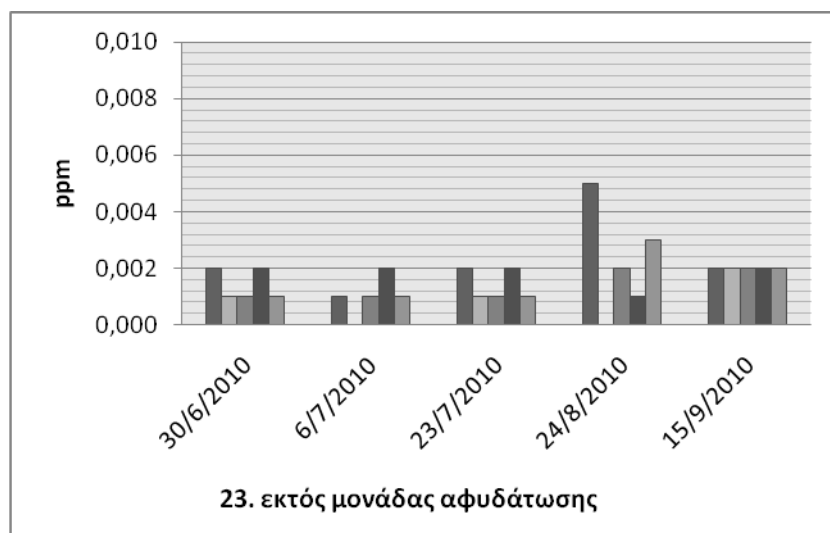
11. συλλογή εσχαρισμάτων

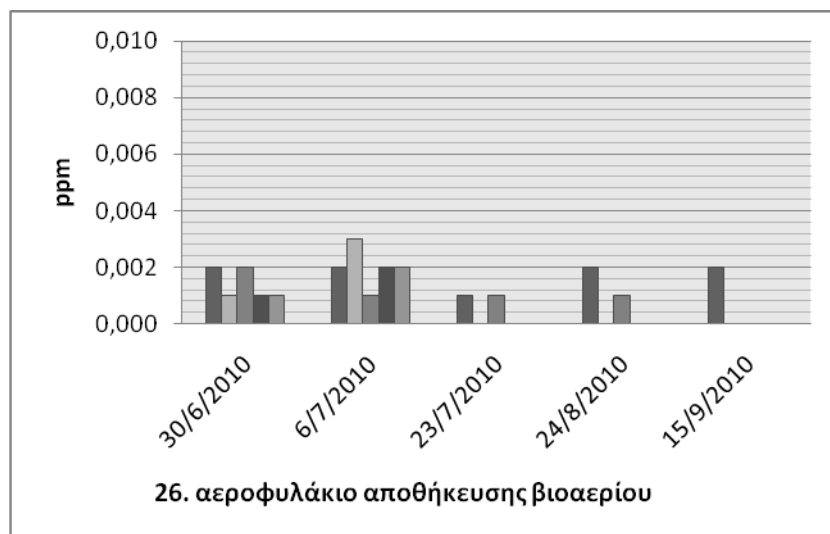


13. δεξαμενή επιλογής









Σημεία διανομής ερωτηματολογίου