



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΚΡΗΤΗΣ**

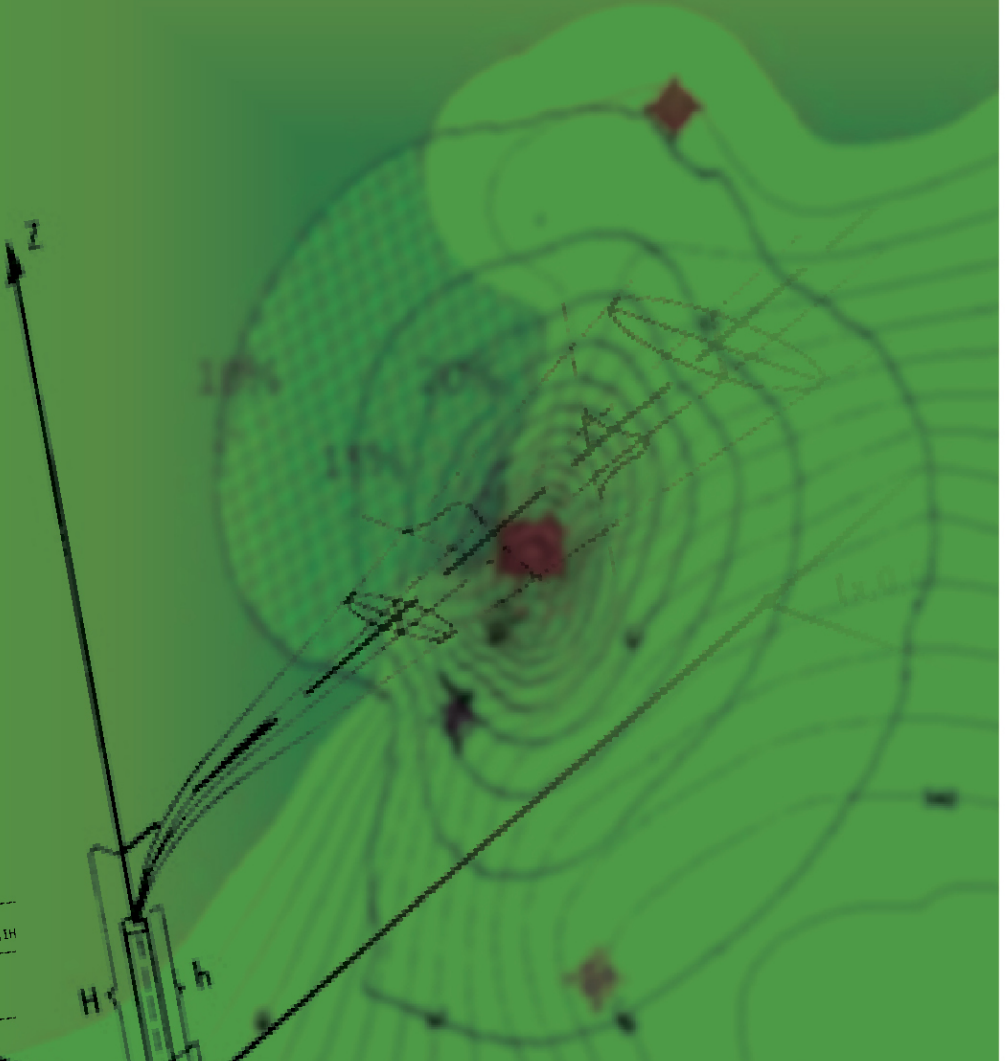
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Δ Ι Δ Α Κ Τ Ο Ρ Ι Κ Η Δ Ι Α Τ Ρ Ι Β Η ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΟΣΜΩΝ ΑΠΟ ΚΕΝΤΡΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ ΣΕ ΓΕΙΤΟΝΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ

```

DO (PERIOD .OR. ANNUAL) THEN
  IF (.NOT. SCIM .OR. (SCIM.AND. SCIMHR)) THEN
    IANHRS = IANHRS + 1
    IANMSG = IANMSG + 1
  ENDIF
  IF (SCIM .AND. WETHR) THEN
    IANNET = IANNET + 1
    IWETHSG = IWETHSG + 1
  ENDIF
  IF (SEASONHR) THEN
    NSEAHNR(ISEAS, IHOUR) = NSEAHNR(ISEAS, IHOUR) + 1
    NSEACH(ISEAS, IHOUR) = NSEACH(ISEAS, IHOUR) + 1
  ENDIF
  IF (Z1 .LE. 0) THEN
    Write Out The Informational Message & Increment Counters
    WRITE(DUMMY, '(I8.8)') KURDAT
    CALL ERRHDL(PATH, MODNAM, 'I', 470, DUMMY)
    IAVE = 1, NUMAVE
    NUMHRS(IAVE) = NUMHRS(IAVE) + 1
  END DO
  IF (PERIOD .OR. ANNUAL) THEN
    IF (.NOT. SCIM .OR. (SCIM.AND. SCIMHR)) THEN
      IANHRS = IANHRS + 1
    ENDIF
    IF (SCIM .AND. WETHR) THEN
      IANNET = IANNET + 1
    ENDIF
  ENDIF
  IF (SEASONHR) THEN
    NSEAHNR(ISEAS, IHOUR) = NSEAHNR(ISEAS, IHOUR) + 1
  ENDIF
ELSE
  Set CALDS Flag, Increment Counters & Calculate HRVAL
  CALDS = .TRUE.
  DO IAVE = 1, NUMAVE
    NUMHRS(IAVE) = NUMHRS(IAVE) + 1
  END DO
  IF (PERIOD .OR. ANNUAL) THEN
    IF (.NOT. SCIM .OR. (SCIM.AND. SCIMHR)) THEN
      IANHRS = IANHRS + 1
    ENDIF
    IF (SCIM .AND. WETHR) THEN
      IANNET = IANNET + 1
    ENDIF
  ENDIF
  IF (SEASONHR) THEN
    NSEAHNR(ISEAS, IHOUR) = NSEAHNR(ISEAS, IHOUR) + 1
  ENDIF
  Time/Date Marker for DEBUG Output
  IF (DEBUG) THEN
    WRITE(OUTPUT, *) '-----'
    WRITE(OUTPUT, *) '----- JDAY, IHOUR = ', JDAY, IH
    WRITE(OUTPUT, *) '-----'
    WRITE(OUTPUT, *) '-----'
  ENDIF
  Calculate CONC or DEPOS Values

```



Λάτος Εμμανουήλ
Χανιά, Ιούνιος 2010

Ευχαριστίες

Νιώθω ευτυχής και ευγνώμων για το γεγονός ότι βρέθηκα στο Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης που με έκανε δεκτό στο Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών, και που με τη βοήθειά που μου παρείχε σε υλικοτεχνική υποδομή και οικονομική υποστήριξη επιτεύχθηκε η ολοκλήρωση της διδακτορικής μου διατριβής, καθώς επίσης, και για την οικονομική υποστήριξη που μου δόθηκε από την Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας μέσω του προγράμματος ΠΕΝΕΔ 03ΕΔ663.

Δίπλα μου, ο επιβλέπων Αναπληρωτής καθηγητής κ. Λαζαρίδης Μιχάλης, υπεύθυνος του Εργαστηρίου Ατμοσφαιρικών Αιωρούμενων Σωματιδίων, ο οποίος με στήριξε σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διατριβής μου. Τον ευχαριστώ για την ανάθεση της εργασίας, αλλά και για την αμέριστη βοήθεια που μου παρείχε κατά τη διάρκεια της ερευνητικής μου δραστηριότητας. Θερμές ευχαριστίες, οφείλω στα μέλη της επιτροπής, και ιδιαιτέρως τους καθηγητές κ Καλογεράκη Νικόλαο και Καρατζά Γεώργιο για τις χρήσιμες συμβουλές τους σε επιστημονικό επίπεδο. Θερμά ευχαριστώ την αναπληρώτρια καθηγήτρια κα Κατσίβελα Ελευθερία για την πολύτιμη καθοδήγησή της στην διεκπεραίωση των μετρήσεων βιοαεροζόλ και για την υλικοτεχνική υποδομή που μου παρείχε στο Εργαστήριο Περιβαλλοντικής Χημείας και Βιοχημικών Διεργασιών του Τμήματος Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος του ΤΕΙ Κρήτης, παράρτημα Χανίων, του οποίου είναι υπεύθυνη. Ένα μεγάλο ευχαριστώ στην κα Λουίζα Ραΐση, Μηχανικό Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος Τ.Ε., για την βοήθεια της στις δειγματοληψίες, την παρασκευή των θρεπτικών υποστρωμάτων και την καταμέτρηση των αποικιών των μικροοργανισμών.

Θέλω να ευχαριστήσω τα μέλη του Εργαστηρίου Ατμοσφαιρικών Αιωρούμενων Σωματιδίων του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης για το άριστο κλίμα συνεργασίας, τον κ. Καραγεώργο Πέτρο, Χημικό Μηχανικό, για την συνεργασία που είχαμε και τον μετεωρολόγο κ. Λέκκα Εμμανουήλ για την βοήθεια του στην προμήθεια και εγκατάσταση των μετεωρολογικών σταθμών. Επίσης, ευχαριστώ την κα Κοτσιφάκη Χριστίνα, χημικό μηχανικό, υπεύθυνη εργαστηρίου ΔΕΥΑΧ (Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης Αποχέτευσης Χανίων) για την συνεργασία της.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στους φίλους Βασίλη Πιτσώνη και Γιώργο Ζηδιανάκη που βοήθησαν ο καθένας με τον τρόπο του στην διάρκεια της έρευνας μου, αλλά και στους φίλους που ήταν κοντά μου όλο αυτόν τον καιρό (*Νίκο, Θανάση, Αήδα, Νίκο, Ιφιγένεια, Δήμο, Μαρία...*)

Ευχαριστώ τους γονείς μου και τον αδερφό μου τόσο για την ενθάρρυνση στο να ξεκινήσω την εκπόνηση της διδακτορικής διατριβής, όσο και για την στήριξη τους κατά την διάρκειά της.

Τέλος, ευχαριστώ τον γιο μου Αντώνη για την υπομονή και «κατανόηση» που έδειξε στα πρώτα 2 χρόνια της ζωής του παρακολουθώντας με μπροστά στον υπολογιστή καθώς και τη σύντροφό μου Κική για την κατανόηση και την στήριξη που μου παρείχε όποτε την χρειαζόμουν. Χωρίς αυτή τη στήριξη δεν θα είχε ολοκληρωθεί η διατριβή αυτή και δεν θα μπορούσε να μην είναι αφιερωμένη σε αυτήν.

Εξεταστική Επιτροπή

Η επταμελής επιτροπή αποτελείται από τους:

1. **Λαζαρίδης Μ.**, Αν. Καθηγητής, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης (Επιβλέπων καθηγητής)
2. **Καλογεράκης Ν.**, Καθηγητής, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης (Μέλος της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής)
3. **Καρατζάς Γ.**, Καθηγητής, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης (Μέλος της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής)
4. **Λαζαρίδου Κ.**, Αν. Καθηγήτρια, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο
5. **Κατσιβελα Ε.**, Αν. Καθηγήτρια, Τμήμα Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, ΤΕΙ Κρήτης
6. **Βενιέρη Δ.**, Λέκτορας, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης
7. **Καραφύλλης Ι.**, Επ. Καθηγητής, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης

Περίληψη

Η παρούσα διατριβή αποτελεί μια πρώτη προσπάθεια ανάπτυξης μιας ολοκληρωμένης πλατφόρμας εκτίμησης της όχλησης που μπορεί να προκληθεί από την εκπομπή οσμηρών χημικών ενώσεων στην ατμόσφαιρα. Η μελέτη των επιπτώσεων που προκαλούνται από την ύπαρξη οσμηρών χημικών ενώσεων στην ατμόσφαιρα απαιτεί μια ιδιαίτερη προσέγγιση σε σχέση με την μελέτη των «κλασσικών» ρύπων.

Αρχικά απαιτείται προσεκτική επιλογή του μοντέλου που θα χρησιμοποιηθεί για την μοντελοποίηση της διασποράς των οσμών στην ατμόσφαιρα. Για το λόγο αυτό μελετήθηκαν αναλυτικά τα κυριότερα μοντέλα που χρησιμοποιούνται σήμερα και, λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιαιτερότητες που παρουσιάζει η μελέτη της διασποράς των οσμών, επιλέχθηκε ως καταλληλότερο το μοντέλο AERMOD που κατασκευάστηκε από την USEPA.

Επιπλέον κρίθηκε απαραίτητη η τροποποίηση του μοντέλου διασποράς που εφαρμόζεται σε μια τέτοιου είδους μελέτη. Αρχικά εισήχθηκε ο λόγος μέγιστης προς τη μέση τιμή, ο οποίος μετατρέπει τις μέσες ωριαίες τιμές ή τις μέσες τιμές 30 min σε μέγιστες τιμές που μπορεί να παρατηρηθούν σε πολύ μικρότερο χρονικό διάστημα (της τάξης των λίγων δευτερολέπτων). Επίσης τα αποτελέσματα που προκύπτουν μπορεί να είναι μικρότερα από το όριο ανίχνευσης της οσμής που μελετάται, αλλά παρόλα αυτά να προκαλείται όχληση. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι ότι το όριο ανίχνευσης αντιστοιχεί στην συγκέντρωση για την οποία το 50% των ανθρώπων που εκτίθενται σε αυτήν ανιχνεύουν την οσμή. Ακόμα και σε μικρότερες συγκεντρώσεις όμως, η οσμή μπορεί να ανιχνευτεί από μικρότερο ποσοστό ανθρώπων. Για το λόγο

αυτό τα αποτελέσματα του μοντέλου εκφράστηκαν σε όρους πιθανότητας ανίχνευσης και βαθμού όχλησης που προκαλείται από την κάθε οσμή.

Το τροποποιημένο μοντέλο διασποράς εφαρμόστηκε σε ένα κέντρο επεξεργασίας λυμάτων και σε μια χοιροτροφική μονάδα. Για την εισαγωγή αντιπροσωπευτικών μετεωρολογικών δεδομένων στο μοντέλο χρησιμοποιήθηκαν παρατηρήσεις από μετεωρολογικούς σταθμούς οι οποίοι τοποθετήθηκαν εντός των εγκαταστάσεων. Οι εκπομπές υπολογίστηκαν βάσει μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στις υπό μελέτη εγκαταστάσεις. Επίσης έγινε μια διερεύνηση για τυχόν εκπομπές αερομεταφερόμενων μικροοργανισμών από το κέντρο επεξεργασίας λυμάτων πραγματοποιώντας μετρήσεις τόσο σε εσωτερικούς χώρους της μονάδας όσο και σε εξωτερικούς.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν για την πιθανότητα ανίχνευσης και τον βαθμό όχλησης λόγω της εκπομπής υδρόθειου και αμμωνίας υποδεικνύουν ότι υπάρχει ισχυρή πιθανότητα όχλησης λόγω των οσμών, ειδικά σε ακραίες καιρικές συνθήκες ή όταν παρατηρούνται αυξημένες εκπομπές. Συγκεκριμένα από την εφαρμογή του μοντέλου για το κέντρο επεξεργασίας λυμάτων προέκυψε ότι η πιθανότητα ανίχνευσης του υδρόθειου στον γειτονικό οικισμό του Κουμπελί είναι μεγαλύτερη από 70% υπό δυσμενείς συνθήκες ενώ κατά την εφαρμογή των ευνοϊκότερων σεναρίων η πιθανότητα αυτή μειώνεται κάτω από 50%. Ο αντίστοιχος βαθμός όχλησης σε κάθε περίπτωση ήταν μικρότερος από 4 AU. Στην χοιροτροφική μονάδα διαπιστώθηκε ότι με την ανύψωση των καμινάδων κατά 2 m ή με την μείωση των εκπομπών κατά 50% η πιθανότητα ανίχνευσης και ο βαθμός όχλησης μειώνονται σημαντικά και για το υδρόθειο και για την αμμωνία. Η πιθανότητα ανίχνευσης του υδρόθειου μειώνεται κατά 30-35% ενώ της αμμωνίας μειώνεται κατά 35-42% κοντά στις πηγές.

Abstract

The present study focuses on the development of an integrated approach to the study of the impacts caused from the presence of odorous compounds in the atmosphere. This study requires a special approach in relation to the study of "classical" pollutants.

Initially, there must be a careful choice of model used for modelling the dispersion of odors in the air. For this reason we studied in detail the main models currently used, and taking into account the peculiarities in the analysis of the dispersion of odors, chosen as best model AERMOD built by USEPA.

It was also necessary to modify the dispersion model applicable to such a study. Peak-to-mean ratios were used in order to convert the average hourly or average 30 min concentration calculated from the model to maximum values that may be observed during shorter time periods. Also the results may be below the odor threshold of the smell being studied but still causing a nuisance. The reason for this is that the odor threshold value corresponds to the concentration at which 50% of people exposed to it, are able to detect this odor. Even at lower concentrations, the smell can be detected by a smaller percentage of people. For this reason, the model results were expressed in terms of probability of detection and degree of annoyance caused by each odor.

The modified dispersion model was applied to a wastewater treatment plant and a pig farm. In order to use representative meteorological data, we used observations from weather stations within the facilities. Emissions were calculated based on measurements that took place in the study facilities. There was also an investigation of possible emissions of airborne microorganisms from the wastewater treatment plant by performing measurements at indoor and outdoor sites of the facility

The results for the probability of detection and the degree of annoyance due to the emission of hydrogen sulphide and ammonia indicate that there is a strong likelihood of nuisance, especially during extreme weather conditions or in the case of increased emissions. Also various scenarios with different input data were applied in order to study the influence of different weather and different emissions of these compounds in the nuisance caused to nearby locations.

Συντομογραφίες

ΔΕΥΑΧ	: Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης Αποχέτευσης Χανίων
ΔΠΚ	: Δεξαμενή Πρωτοβάθμιας Καθίζησης
ΔΕΛ	: Δεξαμενές Εξάμωσης και Λιποσυλλογής
ΚΕΛ	: Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων
PD	: Probability of Detection (Πιθανότητα ανίχνευσης)
DA	: Degree of Annoyance (Βαθμός όχλησης)
AU	: Annoyance Units (Μονάδες όχλησης)
CFU	: Colony Forming Unit (Μονάδες σχηματισμού αποικιών)
TSA	: Tryptone Soy Agar
MEA	: Malt Extract Agar
MLSA	: Membrane Lauryl Sulphate Agar
OU	: Odour Unit
PM ₁₀	: Αιωρούμενα σωματίδια αεροδυναμικής διαμέτρου μικρότερης των 10 µm
PM _{2.5}	: Αιωρούμενα σωματίδια αεροδυναμικής διαμέτρου μικρότερης των 2,5 µm
PM ₁	: Αιωρούμενα σωματίδια αεροδυναμικής διαμέτρου μικρότερης του 1 µm

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<i>Πίνακας Περιεχομένων</i>	<i>1</i>
<i>Ευρετήριο Πινάκων.....</i>	<i>6</i>
<i>Ευρετήριο Σχημάτων.....</i>	<i>9</i>
<i>Εισαγωγή – Αντικείμενο και Στόχοι της Διδακτορικής Διατριβής.....</i>	<i>19</i>
<i>Συνοπτική παρουσίαση της ερευνητικής συνεισφοράς του κου Λάττου Εμμανουήλ</i>	<i>25</i>
<i>Δημοσιεύσεις σε επιστημονικά περιοδικά – συμμετοχές σε συνέδρια</i>	<i>29</i>
<i>Παράλληλη ερευνητική δραστηριότητα</i>	<i>30</i>
<i>Κεφάλαιο 1: Θεωρητικό Υπόβαθρο</i>	<i>33</i>
1.1 Εισαγωγή.....	33
1.2 Βασικά χαρακτηριστικά των οσμών.....	35
1.2.1 Όριο ανίχνευσης και όριο αναγνώρισης οσμής	35
1.2.2 Δείκτες οσμής (Odour index).....	38
1.2.3 Παράγοντες που καθορίζουν τις επιπτώσεις των οσμών	40
1.2.3.1 Διάρκεια της έκθεσης στο ερέθισμα	41
1.2.3.2 Συχνότητα εμφάνισης του ερεθίσματος	42
1.2.3.3 «Ποιότητα» της οσμής	42
1.2.3.4 Ένταση του ερεθίσματος.....	44
1.2.3.5 Ανοχή του αποδέκτη	48
1.3 Πηγές οσμών στην ατμόσφαιρα	49
1.4 Μέτρηση οσμών.....	51
1.4.1 Μέτρηση συγκεντρώσεων ενώσεων με όργανα	51

1.4.2	Οσφρησημετρία	52
1.5	Υδρόθειο.....	53
1.6	Αμμωνία	56
Κεφάλαιο 2: Μοντέλα Διασποράς Ρύπων.....		59
2.1	Εισαγωγή.....	59
2.2	Μοντέλα διασποράς.....	60
2.3	Μοντέλο διασποράς AERMOD.....	65
2.3.1	Εισαγωγή	65
2.3.2	Προεπεξεργαστής Μετεωρολογικών δεδομένων AERMET	66
2.3.2.1	Ενεργειακό ισοζύγιο στο οριακό στρώμα	67
2.3.2.2	Καθαρή ακτινοβολία	68
2.3.2.3	Μετάβαση μεταξύ CBL και SBL	70
2.3.2.4	Υπολογισμός ταχύτητας τριβής (u^*) και μήκους Monin-Obukhov (L) στο CBL	71
2.3.2.5	Ταχύτητα τριβής στο SBL.....	73
2.3.2.6	Αισθητή ροή θερμότητας (H) στο SBL.....	73
2.3.2.7	Μήκος Monin-Obukhov (L) στο SBL.....	74
2.3.2.8	Ύψος ανάμιξης.....	74
2.3.2.9	Κατακόρυφη κατανομή ταχύτητας ανέμου.....	76
2.3.2.10	Κατακόρυφη κατανομή διεύθυνσης ανέμου	78
2.3.2.11	Θερμοβαθμίδα	79
2.3.3	Περιγραφή του μοντέλου AERMOD	80
2.4	Απαραίτητες τροποποιήσεις του μοντέλου AERMOD	84
2.4.1	Λόγος μέγιστης προς τη μέση τιμή (peak to mean ratio).....	84

2.4.2	Πιθανότητα ανίχνευσης οσμής	88
2.4.3	Βαθμός όχλησης	93
Κεφάλαιο 3: Ποσοτικός Προσδιορισμός Εκπομπών Οσμών		97
3.1	Εισαγωγή.....	97
3.2	Περιγραφή των οργάνων μέτρησης	98
3.2.1	Μέτρηση συγκεντρώσεων υδρόθειου	99
3.2.2	Μέτρηση συγκεντρώσεων αμμωνίας	101
3.2.3	Μέτρηση αριθμού αιωρούμενων σωματιδίων	101
3.2.4	Μέτρηση συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων	103
3.2.5	Μέτρηση βιοαεροζόλ.....	104
3.3	Εκτίμηση εκπομπών από Κέντρο Επεξεργασίας Αστικών Λυμάτων... ..	109
3.3.1	Εισαγωγή	109
3.3.2	Περιγραφή της περιοχής δειγματοληψίας.....	110
3.3.3	Μετρήσεις συγκεντρώσεων υδρόθειου	114
3.3.4	Εκτίμηση εκπομπών υδρόθειου από το ΚΕΛ Χανίων.....	124
3.4	Εκτίμηση εκπομπών H ₂ S και NH ₃ από χοιροτροφική μονάδα	127
3.4.1	Εισαγωγή	127
3.4.2	Περιγραφή της περιοχής δειγματοληψίας.....	128
3.4.3	Εκτίμηση εκπομπών υδρόθειου και αμμωνίας από την Creta Farm	129
3.4.3.1	Εκτίμηση εκπομπών υδρόθειου	129
3.4.3.2	Εκτίμηση εκπομπών αμμωνίας	131
Κεφάλαιο 4: Μετρήσεις εκπεμπόμενων Βιοαεροζόλ από Κέντρο Επεξεργασίας Αστικών Λυμάτων.....		135
4.1	Εισαγωγή.....	135

4.2	Υλικά και μέθοδοι	136
4.2.1	Μέτρηση συγκεντρώσεων μεσόφιλων ετερότροφων βακτηρίων.....	138
4.2.2	Μέτρηση συγκεντρώσεων μυκήτων	140
4.2.3	Μέτρηση συγκεντρώσεων ολικών κολοβακτηρίων.....	142
4.2.4	Περίοδος και θέσεις δειγματοληψίας.....	144
4.3	Αποτελέσματα μετρήσεων	146
4.3.1	1η σειρά μετρήσεων (12/03/2008).....	146
4.3.2	2η σειρά μετρήσεων (20/03/2008).....	151
4.3.3	3η σειρά μετρήσεων (27/03/2008).....	156
4.3.4	4η σειρά μετρήσεων (08/04/2008).....	161
4.3.5	5η σειρά μετρήσεων (15/04/2008).....	166
4.3.6	6η σειρά μετρήσεων (06/05/2008).....	171
4.3.7	7η σειρά μετρήσεων (15/05/2008).....	177
4.3.8	8η σειρά μετρήσεων (22/05/2008).....	182
4.3.9	9η σειρά μετρήσεων (28/05/2008).....	187
4.3.10	10η σειρά μετρήσεων (04/06/2008).....	192
4.3.11	11η σειρά μετρήσεων (19/06/2008).....	197
4.4	Συγκεντρωτικά αποτελέσματα – συσχέτιση παραμέτρων.....	202
4.4.1	Κατανομή μεγεθών βιοαεροζόλ.....	202
4.4.2	Συνολικές συγκεντρώσεις βιοαεροζόλ ανά σειρά μετρήσεων.....	206
4.4.3	Συγκεντρώσεις υδρόθειου.....	208
4.4.4	Κατανομή μεγέθους αιωρούμενων σωματιδίων	209
4.4.5	Αριθμός αιωρούμενων σωματιδίων	211
4.4.6	Σύγκριση αποτελεσμάτων του δειγματολήπτη MAS-100 και του δειγματολήπτη Andersen	212

4.4.7	Συσχέτιση παραμέτρων	214
Κεφάλαιο 5: Εφαρμογή του Τροποποιημένου μοντέλου διασποράς Οσμών		
5.1	Εισαγωγή.....	221
5.2	Εφαρμογή του τροποποιημένου μοντέλου για την διασπορά οσμών από το ΚΕΛ Χανίων	222
5.2.1	Μετεωρολογικά δεδομένα εισόδου	222
5.2.2	Αποτελέσματα - Σενάρια	233
5.3	Εφαρμογή του τροποποιημένου μοντέλου για την διασπορά οσμών από Χοιροτροφική μονάδα.....	245
5.3.1	Μετεωρολογικά δεδομένα εισόδου	245
5.3.2	Αποτελέσματα - Σενάρια	247
5.4	Έλεγχος ευαισθησίας στην χρονική κλίμακα που χρησιμοποιείται.....	257
Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα – Προτάσεις για περαιτέρω Έρευνα.....		
6.1	Συμπεράσματα	261
6.2	Προτάσεις για επέκταση της επιστημονικής έρευνας.....	265
BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....		267

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

<i>Πίνακας 1: Όρια ανίχνευσης οσμηρών ενώσεων.</i>	36
<i>Πίνακας 2: Δείκτες οσμής των συνηθέστερων οσμηρών ενώσεων.</i>	39
<i>Πίνακας 3: Δείκτες «ποιότητας» για διάφορες οσμές.</i>	44
<i>Πίνακας 4: Αριθμητική κλίμακα περιγραφής της έντασης οσμής.</i>	45
<i>Πίνακας 5: Προτεινόμενα όρια επιπέδων οσμών σε κατοικημένες περιοχές.</i>	49
<i>Πίνακας 6: Κύριες ανθρωπογενείς πηγές οσμών και οι εκπεμπόμενες ενώσεις.</i>	50
<i>Πίνακας 7: Επιπτώσεις της αμμωνίας στην υγεία.</i>	58
<i>Πίνακας 8: Μοντέλα διασποράς ρύπων στην ατμόσφαιρα.</i>	62
<i>Πίνακας 9: Χρόνος απόκρισης και σφάλμα του οργάνου για απλή δειγματοληψία.</i>	100
<i>Πίνακας 10: Χρόνος απόκρισης του οργάνου για συνεχή παρακολούθηση.</i>	100
<i>Πίνακας 11: Εύρος αεροδυναμικών διαμέτρων σωματιδίων που συλλέγονται σε κάθε στάδιο του οργάνου.</i>	106
<i>Πίνακας 12: Απόσταση των πλησιέστερων οικισμών από το ΚΕΛ Χανίων.</i>	112
<i>Πίνακας 13: Μέση μηνιαία παροχή λυμάτων στο Κέντρο επεξεργασίας λυμάτων του δήμου Χανίων για το έτος 2008.</i>	113
<i>Πίνακας 14: Εκπομπές υδρόθειου από τις κύριες πηγές.</i>	126
<i>Πίνακας 15: Βέλτιστοι όγκοι δειγματοληψίας ανά οργανισμό.</i>	138
<i>Πίνακας 16: Σύσταση του θρεπτικού υποστρώματος TSA.</i>	139
<i>Πίνακας 17: Σύσταση του θρεπτικού υποστρώματος MEA.</i>	141
<i>Πίνακας 18: Σύσταση του θρεπτικού υποστρώματος MLSA.</i>	143
<i>Πίνακας 19: Αποτελέσματα μετρήσεων ρύπων και μετεωρολογικών παραμέτρων για την 1^η σειρά μετρήσεων.</i>	150
<i>Πίνακας 20: Αποτελέσματα μετρήσεων ρύπων και μετεωρολογικών παραμέτρων για την 2^η σειρά μετρήσεων.</i>	155

Πίνακας 21: Αποτελέσματα μετρήσεων ρύπων και μετεωρολογικών παραμέτρων για την 3 ^η σειρά μετρήσεων.	160
Πίνακας 22: Αποτελέσματα μετρήσεων ρύπων και μετεωρολογικών παραμέτρων για την 4 ^η σειρά μετρήσεων.	165
Πίνακας 23: Αποτελέσματα μετρήσεων ρύπων και μετεωρολογικών παραμέτρων για την 5 ^η σειρά μετρήσεων.	170
Πίνακας 24: Αποτελέσματα μετρήσεων ρύπων και μετεωρολογικών παραμέτρων για την 6 ^η σειρά μετρήσεων.	176
Πίνακας 25: Αποτελέσματα μετρήσεων ρύπων και μετεωρολογικών παραμέτρων για την 7 ^η σειρά μετρήσεων.	181
Πίνακας 26: Αποτελέσματα μετρήσεων ρύπων και μετεωρολογικών παραμέτρων για την 8 ^η σειρά μετρήσεων.	186
Πίνακας 27: Αποτελέσματα μετρήσεων ρύπων και μετεωρολογικών παραμέτρων για την 9 ^η σειρά μετρήσεων.	191
Πίνακας 28: Αποτελέσματα μετρήσεων ρύπων και μετεωρολογικών παραμέτρων για την 10 ^η σειρά μετρήσεων.	196
Πίνακας 29: Αποτελέσματα μετρήσεων ρύπων και μετεωρολογικών παραμέτρων για την 11 ^η σειρά μετρήσεων.	201
Πίνακας 30: Τοποθεσίες των 3 μετεωρολογικών σταθμών.	224
Πίνακας 31: Ανεμολογικά δεδομένα μετεωρολογικού σταθμού 3 (Π.Κ.).	226
Πίνακας 32: Ανεμολογικά δεδομένα μετεωρολογικού σταθμού 1 (ΚΕΛ).	228
Πίνακας 33: Αποτελέσματα τροποποιημένου μοντέλου διασποράς (σενάρια 1,2,3).	235
Πίνακας 34: Αποτελέσματα τροποποιημένου μοντέλου διασποράς (σενάρια 1,4,5).	236
Πίνακας 35: Πιθανότητα ανίχνευσης (PD) και βαθμός όχλησης (DA) λόγω του υδρόθειου.	249

Πίνακας 36: Πιθανότητα αντίχνευσης (PD) και βαθμός όχλησης (DA) λόγω της αμμωνίας. _____250

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

<i>Σχήμα 1: Ένταση οσμής για το υδρόθειο και την βουτανόλη.</i>	48
<i>Σχήμα 2: Το μόριο του υδρόθειου.</i>	53
<i>Σχήμα 3: Το μόριο της αμμωνίας.</i>	57
<i>Σχήμα 4: Κατανομή ταχυτήτων ανέμου για ύψη μικρότερα (αριστερό διάγραμμα) ή μεγαλύτερα (δεξί διάγραμμα) από το 7z₀.</i>	78
<i>Σχήμα 5: Δυναμική θερμοβαθμίδα σε συνθήκες ευστάθειας για διαφορετικά υψόμετρα.</i>	80
<i>Σχήμα 6: Η κατανομή των συγκεντρώσεων σε ένα θύσανο Gauss.</i>	82
<i>Σχήμα 7: Ενδεικτική μεταβολή της συγκέντρωσης οσμής με το χρόνο.</i>	85
<i>Σχήμα 8: Ενδεικτική μεταβολή της συγκέντρωσης οσμής με το χρόνο.</i>	89
<i>Σχήμα 9: Πιθανότητα ανίχνευσης του υδρόθειου σε σχέση με την συγκέντρωση.</i>	91
<i>Σχήμα 10: Πιθανότητα ανίχνευσης της αμμωνίας σε σχέση με την συγκέντρωση.</i>	92
<i>Σχήμα 11: Βαθμός όχλησης λόγω του υδρόθειου σε σχέση με την συγκέντρωση.</i>	95
<i>Σχήμα 12: Βαθμός όχλησης λόγω της αμμωνίας σε σχέση με την συγκέντρωση.</i>	95
<i>Σχήμα 13: Όργανα μέτρησης συγκέντρωσης ρύπων.</i>	98
<i>Σχήμα 14: Αναλυτής Jerome 631-X.</i>	99
<i>Σχήμα 15: GrayWolf's DirectSense TOX Multi-Gas Meter.</i>	101
<i>Σχήμα 16: P-TRAK Ultrafine Particle Counter.</i>	102
<i>Σχήμα 17: DUSTTRAK, Model 8520, TSI.</i>	103
<i>Σχήμα 18: Δειγματολήπτης βιοαεροζόλ Andersen 6 σταδίων.</i>	104
<i>Σχήμα 19: Πορεία των σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα ανάλογα με την αεροδυναμική τους διάμετρο.</i>	107
<i>Σχήμα 20: Συχνότητα απόθεσης των αιωρούμενων σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα σε σχέση με την αεροδυναμική τους διάμετρο.</i>	108

Σχήμα 21: Δειγματολήπτης βιοαεροζόλ MAS 100. _____	109
Σχήμα 22: Θέση της εγκατάστασης σε σχέση με τους γειτονικούς οικισμούς. _____	111
Σχήμα 23: Σημεία δειγματοληψίας σε όλη την έκταση της εγκατάστασης. _____	115
Σχήμα 24: Μετρήσεις σε όλη την έκταση της εγκατάστασης. _____	116
Σχήμα 25: Πολλαπλές μετρήσεις σε σημεία όπου εντοπίστηκαν υψηλές συγκεντρώσεις. _____	117
Σχήμα 26: Μετρήσεις ανά 5 λεπτά στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης (δεξαμενή 1). _____	118
Σχήμα 27: Μετρήσεις ανά 5 λεπτά στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης (δεξαμενή 2). _____	118
Σχήμα 28: Μετρήσεις ανά 5 λεπτά στον μεριστή. _____	119
Σχήμα 29: Μετρήσεις ανά 5 λεπτά στον προμεριστή. _____	119
Σχήμα 30: Συνεχής παρακολούθηση των συγκεντρώσεων H_2S στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης (δεξαμενή 1). _____	121
Σχήμα 31: Συνεχής παρακολούθηση των συγκεντρώσεων H_2S στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης (δεξαμενή 2). _____	121
Σχήμα 32: Συνεχής παρακολούθηση των συγκεντρώσεων H_2S στην δεξαμενή επιλογής βακτηρίων (σημείο δειγματοληψίας 33). _____	122
Σχήμα 33: Συνεχής παρακολούθηση των συγκεντρώσεων H_2S στον προμεριστή (σημείο δειγματοληψίας 36). _____	122
Σχήμα 34: Συνεχής παρακολούθηση των συγκεντρώσεων H_2S στον μεριστή (σημείο δειγματοληψίας 37). _____	123
Σχήμα 35: Τοποθεσία της Creta Farm στο Ρέθυμνο. _____	128
Σχήμα 36: Εκπομπές υδρόθειου από τους θαλάμους πάχυνσης (μέσες και μέγιστες τιμές). _____	130

Σχήμα 37: Εκπομπές υδρόθειου από τους θαλάμους ανάπτυξης (μέσες και μέγιστες τιμές).	130
Σχήμα 38: Εκπομπές αμμωνίας από τους θαλάμους πάχυνσης (μέσες και μέγιστες τιμές).	132
Σχήμα 39: Εκπομπές αμμωνίας από τους θαλάμους ανάπτυξης (μέσες και μέγιστες τιμές).	132
Σχήμα 40: Εκπομπές αμμωνίας από τα βιόφιλτρα (μέσες και μέγιστες τιμές).	133
Σχήμα 41: Εκπομπές αμμωνίας από τον φυγοκεντρικό διαχωριστήρα.	133
Σχήμα 42: Αποικίες ετερότροφων βακτηρίων σε τριβλίο με Tryptone Soy Agar.	140
Σχήμα 43: Ανάπτυξη μυκήτων σε τριβλίο με Malt Extract Agar.	141
Σχήμα 44: Ανάπτυξη αποικιών κολοβακτηρίων σε τριβλίο με Membrane Lauryl Sulphate Agar.	143
Σχήμα 45: Δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής (εσωτερικός χώρος).	145
Σχήμα 46: Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης (εξωτερικός χώρος).	145
Σχήμα 47: Συγκεντρώσεις ετερότροφων βακτηρίων στις ΔΕΛ και στον μάρτυρα για διαφορετικούς όγκους αέρα (1 ^η σειρά μετρήσεων).	147
Σχήμα 48: Συγκεντρώσεις ετερότροφων βακτηρίων στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης και στον μάρτυρα για διαφορετικούς όγκους αέρα (1 ^η σειρά μετρήσεων)	147
Σχήμα 49: Συγκεντρώσεις κολοβακτηρίων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής (1 ^η σειρά μετρήσεων).	148
Σχήμα 50: Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων (1 ^η σειρά μετρήσεων).	151
Σχήμα 51: Συγκεντρώσεις ετερότροφων βακτηρίων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και στον μάρτυρα (2 ^η σειρά μετρήσεων).	152
Σχήμα 52: Συγκεντρώσεις ετερότροφων βακτηρίων στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης και στον μάρτυρα για διαφορετικούς όγκους αέρα (2 ^η σειρά μετρήσεων).	152

Σχήμα 53: Συγκεντρώσεις μυκήτων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και στον μάρτυρα (2 ^η σειρά μετρήσεων).	153
Σχήμα 54: Συγκεντρώσεις κολοβακτηρίων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και την δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης (2 ^η σειρά μετρήσεων).	153
Σχήμα 55: Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων (2 ^η σειρά μετρήσεων).	156
Σχήμα 56: Συγκεντρώσεις ετερότροφων βακτηρίων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και στον μάρτυρα για διαφορετικούς όγκους αέρα (3 ^η σειρά μετρήσεων).	157
Σχήμα 57: Συγκεντρώσεις ετερότροφων βακτηρίων στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης και στον μάρτυρα για διαφορετικούς όγκους αέρα (3 ^η σειρά μετρήσεων).	157
Σχήμα 58: Συγκεντρώσεις μυκήτων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και στον μάρτυρα (3 ^η σειρά μετρήσεων).	158
Σχήμα 59: Συγκεντρώσεις κολοβακτηρίων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής (3 ^η σειρά μετρήσεων).	158
Σχήμα 60: Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων (3 ^η σειρά μετρήσεων).	161
Σχήμα 61: Συγκεντρώσεις ετερότροφων βακτηρίων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και στον μάρτυρα για διαφορετικούς όγκους αέρα (4 ^η σειρά μετρήσεων).	162
Σχήμα 62: Συγκεντρώσεις ετερότροφων βακτηρίων στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης και στον μάρτυρα για διαφορετικούς όγκους αέρα (4 ^η σειρά μετρήσεων).	162
Σχήμα 63: Συγκεντρώσεις μυκήτων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και στον μάρτυρα (4 ^η σειρά μετρήσεων).	163
Σχήμα 64: Συγκεντρώσεις κολοβακτηρίων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής (4 ^η σειρά μετρήσεων).	163
Σχήμα 65: Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων (3 ^η σειρά μετρήσεων).	166

Σχήμα 66: Συγκεντρώσεις ετερότροφων βακτηρίων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και στον μάρτυρα για διαφορετικούς όγκους αέρα (5 ^η σειρά μετρήσεων).	167
Σχήμα 67: Συγκεντρώσεις μυκήτων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και στον μάρτυρα (5 ^η σειρά μετρήσεων).	168
Σχήμα 68: Συγκεντρώσεις κολοβακτηρίων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής (5 ^η σειρά μετρήσεων).	168
Σχήμα 69: Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων (5 ^η σειρά μετρήσεων).	171
Σχήμα 70: Συγκεντρώσεις ετερότροφων βακτηρίων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και στον μάρτυρα για διαφορετικούς όγκους αέρα (6 ^η σειρά μετρήσεων).	172
Σχήμα 71: Συγκεντρώσεις ετερότροφων βακτηρίων στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης και στον μάρτυρα για διαφορετικούς όγκους αέρα (6 ^η σειρά μετρήσεων).	173
Σχήμα 72: Συγκεντρώσεις μυκήτων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και στον μάρτυρα (6 ^η σειρά μετρήσεων).	173
Σχήμα 73: Συγκεντρώσεις κολοβακτηρίων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής (6 ^η σειρά μετρήσεων).	174
Σχήμα 74: Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων (6 ^η σειρά μετρήσεων).	177
Σχήμα 75: Συγκεντρώσεις ετερότροφων βακτηρίων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και στον μάρτυρα για διαφορετικούς όγκους αέρα (7 ^η σειρά μετρήσεων).	178
Σχήμα 76: Συγκεντρώσεις ετερότροφων βακτηρίων στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης και στον μάρτυρα για διαφορετικούς όγκους αέρα (7 ^η σειρά μετρήσεων).	178
Σχήμα 77: Συγκεντρώσεις μυκήτων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και στον μάρτυρα (7 ^η σειρά μετρήσεων).	179

Σχήμα 78: Συγκεντρώσεις κολοβακτηρίων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και την δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης (7 ^η σειρά μετρήσεων).	___ 179
Σχήμα 79: Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων (7 ^η σειρά μετρήσεων).	_____ 182
Σχήμα 80: Συγκεντρώσεις ετερότροφων βακτηρίων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και στον μάρτυρα για διαφορετικούς όγκους αέρα (8 ^η σειρά μετρήσεων).	_____ 183
Σχήμα 81: Συγκεντρώσεις μυκήτων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και στον μάρτυρα (8 ^η σειρά μετρήσεων).	_____ 184
Σχήμα 82: Συγκεντρώσεις κολοβακτηρίων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής (8 ^η σειρά μετρήσεων).	_____ 184
Σχήμα 83: Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων (8 ^η σειρά μετρήσεων).	_____ 187
Σχήμα 84: Συγκεντρώσεις ετερότροφων βακτηρίων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και στον μάρτυρα για διαφορετικούς όγκους αέρα (9 ^η σειρά μετρήσεων).	_____ 188
Σχήμα 85: Συγκεντρώσεις ετερότροφων βακτηρίων στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης και στον μάρτυρα για διαφορετικούς όγκους αέρα (9 ^η σειρά μετρήσεων).	188
Σχήμα 86: Συγκεντρώσεις μυκήτων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και στον μάρτυρα (9 ^η σειρά μετρήσεων).	_____ 189
Σχήμα 87: Συγκεντρώσεις κολοβακτηρίων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και την δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης (9 ^η σειρά μετρήσεων).	___ 189
Σχήμα 88: Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων (9 ^η σειρά μετρήσεων).	_____ 192
Σχήμα 89: Συγκεντρώσεις ετερότροφων βακτηρίων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και στον μάρτυρα για διαφορετικούς όγκους αέρα (10 ^η σειρά μετρήσεων).	_____ 193

Σχήμα 90: Συγκεντρώσεις μυκήτων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και στον μάρτυρα (10 ^η σειρά μετρήσεων).	194
Σχήμα 91: Συγκεντρώσεις κολοβακτηρίων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής (10 ^η σειρά μετρήσεων).	194
Σχήμα 92: Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων (10 ^η σειρά μετρήσεων).	197
Σχήμα 93: Συγκεντρώσεις ετερότροφων βακτηρίων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και στον μάρτυρα για διαφορετικούς όγκους αέρα (11 ^η σειρά μετρήσεων).	198
Σχήμα 94: Συγκεντρώσεις μυκήτων και ετερότροφων βακτηρίων στον μάρτυρα (11 ^η σειρά μετρήσεων).	199
Σχήμα 95: Συγκεντρώσεις κολοβακτηρίων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής (11 ^η σειρά μετρήσεων).	199
Σχήμα 96: Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων (11 ^η σειρά μετρήσεων).	202
Σχήμα 97: Κατανομή μεγεθών ετερότροφων βακτηρίων στις 3 θέσεις δειγματοληψίας (μέσες τιμές περιόδου μετρήσεων).	203
Σχήμα 98: Κατανομή μεγεθών των μυκήτων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και τον μάρτυρα (μέσες τιμές περιόδου μετρήσεων).	204
Σχήμα 99: Κατανομή μεγεθών των ολικών κολοβακτηρίων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής (μέσες τιμές περιόδου μετρήσεων).	205
Σχήμα 100: Συγκεντρώσεις ετερότροφων βακτηρίων στις 3 θέσεις δειγματοληψίας για κάθε σειρά μετρήσεων.	207
Σχήμα 101: Συγκεντρώσεις μυκήτων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και τον μάρτυρα ανά δειγματοληψία.	207
Σχήμα 102: Συγκεντρώσεις υδρόθειου στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης.	208

Σχήμα 103: Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων στις δεξαμενές εξάμμιωσης και λιποσυλλογής και τον μάρτυρα.	210
Σχήμα 104: Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης και τον μάρτυρα.	210
Σχήμα 105: Αριθμός αιωρούμενων σωματιδίων PM_1 στις δεξαμενές εξάμμιωσης και λιποσυλλογής και τον μάρτυρα.	212
Σχήμα 106: Σύγκριση συγκεντρώσεων ετερότροφων βακτηρίων που προέκυψαν με τον δειγματολήπτη MAS-100 και τον δειγματολήπτη Andersen.	213
Σχήμα 107: Σύγκριση συγκεντρώσεων μυκήτων που προέκυψαν με τον δειγματολήπτη MAS-100 και τον δειγματολήπτη Andersen.	213
Σχήμα 108: Συσχέτιση συγκεντρώσεων ετερότροφων βακτηρίων στο αέριο δείγμα από τις δεξαμενές εξάμμιωσης και λιποσυλλογής με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις κάθε κατηγορίας μεγεθών.	216
Σχήμα 109: Συσχέτιση συγκεντρώσεων μυκήτων στο αέριο δείγμα από τις δεξαμενές εξάμμιωσης και λιποσυλλογής με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις κάθε κατηγορίας μεγεθών.	217
Σχήμα 110: Συσχέτιση συγκεντρώσεων κολοβακτηρίων στο αέριο δείγμα από τις δεξαμενές εξάμμιωσης και λιποσυλλογής με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις κάθε κατηγορίας μεγεθών.	218
Σχήμα 111: Θέσεις εγκατάστασης των μετεωρολογικών σταθμών πλησίον του ΚΕΛ.	223
Σχήμα 112: Μέση μηνιαία θερμοκρασία για το έτος 2008 (σταθμός 3).	225
Σχήμα 113: Μέση μηνιαία σχετική υγρασία για το έτος 2008 (σταθμός 3).	225
Σχήμα 114: Ροδόγραμμα για το έτος 2008 (σταθμός 3).	227
Σχήμα 115: Ροδόγραμμα για το έτος 2008 (σταθμός 1).	229

Σχήμα 116: Σύγκριση μέσης ωριαίας θερμοκρασίας για τους σταθμούς 2 και 3. _____	231
Σχήμα 117: Σύγκριση μέσης ωριαίας θερμοκρασίας για τους σταθμούς 2 και 3. _____	232
Σχήμα 118: Πιθανότητα ανίχνευσης του υδρόθειου για τα σενάρια 1,2,3. _____	237
Σχήμα 119: Πιθανότητα ανίχνευσης του υδρόθειου για τα σενάρια 1,4,5. _____	237
Σχήμα 120: Βαθμός όχλησης λόγω του υδρόθειου για τα σενάρια 1,2,3. _____	238
Σχήμα 121: Βαθμός όχλησης λόγω του υδρόθειου για τα σενάρια 1,4,5. _____	238
Σχήμα 122: Καμπύλες ίσων πιθανοτήτων ανίχνευσης του υδρόθειου πλησίον του ΚΕΛ (σενάριο 1) _____	239
Σχήμα 123: Καμπύλες ίσων πιθανοτήτων ανίχνευσης του υδρόθειου πλησίον του ΚΕΛ (σενάριο 2). _____	241
Σχήμα 124: Καμπύλες ίσων πιθανοτήτων ανίχνευσης του υδρόθειου πλησίον του ΚΕΛ χρησιμοποιώντας τα ανεμολογικά δεδομένα του σταθμού 3. _____	243
Σχήμα 125: Μέση ημερήσια σχετική υγρασία. _____	245
Σχήμα 126: Μέση ημερήσια θερμοκρασία. _____	246
Σχήμα 127: Ροδόγραμμα για την περίοδο μετρήσεων (11/2008-03/2009). _____	246
Σχήμα 128: Πιθανότητα ανίχνευσης του υδρόθειου για τα σενάρια που μελετήθηκαν. _____	251
Σχήμα 129: Βαθμός όχλησης λόγω του υδρόθειου για τα σενάρια που μελετήθηκαν.	251
Σχήμα 130: Πιθανότητα ανίχνευσης της αμμωνίας για τα σενάρια που μελετήθηκαν. _____	252
Σχήμα 131: Βαθμός όχλησης λόγω της αμμωνίας για τα σενάρια που μελετήθηκαν.	252
Σχήμα 132: Καμπύλες ίσων πιθανοτήτων ανίχνευσης του υδρόθειου πλησίον της χοιροτροφικής μονάδας (σενάριο 1). _____	254
Σχήμα 133: Πιθανότητα ανίχνευσης του υδρόθειου σε διάφορες αποστάσεις για διαφορετικές χρονικές κλίμακες (εφαρμογή στο ΚΕΛ Χανίων). _____	258

Σχήμα 134: Μέγιστη συγκέντρωση υδρόθειου σε διάφορες αποστάσεις για διαφορετικές χρονικές κλίμακες (εφαρμογή στην χοιροτροφική μονάδα). _____260

ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Ως ατμοσφαιρική ρύπανση ονομάζεται η παρουσία στην ατμόσφαιρα ρύπων, δηλαδή κάθε είδους αερίων χημικών ενώσεων και αεροζόλ, θορύβου ή ακτινοβολίας σε ποσότητα, συγκέντρωση ή διάρκεια τέτοια ώστε να είναι δυνατόν να προκληθούν αρνητικές συνέπειες στην ανθρώπινη υγεία, στους ζωντανούς οργανισμούς και στα οικοσυστήματα. Η ευρωπαϊκή ένωση έχει δώσει τον ορισμό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην οδηγία 2008/1/ΕΕ, σχετικά με την ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχο της ρύπανσης, η οποία είναι γνωστή ως οδηγία IPPC (Integrated Pollution Prevention and Control). Έτσι, ορίζεται ως ρύπανση της ατμόσφαιρας η άμεση ή έμμεση εισαγωγή στην ατμόσφαιρα, ως αποτέλεσμα ανθρώπινης δραστηριότητας, ουσιών, κραδασμών, θερμότητας ή θορύβου που ενδέχεται να θίξουν την ανθρώπινη υγεία ή το περιβάλλον, να υποβαθμίσουν υλικά αγαθά, να βλάψουν ή να εμποδίσουν την ψυχαγωγική λειτουργία καθώς και τις άλλες νόμιμες χρήσεις του περιβάλλοντος (Directive 2008/1/EC).

Σύμφωνα με τον παραπάνω ορισμό, οι οσμές που εκλύονται από ανθρωπογενείς πηγές αποτελούν ατμοσφαιρικούς ρύπους. Συγκεκριμένα, οι οσμές απασχολούν ολοένα και περισσότερο την κοινωνία τις τελευταίες δεκαετίες, με τα παράπονα που διατυπώνονται από τους περιοίκους εγκαταστάσεων που εκπέμπουν οσμές να αυξάνονται συνεχώς (Chartered Institute of Environmental Health, 2000). Το γεγονός αυτό οφείλεται εν μέρει στην έντονη οικιστική ανάπτυξη ακόμα και σε περιοχές όπου προϋπάρχουν οι εγκαταστάσεις αλλά και στην δημιουργία νέων μονάδων κοντά σε κατοικημένες περιοχές. Για το λόγο αυτό κρίθηκε αναγκαία η μελέτη της δημιουργίας μιας ολοκληρωμένης πλατφόρμας εκτίμησης των περιβαλλοντικών οχλήσεων που μπορεί να προκύψουν κατά την εκπομπή οσμηρών ουσιών στην ατμόσφαιρα από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Η προσέγγιση που ακολουθήθηκε στην διδακτορική

διατριβή συμπεριλαμβάνει όλα τα στάδια της εκπομπής και διασποράς των οσμών από τις πηγές μέχρι τους αποδέκτες.

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. Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν τον βαθμό της όχλησης που θα προκληθεί από την ύπαρξη οσμών στην ατμόσφαιρα είναι η συγκέντρωση της οσμής, η συχνότητα εμφάνισης της, η διάρκεια της και ο «χαρακτήρας» της οσμής (Piringer et al., 2007; Nicell, 2003; 2009; Gostelow et al., 2001; 2004; Gallego et al., 2008). Για το λόγο αυτό δεν αρκεί η προσέγγιση που θα ακολουθηθεί κατά την μελέτη των επιπτώσεων από οσμές να συμπεριλαμβάνει μόνο τη μελέτη της συγκέντρωσης της συγκεκριμένης ένωσης που προκαλεί το πρόβλημα. Στην παρούσα διατριβή συμπεριλήφθηκαν στο μοντέλο διασποράς που χρησιμοποιήθηκε παράγοντες που λαμβάνουν υπόψη τα επιμέρους ιδιαίτερα αυτά χαρακτηριστικά των οσμών.

Η εκτίμηση των εκπομπών των οσμών γίνεται μέσω μετρήσεων κοντά στην πηγή τους. Η μέτρηση των οσμών μπορεί να γίνει είτε με απευθείας μέτρηση της συγκέντρωσης του ρύπου που ευθύνεται για την οσμή είτε χρησιμοποιώντας μεθόδους οσφρησημετρίας (Gostelow et al., 2001; Schiffman et al., 2001; Sironi et al., 2006; Littarru, 2007). Στην παρούσα διατριβή χρησιμοποιήθηκε ειδικός εξοπλισμός για τον ποσοτικό προσδιορισμό των οσμηρών ενώσεων. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιώντας φορητά όργανα μετρήθηκαν οι συγκεντρώσεις υδρόθειου και αμμωνίας για να υπολογιστεί έτσι ο ρυθμός εκπομπής τους από τις συγκεκριμένες πηγές.

Για την προσομοίωση της μεταφοράς των οσμών στην ατμόσφαιρα χρησιμοποιούνται ευρύτατα ατμοσφαιρικά μοντέλα διασποράς (Hayes et al., 2006; Drew et al., 2007; Wang et al., 2006). Στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται Γκαουσιανά μοντέλα διασποράς όπως είναι το Industrial Source Complex (ISC) και το CALPUFF (McIntyre, 2000; Henshaw et al., 2006; Yu et al., 2009). Η χρήση μοντέλων διασποράς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της διασποράς των οσμών χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα δεδομένα εκπομπών και την συσχέτιση με παράπονα που έχουν διατυπωθεί από περιοίκους. Επίσης, μπορούν να οριστούν μέγιστες επιτρεπόμενες εκπομπές ώστε να αποφευχθεί η δημιουργία της όχλησης σε γειτονικές περιοχές (McIntyre, 2000). Ωστόσο, τα αποτελέσματα των μοντέλων προκύπτουν σε ωριαίες συγκεντρώσεις. Η χρονική κλίμακα αυτή δεν μπορεί να δώσει εικόνα της όχλησης που μπορεί να προκληθεί από τις οσμές μιας και ο χρόνος απόκρισης του ανθρώπου σε περίπτωση έκθεσης σε κάποια οσμή είναι της τάξης του δευτερολέπτου. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διατριβή ένας συντελεστής (peak to mean ratio) με τον οποίο μετατρέπουμε τα αποτελέσματα του μοντέλου από μέσες ωριαίες τιμές σε μικρότερης χρονικής κλίμακας μέγιστες τιμές που μπορούν να εντοπιστούν (Ramsdell και Hinos, 1967; Drew et al. 2007).

Στη συνέχεια συμπεριλήφθηκαν στο μοντέλο διασποράς που χρησιμοποιήθηκε σχέσεις οι οποίες συνδέουν την έκθεση πληθυσμού σε συγκεκριμένες συγκεντρώσεις της οσμής με την πιθανότητα να ανιχνευτεί η οσμή καθώς και τον βαθμό όχλησης που θα προκληθεί (Nicell, 2003; Nicell και Henshaw, 2007; Henshaw et al., 2006). Η μεθοδολογία που προτείνεται στην παρούσα διατριβή υποδεικνύει την αναγκαιότητα της χρήσης τέτοιων σχέσεων δόσης-απόκρισης σε συνδυασμό με μοντέλα διασποράς για να εκτιμηθεί η επίπτωση που θα προκληθεί από την παρουσία οσμών στην ατμόσφαιρα.

Στην παρούσα διατριβή μελετήθηκαν δυο εγκαταστάσεις που εκπέμπουν οσμηρές ενώσεις στην ατμόσφαιρα. Η πρώτη είναι το κέντρο επεξεργασίας αστικών λυμάτων Χανίων και η δεύτερη η χοιροτροφική μονάδα της εταιρείας Creta Farm στο Ρέθυμνο. Τα κοινά χαρακτηριστικά των περιοχών που μελετήθηκαν ήταν η ύπαρξη έντονου ανάγλυφου, η συνεχής λειτουργία των μονάδων που εκπέμπουν τις οσμές και η καταγραφή μεγάλου πλήθους παραπόνων για τις οσμές που εκλύονται από περιοίκους ή διερχόμενους από την περιοχή. Στην μια περίπτωση οι πηγές ήταν επιφανειακές (ανοιχτές δεξαμενές) ενώ στην άλλη ήταν σημειακές (καμινάδες).

Στην περίπτωση του κέντρου επεξεργασίας αστικών λυμάτων (ΚΕΛ) ο ρύπος που μελετήθηκε ήταν το υδρόθειο. Οι κύριες οσμηρές ενώσεις που εκπέμπονται από ΚΕΛ είναι θειούχες ενώσεις όπως το υδρόθειο, μεθυλομερκαπτάνη, διμεθυλο-σουλφίδιο, διμεθυλο-δισουλφίδιο, αιθυλομερκαπτάνη, διθειάνθρακας και σουλφίδια καρβονυλίων. Αζωτούχες ενώσεις μπορούν επίσης να δημιουργήσουν πρόβλημα όπως είναι η αμμωνία, αμίνες, ινδόλες και σκατόλες (Easter et al., 2005; Abbott, 1993; Nicell, και Henshaw, 2007). Η ένωση που μελετάται τις περισσότερες φορές είναι το υδρόθειο λόγω της έντονης και αναγνωρίσιμης οσμής του αλλά και λόγω του ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν δείκτης του γενικότερου προβλήματος (Gostelow και Parsons, 2001; Lawrence et al., 1990; Capelli et al., 2009; Stuetz et al., 1999).

Μια ακόμα παράμετρος που μελετήθηκε ήταν η διερεύνηση πιθανών εκπομπών βιοαεροζόλ στην ατμόσφαιρα από τις δεξαμενές του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων. Μετρήσεις βιοαεροζόλ πραγματοποιήθηκαν και σε παλιότερες μελέτες σε κέντρα επεξεργασίας λυμάτων αλλά και από άλλες πιθανές πηγές (Karra και Katsivela, 2007; Grisoli et al., 2009). Στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής, χρησιμοποιήθηκε ένας δειγματολήπτης τύπου Andersen για την συλλογή δειγμάτων βιοαεροζόλ διαχωρισμένων σε 6 κατηγορίες μεγεθών. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε

εσωτερικούς αλλά και εξωτερικούς χώρους του ΚΕΛ ώστε να μπορέσουν να ποσοτικοποιηθούν πιθανές εκπομπές των σωματιδίων και να μελετηθεί η μεταφορά τους στην ατμόσφαιρα.

Στο κεφάλαιο 1 παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο στο οποίο στηρίχτηκε η παρούσα μελέτη. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στις ιδιαιτερότητες της μελέτης των οσμών σε σχέση με την μελέτη «κλασσικών» ρύπων. Περιγράφονται επίσης οι δυο κύριοι ρύποι που μελετήθηκαν (υδρόθειο και αμμωνία).

Στο κεφάλαιο 2 αναφέρονται τα κυριότερα μοντέλα διασποράς ρύπων στην ατμόσφαιρα που χρησιμοποιούνται σήμερα. Από τα μοντέλα αυτά έγινε η επιλογή του καταλληλότερου για την εφαρμογή σε προβλήματα διασποράς οσμών. Στη συνέχεια περιγράφεται το μοντέλο που επιλέχθηκε (AERMOD) καθώς και οι τροποποιήσεις που πραγματοποιήθηκαν στον κώδικα του ώστε να μπορεί να δώσει ρεαλιστικά αποτελέσματα σε μια μελέτη των επιπτώσεων από την εκπομπή οσμηρών χημικών ενώσεων στην ατμόσφαιρα.

Στο κεφάλαιο 3 περιγράφεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την ποσοτικοποίηση των εκπομπών οσμηρών ενώσεων από ένα κέντρο επεξεργασίας λυμάτων και μια χοιροτροφική μονάδα. Στην πρώτη περίπτωση οι πηγές των οσμών ήταν επιφανειακές (ανοιχτές δεξαμενές) ενώ στην δεύτερη ήταν σημειακές (καμινάδες).

Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται η μεθοδολογία και τα αποτελέσματα των μετρήσεων συγκεντρώσεων βιοαεροζόλ που πραγματοποιήθηκαν σε κέντρο επεξεργασίας λυμάτων. Η μέτρηση των συγκεντρώσεων έγινε με δειγματολήπτη έξι σταδίων με στόχο να προσδιοριστεί η κατανομή μεγεθών των εκπεμπόμενων σωματιδίων. Τα δείγματα καλλιεργήθηκαν σε διαφορετικά θρεπτικά υποστρώματα ώστε να γίνει

καταμέτρηση των ετερότροφων βακτηρίων, των μυκήτων και των κολοβακτηρίων που υπήρχαν σε κάθε δείγμα.

Στο κεφάλαιο 5 γίνεται εφαρμογή του τροποποιημένου μοντέλο διασποράς σε δυο διαφορετικές εγκαταστάσεις από τις οποίες εκπέμπονται οσμηρές ενώσεις. Τα κύρια δεδομένα εισόδου που απαιτούνται για την εφαρμογή του μοντέλου είναι τα δεδομένα εκπομπών, τα μετεωρολογικά δεδομένα καθώς και το ανάγλυφο της περιοχής. Βασιζόμενοι στην μεθοδολογία που περιγράφεται στο κεφάλαιο 4 έγινε εισαγωγή των δεδομένων εκπομπών ενώ τα μετεωρολογικά δεδομένα συλλέχθηκαν από μετεωρολογικούς σταθμούς που εγκαταστάθηκαν στις περιοχές όπου εφαρμόστηκε το μοντέλο.

Στο κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται τα κυριότερα συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρούσα διατριβή καθώς και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα που μπορεί να πραγματοποιηθεί στο πεδίο αυτό.

ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗΣ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΚΟΥ ΛΑΤΟΥ

ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ

Η συμβολή της συγκεκριμένης ερευνητικής δραστηριότητας στην επιστήμη συνοψίζεται στην ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης πλατφόρμας για την εκτίμηση των επιπτώσεων που μπορεί να προκληθούν από την εκπομπή οσμηρών ουσιών στην ατμόσφαιρα. Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε εφαρμόστηκε σε δυο περιοχές όπου έχει εντοπιστεί σημαντική όχληση λόγω των οσμών που εκλύονται από εγκαταστάσεις στην περιοχή. Επιλέχθηκε το Κέντρο Επεξεργασίας Αστικών Λυμάτων Χανίων (ΚΕΛ Χανίων) και μια χοιροτροφική μονάδα ανατολικά της πόλης του Ρεθύμνου. Οι ενώσεις που μελετήθηκαν ήταν το υδρόθειο για το ΚΕΛ Χανίων και το υδρόθειο και η αμμωνία για τη χοιροτροφική μονάδα, ως οι κύριες ενώσεις που εκπέμπονται και ανιχνεύονται τόσο εντός των εγκαταστάσεων όσο και πλησίον αυτών.

Η συμβολή του συγγραφέα της διατριβής στο σύνολο της παρουσιαζόμενης εργασίας ανάγεται σε:

- Πραγματοποίηση μετρήσεων συγκεντρώσεων των ρύπων τόσο εντός των υπό μελέτη εγκαταστάσεων όσο και σε περιοχές πλησίον αυτών. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν για χρονικά διαστήματα ικανά να παρέχουν μια αντιπροσωπευτική εικόνα της διακύμανσης των μετρούμενων συγκεντρώσεων.
- Εντοπισμός των κύριων πηγών των οσμηρών χημικών ενώσεων μέσω επαναλαμβανόμενων μετρήσεων συγκεντρώσεων των ενώσεων σε όλη την

έκταση των εγκαταστάσεων από όπου θα μπορούσε να παρατηρηθεί εκπομπή τους.

- Ανάπτυξη αλγορίθμων για την εκτίμηση των εκπομπών υδρόθειου και αμμωνίας από τις μελετώμενες εγκαταστάσεις βάσει των μετρήσεων των συγκεντρώσεων των ενώσεων αυτών που πραγματοποιήθηκαν στις συγκεκριμένες περιοχές. Επίσης υπολογίστηκε η διακύμανση που μπορεί να παρατηρηθεί στις εκπομπές αυτές.
- Μέτρηση συγκεντρώσεων βιοαεροζόλ σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους του ΚΕΛ Χανίων για χρονικό διάστημα 4 μηνών με στόχο την διερεύνηση της δυνατότητας μεταφοράς τους σε οικισμούς πλησίον της εγκατάστασης. Πραγματοποιήθηκε επίσης ταυτόχρονη μέτρηση των μετεωρολογικών παραμέτρων που επικρατούσαν κατά την διάρκεια των μετρήσεων (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου) με στόχο την μελέτη της επίδρασης των παραμέτρων αυτών στις μετρούμενες συγκεντρώσεις βιοαεροζόλ. Παράλληλα, έγιναν ταυτόχρονες μετρήσεις συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων αεροδυναμικής διαμέτρου μικρότερης των 10 μm , 2,5 μm και 1 μm , αριθμού αιωρούμενων σωματιδίων αεροδυναμικής διαμέτρου μικρότερης του 1 μm , καθώς και της συγκέντρωσης υδρόθειου στην ατμόσφαιρα.
- Καλλιέργεια των δειγμάτων βιοαεροζόλ σε διαφορετικά τριβλία ανάλογα με την αεροδυναμική τους διάμετρο και σε διάφορα θρεπτικά υλικά για την μέτρηση των συγκεντρώσεων ετερότροφων βακτηρίων, μυκήτων και κολοβακτηρίων ανά κατηγορία μεγεθών.

- Επεξεργασία των μετρήσεων πεδίου βιοαεροζόλ στο ΚΕΛ Χανίων και εύρεση των κατανομών μεγεθών τους σε εξωτερικούς και εσωτερικούς χώρους για διάφορους τύπους μικροοργανισμών. Επίσης πραγματοποιήθηκε μελέτη της συσχέτισης των συγκεντρώσεων βιοαεροζόλ με τις παραμέτρους που υπολογίστηκαν από τις ταυτόχρονες μετρήσεις αριθμού και συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων, συγκεντρώσεων υδρόθειου και μετεωρολογικών παραμέτρων
- Προμήθεια, εγκατάσταση και λειτουργία δυο μετεωρολογικών σταθμών στο ΚΕΛ Χανίων για την παρακολούθηση των βασικών μετεωρολογικών παραμέτρων που επηρεάζουν την διασπορά ρύπων στην ατμόσφαιρα (ταχύτητα ανέμου, διεύθυνση ανέμου, θερμοκρασία και σχετική υγρασία) για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο του ενός έτους ώστε να ληφθεί υπόψη η εποχιακή διακύμανση των παραμέτρων αυτών.
- Σύγκριση των μετρήσεων διεύθυνσης και ταχύτητας ανέμου των δυο μετεωρολογικών σταθμών με στόχο την μελέτη της αναγκαιότητας χρήσης μετεωρολογικών δεδομένων υψηλότερης χωρικής ανάλυσης για την εφαρμογή μοντέλων διασποράς.
- Ψηφιοποίηση του ανάγλυφου πλησίον των μελετώμενων περιοχών ώστε να ληφθεί υπόψη η επίδραση των διαφορετικών χρήσεων γης και του έντονου ανάγλυφου στην διασπορά των οσμών στην ατμόσφαιρα.
- Βιβλιογραφική μελέτη για την εύρεση των χρησιμοποιούμενων μοντέλων που χρησιμοποιούνται για την μοντελοποίηση της διασποράς αερίων ρύπων στην ατμόσφαιρα. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε λεπτομερής σύγκριση της καταλληλότητας 26 μοντέλων για την μελέτη της διασποράς οσμών βάσει

κριτηρίων που ορίστηκαν στην παρούσα μελέτη. Η διαδικασία αυτή οδήγησε στην επιλογή του μοντέλου AERMOD (EPA) ως το καταλληλότερο μοντέλο για την διασπορά οσμηρών ενώσεων στην ατμόσφαιρα.

- Επισκόπηση των αναγκαίων τροποποιήσεων ενός μοντέλου διασποράς ώστε να μπορεί να παρέχει ρεαλιστικά αποτελέσματα όσον αφορά στη διασπορά οσμών στην ατμόσφαιρα. Σε ένα μοντέλο διασποράς αερίων ρύπων κρίθηκε απαραίτητο να ενσωματωθεί ο λόγος peak-to-mean ο οποίος μετατρέπει τις μέσες συγκεντρώσεις που υπολογίζουν τα μοντέλα σε μέγιστες τιμές που μπορεί να παρατηρηθούν σε μικρότερη χρονική κλίμακα. Επίσης τα αποτελέσματα του μοντέλου δίνουν μια πιο εποπτική εικόνα όταν παρουσιάζονται σαν πιθανότητα ανίχνευσης της οσμής και βαθμός όχλησης που προκαλείται από αυτήν σε συγκεκριμένη θέση και χρονική στιγμή.
- Τροποποίηση του κώδικα του μοντέλου AERMOD ώστε να είναι εφικτή η χρήση του για την μελέτη των επιπτώσεων εκπομπών οσμηρών ενώσεων στην ατμόσφαιρα. Οι τροποποιήσεις υλοποιήθηκαν σε γλώσσα προγραμματισμού Fortran-77 και ενσωματώθηκαν στον κώδικα του μοντέλου.
- Πραγματοποίηση ανάλυσης ευαισθησίας του τροποποιημένου μοντέλου διασποράς οσμών με στόχο τον προσδιορισμό της επίδρασης της διαφοροποίησης δεδομένων εισόδου στα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή του.

1. **M. Latos**, P. Karageorgos, N. Kalogerakis, M. Lazaridis, “*Dispersion of odorous compounds emitted from wastewater treatment plants*”, Protection and restoration of the environment IX, 2008
2. **Latos M.**, Karageorgos P., Mpasiakos Ch., Kalogerakis N., Lazaridis M., “*Dispersion modeling of odours emitted from pig farms*”, 11th International Conference on the Environmental Science and Technology, 2009
3. Petros Karageorgos, **Emmanuel Latos**, Mihalis Lazaridis, Nicolas Kalogerakis, “*Combating unpleasant odours in the municipal wastewater treatment plant of Chania*”, Protection and restoration of the environment IX, 2008
4. P. Karageorgos, **M. Latos**, Ch. Mpasiakos, M. Lazaridis, N. Kalogerakis, “*Identification of Odorous Emissions at a Piggery Facility in Rethymno-Crete*”, Second International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics (CEMEPE 09) & SECOTOX Conference, 2009
5. Karageorogos, P. **Latos M.**, Kotsifaki C., Lazaridis M., Kalogerakis N. (2010). “*Treatment of unpleasant odors in municipal wastewater treatment plant*”. *Water Science and Technology* **61** (10), 2635-2644.
6. **Latos M.**, Karageorgos P., Mpasiakos Ch., Kalogerakis N., Lazaridis M. (2010). “Dispersion modelling of odours emitted from pig farms: winter-spring measurements”. *Global NEST Journal* **12** (1), 46-53.

7. **Latos M.**, Karageorgos P., Kalogerakis N., Lazaridis M. (2010). “Dispersion of odorous gaseous compounds emitted from wastewater treatment plants”. *Water, Air, & Soil Pollution* (In press).
8. Petros Karageorgos, **Manolis Latos**, Christos Mpasiakos, Elefterios Chalarakis, Emmanuel Dimitrakakis, Charis Daskalakis, Elefteria Psillakis, Mihalis Lazaridis and Nicolas Kalogerakis (2010). “Characterization and Dispersion Modelling of Odors from a Piggery Facility”. *Journal of Environmental Quality* (In press).

ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ

9. Lazaridis M., **Latos M.**, Aleksandropoulou V., Hov Ø., Papayannis A., Tørseth K. (2008). “Contribution of forest fire emissions to atmospheric pollution in Greece”. *Air Quality, Atmosphere & Health* **1** (3), 143-158.
10. **Latos M.**, Spyridaki A, Flatoy F, Lazaridis M: “Contribution of forest fire emissions to atmospheric pollution in the eastern Mediterranean area”, *Protection and restoration of the environment VII*, 2006.
11. Ζηδιανάκης Γ., **Λάτος Μ.**, Μεθυμάκη Ι., Τσούτσος Θ., "Δυναμικό ηλιακών εφαρμογών στην Κρήτη", Διμηνιαία Έκδοση Τεχνικά Χρονικά ΤΕΕ, Σεπτέμβριος-Οκτώβριος 2006.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

1.1 Εισαγωγή

Η ποιότητα του αέρα δεν επηρεάζεται μόνο από τους «κλασσικούς» ρύπους (NO_x , O_3 , SO_2 , CO , CO_2) αλλά και από άλλες χημικές ενώσεις που μπορεί να έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά, όπως είναι οι οσμές. Η μελέτη αυτών των ρύπων πρέπει να συμπεριλαμβάνεται σε κάθε μελέτη ποιότητας του αέρα.

Η οσμή μπορεί να χαρακτηριστεί ως η αίσθηση που προκύπτει από την υποδοχή ενός ερεθίσματος από το οσφρητικό σύστημα. Είτε είναι «ευχάριστες» ή «δυσάρεστες» οι οσμές, γίνονται αντιληπτές από την εισπνοή κάποιων οργανικών ή ανόργανων χημικών ενώσεων.

Σε αντίθεση με τους «κλασσικούς» ρύπους, οι οσμές έχουν εντελώς διαφορετικά χαρακτηριστικά τα οποία παρουσιάζουν αρκετές ομοιότητες με την ηχορύπανση. Όπως και με τον ήχο, η όχληση των ανθρώπων είναι η κύρια συνέπεια της ύπαρξης οσμών. Μερικά από τα επιπλέον χαρακτηριστικά σε σχέση με τους υπόλοιπους ρύπους που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όταν μελετάμε τις οσμές είναι τα ακόλουθα (C.P.C.B., 2008):

- Ενώσεις της ίδιας ή και διαφορετικής χημικής σύστασης μπορούν να έχουν παρόμοιο αποτέλεσμα (ως προς την οσμή τους). Η φύση και η ένταση της οσμής μπορεί να μεταβληθεί με τη διάχυση των οσμών στον αέρα.

- Ασθενείς οσμές δεν γίνονται αντιληπτές από τον άνθρωπο όταν συνυπάρχουν με ισχυρές οσμές.
- Όταν συνυπάρχουν διαφορετικές οσμές της ίδιας έντασης, το αισθητό αποτέλεσμα μπορεί να είναι ριζικά διαφορετικό από αυτό που θα προέκυπτε από την κάθε μια ξεχωριστά.
- Η παρατεταμένη έκθεση των ανθρώπων σε συγκεκριμένες οσμές προκαλούν εξοικείωση του υποδοχέα με αποτέλεσμα να μην γίνονται αντιληπτές πια.
- Μια ασυνήθιστη οσμή είναι πιο πιθανό να προκαλέσει παράπονα σε σχέση με μια συνηθισμένη οσμή.
- Δύο ή παραπάνω οσμηρές χημικές ενώσεις μπορεί να αλληλοεξουδετερώνονται και να μην υπάρχει έτσι όχληση.
- Το χρονικό βήμα μελέτης των συγκεντρώσεων οσμών στην ατμόσφαιρα πρέπει να είναι πολύ χαμηλότερο από αυτό των συμβατικών ρύπων λόγω του μικρού χρόνου απόκρισης του οσφρητικού συστήματος στην παρουσία τους.
- Για την μελέτη των επιπτώσεων των οσμών απαιτείται στατιστική προσέγγιση που να λαμβάνει υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της κάθε οσμής (ένταση και «ποιότητα» της οσμής) καθώς και άλλα χαρακτηριστικά όπως η συχνότητα και η διάρκεια εμφάνισης της οσμής αλλά και το μέγεθος του πληθυσμού που υπόκειται σε αυτήν.

Παρόλο που η όχληση από τις οσμές δεν συνδέεται με άμεσες αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία, ο ερεθισμός που προκαλείται από τις οσμές μπορεί να οδηγήσει σε διάφορα συμπτώματα. Κάποια από τα δευτερογενή συμπτώματα που μπορεί να προκληθούν στον αποδέκτη των οσμών είναι η ναυτία, η ζάλη και η αδιαθεσία. Πολύ

ισχυρές οσμές μπορεί να οδηγήσουν σε ρινικό ερεθισμό ή να προκαλέσουν κάποια συμπτώματα σε άτομα με αναπνευστικά προβλήματα ή άσθμα. Γενικότερα η υποβάθμιση της ποιότητας ζωής κοντά σε εγκαταστάσεις που εκλύουν οσμές μπορεί να οδηγήσει σε αρκετά αρνητικά κοινωνικά και οικονομικά αποτελέσματα (Schiffman και Williams, 2005).

1.2 Βασικά χαρακτηριστικά των οσμών

1.2.1 Όριο ανίχνευσης και όριο αναγνώρισης οσμής

Για τον προσδιορισμό των επιθυμητών ορίων ώστε να μην υπάρχει όχληση λόγω της παρουσίας οσμών στην ατμόσφαιρα έχουν οριστεί και υπολογιστεί το όριο ανίχνευσης και όριο αναγνώρισης οσμής για διάφορες ενώσεις. Στη συνέχεια παρουσιάζονται κάποιες βασικές έννοιες που χρησιμοποιούνται για την ποσοτικοποίηση των επιπτώσεων της ύπαρξης οσμών στην ατμόσφαιρα (Leonardos et al., 1968).

- **Odour Units (OU):** 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.
- **Όριο ανίχνευσης οσμής:** Είναι η ελάχιστη συγκέντρωση που μπορεί να γίνει οριακά αντιληπτή μέσω της όσφρησης. Στην πράξη, για τον καθορισμό του

χρησιμοποιείται μια ομάδα ειδικά εκπαιδευμένων ανθρώπων που εκτίθενται σε μια συγκεκριμένη συγκέντρωση μιας χημικής ένωσης. Το όριο ανίχνευσης ορίζεται στη ελάχιστη συγκέντρωση για την οποία το 50% των μελών της ομάδας είναι σε θέση να ανιχνεύσουν την οσμή. Η συγκέντρωση αυτή ορίζεται ως 1 odour unit (1 OU). Μπορεί να θεωρηθεί, λοιπόν, ότι σε αυτήν την περίπτωση υπάρχει 50% πιθανότητα να ανιχνεύσει κάποιος άνθρωπος την οσμή.

- **Όριο αναγνώρισης οσμής:** 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. Συνήθως, έχει διαπιστωθεί ότι το όριο αναγνώρισης οσμής είναι 2 με 10 φορές μεγαλύτερο από το όριο ανίχνευσης οσμής.

Πίνακας 1: 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	0,080
Υδρόθειο	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	1,0
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	0,020
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	$(C_2H_5)_2S$	106	0,02
Διμεθυλοσουλφίδιο	$(CH_3)_2S$	62	0,001
Διμεθυλο-δισουλφίδιο	$(CH_3)_2S_2$	94	0,0076
Οργανικές ετεροκυκλικές ενώσεις			
Ινδόλη	$C_6H_4(CH)_2NH$	117	0,0001
Πυριδίνη	C_5H_5N	79	0,0001
Σκατόλη	C_9H_9N	131	0,001

1.2.2 Δείκτες οσμής (Odour index)

Ο δείκτης οσμής ορίζεται ως ο αδιάστατος λόγος της τάσης ατμών προς το όριο αναγνώρισης της συγκεκριμένης οσμής (της συγκέντρωσης δηλαδή στην οποία το 50% των ανθρώπων που εκτίθενται σε αυτήν μπορούν να την αναγνωρίσουν). Ο δείκτης οσμής μας δίνει τη δυνατότητα να εκτιμήσουμε την δυνατότητα μια συγκεκριμένη ένωση να προκαλέσει προβλήματα λόγω της οσμής της σε συνθήκες εξάτμισης. Οι δείκτες οσμής των συνηθέστερων οσμηρών ενώσεων παρουσιάζονται στον πίνακα 2.

Πίνακας 2: Δείκτες οσμής των συνηθέστερων οσμηρών ενώσεων (C.P.C.B., 2008).

Χημική ένωση	Δείκτης οσμής	Χημική ένωση	Δείκτης οσμής
Ακεταλδεΰδη	4.300.000	Δι-αιθυλαμίνη	880.000
Οξεϊκό οξύ	15.000	Διαιθυλσουλφίδιο	14.400.000
Οξικός ανυδρίτης	12.800	Διαιθυλκετόνη	1.900
Ακετόνη	720	Διμεθυλαμίνη	280.000
Ακρυλικό οξύ	4.210	Διμεθυλσουλφίδιο	2.760.000
Αλλυλική αλκοόλη	13.800	Αιθάνιο	25.300
Αλλυλικό χλωρίδιο	17.900	Αιθανόλη	11
Αμμωνία	167.300	Αιθυλένιο	57.100
Βενζαλδεΰδη	22.000	Αιθυλαιθέρας	1.939.000
Βενζόλιο	300	Φορμαλδεΰδη	5.000.000
1,3 βουταδιένιο	2.530	Υδροθείο	17.000.000
n- βουτάνιο	480	Ισοβουτάνιο	3.000.000
n- βουτανόλη	120	Ισοβουτανόλη	320
n- βουτυλαμίνη	395.000	Ισοβουτένιο	4.640.000
n- βουτυλχλωρίδιο	6.300	Μεθανόλη	22
n- βουτυλαιθέρας	13.400	Μεθυλαμίνη	940.000

n- βουτυλμερκαπτάνη	49.340.000	Μεθυλαμυλική αλκοόλη	12.650
n- βουτυλσουλφίδιο	658.000	Μεθυλογλωρίδιο	200.000
n- βουτυρικό οξύ	50.000	Φαινόλη	16
Δισουλφίδιο άνθρακα	44.430	Προπάνιο	425
Τετραχλωράνθρακας	540	Προπιονικό οξύ	112.300
Χλωροβενζόλιο	52.600	Σκατόλη	30.000
Χλωρο-Βρωμο-μεθάνιο	350	Τολουένιο	720
Χλωροφόρμιο	70	Βαλεριανό οξύ	256.300

1.2.3 Παράγοντες που καθορίζουν τις επιπτώσεις των οσμών

Οι κύριοι παράγοντες που καθορίζουν τα χαρακτηριστικά των οσμών όπως αυτές γίνονται αντιληπτές από τον άνθρωπο είναι οι εξής:

- Η διάρκεια της έκθεσης στο ερέθισμα
- Η συχνότητα της εμφάνισης του ερεθίσματος
- «Ποιότητα» της οσμής (πόσο ευχάριστη ή δυσάρεστη θεωρείται)
- Η ένταση του ερεθίσματος
- Η ανοχή του αποδέκτη του ερεθίσματος

Στις επόμενες ενότητες περιγράφονται αναλυτικά οι παράγοντες αυτοί.

1.2.3.1 Διάρκεια της έκθεσης στο ερέθισμα

Η διάρκεια της έκθεσης σε μια συγκεκριμένη οσμή μπορεί να παίζει διπλό ρόλο στον τρόπο που αντιλαμβανόμαστε την οσμή. Όταν ένας άνθρωπος βρίσκεται εκτεθειμένος σε μια οσμή για μεγάλο χρονικό διάστημα λαμβάνει χώρα το φαινόμενο της «εξοικείωσης του υποδοχέα» (Dravnieks και Jarke, 1980).

Η εξοικείωση του υποδοχέα είναι το φαινόμενο κατά το οποίο, άτομα με φυσιολογική όσφρηση σταματούν να αντιλαμβάνονται μια συγκεκριμένη οσμή ή την αντιλαμβάνονται με μικρότερη ένταση όταν εκτεθούν για μεγάλο χρονικό διάστημα σε αυτήν. Η εξοικείωση του υποδοχέα ενός ατόμου όσον αφορά σε μια συγκεκριμένη οσμή δεν επηρεάζει τον τρόπο που αντιλαμβάνεται άλλες οσμές. Σε κάποιες περιπτώσεις όπου η έκθεση σε συγκεκριμένη οσμή διαρκεί για πολύ καιρό, ουσιαστικά αυξάνεται το όριο αντίληψης της συγκεκριμένης οσμής ή και άλλων οσμών.

Σε άλλες περιπτώσεις ωστόσο, η διάρκεια της έκθεσης επιβαρύνει την όχληση που προκαλείται από την παρουσία μιας οσμής. Για παράδειγμα μια οσμή που εμφανίζεται για πολύ μικρό χρονικό διάστημα συνήθως δεν οδηγεί σε εκδήλωση δυσαρέσκειας μιας και θεωρείται μεμονωμένο περιστατικό. Όταν όμως η όχληση από την οσμή εξακολουθήσει να υπάρχει για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, προκαλεί μεγαλύτερη αίσθηση δυσαρέσκειας. Ο ρόλος που θα παίζει η διάρκεια της οσμής τελικά, εξαρτάται από τον χαρακτήρα της οσμής αλλά και από την έντασή της.

1.2.3.2 Συχνότητα εμφάνισης του ερεθίσματος

Η συχνότητα εμφάνισης μιας οσμής ορίζεται ως η συχνότητα υπέρβασης του ορίου αντίχνευσης της εκάστοτε οσμής. Η παράμετρος αυτή δε λαμβάνει υπόψη το κατά πόσο έχει γίνει υπέρβαση του ορίου και επομένως ακόμα και μια μεγάλη συχνότητα εμφάνισης μπορεί να προκαλέσει λίγα παράπονα εκ μέρους των εκτιθέμενων ανθρώπων στην περίπτωση που η συγκέντρωση της οσμής είναι οριακά μεγαλύτερη του ορίου αντίχνευσης. Στην περίπτωση όμως που γίνεται υπέρβαση του ορίου αντίχνευσης με μικρή συχνότητα αλλά μεγάλες συγκεντρώσεις η όχληση που θα προκληθεί θα είναι σπανιότερη αλλά πολύ πιο έντονη.

1.2.3.3 «Ποιότητα» της οσμής

Ο χαρακτήρας μιας οσμής είναι η ιδιότητα της να διαφοροποιείται από άλλες και να αναγνωρίζεται σε σχέση με μια άλλη οσμή της ίδιας έντασης. Ο χαρακτήρας μιας οσμής καθορίζεται συγκρίνοντάς την με άλλες οσμές ή με λεκτική περιγραφή (πίνακας 3).

Η «ποιότητα» της οσμής σχετίζεται με τον χαρακτηρισμό της οσμής ως «ευχάριστης» ή «δυσάρεστης». Ως κριτήριο εμπεριέχει κάποια υποκειμενικότητα, ωστόσο κάποιοι συντελεστές για την κάθε οσμή έχουν προταθεί. Επίσης, η ιδιότητα αυτή εξαρτάται άμεσα και από την διάρκεια της έκθεσης των ανθρώπων σε αυτήν αλλά και την έντασή της (Miedema et al., 2000, Both et al., 2004). Επίσης, ψυχολογικά κυρίως, παίζει ρόλο και η πηγή της οσμής. Για παράδειγμα, η ίδια οσμή από ένα εργοστάσιο

αρωμάτων μπορεί να κριθεί ιδιαίτερα ενοχλητική από τους κατοίκους της γύρω περιοχής ενώ μπορεί να κριθεί ευχάριστη όταν εκλύεται από έναν κήπο.

Στον πίνακα 3 παρουσιάζονται κάποιες λέξεις-κλειδιά που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό του χαρακτήρα της οσμής καθώς και κάποιοι δείκτες που αφορούν στην «ποιότητα» της κάθε οσμής 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.

Πίνακας 3: Δείκτες «ποιότητας» για διάφορες οσμές.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΟΣΜΗΣ	ΔΕΙΚΤΗΣ «ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ»	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΟΣΜΗΣ	ΔΕΙΚΤΗΣ «ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ»
Φρουτώδης	2,72	Μαύρο πιπέρι	0,19
Λεμόνι	2,50	Αμύγδαλο	2,01
Κίτρο	1,95	Άνηθος	0,87
Πορτοκάλι	2,86	Οσμή υπονόμου	-3,68
Ανανάς	2,89	Αποσύνθεση	-3,74
Φράουλα	2,93	Κοπριά	-3,36
Σκόρδο	1,67	Πτωμαΐνη	-3,75
Κανέλα	1,54	Θειώδες	-2,45
Τσάι	1,40	Υγραέριο	-2,30

1.2.3.4 Ένταση του ερεθίσματος

Η ένταση της οσμής είναι η ένταση του προκαλούμενου ερεθίσματος από αυτήν. Σχετίζεται κυρίως με τη συγκέντρωση της οσμηρής χημικής ένωσης και συνήθως περιγράφεται λεκτικά και συγκεκριμένα έχει επικρατήσει η κατηγοριοποίηση που παρουσιάζεται στον πίνακα 4. Στον πίνακα 4, επίσης, παρουσιάζεται και μια υποτυπώδης αριθμητική κλίμακα που αντιστοιχεί στις κατηγορίες αυτές.

Πίνακας 4: Αριθμητική κλίμακα περιγραφής της έντασης οσμής (VDI, 1992).

ΕΝΤΑΣΗ ΟΣΜΗΣ	«ΕΠΙΠΕΔΟ»
Εξαιρετικά ισχυρή	6
Πολύ ισχυρή	5
Ισχυρή	4
Αισθητή	3
Ασθενής	2
Πολύ ασθενής	1
Μη ανιχνεύσιμη	0

Η ένταση μιας οσμής μπορεί επομένως να προσδιοριστεί εμπειρικά χωρίς να γνωρίζουμε τη συγκέντρωσή της. Η πιο διαδεδομένη μέθοδος μέτρησης της έντασης οσμών είναι δια της όσφρησης ειδικά εκπαιδευμένων ανθρώπων. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται μια ομάδα ανθρώπων των οποίων καταγράφεται η αντίδραση καθώς εκτίθενται σε διάφορες συγκεντρώσεις οσμών.

Η ποσοτικοποίηση της έντασης της οσμής είναι ιδιαίτερα χρήσιμη καθώς κάποιες οσμές θεωρούνται ισχυρότερες από άλλες. Πράγματι, όλες οι οσμές θα είναι οριακά ανιχνεύσιμες σε συγκέντρωση 1 OU/m³, ωστόσο, στη συγκέντρωση των 2 OU/m³, κάποιες οσμές θα γίνονται οριακά αντιληπτές ενώ κάποιες άλλες θα είναι αισθητές. Στη συγκέντρωση των 10 OU/m³, κάποιες οσμές θα είναι απλώς αισθητές ενώ κάποιες άλλες θα μπορούν να χαρακτηριστούν ισχυρές. Επομένως, η ένταση της

οσμής θεωρείται ιδιαίτερα σημαντική παράμετρος για συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από το όριο ανίχνευσης.

Οι περισσότερες οσμές που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα αποτελούνται από ένα σύνθετο μίγμα χημικών ενώσεων. Η απόκριση των αισθητήριων οργάνων του ανθρώπου διαφέρουν ανάλογα με την χημική ένωση που προκαλεί το ερέθισμα αλλά και ανάλογα με τον άνθρωπο που βρίσκεται εκτεθειμένος στην οσμή. Για όλες τις ανθρώπινες αισθήσεις, συμπεριλαμβανομένης της όσφρησης, μπορεί να εφαρμοστεί μια γενική προσέγγιση που συσχετίζει την ένταση της αίσθησης που προκαλείται με την ένταση του ερεθίσματος που την προκάλεσε. Σύμφωνα με το νόμο των Weber-Fechner, η ένταση του ερεθίσματος που προκαλείται από μια οσμή συγκέντρωσης C , δίνεται από την εξίσωση 1 (Wright, 1982).

$$I = k_w \log\left(\frac{C}{C_o}\right) + k \quad (1)$$

όπου:

I : η ένταση της οσμής

k_w : Η σταθερά των Weber-Fechner

C : Συγκέντρωση της οσμής

C_o : Συγκέντρωση της οσμής στο όριο ανίχνευσης (εξ' ορισμού ίση με 1

όταν χρησιμοποιούνται Odour Units)

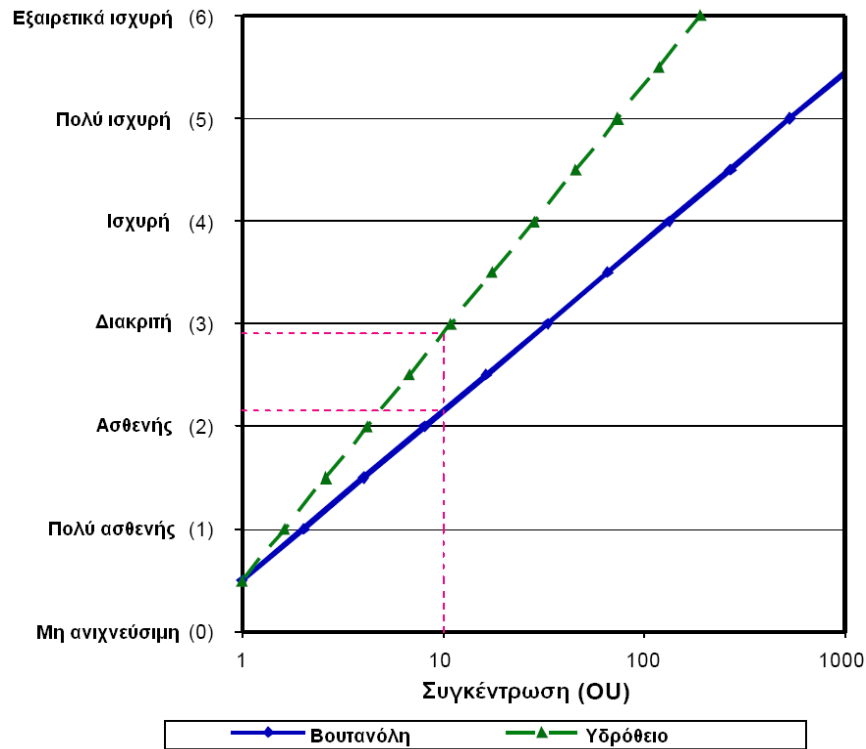
k : Σταθερά που σχετίζεται με τη χρήση των μέσων επιπέδων έντασης.

Μια ακόμα σχέση έχει προταθεί για τη συσχέτιση της έντασης του προκαλούμενου ερεθίσματος σε σχέση με τη συγκέντρωση της οσμής. Η σχέση αυτή περιγράφεται από τον νόμο του Steven (Wright, 1982):

$$I=k \cdot C^n \quad (2)$$

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

Για παράδειγμα χρησιμοποιώντας το νόμο των Weber-Fechner έχει περιγραφεί η σχέση έντασης και συγκέντρωσης για το υδρόθειο και τη βουτανόλη όπου προκύπτουν διαφορετικοί όμως συντελεστές. Στο σχήμα 1 παρουσιάζονται οι ευθείες αυτές όπως προκύπτουν από την εξίσωση 1 (VDI, 1992). Όπως φαίνεται σε αυτό το σχήμα, για μια συγκέντρωση των 10 ΟΥ η βουτανόλη γίνεται αντιληπτή ως ασθενής οσμή ενώ το υδρόθειο ως διακριτή οσμή. Επομένως, αν το κριτήριο που χρησιμοποιούνταν ήταν να υπάρχει διακριτή οσμή, τότε οι οριακές συγκεντρώσεις θα ήταν 11 και 33 ΟΥ για το υδρόθειο και τη βουτανόλη αντίστοιχα.



Σχήμα 1: Ένταση οσμής για το υδρόθειο και την βουτανόλη.

Συγκρίσεις των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τους νόμους των Weber-Fechner και Steven έδειξαν ότι χρησιμοποιώντας τον νόμο των Weber-Fechner, προκύπτουν πιο ρεαλιστικά αποτελέσματα (Bundy et al,1997, Nicolai et al.,2000).

1.2.3.5 Ανοχή του αποδέκτη

Ο τρόπος που αντιλαμβάνονται τις οσμές όλοι οι άνθρωποι δεν είναι ίδιος. Κάποιοι άνθρωποι είναι περισσότερο ευαίσθητοι στις οσμές, γεγονός το οποίο εξαρτάται μεταξύ άλλων και από την ηλικία, τυχόν προβλήματα υγείας που σχετίζονται με το αναπνευστικό σύστημα αλλά και την ικανότητα της όσφρησης. Επόμενο είναι λοιπόν,

όσο μεγαλύτερος πληθυσμός βρίσκεται εκτεθειμένος σε κάποια οσμή τόσο να αυξάνεται η πιθανότητα να βρεθούν περισσότεροι ευαίσθητοι αποδέκτες στον πληθυσμό αυτόν. Παρατίθεται ενδεικτικά μέρος από μια οδηγία της USEPA για τις οσμές όπου ανάλογα με τον αριθμό των κατοίκων της περιοχής γύρω από την πηγή της οσμής ορίζεται και διαφορετικό όριο (πίνακας 5).

Πίνακας 5: Προτεινόμενα όρια επιπέδων οσμών σε κατοικημένες περιοχές (USEPA, 2007).

ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΤΟΙΚΩΝ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟ ΟΡΙΟ (ΟΥ)
>2.000	2
>350	4
>60	6
>12	8
<12	10

1.3 Πηγές οσμών στην ατμόσφαιρα

Οι πηγές των οσμών διακρίνονται σε σημειακές (πχ καμινάδες), επιφανειακές (πχ δεξαμενές) και διαφεύγουσες (πχ διαρροή από κτήριο). Οι περισσότερες από αυτές είναι ανθρωπογενείς και προέρχονται κυρίως από βιομηχανικές μονάδες παραγωγής τροφίμων ή από εγκαταστάσεις διαχείρισης λυμάτων. Οι ενώσεις που εκπέμπονται

περιέχουν οργανικά και ανόργανα αέρια αλλά και αιωρούμενα σωματίδια. Πολλές οσμηρές ενώσεις προέρχονται από βιολογικές διεργασίες ή περιέχονται σε μίγματα αερίων που εκπέμπονται από χημικές διεργασίες. Οι περισσότερες χημικές ενώσεις προέρχονται από την αναερόβια αποσύνθεση οργανικής ύλης και περιέχουν θείο και άζωτο. Στον πίνακα 6 παρουσιάζονται οι ενώσεις που εκπέμπονται από διάφορες μονάδες.

Πίνακας 6: 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
Τροφίμων	Οργανικές ενώσεις
Χοιροστάσια	Υδρόθειο, αμμωνία
Κέντρα Επεξεργασίας Λυμάτων	Υδρόθειο
ΧΥΤΑ	Υδρόθειο

1.4 Μέτρηση οσμών

Η μέτρηση των οσμών είναι μια ιδιαίτερα πολύπλοκη διαδικασία που διαφέρει από την μέτρηση των «συμβατικών» ρύπων. Η εκπομπή οσμών από μια πηγή συνήθως περιλαμβάνει ένα μεγάλο σύνολο χημικών ενώσεων και η οσμή που προκύπτει οφείλεται στο συνδυασμό όλων των ενώσεων. Η μέτρηση συγκεκριμένων ενώσεων επομένως δεν είναι εύχρηστη μέθοδος. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται η μέθοδος της οσφρησιμετρίας.

1.4.1 Μέτρηση συγκεντρώσεων ενώσεων με όργανα

Για την μέτρηση συγκεντρώσεων των οσμών μπορούν να χρησιμοποιηθούν εξειδικευμένα όργανα μέτρησης συγκεκριμένων ενώσεων στην περίπτωση που έχουν εντοπιστεί αυτές. Στην περίπτωση που γνωρίζουμε δηλαδή ποιες είναι οι ενώσεις που προκαλούν τις οσμές που υπάρχουν στο χώρο δειγματοληψίας μπορούμε να μετρήσουμε τις συγκεντρώσεις τους. Στην περίπτωση που πρόκειται για μίγμα ενώσεων χρησιμοποιείται αέρια χρωματογραφία – φασματομετρία μάζας (GC-MS). Με αυτόν τον τρόπο μπορούν να προσδιοριστούν ποιοτικά αλλά και ποσοτικά οι οσμηρές ενώσεις που είναι παρούσες στα δείγματα αέρα που συλλέγουμε. Οι τεχνικές της μέτρησης των συγκεντρώσεων των ενώσεων με όργανα μέτρησης έχουν το πλεονέκτημα της επαναληψιμότητας και του ακριβούς ποσοτικού προσδιορισμού των συγκεντρώσεων των οσμών.

1.4.2 Οσφρησημετρία

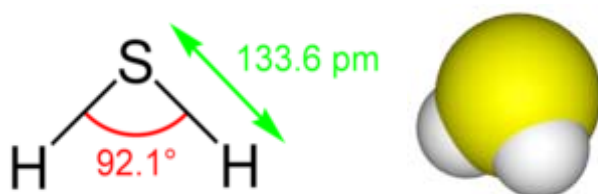
Η εκτίμηση της οσμής που δημιουργείται λόγω της ύπαρξης συγκεκριμένων χημικών ενώσεων στην ατμόσφαιρα στην περίπτωση που πρόκειται για μίγματα ενώσεων είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη. Οι ενώσεις που μπορεί να εντοπιστούν έχουν μεγάλο εύρος συγκεντρώσεων (από υψηλές συγκεντρώσεις της τάξης των ppm, μέχρι ιδιαίτερα χαμηλές συγκεντρώσεις της τάξης των λίγων ppb) και διαφορετικά όρια ανίχνευσης. Επιπλέον ο συνδυασμός των ενώσεων μπορεί να προκαλέσει εντελώς διαφορετικό αποτέλεσμα σε σχέση με αυτό που θα προκαλούσε η παρουσία της κάθε ένωσης ξεχωριστά. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται ευρύτερα η μέθοδος της οσφρησημετρίας (olfactometry) (CEN, 2003).

Η μέθοδος της οσφρησημετρίας παρέχει την δυνατότητα να εκτιμήσουμε ποσοτικά και ποιοτικά την ένταση της οσμής, όχι όμως τις συγκεντρώσεις των ενώσεων που την προκαλούν. Για να εφαρμοστεί αυτή η μέθοδος υπάρχουν εξειδικευμένοι άνθρωποι οι οποίοι περνούν δοκιμασίες σε σχέση με την οσφρητική τους ικανότητα. Συνήθως χρησιμοποιείται μια ομάδα 5 - 7 ανθρώπων οι οποίοι χρησιμοποιώντας κατάλληλο εξοπλισμό εισπνέουν δείγματα αέρα που έχουν ληφθεί από την μελετώμενη περιοχή. Η εισπνοή ξεκινά με δείγματα αέρα τα οποία έχουν υποστεί αραίωση τέτοια ώστε να μην είναι αντιληπτή η οσμή. Σταδιακά μειώνεται η παροχή καθαρού αέρα στο δείγμα που εισπνέουν μέχρι το σημείο που θα αρχίσουν να αντιλαμβάνονται την ύπαρξη μιας οσμής. Το πλήθος των αραιώσεων που έχει υποστεί το δείγμα στο σημείο αυτό εκφράζει την όριο ανίχνευσης της οσμής μετρημένο σε odour units. Στη συνέχεια μειώνεται περαιτέρω ο όγκος του καθαρού αέρα που αναμιγνύεται με το δείγμα ώσπου να γίνει αντιληπτή η χαρακτηριστική

οσμή της ένωσης που περιέχεται στο δείγμα. Ο αριθμός των αραιώσεων που έχει υποβληθεί το δείγμα στο σημείο αυτό είναι το όριο αναγνώρισης της συγκεκριμένης οσμής. Εισπνέοντας το δείγμα του αέρα χωρίς να έχει υποστεί αραιώσεις, στη συνέχεια, χαρακτηρίζεται η οσμή ως προς την έντασή της αλλά και τον «χαρακτήρα» της.

1.5 Υδρόθειο

Το υδρόθειο (H_2S) είναι ένα άχρωμο, τοξικό, εύφλεκτο αέριο το οποίο έχει ιδιαίτερα έντονη οσμή που παρομοιάζεται με τη μυρωδιά του σάπιου αυγού. Είναι διαλυτό σε πολλά υγρά συμπεριλαμβανομένου του νερού και της αλκοόλης. Συνήθως, προκύπτει από την αναερόβια αποσύνθεση οργανικής ύλης σε βάλτους, υπονόμους και κέντρα επεξεργασίας λυμάτων. Επίσης, συναντάται σε ηφαιστειακά αέρια, θερμές πηγές αλλά και σε μερικά πηγάδια (USEPA, 1993).



Σχήμα 2: Το μόριο του υδρόθειου.

Η μέση συγκέντρωση υποβάθρου του υδρόθειου στον ατμοσφαιρικό αέρα είναι 0,1-0,2 ppb. Σε περιοχές ωστόσο που βρίσκονται κοντά σε γεωθερμικά ενεργά πεδία οι

συγκεντρώσεις υποβάθρου μπορεί να είναι αρκετά μεγαλύτερες. Για παράδειγμα, στην πόλη Rotorua της Νέας Ζηλανδίας η συγκέντρωση του υδρόθειου είναι μεγαλύτερη από 0,05 ppm για πάνω από το 55% του έτους (Durand και Scott, 2003). Επίσης κοντά σε σημειακές πηγές οι συγκεντρώσεις μπορεί να είναι ακόμα πιο αυξημένες φτάνοντας τις μερικές δεκάδες ppm ενώ σε περιπτώσεις ατυχημάτων από βιομηχανικές μονάδες που εκλύουν υδρόθειο οι συγκεντρώσεις στις γύρω περιοχές έχουν φτάσει από 100 ppm μέχρι και 12.000 ppm (W.H.O., 1981). Υπολογίζεται ότι το 10% περίπου των παγκόσμιων εκπομπών υδρόθειου οφείλονται σε ανθρώπινες δραστηριότητες (USEPA, 1993).

Το υδρόθειο τείνει να συσσωρεύεται στο κάτω μέρος χώρων που δεν αερίζονται επαρκώς. Η οσμή του είναι πολύ έντονη στην αρχή αλλά γρήγορα «νεκρώνει» την αίσθηση της οσμής με αποτέλεσμα να αυξάνεται η επικινδυνότητά του επειδή μπορεί κάποιος να εκτεθεί σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις υδρόθειου χωρίς να το καταλάβει.

Το υδρόθειο πλήττει κυρίως το νευρικό σύστημα αλλά μπορεί να πλήξει και πολλά άλλα συστήματα του σώματος. Η τοξικότητά του είναι συγκρίσιμη με αυτήν του υδροκυανίου. Δημιουργεί ένα πολύπλοκο δεσμό με το σίδηρο στα κυτόχρωμα (κάθε σύνθετη πρωτεΐνη αποτελούμενη από σίδηρο και πρωτεΐνη της κατηγορίας των αναπνευστικών χρωστικών με σημαντικό καταλυτικό ρόλο στις οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις των κυττάρων) εμποδίζοντας το οξυγόνο να έρθει σε επαφή και σταματώντας έτσι την κυτταρική αναπνοή. Στον οργανισμό του ανθρώπου υπάρχουν ένζυμα που μπορούν να απενεργοποιήσουν το υδρόθειο μετατρέποντας το σε θειικά άλατα. Επομένως το υδρόθειο σε χαμηλές συγκεντρώσεις μπορεί να αντιμετωπιστεί από τον οργανισμό. Ωστόσο, για συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από μια καθορισμένη τιμή, τα ένζυμα αυτά μπορεί να μην αρκούν για την εξουδετέρωση του υδρόθειου. Το όριο αυτό είναι περίπου 300-350 ppm. Για το λόγο αυτό οι εργαζόμενοι σε

εγκαταστάσεις όπου είναι πιθανό να βρεθούν εκτεθειμένοι σε υψηλές συγκεντρώσεις υδρόθειου πρέπει να έχουν μαζί τους ένα φορητό μετρητή υδρόθειου ο οποίος θα τους ειδοποιεί όταν η συγκέντρωση του υπερβεί τα 10-15 ppm (Arnold et al., 1985; W.H.O. 1981).

Η έκθεση σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις μπορεί να οδηγήσει, μεταξύ άλλων, σε ερεθισμό των ματιών, βήχα και δύσπνοια. Τα συμπτώματα αυτά συνήθως εξαφανίζονται σε περίοδο μερικών ημερών. Η μακροχρόνια έκθεση όμως σε χαμηλές συγκεντρώσεις υδρόθειου μπορεί να οδηγήσουν σε κόπωση, απώλεια της όρεξης, πονοκεφάλους, αποδυνάμωση της μνήμης και ζαλάδες. Υψηλότερες συγκεντρώσεις της τάξης των 700-800 ppm μπορούν να αποβούν θανατηφόρες (Bateset et al., 2002, Legator, 2001, Hirsch και Zavala, 1999). Στη συνέχεια παρουσιάζονται συνοπτικά οι επιπτώσεις που προκαλούνται από τις διάφορες συγκεντρώσεις υδρόθειου στην ατμόσφαιρα.

- 0,142-1,42 ppb: **Όριο ανίχνευσης**
- 3-4 φορές μεγαλύτερο από το όριο ανίχνευσης: **Όριο αναγνώρισης** (η συγκέντρωση στην οποία το 50% των ανθρώπων μπορούν να ανιχνεύσουν την χαρακτηριστική οσμή του υδρόθειου)
- 10-20 ppm: Αρχίζει ο **ερεθισμός των ματιών**
- 50-100 ppm: Πιθανή **πρόκληση βλαβών στα μάτια**
- 150-250 ppm: **Το κέντρο της όσφρησης απενεργοποιείται** μετά από μερικές εισπνοές με αποτέλεσμα να μην υπάρχει η αίσθηση της όσφρησης η οποία είναι αυτή που προειδοποιεί για τον κίνδυνο που υπάρχει.
- 320-530 ppm: Πρόκληση **πνευμονικού οιδήματος** με την πιθανότητα θανάτου

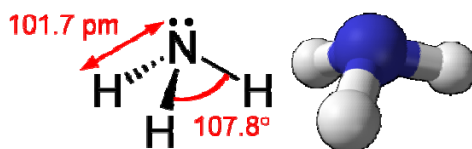
- ο 530-1000 ppm: Ισχυρή **διέγερση του κεντρικού νευρικού συστήματος** και πρόκληση γρήγορης αναπνοής με αποτέλεσμα την διακοπή της
- ο >1000 ppm: **Άμεση κατάρρευση** με διακοπή της αναπνοής ακόμα και με μία μόνο εισπνοή

Δεν υπάρχουν ακριβή δεδομένα σχετικά με την απορρόφηση του υδρόθειου μέσω των πνευμόνων αλλά η απορροφώμενη αναλογία είναι πιθανά πολύ υψηλή. Το υδρόθειο σε φυσιολογικές τιμές του pH διασπάται σε ιόν υδρόθειου και υδρογόνο και σε αυτή τη μορφή απορροφάται από τον οργανισμό. Ο ρυθμός απορρόφησης του μέσω του γαστρεντερικού συστήματος δεν είναι γνωστός αλλά εκτιμάται επίσης να είναι σημαντικός. Η διείσδυση μέσω του δέρματος είναι ασήμαντη. Οι απορροφώμενες ποσότητες υδρόθειου συγκεντρώνονται κυρίως στο ήπαρ αλλά έχει εντοπιστεί επίσης και στα νεφρά και τους πνεύμονες. Σε 5 θανατηφόρες περιπτώσεις δηλητηρίασης από υδρόθειο, οι συγκεντρώσεις στο αίμα ήταν από 1.7 μέχρι 3.75 mg/l. Η συγκέντρωση υδρόθειου που είχαν εισπνεύσει τα θύματα ήταν της τάξης των 750-1400 mg/m³ (W.H.O., 2000).

1.6 Αμμωνία

Η αμμωνία είναι ένα αέριο άχρωμο, με χαρακτηριστική καυστική και αποπνικτική οσμή. Στην ατμόσφαιρα βρίσκεται σε συγκέντρωση υποβάθρου 5 μg/m³ και προκύπτει κυρίως μέσα από φυσικές διεργασίες μέσω της δράσης βακτηρίων. Οι ανθρωπογενείς εκπομπές αμμωνίας στην ατμόσφαιρα φτάνουν τους 4·10⁶ τόνους/

έτος, ενώ οι φυσικές εκπομπές τους $37 \cdot 10^8$ τόνους/ έτος (W.H.O., 1986, Luebs και Laag, 1973).



Σχήμα 3: Το μόριο της αμμωνίας.

Η αμμωνία προκαλεί ερεθισμούς στο αναπνευστικό σύστημα λόγω της καυστικότητάς της. Η έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις αμμωνίας μπορεί να προκαλέσει εγκαύματα στο ανώτερο αναπνευστικό σύστημα με άμεσες σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία. Η εισπνοή χαμηλότερων συγκεντρώσεων προκαλεί βήχα, και ερεθισμό της μύτης και του λαιμού. Η χαρακτηριστική οσμή της αμμωνίας καθιστά αδύνατη την εισπνοή της σε υψηλές συγκεντρώσεις χωρίς να γίνει αντιληπτή. Σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις ωστόσο, στην περίπτωση που η έκθεση έχει μεγάλη χρονική διάρκεια μπορεί να μην γίνεται αντιληπτή λόγω της εξοικείωσης του οσφρητικού συστήματος με την συγκεκριμένη οσμή.

Η αμμωνία βρίσκεται στην ατμόσφαιρα σε απομακρυσμένες περιοχές σε συγκεντρώσεις 0,001 – 0,005 ppm (ATSDR 2004), αλλά τυπικές συγκεντρώσεις αμμωνίας σε αστικές περιοχές και αγροτικές περιοχές μπορούν να φτάνουν τα 0,029 και 0,007 ppm, αντίστοιχα (Ontario Ministry of the Environment, 2001). Το όριο ανίχνευσης της αμμωνίας είναι τα 5 ppm ενώ η χαρακτηριστική της οσμή γίνεται αντιληπτή σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 17 ppm. Το όριο ανίχνευσης της χαρακτηριστικής οσμής της αμμωνίας έχει προσδιοριστεί σε διάφορες μελέτες και οι τιμές που προέκυπταν κυμαίνονται από 5 - 53 ppm (NRC, 2002; ATSDR 2004; ATSDR 2006; OSHA 2008). Η τιμή των 17 ppm προκύπτει ως η μέση τιμή αυτών

των αποτελεσμάτων και χρησιμοποιείται σε πολλές μελέτες σχετικά με την αμμωνία ως οσμηρή ένωση (ATSDR, 2006, Amshel et al., 2000; OSHA 2008). Σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις μπορεί να προκαλέσει ερεθισμό στα μάτια και το ανώτερο αναπνευστικό σύστημα ενώ σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 5000 ppm μπορεί να προκαλέσει σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία ακόμα και με βραχυχρόνια έκθεση. Στον πίνακα 7 παρουσιάζονται οι επιπτώσεις στην υγεία λόγω της ύπαρξης αμμωνίας στην ατμόσφαιρα σε διάφορες συγκεντρώσεις. Οι ποσότητες αμμωνίας που εισέρχονται στον ανθρώπινο οργανισμό δεν συσσωρεύονται και δεν έχει αναφερθεί κάποια επίπτωση στην υγεία λόγω μακροχρόνιας έκθεσης στην αμμωνία.

Πίνακας 7: Επιπτώσεις της αμμωνίας στην υγεία (Amshel et al., 2000; ATSDR 2004; ATSDR, 2006).

Συγκέντρωση (ppm)	Επιπτώσεις στην υγεία
5	Όριο ανίχνευσης
17	Όριο αναγνώρισης
50	Ερεθισμός των ματιών, μύτης, λαιμού
500	Όριο ακίνδυνης βραχυπρόθεσμης έκθεσης
700-1.700	Βήχας, έντονος ερεθισμός ματιών, πόνος στο στήθος
>5.000	Δερματολογικά εγκαύματα, συσώρευση υγρού στους πνεύμονες, πιθανός θάνατος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ ΡΥΠΩΝ

2.1 Εισαγωγή

Ως ατμοσφαιρικά μοντέλα ονομάζουμε ένα σύστημα εξισώσεων το οποίο χρησιμοποιείται για να περιγράψει τις φυσικές και/ή τις χημικές διεργασίες στην ατμόσφαιρα προσομοιώνοντας την συμπεριφορά μιας μάζας αέρα μετά την εκπομπή της στην ατμόσφαιρα. Το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι η χωρική και χρονική κατανομή των ατμοσφαιρικών ρύπων.

Τα απλούστερα μοντέλα διασποράς ρύπων είναι τα μοντέλα κυψελίδας 0-διαστάσεων (box models), όπου η ατμόσφαιρα χωρίζεται σε περιοχές («κουτιά»). Σε κάθε «κουτί» η σύσταση του αέρα αλλά και οι συνθήκες που επικρατούν θεωρείται ότι είναι ομογενείς. Χρησιμοποιούνται αρκετά σε περιπτώσεις όπου επιλύουμε ένα πρόβλημα και η μελετώμενη περιοχή είναι αρκετά μικρή ώστε η παραδοχή της ομοιογένειας να μην μας στερήσει σημαντική πληροφορία.

Τα πρώτα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν για την μελέτη της ατμοσφαιρικής διασποράς είναι τα γκαουσιανά μοντέλα (Bosanquet και Pearson, 1936). Η βασική παραδοχή που γίνεται είναι ότι η διασπορά των ρύπων στην ατμόσφαιρα ακολουθεί μια Γκαουσιανή κατανομή. Τα μοντέλα αυτά μπορούν να διακριθούν σε 2 κατηγορίες, τα μοντέλα πλουμίου (plume models) και τα μοντέλα πακέτων μάζας (puff models).

Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται ευρύτατα δυο κατηγορίες μοντέλων που δεν χρησιμοποιούν την προσέγγιση των γκαουσιανών μοντέλων. Τα Eulerian και τα Lagrangian μοντέλα. Στα Eulerian μοντέλα, η συμπεριφορά των ρύπων περιγράφεται

ως προς σταθερό σύστημα συντεταγμένων ενώ στα Lagrangian μοντέλα οι μεταβολές της συγκέντρωσης περιγράφονται ως προς τις κινούμενες αέριες μάζες (Seinfeld και Pandis, 2006).

Για τη μελέτη της διασποράς των οσμών στην ατμόσφαιρα υπάρχει πλήθος μελετών που χρησιμοποιούν γκαουσιανά μοντέλα διασποράς. Στην παρούσα διατριβή έγινε μια λεπτομερής έρευνα σχετικά με την καταλληλότητα των μοντέλων διασποράς για εφαρμογή σε μια μελέτη που αφορά τη διασπορά οσμών. Το μοντέλο που κρίθηκε ως καταλληλότερο είναι το AERMOD το οποίο είναι ένα Γκαουσιανό μοντέλο πλουμίου σταθερής κατάστασης που αναπτύχθηκε από την US-EPA (United States Environmental Protection Agency). Στη συνέχεια επισημαίνονται οι τροποποιήσεις που απαιτούνται στον κώδικα του μοντέλου ώστε να είναι εφικτή η χρήση του για τη συγκεκριμένη μελέτη.

2.2 Μοντέλα διασποράς

Τα μοντέλα διασποράς χρησιμοποιούνται ευρύτατα για την εκτίμηση των συγκεντρώσεων ρύπων που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα. Τα μοντέλα αυτά αποτελούν μαθηματικές εκφράσεις των φυσικών και χημικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στην ατμόσφαιρα. Ο στόχος της μοντελοποίησης της διασποράς οσμών είναι ο ακριβής προσδιορισμός των συγκεντρώσεων των οσμών σε διάφορες αποστάσεις από την πηγή (ή τις πηγές) και για διάφορες μετεωρολογικές συνθήκες. Τα μοντέλα διασποράς έχουν αναπτυχθεί ώστε να λαμβάνουν υπόψη διαφορετικά είδη πηγών (σημειακές, επιφανειακές), διαφορετικές χρήσεις γης (αγροτικές, αστικές

εκτάσεις), διαφορετικό τύπο εκπομπής (συνεχής, στιγμιαία) και διαφορετικές μετεωρολογικές συνθήκες.

Οι διαφορές μεταξύ της μοντελοποίησης της διασποράς ρύπων σε σχέση με τους «κλασσικούς» ρύπους εμφανίζονται σε 3 σημεία: την πηγή, τον αποδέκτη (οσφρητικό σύστημα) και την «διαδρομή» από την πηγή στον αποδέκτη. Οι εκπομπές οσμών συνήθως πραγματοποιούνται από επιφανειακές πηγές κοντά στο έδαφος και μπορούν να καταλαμβάνουν μεγάλη έκταση (πχ δεξαμενές, χώροι απόθεσης απορριμμάτων). Η χωρική/χρονική κλίμακα του μοντέλου που θα χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη της διασποράς των οσμών πρέπει να είναι σχετικά μικρή (χωρική κλίμακα της τάξης των λίγων χιλιομέτρων). Επιπλέον ιδιαιτερότητες όσον αφορά στη διασπορά οσμών είναι η δυσκολία στον προσδιορισμό των εκπομπών οσμηρών ενώσεων αλλά και η έντονη χωρική και χρονική διακύμανση στον ρυθμό εκπομπής των ενώσεων αυτών (Smith, 1993; Zhu et al., 1998).

Στην περίπτωση που μελετάμε οσμηρές ενώσεις, πολλά από τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται κρίθηκαν ανεπαρκή ή δύσχρηστα ως προς τα απαιτούμενα δεδομένα, τους περιορισμούς στην εφαρμογή τους ή την χωρική/χρονική κλίμακα στην οποία μπορούν να εφαρμοστούν.

Μερικά από τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται για τη μελέτη της διασποράς ρύπων στην ατμόσφαιρα παρουσιάζονται στον πίνακα 8.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα μοντέλα που αναφέρονται στον πίνακα 8, καθώς και οι λόγοι που απορρίφθηκαν για την συγκεκριμένη εφαρμογή της μοντελοποίησης διασποράς οσμών.

Πίνακας 8: Μοντέλα διασποράς ρύπων στην ατμόσφαιρα.

ADMS 3	INPUFF 2
AERMOD	ISCLT 3
AFTOX	ISCST 3
AODM	PLUVUE II
ASPEN	RAM
AUSPLUME	RPM IV
CALINE 4	RTDM 3.2
CALPUFF	SLAB
COMPLEX1	UAM V
EKMA	UAM-AERO

- **ADMS 3:** Το μοντέλο αυτό έχει σχετικά υψηλό κόστος αγοράς και θεωρείται αρκετά δύσκολο μοντέλο. Επίσης υπάρχει περιορισμός στον αριθμό των πηγών ρύπων (CERC, 2004). Οι πηγές σε ένα Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων ή σε μια χοιροτροφική μονάδα είναι πιθανό να υπερβαίνουν τις 6 που είναι το όριο που τίθεται στο συγκεκριμένο μοντέλο.
- **AFTOX:** Το AFTOX είναι ένα Eulerian μοντέλο το οποίο χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση της διασποράς τοξικών ουσιών που εκπέμπονται από

επιφανειακές πηγές στην ατμόσφαιρα (Kunkel., 1991). Για το λόγο αυτό κρίθηκε ακατάλληλο για την μελέτη της διασποράς οσμών.

- **AODM:** Το βασικό πρόβλημα που παρουσιάζει το μοντέλο AODM είναι ότι δεν μπορεί να χειριστεί πάνω από μια σημειακή πηγή. Επιπλέον, δεν λαμβάνει υπόψη το ανάγλυφο της περιοχής και θεωρείται αξιόπιστο για μεγάλες αποστάσεις (μεγαλύτερες από 100 m) (Schaubberger et al., 2000). Τα γεγονότα αυτά το καθιστούν ακατάλληλο για την παρούσα μελέτη.
- **ASPEN:** χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό συγκεντρώσεων τοξικών ρύπων σε μεγάλη χωρική κλίμακα (US EPA, 2000).
- **CALINE 4:** Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση διασποράς ρύπων από γραμμικές πηγές μόνο (Caltrans, 1989) και για το λόγο αυτό κρίθηκε ακατάλληλο για την παρούσα μελέτη.
- **CALPUFF:** Το μοντέλο CALPUFF, ήταν ένα μοντέλο που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη της διασποράς οσμών καθώς παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα (είναι διαθέσιμο δωρεάν, χειρίζεται πολλές πηγές και την επίδραση των κτιρίων και του έντονου ανάγλυφου). Το πρόβλημα που παρουσιάζεται με το μοντέλο CALPUFF είναι ότι είναι σχεδιασμένο για εφαρμογές όπου η χωρική κλίμακα είναι μεγαλύτερη από 5 km (Pratt, 1999). Τα προβλήματα που προκύπτουν από την ύπαρξη οσμών όμως συνήθως εμφανίζονται σε αποστάσεις μικρότερες από 5 km.
- **COMPLEX1:** Το μοντέλο αυτό δέχεται μόνο σημειακές πηγές ενώ οι οσμές από κέντρα επεξεργασίας λυμάτων εκπέμπονται κυρίως από ανοικτές δεξαμενές (Gulfreund et al., 1983).

- **INPUFF2:** Το μοντέλο INPUFF-2 έχει εφαρμοστεί σε αρκετές μελέτες για τη διασπορά των οσμών. Ωστόσο, υπάρχει ένας βασικός περιορισμός που το καθιστά αδύναμο όταν οι οσμές προέρχονται από Κέντρα Επεξεργασίας Λυμάτων. Οι μόνες πηγές που δέχεται είναι σημειακές και επίσης δεν λαμβάνει υπόψη το ανάγλυφο της περιοχής.
- **ISC LT3:** Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιείται για μελέτες μεγάλης χρονικής κλίμακας η οποία δεν είναι αντιπροσωπευτική για την μελέτη της διασποράς οσμών (USEPA, 1995).
- **ISC-ST3:** Το ISC-ST3 έχει αντικατασταθεί τα τελευταία χρόνια από την EPA από το AERMOD λόγω της υπεροχής του δεύτερου, κυρίως όσον αφορά σε περιπτώσεις όπου υπάρχει έντονο ανάγλυφο.
- **UAM V - UAM-AERO:** Πρόκειται για δύσχρηστα μοντέλα με μεγάλες απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ και δεδομένα εισόδου. Επιπλέον μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο για μελέτες μεγάλης χωρικής κλίμακας (STI, 1996, USEPA 1991).
- Επίσης, δεν κρίθηκαν εφαρμόσιμα τα μοντέλα που αναπτύχθηκαν για ερευνητικούς σκοπούς κυρίως, απαιτούν πολύ μεγάλη υπολογιστική ισχύ ή πολύ εξειδικευμένα δεδομένα εισόδου που συνήθως δεν είναι διαθέσιμα.

Το μοντέλο AERMOD συγκεντρώνει αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα υπόλοιπα μοντέλα όπως είναι η δωρεάν διάθεσή του, η φιλικότητα προς το χρήστη, ο χειρισμός όλων των ειδών των πηγών (και όχι μόνο σημειακών), η δυνατότητα επεξεργασίας έντονου ανάγλυφου και της επίδρασης των κτιρίων και τέλος η χωρική

και χρονική κλίμακα που χρησιμοποιεί είναι μικρές σε σχέση με τα υπόλοιπα μοντέλα με αποτέλεσμα να μπορεί να δώσει αξιόπιστες εκτιμήσεις για τις συγκεντρώσεις τόσο μέσα όσο και κοντά σε εγκαταστάσεις που λειτουργούν ως πηγές οσμών στην ατμόσφαιρα (US EPA, 1998). Στη συνέχεια παρουσιάζεται αναλυτικά το μοντέλο AERMOD καθώς και οι τροποποιήσεις που πραγματοποιήθηκαν στον κώδικα του ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικότερα για την μελέτη της διασποράς οσμών.

2.3 Μοντέλο διασποράς AERMOD

2.3.1 Εισαγωγή

Το μοντέλο AERMOD είναι ένα μοντέλο πλουμίου σταθερής κατάστασης (steady-state plume model). Στο ευσταθές οριακό στρώμα η κατανομή συγκεντρώσεων θεωρείται Γκαουσιανή και στον οριζόντιο και στον κατακόρυφο άξονα. Στο οριακό στρώμα μεταφοράς (CBL), η κατανομή συγκεντρώσεων θεωρείται επίσης Γκαουσιανή ενώ στον κατακόρυφο άξονα περιγράφεται από μια bi-Gaussian συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (Willis και Deardorff, 1981; Briggs, 1993).

Το μοντέλο αυτό αποτελείται από το κύριο πρόγραμμα (AERMOD) και δυο προεπεξεργαστές (AERMET και AERMAP). Ο προεπεξεργαστής AERMET δέχεται τα μετεωρολογικά δεδομένα της μελετώμενης περιοχής και υπολογίζει τις μετεωρολογικές παραμέτρους που απαιτούνται για την εφαρμογή του μοντέλου AERMOD (μήκος Monin-Obukhov, ταχύτητα τριβής, ύψος ανάμιξης, αισθητή ροή

θερμότητας κ.ά.). Οι παράμετροι αυτές χρησιμοποιούνται στη συνέχεια για τον προσδιορισμό των κατακόρυφων προφίλ ταχυτήτων ανέμου, την θερμοβαθμίδα, την δυναμική θερμοκρασία και τις διακυμάνσεις στην ταχύτητα του ανέμου. Ο προεπεξεργαστής AERMAP δέχεται ως δεδομένα τις χρήσεις γης καθώς και τα υψόμετρα της μελετώμενης περιοχής και διακριτοποιεί την περιοχή ορίζοντας και τις συντεταγμένες και τα υψόμετρα των αποδεκτών ως προς τις πηγές.

2.3.2 Προεπεξεργαστής Μετεωρολογικών δεδομένων AERMET

Ο βασικός ρόλος του AERMET είναι ο υπολογισμός κάποιων παραμέτρων που χαρακτηρίζουν το οριακό στρώμα ώστε να εισαχθούν στο AERMOD και να είναι εφικτός ο προσδιορισμός των κατακόρυφων κατανομών της ταχύτητας του ανέμου και της θερμοκρασίας. Ο υπολογισμός των παραμέτρων αυτών γίνεται χρησιμοποιώντας μετεωρολογικά δεδομένα που περιγράφουν τη μελετώμενη περιοχή. Για την ακριβέστερη προσομοίωση της υφιστάμενης κατάστασης στην περιοχή που πραγματοποιείται η προσομοίωση απαιτούνται μετεωρολογικά δεδομένα που έχουν ληφθεί από την συγκεκριμένη τοποθεσία (USEPA, 2004).

Η ανάπτυξη και η δομή του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος καθορίζεται από τις ροές θερμότητας και ορμής οι οποίες εξαρτώνται κυρίως από επιφανειακά χαρακτηριστικά. Το βάθος του στρώματος αυτού και η διασπορά των ρύπων μέσα σε αυτό επηρεάζονται σε τοπική κλίμακα από επιφανειακά χαρακτηριστικά όπως η επιφανειακή τραχύτητα και η λευκαύγεια (albedo). Οι επιφανειακές παράμετροι που υπολογίζονται από το AERMET είναι το μήκος Monin-Obukhov (L), η επιφανειακή

ταχύτητα τριβής (u_*), το αεροδυναμικό μήκος τραχύτητας (z_o) και η επιφανειακή ροή θερμότητας (H). Το AERMET επίσης υπολογίζει τα ύψη των στρωμάτων ανάμιξης, λόγω μεταφοράς θερμότητας και μηχανικών διεργασιών z_{ic} και z_{im} αντίστοιχα. Γίνεται επίσης εκτίμηση της ευστάθειας που επικρατεί στο οριακό στρώμα (U.S. EPA, 2004).

2.3.2.1 Ενεργειακό ισοζύγιο στο οριακό στρώμα

Η ανάπτυξη και η δομή του οριακού στρώματος καθορίζονται από την ροή θερμότητας και ορμής μέσα σε αυτό. Στο CBL το ενεργειακό ισοζύγιο που χρησιμοποιείται από το AERMET περιγράφεται από τη εξίσωση 3 (Oke, 1978):

$$H + \lambda \cdot E + G = R_n \quad (3)$$

όπου:

H : η αισθητή ροή θερμότητας

$\lambda \cdot E$: η λανθάνουσα ροή θερμότητας

G : η εδαφική ροή θερμότητας

R_n : η καθαρή ακτινοβολία

Για τον προσδιορισμό της αισθητής ροής ακτινοβολίας γίνεται αντικατάσταση της εδαφικής ροής θερμότητας και της λανθάνουσας ροής θερμότητας μέσω των σχέσεων $G = 0,1 \cdot R_n$ και $\lambda E = H/B_o$, αντίστοιχα και έτσι προκύπτει η εξίσωση 4.

$$H = \frac{0,9 \cdot R_n}{(1 + 1/B_o)} \quad (4)$$

όπου:

B_o : ο λόγος Bowen

R_n : η καθαρή ακτινοβολία

H : η αισθητή ροή θερμότητας

2.3.2.2 Καθαρή ακτινοβολία

Στην περίπτωση που δεν υπάρχουν διαθέσιμες μετρήσεις της R_n , η καθαρή ακτινοβολία υπολογίζεται μέσω του ισοζυγίου της ακτινοβολίας στο έδαφος μέσω της εξίσωσης 5 (Holtslag και van Ulden, 1983).

$$R_n = \frac{(1 - r\{\varphi\})R + c_1 T_{ref}^6 - \sigma_{SB} T_{ref}^4 + c_2 n}{1 + c_3} \quad (5)$$

όπου:

$$c_1 = 5,31 \cdot 10^{-13} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-6}$$

$$c_2 = 60 \text{ Wm}^{-2}$$

$$c_3 = 0,12$$

$$\sigma_{SB} = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$$

T_{ref} : η θερμοκρασία του αέρα στο ύψος αναφοράς

R_n : η καθαρή ακτινοβολία

r : Λευκαύγεια

φ : Ζενίθεια ηλιακή γωνία

Η λευκαύγεια που απαιτείται για τον υπολογισμό της καθαρής ακτινοβολίας υπολογίζεται μέσω της εξίσωσης 6 (USEPA, 2004).

$$r\{\varphi\} = r' + (1 - r')\exp(a\varphi + b) \quad (6)$$

όπου $a=-0,1$

$$b=-0,5(1-r')^2$$

$$r' = r\{\varphi=90^\circ\}$$

Η ηλιακή ακτινοβολία R , διορθωμένη λόγω νεφοκάλυψης, υπολογίζεται βάσει της προσέγγισης των Kasten και Czeplak (1980) μέσω της εξίσωσης 7.

$$R = R_o \left(1 - 0,75n^{3/4}\right) \quad (7)$$

όπου:

n : Νεφοκάλυψη

R_o : Ηλιακή ακτινοβολία χωρίς νεφοκάλυψη που υπολογίζεται από τη σχέση

$$R_o = 990(\sin\varphi) - 30$$

φ : Ζενίθεια γωνία του ήλιου που υπολογίζεται από τη σχέση

$$\varphi = \frac{\varphi\{t_p\} + \varphi\{t\}}{2}$$

(t_p και t είναι η προηγούμενη και η παρούσα ώρα αντίστοιχα)

Στην περίπτωση που δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα νεφοκάλυψης χρησιμοποιείται η τιμή $n=0,5$ (U.S. EPA, 2004).

2.3.2.3 Μετάβαση μεταξύ CBL και SBL

Κατά την μετάβαση του οριακού στρώματος από CBL σε SBL (Ευσταθές Οριακό Στρώμα) η ροή θερμότητας αλλάζει πρόσημο από θετική σε αρνητική. Στο σημείο δηλαδή που συμβαίνει η μετάβαση, η καθαρή ακτινοβολία θα ισούται με μηδέν. Θέτοντας στην εξίσωση 3 $R_o=0$, και λύνοντας ως προς $\sin\varphi$, η κρίσιμη ζενίθεια γωνία του ήλιου φ_{crit} που αντιστοιχεί στο σημείο μετάβασης μεταξύ CBL και SBL μπορεί να υπολογιστεί από την εξίσωση 8.

$$\sin\varphi_{crit} = \frac{1}{990} \left[\frac{-c_1 T^6 + \sigma_{SB} T^4 - c_2 n}{(1-r\{\varphi\})(1-0,75n^{3/4})} + 30 \right] \quad (8)$$

Με αυτόν τον τρόπο το AERMET καθορίζει το ακριβές σημείο της μετάβασης μεταξύ CBL και SBL ως την χρονική στιγμή κατά την οποία η ζενίθεια γωνία του ήλιου $\varphi=\varphi_{crit}$. Συνήθως, για καθαρό ή μερικώς συννεφιασμένο ουρανό, η μετάβαση από το SBL στο CBL συμβαίνει όταν η ζενίθεια γωνία του ήλιου παίρνει την τιμή των 13° ενώ όταν η νεφοκάλυψη παίρνει μεγαλύτερες τιμές η κρίσιμη γωνία παίρνει μεγαλύτερες τιμές (μέχρι και 23°) (Holtslag και van Ulden, 1983).

2.3.2.4 Υπολογισμός ταχύτητας τριβής (u^*) και μήκους Monin-Obukhov (L) στο CBL

Στο CBL, το AERMOD υπολογίζει την ταχύτητα τριβής (u^*) και το μήκος Monin-Obukhov (L) χρησιμοποιώντας την τιμή της αισθητής ροής θερμότητας που προκύπτει από την εξίσωση 4. Εφόσον η ταχύτητα τριβής και το μήκος Monin-Obukhov αλληλοεξαρτώνται, χρησιμοποιείται μια επαναληπτική μέθοδος λαμβάνοντας ως αρχικές τιμές στα u^* και L τιμές που αντιστοιχούν σε ουδέτερες συνθήκες. Οι επαναλήψεις σταματούν όταν επιτευχθεί σύγκλιση και υπάρχει διαφορά μικρότερη από 1% μεταξύ δυο διαδοχικών επαναλήψεων. Η εξίσωση 9 χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του u^* (Panofsky και Dutton, 1984).

$$u_* = \frac{ku_{ref}}{\ln\left(\frac{z_{ref}}{z_o}\right) - \Psi_m\left\{\frac{z_{ref}}{L}\right\} + \Psi_m\left\{\frac{z_o}{L}\right\}} \quad (9)$$

όπου:

k : Σταθερά von Karman (=0,4)

u_{ref} : Ταχύτητα ανέμου στο ύψος αναφοράς

z_{ref} : Ύψος αναφοράς μετρήσεων ανεμολογικών δεδομένων

z_o : Αεροδυναμικό μήκος τραχύτητας

Οι παράγοντες ευστάθειας Ψ_m της εξίσωσης 9 υπολογίζονται από τις εξισώσεις 10-11 (Panofsky και Dutton, 1984).

$$\Psi_m \left\{ \frac{z_{ref}}{L} \right\} = 2 \ln \left(\frac{1+\mu}{2} \right) + \ln \left(\frac{1+\mu^2}{2} \right) - 2 \tan^{-1} \mu + \frac{\pi}{2} \quad (10)$$

$$\Psi_m \left\{ \frac{z_o}{L} \right\} = 2 \ln \left(\frac{1+\mu_o}{2} \right) + \ln \left(\frac{1+\mu_o^2}{2} \right) - 2 \tan^{-1} \mu_o + \frac{\pi}{2} \quad (11)$$

όπου:

$$\mu = \left(1 - \frac{16z_{ref}}{L} \right)^{1/4}$$

$$\mu_o = \left(1 - \frac{16z_o}{L} \right)^{1/4}$$

Στο αρχικό βήμα της επίλυσης αντικαθίσταται στην εξίσωση 9 $\Psi_m = 0$ και $u = u_{ref}$ και χρησιμοποιώντας την αρχική εκτίμηση του u^* υπολογίζεται στη συνέχεια το μήκος Monin-Obukhov χρησιμοποιώντας την εξίσωση 12 (Wyngaard, 1988)

$$L = - \frac{\rho c_p T_{ref} u_*^3}{kgH} \quad (12)$$

όπου:

g : Η επιτάχυνση της βαρύτητας

c_p : Η ειδική θερμότητα του αέρα υπό σταθερή πίεση

ρ : Η πυκνότητα του αέρα

T_{ref} : Η θερμοκρασία του αέρα

Στη συνέχεια βάσει των εξισώσεων 9-12 επαναλαμβάνεται ο υπολογισμός των παραμέτρων μέχρι η διαφορά μεταξύ δυο διαδοχικών επαναλήψεων να είναι μικρότερη από 1%.

2.3.2.5 Ταχύτητα τριβής στο SBL

Σε συνθήκες ευστάθειας ($\frac{z}{L} \leq 0,5$) η ταχύτητα τριβής υπολογίζεται από τη εξίσωση 13 (Panofsky και Dutton, 1984):

$$u_* = \frac{ku}{\left[\ln \frac{z}{z_0} + \frac{\beta_m z_{ref}}{L} \right]} \quad (13)$$

Σε συνθήκες έντονης ευστάθειας το AERMET υπολογίζει την ταχύτητα τριβής στο SBL χρησιμοποιώντας την εξίσωση 14 (Holtslag, 1984):

$$u_* = \frac{ku}{\left[\ln \frac{z}{z_0} + 7 \ln \frac{z}{L} + \frac{4,25}{(z/L)} - \frac{0,5}{(z/L)^2} + \frac{\beta_m}{2} - 1,648 \right]} \quad (14)$$

2.3.2.6 Αισθητή ροή θερμότητας (H) στο SBL

Έχοντας υπολογίσει τα u_* και θ_* για ευσταθείς συνθήκες, το AERMET υπολογίζει την επιφανειακή ροή θερμότητας μέσω της εξίσωσης 15 (Hanna και Paine, 1989):

$$H = -\rho c_p u_* \theta_* \quad (15)$$

Για τον υπολογισμό της θερμότητας που μπορεί να αποδοθεί στην επιφάνεια της γης έχει χρησιμοποιηθεί ο περιορισμός που προκύπτει από προηγούμενες μελέτες (Hanna και Paine, 1989) θέτοντας ως ανώτατη τιμή $H=64\text{Wm}^{-2}$. Στην περίπτωση που προκύψει μεγαλύτερη τιμή, το μοντέλο προχωράει στον επανυπολογισμό της ταχύτητας τριβής, θέτοντας την τιμή που οδηγεί στην μέγιστη επιτρεπτή ροή θερμότητας.

2.3.2.7 Μήκος Monin-Obukhov (L) στο SBL

Έχοντας υπολογίσει την αισθητή ροή θερμότητας και την ταχύτητα τριβής, το μήκος Monin – Obukhov στο SBL υπολογίζεται από την εξίσωση 12.

2.3.2.8 Ύψος ανάμιξης

Το ύψος ανάμιξης (z_i) στο CBL εξαρτάται τόσο από μηχανικές διεργασίες όσο και από διεργασίες μεταφοράς ενώ στο SBL ωστόσο εξαρτάται μόνο από μηχανικές διεργασίες (τύρβη). Το AERMET λαμβάνει υπόψη και τα 2 είδη διεργασιών για τον υπολογισμό του ύψους ανάμιξης.

Στην περίπτωση που δεν υπάρχουν δεδομένα για το ύψος ανάμιξης το AERMET το υπολογίζει χρησιμοποιώντας ένα απλό μονοδιάστατο μοντέλο ενεργειακού ισοζυγίου για το CBL (Weil και Brower, 1983).

$$z_{ic}\theta\{z_{ic}\} - \int_0^{z_{ic}} \theta\{z\}dz = (1 + 2A) \int_0^t \frac{H\{t'\}}{\rho c_p} dt' \quad (16)$$

όπου:

θ : η δυναμική θερμοκρασία

z_{ic} : το ύψος ανάμιξης στο CBL

z : ύψος

A : σταθερά ίση με 0,2 (Deardorff, 1979)

H : η αισθητή ροή θερμότητας

c_p : Η ειδική θερμότητα του αέρα υπό σταθερή πίεση

ρ : Η πυκνότητα του αέρα

Ο προεπεξεργαστής AERMET λαμβάνει επίσης υπόψη την ενδεχόμενη αύξηση του ύψους ανάμιξης λόγω μηχανικών διεργασιών ώστε να προσδιοριστεί το ύψος ανάμιξης για κάθε ώρα της προσομοίωσης.

Τις πρώτες πρωινές ώρες το ύψος ανάμιξης καθορίζεται κατά κύριο λόγο από μηχανικές διεργασίες (τύρβη). Για το λόγο αυτό το AERMET υπολογίζει και το z_{im} ώστε να μην υπάρξει υποεκτίμηση του ύψους ανάμιξης. Όταν δεν υπάρχουν διαθέσιμες μετρήσεις του μηχανικού ύψους ανάμιξης τότε χρησιμοποιείται η προσέγγιση του Zilitinkevich (1972) μέσω της εξίσωσης 17.

$$z_{im} = 0,4 \cdot \left(\frac{u_* L}{f} \right) \quad (17)$$

όπου f είναι η παράμετρος Coriolis.

Σε μέσα γεωγραφικά πλάτη η εξίσωση 17 μπορεί να πάρει την εμπειρική μορφή της εξίσωσης 18 (Venkatram, 1980).

$$z_{im} = 2300u_*^{3/2} \quad (18)$$

Για να αποφευχθούν απότομες μεταβολές κατά τη διάρκεια της μέρας, χρησιμοποιείται μια μέθοδος εξομάλυνσης των τιμών που προκύπτουν σύμφωνα με την μεθοδολογία του Venkatram (1982).

Το ύψος ανάμιξης στο AERMOD έχει πολύ πιο σημαντικό ρόλο στους υπολογισμούς που γίνονται σε σχέση με το ISC3. Στο AERMOD το ύψος ανάμιξης αντιμετωπίζεται ως μια ανυψωμένη επιφάνεια που μπορεί να ανακλά τους ρύπους που φτάνουν σε αυτήν αλλά και να υπάρχει διείσδυση ρύπων διαμέσου αυτού. Η ευστάθεια του οριακού στρώματος καθορίζει ουσιαστικά ποια διεργασία επικρατεί στον καθορισμό του ύψους ανάμιξης. Έτσι, για τιμές του $L < 0$ (CBL) το ύψος ανάμιξης λαμβάνει την μέγιστη τιμή μεταξύ του z_{ic} και z_{im} . Για θετικές τιμές του L (SBL), το ύψος ανάμιξης θεωρείται ίσο με το z_{im} (USEPA, 2004).

2.3.2.9 Κατακόρυφη κατανομή ταχύτητας ανέμου

Για τον υπολογισμό της κατακόρυφης κατανομής των ταχυτήτων ανέμου χρησιμοποιείται η εξίσωση 19. Τουλάχιστον μια μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου στην επιφάνεια της γης είναι απαραίτητη για τον υπολογισμό της κατανομής. Λόγω του ότι η λογαριθμική κατανομή δεν περιγράφει ικανοποιητικά το προφίλ της

ταχύτητας ανέμου για ύψη μικρότερα από τα ύψη εμποδίων ή βλάστησης συνυπολογίζεται μια μείωση της ταχύτητας για ύψη μικρότερα από $7z_o$.

$$\begin{aligned}
 u &= u\{7z_o\} \left[\frac{z}{7z_o} \right] & , \text{ για } z < 7z_o \\
 u &= \frac{u_*}{k} \left[\ln \left(\frac{z}{z_o} \right) - \Psi_m \left\{ \frac{z}{L} \right\} + \Psi_m \left\{ \frac{z_o}{L} \right\} \right] & , \text{ για } 7z_o \leq z \leq z_i \quad (19) \\
 u &= u\{z_i\} & , \text{ για } z > z_i
 \end{aligned}$$

όπου

z_o : αεροδυναμικό μήκος τραχύτητας

L : μήκος Monin – Obukhov

k : σταθερά Von-Karman ($k=0,4$)

z : ύψος

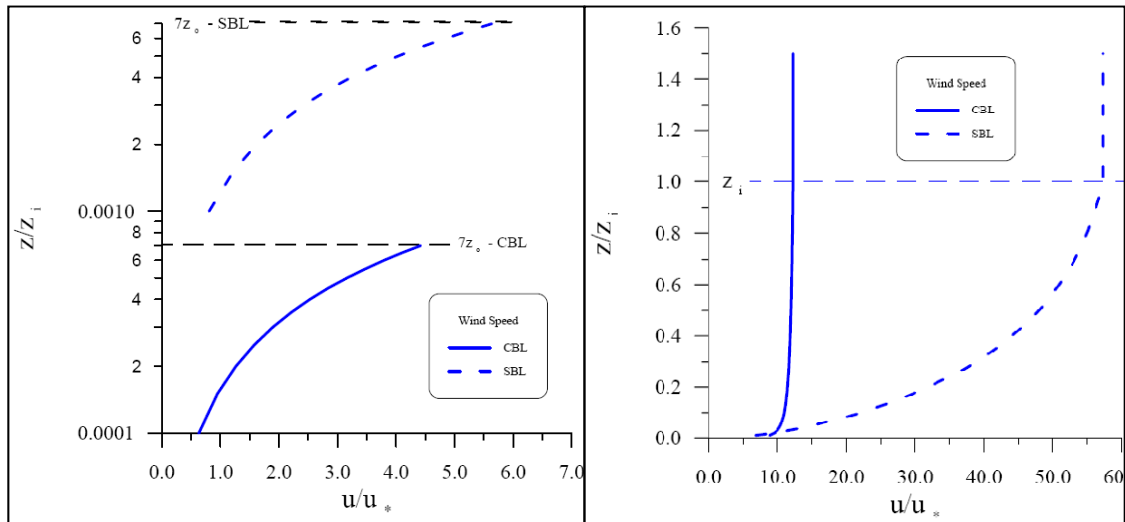
u_* : ταχύτητα τριβής

Οι συναρτήσεις Ψ_m για το CBL καθορίζονται από τις εξισώσεις 10,11 ενώ όταν επικρατούν συνθήκες ευστάθειας υπολογίζονται από την εξίσωση 20 (van Ulden και Holtslag, 1985)

$$\Psi_m \left\{ \frac{z}{L} \right\} = -17 \left[1 - \exp \left(-0,29 \frac{z}{L} \right) \right] \quad (20)$$

$$\Psi_m \left\{ \frac{z_o}{L} \right\} = -17 \left[1 - \exp \left(-0,29 \frac{z_o}{L} \right) \right]$$

Στο σχήμα 4 παρουσιάζεται η μορφή του προφίλ ταχύτητας του ανέμου που λαμβάνει το μοντέλο.



Σχήμα 4: Κατανομή ταχυτήτων ανέμου για ύψη μικρότερα (αριστερό διάγραμμα) ή μεγαλύτερα (δεξί διάγραμμα) από το $7z_o$ (USEPA, 2004).

2.3.2.10 Κατακόρυφη κατανομή διεύθυνσης ανέμου

Η διεύθυνση ανέμου τόσο σε συνθήκες ευστάθειας όσο και σε συνθήκες αστάθειας θεωρείται σταθερή μέσα στο οριακό στρώμα λόγω του χαμηλού ύψους του. Για την εφαρμογή του μοντέλου επομένως, απαιτείται τουλάχιστον μια μέτρηση της διεύθυνσης του ανέμου για κάθε προσομοίωση.

2.3.2.11 Θερμοβαθμίδα

Η θερμοβαθμίδα αποτελεί μια σημαντική παράμετρο που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη για την εφαρμογή του μοντέλου. Για υψόμετρα μικρότερα από 100m χρησιμοποιείται η θερμοβαθμίδα που προτείνεται από τους Dyer (1974) και Panofsky και Dutton (1984) (εξίσωση 21).

$$\frac{\partial \theta}{\partial z} = \frac{\theta_*}{kz} \left[1 + 5 \frac{z}{L} \right] \quad (21)$$

Για υψόμετρα μεγαλύτερα από 100m η θερμοβαθμίδα υπολογίζεται από την μεθοδολογία που προτείνουν οι Stull (1983) και Van Ulden&Holtslag (1985) χρησιμοποιώντας την εξίσωση 22.

$$\frac{\partial \theta}{\partial z} = \frac{\partial \theta\{z_{mx}\}}{\partial z} \exp \left[-\frac{(z-z_{mx})}{0,44z_{i\theta}} \right] \quad (22)$$

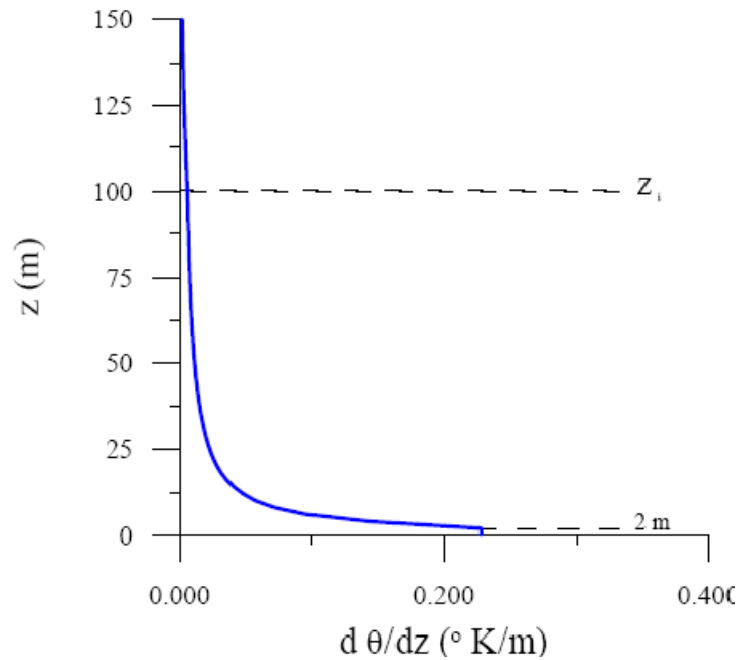
όπου:

$$z_{mx} = 100m$$

$$z_{i\theta} = \text{MAX}[z_{im}, 100m]$$

Για κάθε υψόμετρο χρησιμοποιείται ο περιορισμός για την θερμοβαθμίδα, ότι πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση από $0,002 \text{ km}^{-1}$ (USEPA, 2004).

Στο σχήμα 5 παρουσιάζεται η θερμοβαθμίδα για διάφορα υψόμετρα χρησιμοποιώντας τιμές του $z_{im}=100m$, $L=10m$, $u^*=0.124$, $T_{ref}=293 \text{ K}$ και $\theta^*=0,115K$. Οι συνθήκες αυτές απεικονίζουν ένα ισχυρά ευσταθές οριακό στρώμα.



Σχήμα 5: Δυναμική θερμοβαθμίδα σε συνθήκες ευστάθειας για διαφορετικά υψόμετρα.

2.3.3 Περιγραφή του μοντέλου AERMOD

Το μοντέλο AERMOD είναι ένα μοντέλο πλουμίου σταθερής κατάστασης στο οποίο γίνεται η βασική παραδοχή ότι οι συγκεντρώσεις σε κάθε απόσταση κατά τη διάρκεια μιας ώρας προσομοίωσης καθορίζονται από τις χωρικά και χρονικά μέσες μετεωρολογικές συνθήκες στην μελετώμενη περιοχή. Το μοντέλο επίσης έχει σχεδιαστεί ώστε να λαμβάνει υπόψη την επίδραση του ανάγλυφου του εδάφους στις συγκεντρώσεις των ρύπων.

Η βασική εξίσωση που χρησιμοποιεί το μοντέλο AERMOD είναι η Γκαουσιανή εξίσωση (εξίσωση 23).

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp \left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2} \right] \exp \left[-\frac{(H-z)^2}{2\sigma_z^2} \right] \quad (23)$$

όπου:

$C(x, y, z)$: Η συγκέντρωση του αερίου ρύπου στο σημείο (x,y,z) (συνήθως σε $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)

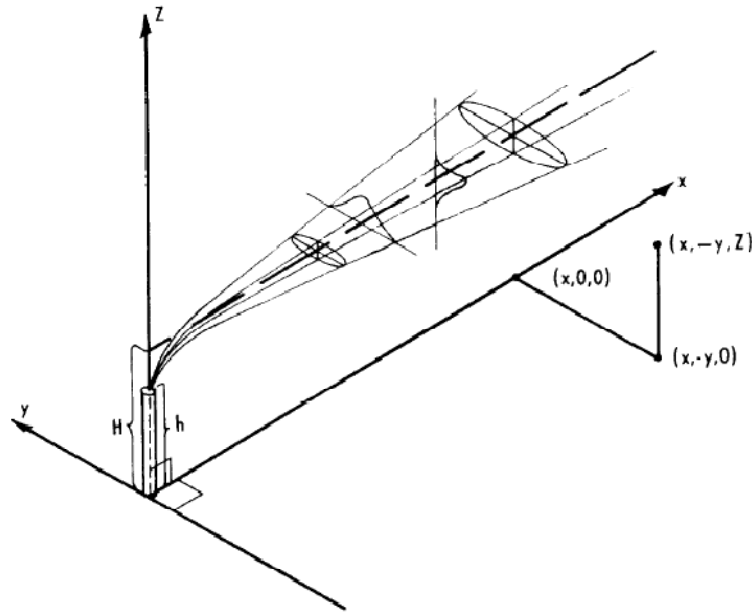
Q : Ρυθμός εκπομπής του υπό μελέτη ρύπου, (συνήθως σε $\mu\text{g}\cdot\text{s}^{-1}$)

u : Ταχύτητα ανέμου ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

σ_y : τυπική απόκλιση της εγκάρσιας κατανομής της συγκέντρωσης (συνάρτηση της απόστασης x από την πηγή και της επικρατούσας ευστάθειας) (m)

σ_z : τυπική απόκλιση της κατακόρυφης κατανομής της συγκέντρωσης (συνάρτηση της απόστασης x από την πηγή και της επικρατούσας ευστάθειας) (m)

H : ύψος του κεντρικού άξονα του θυσάνου (m). Το H περιλαμβάνει τόσο το φυσικό ύψος εκπομπής όσο και την ενδεχόμενη ανύψωση του θυσάνου.



Σχήμα 6: Η κατανομή των συγκεντρώσεων σε ένα θύσανο Gauss.

Στο σχήμα 6 παρουσιάζεται η κατανομή των συγκεντρώσεων σε ένα θύσανο Gauss. Στο ευσταθές οριακό στρώμα (SBL), η κατανομή συγκεντρώσεων θεωρείται ότι είναι Γκαουσιανή τόσο στον οριζόντιο όσο και στον κατακόρυφο άξονα. Στο οριακό στρώμα μεταφοράς, η οριζόντια κατανομή θεωρείται ότι είναι κανονική ενώ η κατακόρυφη περιγράφεται από μια Bi-Gaussian συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (Willis και Deardorff, 1981; Briggs, 1993). Επιπλέον το μοντέλο λαμβάνει υπόψη τη μετάβαση μεταξύ ευσταθών και ασταθών κατακόρυφων τμημάτων της ατμόσφαιρας επιτρέποντας την μεταφορά των ρύπων ανάμεσα στα 2 στρώματα λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση της «επιφάνειας» που διαχωρίζει τα δυο στρώματα. Στην περίπτωση ενός ανυψωμένου ευσταθούς στρώματος, οι ρύποι μπορεί να εισέλθουν και να εγκλωβιστούν σε αυτό μέχρι οι συνθήκες να επιτρέψουν την επανείσοδο των ρύπων στο κατώτερο στρώμα (USEPA, 2004).

Σε αστικές περιοχές, το μοντέλο λαμβάνει υπόψη το είδος του οριακού στρώματος που αναπτύσσεται κατά τη διάρκεια της νύχτας, λόγω της ροής θερμότητας από την πόλη προς την ατμόσφαιρα, γεγονός το οποίο διαφοροποιεί τις συνθήκες που επικρατούν σε σχέση με μη αστικές περιοχές (Oke, 1978, 1982).

Σε γενικές γραμμές, το AERMOD μελετά το πλούμιο σαν συνδυασμό δυο διαφορετικών πλουμίων. Το ένα μεταφέρεται οριζόντια (προσκρούοντας στο έδαφος σε περίπτωση ανυψωμένης επιφάνειας) και το άλλο ακολουθεί την πορεία του εδάφους. Η πορεία των ρύπων καθορίζεται λαμβάνοντας υπόψη και τα δυο θεωρητικά μοντέλα (Venkatram et al., 2001) μέσω της εξίσωσης 24.

$$C\{x_r, y_r, z_r\} = f \cdot C_{c,s}\{x_r, y_r, z_r\} + (1 - f)C_{c,s}\{x_r, y_r, z_p\} \quad (24)$$

όπου:

$C\{x_r, y_r, z_r\}$: η ολική συγκέντρωση

$C_{c,s}\{x_r, y_r, z_r\}$: η συνεισφορά λόγω του πλουμίου που μεταφέρεται οριζόντια

$C_{c,s}\{x_r, y_r, z_p\}$: η συνεισφορά του πλουμίου που ακολουθεί την επιφάνεια του εδάφους

$\{x_r, y_r, z_r\}$: Οι συντεταγμένες του αποδέκτη

$z_p = z_r - z_t$: Το ύψος του αποδέκτη σε σχέση με το ύψος της πηγής.

f : συντελεστής που καθορίζει την επίδραση του κάθε πλουμίου.

2.4 Απαραίτητες τροποποιήσεις του μοντέλου AERMOD

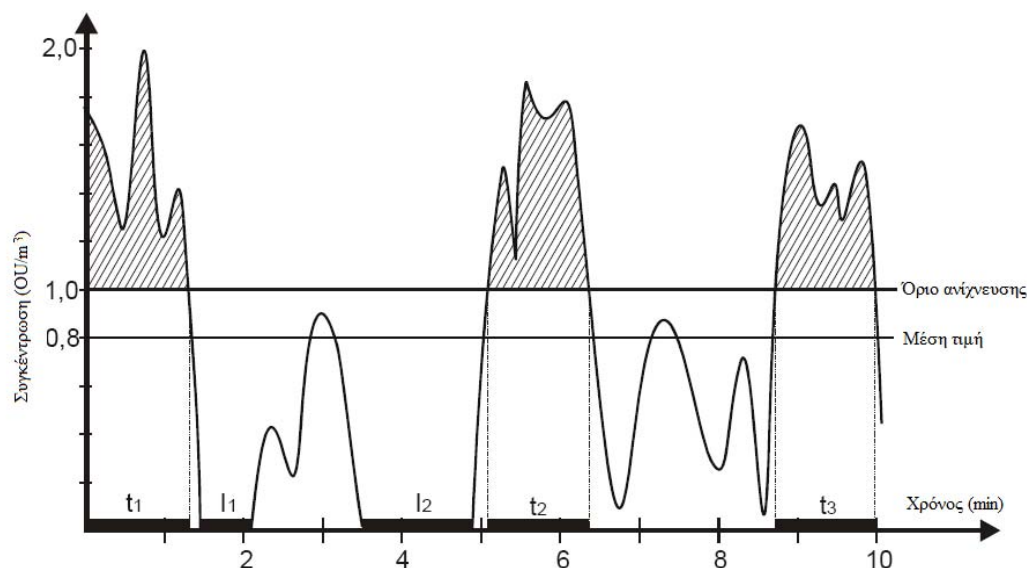
Κατά την εφαρμογή του εκάστοτε μοντέλου διασποράς για τη μελέτη της διασποράς οσμών, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη μερικοί πολύ σημαντικοί παράμετροι που διαφοροποιούν τη μελέτη των οσμών σε σχέση με τους υπόλοιπους ρύπους.

Οι διαδικασίες που απαιτούνται υλοποιήθηκαν σε γλώσσα προγραμματισμού FORTRAN 90 και ενσωματώθηκαν στον κώδικα του μοντέλου διασποράς AERMOD. Στη συνέχεια θα αναλύσουμε τις επιμέρους αλλαγές που απαιτούνται για τον κώδικα του μοντέλου.

2.4.1 Λόγος μέγιστης προς τη μέση τιμή (peak to mean ratio)

Τα περισσότερα μοντέλα διασποράς αερίων ρύπων χρησιμοποιούν ως ελάχιστο χρονικό βήμα, 30 min – 60 min. Για τον ανθρώπινο οργανισμό όμως, ο χρόνος που απαιτείται για να ανιχνευθεί η οσμή είναι πολύ μικρότερος, και είναι ίσος με το χρόνο που απαιτείται για μια εισπνοή. Επομένως οι διακυμάνσεις της συγκέντρωσης των οσμών σε πολύ μικρότερη χρονική κλίμακα από αυτήν που μας παρέχουν τα υπάρχοντα μοντέλα πρέπει να ληφθούν υπόψη. Για να προσομοιώσουμε την αίσθηση αυτή, πρέπει να ανάγουμε τα αποτελέσματα του Γκαουσιανού μοντέλου σε αποτελέσματα με χρονικό βήμα 1 – 10 sec. Ένα μοντέλο διασποράς δεν θα μπορούσε να εφαρμοστεί χρησιμοποιώντας τόσο μικρό χρονικό βήμα μιας και είναι κατασκευασμένα ώστε να δέχονται δεδομένα αλλά και να δίνουν αποτελέσματα για μεγαλύτερες χρονικές κλίμακες.

Η προσέγγιση που χρησιμοποιείται στην παρούσα μελέτη επεξηγείται με τη βοήθεια του παρακάτω παραδείγματος.



Σχήμα 7: Ενδεικτική μεταβολή της συγκέντρωσης οσμής με το χρόνο.

Στο διάγραμμα του σχήματος 7 παρουσιάζεται η συγκέντρωση της οσμής σε OU/m^3 σε σχέση με τον χρόνο. Το όριο ανίχνευσης εξ' ορισμού αντιστοιχεί σε συγκέντρωση ίση με $1 \text{ OU}/\text{m}^3$. Εδώ παρατηρούμε ότι η μέση τιμή για το 10λεπτο που μελετάται είναι ίση με $0,8 \text{ OU}/\text{m}^3$. Επομένως αν το χρονικό βήμα που επιλέγουμε για τη μελέτη μας είναι ίσο με 10 λεπτά, τότε θεωρείται ότι η οσμή δεν είναι ανιχνεύσιμη. Το γεγονός αυτό δεν ισχύει μιας και ο χρόνος που απαιτείται για τον ανθρώπινο οργανισμό να ανιχνεύσει μια οσμή είναι ίσος με το χρόνο που απαιτείται για μια εισπνοή. Έτσι, για τα χρονικά διαστήματα t_1 , t_2 και t_3 παρατηρείται υπέρβαση του ορίου ανίχνευσης και άρα πρόκληση όχλησης από την οσμή. Τα στοιχεία που μπορούμε να αντλήσουμε από το παραπάνω διάγραμμα είναι τα εξής:

Μέση συγκέντρωση δεκαλέπτου: $C_{\text{mean}}=0,8 \text{ OU}/\text{m}^3$

Μέγιστη στιγμιαία συγκέντρωση: $C_{\text{max}}=2,0 \text{ OU}/\text{m}^3$

$$\text{Συχνότητα υπέρβασης του ορίου ανίχνευσης: } F = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{t_{o\lambda}}$$

$$\text{Συχνότητα εμφάνισης μη μηδενικής συγκέντρωσης του ρύπου: } I = 1 - \frac{I_1 + I_2}{t_{o\lambda}}$$

Οι συντελεστές t_1 , t_2 , t_3 , I_1 , I_2 αντιστοιχούν στα χρονικά διαστήματα που παρουσιάζονται στο σχήμα 7.

$$\text{Διακύμανση: } \sigma_c^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (C_i - \bar{C})^2$$

Όπως φαίνεται από το παραπάνω παράδειγμα, απαιτείται η εισαγωγή ενός συντελεστή ο οποίος θα βοηθά στην συσχέτιση των μέγιστων τιμών των συγκεντρώσεων με τις μέσες τιμές ώστε να ποσοτικοποιείται η όχληση που μπορεί να προκληθεί από την παρουσία οσμών στην ατμόσφαιρα. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιείται ένας διορθωτικός συντελεστής ο οποίος ονομάζεται «λόγος μέγιστης προς τη μέση τιμή» (peak to mean ratio). Έτσι, η μέγιστη αναμενόμενη συγκέντρωση (C_p), για το χρονικό διάστημα μιας αναπνοής (t_p) μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας την εξίσωση 25 (Smith, 1973; Schauburger και Piringer, 2004; Ministry for the Environment, 2002):

$$C_p = \left(\frac{t_m}{t_p} \right)^p C_m \quad (25)$$

όπου:

C_p : η μέγιστη συγκέντρωση

C_m : η μέση συγκέντρωση

t_m : το χρονικό βήμα για το οποίο υπολογίζεται η μέση συγκέντρωση

t_p : το χρονικό βήμα για το οποίο υπολογίζεται η μέγιστη συγκέντρωση

p : εμπειρική σταθερά

Ως χρονικό βήμα t_m χρησιμοποιήθηκε η 1 h (3600 s) λόγω του ότι τα μοντέλα διασποράς συνήθως δίνουν ωριαίες συγκεντρώσεις ως αποτελέσματα. Το χρονικό βήμα που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της μέγιστης αναμενόμενης συγκέντρωσης είναι τα 5 s. Λόγω της πολύ έντονης διακύμανσης στην τιμή της συγκέντρωσης των οσμών, όταν αναφερόμαστε στη συχνότητα εμφάνισης της όχλησης που προκαλείται από την παρουσία οσμών στην ατμόσφαιρα πρέπει απαραίτητα να επιλέγουμε όσο το δυνατόν μικρότερα χρονικά βήματα. Στο κεφάλαιο 5 γίνεται μια διερεύνηση της χρήσης διαφορετικών τιμών του t_p .

Η εμπειρική σταθερά p εξαρτάται από τις μετεωρολογικές συνθήκες και την απόσταση από την πηγή. Οι τιμές της κυμαίνονται ανάμεσα σε 0.2 και 0.5 κοντά στην πηγή και μειώνονται καθώς αυξάνεται η απόσταση από την πηγή (Schaubergger και Piringer, 2004; Smith, 1973; Venkatram 2002). Αρκετές μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί για τον προσδιορισμό της σταθεράς που πρέπει να χρησιμοποιείται σε κάθε περίπτωση (Venkatram, 2002, Mavroidis, 2009). Στο κεφάλαιο 5 μελετάται η επίδραση της χρήσης διαφορετικών τιμών της σταθεράς p στα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή του μοντέλου.

Οι επιβλαβείς επιπτώσεις στην υγεία που προκαλούνται από την μακροχρόνια έκθεση του ανθρώπου σε οσμές αλλά και η αυξανόμενη συχνότητα αναφοράς παραπόνων σχετικά με τις οσμές επιτείνουν την ανάγκη για την κατά το δυνατόν μείωση των εκπομπών οσμών και την εκπόνηση περιβαλλοντικών μελετών εκτίμησης των επιπτώσεων των οσμών σε κάθε περίπτωση. Αυτές οι μελέτες στηρίζονται συνήθως στην αρχή της «αραίωσης στο όριο ανίχνευσης». Η «αραίωση στο όριο ανίχνευσης»

είναι ένα μέτρο της έντασης της οσμής, το οποίο εκφράζει τον όγκο στον οποίο πρέπει να αραιωθεί το οσμηρό δείγμα αέρα ώστε να μην είναι πλέον ανιχνεύσιμη η οσμή του. Ωστόσο, για να γίνει η εκτίμηση της όχλησης που προκαλείται από την παρουσία οσμηρών ενώσεων στην ατμόσφαιρα είναι προτιμότερο να χρησιμοποιούνται στατιστικοί όροι μιας και η συγκέντρωση δεν δίνει την πληροφορία που βοηθά στην εκτίμηση της όχλησης που προκαλείται. Για το λόγο αυτό έχουν εισαχθεί στην προσέγγιση που αναπτύχθηκε στην παρούσα διατριβή οι όροι της «πιθανότητας ανίχνευσης οσμής» και του «βαθμού όχλησης λόγω της οσμής». Στη συνέχεια παρουσιάζεται αναλυτικά ο τρόπος με τον οποίο υπολογίζονται αυτές οι παράμετροι.

2.4.2 Πιθανότητα ανίχνευσης οσμής

Ο Nicell (2003) ανέπτυξε μαθηματικές εκφράσεις για να ποσοτικοποιήσει την πιθανότητα ανίχνευσης μια οσμής ανάλογα με την συγκέντρωσή της. Η σχέση αυτή εμπεριέχει ως παραμέτρους το όριο ανίχνευσης και μια σταθερά που εκφράζει την «επιμονή» της συγκεκριμένης οσμής όπως φαίνεται στην εξίσωση 26:

$$P = \frac{100}{1 + \left(\frac{C_{50}}{C} \right)^{(1-p)/p}} \quad (26)$$

όπου:

P : η πιθανότητα ανίχνευσης μιας οσμής (%)

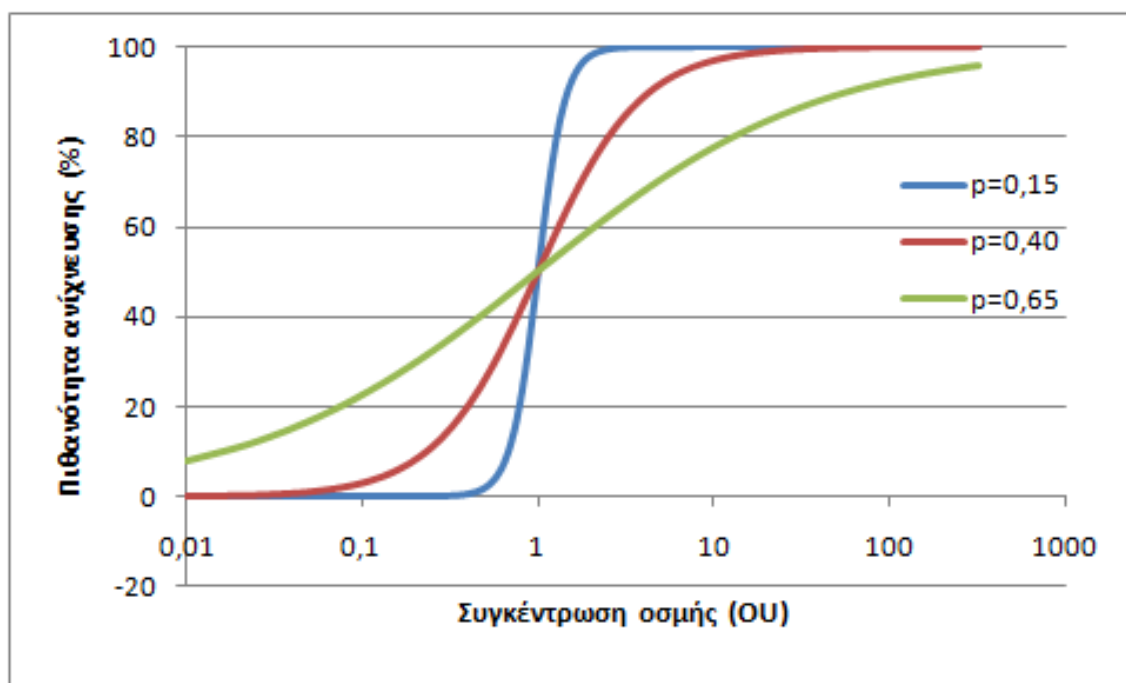
C : η συγκέντρωση της οσμής (δόση)

C_{50} : η συγκέντρωση που αντιστοιχεί στο όριο ανίχνευσης

p : αδιάστατη σταθερά που κυμαίνεται από 0 μέχρι 1

Η τιμή του C_{50} καθορίζει τη σχετική θέση της καμπύλης σε σχέση με τον οριζόντιο άξονα στην περίπτωση όπου τόσο η συγκέντρωση όσο και το όριο ανίχνευσης εκφράζονται σε μονάδες συγκέντρωσης ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ ή ppm) . Η σταθερά p καθορίζει την κλίση της καμπύλης. Καθώς το p πλησιάζει τη μονάδα, η οσμή γίνεται «επίμονη» πλησιάζοντας την πιθανότητα ανίχνευσης $P=50\%$ για σχεδόν οποιαδήποτε συγκέντρωση, ενώ όταν το p τείνει στο 0, η οσμή δεν γίνεται αντιληπτή πριν το όριο ανίχνευσης και γίνεται αντιληπτή με μεγάλη πιθανότητα ανίχνευσης για συγκεντρώσεις ακόμα και ελάχιστα μεγαλύτερες από το όριο ανίχνευσης.

Στο διάγραμμα του σχήματος 8 παρουσιάζονται τρεις θεωρητικές καμπύλες για την πιθανότητα ανίχνευσης τριών τύπων οσμών.

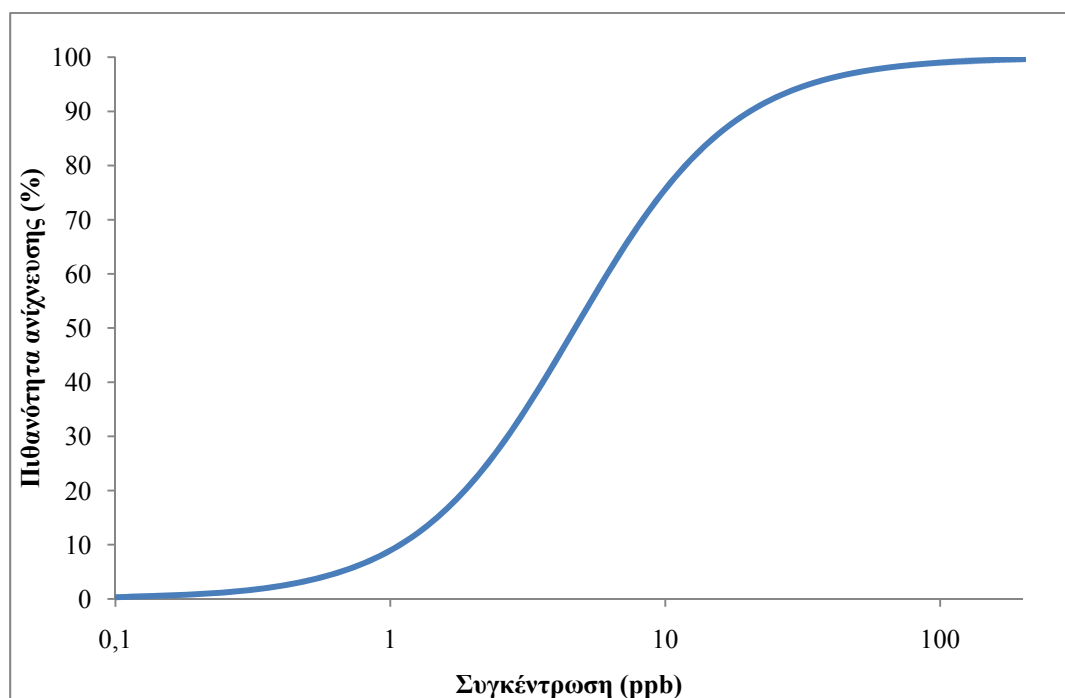


Σχήμα 8: Ενδεικτική μεταβολή της συγκέντρωσης οσμής με το χρόνο.

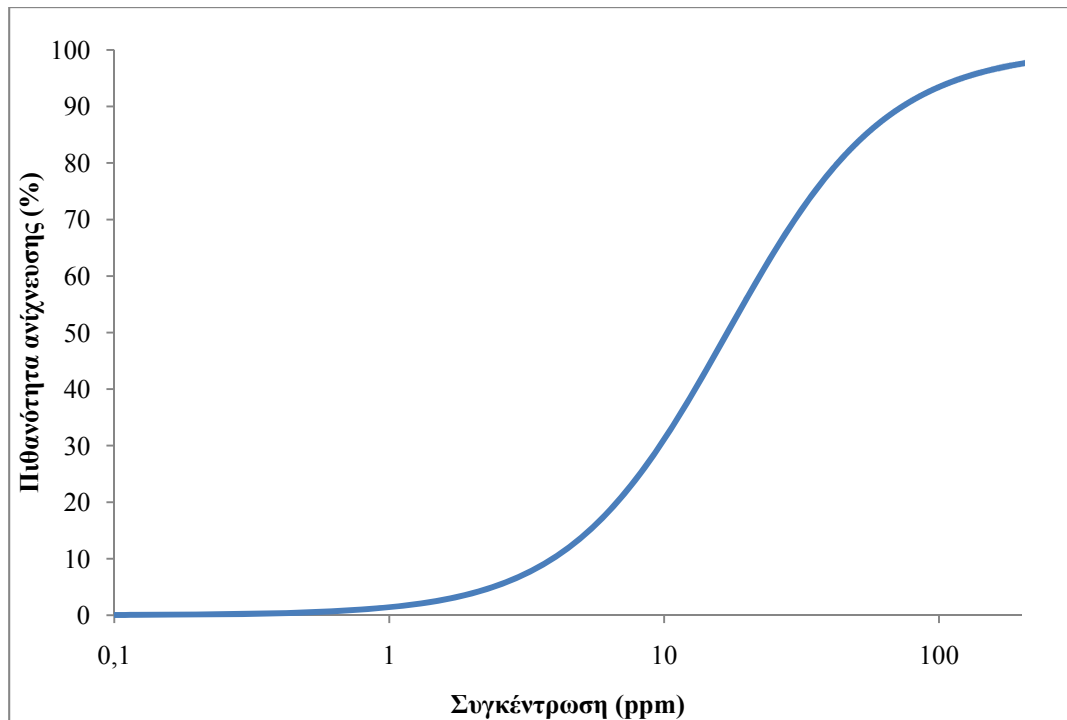
Το όριο ανίχνευσης σε κάθε περίπτωση όπως έχει αναφερθεί είναι ίσο με 1 ΟΥ. Επομένως, για οποιαδήποτε οσμή, η συγκέντρωση για την οποία το 50% των ανθρώπων θα μπορούν να την ανιχνεύσουν είναι ίση με 1 ΟΥ. Επίσης, όσο μετακινούμαστε προς μικρότερες συγκεντρώσεις, η πιθανότητα να ανιχνευθεί η οσμή ελαττώνεται. Όσο αυξάνεται η συγκέντρωση της οσμής, τόσο η πιθανότητα ανίχνευσής της τείνει προς το 100%. Για τις οσμές του παραδείγματος μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι η οσμή με $p=0,15$ είναι πολύ σπάνια ανιχνεύσιμη για συγκεντρώσεις μικρότερες από το όριο ανίχνευσης, ενώ όταν ξεπεράσει το όριο ανίχνευσης έχει πολύ μεγάλη πιθανότητα να ανιχνευτεί από τον εκτεθειμένο πληθυσμό ακόμα και σε συγκεντρώσεις λίγο μεγαλύτερες από το όριο ανίχνευσης. Αντίθετα, η οσμή με $p=0,65$, παρόλο που για συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από το όριο ανίχνευσης παραμένει σε σχετικά χαμηλά επίπεδα ανιχνευσιμότητας, για συγκεντρώσεις μικρότερες από το όριο ανίχνευσης μπορεί να επηρεάσει πολλούς ανθρώπους. Η περίπτωση της οσμής με $p=0,40$ είναι μια μέση κατάσταση όπου φαίνεται η σιγμοειδής καμπύλη που προκύπτει από την εξίσωση 26.

Η εξίσωση 26 εφαρμόστηκε στην παρούσα διατριβή για να προσδιοριστεί η πιθανότητα ανίχνευσης της αμμωνίας και του υδρόθειου σε 2 εφαρμογές που μελετήθηκαν. Από τα αποτελέσματα του μοντέλου AERMOD, αρχικά υπολογίζονται οι μέγιστες συγκεντρώσεις που μπορεί να παρατηρηθούν χρησιμοποιώντας τον λόγο «μέγιστης προς τη μέση τιμή» που περιγράφεται στην παράγραφο 2.4.2. Στη συνέχεια οι συγκεντρώσεις αυτές χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της πιθανότητας ανίχνευσης της οσμής της κάθε ένωσης σε διάφορες αποστάσεις από τις πηγές. Για το υδρόθειο το όριο ανίχνευσης C_{50} που χρησιμοποιήθηκε είναι τα 4,7 ppb, τιμή που αντιστοιχεί στην συγκέντρωση στην οποία το 50% των ατόμων που θα εκτεθούν σε

αυτήν θα μπορέσουν να αναγνωρίσουν την χαρακτηριστική οσμή του υδρόθειου (Leonards et al., 1969; Nagata, 1990; Fakhoury et al., 2000). Η αντίστοιχη τιμή για την αμμωνία που χρησιμοποιήθηκε είναι τα 17 ppm (ΑΙΗΑ, 1989; Nagata, 1990; Fakhoury et al., 2000). Οι τιμές του συντελεστή p που χρησιμοποιήθηκαν προκύπτουν από μελέτες που έχουν γίνει που συσχετίζουν τη συγκέντρωση των οσμών με την πιθανότητα ανίχνευσης τους (Amoore, 1985, Williams και Verrall, 1991, Fakhoury et al., 2000) και ορίστηκαν ίσες με 0,4 και 0,5 για το υδρόθειο και την αμμωνία αντίστοιχα. Οι καμπύλες που προκύπτουν για την πιθανότητα ανίχνευσης του υδρόθειου και της αμμωνίας σε συνάρτηση με την συγκέντρωσή τους παρουσιάζονται στα σχήματα 9,10.



Σχήμα 9: Πιθανότητα ανίχνευσης του υδρόθειου σε σχέση με την συγκέντρωση.



Σχήμα 10: Πιθανότητα ανίχνευσης της αμμωνίας σε σχέση με την συγκέντρωση.

Συγκρίνοντας τα διαγράμματα 9 και 10 παρατηρούμε ότι η καμπύλη που περιγράφει την πιθανότητα ανίχνευσης της αμμωνίας είναι μετατοπισμένη προς τα δεξιά λόγω του μεγαλύτερου ορίου ανίχνευσης της αμμωνίας. Επίσης η καμπύλη του σχήματος 9 είναι πιο απότομη λόγω της διαφοράς που υπάρχει στην παράμετρο p για τις δυο οσμές. Το υδρόθειο επομένως γίνεται πιο εύκολα αντιληπτό ακόμα και σε συγκεντρώσεις μικρότερες από το όριο ανίχνευσης σε σχέση με την αμμωνία. Για συγκεντρώσεις λίγο μεγαλύτερες από το όριο ανίχνευσης, όμως, η αμμωνία θα ανιχνευτεί από περισσότερους ανθρώπους που εκτίθενται σε αυτή την οσμή σε σχέση με το υδρόθειο.

2.4.3 Βαθμός όχλησης

Παρόμοια μορφή με τις καμπύλες της πιθανότητα ανίχνευσης μιας οσμής παρουσιάζουν και οι καμπύλες που περιγράφουν την όχληση που προκαλείται από την παρουσία μιας οσμής στην ατμόσφαιρα. Η όχληση 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 δεν έχουμε 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 να ποσοτικοποιεί τον βαθμό της όχλησης χρησιμοποιώντας μια δεκαβάθμια κλίμακα (εξίσωση 27).

$$A = \frac{10}{1 + \left(\frac{C_{5AU}}{C} \right)^{\frac{1-a}{a}}} \quad (27)$$

όπου:

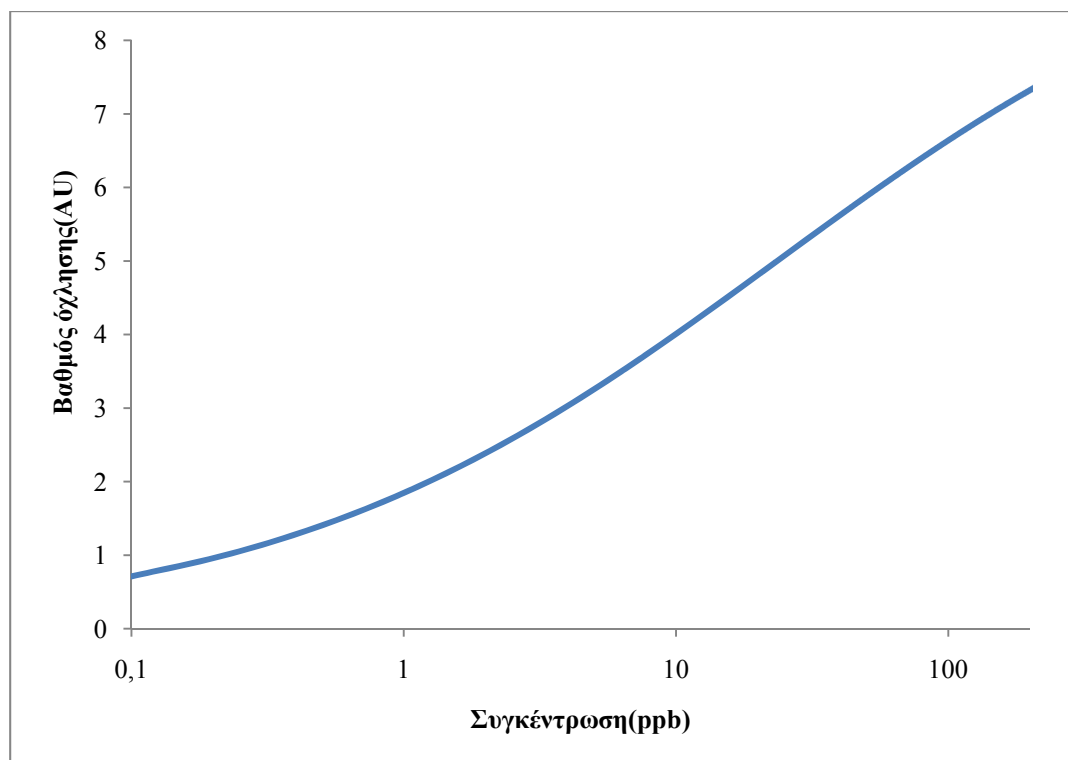
A : ο βαθμός όχλησης (μετριέται σε «μονάδες όχλησης», AU, και κυμαίνεται από 0-10)

C : Η συγκέντρωση της οσμής ένωσης (σε ppm)

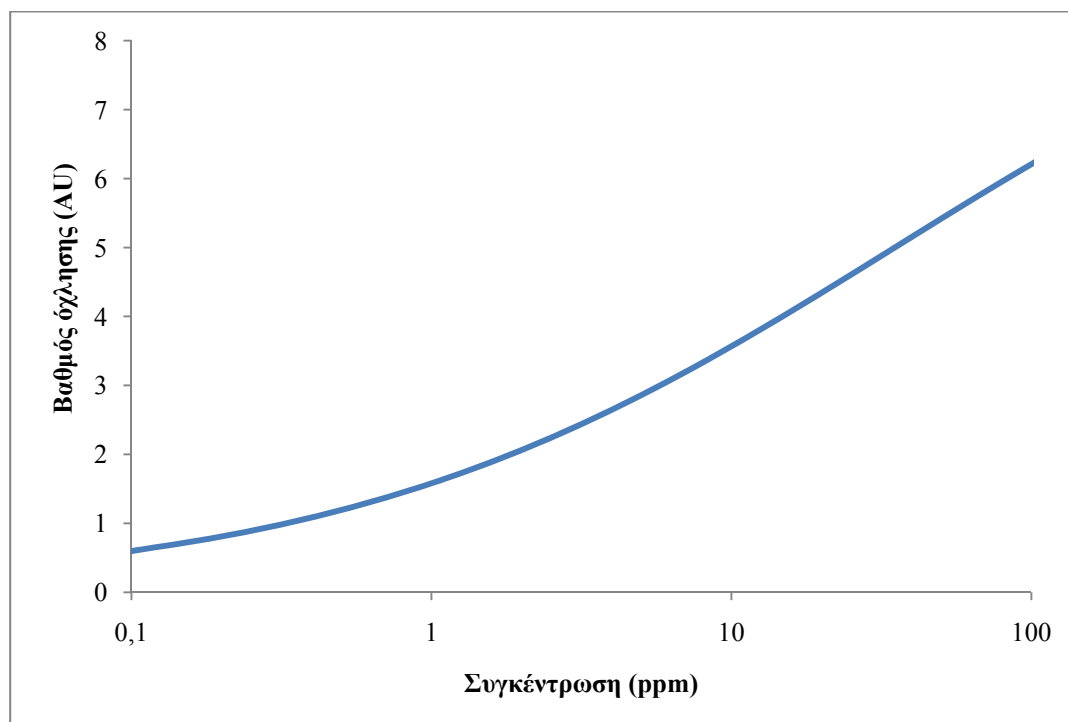
C_{5AU} : Η συγκέντρωση της οσμής που αντιστοιχεί σε βαθμό όχλησης ίσο με 5 «μονάδες όχλησης». (σε ppm)

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

Η συγκέντρωση που αντιστοιχεί σε βαθμό όχλησης ίσο με 5 AU ορίστηκε ίση με 23 ppb για το υδρόθειο και 35 ppm για την αμμωνία βάσει παρατηρήσεων ποσοστών όχλησης που έχουν προσδιοριστεί με μεθόδους οσφρησημετρίας (Amoore, 1985, Schafer, 1995). Η σταθερά α που χρησιμοποιήθηκε ορίστηκε ίση με 0,68 για το υδρόθειο και 0,78 για την αμμωνία (Amoore, 1985, Schafer, 1995). Στα σχήματα 11 και 12 παρουσιάζονται οι καμπύλες που δίνουν τον βαθμό όχλησης λόγω της παρουσίας υδρόθειου ή 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 τον βαθμό όχλησης λόγω του υδρόθειου.



Σχήμα 11: Βαθμός όχλησης λόγω του υδρόθειου σε σχέση με την συγκέντρωση.



Σχήμα 12: Βαθμός όχλησης λόγω της αμμωνίας σε σχέση με την συγκέντρωση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΟΣΟΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΟΣΜΩΝ**3.1 Εισαγωγή**

Ο προσδιορισμός των εκπομπών οσμών είναι μια αρκετά πολύπλοκη διαδικασία λόγω των ιδιοτεροτήτων που παρουσιάζουν σε σχέση με τους «κλασικούς» ρύπους. Για να είναι εφικτός ο ποσοτικός προσδιορισμός των εκπομπών πρέπει να αναγνωριστεί η συγκεκριμένη ένωση (ή ενώσεις) που προκαλεί το πρόβλημα. Στη συνέχεια απαιτείται μεγάλο πλήθος μετρήσεων της συγκέντρωσης της οσμής αυτής στην ατμόσφαιρα κοντά στην πηγή. Στην παρούσα διατριβή μελετήθηκαν οι εκπομπές υδρόθειου από ένα κέντρο επεξεργασίας αστικών λυμάτων (ΚΕΛ) και οι εκπομπές υδρόθειου και αμμωνίας από μια χοιροτροφική μονάδα. Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται τα όργανα μέτρησης που χρησιμοποιήθηκαν, η μεθοδολογία δειγματοληψίας καθώς και οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν για το υδρόθιο και την αμμωνία στις δυο εγκαταστάσεις. Επίσης, έγιναν μετρήσεις συγκεντρώσεων βιοαεροζόλ σε εξωτερικούς χώρους του ΚΕΛ με σκοπό να προσδιοριστεί αν οι εκπεμπόμενες ποσότητες είναι αρκετές ώστε να επηρεάσουν γειτονικούς οικισμούς του ΚΕΛ. Τέλος, έγιναν μετρήσεις συγκεντρώσεων βιοαεροζόλ κατανεμημένα σε 7 κατηγορίες ανάλογα με την αεροδυναμική τους διάμετρο σε εσωτερικούς χώρους με στόχο να προσδιοριστούν τα επίπεδα τους και οι επιπτώσεις στην υγεία των εργαζομένων στην μονάδα. Η μέθοδος δειγματοληψίας των βιοαεροζόλ καθώς και τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 4.

3.2 Περιγραφή των οργάνων μέτρησης

Στις ακόλουθες ενότητες παρουσιάζονται τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για την μέτρηση συγκεντρώσεων των ρύπων και άλλων παραμέτρων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δεδομένα εισόδου στην εφαρμογή ενός μοντέλου διασποράς. Στο σχήμα 13 φαίνονται τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για τις μετρήσεις των ρύπων και περιγράφονται αναλυτικά στις επόμενες ενότητες.



Σχήμα 13: Όργανα μέτρησης συγκέντρωσης ρύπων.

3.2.1 Μέτρηση συγκεντρώσεων υδρόθειου

Για την μέτρηση των συγκεντρώσεων του υδρόθειου χρησιμοποιήθηκε ο αναλυτής Jerome 631-X (Arizona Instruments, USA) (Winegar και Schmidt , 1998) (σχήμα 14). Ο αισθητήρας του οργάνου αποτελείται από ένα λεπτό φύλλο χρυσού το οποίο υπό την παρουσία του υδρόθειου υφίσταται μια αύξηση στην ηλεκτρική του αντίσταση η οποία είναι ανάλογη με τη μάζα του υδρόθειου στο δείγμα.



Σχήμα 14: Αναλυτής Jerome 631-X.

Η παροχή του οργάνου είναι ίση με 0,15 lt/min. Ο χρόνος απόκρισης αλλά και η ακρίβεια του οργάνου εξαρτώνται από τις μετρούμενες συγκεντρώσεις του υδρόθειου όπως παρουσιάζεται στον πίνακα 9.

Πίνακας 9: Χρόνος απόκρισης και σφάλμα του οργάνου για απλή δειγματοληψία (Winegar και Schmidt , 1998).

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ	ΣΦΑΛΜΑ ^(*)
0,001 – 0,099 ppm	30 sec	±0,003 ppm στα 0,050 ppm
0,10 – 0,99 ppm	25 sec	±0,03 ppm στα 0,50 ppm
1,0 – 9,9 ppm	16 sec	±0,3 ppm στα 5,0 ppm
10 – 50 ppm	13 sec	±2 ppm στα 25 ppm

^(*) Το σφάλμα που δίνεται αναφέρεται σε μέτρηση στο μέσο του εύρους συγκεντρώσεων.

Όταν χρησιμοποιείται η συνεχής παρακολούθηση οι χρόνοι απόκρισης είναι αυτοί που δίνονται στον πίνακα 10.

Πίνακας 10: Χρόνος απόκρισης του οργάνου για συνεχή παρακολούθηση (Winegar και Schmidt , 1998).

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ
0,001 – 0,099 ppm	20 sec
0,10 – 0,99 ppm	15 sec
1,0 – 9,9 ppm	6 sec
10 – 50 ppm	3 sec

3.2.2 Μέτρηση συγκεντρώσεων αμμωνίας

Για την μέτρηση των συγκεντρώσεων αμμωνίας χρησιμοποιήθηκε το GrayWolf's DirectSense TOX Multi-Gas Meter (Graywolf, Ireland). Με το όργανο αυτό μπορούμε να έχουμε συνεχή παρακολούθηση των συγκεντρώσεων της αμμωνίας με μέγιστη τιμή που μπορεί να ανιχνευθεί τα 100 ppm. Ο χρόνος απόκρισης του οργάνου είναι τα 30 sec (Gray Wolf Sensing Solutions website).



Σχήμα 15: GrayWolf's DirectSense TOX Multi-Gas Meter.

3.2.3 Μέτρηση αριθμού αιωρούμενων σωματιδίων

Ο αριθμός (σε αριθμό ανά κυβικό εκατοστόμετρο) των αιωρούμενων σωματιδίων αεροδυναμικής διαμέτρου μικρότερης του 1 μm μετρήθηκε με το P-TRAK Ultrafine Particle Counter (model 8525; TSI Inc., Shoreview, MN, USA) (σχήμα 16). Τα

σωματίδια αυτά παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον λόγω του ότι είναι αυτά που καταλήγουν βαθιά στον πνεύμονα με την διαδικασία της αναπνοής. Η μέγιστη τιμή που μπορεί να μετρηθεί με το συγκεκριμένο όργανο είναι τα 500.000 particles/cc.



Σχήμα 16: P-TRAK Ultrafine Particle Counter.

Για την μέτρηση των σωματιδίων γίνεται εμποτισμός τους σε ατμούς ισοπροπυλικής αλκοόλης ώστε να μεγεθυνθούν. Στη συνέχεια μια ακτίνα laser διαπερνά το δείγμα και ένα μέρος της διαθλάται ανάλογα με τον αριθμό των σωματιδίων. Με τη χρήση ειδικού φωτοανιχνευτή, μετράται το ποσοστό της ακτινοβολίας που διαθλάστηκε και από αυτήν την τιμή μπορεί να υπολογιστεί το πλήθος των σωματιδίων στο αρχικό δείγμα (TSI, 2009).

3.2.4 Μέτρηση συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων

Η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα μετρήθηκε με το DustTrak Aerosol Monitor (TSI Inc., Shoreview, MN, USA) (σχήμα 17). Το όργανο αυτό μετράει την συγκέντρωση σε mg/m^3 σωματιδίων διαφόρων αεροδυναμικών διαμέτρων. Η επιλογή του μεγέθους των σωματιδίων που θα μετρηθούν γίνεται με τη χρήση κατάλληλης κεφαλής (για δειγματοληψία PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, PM_{1}).

Για την μέτρηση της συγκέντρωσης των σωματιδίων χρησιμοποιείται μια Η δίοδος παραγωγής ακτινών laser η οποία παράγει κύματα με μήκος κύματος 780 nm. Καθώς η ακτίνα αυτή προσπίπτει στο δείγμα του αέρα διαχέεται προς όλες τις κατευθύνσεις λόγω της σκέδασης της με τα αιωρούμενα σωματίδια. Οι σκεδαζόμενες ακτίνες προωθούνται με ειδικούς φακούς σε έναν φωτοανιχνευτή ο οποίος μετατρέπει την ακτινοβολία που δέχεται σε τάση ηλεκτρικού ρεύματος. Η τάση αυτή είναι ανάλογη της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας η οποία εξαρτάται από την συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων στο δείγμα (TSI, 2006).



Σχήμα 17: DUSTTRAK, Model 8520, TSI.

3.2.5 Μέτρηση βιοαεροζόλ

Για την μέτρηση των συγκεντρώσεων των βιοαεροζόλ χρησιμοποιήθηκε ένας 6-stages Andersen viable sampler (Thermo Scientific, USA). Με το όργανο αυτό δίνεται η δυνατότητα ξεχωριστής καταμέτρησης των βιοαεροζόλ στην ατμόσφαιρα ανάλογα με την αεροδυναμική τους διάμετρο (TSI, 2009). Η διάταξη αποτελείται από 6 πλάκες στις οποίες υπάρχουν οπές διαφορετικής διαμέτρου. Ο αέρας εισέρχεται χρησιμοποιώντας αντλία από το πάνω μέρος του οργάνου και σε κάθε πλάκα που συναντά, προσκρούουν σωματίδια με ολοένα και μικρότερη αεροδυναμική διάμετρο (σχήμα 18).



Σχήμα 18: Δειγματολήπτης βιοαεροζόλ Andersen 6 σταδίων.

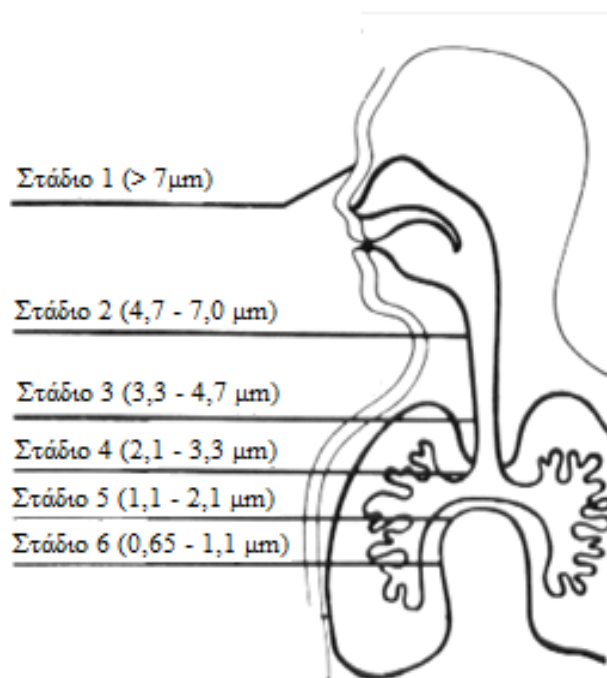
Πάνω σε κάθε πλάκα τοποθετούνται τριβλία με θρεπτικά υποστρώματα ανάλογα με το είδος του μικροοργανισμού που θέλουμε να μετρήσουμε. Στη συνέχεια τοποθετούνται σε ελεγχόμενη θερμοκρασία ώστε να αναπτυχθούν αποικίες των μικροοργανισμών. Σε καθορισμένα χρονικά διαστήματα, γίνεται καταμέτρηση των αποικιών οι οποίες είναι αυτές που αντιστοιχούν στον όγκο του αέρα που συλλέχθηκε. Το αποτέλεσμα της μέτρησης εκφράζεται σε μονάδες σχηματισμού αποικίας (Colony Forming Units – CFU) ανά όγκο μετρούμενου αέρα. Το CFU είναι ο αριθμός των μικροοργανισμών που μπορούν να αναπτυχθούν για να δημιουργήσουν αποικίες. Για τον υπολογισμό της ολικής συγκέντρωσης των αναπτυσσόμενων μικροοργανισμών, διαιρούμε τον όγκο του μετρούμενου αέρα με τον ολικό αριθμό των αποικιών που μετρήθηκαν στο τριβλίο (Cox και Wathes, 1995).

Η δειγματοληψία μπορεί να διαρκέσει από λίγα λεπτά έως ώρες ανάλογα με τις συγκεντρώσεις των βιοαεροζόλ στο σημείο δειγματοληψίας. Οι 6 κατηγορίες μεγεθών που μπορούμε να μετρήσουμε παρουσιάζονται στον πίνακα 11. Επίσης στον πίνακα 11 παρουσιάζονται και οι περιοχές του αναπνευστικού συστήματος του ανθρώπου στις οποίες καταλήγουν τα αιωρούμενα σωματίδια ανάλογα με την αεροδυναμική τους διάμετρο. Τα στοιχεία αυτά βασίζονται σε κατανομές πιθανοτήτων και δεν είναι απόλυτα όπως μπορούμε να δούμε στο σχήμα 20 όπου φαίνεται το ποσοστό των αιωρούμενων σωματιδίων που καταλήγουν σε κάθε περιοχή του αναπνευστικού συστήματος ανάλογα με το μέγεθός τους.

Πίνακας 11: Εύρος αεροδυναμικών διαμέτρων σωματιδίων που συλλέγονται σε κάθε στάδιο του οργάνου (Thermo electron corporation, 2003).

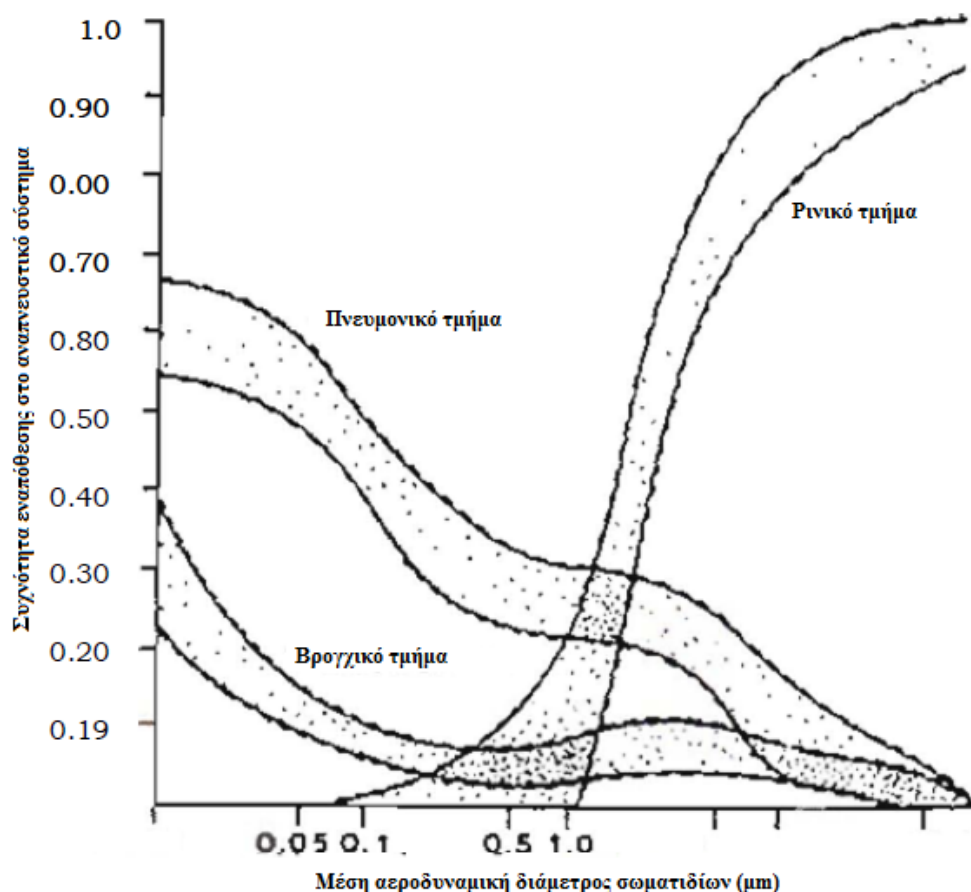
Στάδιο	Αεροδυναμική διάμετρος (μm)
1	>7,0
2	4,0 μέχρι 7,0
3	3,3 μέχρι 4,7
4	2,1 μέχρι 3,3
5	1,1 μέχρι 2,1
6	0,65 μέχρι 1,1

Οι κατηγορίες μεγεθών αυτές έχουν επιλεγθεί ώστε να προσομοιώνουν το ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 19, τα μεγαλύτερα σωματίδια επικάθονται στο ανώτερο αναπνευστικό σύστημα και καθώς μικραίνει η αεροδυναμική τους διάμετρος εισέρχονται βαθύτερα, μέχρι να φτάσουν στις κυψελίδες των πνευμόνων.



Σχήμα 19: Πορεία των σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα ανάλογα με την αεροδυναμική τους διάμετρο.

Στο σχήμα 20 παρουσιάζεται η συχνότητα με την οποία επικάθονται τα αιωρούμενα σωματίδια σε διάφορες περιοχές του αναπνευστικού συστήματος ανάλογα με το μέγεθός τους. Ο κατακόρυφος άξονας αναφέρεται σε συχνότητα (0-1) κατακάθισης των σωματιδίων στα διάφορα τμήματα του αναπνευστικού συστήματος ανάλογα με την αεροδυναμική τους διάμετρο. Παρατηρούμε ότι τα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη από $1\mu\text{m}$ έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να εισχωρήσουν σε βαθύτερα τμήματα του αναπνευστικού συστήματος ενώ τα μεγάλα σωματίδια επικάθονται κυρίως στο ρινικό τμήμα του αναπνευστικού συστήματος.



Σχήμα 20: Συχνότητα απόθεσης των αιωρούμενων σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα σε σχέση με την αεροδυναμική τους διάμετρο (BGI, 2009).

Οι συγκεντρώσεις των βιοαεροζόλ προσδιορίστηκαν επίσης χρησιμοποιώντας και έναν δειγματολήπτη ενός σταδίου. Πρόκειται για τον δειγματολήπτη MAS 100 (Merck, Germany) ο οποίος είναι τύπου Andersen και η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στην αναρρόφηση αέρα μέσω μιας διάτρητης πλάκας 400 οπών επάνω σε ένα τριβλίο με θρεπτικό υπόστρωμα (σχήμα 21). Ο δειγματολήπτης μετρά το εισαγόμενο ρεύμα αέρα και ρυθμίζει τον αναρροφούμενο αέρα σε μια σταθερή ροή 100 l/min (Merck, 1999).



Σχήμα 21: Δειγματολήπτης βιοαεροζόλ MAS 100.

3.3 Εκτίμηση εκπομπών από Κέντρο Επεξεργασίας Αστικών Λυμάτων

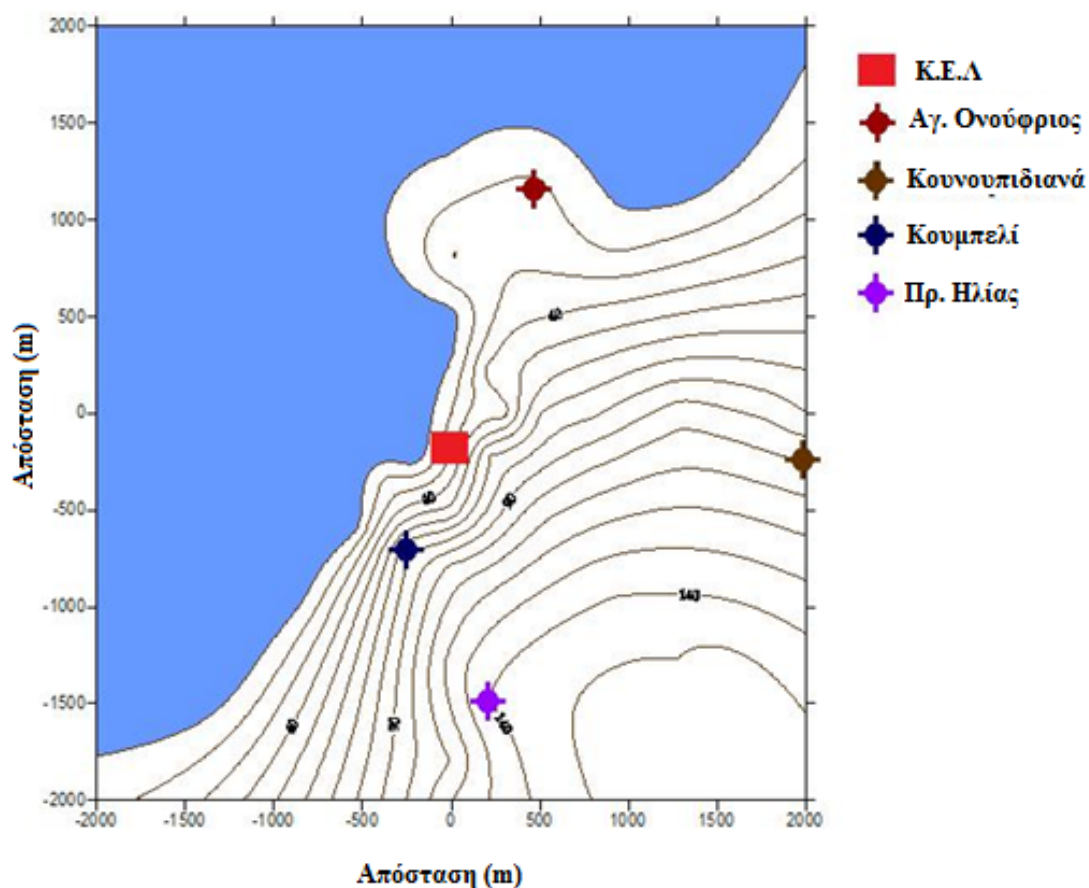
3.3.1 Εισαγωγή

Οι κύριες εκπομπές ρύπων από κέντρα επεξεργασίας λυμάτων είναι θειούχες ενώσεις (υδρόθειο, μέθυλο μερκαπτάνη, διμέθυλο-σουλφίδια, διμεθυλο-δισουλφίδια, αιθυλομερκαπτάνες, διθειάνθρακας, και καρβονυλοσουλφίδια). Επίσης όχληση μπορεί να προκληθεί από την ύπαρξη ενώσεων του αζώτου όπως είναι η αμμωνία και οι αμίνες (FWR, 1993, Parsons et al., 2000). Οι ενώσεις αυτές προκύπτουν από την αναερόβια αποσύνθεση οργανικής ύλης, η οποία στην προκειμένη περίπτωση είναι τα λύματα. Η μελέτη των επιπτώσεων των κέντρων επεξεργασίας λυμάτων εστιάζεται συνήθως στην μελέτη των εκλυόμενων ποσοτήτων του υδρόθειου το οποίο με την

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. Επίσης πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις συγκεντρώσεων βιοαεροζόλ τόσο σε εσωτερικούς όσο και σε εξωτερικούς χώρους.

3.3.2 Περιγραφή της περιοχής δειγματοληψίας

Το κέντρο επεξεργασίας αστικών λυμάτων στο οποίο έγινε η παρούσα μελέτη βρίσκεται στον νομό Χανίων Κρήτης, 4 χιλιόμετρα βορειοανατολικά της πόλης των Χανίων. Η περιοχή στην οποία βρίσκεται η εξεταζόμενη μονάδα χαρακτηρίζεται στο μοντέλο ως αγροτική και θεωρούμε αμελητέα τη συγκέντρωση υποβάθρου H_2S . Το μοντέλο εφαρμόστηκε στην περιοχή που έχει ως κέντρο τις εγκαταστάσεις του βιολογικού καθαρισμού και ακτίνα 2 km. Η περιοχή αυτή επιλέχθηκε ώστε να περιέχει τους οικισμούς Αγ. Ονούφριο, Κουμπελί, Κουνουπιδιανά και Προφήτη Ηλία. Οι οικισμοί αυτοί είναι οι πλησιέστεροι στη μονάδα και, για το λόγο αυτό, είναι πιθανό να υπάρχουν οχλήσεις από οσμές. Οι θέσεις των οικισμών σε σχέση με τη θέση της μονάδας φαίνονται στο σχήμα 22.



Σχήμα 22: Θέση της εγκατάστασης σε σχέση με τους γειτονικούς οικισμούς.

Στον πίνακα 12 παρουσιάζονται οι αποστάσεις από το ΚΕΛ Χανίων των πλησιέστερων οικισμών. Το Κουμπελί είναι ο πλησιέστερος οικισμός στο Κ.Ε.Λ σε απόσταση 400 m ενώ μελετήθηκε η όχληση που μπορεί να προκληθεί σε άλλους 3 οικισμούς σε αποστάσεις μέχρι τα 2.000 m (Προφήτης Ηλίας, Άγιος Ονούφριος, Κουνουπιδιανά).

Πίνακας 12: Απόσταση των πλησιέστερων οικισμών από το ΚΕΛ Χανίων.

Οικισμός	Απόσταση από το ΚΕΛ (σε m)
Κουμπελί	400
Προφήτης Ηλίας	1.200
Άγιος Ονούφριος	1.500
Κουνουπιδιανά	2.000

Το κέντρο επεξεργασίας αστικών λυμάτων (ΚΕΛ) Χανίων λειτουργεί από το 1995 και έχει σχεδιαστεί για την επεξεργασία οικιακών λυμάτων (105.500 ισοδύναμων κατοίκων), βιομηχανικών λυμάτων (7.000 ισοδύναμων κατοίκων) και λυμάτων από σηπτικές δεξαμενές (7.000 ισοδύναμων κατοίκων). Η συνολική δυναμικότητα της μονάδας αντιστοιχεί στην επεξεργασία λυμάτων 117.500 ισοδύναμων κατοίκων με ροή 26.000 m³/d. Η μέση ροή κατά την περίοδο του καλοκαιριού (όπου παρατηρούνται και οι μέγιστες ροές) του 2005 ήταν 19.000 m³/d. Τα λύματα επεξεργάζονται με την μέθοδο της ενεργού ιλύος και η λάσπη με την μέθοδο της αναερόβιας χώνευσης χρησιμοποιώντας το παραγόμενο βιοαέριο για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Η μονάδα έχει σχεδιαστεί ώστε να επιτυγχάνει 95% BOD₅ και 95% SS απομάκρυνση (DEYACH website).

Η μέση μηνιαία παροχή των λυμάτων στο κέντρο επεξεργασίας λυμάτων του δήμου Χανίων για το έτος 2008 παρουσιάζεται στον πίνακα 12. Παρατηρούμε ότι για κάθε μήνα του έτους η παροχή των λυμάτων ήταν σημαντικά μικρότερη από την συνολική δυναμικότητα της συγκεκριμένης μονάδας.

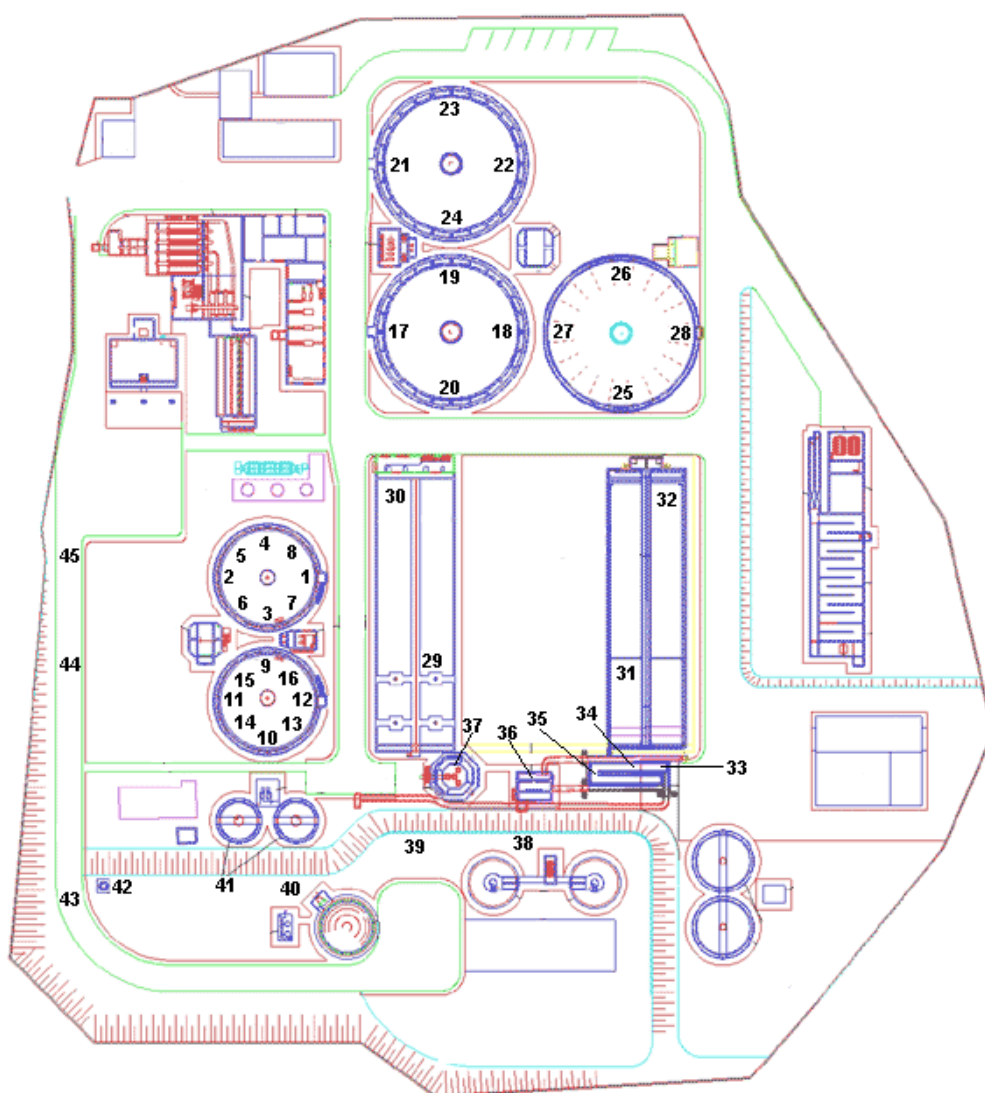
Πίνακας 13: Μέση μηνιαία παροχή λυμάτων στο Κέντρο επεξεργασίας λυμάτων του δήμου Χανίων για το έτος 2008 (DEYACH website).

Μήνας	Μέση παροχή λυμάτων (m ³ /d)	Εποχή	Παροχή λυμάτων (m ³ /d)
Ιανουάριος	17.890	Χειμώνας	18.612
Φεβρουάριος	19.576		
Μάρτιος	18.227	Άνοιξη	18.706
Απρίλιος	18.581		
Μάιος	19.310		
Ιούνιος	19.252	Καλοκαίρι	19.575
Ιούλιος	19.897		
Αύγουστος	19.576		
Σεπτέμβριος	18.401	Φθινόπωρο	17.488
Οκτώβριος	17.179		
Νοέμβριος	16.884		
Δεκέμβριος	18.369		
Μέσος μηνιαίος όρος	18.595		

Στον πίνακα 12 επίσης παρουσιάζονται και οι μέσες μηνιαίες παροχές λυμάτων ανά εποχή. Η εποχή με την μέγιστη εισροή λυμάτων είναι η θερινή λόγω της αυξημένης χρήσης νερού αλλά και την αύξηση του πληθυσμού της περιοχής λόγω τουρισμού. Για το λόγο αυτό κρίθηκε απαραίτητο η μελέτη των επιπτώσεων της λειτουργίας της μονάδας, όσον αφορά στις οσμές που εκλύονται, να πραγματοποιηθεί κατά τη διάρκεια θερινών μηνών 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.

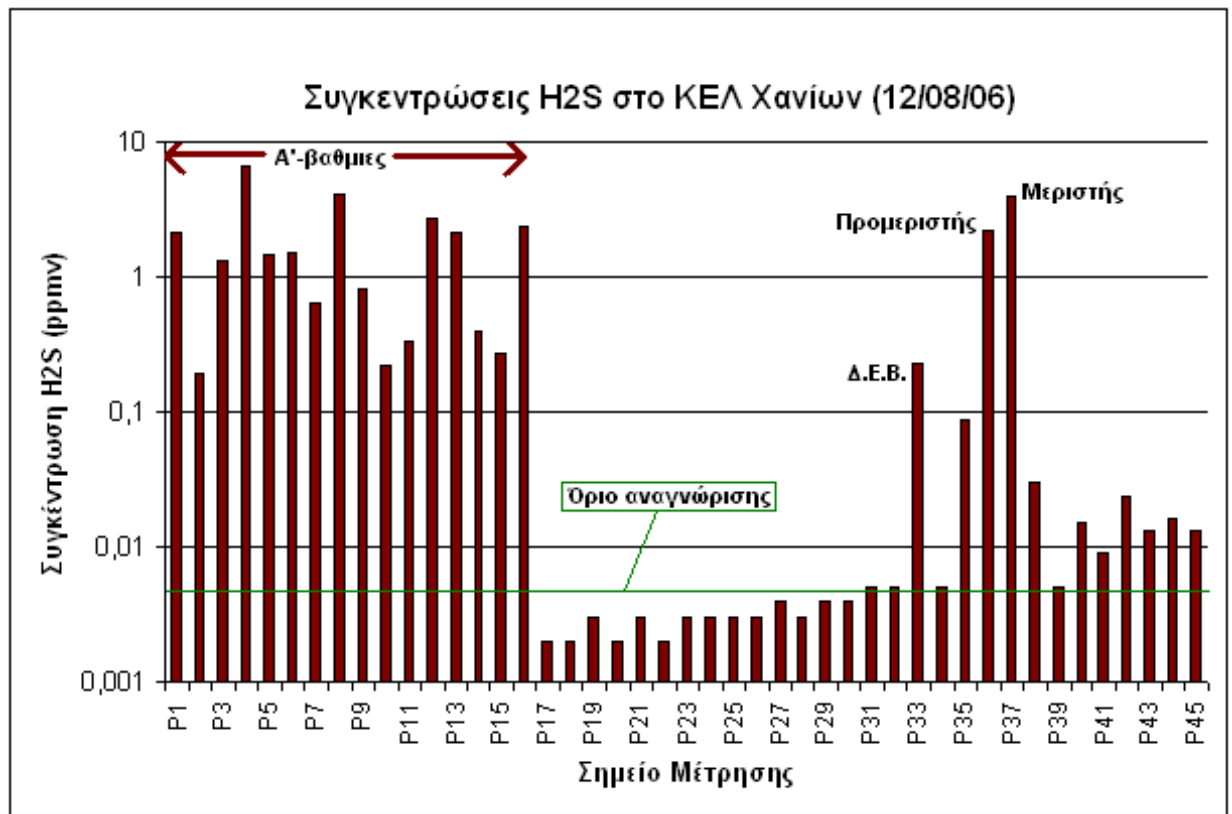
3.3.3 Μετρήσεις συγκεντρώσεων υδρόθειου

Μετρήσεις του υδρόθειου πραγματοποιήθηκαν στο κέντρο επεξεργασίας αστικών λυμάτων (ΚΕΛ) του δήμου Χανίων. Η περίοδος των μετρήσεων ήταν η 12-25 Αυγούστου 2006. Αρχικά ορίστηκαν 45 σημεία σε όλη την έκταση της εγκατάστασης ώστε να εντοπιστούν οι πιθανές πηγές του υδρόθειου. Οι μετρήσεις πραγματοποιούνταν πρωινές και μεσημεριανές ώρες κατά τις οποίες υπάρχει το μέγιστο φορτίο στην λειτουργία της μονάδας. Η μετρήσεις έγιναν χρησιμοποιώντας τον αναλυτή Jerome 631-X στα 45 σημεία του ΚΕΛ, τα οποία παρουσιάζονται στο σχήμα 23.



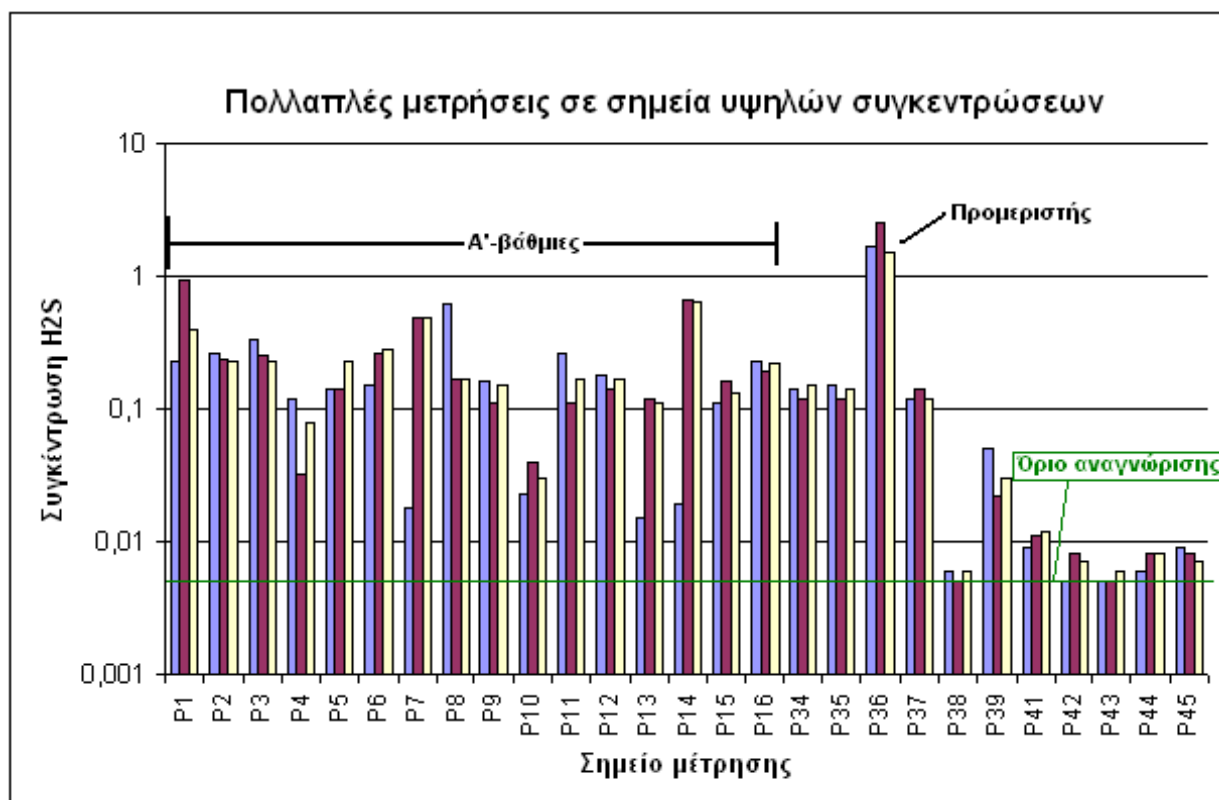
Σχήμα 23: Σημεία δειγματοληψίας σε όλη την έκταση της εγκατάστασης.

Ενδεικτικές τιμές που μετρήθηκαν παρουσιάζονται στο διάγραμμα του σχήματος 24. Εύκολα παρατηρούμε ότι οι κύριες πηγές υδρόθειου είναι οι 2 δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης (ST-1, ST-2) (σημεία 1-16), η δεξαμενή επιλογής βακτηρίων (BST) (σημείο 33) καθώς και ο προμεριστής (ST-1) και ο μεριστής (ST-2) (σημεία 36 και 37 αντίστοιχα). Οι συγκεντρώσεις σε αυτά τα σημεία ήταν σημαντικά μεγαλύτερες από το όριο αναγνώρισης της χαρακτηριστικής οσμής του υδρόθειου ξεπερνώντας σε αρκετές περιπτώσεις και το 1 ppmv.



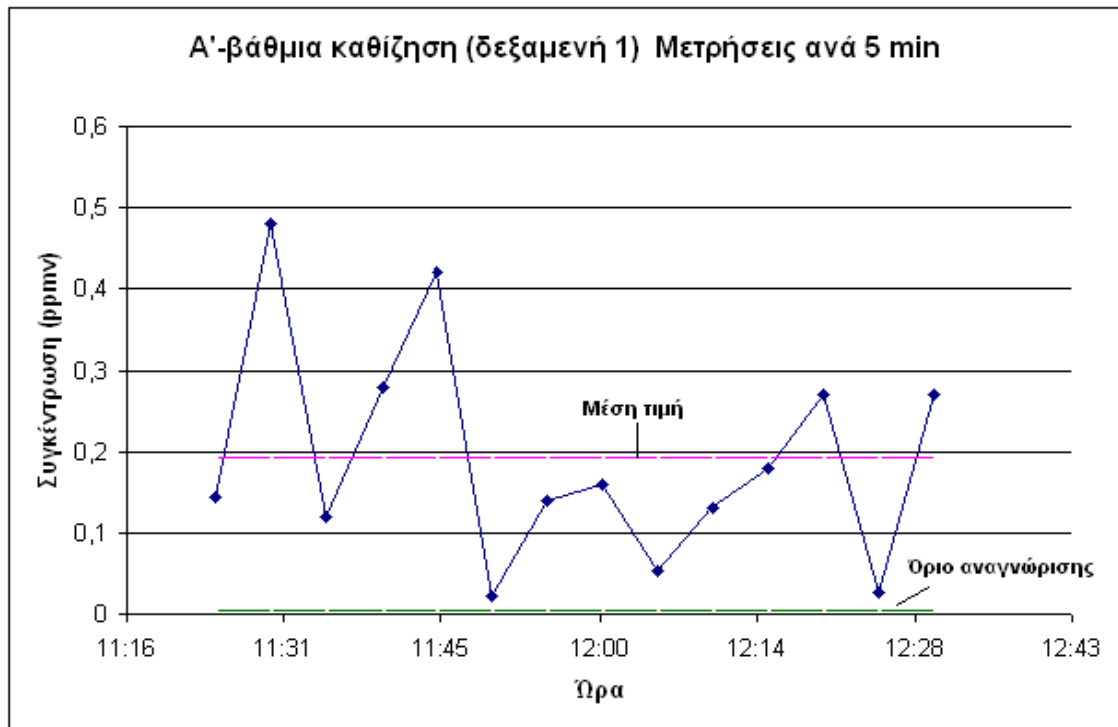
Σχήμα 24: Μετρήσεις σε όλη την έκταση της εγκατάστασης.

Στα σημεία που εντοπίστηκαν οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις, στη συνέχεια έγιναν πολλαπλές μετρήσεις (3 μετρήσεις σε χρονικό διάστημα 1-2 min) για να διευκρινιστεί ότι η ύπαρξη υψηλών συγκεντρώσεων δεν είναι μεμονωμένο περιστατικό. Στο σχήμα 25 παρουσιάζονται οι πολλαπλές μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στις δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης, τον μεριστή, τον προμεριστή και την δεξαμενή επιλογής βακτηρίων. Πράγματι, όπως φαίνεται στο διάγραμμα του σχήματος 25, οι συγκεντρώσεις στα σημεία που αναφέρθηκαν ήταν σταθερά 1-2 τάξεις μεγέθους μεγαλύτερες από το όριο αναγνώρισης.

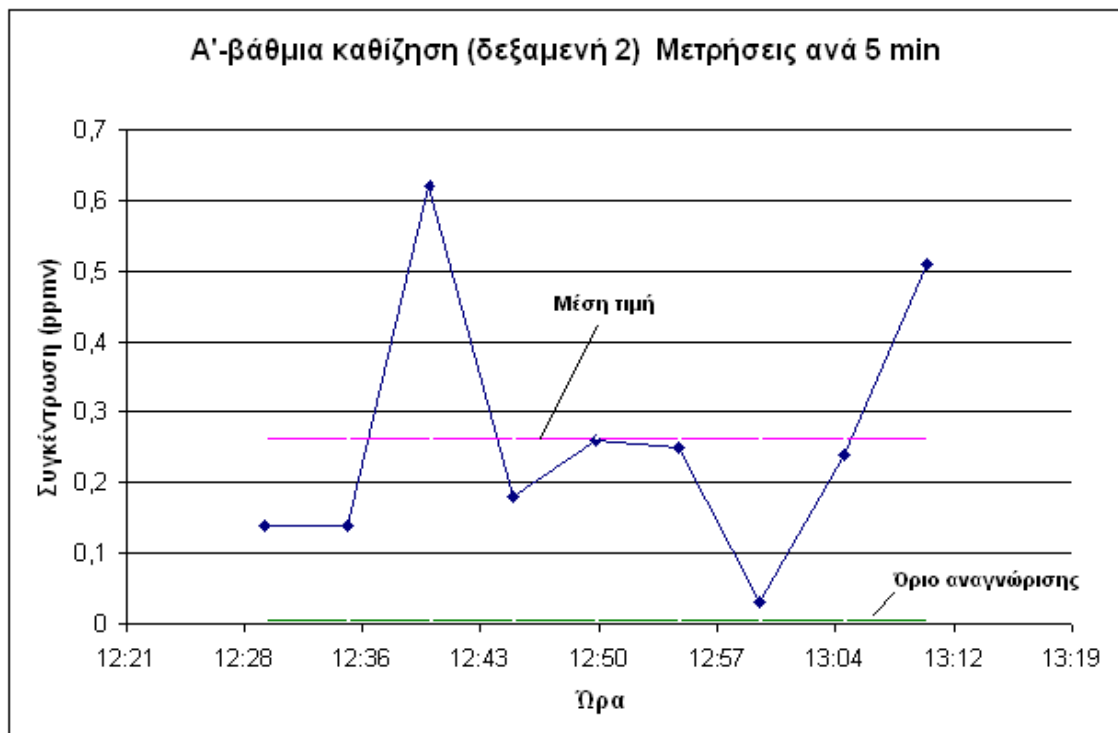


Σχήμα 25: Πολλαπλές μετρήσεις σε σημεία όπου εντοπίστηκαν υψηλές συγκεντρώσεις.

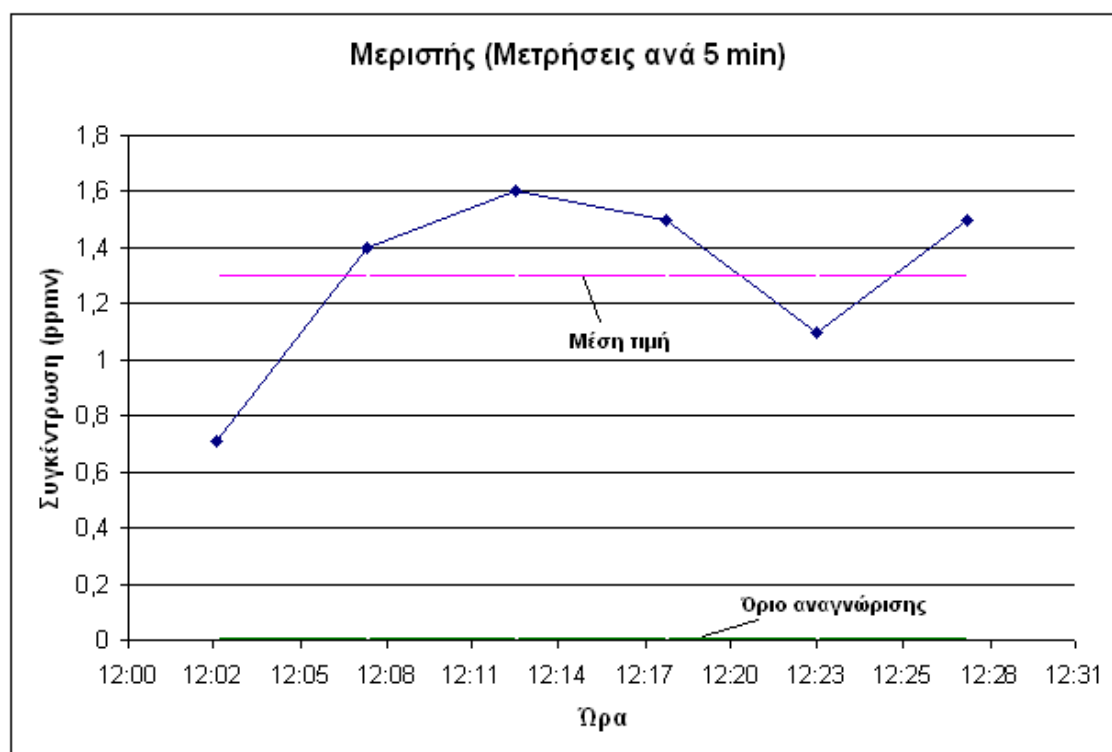
Στη συνέχεια, εστιάζοντας στα σημεία όπου παρατηρήθηκαν οι μέγιστες συγκεντρώσεις (δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης, μεριστής και προμεριστής) προχωρήσαμε σε συνεχή παρακολούθηση των συγκεντρώσεων υδρόθειου με χρονικό βήμα 5 min για διάστημα 0.5-1 h. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα διαγράμματα των σχημάτων 26-29 για τις δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης, τον μεριστή και τον προμεριστή. Παρατηρούμε ότι οι συγκεντρώσεις ήταν συνεχώς 1-3 τάξεις μεγέθους μεγαλύτερες από το όριο αναγνώρισης αλλά παρουσίαζαν ιδιαίτερα έντονη διακύμανση.



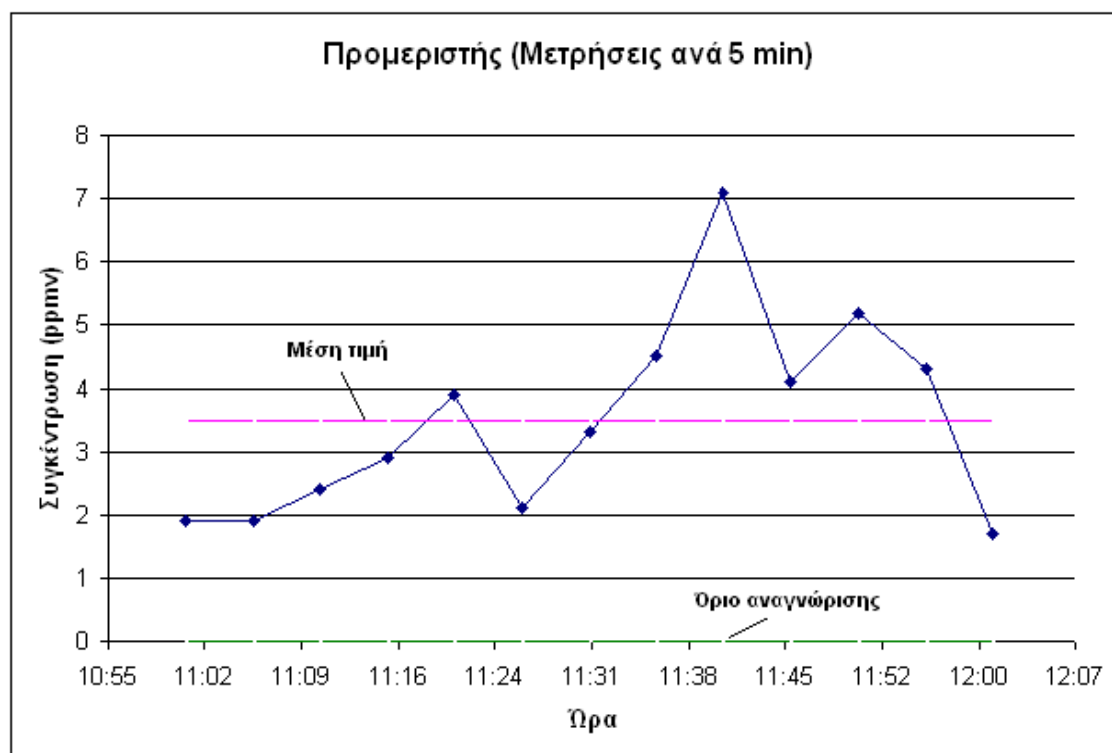
Σχήμα 26: Μετρήσεις ανά 5 λεπτά στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης (δεξαμενή 1).



Σχήμα 27: Μετρήσεις ανά 5 λεπτά στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης (δεξαμενή 2).



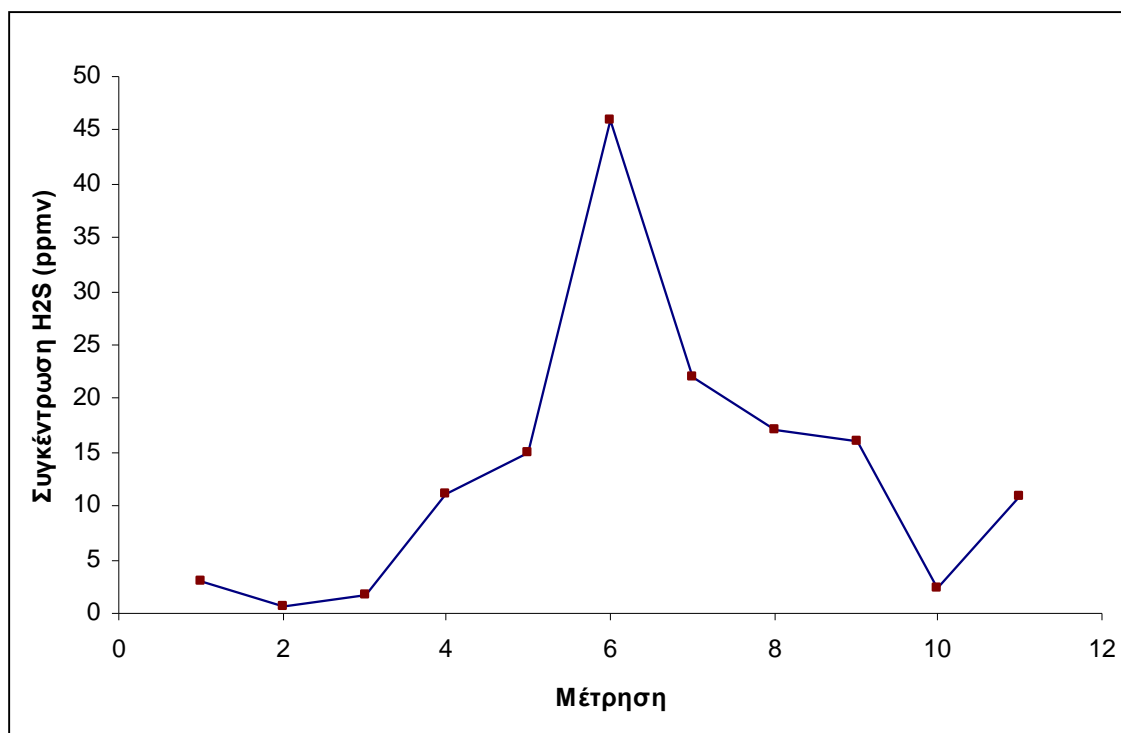
Σχήμα 28: Μετρήσεις ανά 5 λεπτά στον μεριστή.



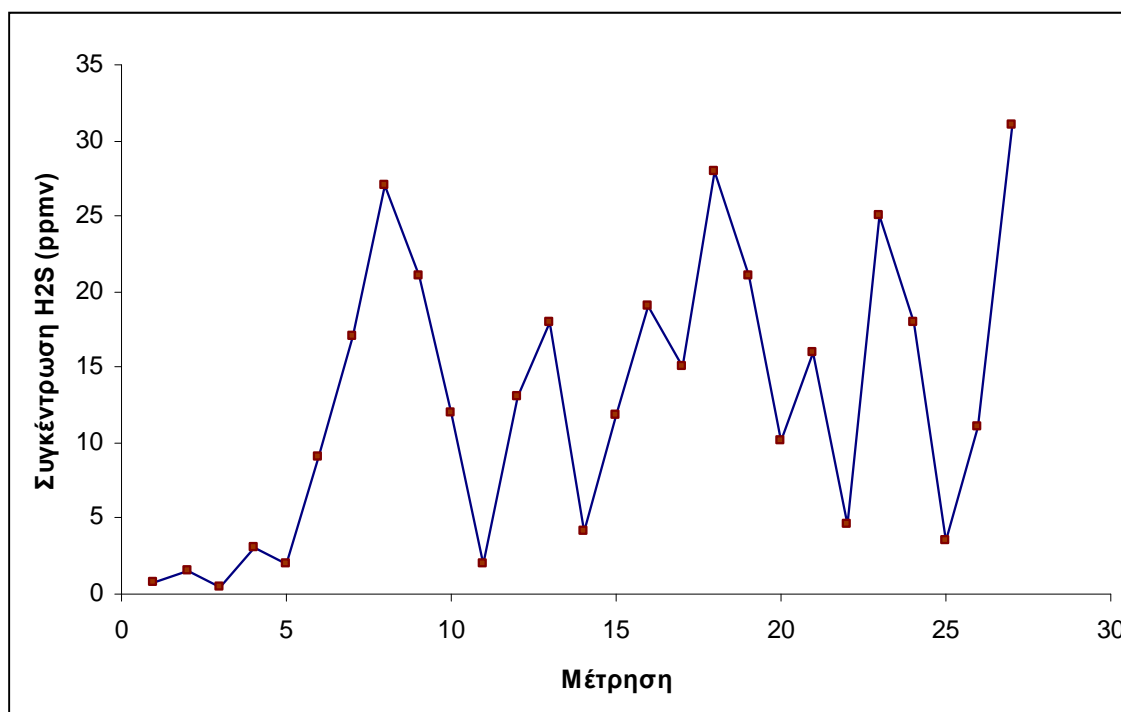
Σχήμα 29: Μετρήσεις ανά 5 λεπτά στον προμεριστή.

Από τα διαγράμματα των σχημάτων 26-27 παρατηρούμε ότι στις δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης οι συγκεντρώσεις που μετρήθηκαν ήταν αρκετά υψηλές με μέσες τιμές 0,19 ppm και 0,27 ppm. Η διακύμανση που παρατηρήθηκε επίσης ήταν υψηλή με συγκεντρώσεις να κυμαίνονται από 0,03 ppm μέχρι και 0,63 ppm. Στον μεριστή και τον προμεριστή επίσης παρατηρήθηκαν υψηλές συγκεντρώσεις που έφταναν μέχρι τα 1,6 ppm και 7,1 ppm αντίστοιχα με μέσες συγκεντρώσεις 1,3 ppm για τον μεριστή και 3,5 ppm για τον προμεριστή.

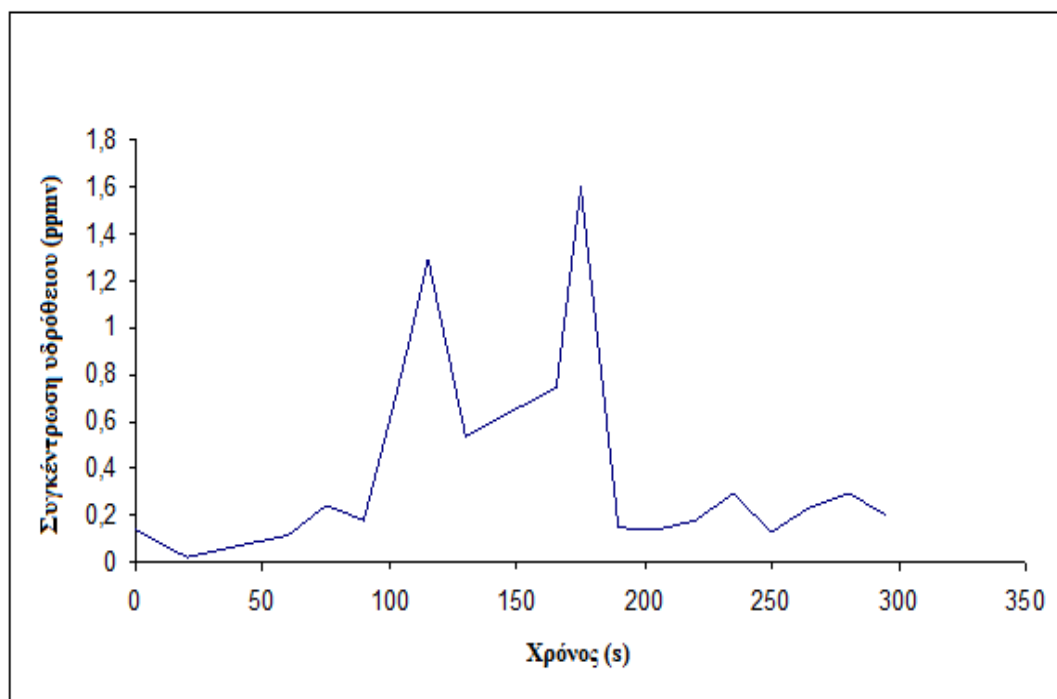
Στη συνέχεια έγιναν επαναληπτικές μετρήσεις των συγκεντρώσεων H_2S στις δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης, τη δεξαμενή επιλογής βακτηρίων, το μεριστή και τον προμεριστή. Οι μετρήσεις έγιναν με χρονικό βήμα 13-16 sec (ίσο με το χρόνο απόκρισης του οργάνου για τις συγκεντρώσεις που εμφανίστηκαν) με σκοπό να μελετηθεί η διακύμανση των τιμών που παρουσιάζονται. Στα διαγράμματα των σχημάτων 30-34 παρατηρούμε ότι σε καμία περίπτωση δεν μειώθηκαν οι συγκεντρώσεις κάτω από το όριο αναγνώρισης, αλλά η διακύμανση που παρατηρήθηκε ήταν της τάξης του 100% παρόλο που χρησιμοποιήθηκε το ελάχιστο εφικτό χρονικό βήμα και οι συνθήκες μέτρησης ήταν σχετικά ελεγχόμενες (κοντά στην πηγή).



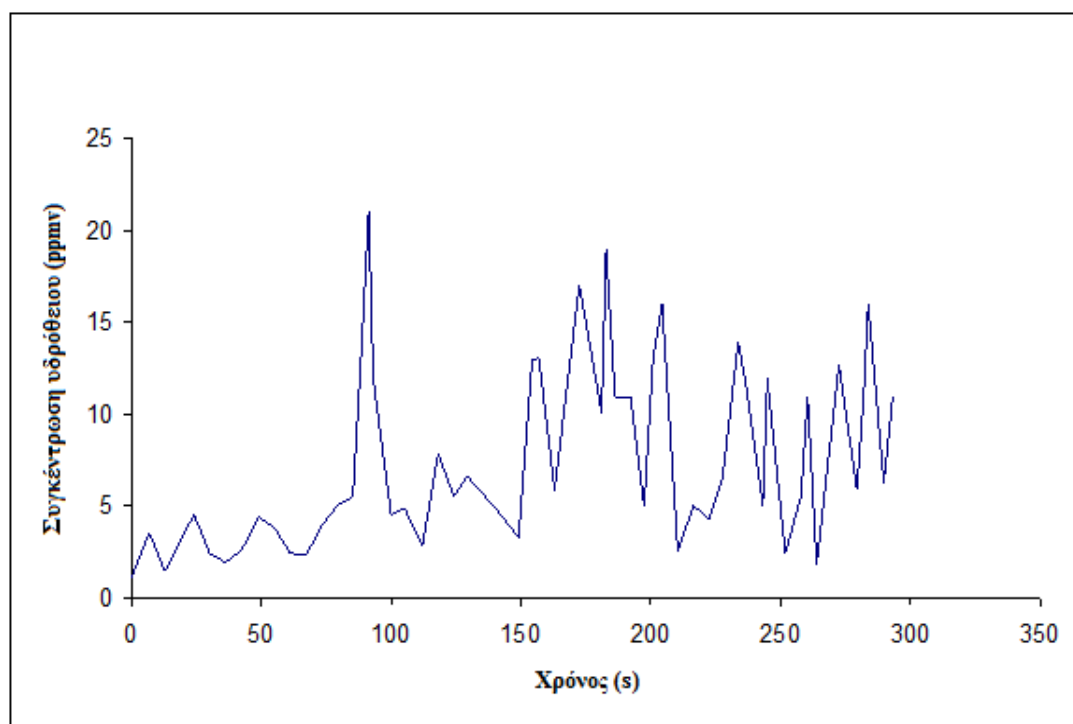
Σχήμα 30: Συνεχής παρακολούθηση των συγκεντρώσεων H_2S στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης (δεξαμενή 1).



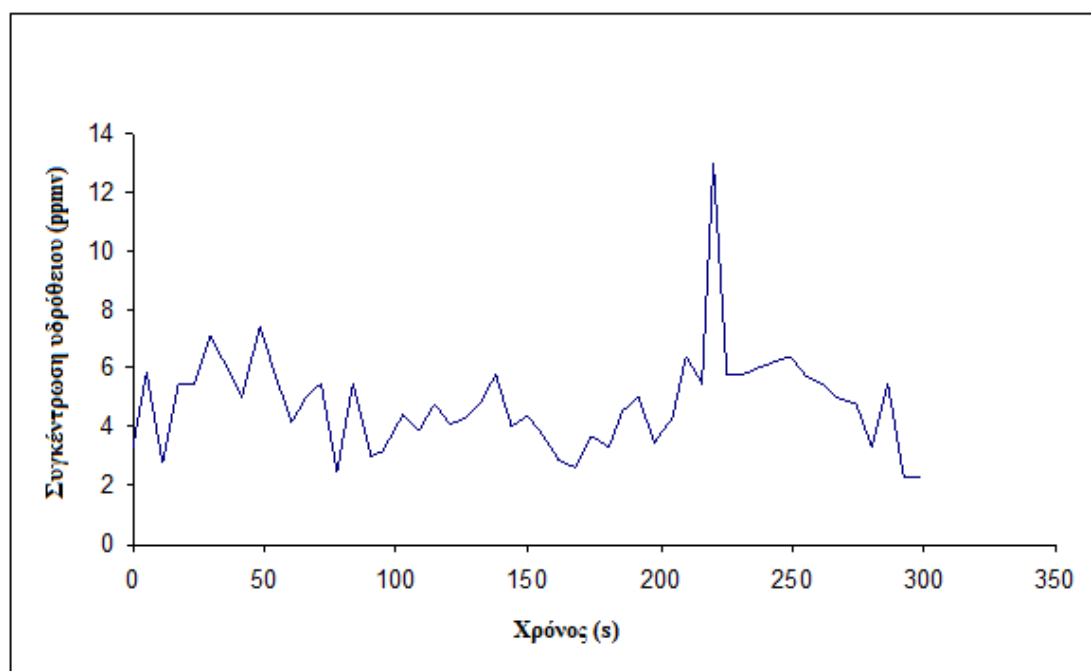
Σχήμα 31: Συνεχής παρακολούθηση των συγκεντρώσεων H_2S στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης (δεξαμενή 2).



Σχήμα 32: Συνεχής παρακολούθηση των συγκεντρώσεων H_2S στην δεξαμενή επιλογής βακτηρίων (σημείο δειγματοληψίας 33).



Σχήμα 33: Συνεχής παρακολούθηση των συγκεντρώσεων H_2S στον προμεριστή (σημείο δειγματοληψίας 36).



Σχήμα 34: Συνεχής παρακολούθηση των συγκεντρώσεων H_2S στον μεριστή (σημείο δειγματοληψίας 37).

3.3.4 Εκτίμηση εκπομπών υδρόθειου από το ΚΕΛ Χανίων

Αρκετές τεχνικές έχουν προταθεί από διάφορους ερευνητές για την εκτίμηση των εκπομπών από επιφανειακές πηγές ή των διαφευγουσών εκπομπών. Οι περιπτώσεις αυτές απαιτούν μια ιδιαίτερη προσέγγιση σε σχέση με την εκτίμηση των εκπομπών από σημειακές πηγές-καμινάδες λόγω του ότι η πηγή έρχεται σε απευθείας επαφή με την ατμόσφαιρα χωρίς να μεσολαβεί καμινάδα όπου μπορεί να μετρηθεί η ροή και να υπολογιστεί έτσι ο ρυθμός εκπομπής των ρύπων. Η χρήση συντελεστών εκπομπής (emission factors) χρησιμοποιείται σε πολλές περιπτώσεις όπου δεν υπάρχουν διαθέσιμες μετρήσεις. Οι συντελεστές εκπομπής είναι εμπειρικές παράμετροι που λαμβάνουν υπόψη τα χαρακτηριστικά της μονάδας και έτσι μπορούμε να εκτιμήσουμε τις εκπομπές οσμών που θα εκλυθούν (Capelli et al., 2009). Ωστόσο, η μέθοδος αυτή δεν λαμβάνει υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της κάθε εγκατάστασης και επομένως τα αποτελέσματα που προκύπτουν δεν έχουν μεγάλο βαθμό αξιοπιστίας. Οι εκπομπές του υδρόθειου από επιφανειακές πηγές υπολογίστηκε στην παρούσα διατριβή χρησιμοποιώντας το Γκαουσιανό μοντέλο διασποράς AERMOD όπως περιγράφεται στη συνέχεια.

Τα γκαουσιανά μοντέλα διασποράς λύνουν την εξίσωση του Gauss χρησιμοποιώντας ως δεδομένες τις εκπομπές του ρύπου, για να υπολογίσουν τη συγκέντρωσή του σε συγκεκριμένη απόσταση από τη πηγή. Στην περίπτωση που η συγκέντρωση αυτή μπορεί να μετρηθεί, είναι εφικτό να αντιστραφεί το πρόβλημα για τον υπολογισμό των εκπομπών του ρύπου. Το μοντέλο AERMOD επίσης έχει τη δυνατότητα να υπολογίσει τη σχετική συνεισφορά της κάθε πηγής στη συγκέντρωση του ρύπου σε ένα συγκεκριμένο σημείο.

Θέτοντας τις εκπομπές της κάθε πηγής ίσες με 1 μονάδα για κάθε πηγή, είναι δυνατό, σχετίζοντας τις αναμενόμενες με τις μετρούμενες συγκεντρώσεις, να βρεθούν λύσεις για τους ρυθμούς εκπομπής κάθε πηγής που να ικανοποιούν τις ανάλογες σχέσεις. Αυτή η προσέγγιση χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη.

Το πρόβλημα στο οποίο καταλήγουμε είναι η ελαχιστοποίηση μιας παραμέτρου όπως φαίνεται στην εξίσωση 28 (E.A.S.E., 2005).

$$\text{Minimize } d = \sum_{i=1}^n (C_i - \sum_{j=1}^m (Q_j \cdot C_{ij,MOD}))^2 \quad (28)$$

όπου:

i : Αριθμός θέσης δειγματοληψίας (από 1 μέχρι n)

j : Αριθμός πηγής (από 1 μέχρι m)

C_i : Μετρούμενη συγκέντρωση H_2S στην i θέση δειγματοληψίας ($\mu g/m^3$)

$C_{ij,MOD}$: Συγκέντρωση H_2S στην θέση i , που οφείλεται στην πηγή j , όπως προκύπτει από την εφαρμογή του μοντέλου με εκπομπή 1 g/m^2 ($\mu g/m^3$).

Q_j : Ο (ζητούμενος) παράγοντας με τον οποίο θα πολλαπλασιαστεί η εκπομπή από την πηγή j .

Οι περιορισμοί που τίθενται είναι οι εξής:

$$Q_j \geq 0$$

$$\max C_i \leq (Q_j \cdot C_{ij,MOD}) \cdot P/M$$

$$\min C_i \geq (Q_j \cdot C_{ij,MOD})$$

όπου P/M ο λόγος peak to mean για τις συγκεκριμένες συνθήκες.

Χρησιμοποιώντας επαναληπτικές μεθόδους για τον προσδιορισμό των εκπομπών από κάθε πηγή πραγματοποιήθηκε ταυτόχρονα και η «βαθμονόμηση» του προγράμματος για την συγκεκριμένη τοποθεσία χρησιμοποιώντας πραγματικά δεδομένα. Λόγω της υψηλής διακύμανσης των συγκεντρώσεων που παρατηρούνται έπρεπε να λάβουμε υπόψη και την διακύμανση τους στον υπολογισμό των εκπομπών. Στον πίνακα 14 παρουσιάζονται οι εκπομπές που υπολογίστηκαν από κάθε πηγή καθώς και η διακύμανση που παρουσίαζαν βάσει των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν.

Πίνακας 14: Εκπομπές υδρόθειου από τις κύριες πηγές.

	Εκπομπές (g/h)	Διακύμανση
S-T	32	±68%
T-1 , T-2	26	±54%
BST	15	±34%

Τα δεδομένα αυτά υπολογίστηκαν για να χρησιμοποιηθούν ως δεδομένα εισόδου για το μοντέλο AERMOD ώστε να γίνει εκτίμηση της όχλησης που μπορεί να προκληθεί από την εκπομπή του υδρόθειου στην ατμόσφαιρα.

3.4 Εκτίμηση εκπομπών H_2S και NH_3 από χοιροτροφική μονάδα

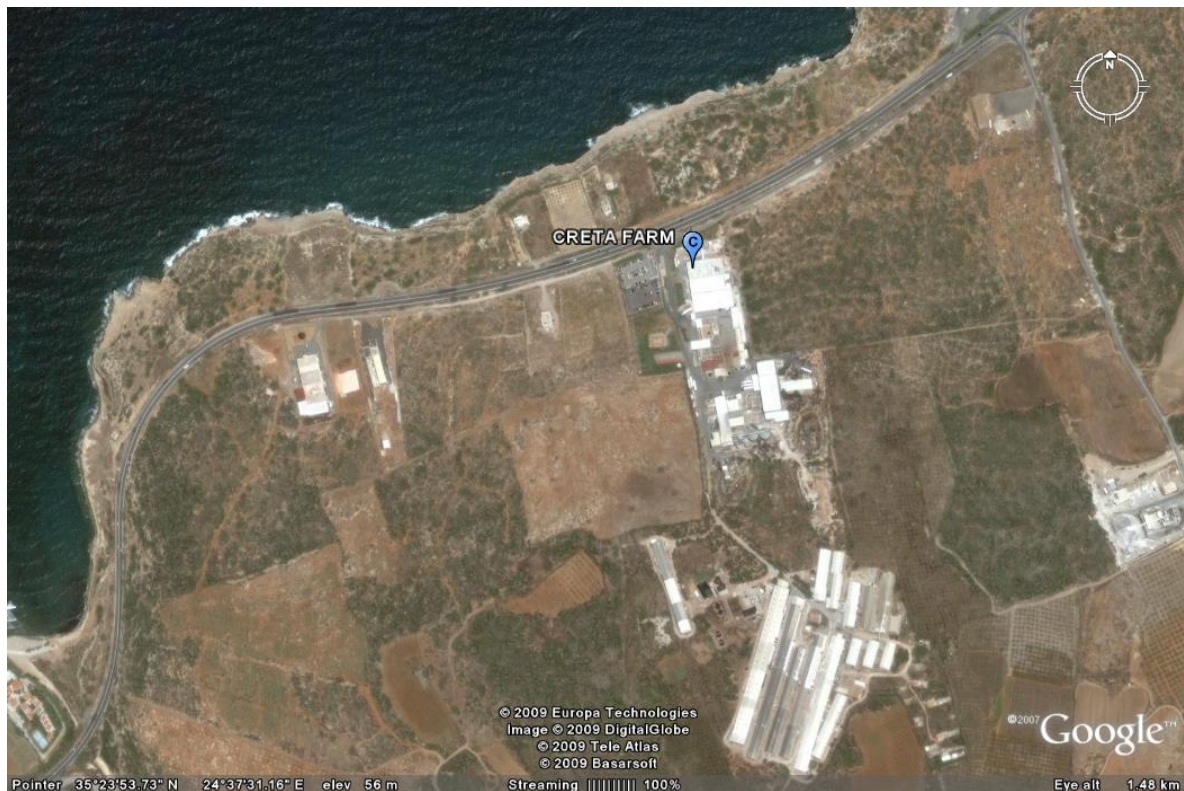
3.4.1 Εισαγωγή

Οι χοιροτροφικές μονάδες μπορούν να αποτελέσουν μια πολύ σημαντική πηγή επιβάρυνσης της ατμόσφαιρας με οσμές. Οι οσμηρές ενώσεις που εκπέμπονται είναι κυρίως ενώσεις του θείου και του αζώτου και προκύπτουν από την βιολογική αποσύνθεση οργανικής ύλης αλλά και βιολογικές διεργασίες (Muehling 1970, Heber et al 1997). Οι ενώσεις που μελετήθηκαν στην παρούσα διατριβή είναι το υδρόθειο και η αμμωνία λόγω της έντονης και χαρακτηριστικής οσμής τους αλλά και της δυνατότητας να αποτελέσουν έναν «δείκτη» του συνολικού προβλήματος που μπορεί να προκληθεί από την λειτουργία μιας τέτοιας μονάδας (Priest et al., 1994).

Το υδρόθειο παράγεται σε αναερόβιες συνθήκες και τείνει να συσσωρεύεται στο κάτω μέρος χώρων που δεν αερίζονται επαρκώς. Η κύρια πηγή αζώτου που συμβάλει στη δημιουργία οσμών αμμωνίας προέρχεται από την ουρία και το ουρικό οξύ που ευρίσκεται στα περιττώματα των χοίρων. Η μετατροπή του αζώτου στη μορφή ουρίας ή ουρικού οξέος καταλύεται από το ένζυμο ουρεάση, το οποίο ήδη βρίσκεται στα περιττώματα των χοίρων.

3.4.2 Περιγραφή της περιοχής δειγματοληψίας

Η εγκατάσταση στην οποία πραγματοποιήθηκε η παρούσα μελέτη είναι η Creta Farm η οποία βρίσκεται 15 km ανατολικά της πόλης του Ρεθύμνου Κρήτης (σχήμα 35). Η μονάδα αποτελείται από 72 θαλάμους στους οποίους εκτρέφονται οι χοίροι. Η περιοχή χαρακτηρίζεται από έντονο ανάγλυφο με θάλασσα προς τον βορρά και υψώματα προς τον νότο. Συχνά γίνονται παράπονα από περιοίκους και διερχόμενους από την τοποθεσία αυτή για την παρουσία έντονων οσμών.

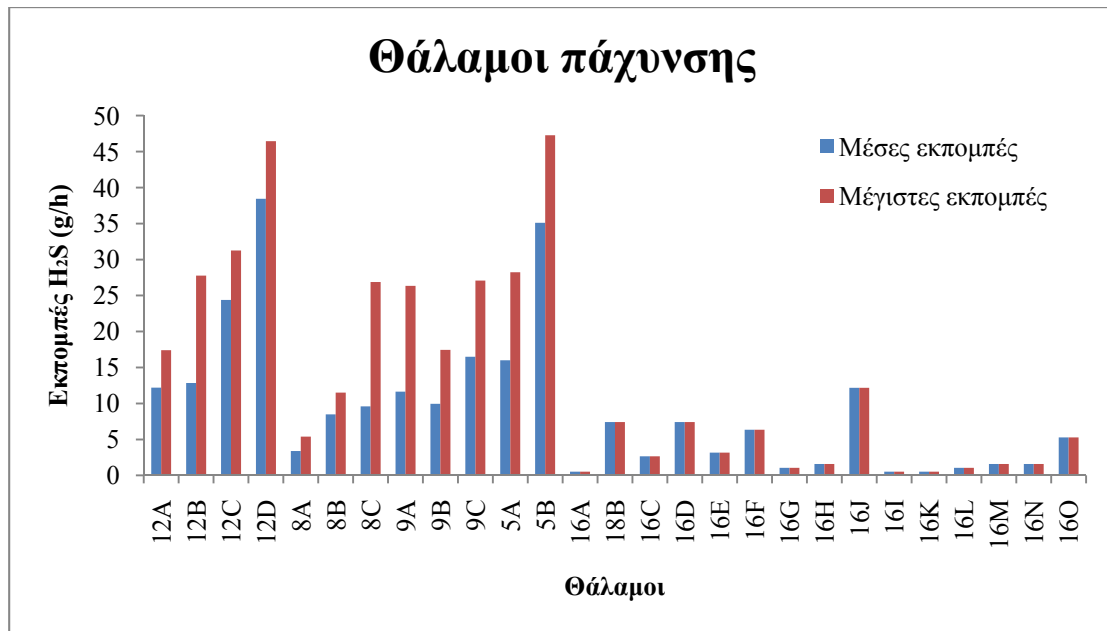


Σχήμα 35: Τοποθεσία της Creta Farm στο Ρέθυμνο.

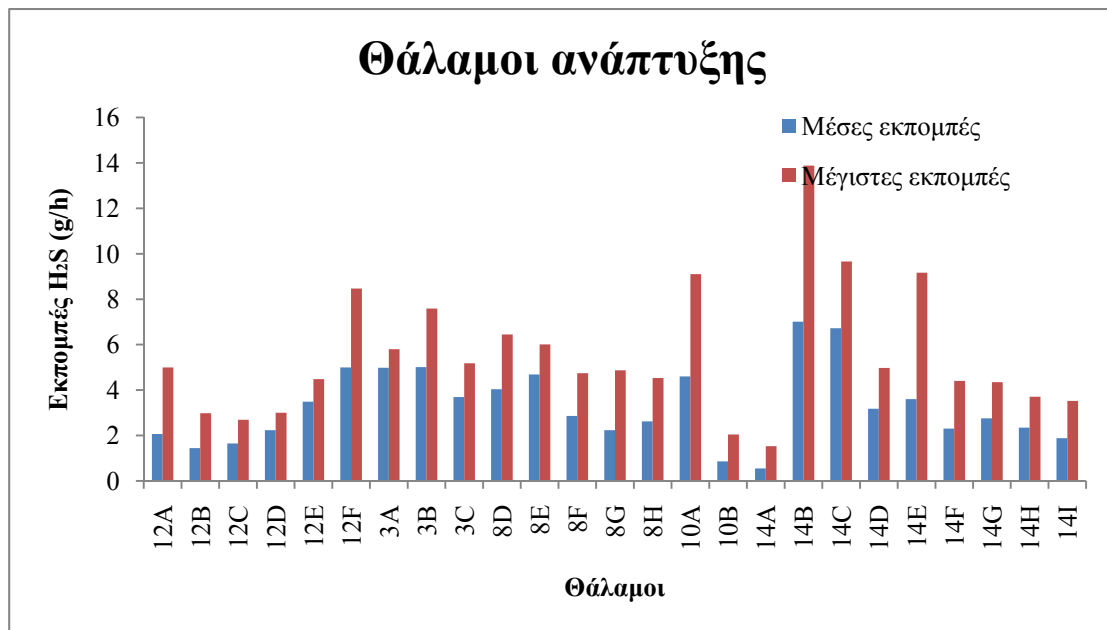
3.4.3 Εκτίμηση εκπομπών υδρόθειου και αμμωνίας από την Creta Farm

3.4.3.1 Εκτίμηση εκπομπών υδρόθειου

Οι εκπομπές του υδρόθειου εκτιμήθηκαν μέσω επιτόπου μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στους διαφόρους θαλάμους της εγκατάστασης. Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το Jerome 631-X το οποίο δίνει τη δυνατότητα μέτρησης χαμηλών συγκεντρώσεων του υδρόθειου. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν κατά τους μήνες Σεπτέμβρη – Οκτώβρη 2009. Οι θάλαμοι όπου βρέθηκαν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις ήταν οι θάλαμοι πάχυνσης και ανάπτυξης. Συνδυάζοντας τα δεδομένα συγκεντρώσεων με την ροή των εξαεριστήρων υπολογίστηκαν οι εκπομπές από κάθε θάλαμο και παρουσιάζονται στα σχήματα 36 και 37 (Karageorgos et al., 2010). Στα σχήματα αυτά φαίνονται οι μέσες αλλά και οι μέγιστες εκπομπές υδρόθειου που υπολογίστηκαν για την περίοδο μετρήσεων βάσει των μέσων και μεγίστων συγκεντρώσεων υδρόθειου που μετρήθηκαν αντίστοιχα.



Σχήμα 36: Εκπομπές υδρόθειου από τους θαλάμους πάχυνσης (μέσες και μέγιστες τιμές).

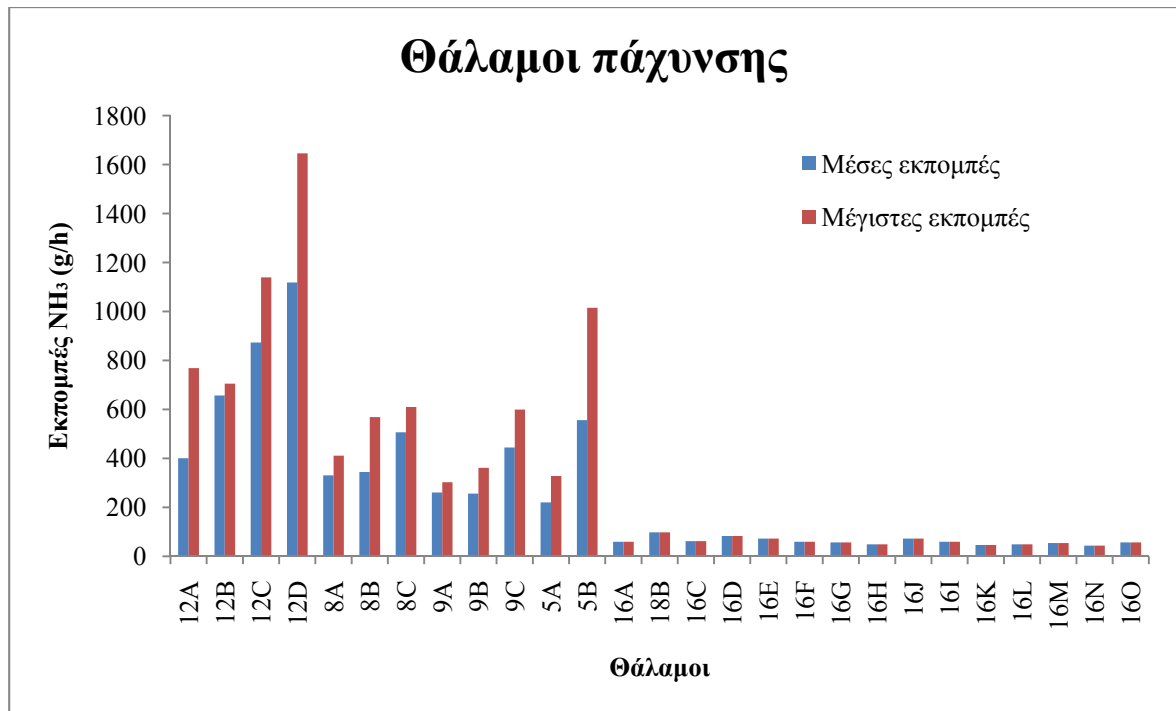


Σχήμα 37: Εκπομπές υδρόθειου από τους θαλάμους ανάπτυξης (μέσες και μέγιστες τιμές).

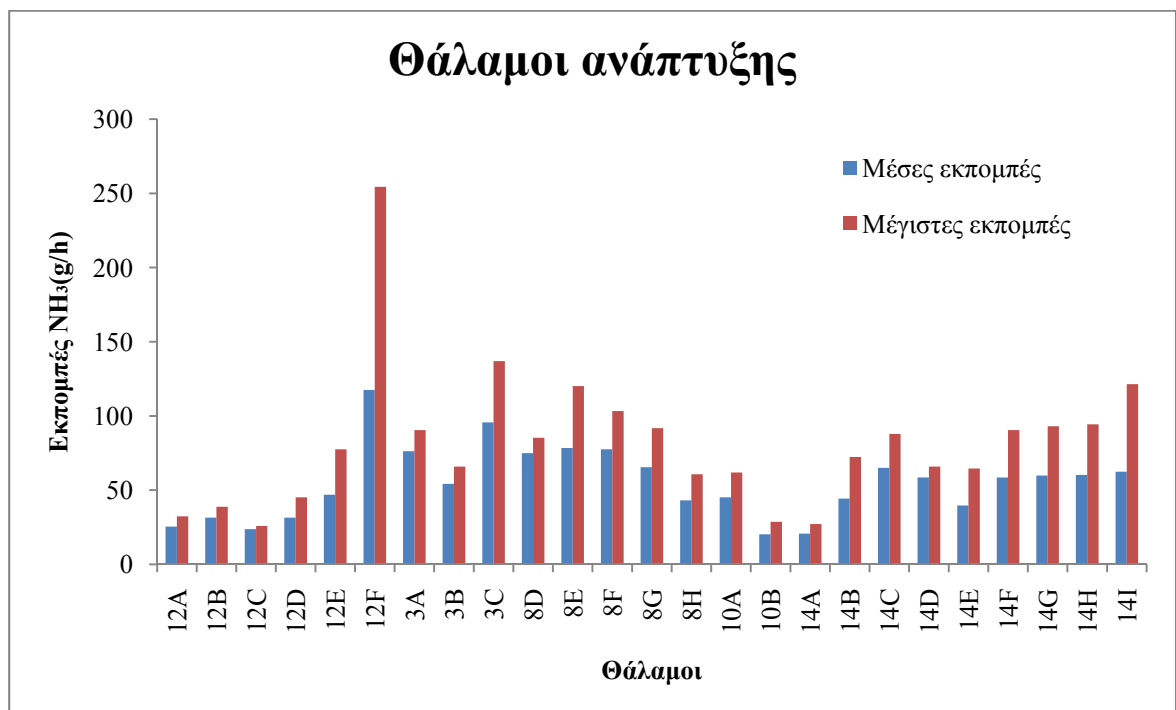
Οι εκπομπές υδρόθειου όπως παρατηρούμε και στα σχήματα 36 και 37 ήταν υψηλότερες στους θαλάμους πάχυνσης παίρνοντας τιμές που σε κάποιες περιπτώσεις ξεπερνούσαν και τα 40 g/h. Στους θαλάμους ανάπτυξης οι εκπομπές ήταν σε χαμηλότερα επίπεδα και κυμαίνονταν από 1 μέχρι 8 g/h. Στα βιοφίλτρα οι συγκεντρώσεις υδρόθειου ήταν κάτω από το όριο αναγνώρισης επομένως δεν εισήχθησαν ως δεδομένα στο μοντέλο διασποράς.

3.4.3.2 Εκτίμηση εκπομπών αμμωνίας

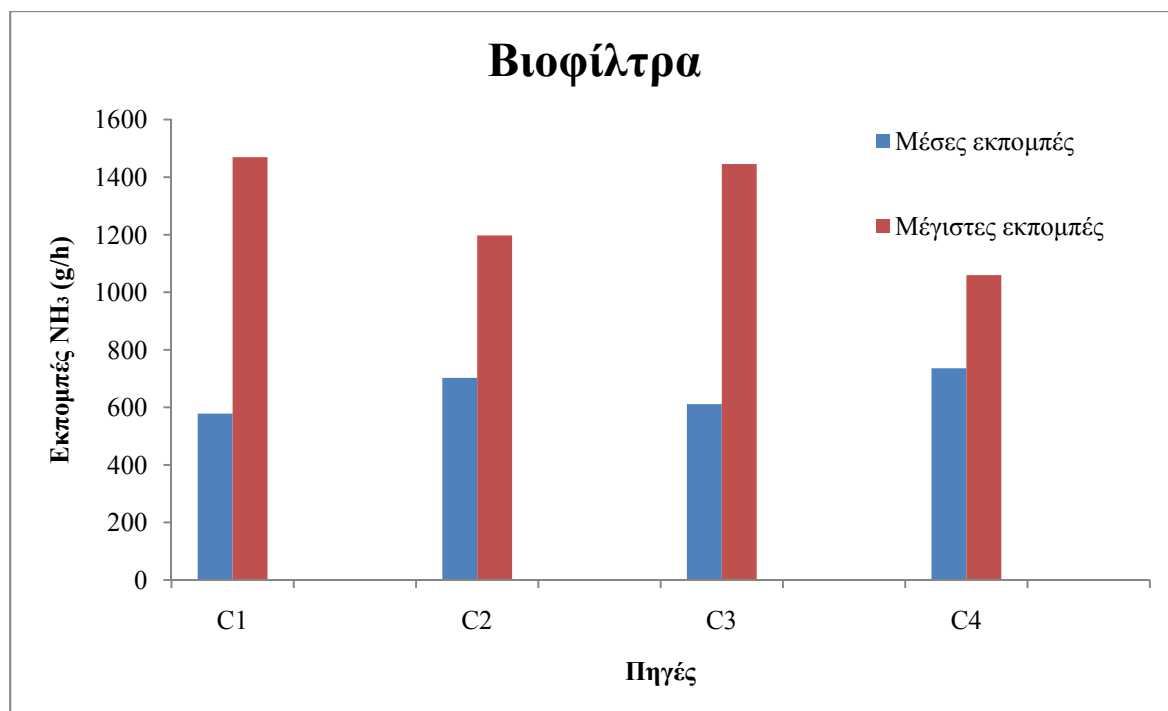
Οι εκπομπές αμμωνίας από τα διάφορα στάδια της εγκατάστασης υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας επιτόπου μετρήσεις συγκεντρώσεων της αμμωνίας. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν την περίοδο Σεπτέμβρη-Οκτώβρη 2009 χρησιμοποιώντας τον αναλυτή GrayWolf's DirectSense TOX Multi-Gas Meter. Τα μέρη όπου παρατηρήθηκαν αυξημένες συγκεντρώσεις ήταν οι θαλάμοι πάχυνσης, οι θάλαμοι ανάπτυξη, τα βιοφίλτρα και ο φυγοκεντρικός διαχωριστήρας (decanter). Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων συγκεντρώσεων σε συνδιασμό με τους ρυθμούς εξαερισμού υπολογίστηκαν οι εκπομπές αμμωνίας από κάθε τοποθεσία (Karageorgos et al., 2010). Τα αποτελέσματα που εισήχθησαν στο μοντέλο διασποράς παρουσιάζονται στα σχήματα 38-41.



Σχήμα 38: Εκπομπές αμμωνίας από τους θαλάμους πάχυνσης (μέσες και μέγιστες τιμές).



Σχήμα 39: Εκπομπές αμμωνίας από τους θαλάμους ανάπτυξης (μέσες και μέγιστες τιμές).



Σχήμα 40: Εκπομπές αμμωνίας από τα βιοφίλτρα (μέσες και μέγιστες τιμές).



Σχήμα 41: Εκπομπές αμμωνίας από τον φυγοκεντρικό διαχωριστήρα.

Οι εκπομπές της αμμωνίας βρέθηκε ότι εξαρτώνται κατά πολύ μεγάλο ποσοστό από τον τύπο του θαλάμου. Στους θαλάμους πάχυνσης οι εκπομπές ήταν περίπου 5 φορές μεγαλύτερες σε σχέση με αυτές από τους θαλάμους ανάπτυξης. Οι τιμές που υπολογίστηκαν ήταν 10- 250 g/h για τους θαλάμους ανάπτυξης και 40-1.700 g/h για τους θαλάμους πάχυνσης. Στα βιοφίλτρα οι εκπομπές ήταν επίσης αυξημένες και κυμαίνονταν στα ίδια επίπεδα περίπου με τους θαλάμους πάχυνσης. Χαμηλότερες εκπομπές υπολογίστηκαν στον φυγοκεντρικό διαχωριστήρα (μέγιστη τιμή τα 170 g/h). Παρατηρείται επίσης ότι οι μέγιστες εκπομπές που μπορεί να παρατηρηθούν είναι σημαντικά μεγαλύτερες από τις μέσες τιμές που υπολογίστηκαν. Αυτές τις «ακραίες» καταστάσεις μπορούμε να τις επεξεργαστούμε εισάγοντας στατιστικούς δείκτες μόνο όπως και έχει γίνει στο τροποποιημένο μοντέλο διασποράς οσμών που έχει χρησιμοποιηθεί στην παρούσα μελέτη. Επίσης για να ληφθεί υπόψη η διακύμανση των εκπομπών, ως δεδομένο εισόδου στο μοντέλο θα εισαχθούν τόσο οι μέσες εκπομπές που μετρήθηκαν όσο και οι μέγιστες για να εκτιμηθεί και το «χειρότερο σενάριο».

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΕΚΠΕΜΠΟΜΕΝΩΝ ΒΙΟΑΕΡΟΖΟΛ ΑΠΟ ΚΕΝΤΡΟ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ

4.1 Εισαγωγή

Ως βιοαεροζόλ ορίζεται το αεροζόλ βιολογικής προέλευσης, το οποίο μπορεί να ασκήσει βιολογική δράση σε ζώα και φυτά, λόγω της βιωσιμότητάς του, της μολυσματικής του δράσης, της αλλεργιογόνου δράσης του, της τοξικότητάς του, της φαρμακολογικής ή άλλης βιολογικής ιδιότητάς του, με αεροδυναμική διάμετρο της τάξης των 0,5 έως 100 μm (Cox και Wathes, 1995). Το ποσοστό των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα που χαρακτηρίζονται ως βιοαεροζόλ είναι 28%, 22% και 10% σε απομακρυσμένες ηπειρωτικές περιοχές, κατοικημένες ηπειρωτικές περιοχές και απομακρυσμένες παραθαλάσσιες περιοχές αντίστοιχα (Matthais-Maser et al., 2000). Το μέγεθος των βιοαεροζόλ διαφοροποιείται σημαντικά ανάλογα με την φύση του σωματιδίου. Η γύρη έχει αεροδυναμική διάμετρο 17 μm έως 58 μm (Stanley και Linskins, 1974), οι μύκητες 1 μm έως 30 μm (Gregory, 1973), τα βακτήρια 0.25 μm έως 8 μm (Thompson, 1981), ενώ οι ιοί έχουν αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη από 0.3 μm (Taylor, 1988). Τα βιοαεροζόλ δεν εκπέμπονται απαραίτητα στην ατμόσφαιρα ως σωματίδια αλλά μπορούν να προσκολληθούν σε υπάρχοντα υδροσταγονίδια και να μεταφερθούν μέσω αυτών (Jones και Harrison, 2004)

Οι πηγές των βιοαεροζόλ στην ατμόσφαιρα αποτελούνται τόσο από ανθρωπογενείς όσο και από φυσικές δραστηριότητες. Η επίδραση του ανέμου στο έδαφος, η ανατάραξη του νερού, οι γεωργικές δραστηριότητες και η πτώση των σταγόνων της βροχής στο έδαφος είναι μερικές από τις συνηθέστερες πηγές βιοαεροζόλ. Επίσης

διάφορες βιολογικές δραστηριότητες έμβιων όντων, όπως ο βήχας, η αναπνοή και η ομιλία οδηγούν σε εκπομπή μικροοργανισμών στην ατμόσφαιρα (Griffiths και Decosemo, 1994).

Τα κέντρα επεξεργασίας λυμάτων αποτελούν μια σημαντική πηγή βιοαεροζόλ, και ειδικά εκείνα τα στάδια που περιέχουν κινούμενους μηχανισμούς και τυρβώδης ροή των λυμάτων. Τα σταγονίδια που εκπέμπονται από τα διάφορα στάδια των ΚΕΛ περιέχουν, μεταξύ άλλων, παθογόνους μικροοργανισμούς, ικανούς να μολύνουν τον άνθρωπο μέσω του αναπνευστικού συστήματος, της επαφής ή της κατάποσης. Η μέτρηση των μικροοργανισμών που διαφεύγουν από την επιφάνεια του νερού σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων είναι ένα αντικείμενο μελέτης που αποκτά ολοένα και αυξανόμενο ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια (Ranalliet al., 2000, Pascual et al., 2003, Karra & Katsivela, 2007).

Στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής επικεντρωθήκαμε στην μελέτη των εκπεμπόμενων βιοαεροζόλ από Κέντρα Επεξεργασίας Λυμάτων. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις των βιοαεροζόλ στο ΚΕΛ Χανίων καθώς και άλλων παραμέτρων που ενδεχομένως σχετίζονται με τις συγκεντρώσεις των βιοαεροζόλ, όπως περιγράφεται αναλυτικά στις ακόλουθες παραγράφους.

4.2 Υλικά και μέθοδοι

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας τον δειγματολήπτη ζώντων μικροοργανισμών τύπου Andersen 6- σταδίων καθώς και τον δειγματολήπτη MAS 100 που περιγράφονται αναλυτικά στο κεφάλαιο 3. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε σχετικά με την προετοιμασία των θρεπτικών υποστρωμάτων και την

καταμέτρηση των αποικιών των μικροοργανισμών που σχηματίστηκαν, περιγράφεται στις ακόλουθες παραγράφους.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν για την συγκέντρωση των βιοαεροζόλ εκφράζονται σε CFU/m³ (Colony Forming Units / m³). Η μονάδα μέτρησης δηλαδή που χρησιμοποιήθηκε για την ποσοτικοποίηση της συγκέντρωσης των ζώντων αερομεταφερόμενων μικροοργανισμών είναι ο αριθμός σχηματιζόμενων αποικιών ανά κυβικό μέτρο αέριου δείγματος.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις μετρήσεις με τον δειγματολήπτη Andersen 6 σταδίων προκύπτουν σε αριθμό αποικιών ανά κυβικό μέτρο αέρα ανάλογα με την αεροδυναμική διάμετρο των σωματιδίων. Ο όρος «αεροδυναμική διάμετρος» χρησιμοποιείται για να προσδιορίσουμε το μέγεθος των αιωρούμενων σωματιδίων. Λόγω του ακανόνιστου σχήματός τους, η πραγματική διάμετρος δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την περιγραφή του μεγέθους τους. Για το λόγο αυτό έχει οριστεί η αεροδυναμική διάμετρος ως η διάμετρος σφαιρικού σωματιδίου πυκνότητας 1g/cm³ και ίδιας ταχύτητας καθίζησης με το υπό εξέταση σωματίδιο. Τα αποτελέσματα έχουν κατηγοριοποιηθεί σε 6 κατηγορίες όπως παρουσιάζεται στον πίνακα 11.

Αρχικά προσδιορίστηκε ο βέλτιστος όγκος αέρα για κάθε μικροοργανισμό. Βασιζόμενοι σε αντίστοιχες μελέτες (Karra & Katsivela, 2007) και πραγματοποιώντας δοκιμαστικές μετρήσεις καταλήξαμε στους βέλτιστους όγκους όπως παρουσιάζονται στον πίνακα 15.

Πίνακας 15: Βέλτιστοι όγκοι δειγματοληψίας ανά οργανισμό*.

	Ετερότροφα βακτήρια	Μύκητες	Κολοβακτήρια
Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης	500-1.000 L	ΔΠ *	2.000 L
Δεξαμενές εξάμμιωσης και λιποσυλλογής	50 – 100 L	300 L	2.000 L
Μάρτυρας	500 L	500 L	ΔΠ *

* Στις περιπτώσεις όπου οι συγκεντρώσεις των αερομεταφερόμενων μικροβίων ήταν πολύ χαμηλές, δεν έγιναν μετρήσεις και συμβολίζονται με ΔΠ στον πίνακα.

4.2.1 Μέτρηση συγκεντρώσεων μεσόφιλων ετερότροφων βακτηρίων

Για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων των μεσόφιλων ετερότροφων βακτηρίων παρασκευάστηκε και χρησιμοποιήθηκε ως θρεπτικό μέσο το Tryptone Soy Agar (TSA) (Merck, Germany). Για τη δημιουργία του συγκεκριμένου υποστρώματος ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία. Σε 1000 ml απιονισμένου νερού προστίθενται 30 g Tryptone Soy Broth και 15 g Agar-Agar. Το pH του υποστρώματος είναι $7,4 \pm 0,2$. Στη συνέχεια, μετά από καλή ανάδευση, τοποθετείται σε κλίβανο αποστείρωσης στους 121 °C και σε πίεση 1,2 bar για 15 min. Στη συνέχεια το υπόστρωμα τοποθετείται στα τριβλία και κατόπιν, αφού ολοκληρωθεί η δειγματοληψία, τα τριβλία επωάζονται σε επωαστικό θάλαμο για 48 h στους 37 °C. Τέλος,

καταμετρώνται όλες οι αποικίες που αναπτύσσονται στις 24 h και τις 48 h μετά την δειγματοληψία. Τα συστατικά του θρεπτικού υποστρώματος Tryptone Soy Agar αναφέρονται στον πίνακα 16.

Πίνακας 16: Σύσταση του θρεπτικού υποστρώματος TSA.

Συστατικά	Συγκέντρωση (g/l)
Tryptone (Casein Digest USP)	17
Soy Peptone	3
Sodium chloride	5
Dipotassium phosphate	2,5
Agar	15
Dextrose	2,5

Στο σχήμα 42 παρουσιάζεται ένα τριβλίο με το θρεπτικό υπόστρωμα Tryptone Soy Agar, όπου φαίνονται οι αποικίες ετερότροφων βακτηρίων που έχουν αναπτυχθεί.



Σχήμα 42: Αποικίες ετερότροφων βακτηρίων σε τριβλίο με Tryptone Soy Agar.

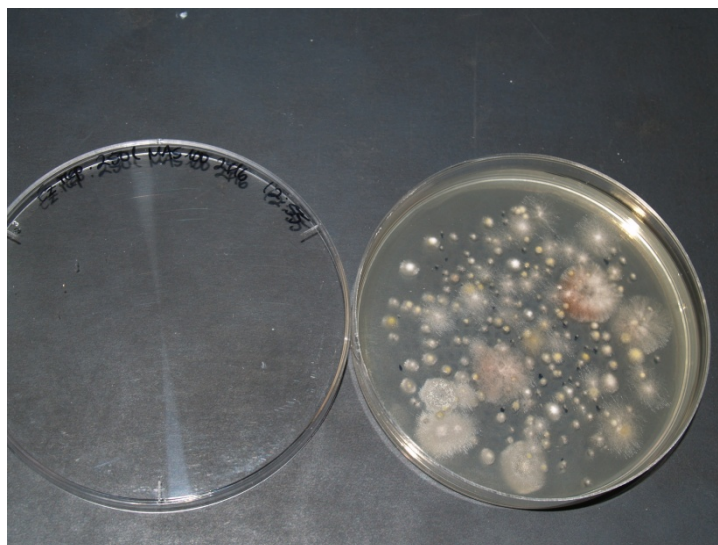
4.2.2 Μέτρηση συγκεντρώσεων μυκήτων

Για την μέτρηση των μυκήτων παρασκευάστηκε και χρησιμοποιήθηκε το Malt Extract Agar (MEA) (Lab M, England). Το Malt Extract Agar είναι ένα υγρό θρεπτικό υπόστρωμα με υψηλή περιεκτικότητα σε υδατάνθρακες για την ανάπτυξη των μυκήτων. Για την παρασκευή του συγκεκριμένου υποστρώματος ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία. Σε 1000 ml απιονισμένου νερού προστίθενται 20 g Malt Extract Broth και 15 g Agar-Agar. Στη συνέχεια, μετά από καλή ανάδευση, τοποθετείται σε κλίβανο αποστείρωσης στους 121 °C και σε πίεση 1,2 bar για 15 min. Το pH του υποστρώματος είναι $5,4 \pm 0,2$. Στη συνέχεια το υπόστρωμα τοποθετείται στα τριβλία και αφού ολοκληρωθεί η δειγματοληψία, τα τριβλία επωάζονται σε επωαστικό θάλαμο για 72 h στους 20 °C. Η καταμέτρηση των αποικιών γινόταν κάθε φορά στις 48 h και 72 h μετά την δειγματοληψία. Τα συστατικά του θρεπτικού υποστρώματος Malt Extract Agar παρουσιάζονται στον πίνακα 17.

Πίνακας 17: Σύσταση του θρεπτικού υποστρώματος ΜΕΑ.

Συστατικά	Συγκέντρωση (g/l)
Malt Extract	17
Mycological Peptone	3
Agar	15

Στο σχήμα 43 παρουσιάζεται ένα τριβλίο με το θρεπτικό υπόστρωμα Malt Extract Agar, όπου φαίνονται οι αποικίες μυκήτων που έχουν αναπτυχθεί.



Σχήμα 43: Ανάπτυξη μυκήτων σε τριβλίο με Malt Extract Agar.

4.2.3 Μέτρηση συγκεντρώσεων ολικών κολοβακτηρίων

Για την μέτρηση των ολικών κολοβακτηρίων παρασκευάστηκε και χρησιμοποιήθηκε το Membrane Lauryl Sulphate Agar (MLSA) (Merck, Germany). Για την παρασκευή του συγκεκριμένου υποστρώματος ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία. Σε 1000 ml απιονισμένου νερού προστίθενται 76,2 g Membrane Lauryl Sulphate Broth και 15 g Agar-Agar. Στη συνέχεια, μετά από καλή ανάδευση, τοποθετείται σε κλίβανο αποστείρωσης στους 121 °C και σε πίεση 1,2 bar για 15 min. Το pH του υποστρώματος είναι $7,4 \pm 0,2$. Στη συνέχεια το υπόστρωμα τοποθετείται στα τριβλία και αφού ολοκληρωθεί η δειγματοληψία, τα τριβλία επωάζονται σε επωαστικό θάλαμο για 48h στους 37 °C. Οι αποικίες των κολοβακτηρίων που αναπτύσσονται και καταμετρώνται έχουν κίτρινο χρώμα. Η καταμέτρηση των αποικιών γινόταν κάθε φορά μετά από 24 και 48h επώασης. Τα συστατικά του θρεπτικού υποστρώματος Membrane Lauryl Sulphate Agar παρουσιάζονται στον πίνακα 18.

Πίνακας 18: Σύσταση του θρεπτικού υποστρώματος MLSA.

Συστατικά	Συγκέντρωση (g/l)
Peptone	39
Yeast Extract	6
Lactose	30
Phenol Red	0,2
Sodium lauryl sulphate	1
Agar	15

Στο σχήμα 44 παρουσιάζεται ένα τριβλίο με το θρεπτικό υπόστρωμα Membrane Lauryl Sulphate Agar, όπου φαίνονται οι αποικίες των κολοβακτηρίων που έχουν αναπτυχθεί.



Σχήμα 44: Ανάπτυξη αποικιών κολοβακτηρίων σε τριβλίο με Membrane Lauryl Sulphate Agar.

4.2.4 Περίοδος και θέσεις δειγματοληψίας

Οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων αποτελούν μια σημαντική πηγή βιοαεροζόλ. Τα σταγονίδια που παράγονται ειδικά από εκείνα τα στάδια που περιέχουν κινούμενους μηχανισμούς περιέχουν σημαντικές ποσότητες μικροοργανισμών, ικανών να μολύνουν τον άνθρωπο μέσω του αναπνευστικού συστήματος, της επαφής ή της κατάποσης. Για το λόγο αυτό πραγματοποιήθηκε σειρά μετρήσεων των συγκεντρώσεων των βιοαεροζόλ τόσο σε εσωτερικούς χώρους της εγκατάστασης όσο και σε εξωτερικούς για να εξεταστεί το ενδεχόμενο πιθανής μεταφοράς τους σε περιοχές εκτός της μονάδας.

Οι μικροοργανισμοί που μετρήθηκαν ήταν τα μεσόφιλα ετερότροφα βακτήρια, οι μύκητες και τα κολοβακτήρια. Το αερομεταφερόμενο μικροβιακό φορτίο μετρήθηκε με μετρητή 6-stage Andersen καθώς και με τον δειγματολήπτη MAS-100.

Οι δειγματοληψίες των βιοαεροζόλ πραγματοποιήθηκαν κατά την περίοδο 12 Μαρτίου – 27 Ιουνίου του 2008 σε τρεις θέσεις. Μετρήθηκαν σε έναν εσωτερικό και έναν εξωτερικό χώρο του κέντρου επεξεργασίας αστικών λυμάτων (ΚΕΛ) Χανίων (δεξαμενές εξάμωσης και λιποσυλλογής, δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης αντίστοιχα) (σχήματα 45-46). Επίσης πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στο προαύλιο του ΤΕΙ Κρήτης, Παράρτημα Χανίων, το οποίο βρίσκεται περίπου 2,5 km μακριά από το ΚΕΛ ώστε να προσδιοριστεί η συγκέντρωση υποβάθρου (μάρτυρας).



Σχήμα 45: Δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής (εσωτερικός χώρος).

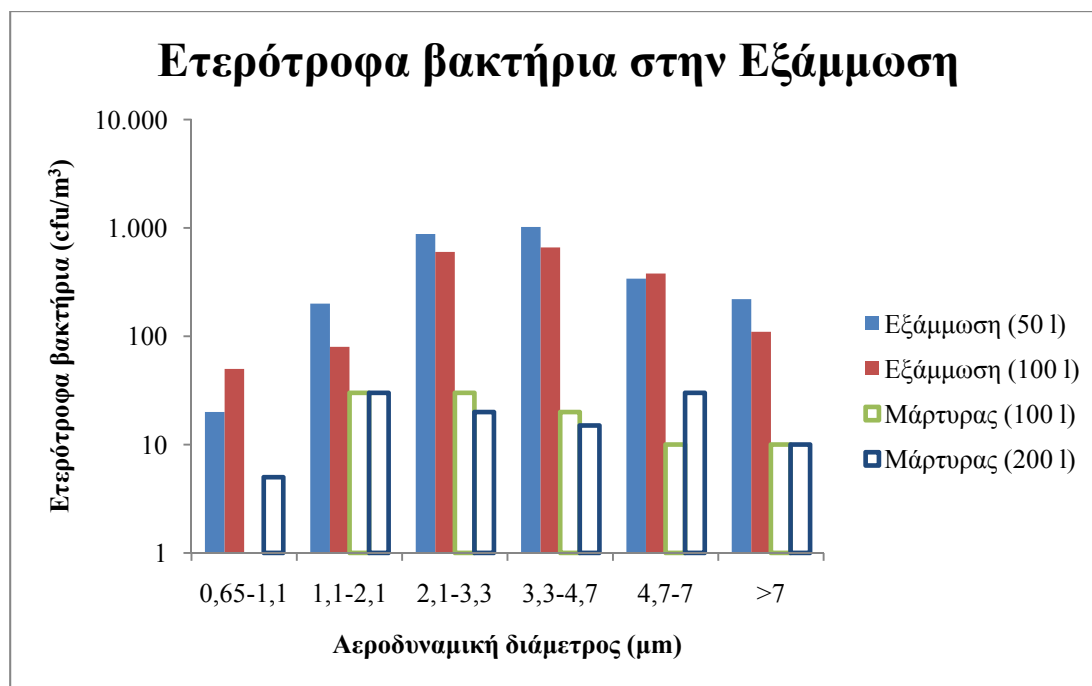


Σχήμα 46: Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης (εξωτερικός χώρος).

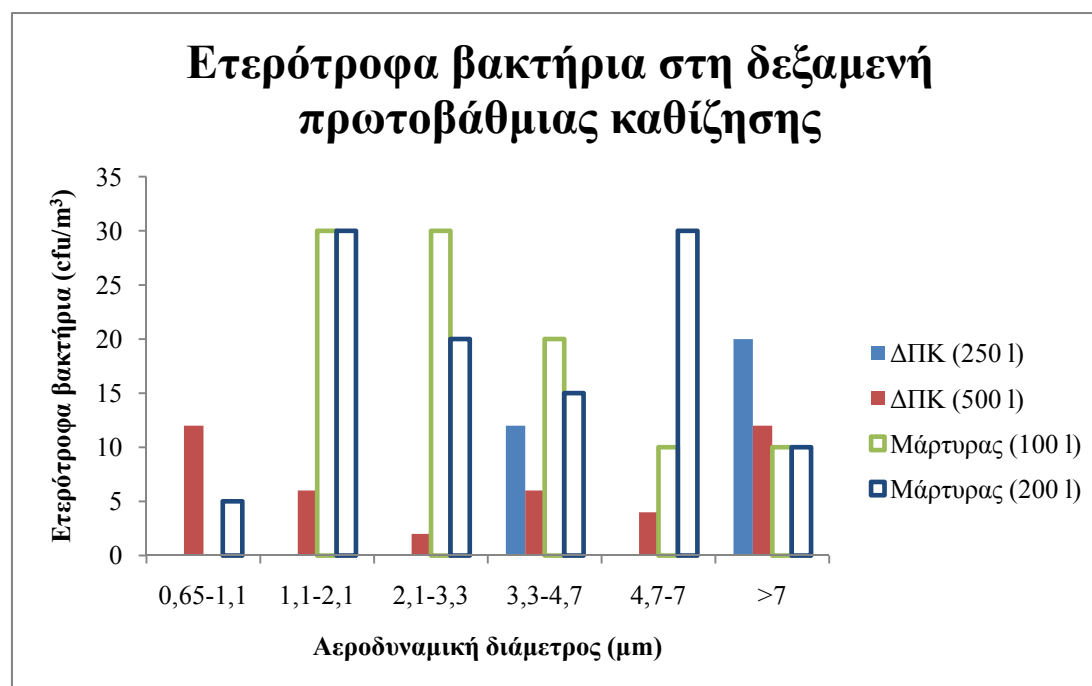
4.3 Αποτελέσματα μετρήσεων

4.3.1 1η σειρά μετρήσεων (12/03/2008)

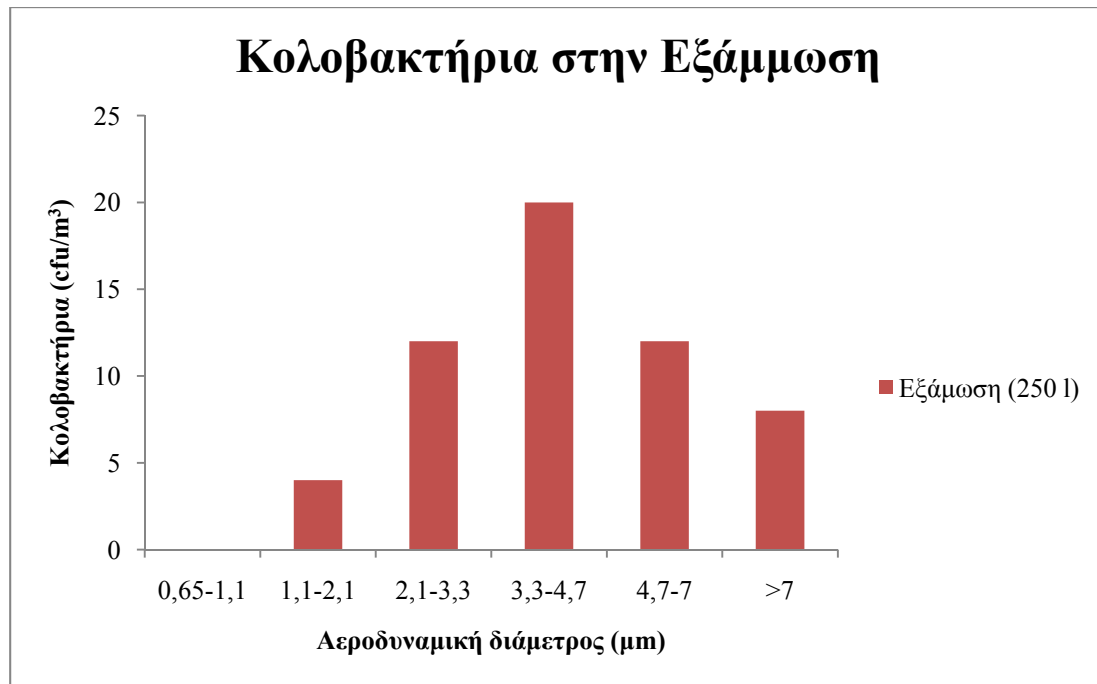
Η πρώτη σειρά μετρήσεων πραγματοποιήθηκε στις 12/03/2008. Οι μετρήσεις των βιοαεροζόλ πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας τον αναλυτή 6 σταδίων και καταμετρήθηκαν τα ετερότροφα βακτήρια και τα κολοβακτήρια. Στα σχήματα 47-48 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τα ετερότροφα βακτήρια στις δεξαμενές εξάμμιωσης και λιποσυλλογής (ΔΕΛ) και την δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης (ΔΠΚ) για τους διαφορετικούς όγκους αέρα που χρησιμοποιήθηκαν και σε σύγκριση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τον μάρτυρα. Στο σχήμα 49 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τα κολοβακτήρια στις δεξαμενές εξάμμιωσης και λιποσυλλογής.



Σχήμα 47: Συγκεντρώσεις ετερότροφων βακτηρίων στις ΔΕΛ και στον μάρτυρα για διαφορετικούς όγκους αέρα (1^η σειρά μετρήσεων).



Σχήμα 48: Συγκεντρώσεις ετερότροφων βακτηρίων στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης και στον μάρτυρα για διαφορετικούς όγκους αέρα (1^η σειρά μετρήσεων)



Σχήμα 49: Συγκεντρώσεις κολοβακτηρίων στις δεξαμενές εξάμωσης και λιποσυλλογής (1^η σειρά μετρήσεων).

Οι συγκεντρώσεις των ετερότροφων βακτηρίων ήταν ιδιαίτερα αυξημένες στις δεξαμενές εξάμωσης και λιποσυλλογής σε σχέση με αυτές που παρατηρήθηκαν στον μάρτυρα ενώ στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης η συγκέντρωση των ετερότροφων βακτηρίων ήταν μικρότερη από αυτήν που παρατηρήθηκε στον μάρτυρα. Στα δείγματα από την δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης δεν αναπτύχθηκαν αποικίες κολοβακτηρίων.

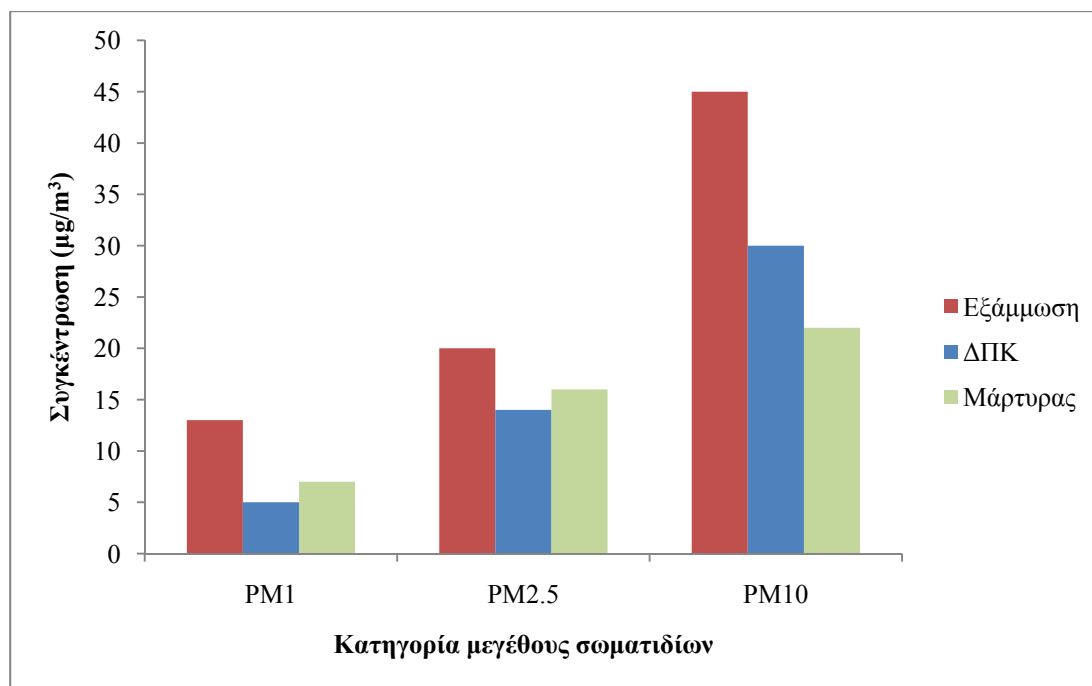
Στον πίνακα 19 δίνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων των άλλων ρύπων καθώς και οι μετεωρολογικές παράμετροι που επικρατούσαν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, ενώ στο σχήμα 50 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις που προέκυψαν για τα αιωρούμενα σωματίδια στα 3 σημεία δειγματοληψίας. Παρατηρούμε από τον πίνακα 19 ότι το υδρόθειο βρίσκεται σε σχετικά υψηλή συγκέντρωση (436 ppb) στις

δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής. Η συγκέντρωση αυτή είναι κάτω από το όριο ακίνδυνης βραχυπρόθεσμης έκθεσης αλλά μπορεί να προκαλέσει ερεθισμό στα μάτια, τη μύτη και τον λαιμό. Στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης η συγκέντρωση του υδρόθειου είναι μεγαλύτερη από το όριο ανίχνευσης της χαρακτηριστικής του οσμής. Η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων παρατηρούμε ότι παίρνει τις υψηλότερες τιμές στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής ενώ στον μάρτυρα οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων είναι μεγαλύτερες σε σχέση με αυτές που μετρήθηκαν στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης. Εξάιρεση αποτελούν τα σωματίδια μεγαλύτερων διαμέτρων (PM_{10}) τα οποία έχουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης σε σχέση με τον μάρτυρα.

Πίνακας 19: Αποτελέσματα μετρήσεων ρύπων και μετεωρολογικών παραμέτρων για την 1^η σειρά μετρήσεων.

	Δεξαμενές εξάμωσης και λιποσυλλογής	Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης	Μάρτυρας
H ₂ S	436 ppb	27 ppb	5 ppb
PM ₁₀	45 µg/m ³	30 µg/m ³	22 µg/m ³
PM _{2.5}	20 µg/m ³	14 µg/m ³	16 µg/m ³
PM ₁	13 µg/m ³	5 µg/m ³	7 µg/m ³
Θερμοκρασία	ΔΠ	14,8 °C	
Σχετική υγρασία	ΔΠ	72%	
Ταχύτητα ανέμου	ΔΠ	8,3 m/s	

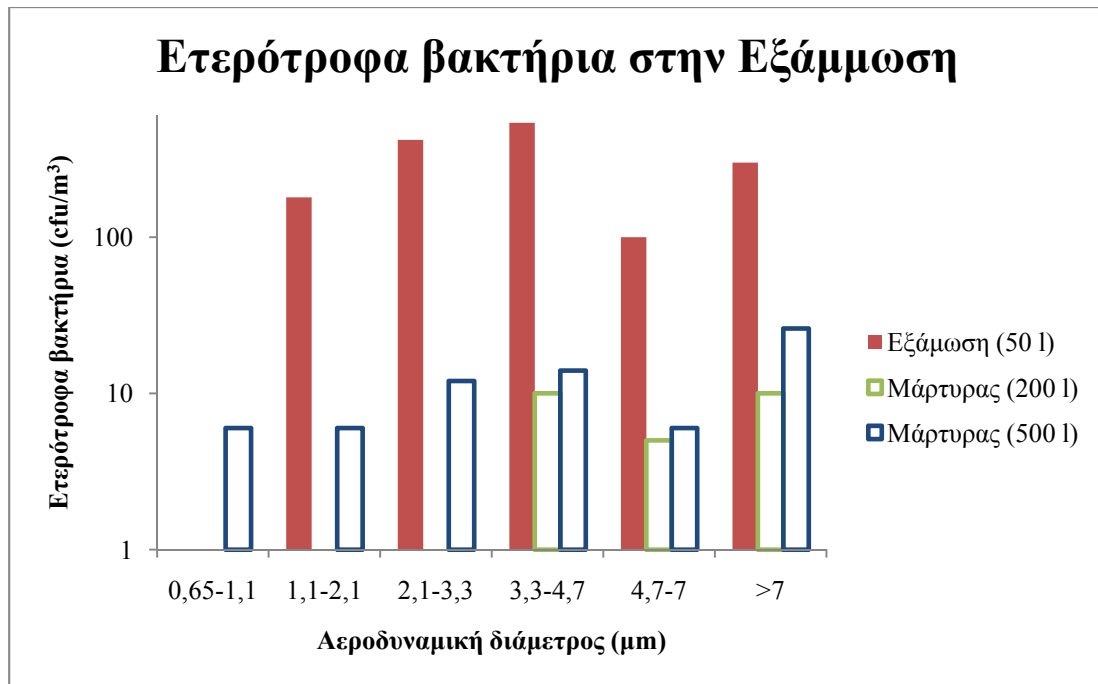
*ΔΠ : Δεν προσδιορίστηκε



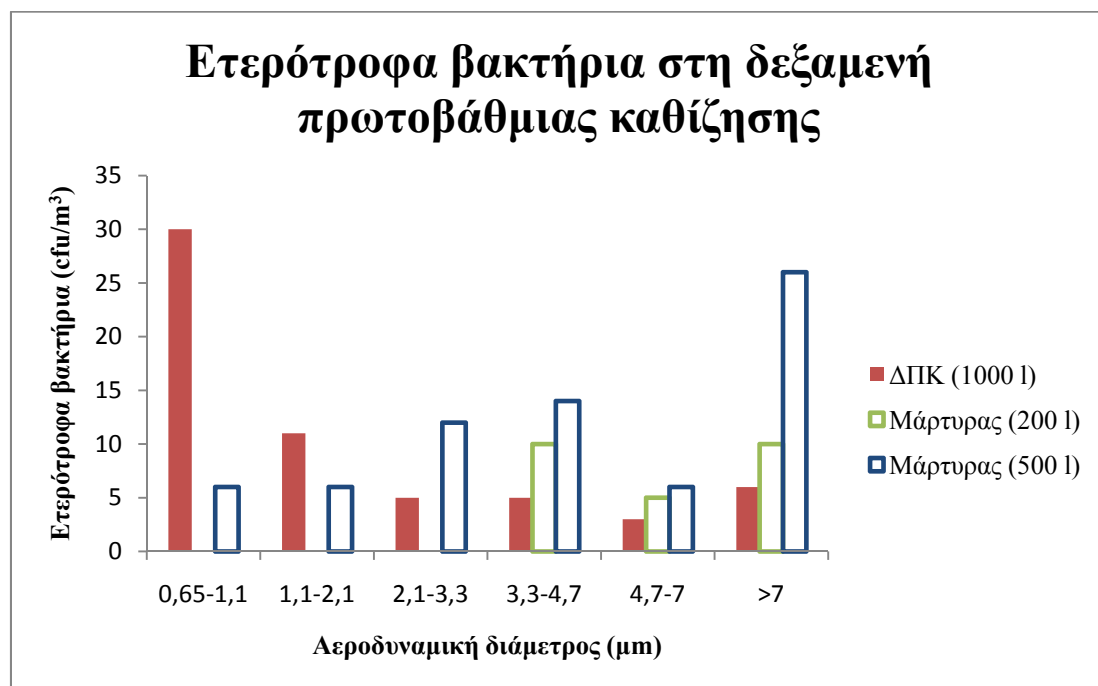
Σχήμα 50: Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων (1^η σειρά μετρήσεων).

4.3.2 2η σειρά μετρήσεων (20/03/2008)

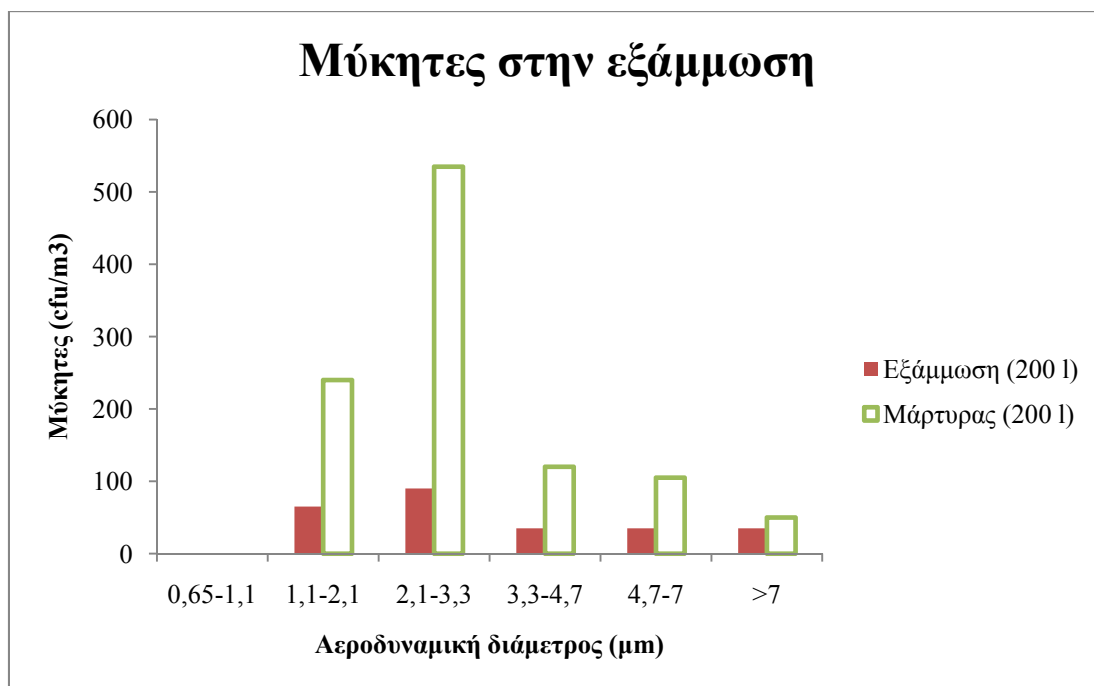
Η δεύτερη σειρά μετρήσεων πραγματοποιήθηκε στις 20/03/2008. Οι μετρήσεις των βιοαεροζόλ πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας τον αναλυτή 6 σταδίων και καταμετρήθηκαν τα ετερότροφα βακτήρια, οι μύκητες και τα κολοβακτήρια. Στα σχήματα 51-52 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τα ετερότροφα βακτήρια στις δεξαμενές εξάμωσης και λιποσυλλογής και την δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης (ΔΠΚ) σε σύγκριση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τον μάρτυρα. Στο σχήμα 53 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τους μύκητες στις δεξαμενές εξάμωσης και λιποσυλλογής και τον μάρτυρα, ενώ στο σχήμα 54 δίνονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις μετρήσεις κολοβακτηρίων στις δεξαμενές εξάμωσης και λιποσυλλογής και την δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης.



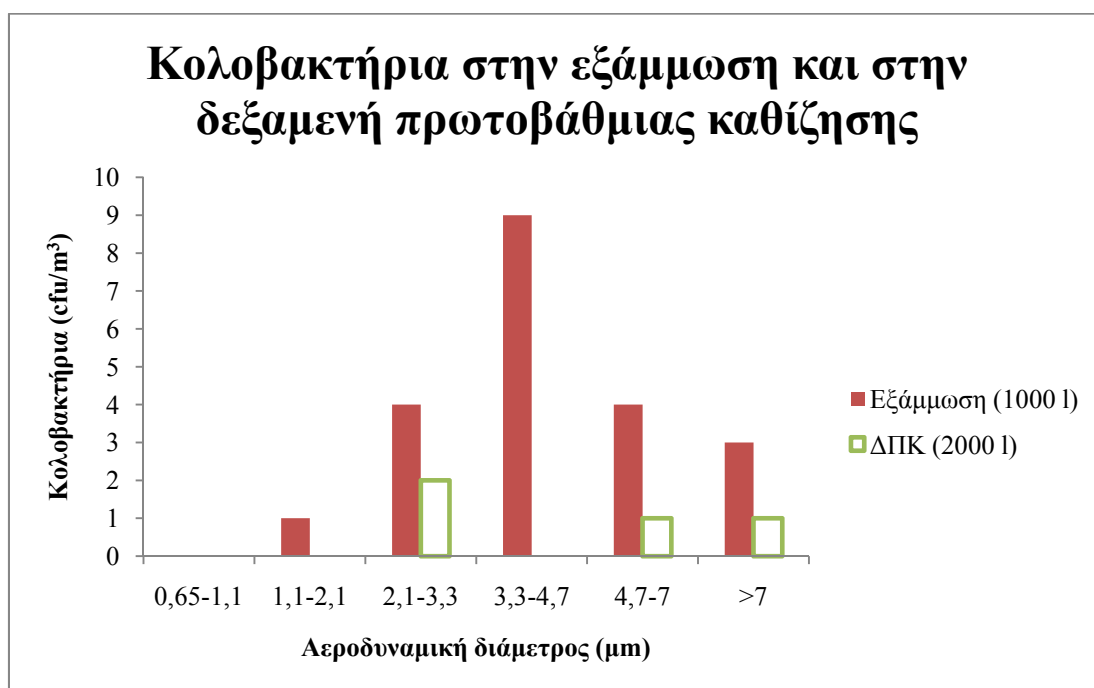
Σχήμα 51: Συγκεντρώσεις ετερότροφων βακτηρίων στις δεξαμενές εξάμωσης και λιποσυλλογής και στον μάρτυρα (2^η σειρά μετρήσεων).



Σχήμα 52: Συγκεντρώσεις ετερότροφων βακτηρίων στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης και στον μάρτυρα για διαφορετικούς όγκους αέρα (2^η σειρά μετρήσεων).



Σχήμα 53: Συγκεντρώσεις μυκήτων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και στον μάρτυρα (2^η σειρά μετρήσεων).



Σχήμα 54: Συγκεντρώσεις κολοβακτηρίων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και την δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης (2^η σειρά μετρήσεων).

Παρόλο που οι συγκεντρώσεις των ετερότροφων βακτηρίων ήταν χαμηλότερες από αυτών της πρώτης δειγματοληψίας στο αέριο δείγμα από τις δεξαμενές εξάμμιωσης και λιποσυλλογής, ήταν ιδιαίτερα αυξημένες σε σχέση με αυτές που παρατηρήθηκαν στον μάρτυρα, ενώ στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης η συγκέντρωση των ετερότροφων βακτηρίων ήταν μικρότερη από αυτήν που παρατηρήθηκε στον μάρτυρα. Ωστόσο, παρατηρείται όπως και στην πρώτη σειρά μετρήσεων, ότι τα ετερότροφα βακτήρια μικρών αεροδυναμικών διαμέτρων είναι περισσότερα στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης σε σχέση με τον μάρτυρα. Τα αποτελέσματα από τα δείγματα των ετερότροφων βακτηρίων που συλλέχθηκαν σε 100 l αέρα από τις δεξαμενές εξάμμιωσης και λιποσυλλογής δεν παρουσιάζονται καθώς οι αποικίες αλληλοκαλύπτονταν και δεν ήταν δυνατόν να μετρηθούν με ακρίβεια. Το ίδιο πρόβλημα παρατηρήθηκε και στο δείγμα των ετερότροφων βακτηρίων που συλλέχθηκε από την δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης με όγκο αέρα ίσο με 500 l. Οι μύκητες στις δεξαμενές εξάμμιωσης και λιποσυλλογής είχαν μικρότερες συγκεντρώσεις από αυτές που παρατηρήθηκαν στον μάρτυρα, ενώ τα κολοβακτήρια ήταν σε ιδιαίτερα χαμηλά επίπεδα στις δεξαμενές εξάμμιωσης και λιποσυλλογής και ακόμα χαμηλότερα στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης.

Στον πίνακα 20 δίνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων των άλλων ρύπων καθώς και οι μετεωρολογικές παράμετροι που επικρατούσαν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, ενώ στο σχήμα 55 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις που προέκυψαν για τα αιωρούμενα σωματίδια στα 3 σημεία δειγματοληψίας. Παρατηρούμε από τον πίνακα 20 ότι το υδρόθειο βρίσκεται σε αρκετά υψηλή συγκέντρωση (7000 ppb) στις δεξαμενές εξάμμιωσης και λιποσυλλογής. Κατά την έκθεση στην συγκέντρωση αυτή προκαλείται ερεθισμός των ματιών, της μύτης και του λαιμού. Στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης η συγκέντρωση του υδρόθειου είναι επίσης αυξημένη (230

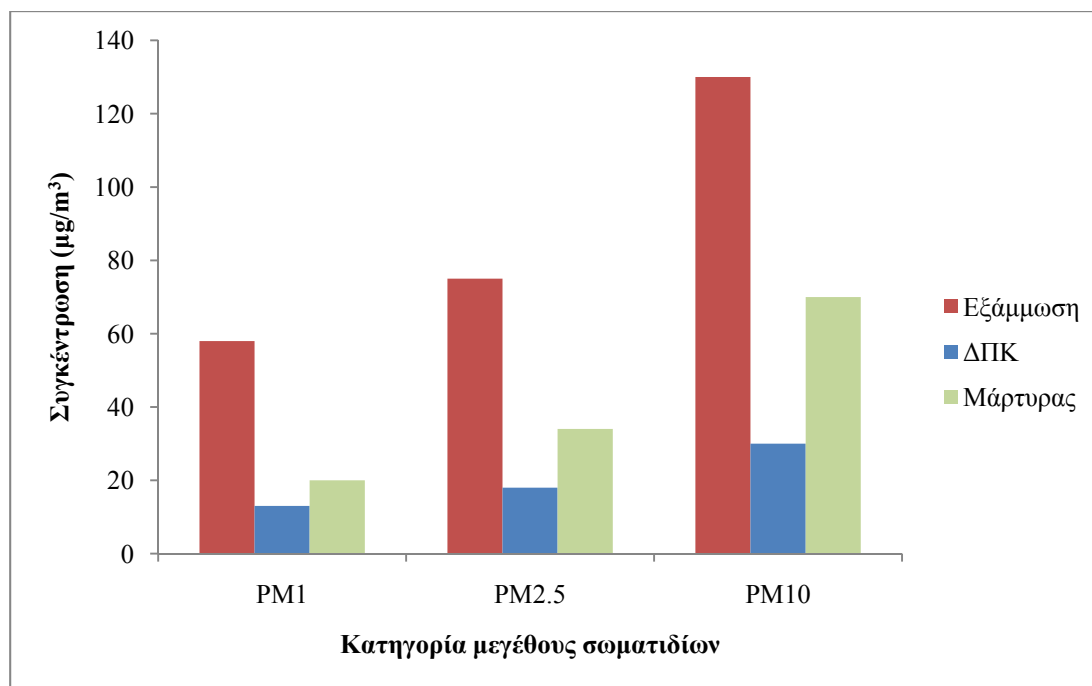
ppb) η οποία είναι μικρότερη από το όριο ακίνδυνης βραχυπρόθεσμης έκθεσης αλλά μπορεί να προκαλέσει ερεθισμό στην μύτη, τα μάτια και τον λαιμό.

Η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων παρατηρούμε ότι παίρνει τις υψηλότερες τιμές στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής ενώ στον μάρτυρα οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων είναι μεγαλύτερες σε σχέση με αυτές που μετρήθηκαν στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης. Όλες οι συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων σε κάθε θέση δειγματοληψίας είναι σημαντικά μεγαλύτερες σε σχέση με την 1^η σειρά μετρήσεων.

Πίνακας 20: Αποτελέσματα μετρήσεων ρύπων και μετεωρολογικών παραμέτρων για την 2^η σειρά μετρήσεων.

	Δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής	Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης	Μάρτυρας
H ₂ S	7.000 ppb	230 ppb	4 ppb
PM ₁₀	130 µg/m ³	30 µg/m ³	70 µg/m ³
PM _{2.5}	75 µg/m ³	18 µg/m ³	34 µg/m ³
PM ₁	58 µg/m ³	13 µg/m ³	20 µg/m ³
Θερμοκρασία	ΔΠ	23,6 °C	
Σχετική υγρασία	ΔΠ	46%	
Ταχύτητα ανέμου	ΔΠ	4,8 m/s	

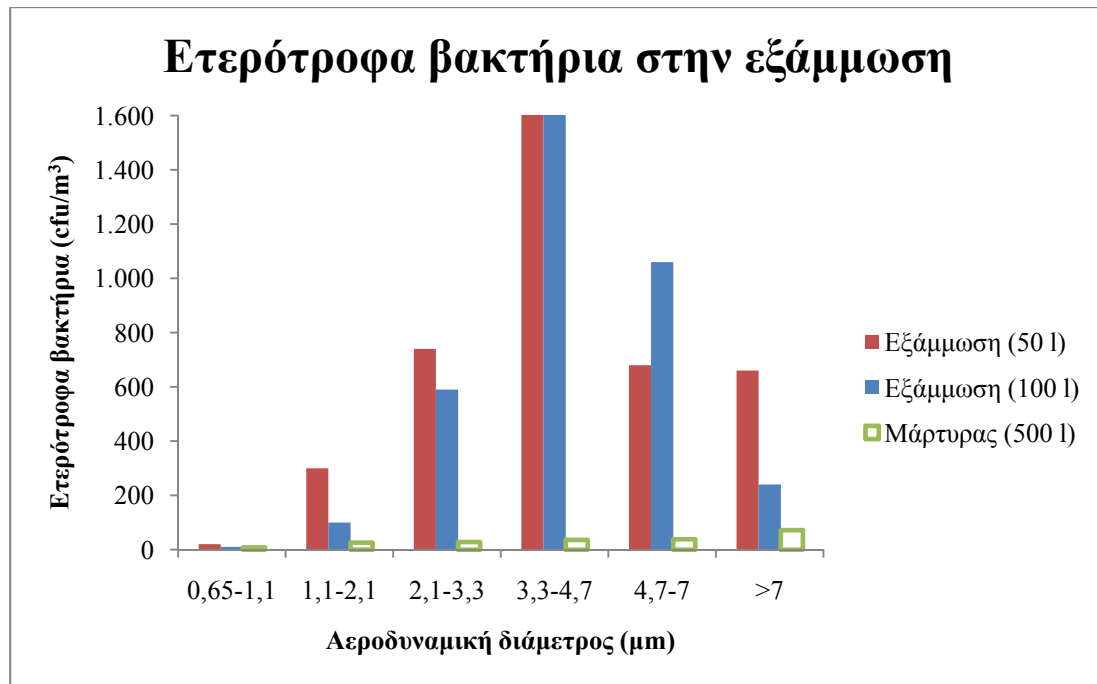
*ΔΠ : Δεν προσδιορίστηκε



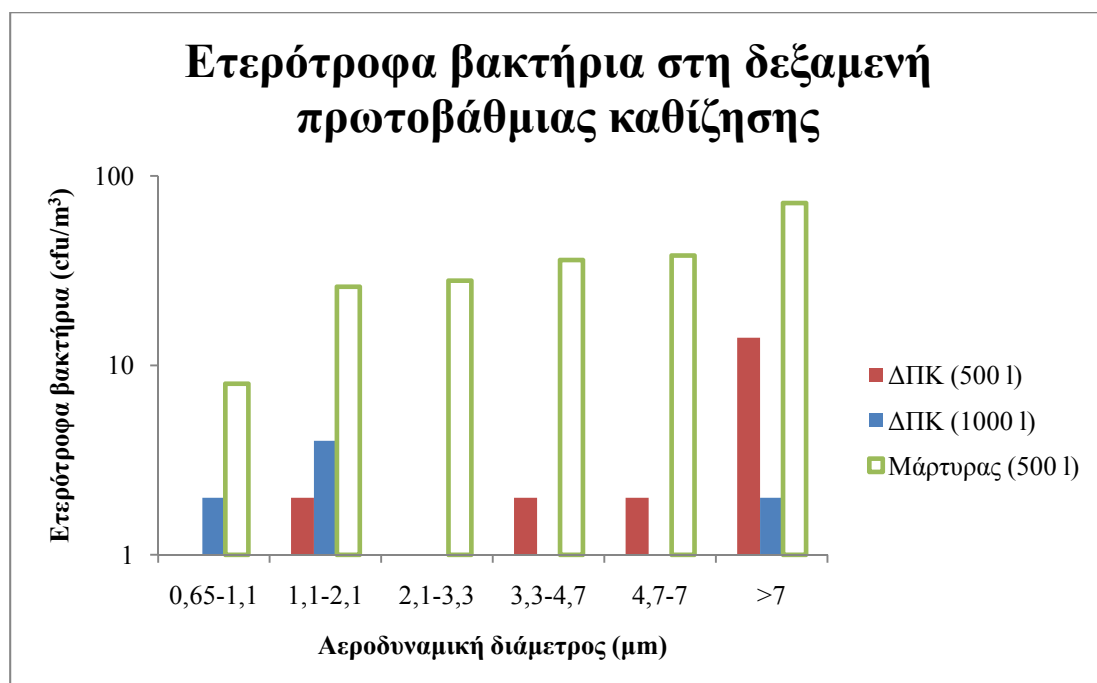
Σχήμα 55: Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων (2^η σειρά μετρήσεων).

4.3.3 3η σειρά μετρήσεων (27/03/2008)

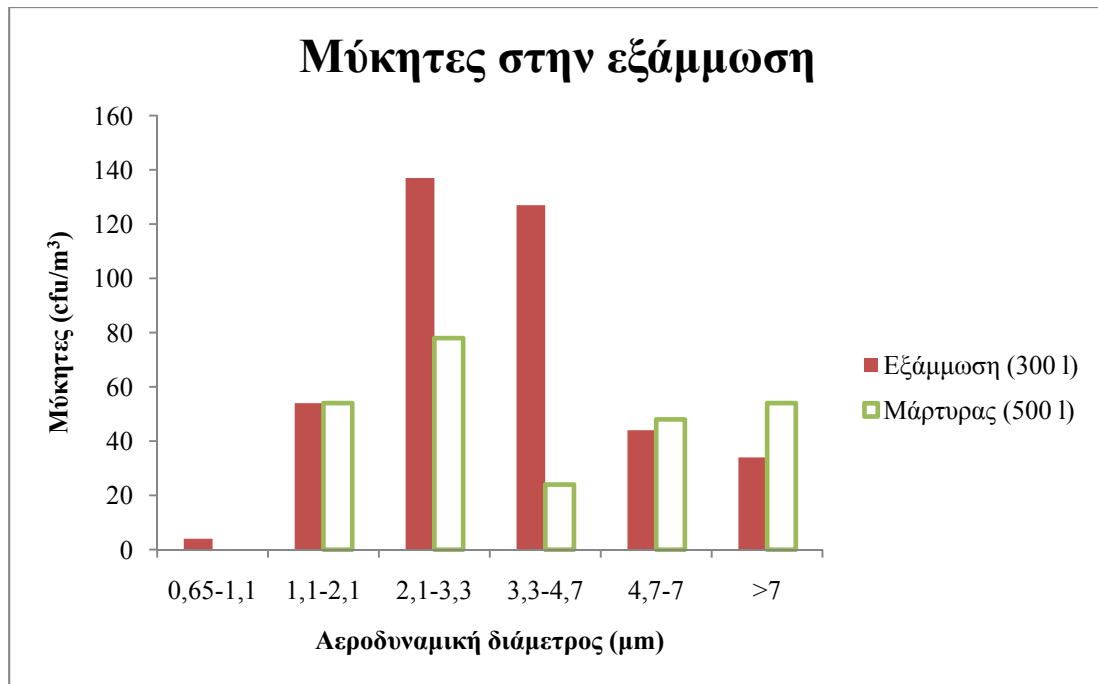
Η τρίτη σειρά μετρήσεων πραγματοποιήθηκε στις 27/03/2008. Οι μετρήσεις των βιοαεροζόλ πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας τον αναλυτή 6 σταδίων και καταμετρήθηκαν τα ετερότροφα βακτήρια, οι μύκητες και τα κολοβακτήρια. Στα σχήματα 56-57 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τα ετερότροφα βακτήρια στις δεξαμενές εξάμωσης και λιποσυλλογής και την δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης (ΔΠΚ) σε σύγκριση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τον μάρτυρα. Στο σχήμα 58 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τους μύκητες στις δεξαμενές εξάμωσης και λιποσυλλογής και τον μάρτυρα, ενώ στο σχήμα 59 δίνονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις μετρήσεις κολοβακτηρίων στις δεξαμενές εξάμωσης και λιποσυλλογής.



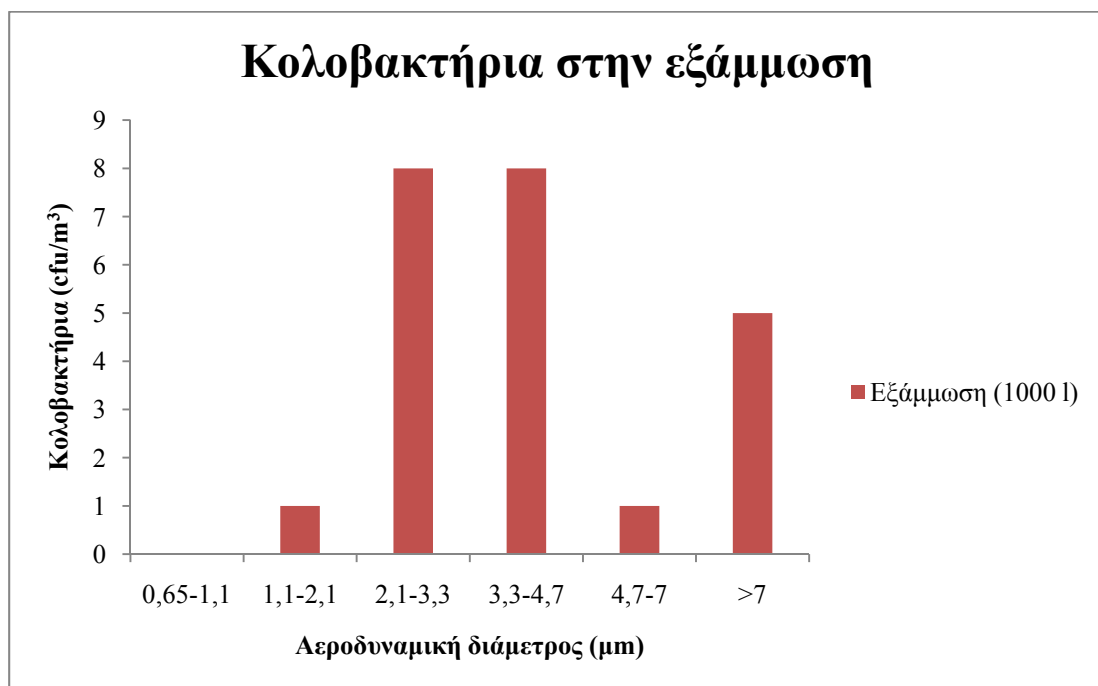
Σχήμα 56: Συγκεντρώσεις ετερότροφων βακτηρίων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και στον μάρτυρα για διαφορετικούς όγκους αέρα (3^η σειρά μετρήσεων).



Σχήμα 57: Συγκεντρώσεις ετερότροφων βακτηρίων στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης και στον μάρτυρα για διαφορετικούς όγκους αέρα (3^η σειρά μετρήσεων).



Σχήμα 58: Συγκεντρώσεις μυκήτων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και στον μάρτυρα (3^η σειρά μετρήσεων).



Σχήμα 59: Συγκεντρώσεις κολοβακτηρίων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής (3^η σειρά μετρήσεων).

Οι συγκεντρώσεις των ετερότροφων βακτηρίων και σε αυτή τη σειρά μετρήσεων ήταν πολύ υψηλές στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής, ενώ στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης η συγκέντρωση των ετερότροφων βακτηρίων ήταν μικρότερη από αυτήν που παρατηρήθηκε στον μάρτυρα. Οι μύκητες στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής είχαν τιμές περίπου ίσες με τις συγκεντρώσεις που παρατηρήθηκαν στον μάρτυρα, ενώ τα κολοβακτήρια ήταν σε χαμηλά επίπεδα στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής. Στην δείγμα των κολοβακτηρίων που λήφθηκε από τη δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης δεν αναπτύχθηκε καμία αποικία παρόλο που ο όγκος του αέρα ήταν 2000 l. Επίσης στον μάρτυρα λήφθηκε και δεύτερο δείγμα για τον προσδιορισμό των ετερότροφων βακτηρίων αλλά τα αποτελέσματα δεν ήταν αναγνώσιμα λόγω της χαμηλής τους συγκέντρωσης και για αυτό δεν παρουσιάζονται.

Στον πίνακα 21 δίνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων των άλλων ρύπων καθώς και οι μετεωρολογικές παράμετροι που επικρατούσαν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, ενώ στο σχήμα 60 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις που προέκυψαν για τα αιωρούμενα σωματίδια στα 3 σημεία δειγματοληψίας.

Στον πίνακα 21 δίνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων των άλλων ρύπων καθώς και οι μετεωρολογικές παράμετροι που επικρατούσαν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων ενώ στο σχήμα 55 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις που προέκυψαν για τα αιωρούμενα σωματίδια στα 3 σημεία δειγματοληψίας. Παρατηρούμε από τον πίνακα 21 ότι το υδρόθειο βρίσκεται σε αρκετά υψηλή συγκέντρωση (5990 ppb) στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής. Κατά την έκθεση στην συγκέντρωση αυτή προκαλείται ερεθισμός των ματιών, της μύτης και του λαιμού. Στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης η συγκέντρωση του υδρόθειου είναι επίσης αυξημένη (54

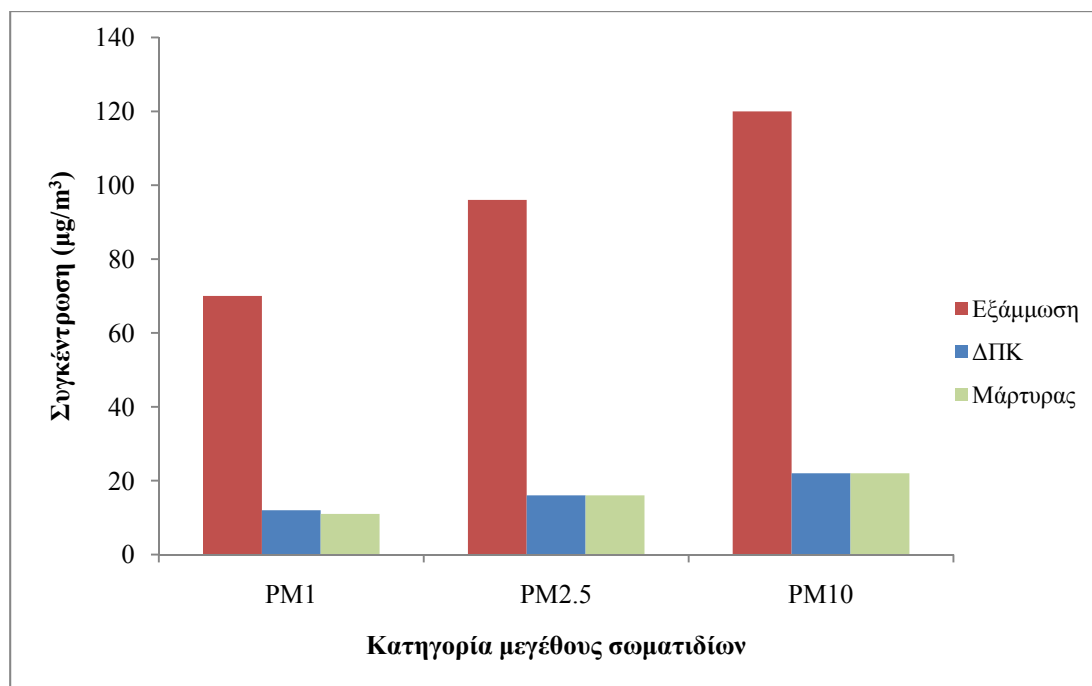
ppb) η οποία είναι μικρότερη από το όριο ακίνδυνης βραχυπρόθεσμης έκθεσης αλλά μπορεί να προκαλέσει ερεθισμό στην μύτη, τα μάτια και τον λαιμό.

Η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων παρατηρούμε ότι παίρνει τις υψηλότερες τιμές στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής ενώ στον μάρτυρα οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων είναι παραπλήσιες με αυτές που μετρήθηκαν στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης.

Πίνακας 21: Αποτελέσματα μετρήσεων ρύπων και μετεωρολογικών παραμέτρων για την 3^η σειρά μετρήσεων.

	Δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής	Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης	Μάρτυρας
H ₂ S	5.990 ppb	54 ppb	6 ppb
PM ₁₀	120 µg/m ³	22 µg/m ³	22 µg/m ³
PM _{2.5}	96 µg/m ³	16 µg/m ³	16 µg/m ³
PM ₁	70 µg/m ³	12 µg/m ³	11 µg/m ³
Θερμοκρασία	ΔΠ	24,7 °C	
Σχετική υγρασία	ΔΠ	49%	
Ταχύτητα ανέμου	ΔΠ	5,8 m/s	

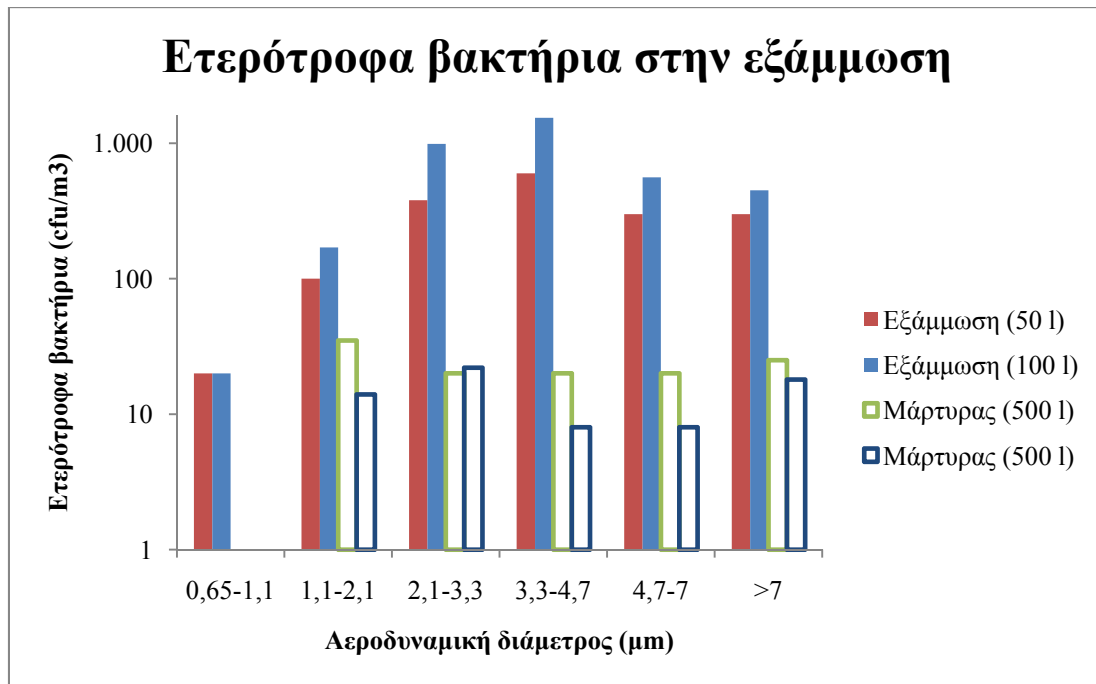
*ΔΠ : Δεν προσδιορίστηκε



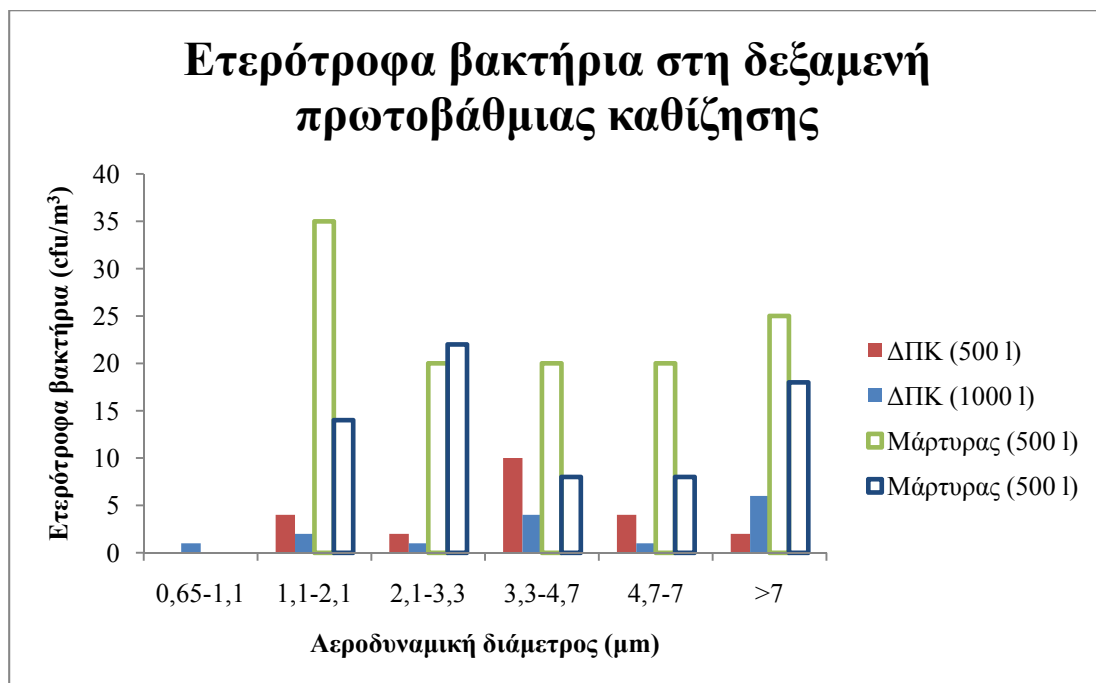
Σχήμα 60: Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων (3^η σειρά μετρήσεων).

4.3.4 4η σειρά μετρήσεων (08/04/2008)

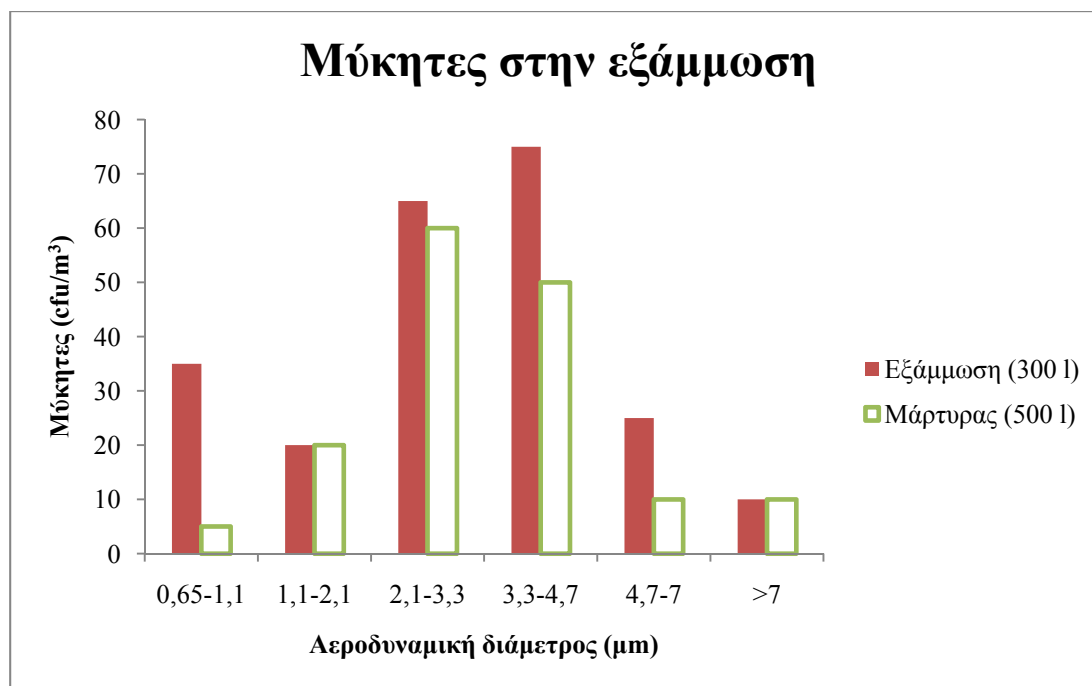
Η τέταρτη σειρά μετρήσεων πραγματοποιήθηκε στις 08/04/2008. Οι μετρήσεις των βιοαεροζόλ πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας τον αναλυτή 6 σταδίων και καταμετρήθηκαν τα ετερότροφα βακτήρια, οι μύκητες και τα κολοβακτήρια. Στα σχήματα 61-62 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τα ετερότροφα βακτήρια στις δεξαμενές εξάμωσης και λιποσυλλογής και την δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης (ΔΠΚ) σε σύγκριση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τον μάρτυρα. Στο σχήμα 63 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τους μύκητες στις δεξαμενές εξάμωσης και λιποσυλλογής και τον μάρτυρα, ενώ στο σχήμα 64 δίνονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις μετρήσεις κολοβακτηρίων στις δεξαμενές εξάμωσης και λιποσυλλογής.



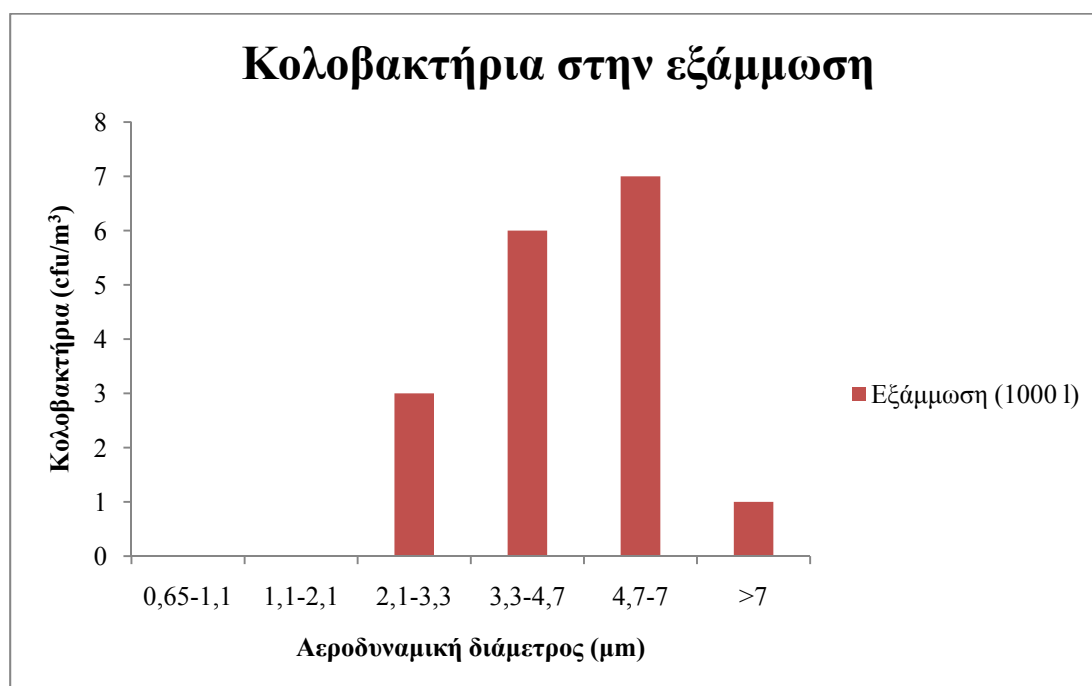
Σχήμα 61: Συγκεντρώσεις ετερότροφων βακτηρίων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και στον μάρτυρα για διαφορετικούς όγκους αέρα (4^η σειρά μετρήσεων).



Σχήμα 62: Συγκεντρώσεις ετερότροφων βακτηρίων στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης και στον μάρτυρα για διαφορετικούς όγκους αέρα (4^η σειρά μετρήσεων).



Σχήμα 63: Συγκεντρώσεις μυκήτων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και στον μάρτυρα (4^η σειρά μετρήσεων).



Σχήμα 64: Συγκεντρώσεις κολοβακτηρίων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής (4^η σειρά μετρήσεων).

Η εικόνα που δίνουν τα αποτελέσματα και σε αυτή τη σειρά μετρήσεων είναι παρόμοια με εκείνη των προηγούμενων. Οι συγκεντρώσεις των ετερότροφων βακτηρίων στο αέριο δείγμα από τις δεξαμενές εξάμμιωσης και λιποσυλλογής ήταν πολύ υψηλότερες σε σχέση με του μάρτυρα, ενώ, αντίθετα, στο αέριο δείγμα από τη ΔΠΚ οι συγκεντρώσεις των ετερότροφων βακτηρίων είναι 3-7 φορές χαμηλότερες εκείνων του μάρτυρα. Οι μύκητες και τα κολοβακτήρια παρουσιάζουν πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης (στο δείγμα των κολοβακτηρίων που λήφθηκε από την δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης δεν αναπτύχθηκε καμία αποικία) και για αυτό δεν απεικονίζονται σχηματικά. Οι μύκητες στις δεξαμενές εξάμμιωσης και λιποσυλλογής είχαν συγκεντρώσεις περίπου ίσες με τις συγκεντρώσεις που παρατηρήθηκαν στον μάρτυρα ενώ τα κολοβακτήρια ήταν σε χαμηλά επίπεδα στις δεξαμενές εξάμμιωσης και λιποσυλλογής.

Στον πίνακα 22 δίνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων των άλλων ρύπων καθώς και οι μετεωρολογικές παράμετροι που επικρατούσαν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, ενώ στο σχήμα 65 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις που προέκυψαν για τα αιωρούμενα σωματίδια στα 3 σημεία δειγματοληψίας. Παρατηρούμε από τον πίνακα 22 ότι το υδρόθειο βρίσκεται σε αρκετά υψηλή συγκέντρωση (5800 ppb) στις δεξαμενές εξάμμιωσης και λιποσυλλογής. Κατά την έκθεση στην συγκέντρωση αυτή μπορεί να προκληθεί ερεθισμός των ματιών, της μύτης και του λαιμού ενώ η χαρακτηριστική οσμή του υδρόθειου είναι πολύ έντονα αντιληπτή. Στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης η συγκέντρωση του υδρόθειου είναι σε σχετικά χαμηλά επίπεδα (27 ppb) αλλά πάνω από το όριο αναγνώρισης της χαρακτηριστικής οσμής του υδρόθειου.

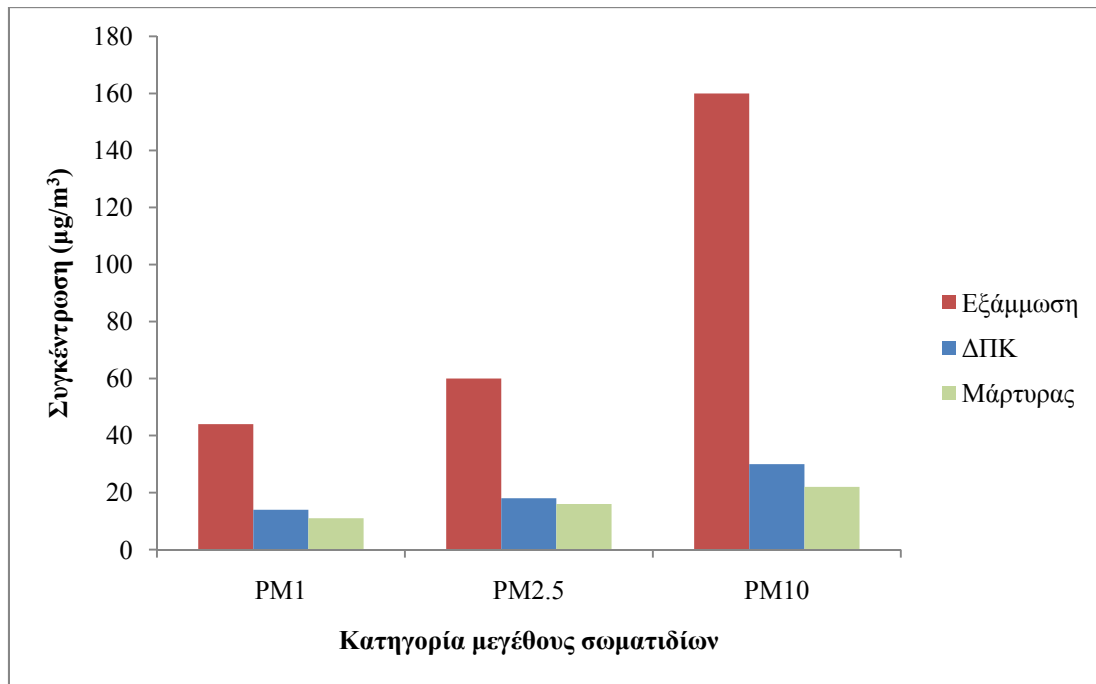
Η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων παρατηρούμε ότι παίρνει τις υψηλότερες τιμές στις δεξαμενές εξάμμιωσης και λιποσυλλογής ενώ στην δεξαμενή

πρωτοβάθμιας καθίζησης οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων είναι ελαφρώς μεγαλύτερες σε σχέση με αυτές που μετρήθηκαν στον μάρτυρα.

Πίνακας 22: Αποτελέσματα μετρήσεων ρύπων και μετεωρολογικών παραμέτρων για την 4^η σειρά μετρήσεων.

	Δεξαμενές εξάμμιωσης και λιποσυλλογής	Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης	Μάρτυρας
H ₂ S	5.800 ppb	27 ppb	0 ppb
PM ₁₀	160 µg/m ³	30 µg/m ³	22 µg/m ³
PM _{2.5}	60 µg/m ³	18 µg/m ³	16 µg/m ³
PM ₁	44 µg/m ³	14 µg/m ³	11 µg/m ³
Θερμοκρασία	ΔΠ	22,2 °C	
Σχετική υγρασία	ΔΠ	50%	
Ταχύτητα ανέμου	ΔΠ	4,9 m/s	

*ΔΠ : Δεν προσδιορίστηκε

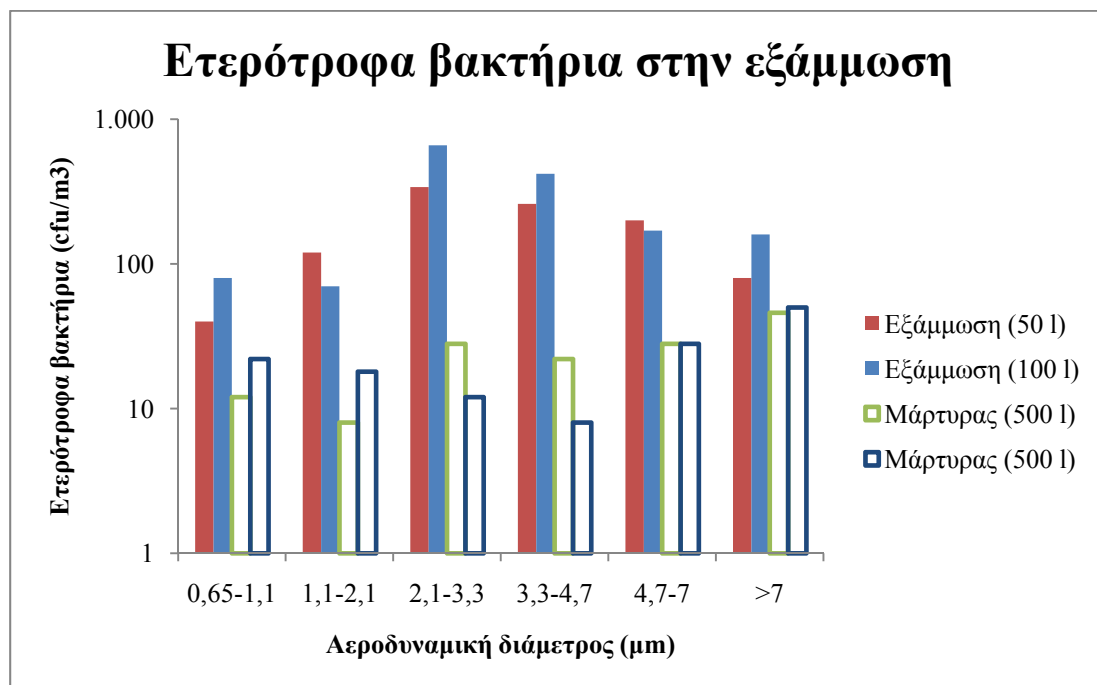


Σχήμα 65: Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων (3^η σειρά μετρήσεων).

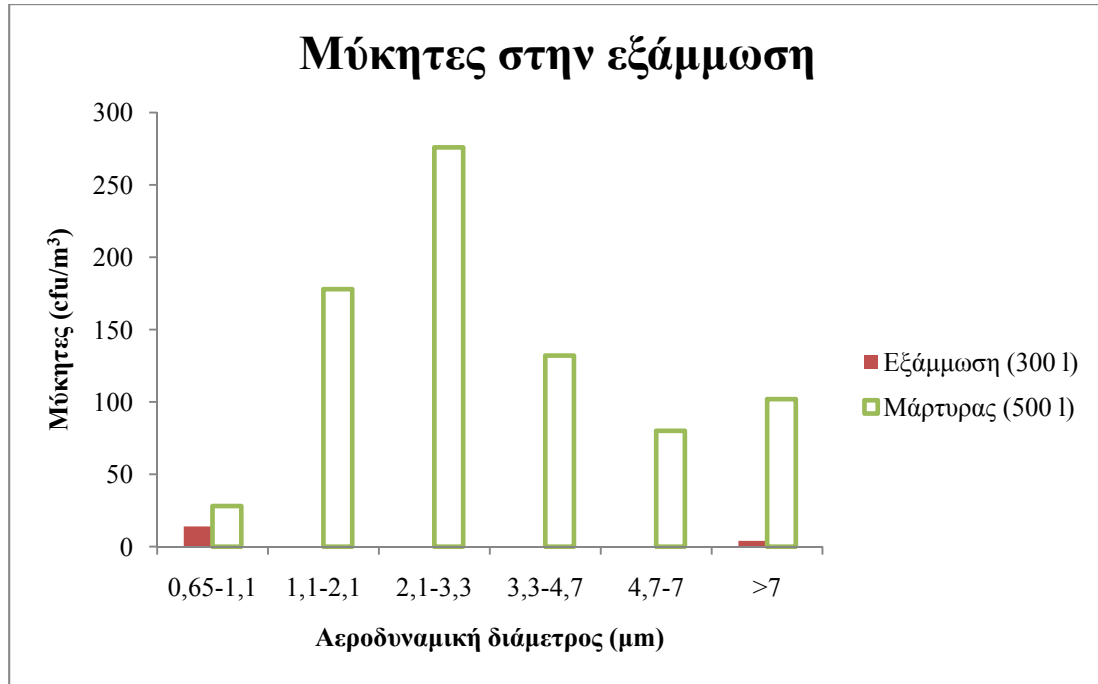
4.3.5 5η σειρά μετρήσεων (15/04/2008)

Η πέμπτη σειρά μετρήσεων πραγματοποιήθηκε στις 15/04/2008. Οι μετρήσεις των βιοαεροζόλ πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας τον αναλυτή 6 σταδίων και καταμετρήθηκαν τα ετερότροφα βακτήρια, οι μύκητες και τα κολοβακτήρια. Επίσης χρησιμοποιήθηκε ο δειγματολήπτης MAS-100 για την μέτρηση των ετερότροφων βακτηρίων και των μυκήτων στον μάρτυρα ώστε να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν με τα δύο όργανα. Στο σχήμα 66 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τα ετερότροφα βακτήρια στις δεξαμενές εξάμωσης και λιποσυλλογής σε σύγκριση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τον μάρτυρα. Στο σχήμα 67 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τους μύκητες στις δεξαμενές εξάμωσης και λιποσυλλογής και τον μάρτυρα, ενώ στο σχήμα 68 δίνονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις μετρήσεις

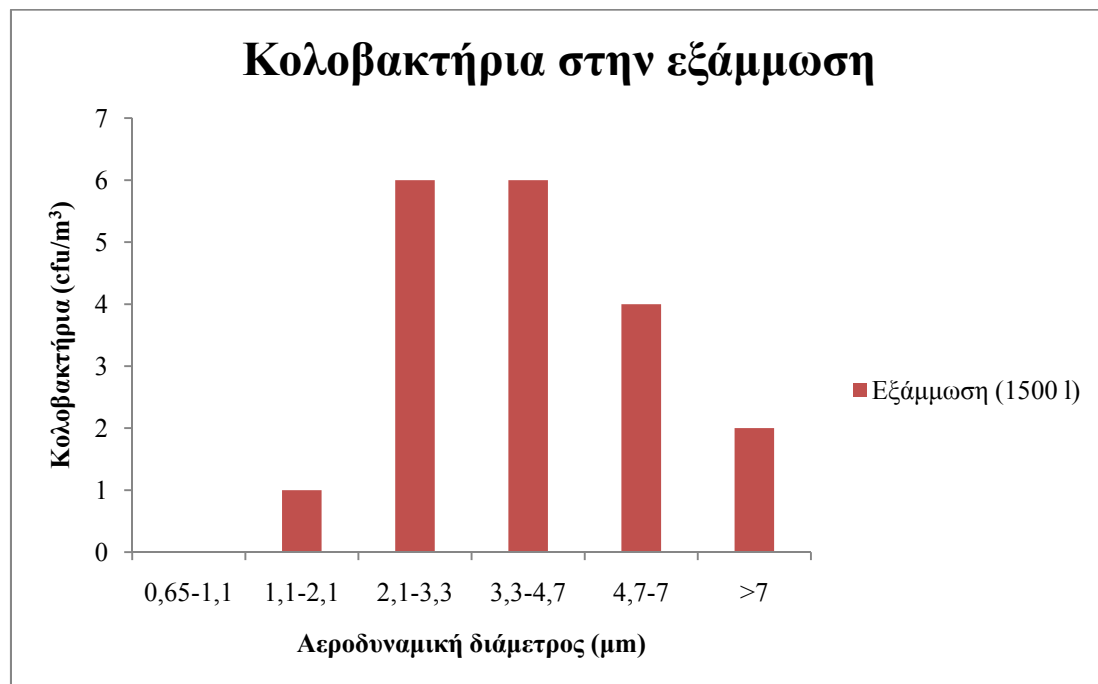
κολοβακτηρίων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής. Οι μετρήσεις στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης δεν πραγματοποιήθηκαν λόγω των ισχυρών ανέμων που επικρατούσαν τη συγκεκριμένη μέρα. Στην δειγματοληψία αυτή καθώς και στις δειγματοληψίες που ακολουθούν, μετρήθηκε επίσης ο αριθμός των αιωρούμενων σωματιδίων αεροδυναμικής διαμέτρου μικρότερης του 1 μm χρησιμοποιώντας το P-TRAK Ultrafine Particle Counter.



Σχήμα 66: Συγκεντρώσεις ετερότροφων βακτηρίων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και στον μάρτυρα για διαφορετικούς όγκους αέρα (5^η σειρά μετρήσεων).



Σχήμα 67: Συγκεντρώσεις μυκήτων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και στον μάρτυρα (5^η σειρά μετρήσεων).



Σχήμα 68: Συγκεντρώσεις κολοβακτηρίων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής (5^η σειρά μετρήσεων).

Παρατηρούμε ότι οι συγκεντρώσεις των βιοαεροζόλ ήταν αισθητά μικρότερες σε σχέση με τις περισσότερες προηγούμενες σειρές μετρήσεων και κυμαίνονταν στο ίδιο εύρος με αυτές της δειγματοληψίας που πραγματοποιήθηκε στις 20/03/2008. Στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής οι τιμές των ετερότροφων βακτηρίων ήταν 2-3 φορές μικρότερες σε σχέση με τις αντίστοιχες υπόλοιπες από τις προηγούμενες σειρές μετρήσεων (εκτός από αυτήν που πραγματοποιήθηκε στις 20/03/2008). Αντίθετα, οι συγκεντρώσεις των μυκήτων στον μάρτυρα ήταν αυξημένες σε σχέση με τις συγκεντρώσεις στο αέριο δείγμα στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής, αποτέλεσμα που ξαναδιαπιστώθηκε στην δεύτερη σειρά μετρήσεων, στις 20/03/2008. Το γεγονός αυτό μπορεί να οφείλεται σε διαφορετική σύσταση λυμάτων η οποία προσομοιώνει αυτήν από την δεύτερη σειρά μετρήσεων.

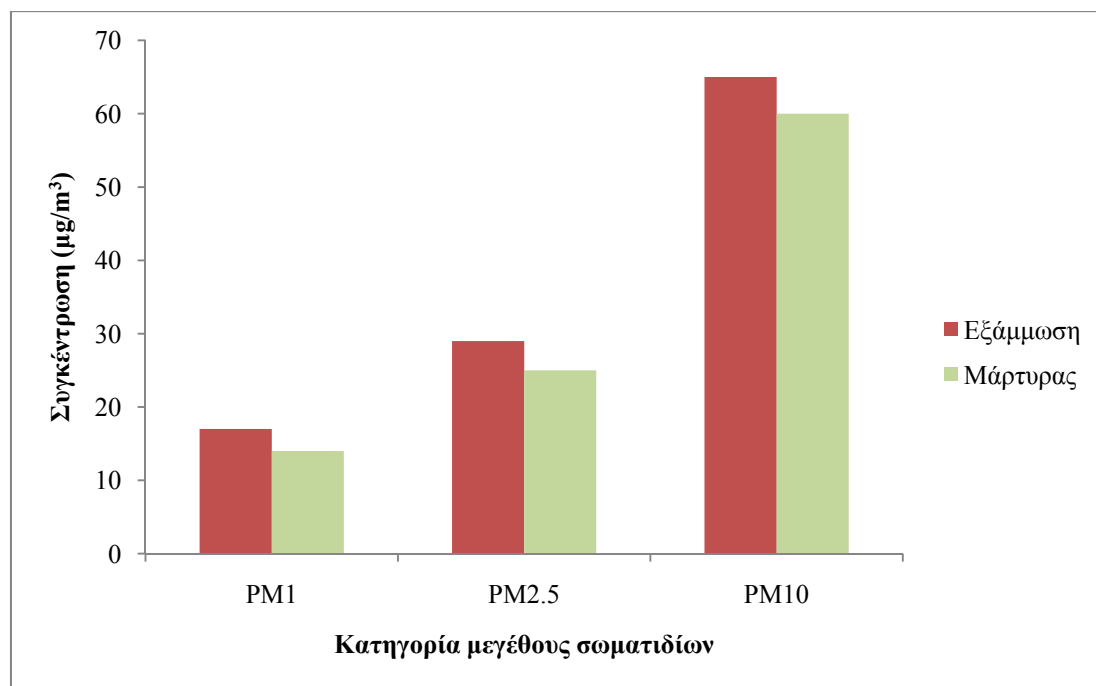
Στον πίνακα 23 δίνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων των άλλων ρύπων καθώς και οι μετεωρολογικές παράμετροι που επικρατούσαν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, ενώ στο σχήμα 69 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις που προέκυψαν για τα αιωρούμενα σωματίδια στα 2 σημεία δειγματοληψίας. Παρατηρούμε από τον πίνακα 23 ότι το υδρόθειο βρίσκεται σε υψηλή συγκέντρωση (1174 ppb) στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής. Η οσμή του υδρόθειου γίνεται έντονα αντιληπτή σε αυτή τη συγκέντρωση αλλά βρίσκεται σε χαμηλότερα επίπεδα σε σχέση με τις υπόλοιπες σειρές μετρήσεων.

Η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων παρατηρούμε ότι παίρνει τις παραπλήσιες τιμές στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και στον μάρτυρα.

Πίνακας 23: Αποτελέσματα μετρήσεων ρύπων και μετεωρολογικών παραμέτρων για την 5^η σειρά μετρήσεων.

	Δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής	Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης	Μάρτυρας
H ₂ S	1.174 ppb	ΔΠ	4 ppb
PM ₁₀	65 µg/m ³	ΔΠ	60 µg/m ³
PM _{2.5}	29 µg/m ³	ΔΠ	25 µg/m ³
PM ₁	17 µg/m ³	ΔΠ	14 µg/m ³
Αριθμός PM ₁	111.935 pt/cc	ΔΠ	3.475 pt/cc
Θερμοκρασία	ΔΠ	18,8 °C	
Σχετική υγρασία	ΔΠ	52 %	
Ταχύτητα ανέμου	ΔΠ	24 m/s	

*ΔΠ : Δεν προσδιορίστηκε

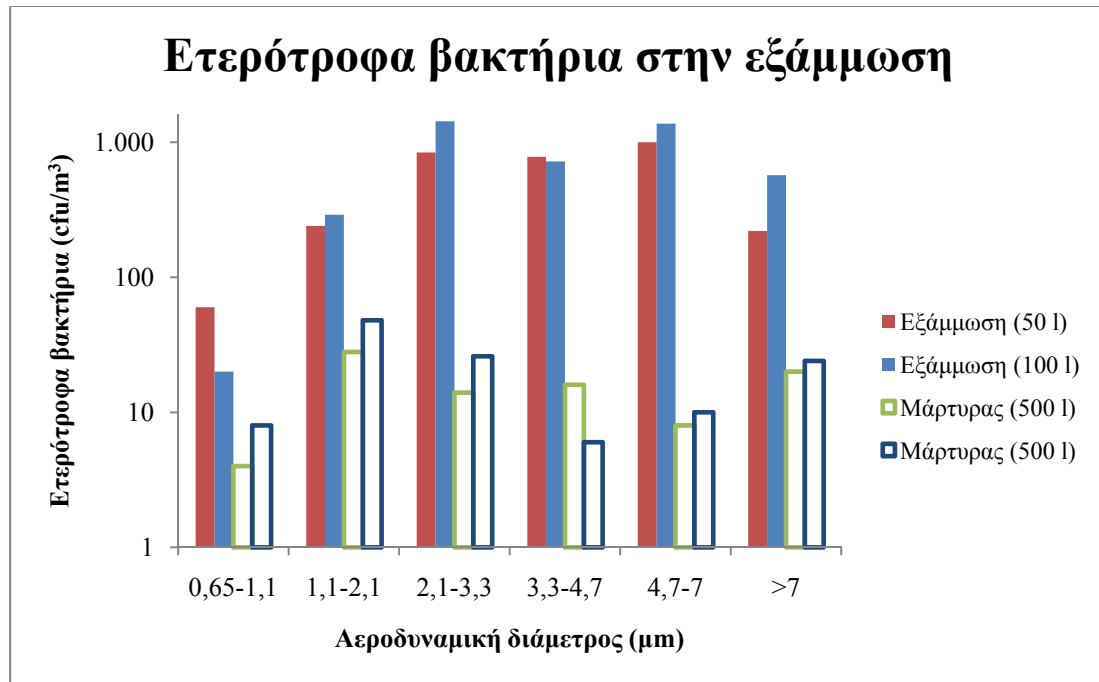


Σχήμα 69: Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων (5^η σειρά μετρήσεων).

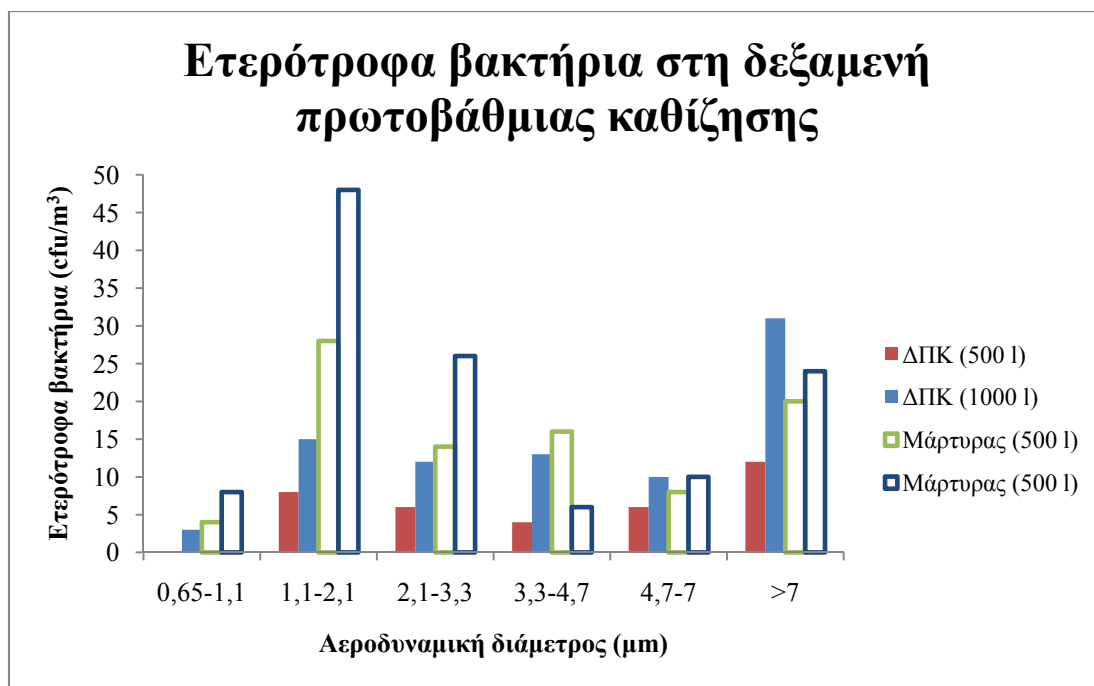
4.3.6 6η σειρά μετρήσεων (06/05/2008)

Η έκτη σειρά μετρήσεων πραγματοποιήθηκε στις 06/05/2008. Οι μετρήσεις των βιοαεροζόλ πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας τον αναλυτή 6 σταδίων και καταμετρήθηκαν τα ετερότροφα βακτήρια, οι μύκητες και τα κολοβακτήρια. Επίσης χρησιμοποιήθηκε ο δειγματολήπτης MAS-100 για την μέτρηση των ετερότροφων βακτηρίων και των μυκήτων στον μάρτυρα ώστε να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν με τα δύο όργανα. Στα σχήματα 70-71 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τα ετερότροφα βακτήρια στο αέριο δείγμα από τις δεξαμενές εξάμωσης και λιποσυλλογής και την ΔΠΚ σε σύγκριση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τον μάρτυρα. Στο σχήμα 72 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τους μύκητες στις δεξαμενές εξάμωσης και λιποσυλλογής και τον μάρτυρα, ενώ στο σχήμα 73 δίνονται τα

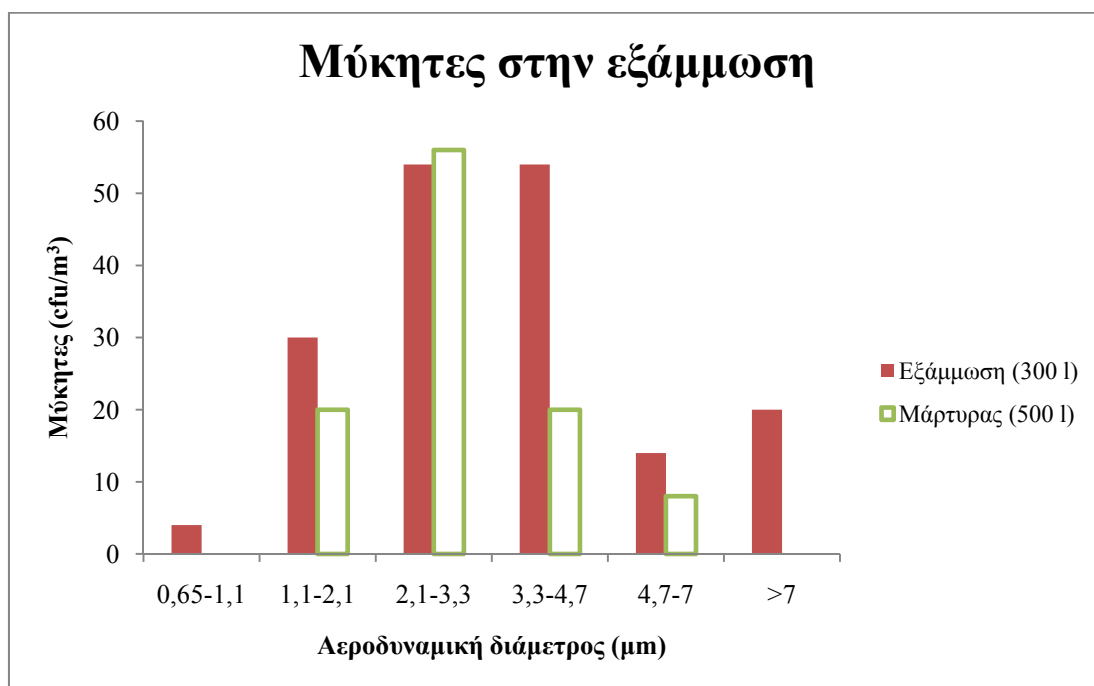
αποτελέσματα που προέκυψαν από τις μετρήσεις κολοβακτηρίων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής.



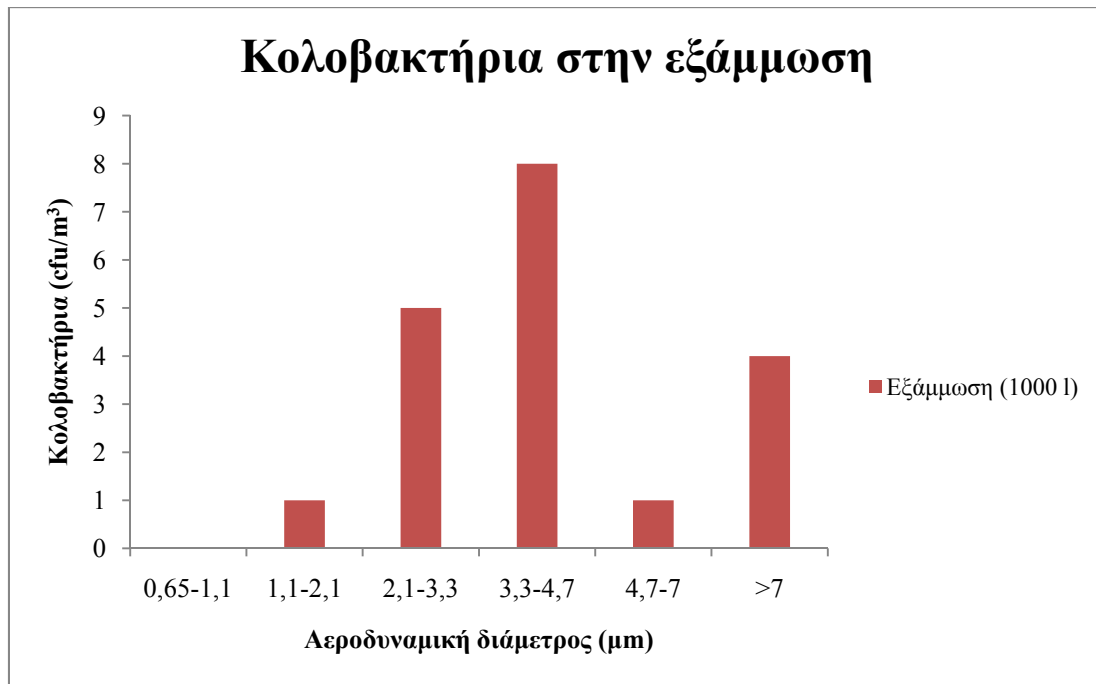
Σχήμα 70: Συγκεντρώσεις ετερότροφων βακτηρίων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και στον μάρτυρα για διαφορετικούς όγκους αέρα (6^η σειρά μετρήσεων).



Σχήμα 71: Συγκεντρώσεις ετερότροφων βακτηρίων στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης και στον μάρτυρα για διαφορετικούς όγκους αέρα (6^η σειρά μετρήσεων).



Σχήμα 72: Συγκεντρώσεις μυκήτων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και στον μάρτυρα (6^η σειρά μετρήσεων).



Σχήμα 73: Συγκεντρώσεις κολοβακτηρίων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής (6^η σειρά μετρήσεων).

Παρατηρούμε ότι η εικόνα που παρουσιάζεται μοιάζει με αυτήν που προέκυπτε από τις δειγματοληψίες 1-5. Οι συγκεντρώσεις των ετερότροφων βακτηρίων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής είναι σημαντικά υψηλότερες από αυτές του μάρτυρα ενώ η αντίθετη εικόνα παρουσιάζεται στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης. Οι μύκητες στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής δεν παρουσίασαν σημαντική διαφοροποίηση στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και στον μάρτυρα ενώ τα κολοβακτηρίδια στο αέριο δείγμα από τις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής είναι σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Στα τριβλία όπου καλλιεργήθηκαν κολοβακτήρια που συλλέχθηκαν από την δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης, δεν αναπτύχθηκε καμία αποικία παρόλο που ο όγκος αέρα που χρησιμοποιήθηκε ήταν 2000 l. Στον πίνακα 24 δίνονται τα αποτελέσματα των

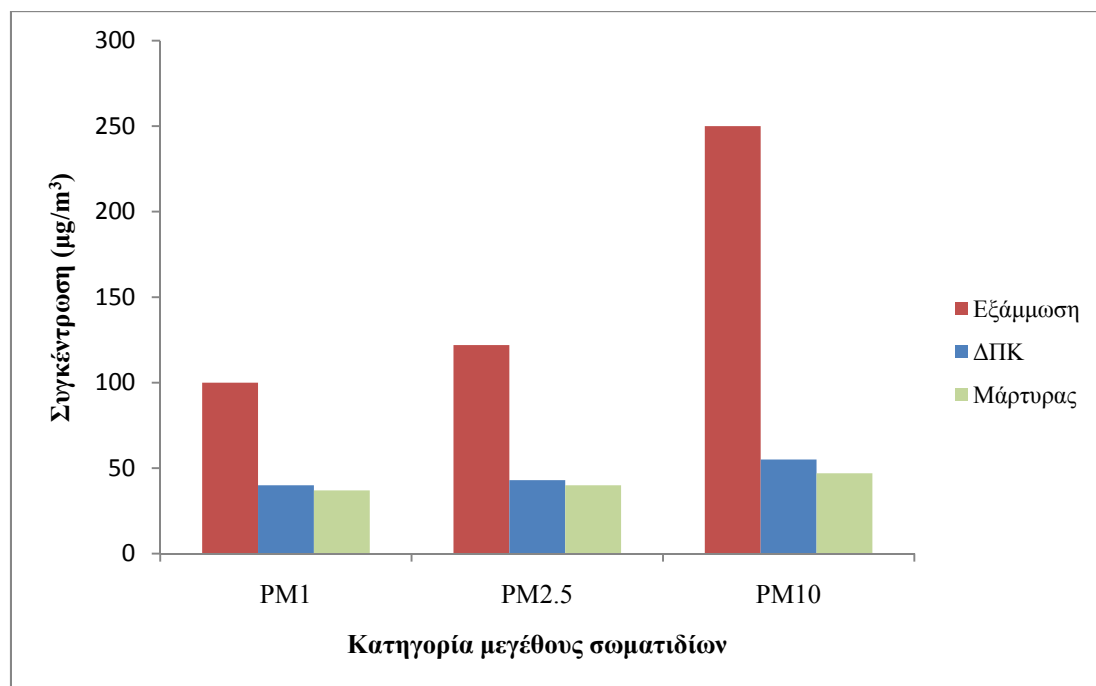
μετρήσεων των άλλων ρύπων καθώς και οι μετεωρολογικές παράμετροι που επικρατούσαν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων ενώ στο σχήμα 74 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις που προέκυψαν για τα αιωρούμενα σωματίδια στα 3 σημεία δειγματοληψίας. Παρατηρούμε από τον πίνακα 24 ότι το υδρόθειο βρίσκεται σε αρκετά υψηλή συγκέντρωση (11,3 ppm) στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής. Κατά την έκθεση στην συγκέντρωση αυτή μπορεί να προκληθεί ερεθισμός των ματιών, της μύτης και του λαιμού. Στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης η συγκέντρωση του υδρόθειου είναι επίσης σε υψηλά επίπεδα (871 ppb) πάνω από το όριο αναγνώρισης της χαρακτηριστικής οσμής του υδρόθειου.

Η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων παρατηρούμε ότι παίρνει τις υψηλότερες τιμές στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής, ενώ στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων είναι ελαφρώς μεγαλύτερες σε σχέση με αυτές που μετρήθηκαν στον μάρτυρα. Ο αριθμός των PM_{10} σωματιδίων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής είναι διπλάσιος της προηγούμενης σειράς μετρήσεων. Επίσης παρατηρήθηκε διπλάσιος αριθμός PM_{10} σωματιδίων στο αέριο δείγμα της δεξαμενής πρωτοβάθμιας καθίζησης σε σύγκριση με αυτό του μάρτυρα.

Πίνακας 24: Αποτελέσματα μετρήσεων ρύπων και μετεωρολογικών παραμέτρων για την 6^η σειρά μετρήσεων.

	Δεξαμενές εξάμωσης και λιποσυλλογής	Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης	Μάρτυρας
H ₂ S	11.290 ppb	871 ppb	4 ppb
PM ₁₀	250 µg/m ³	55 µg/m ³	47 µg/m ³
PM _{2.5}	122 µg/m ³	43 µg/m ³	40 µg/m ³
PM ₁	100 µg/m ³	40 µg/m ³	37 µg/m ³
Αριθμός PM ₁	225.485 pt/cc	7.515 pt/cc	3.411 pt/cc
Θερμοκρασία	ΔΠ	19,6 °C	
Σχετική υγρασία	ΔΠ	61,7 %	
Ταχύτητα ανέμου	ΔΠ	5 m/s	

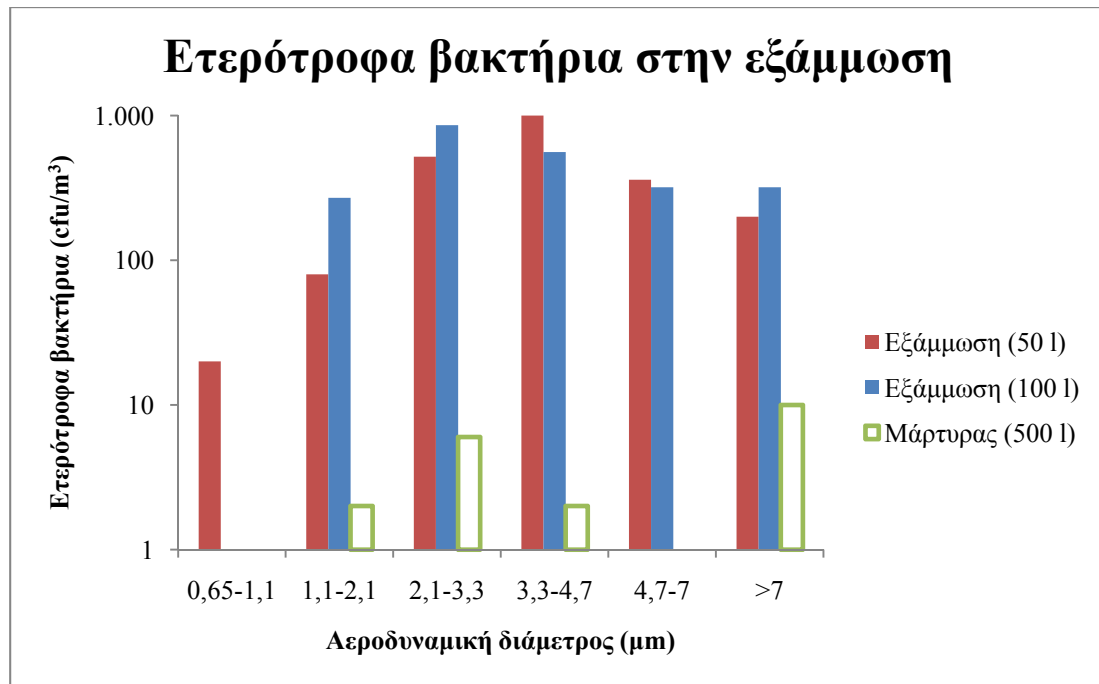
*ΔΠ : Δεν προσδιορίστηκε



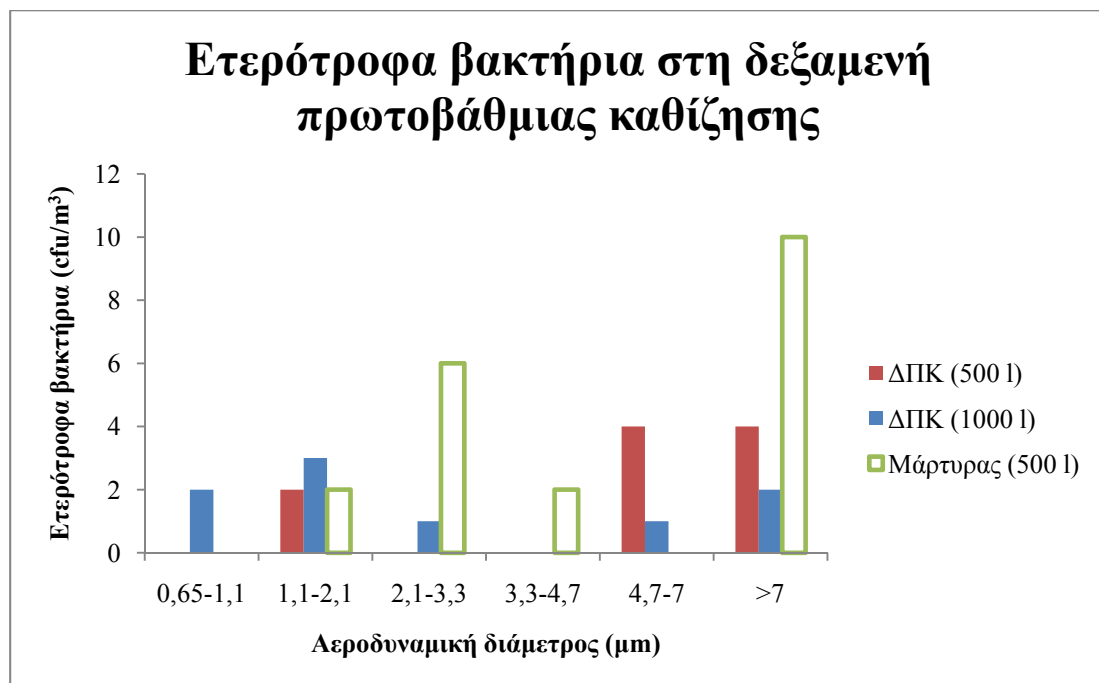
Σχήμα 74: Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων (6^η σειρά μετρήσεων).

4.3.7 7η σειρά μετρήσεων (15/05/2008)

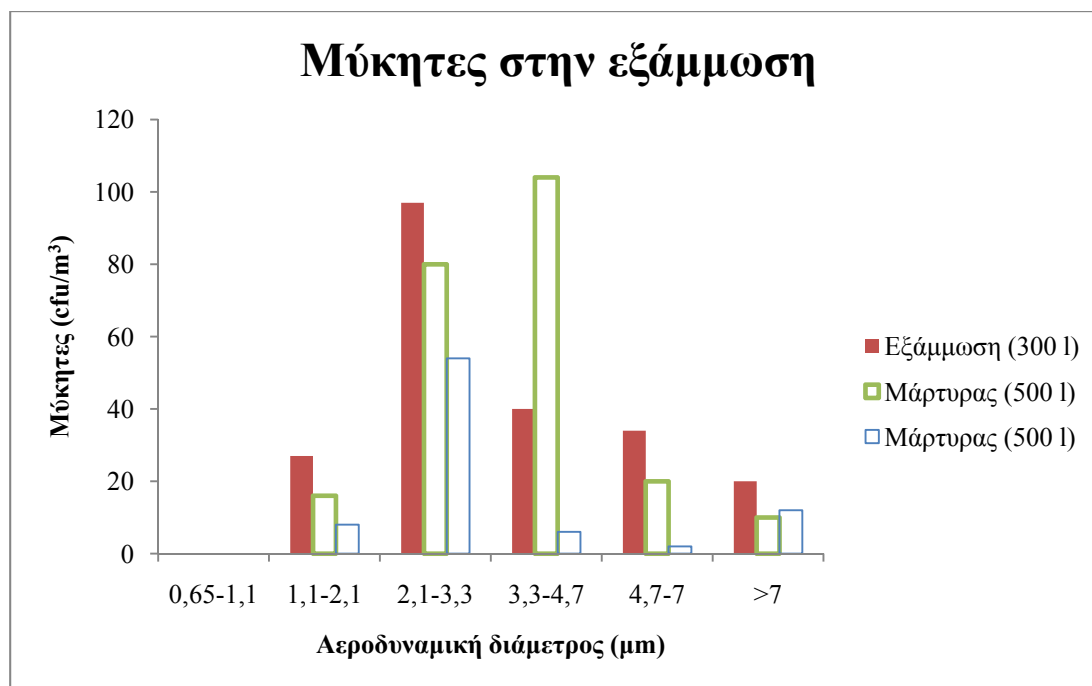
Η έβδομη σειρά μετρήσεων πραγματοποιήθηκε στις 15/05/2008. Οι μετρήσεις των βιοαεροζόλ πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας τον αναλυτή 6 σταδίων και καταμετρήθηκαν τα ετερότροφα βακτήρια, οι μύκητες και τα κολοβακτήρια. Στα σχήματα 75-76 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τα ετερότροφα βακτήρια στις δεξαμενές εξάμωσης και λιποσυλλογής και την ΔΠΚ σε σύγκριση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τον μάρτυρα. Στο σχήμα 77 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τους μύκητες στις δεξαμενές εξάμωσης και λιποσυλλογής και τον μάρτυρα, ενώ στο σχήμα 78 δίνονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις μετρήσεις κολοβακτηρίων στις δεξαμενές εξάμωσης και λιποσυλλογής.



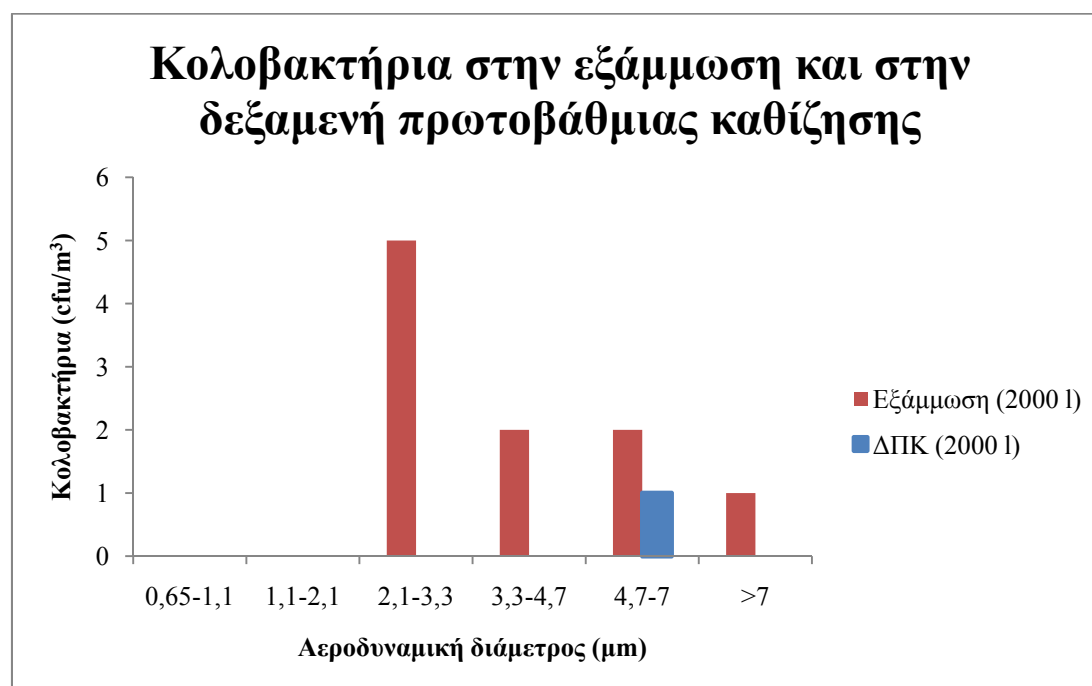
Σχήμα 75: Συγκεντρώσεις ετερότροφων βακτηρίων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και στον μάρτυρα για διαφορετικούς όγκους αέρα (7^η σειρά μετρήσεων).



Σχήμα 76: Συγκεντρώσεις ετερότροφων βακτηρίων στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης και στον μάρτυρα για διαφορετικούς όγκους αέρα (7^η σειρά μετρήσεων).



Σχήμα 77: Συγκεντρώσεις μυκήτων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και στον μάρτυρα (7^η σειρά μετρήσεων).



Σχήμα 78: Συγκεντρώσεις κολοβακτηρίων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και την δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης (7^η σειρά μετρήσεων).

Οι συγκεντρώσεις των ετερότροφων βακτηρίων ήταν ιδιαίτερα αυξημένες στις δεξαμενές εξάμμιωσης και λιποσυλλογής σε σχέση με αυτές που παρατηρήθηκαν στον μάρτυρα, ενώ στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης η συγκέντρωση των ετερότροφων βακτηρίων ήταν στα ίδια περίπου επίπεδα σε σχέση με αυτήν που παρατηρήθηκε στον μάρτυρα. Ωστόσο, παρατηρείται ότι τα ετερότροφα βακτήρια μικρών αεροδυναμικών διαμέτρων ($0,65 - 2,1 \mu\text{m}$) ή μεγάλων αεροδυναμικών διαμέτρων ($4,7 - 7 \mu\text{m}$) είναι περισσότερα στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης σε σχέση με τον μάρτυρα. Οι μύκητες στις δεξαμενές εξάμμιωσης και λιποσυλλογής είχαν μικρή διαφορά από αυτές που παρατηρήθηκαν στον μάρτυρα, ενώ τα κολοβακτήρια ήταν σε ιδιαίτερα χαμηλά επίπεδα στις δεξαμενές εξάμμιωσης και λιποσυλλογής και ακόμα χαμηλότερα στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης.

Στον πίνακα 25 δίνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων των άλλων ρύπων καθώς και οι μετεωρολογικές παράμετροι που επικρατούσαν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, ενώ στο σχήμα 79 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις που προέκυψαν για τα αιωρούμενα σωματίδια στα 3 σημεία δειγματοληψίας. Παρατηρούμε από τον πίνακα 25 ότι το υδρόθειο βρίσκεται σε αρκετά υψηλή συγκέντρωση ($14,1 \text{ ppm}$) στις δεξαμενές εξάμμιωσης και λιποσυλλογής. Κατά την έκθεση στην συγκέντρωση αυτή μπορεί να προκληθεί ερεθισμός των ματιών, της μύτης και του λαιμού. Στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης η συγκέντρωση του υδρόθειου είναι σε αρκετά χαμηλά επίπεδα (43 ppb), ωστόσο παραμένει πάνω από το όριο αναγνώρισης της χαρακτηριστικής οσμής του υδρόθειου ($4,7 \text{ ppb}$).

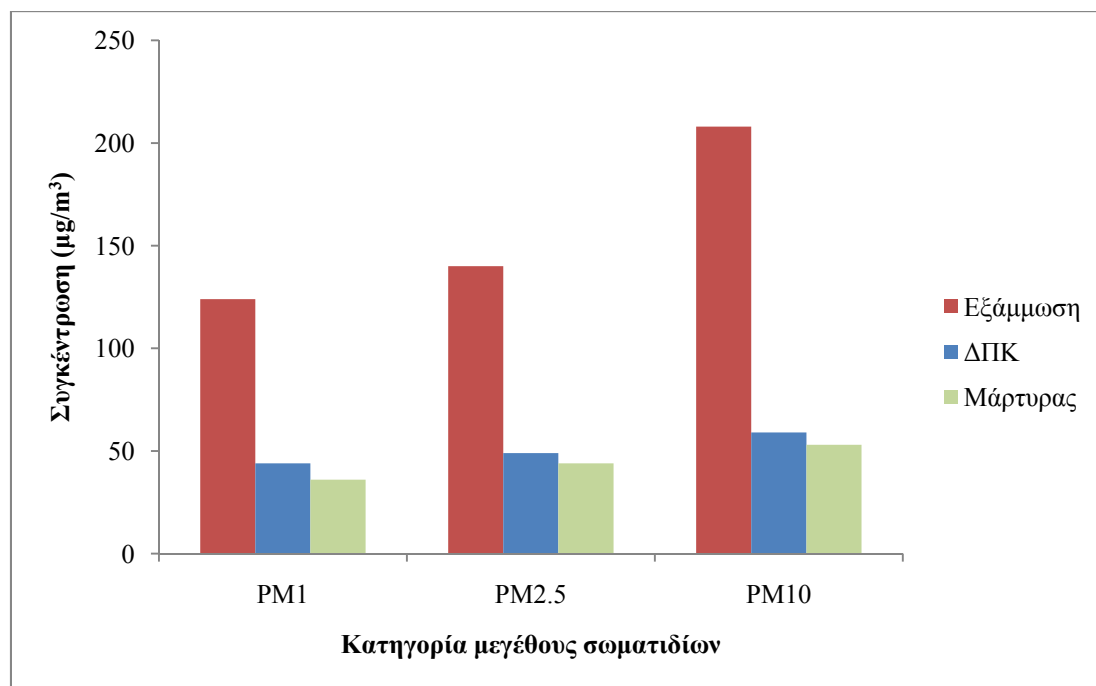
Η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων παρατηρούμε ότι παίρνει τις υψηλότερες τιμές στις δεξαμενές εξάμμιωσης και λιποσυλλογής, ενώ στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων είναι ελαφρώς μεγαλύτερες σε σχέση με αυτές που μετρήθηκαν στον μάρτυρα. Ο αριθμός

των PM_{10} σωματιδίων είναι ιδιαίτερα υψηλός (παρόμοιος με την προηγούμενη σειρά μετρήσεων) στις δεξαμενές εξάμωσης και λιποσυλλογής, ενώ στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης είναι μόλις διπλάσιος σε σχέση με τον μάρτυρα.

Πίνακας 25: Αποτελέσματα μετρήσεων ρύπων και μετεωρολογικών παραμέτρων για την 7^η σειρά μετρήσεων.

	Δεξαμενές εξάμωσης και λιποσυλλογής	Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης	Μάρτυρας
H_2S	14.080 ppb	43 ppb	3 ppb
PM_{10}	208 $\mu g/m^3$	59 $\mu g/m^3$	53 $\mu g/m^3$
$PM_{2.5}$	140 $\mu g/m^3$	49 $\mu g/m^3$	44 $\mu g/m^3$
PM_1	124 $\mu g/m^3$	44 $\mu g/m^3$	36 $\mu g/m^3$
Αριθμός PM_1	267.650 pt/cc	6.424 pt/cc	4.841 pt/cc
Θερμοκρασία	ΔΠ	19,7 °C	
Σχετική υγρασία	ΔΠ	63,1 %	
Ταχύτητα ανέμου	ΔΠ	9,7 m/s	

*ΔΠ : Δεν προσδιορίστηκε

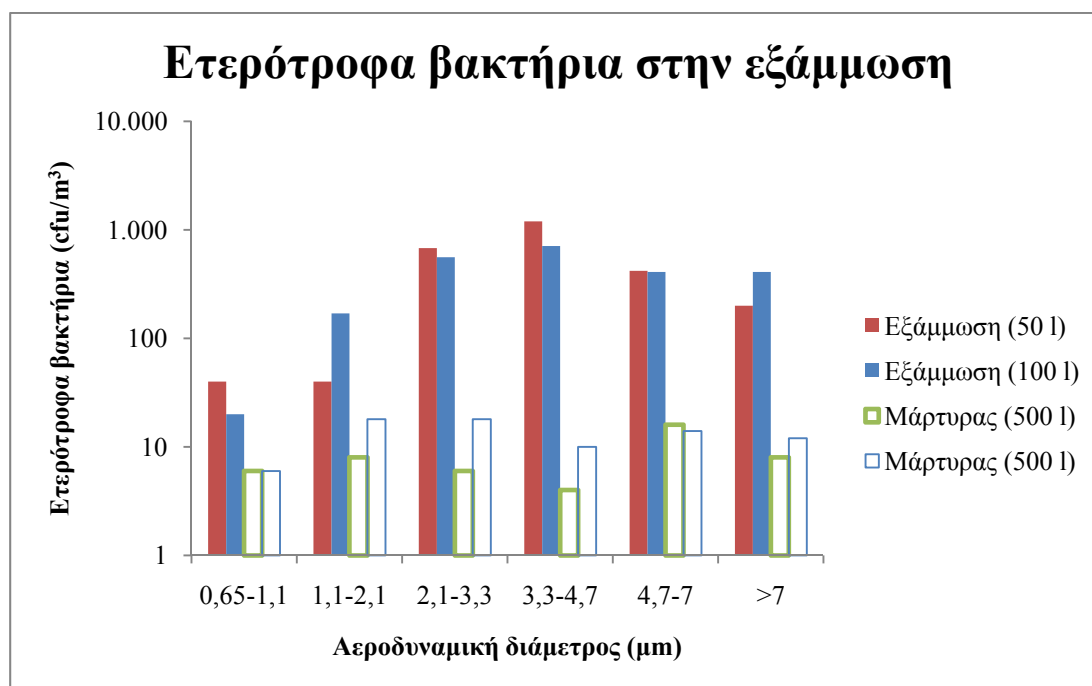


Σχήμα 79: Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων (7^η σειρά μετρήσεων).

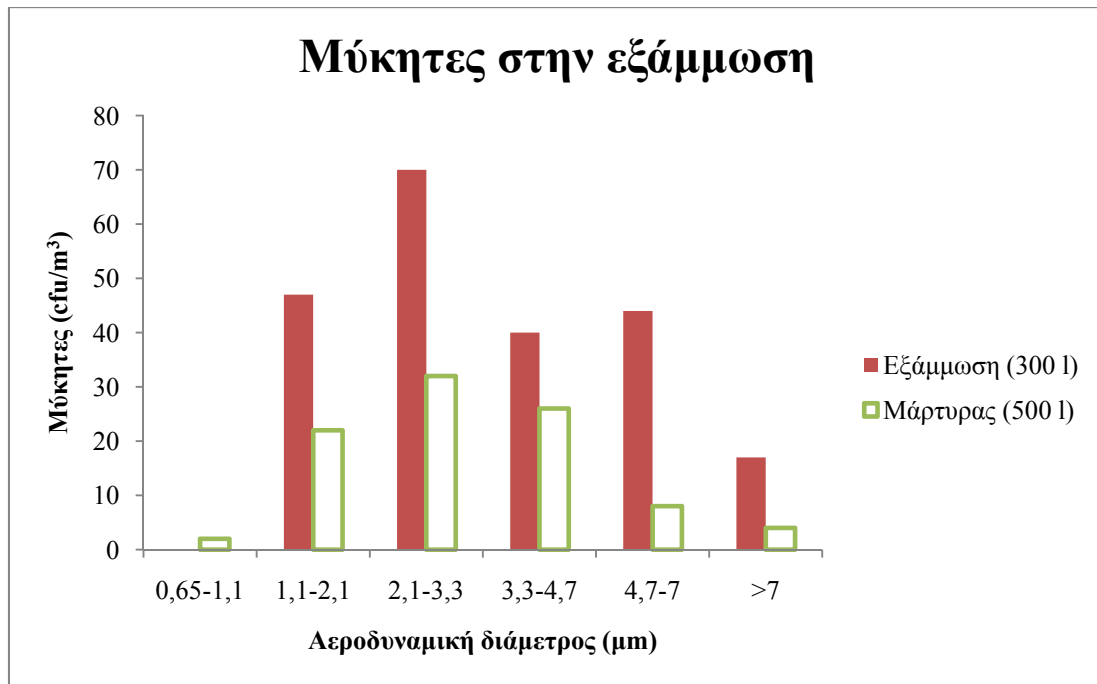
4.3.8 8η σειρά μετρήσεων (22/05/2008)

Η όγδοη σειρά μετρήσεων πραγματοποιήθηκε στις 22/05/2008. Οι μετρήσεις των βιοαεροζόλ πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας τον αναλυτή 6 σταδίων και καταμετρήθηκαν τα ετερότροφα βακτήρια, οι μύκητες και τα κολοβακτήρια. Επίσης χρησιμοποιήθηκε ο δειγματολήπτης MAS-100 για την μέτρηση των ετερότροφων βακτηρίων και των μυκήτων στον μάρτυρα ώστε να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν με τα δύο όργανα. Στο σχήμα 80 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τα ετερότροφα βακτήρια στις δεξαμενές εξάμωσης και λιποσυλλογής σε σύγκριση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τον μάρτυρα. Στο σχήμα 81 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τους μύκητες στις δεξαμενές εξάμωσης και λιποσυλλογής και τον μάρτυρα, ενώ στο σχήμα 82 δίνονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις μετρήσεις

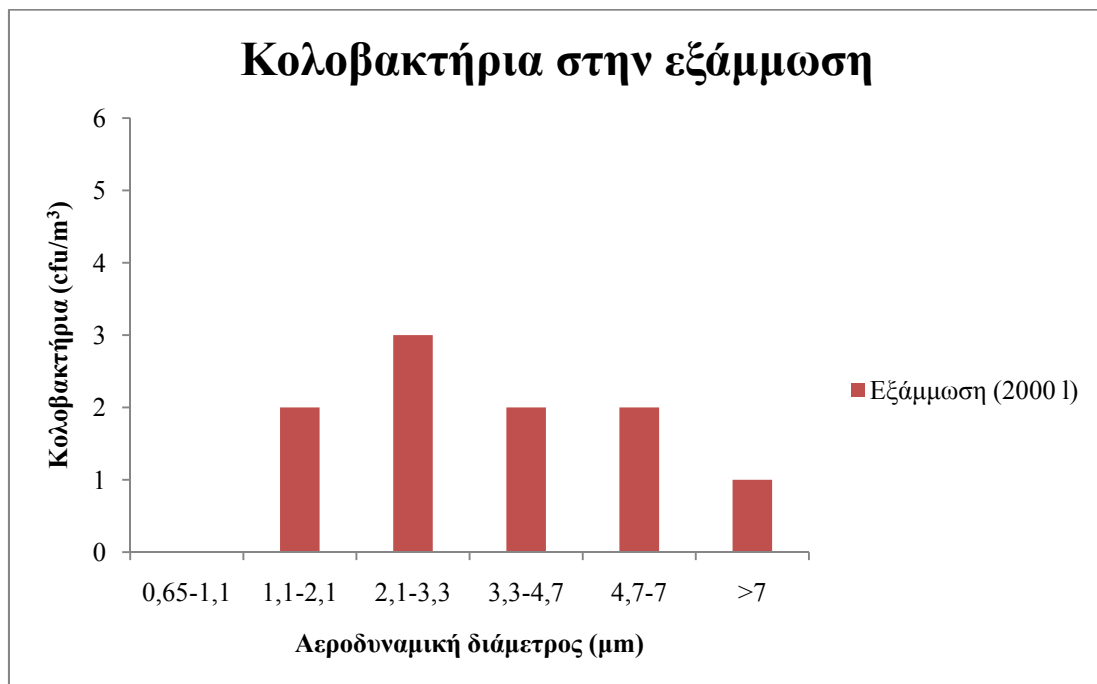
κολοβακτηρίων στις δεξαμενές εξάμμισης και λιποσυλλογής. Στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης δεν πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις λόγω των ισχυρών ανέμων που έπνεαν τη συγκεκριμένη μέρα.



Σχήμα 80: Συγκεντρώσεις ετερότροφων βακτηρίων στις δεξαμενές εξάμμισης και λιποσυλλογής και στον μάρτυρα για διαφορετικούς όγκους αέρα (8^η σειρά μετρήσεων).



Σχήμα 81: Συγκεντρώσεις μυκήτων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και στον μάρτυρα (8^η σειρά μετρήσεων).



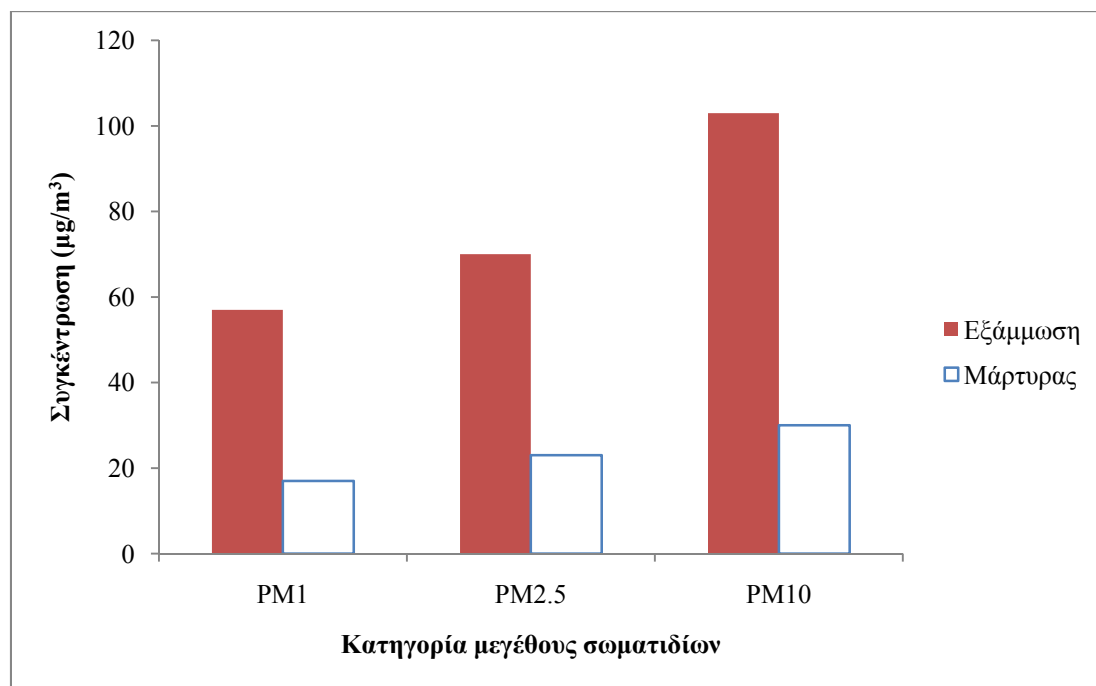
Σχήμα 82: Συγκεντρώσεις κολοβακτηρίων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής (8^η σειρά μετρήσεων).

Οι συγκεντρώσεις των ετερότροφων βακτηρίων ήταν ιδιαίτερα αυξημένες στις δεξαμενές εξάμμιωσης και λιποσυλλογής σε σχέση με αυτές που παρατηρήθηκαν στον μάρτυρα. Οι μύκητες στις δεξαμενές εξάμμιωσης και λιποσυλλογής είχαν ελαφρώς μεγαλύτερες τιμές σε σχέση με αυτές που παρατηρήθηκαν στον μάρτυρα, ενώ τα κολοβακτήρια ήταν σε ιδιαίτερα χαμηλά επίπεδα στις δεξαμενές εξάμμιωσης και λιποσυλλογής. Στον πίνακα 26 δίνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων των άλλων ρύπων καθώς και οι μετεωρολογικές παράμετροι που επικρατούσαν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων ενώ στο σχήμα 83 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις που προέκυψαν για τα αιωρούμενα σωματίδια στα 2 σημεία δειγματοληψίας. Παρατηρούμε από τον πίνακα 26 ότι το υδρόθειο βρίσκεται σε αρκετά υψηλή συγκέντρωση (17,6 ppm) στις δεξαμενές εξάμμιωσης και λιποσυλλογής. Κατά την έκθεση στην συγκέντρωση αυτή μπορεί να προκληθεί ερεθισμός των ματιών, της μύτης και του λαιμού. Η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων παρατηρούμε ότι παίρνει τις υψηλότερες τιμές στις δεξαμενές εξάμμιωσης και λιποσυλλογής σε σχέση με τον μάρτυρα. Παρόλα αυτά, γενικά, όλες οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων, σε όλα τα σημεία δειγματοληψίας, παίρνουν, σε σχέση με τις προηγούμενες δυο σειρές μετρήσεων, μικρότερες τιμές.

Πίνακας 26: Αποτελέσματα μετρήσεων ρύπων και μετεωρολογικών παραμέτρων για την 8^η σειρά μετρήσεων.

	Δεξαμενές εξάμωσης και λιποσυλλογής	Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης	Μάρτυρας
H ₂ S	17.616 ppb	ΔΠ	4 ppb
PM ₁₀	103 µg/m ³	ΔΠ	30 µg/m ³
PM _{2.5}	70 µg/m ³	ΔΠ	23 µg/m ³
PM ₁	57 µg/m ³	ΔΠ	17 µg/m ³
Αριθμός PM ₁	145.334 pt/cc	ΔΠ	4.590 pt/cc
Θερμοκρασία	ΔΠ	26 °C	
Σχετική υγρασία	ΔΠ	57 %	
Ταχύτητα ανέμου	ΔΠ	19,5 m/s	

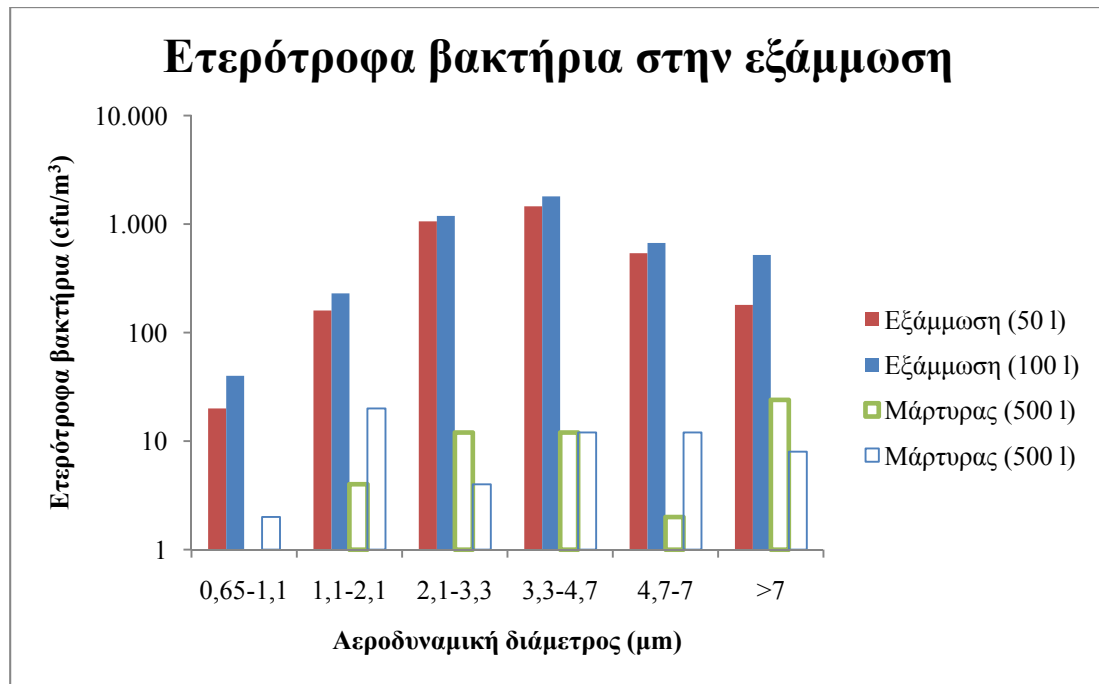
*ΔΠ : Δεν προσδιορίστηκε



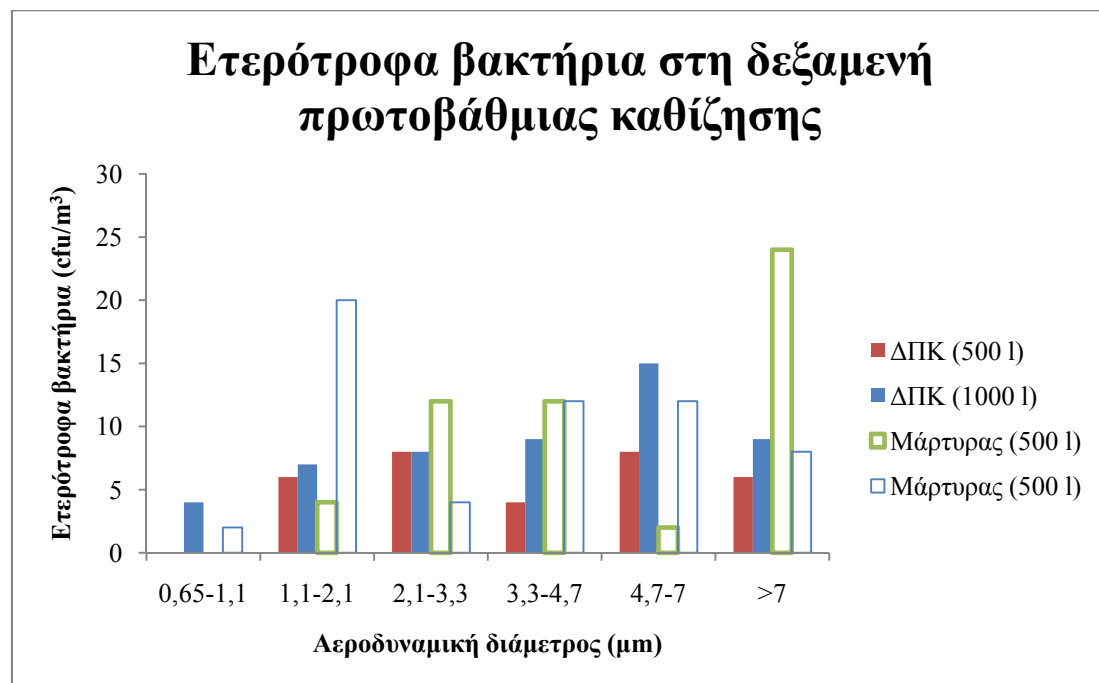
Σχήμα 83: Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων (8^η σειρά μετρήσεων).

4.3.9 9η σειρά μετρήσεων (28/05/2008)

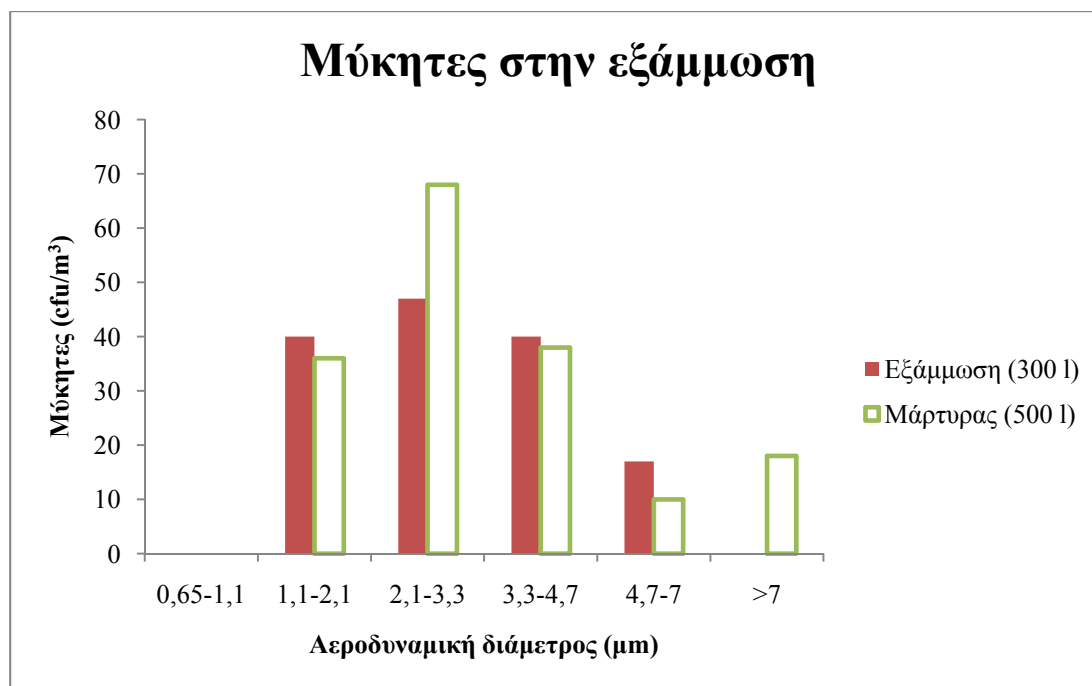
Η ένατη σειρά μετρήσεων πραγματοποιήθηκε στις 28/05/2008. Οι μετρήσεις των βιοαεροζόλ πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας τον αναλυτή 6 σταδίων και καταμετρήθηκαν τα ετερότροφα βακτήρια, οι μύκητες και τα κολοβακτήρια. Στα σχήματα 84-85 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τα ετερότροφα βακτήρια στις δεξαμενές εξάμωσης και λιποσυλλογής και την ΔΠΚ σε σύγκριση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τον μάρτυρα. Στο σχήμα 86 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τους μύκητες στις δεξαμενές εξάμωσης και λιποσυλλογής και τον μάρτυρα, ενώ στο σχήμα 87 δίνονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις μετρήσεις κολοβακτηρίων στις δεξαμενές εξάμωσης και λιποσυλλογής.



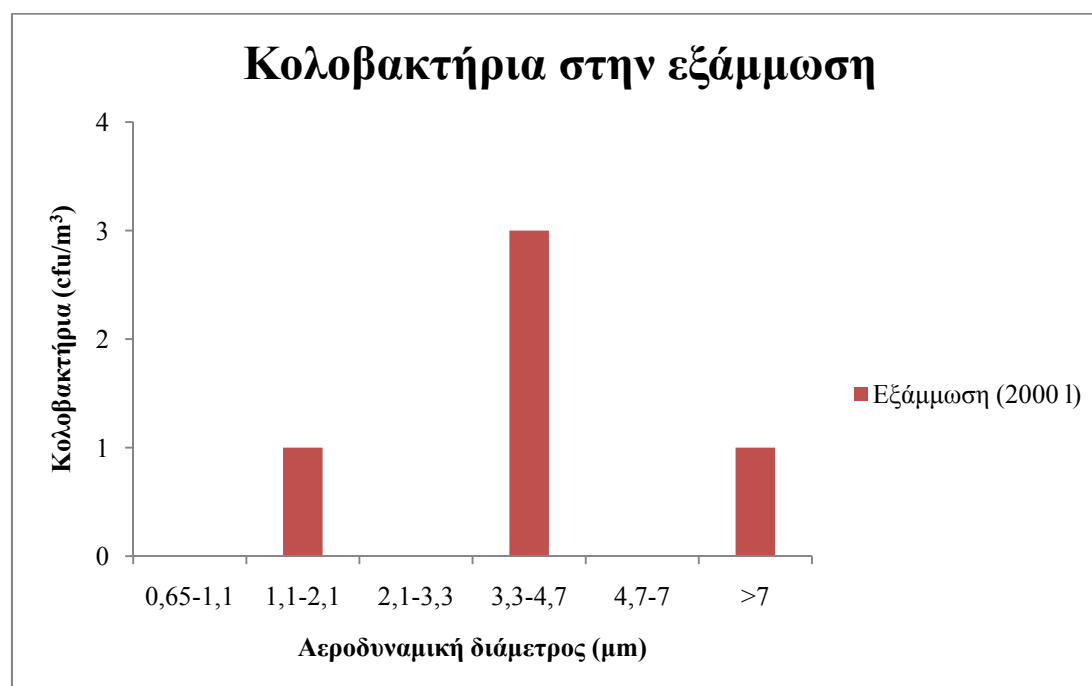
Σχήμα 84: Συγκεντρώσεις ετερότροφων βακτηρίων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και στον μάρτυρα για διαφορετικούς όγκους αέρα (9^η σειρά μετρήσεων).



Σχήμα 85: Συγκεντρώσεις ετερότροφων βακτηρίων στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης και στον μάρτυρα για διαφορετικούς όγκους αέρα (9^η σειρά μετρήσεων).



Σχήμα 86: Συγκεντρώσεις μυκήτων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και στον μάρτυρα (9^η σειρά μετρήσεων).



Σχήμα 87: Συγκεντρώσεις κολοβακτηρίων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και την δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης (9^η σειρά μετρήσεων).

Οι συγκεντρώσεις των ετερότροφων βακτηρίων ήταν ιδιαίτερα αυξημένες στις δεξαμενές εξάμμιωσης και λιποσυλλογής σε σχέση με αυτές που παρατηρήθηκαν στον μάρτυρα, ενώ στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης τα ετερότροφα βακτήρια βρίσκόντουσαν σε συγκεντρώσεις μικρότερες ή ίσες σε σχέση με τις συγκεντρώσεις που παρατηρήθηκαν στον μάρτυρα. Οι μύκητες στις δεξαμενές εξάμμιωσης και λιποσυλλογής είχαν παραπλήσιες τιμές σε σχέση με αυτές που παρατηρήθηκαν στον μάρτυρα ενώ τα κολοβακτήρια ήταν σε ιδιαίτερα χαμηλά επίπεδα στις δεξαμενές εξάμμιωσης και λιποσυλλογής. Στα αέρια δείγματα που ελήφθησαν από την δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης για τα κολοβακτήρια δεν αναπτύχθηκε καμία αποικία. Στον πίνακα 27 δίνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων των άλλων ρύπων καθώς και οι μετεωρολογικές παράμετροι που επικρατούσαν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, ενώ στο σχήμα 88 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις που προέκυψαν για τα αιωρούμενα σωματίδια στα 3 σημεία δειγματοληψίας. Παρατηρούμε από τον πίνακα 27 ότι το υδρόθειο βρίσκεται σε σχετικά υψηλή συγκέντρωση (7,3 ppm) στις δεξαμενές εξάμμιωσης και λιποσυλλογής, παρόλο που συγκριτικά με τις προηγούμενες δειγματοληψίες είναι χαμηλότερη. Κατά την έκθεση στην συγκέντρωση αυτή η όχληση από την χαρακτηριστική οσμή του υδρόθειου είναι έντονη. Στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης η συγκέντρωση του υδρόθειου είναι σε αρκετά χαμηλότερα επίπεδα (110 ppb), ωστόσο παραμένει πάνω από το όριο αναγνώρισης της χαρακτηριστικής οσμής του υδρόθειου.

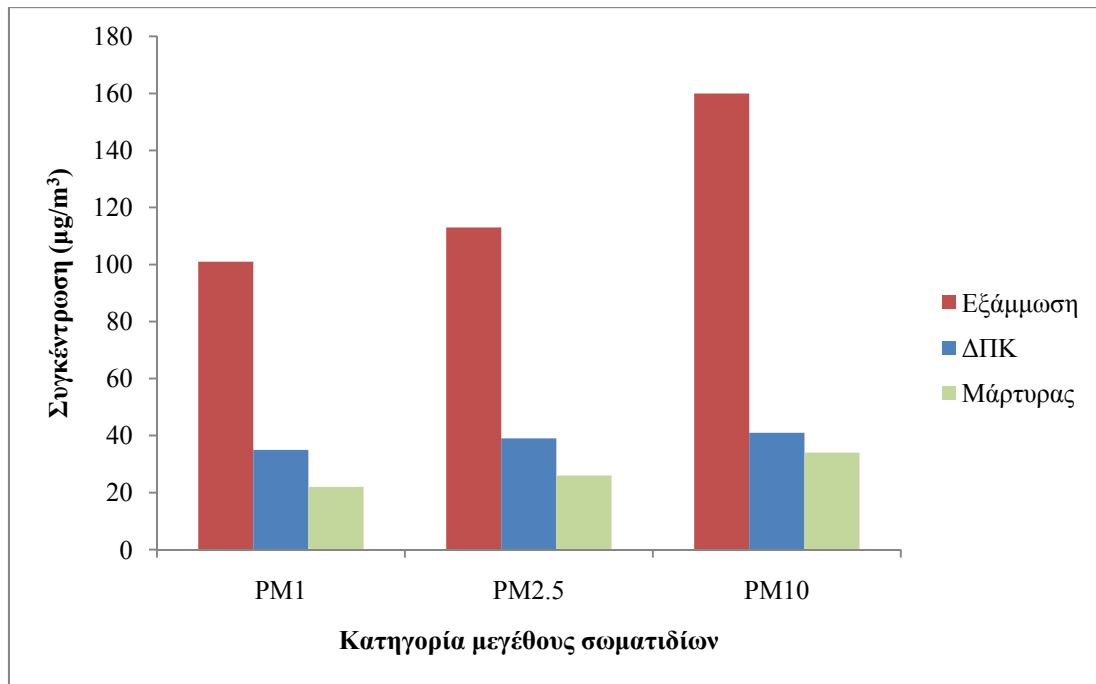
Η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων παρατηρούμε ότι παίρνει τις υψηλότερες τιμές στις δεξαμενές εξάμμιωσης και λιποσυλλογής, ενώ στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων είναι μεγαλύτερες σε σχέση με αυτές που μετρήθηκαν στον μάρτυρα. Αντίθετα, ο αριθμός των PM₁ σωματιδίων είναι σχεδόν ο μισός εκείνου στον μάρτυρα. Η τιμή όμως της

αριθμητικής συγκέντρωσης των PM_{10} σωματιδίων είναι ιδιαίτερα υψηλή (200.143 pt/cc).

Πίνακας 27: Αποτελέσματα μετρήσεων ρύπων και μετεωρολογικών παραμέτρων για την 9^η σειρά μετρήσεων.

	Δεξαμενές εξάμωσης και λιποσυλλογής	Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης	Μάρτυρας
H_2S	7.312 ppb	110 ppb	4 ppb
PM_{10}	160 $\mu g/m^3$	41 $\mu g/m^3$	34 $\mu g/m^3$
$PM_{2.5}$	113 $\mu g/m^3$	39 $\mu g/m^3$	26 $\mu g/m^3$
PM_1	101 $\mu g/m^3$	35 $\mu g/m^3$	22 $\mu g/m^3$
Αριθμός PM_1	200.143 pt/cc	2.916 pt/cc	5.518 pt/cc
Θερμοκρασία	ΔΠ	28,7 °C	
Σχετική υγρασία	ΔΠ	36 %	
Ταχύτητα ανέμου	ΔΠ	5,4 m/s	

*ΔΠ : Δεν προσδιορίστηκε

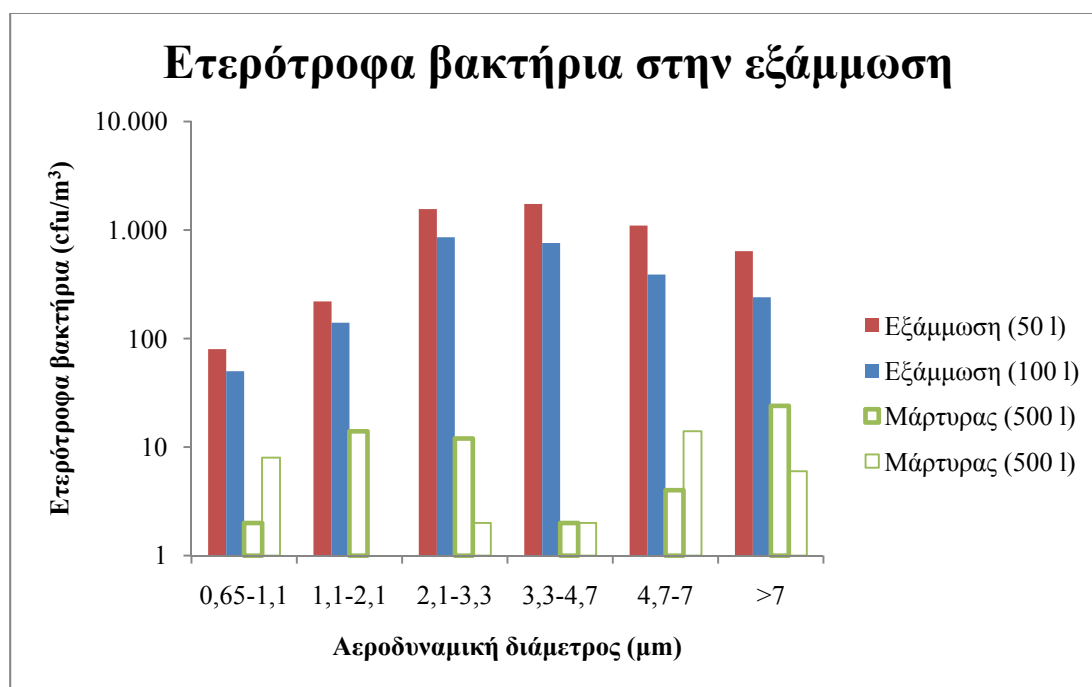


Σχήμα 88: Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων (9^η σειρά μετρήσεων).

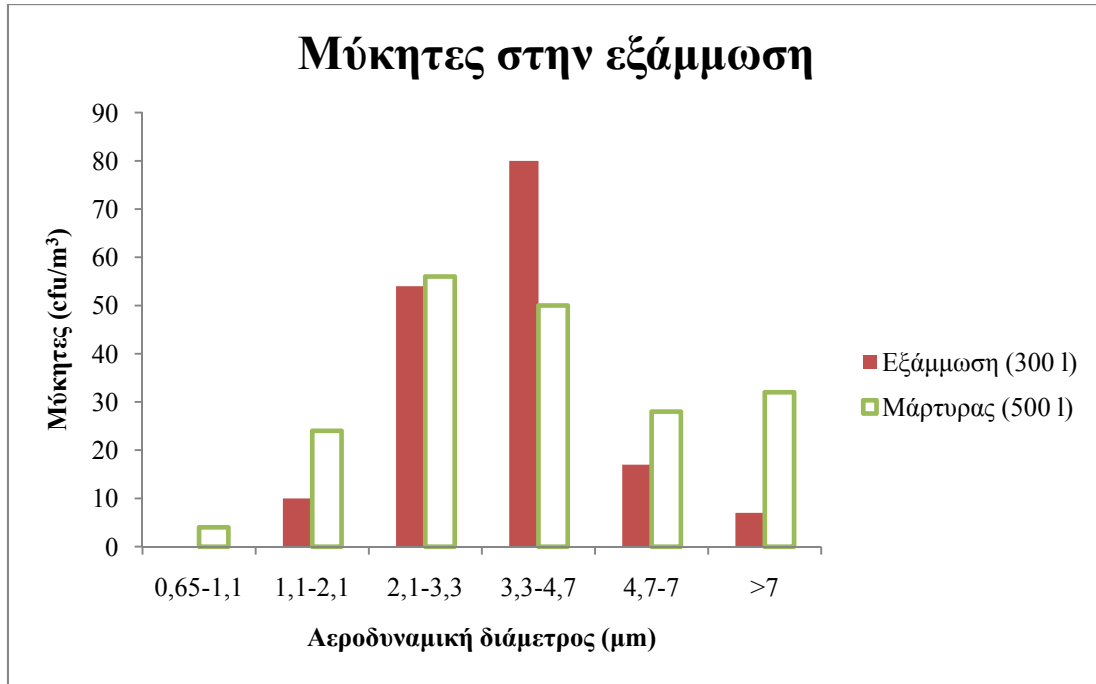
4.3.10 10η σειρά μετρήσεων (04/06/2008)

Η δέκατη σειρά μετρήσεων πραγματοποιήθηκε στις 04/06/2008. Οι μετρήσεις των βιοαεροζόλ πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας τον αναλυτή 6 σταδίων και καταμετρήθηκαν τα ετερότροφα βακτήρια, οι μύκητες και τα κολοβακτήρια. Στο σχήμα 89 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τα ετερότροφα βακτήρια στις δεξαμενές εξάμωσης και λιποσυλλογής σε σύγκριση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τον μάρτυρα. Στο σχήμα 90 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τους μύκητες στις δεξαμενές εξάμωσης και λιποσυλλογής και τον μάρτυρα, ενώ στο σχήμα 91 δίνονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις μετρήσεις κολοβακτηρίων στις δεξαμενές εξάμωσης και λιποσυλλογής. Στην δέκατη σειρά μετρήσεων δεν πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία

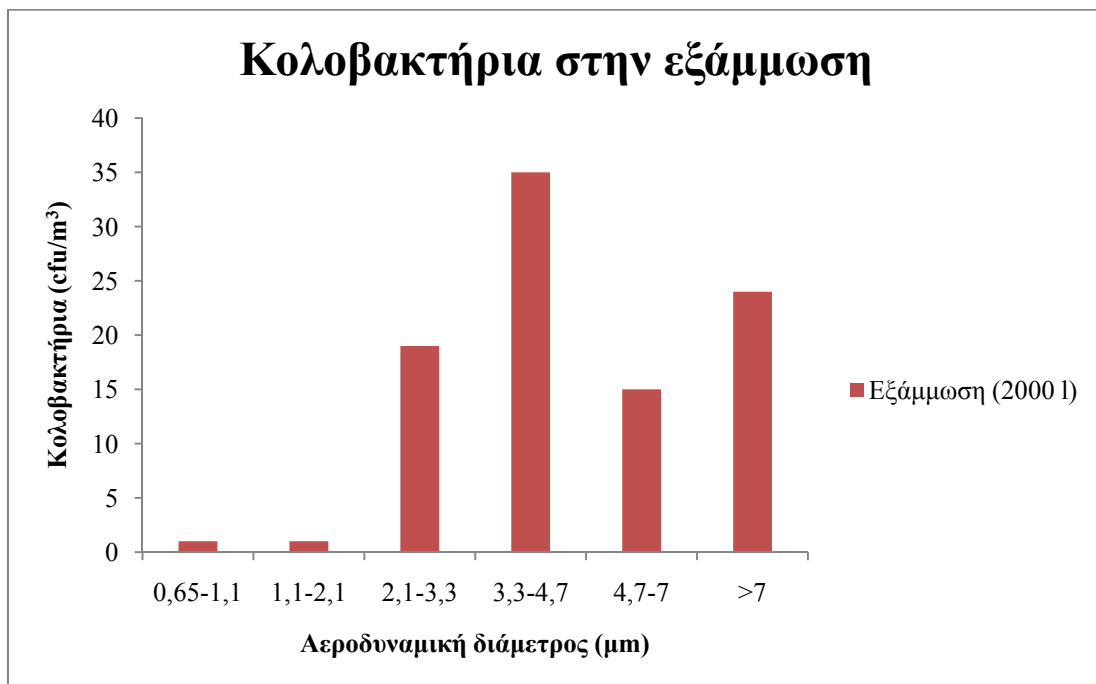
στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης λόγω του ότι σε όλες τις προηγούμενες μετρήσεις οι τιμές που προέκυπταν ήταν αμελητέες.



Σχήμα 89: Συγκεντρώσεις ετερότροφων βακτηρίων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και στον μάρτυρα για διαφορετικούς όγκους αέρα (10^η σειρά μετρήσεων).



Σχήμα 90: Συγκεντρώσεις μυκήτων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και στον μάρτυρα (10^η σειρά μετρήσεων).



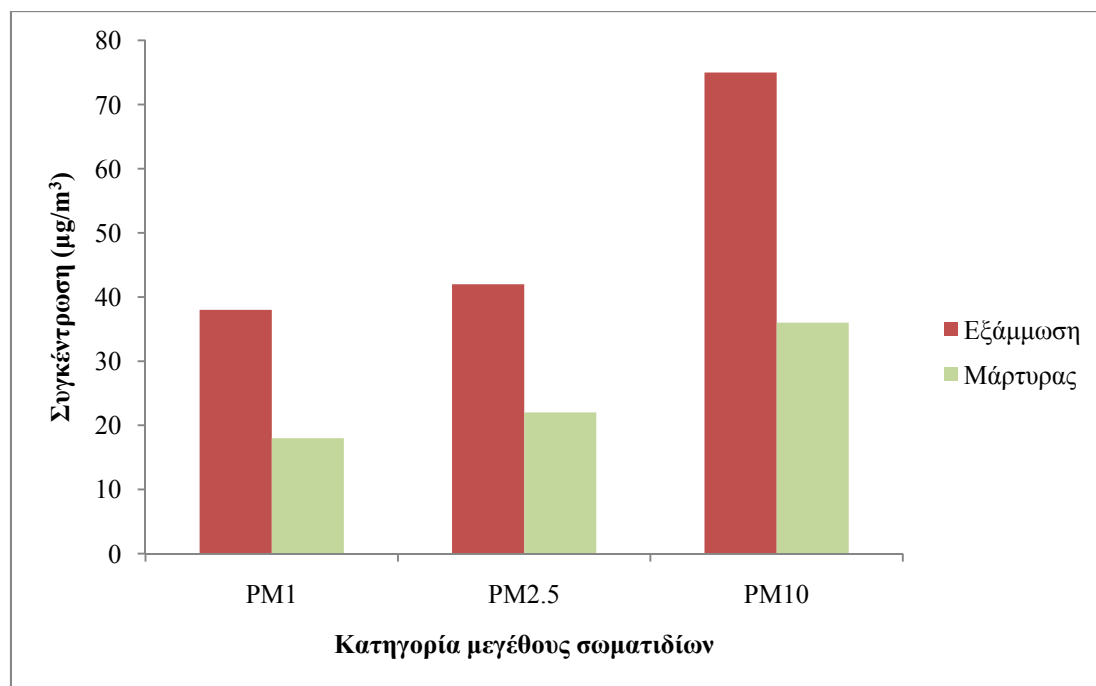
Σχήμα 91: Συγκεντρώσεις κολοβακτηρίων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής (10^η σειρά μετρήσεων).

Οι συγκεντρώσεις των ετερότροφων βακτηρίων ήταν ιδιαίτερα αυξημένες στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής σε σχέση με αυτές που παρατηρήθηκαν στον μάρτυρα. Οι μύκητες στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής είχαν παραπλήσιες τιμές σε σχέση με αυτές που παρατηρήθηκαν στον μάρτυρα, ενώ τα κολοβακτήρια ήταν σε ιδιαίτερα υψηλά επίπεδα στην ΔΕΛ σε σχέση με τις προηγούμενες δειγματοληψίες. Στον πίνακα 28 δίνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων των άλλων ρύπων καθώς και οι μετεωρολογικές παράμετροι που επικρατούσαν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, ενώ στο σχήμα 92 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις που προέκυψαν για τα αιωρούμενα σωματίδια στα 2 σημεία δειγματοληψίας. Παρατηρούμε από τον πίνακα 28 ότι το υδρόθειο βρίσκεται σε αρκετά χαμηλές συγκεντρώσεις (369 ppb) στην ΔΕΛ σε σχέση με τις υπόλοιπες σειρές μετρήσεων. Η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων παρατηρούμε ότι παίρνει σημαντικά υψηλότερες τιμές στην ΔΕΛ σε σχέση με αυτές που μετρήθηκαν στον μάρτυρα. Τόσο η συγκέντρωση του υδρόθειου όσο και οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων κυμαίνονται σε χαμηλότερα επίπεδα σε σχέση με τις προηγούμενες δειγματοληψίες, παρόλο που οι συγκεντρώσεις των αερομεταφερόμενων μικροοργανισμών ήταν σε παρόμοιο εύρος τιμών με τις προηγούμενες δειγματοληψίες.

Πίνακας 28: Αποτελέσματα μετρήσεων ρύπων και μετεωρολογικών παραμέτρων για την 10^η σειρά μετρήσεων.

	Δεξαμενές εξάμωσης και λιποσυλλογής	Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης	Μάρτυρας
H ₂ S	368 ppb	ΔΠ	3 ppb
PM ₁₀	75 µg/m ³	ΔΠ	36 µg/m ³
PM _{2.5}	42 µg/m ³	ΔΠ	22 µg/m ³
PM ₁	38 µg/m ³	ΔΠ	18 µg/m ³
Αριθμός PM ₁	88.329 pt/cc	ΔΠ	4.539 pt/cc
Θερμοκρασία	ΔΠ	28 °C	
Σχετική υγρασία	ΔΠ	34 %	
Ταχύτητα ανέμου	ΔΠ	5,2 m/s	

*ΔΠ : Δεν προσδιορίστηκε

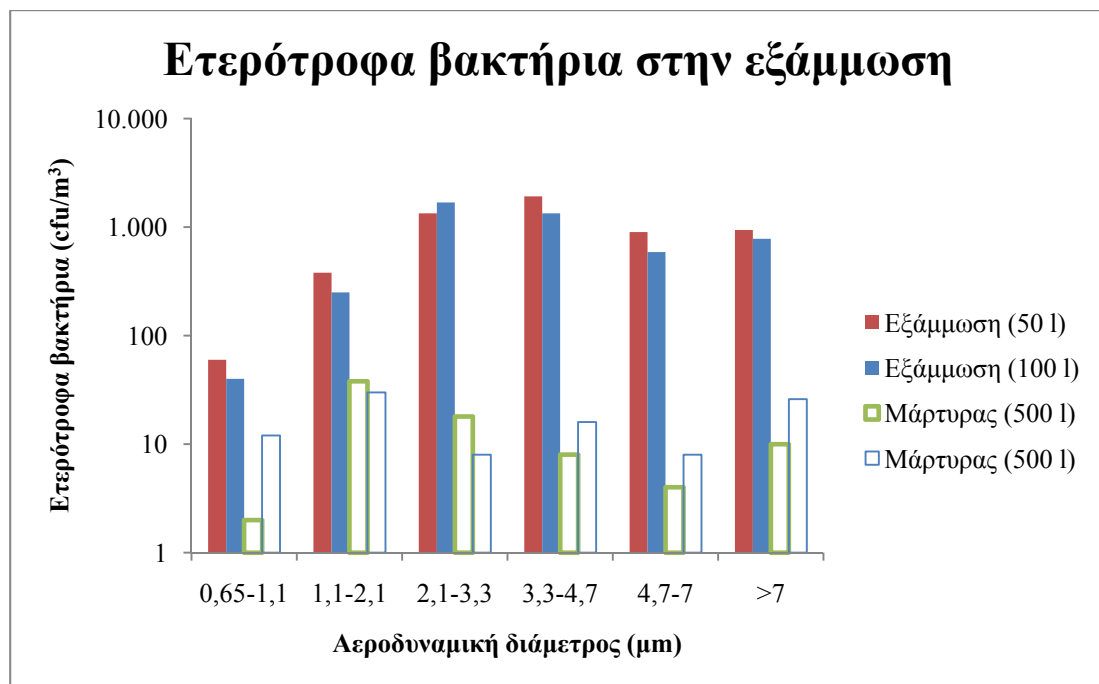


Σχήμα 92: Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων (10^η σειρά μετρήσεων).

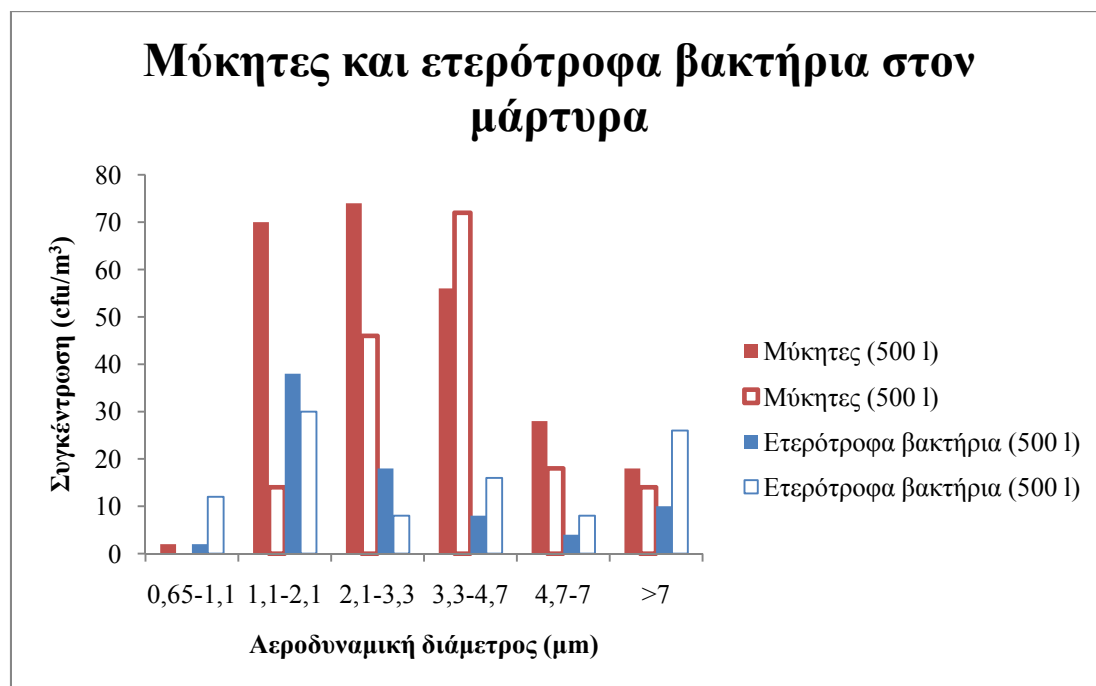
4.3.11 11η σειρά μετρήσεων (19/06/2008)

Η ενδέκατη σειρά μετρήσεων πραγματοποιήθηκε στις 19/06/2008. Οι μετρήσεις των βιοαεροζόλ πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας τον αναλυτή 6 σταδίων και καταμετρήθηκαν τα ετερότροφα βακτήρια, οι μύκητες και τα κολοβακτήρια. Επίσης χρησιμοποιήθηκε ο δειγματολήπτης MAS-100 για την μέτρηση των ετερότροφων βακτηρίων και των μυκήτων στον μάρτυρα ώστε να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν με τα δύο όργανα. Στο σχήμα 93 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τα ετερότροφα βακτήρια στις δεξαμενές εξάμωσης και λιποσυλλογής σε σύγκριση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τον μάρτυρα. Στο σχήμα 94 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τους μύκητες και τα ετερότροφα βακτήρια στον μάρτυρα, ενώ στο σχήμα 95 δίνονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις μετρήσεις κολοβακτηρίων στις δεξαμενές

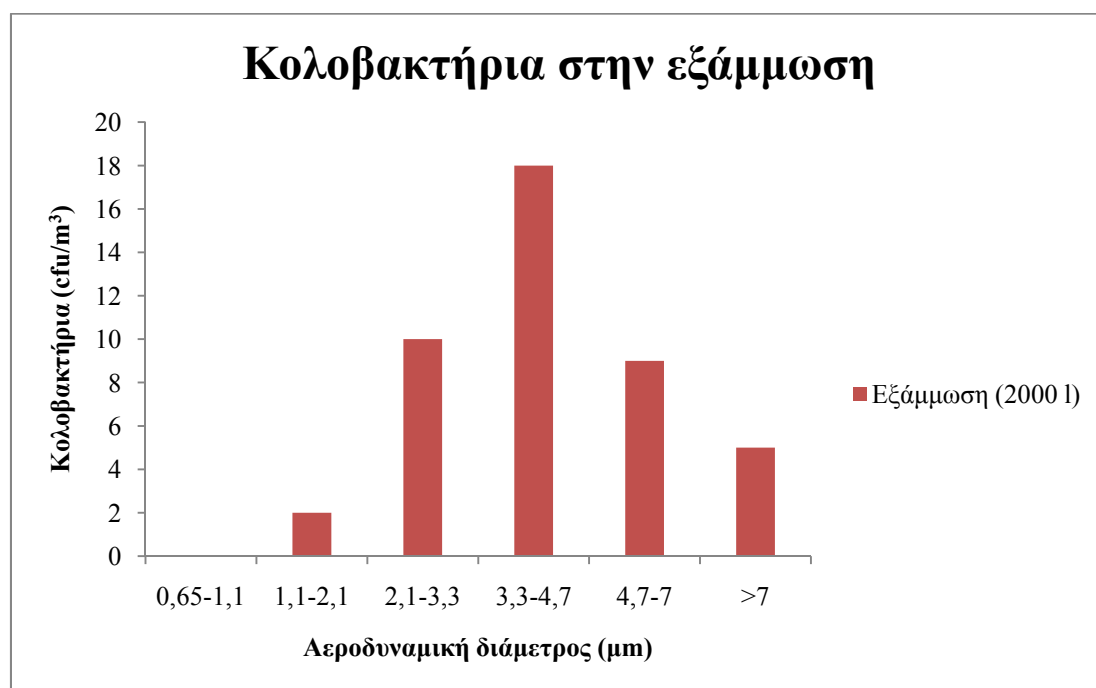
εξάμμωσης και λιποσυλλογής. Στην ενδέκατη σειρά μετρήσεων δεν πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης λόγω του ότι σε όλες τις προηγούμενες μετρήσεις οι τιμές που προέκυπταν ήταν αμελητέες. Επίσης οι μύκητες στην συγκεκριμένη δειγματοληψία μετρήθηκαν μόνο στον μάρτυρα.



Σχήμα 93: Συγκεντρώσεις ετερότροφων βακτηρίων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και στον μάρτυρα για διαφορετικούς όγκους αέρα (11^η σειρά μετρήσεων).



Σχήμα 94: Συγκεντρώσεις μυκήτων και ετερότροφων βακτηρίων στον μάρτυρα (11^η σειρά μετρήσεων).



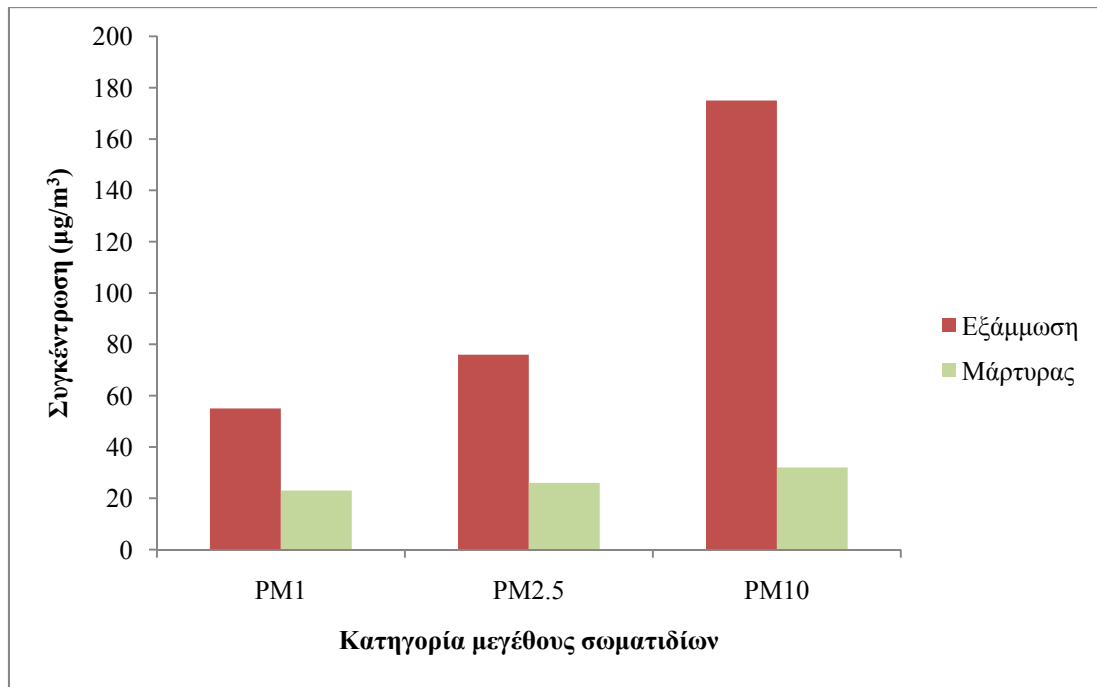
Σχήμα 95: Συγκεντρώσεις κολοβακτηρίων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής (11^η σειρά μετρήσεων).

Οι συγκεντρώσεις των ετερότροφων βακτηρίων ήταν ιδιαίτερα αυξημένες στις δεξαμενές εξάμμιωσης και λιποσυλλογής σε σχέση με αυτές που παρατηρήθηκαν στον μάρτυρα, επίσης η συγκέντρωση των κολοβακτηρίων ήταν σε ιδιαίτερα υψηλά επίπεδα στο αέριο δείγμα από την ΔΕΛ σε σχέση με τις προηγούμενες δειγματοληψίες. Στον πίνακα 29 δίνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων των άλλων ρύπων καθώς και οι μετεωρολογικές παράμετροι που επικρατούσαν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων ενώ στο σχήμα 96 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις που προέκυψαν για τα αιωρούμενα σωματίδια στα 2 σημεία δειγματοληψίας. Στο σχήμα 94 διαφαίνεται ότι σε όλα τα κλάσματα των διαφορετικών διαμέτρων, εκτός του μικρότερου (0,65-1,1 μm), οι συγκεντρώσεις των μυκήτων ήταν υψηλότερες εκείνων των ετερότροφων βακτηρίων στον μάρτυρα. Αντίθετα, οι συγκεντρώσεις των αερομεταφερόμενων μυκήτων στα αέρια δείγματα από τις δεξαμενές εξάμμιωσης και λιποσυλλογής και την δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης ήταν πολύ χαμηλότερες εκείνων των αερομεταφερόμενων ετερότροφων βακτηρίων, όπως είχε παρατηρηθεί στο σύνολο των προηγούμενων σειρών μετρήσεων. Παρατηρούμε από τον πίνακα 29 ότι το υδρόθειο βρίσκεται σε αρκετά υψηλές συγκεντρώσεις (18,3 ppm) στην ΔΕΛ. Κατά την έκθεση του ανθρώπου σε τόσο μεγάλες συγκεντρώσεις υδρόθειου μπορεί να προκληθεί ερεθισμός στα μάτια, την μύτη και τον λαιμό.

Πίνακας 29: Αποτελέσματα μετρήσεων ρύπων και μετεωρολογικών παραμέτρων για την 11^η σειρά μετρήσεων.

	Δεξαμενές εξάμωσης και λιποσυλλογής	Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης	Μάρτυρας
H ₂ S	18.265 ppb	ΔΠ	4 ppb
PM ₁₀	175 µg/m ³	ΔΠ	32 µg/m ³
PM _{2.5}	76 µg/m ³	ΔΠ	26 µg/m ³
PM ₁	55 µg/m ³	ΔΠ	23 µg/m ³
Αριθμός PM ₁	86.325 pt/cc	ΔΠ	3.863 pt/cc
Θερμοκρασία	ΔΠ	33 °C	
Σχετική υγρασία	ΔΠ	42,2 %	
Ταχύτητα ανέμου	ΔΠ	3 m/s	

*ΔΠ : Δεν προσδιορίστηκε



Σχήμα 96: Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων (11^η σειρά μετρήσεων).

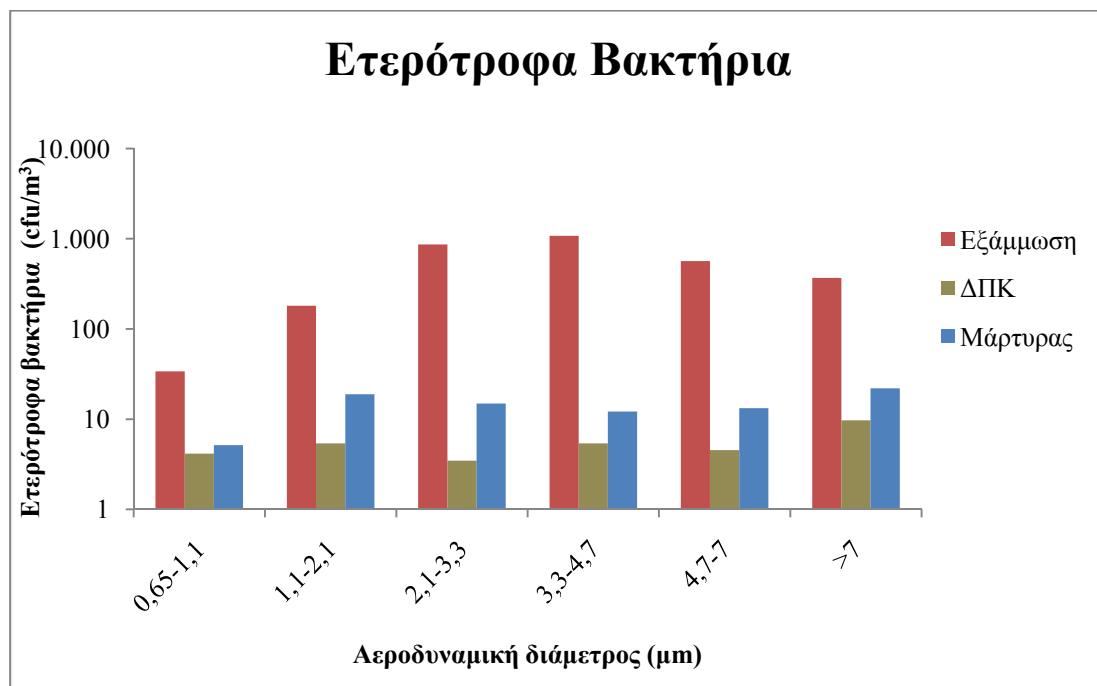
4.4 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα – συσχέτιση παραμέτρων

Στις παραγράφους που ακολουθούν γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τις 11 σειρές μετρήσεων που διήρκησαν από 12 Μάρτη μέχρι 19 Ιούνιο 2008.

4.4.1 Κατανομή μεγεθών βιοαεροζόλ

Στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής έγιναν μετρήσεις των βιοαεροζόλ στο κέντρο επεξεργασίας λυμάτων της Δ.Ε.Υ.Α. Χανίων, σε αέρια δείγματα ενός εσωτερικού κλειστού χώρου (δεξαμενές εξάμμιωσης και λιποσυλλογής) και ενός εξωτερικού

χώρου (δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης) καθώς και στο προαύλιο του ΤΕΙ Κρήτης, Παράρτημα Χανίων (μάρτυρας). Στο σχήμα 97 παρουσιάζονται οι κατανομές μεγεθών που προέκυψαν για τα ετερότροφα βακτήρια στις 3 θέσεις δειγματοληψίας.



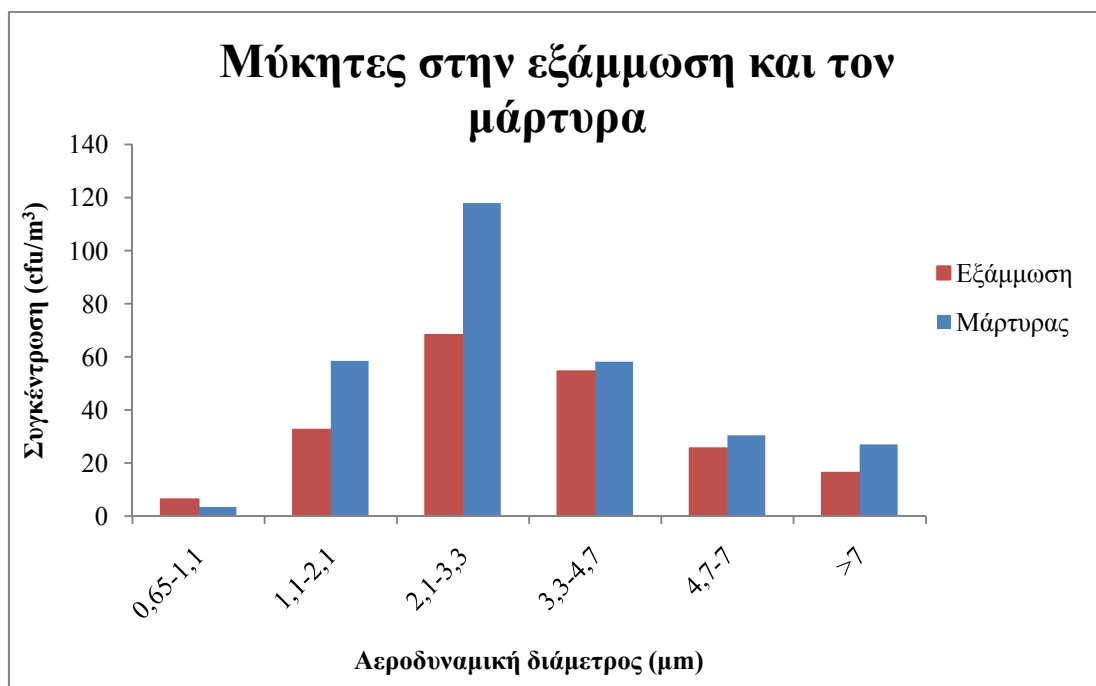
Σχήμα 97: Κατανομή μεγεθών ετερότροφων βακτηρίων στις 3 θέσεις δειγματοληψίας (μέσες τιμές περιόδου μετρήσεων).

Παρατηρούμε από το σχήμα 97 ότι στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής οι μέσες τιμές των συγκεντρώσεων των ετερότροφων βακτηρίων είναι 2 τάξεις μεγέθους μεγαλύτερες τόσο από τις αντίστοιχες στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης όσο και τον μάρτυρα. Η πλειοψηφία των ετερότροφων βακτηρίων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής έχει αεροδυναμικές διαμέτρους από 2,1 έως 7 μm. Στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης παρατηρείται μια ισοκατανομή στα κλάσματα με

διάμετρο από 0,65 μm έως 7 μm , ενώ ελαφρά αυξημένες παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των βακτηρίων αεροδυναμικής διαμέτρου μεγαλύτερης των 7 μm .

Μια παρόμοια κατανομή με αυτή της ΔΠΚ παρουσιάζει και ο μάρτυρας.

Στο σχήμα 98 παρουσιάζονται οι κατανομές μεγεθών για τους μύκητες στις 2 θέσεις δειγματοληψίας (δεξαμενές εξάμμιωσης και λιποσυλλογής και μάρτυρας).

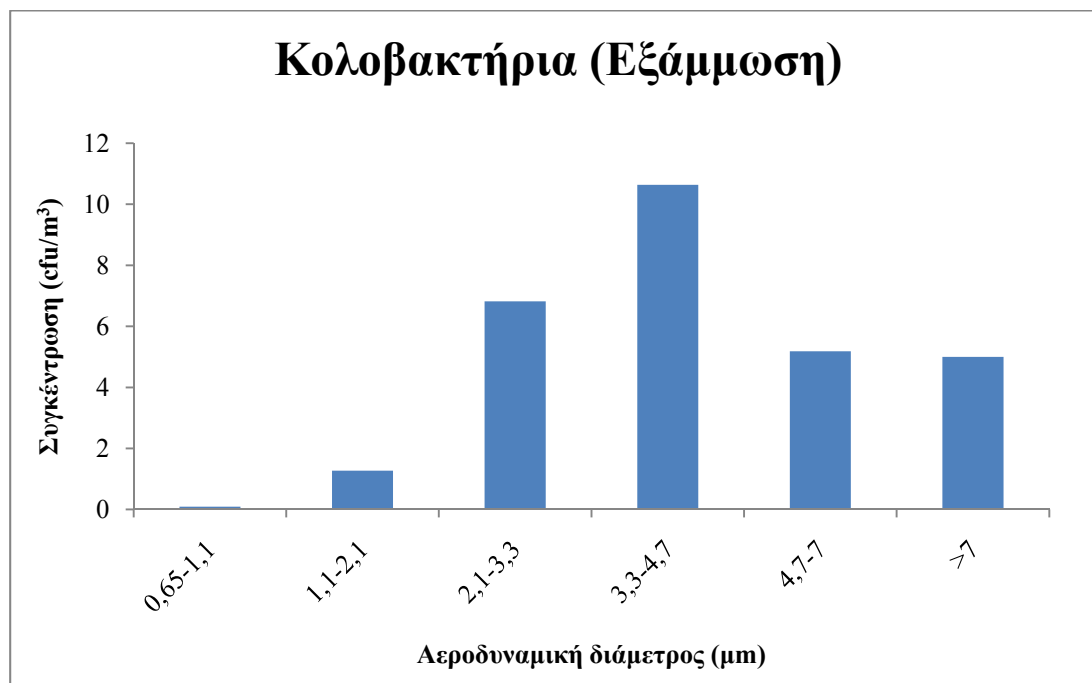


Σχήμα 98: Κατανομή μεγεθών των μυκήτων στις δεξαμενές εξάμμιωσης και λιποσυλλογής και τον μάρτυρα (μέσες τιμές περιόδου μετρήσεων).

Όπως παρατηρούμε στο σχήμα 98, η κατανομή μεγεθών των μυκήτων δεν διαφοροποιείται σημαντικά ανάμεσα στα δείγματα που λήφθηκαν από τον μάρτυρα και τις δεξαμενές εξάμμιωσης και λιποσυλλογής. Επίσης δεν διαφοροποιείται σημαντικά η συγκέντρωσή τους, με τους μύκητες στον μάρτυρα να έχουν ελαφρώς

μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σε σχέση με εκείνες από τις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής. Γενικά, οι συγκεντρώσεις των μυκήτων είναι περίπου 10 φορές χαμηλότερες εκείνων των ετερότροφων βακτηρίων στα αέρια δείγματα από το χώρο των δεξαμενών εξάμμωσης και λιποσυλλογής.

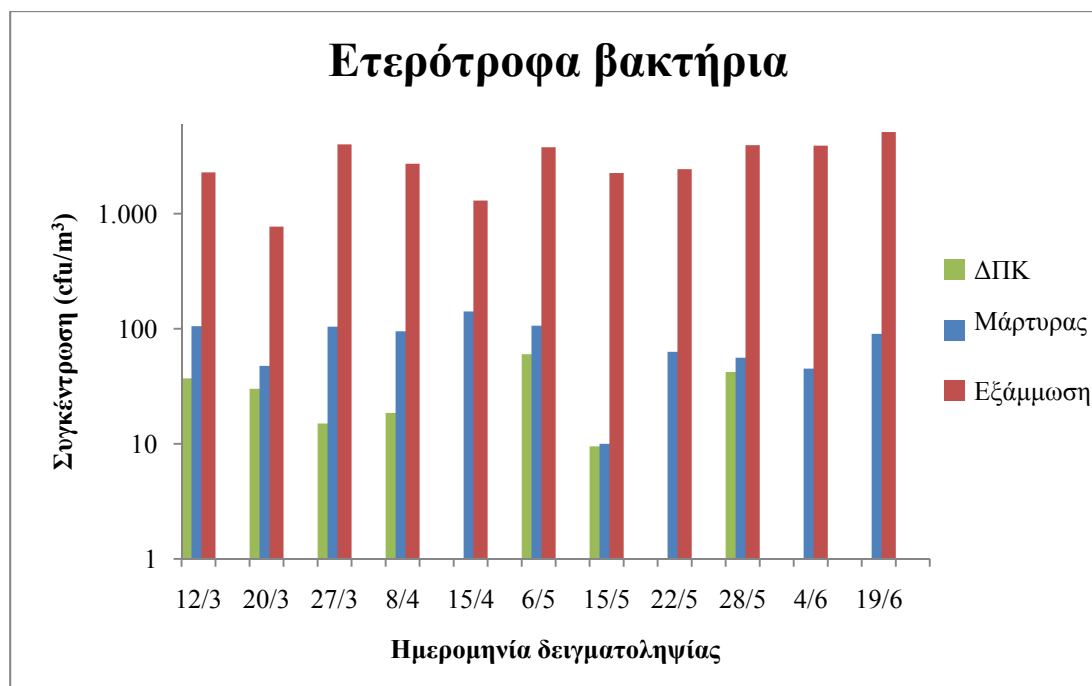
Στο σχήμα 99 παρουσιάζεται η κατανομή μεγεθών των ολικών κολοβακτηρίων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής. Παρατηρούμε ότι οι συγκεντρώσεις είναι ιδιαίτερα χαμηλές και το μέγιστο παρουσιάζεται σε αεροδυναμικές διαμέτρους από 2,1 έως 4,7 μm . Τα μέγιστα παρατηρούνται στα ίδια κλάσματα μεγεθών όπως στα αερομεταφερόμενα ετερότροφα βακτήρια στον χώρο των δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής. Οι αντίστοιχοι μέσοι όροι στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης προέκυψαν μηδενικοί για την περίοδο μετρήσεων.



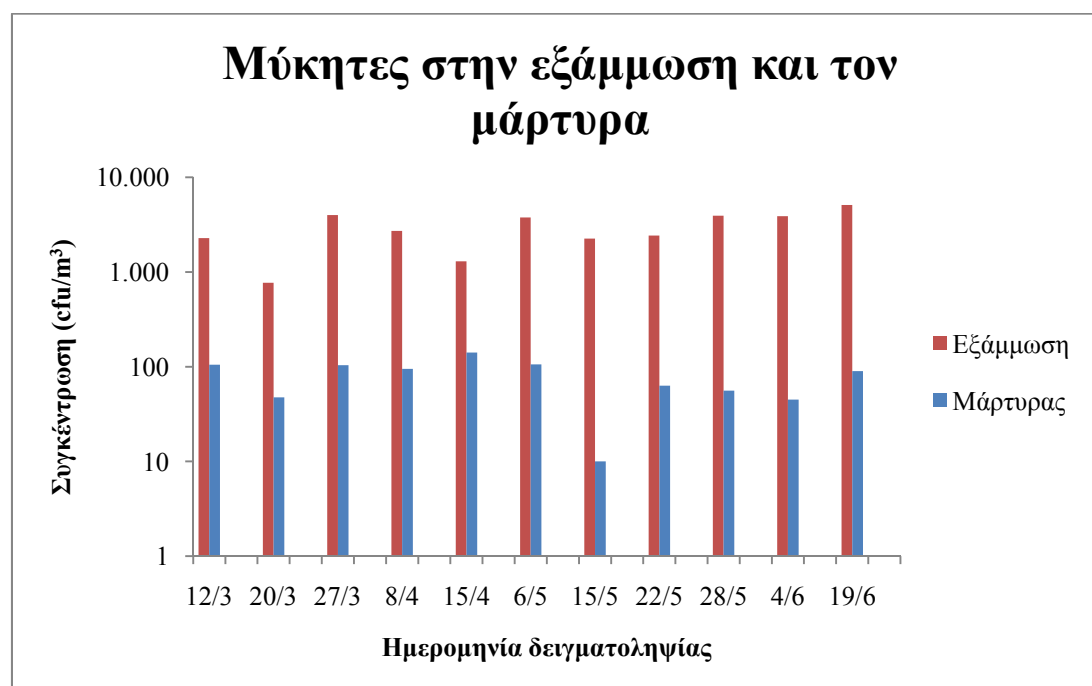
Σχήμα 99: Κατανομή μεγεθών των ολικών κολοβακτηρίων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής (μέσες τιμές περιόδου μετρήσεων).

4.4.2 Συνολικές συγκεντρώσεις βιοαεροζόλ ανά σειρά μετρήσεων

Στο σχήμα 100 παρουσιάζονται οι συνολικές συγκεντρώσεις των ετερότροφων βακτηρίων στις ΔΕΛ, την δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης και τον μάρτυρα. Οι τιμές έχουν προκύψει από την άθροιση των έξι συγκεντρώσεων που μετρήθηκαν ανά δειγματοληψία στα έξι διαφορετικά κλάσματα. Παρατηρούμε ότι οι τιμές που έχουν προκύψει παρουσιάζουν αυξομειώσεις από 770 έως 5.100 CFU/m³ και γενικά είναι ιδιαίτερα αυξημένες. Οι συγκεντρώσεις κατά κανόνα είναι μεγαλύτερες από 2.000 CFU/m³. Οι αντίστοιχες τιμές στον μάρτυρα κυμαίνονται από 10 έως 140 CFU/m³. Παρατηρούμε επίσης ότι σε κάθε δειγματοληψία οι συγκεντρώσεις στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης ήταν μικρότερες από τον μάρτυρα. Στο σχήμα 101 παρουσιάζονται οι συνολικές συγκεντρώσεις των μυκήτων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και στον μάρτυρα για όλη την περίοδο μετρήσεων. Οι τιμές που προκύπτουν για τους μύκητες είναι μικρότερες σε σχέση με εκείνες από τα ετερότροφα βακτήρια στις ΔΕΛ, ενώ στον μάρτυρα οι μύκητες βρίσκονται σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις από εκείνες των ετερότροφων βακτηρίων.



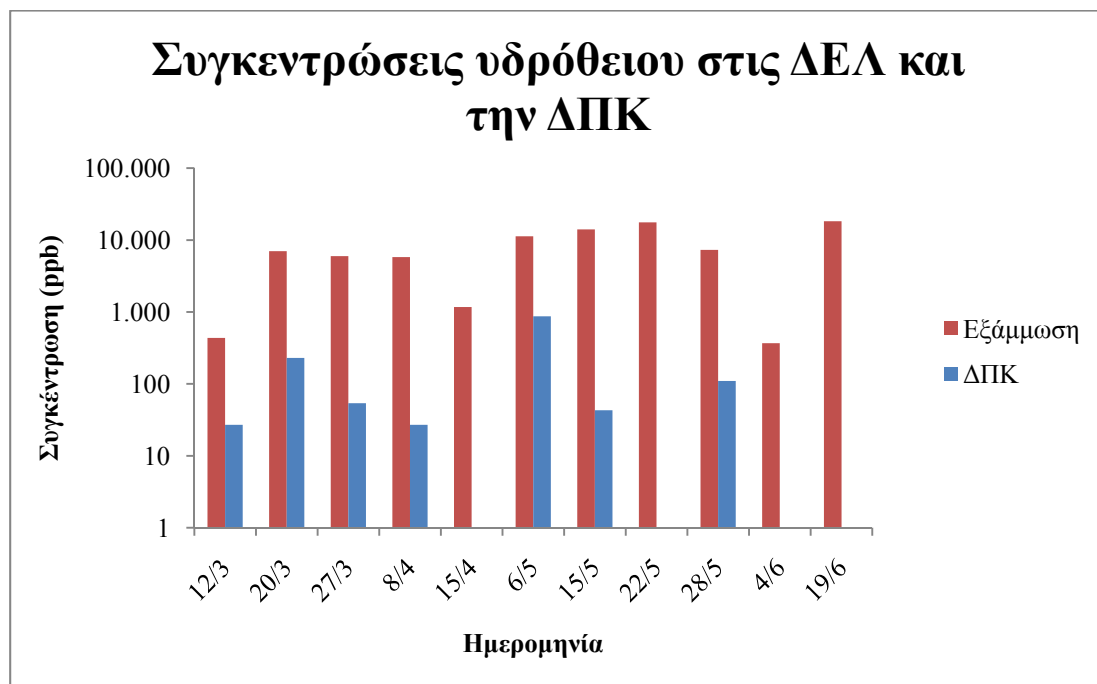
Σχήμα 100: Συγκεντρώσεις ετερότροφων βακτηρίων στις 3 θέσεις δειγματοληψίας για κάθε σειρά μετρήσεων.



Σχήμα 101: Συγκεντρώσεις μυκήτων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και τον μάρτυρα ανά δειγματοληψία.

4.4.3 Συγκεντρώσεις υδρόθειου

Στο σχήμα 102 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις μετρήσεις των συγκεντρώσεων του υδρόθειου στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και την δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης. Στον μάρτυρα, δεν εντοπίστηκε σε καμία μέτρηση ανιχνεύσιμη συγκέντρωση υδρόθειου.



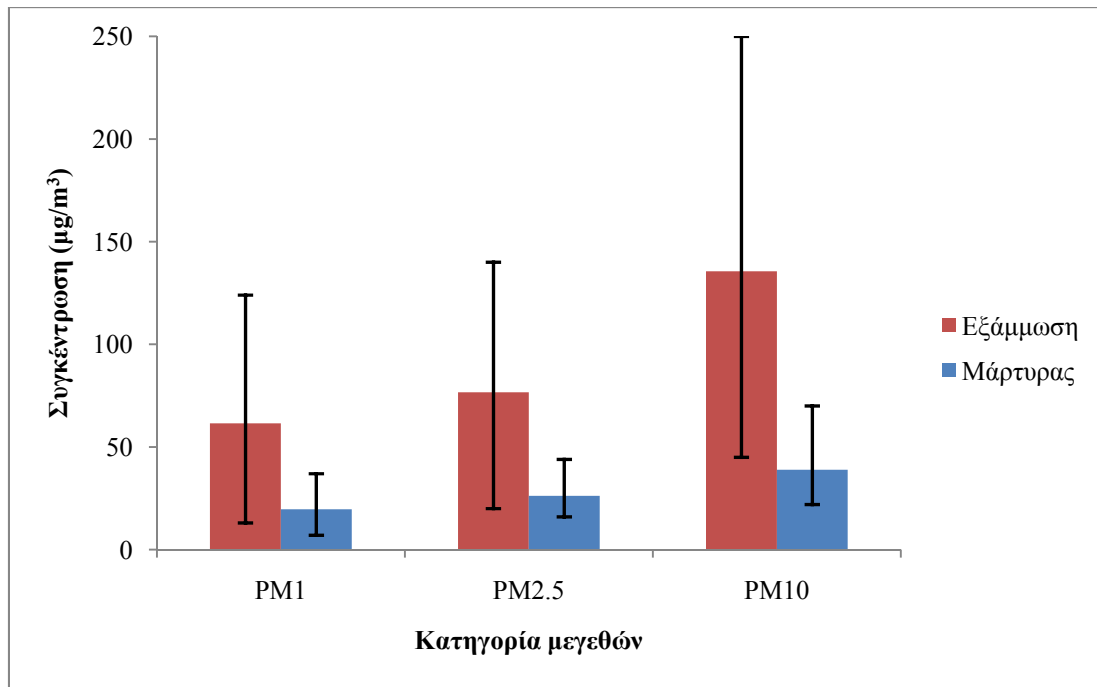
Σχήμα 102: Συγκεντρώσεις υδρόθειου στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης.

Η μέση συγκέντρωση του υδρόθειου για όλη την περίοδο δειγματοληψίας ήταν 8.120 ppb και 190 ppb για τις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και την δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης αντίστοιχα. Παρατηρούμε ότι στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής οι συγκεντρώσεις είναι ιδιαίτερα αυξημένες και θα πρέπει να χρησιμοποιούνται από τους εργαζομένους σε αυτό τον χώρο προστατευτικά μέσα (γάντια και μάσκα). Σε υψηλές συγκεντρώσεις το υδρόθειο είναι ιδιαίτερα επικίνδυνο

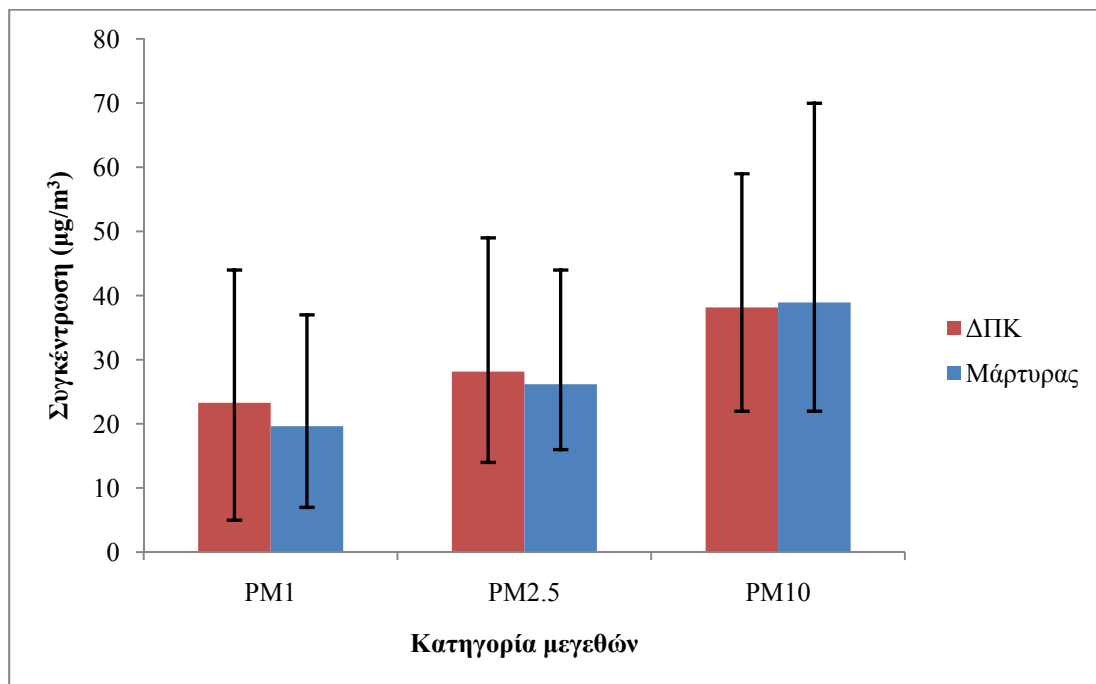
λόγω του ότι «νεκρώνει» την αίσθηση της όσφρησης και επομένως πρέπει να χρησιμοποιούνται και ειδικά φορητά όργανα προειδοποίησης έκθεσης σε υψηλές συγκεντρώσεις υδρόθειου.

4.4.4 Κατανομή μεγέθους αιωρούμενων σωματιδίων

Στα διαγράμματα των σχημάτων 103, 104 παρουσιάζονται οι μέσες κατανομές μεγέθους σωματιδίων για τις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και την δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης σε σχέση με τις συγκεντρώσεις που μετρήθηκαν στον μάρτυρα. Οι τιμές που παρουσιάζονται αντιστοιχούν στις μέσες τιμές που προέκυψαν από όλη την περίοδο δειγματοληψίας. Στα διαγράμματα αυτά παρουσιάζονται επίσης μέσω των γραμμών σφάλματος οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές που παρατηρήθηκαν για κάθε κατηγορία μεγεθών.



Σχήμα 103: Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων στις δεξαμενές εξάμμισης και λιποσυλλογής και τον μάρτυρα.

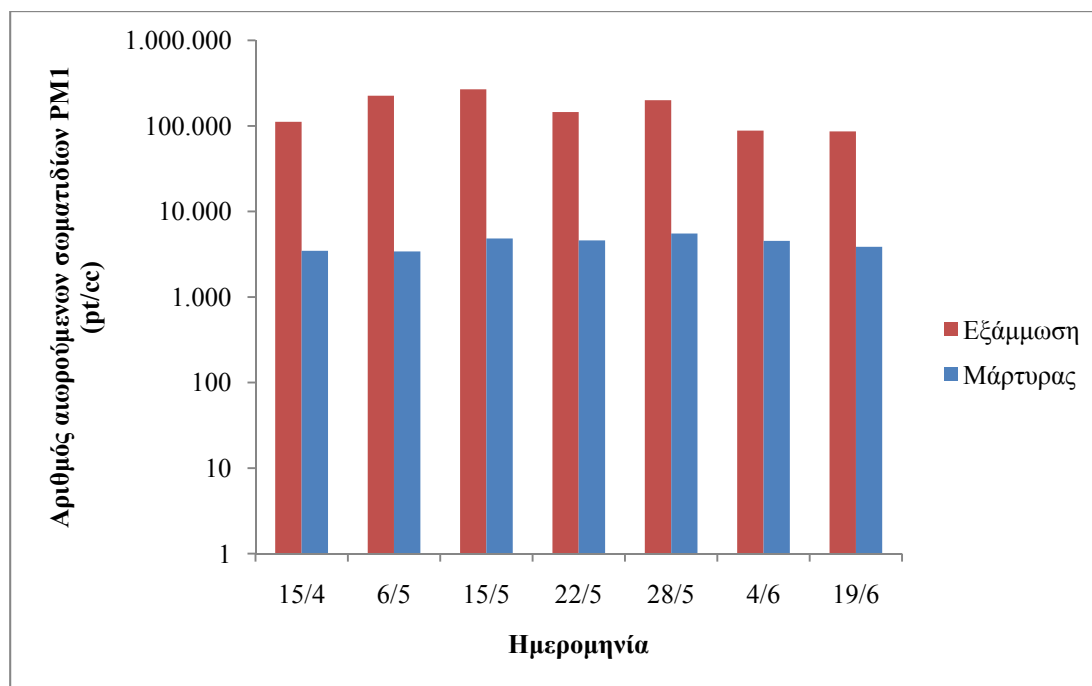


Σχήμα 104: Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης και τον μάρτυρα.

Όπως παρατηρούμε από τα διαγράμματα 103 και 104, οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής έχουν σημαντικά υψηλότερες τιμές σε σχέση με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις που μετρήθηκαν στον μάρτυρα. Μεγαλύτερη είναι η διαφορά που παρατηρείται στα μεγάλα σωματίδια (PM_{10}). Αντίθετα, στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα που απαντώνται και στον μάρτυρα.

4.4.5 Αριθμός αιωρούμενων σωματιδίων

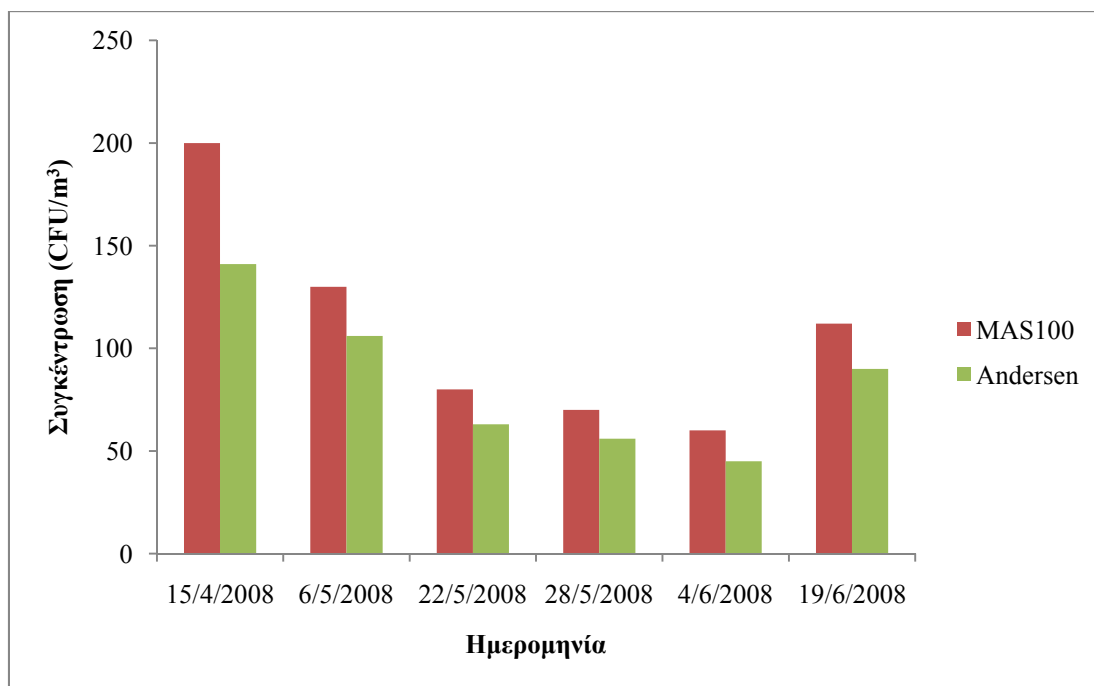
Στο διάγραμμα του σχήματος 105 παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις μετρήσεις του αριθμού των αιωρούμενων σωματιδίων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής καθώς και στον μάρτυρα για όλη την περίοδο των μετρήσεων. Παρατηρούμε ότι σε κάθε δειγματοληψία ο αριθμός των υπόμικρων αιωρούμενων σωματιδίων στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής ήταν 1-2 τάξεις μεγέθους υψηλότερος σε σχέση με τον μάρτυρα. Οι μέσες τιμές για όλη την περίοδο δειγματοληψιών ήταν 160.000 pt/cc και 4.000 pt/cc αντίστοιχα.



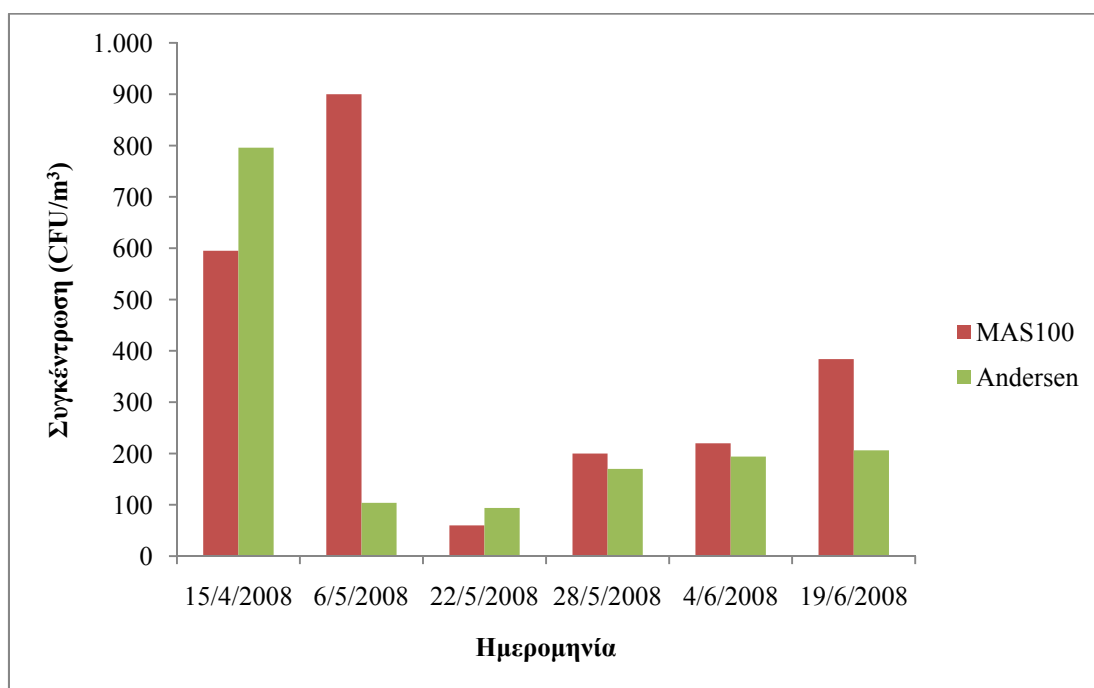
Σχήμα 105: Αριθμός αιωρούμενων σωματιδίων PM_1 στις δεξαμενές εξάμωσης και λιποσυλλογής και τον μάρτυρα.

4.4.6 Σύγκριση αποτελεσμάτων του δειγματολήπτη MAS-100 και του δειγματολήπτη Andersen

Οι μετρήσεις των ζώντων αερομεταφερόμενων μικροοργανισμών στον μάρτυρα πραγματοποιήθηκαν σε κάποιες σειρές μετρήσεων χρησιμοποιώντας τον δειγματολήπτη MAS-100 και τον δειγματολήπτη τύπου Andersen 6 σταδίων. Στο διάγραμμα των σχημάτων 106-107 παρουσιάζονται συγκριτικά τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τα ετερότροφα βακτήρια και τους μύκητες αντίστοιχα.



Σχήμα 106: Σύγκριση συγκεντρώσεων ετερότροφων βακτηρίων που προέκυψαν με τον δειγματολήπτη MAS-100 και τον δειγματολήπτη Andersen.



Σχήμα 107: Σύγκριση συγκεντρώσεων μυκήτων που προέκυψαν με τον δειγματολήπτη MAS-100 και τον δειγματολήπτη Andersen.

Όπως παρατηρούμε από τα συγκριτικά διαγράμματα των σχημάτων 109 και 110, διαπιστώθηκε μια διαφορά μεταξύ των αποτελεσμάτων που προέκυψαν χρησιμοποιώντας τους δυο δειγματολήπτες. Οι καταμετρηθείσες συγκεντρώσεις με τον δειγματολήπτη MAS-100 ήταν υψηλότερες από εκείνες του συνόλου των 6 επιπέδων του δειγματολήπτη Andersen. Σε όλες τις μετρήσεις (εκτός αυτής από τις 6 Μαΐου) η σχετική απόκλιση μεταξύ των αποτελεσμάτων από τους δυο δειγματολήπτες ήταν 22% και 29% για τα ετερότροφα βακτήρια και τους μύκητες αντίστοιχα. Εξαίρεση αποτελεί η μέτρηση της συγκέντρωσης των μυκήτων στις 6 Μαΐου όπου η αποκλιση των 2 αποτελεσμάτων ήταν πολύ μεγάλη και μπορεί να θεωρηθεί πειραματικό σφάλμα.

4.4.7 Συσχέτιση παραμέτρων

Οι φυσικές και βιολογικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα από την εκπομπή των αερομεταφερόμενων μικροοργανισμών μέχρι την σύλλογή τους και την επώαση τους είναι ιδιαίτερα σύνθετες και επηρεάζονται από ένα πολύ μεγάλο πλήθος παραμέτρων. Στην παρούσα μελέτη μελετήθηκε αν υπάρχουν ισχυρές συσχετίσεις μεταξύ των παραμέτρων που μετρήθηκαν χρησιμοποιώντας τον συντελεστή συσχέτισης όπως παρουσιάζεται στην εξίσωση 29.

$$\rho(X, Y) = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \cdot \sigma_Y} \quad (29)$$

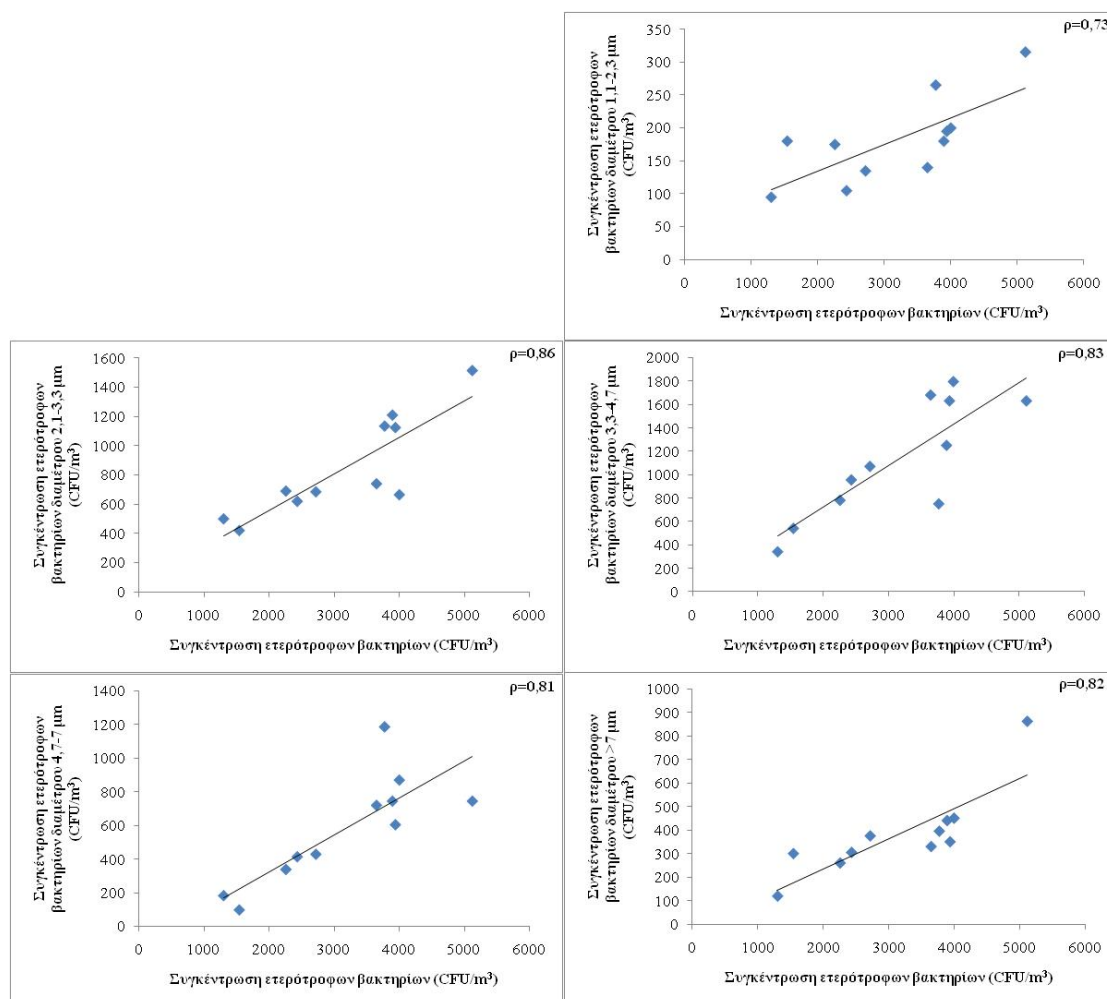
Όπου $\rho(X, Y)$ ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ δυο παραμέτρων X και Y

σ_{XY} η συνδιακύμανση των παραμέτρων X, Y

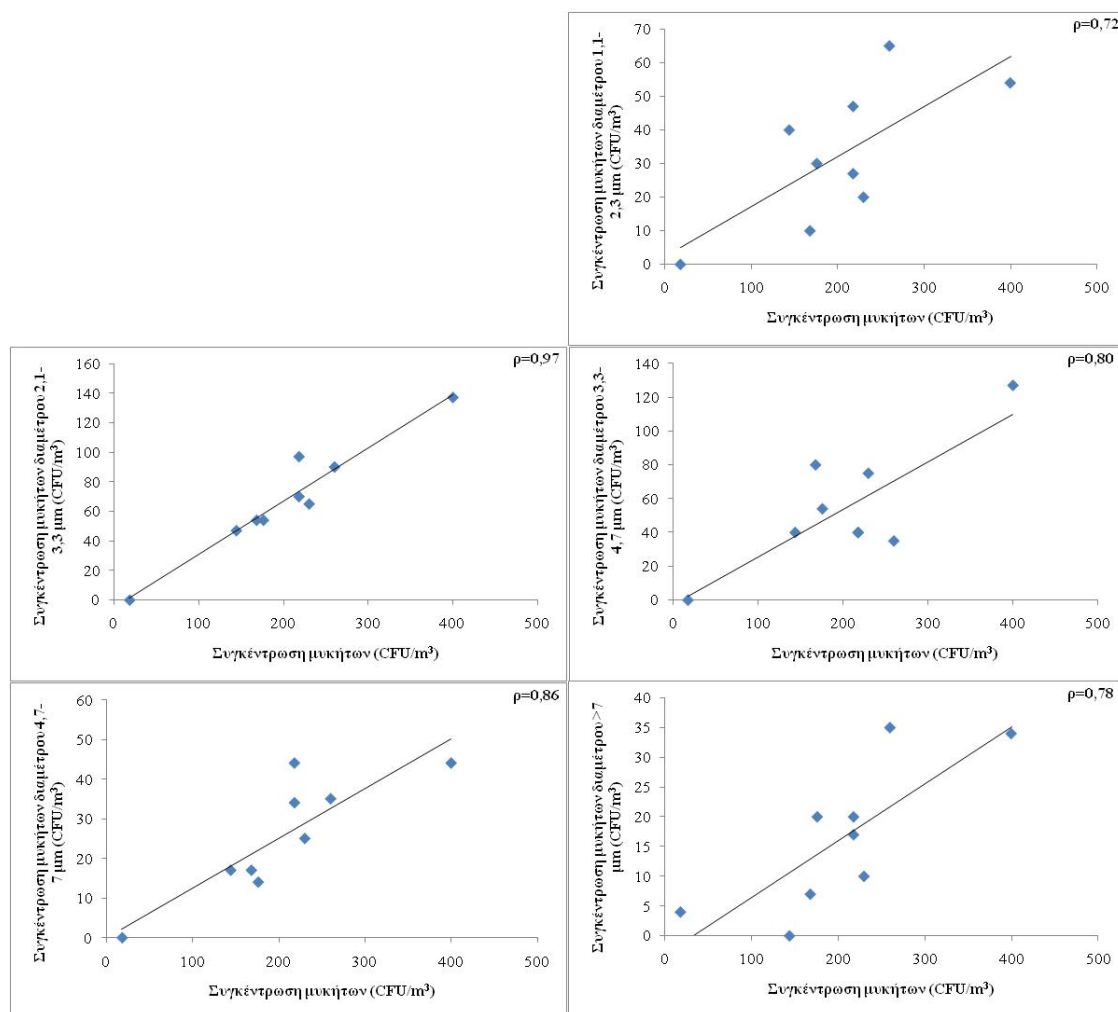
σ_X, σ_Y οι τυπικές αποκλίσεις των X, Y .

Ο συντελεστής αυτός παίρνει τιμές από -1 έως 1 και εκφράζει την συσχέτιση που έχουν 2 παράμετροι. Τιμές κοντά στο +1 αντιστοιχούν σε ισχυρή θετική συσχέτιση ενώ κοντά στο -1 αντιστοιχούν σε ισχυρή αρνητική συσχέτιση. Όταν η τιμή του συντελεστή συσχέτισης παίρνει τιμές κοντά στο 0 τότε τα δυο μεγέθη είναι ασυσχέτιστα.

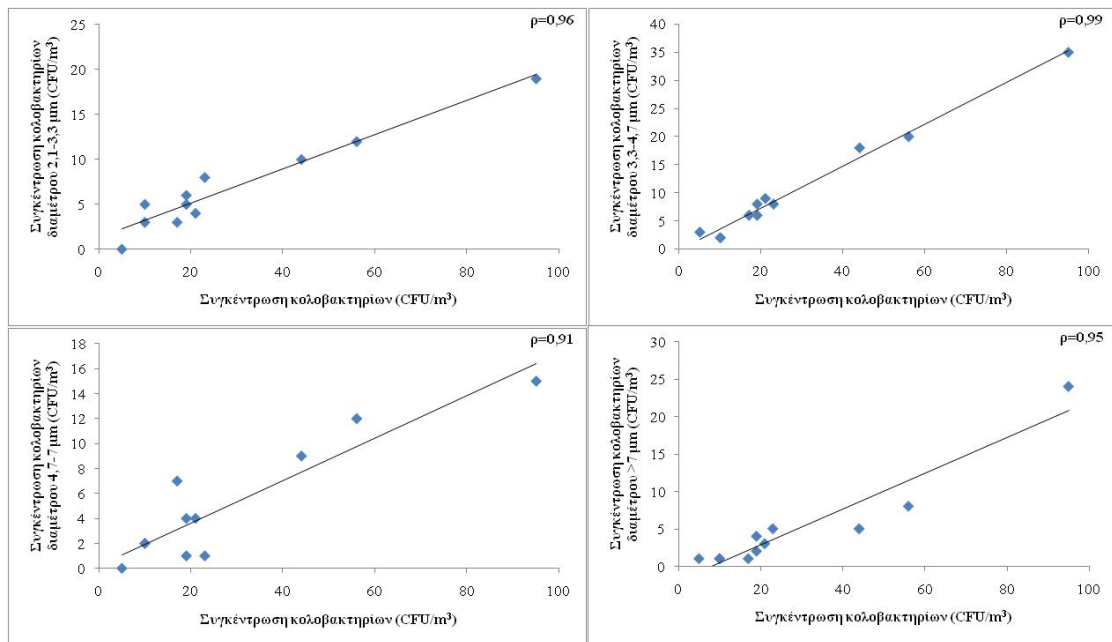
Οι ισχυρές συσχετίσεις που εντοπίστηκαν αφορούν στις συνολικές συγκεντρώσεις των αερομεταφερόμενων μικροοργανισμών στα αέρια δείγματα από τις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής και από τον μάρτυρα σε σχέση με τα κλάσματα τους, όπως διαχωρίζονται από τον δειγματολήπτη τύπου Andersen που χρησιμοποιήθηκε. Οι συσχετίσεις που παρατηρήθηκαν μεταξύ αυτών των παραμέτρων κυμαίνονται από 0,70 έως 0,99. Στα σχήματα 108-110 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις που μετρήθηκαν σε κάθε στάδιο του δειγματολήπτη σε συνάρτηση με την συνολική συγκέντρωση της ίδιας κατηγορίας αερομεταφερόμενων μικροοργανισμών στο αέριο δείγμα που λήφθηκε από τις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής για τα ετερότροφα βακτήρια, τους μύκητες και τα κολοβακτήρια αντίστοιχα. Αντίστοιχη είναι η εικόνα που παρουσιάζεται και στα δείγματα που ελήφθησαν από την δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης και τον μάρτυρα, τα οποία δεν παρουσιάζονται.



Σχήμα 108: Συσχέτιση συγκεντρώσεων ετερότροφων βακτηρίων στο αέριο δείγμα από τις δεξαμενές εξάμμιωσης και λιποσυλλογής με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις κάθε κατηγορίας μεγεθών.



Σχήμα 109: Συσχέτιση συγκεντρώσεων μυκήτων στο αέριο δείγμα από τις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις κάθε κατηγορίας μεγεθών.



Σχήμα 110: Συσχέτιση συγκεντρώσεων κολοβακτηρίων στο αέριο δείγμα από τις δεξαμενές εξάμωσης και λιποσυλλογής με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις κάθε κατηγορίας μεγεθών.

Στα διαγράμματα των σχημάτων 108-110 αναγράφονται οι τιμές του συντελεστή συσχέτισης που προέκυψαν για κάθε ζεύγος παραμέτρων. Παρατηρούμε ότι οι συσχετίσεις είναι σημαντικές ($\rho > 0,7$) γεγονός που υποδηλώνει την ύπαρξη γραμμικής συσχέτισης μεταξύ αυτών των παραμέτρων. Η κλίση της ευθείας εκφράζει τον λόγο των αερομεταφερόμενων μικροοργανισμών που έχουν αεροδυναμική διάμετρο μέσα στα συγκεκριμένα πλαίσια που ορίζονται σε κάθε κατηγορία προς την συνολική συγκέντρωσή τους. Το γεγονός ότι η κλίση αυτή παραμένει σταθερή δείχνει ότι τα ποσοστά που αντιστοιχούν σε κάθε κατηγορία μεγεθών μπορούν να θεωρηθούν σταθερά. Η μόνη κατηγορία μεγεθών που δεν υπακούει στον παραπάνω κανόνα είναι η πρώτη κατηγορία (αεροδυναμική διάμετρος 0,65-1,1 μm). Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί στο ότι τα σωματίδια αυτά, λόγω του μικρού τους μεγέθους,

επηρεάζονται έντονα από το φαινόμενο της διάχυσης Brown. Για τα κολοβακτήρια, οι κατηγορίες μεγεθών για τις οποίες δεν βρέθηκε να υπάρχει συσχέτιση με την συνολική συγκέντρωση των κολοβακτηρίων είναι οι δύο πρώτες λόγω των πολλών μηδενικών τιμών που υπήρχαν στα δεδομένα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ ΟΣΜΩΝ**5.1 Εισαγωγή**

Το τροποποιημένο μοντέλο διασποράς που περιγράφηκε στο κεφάλαιο 2 εφαρμόστηκε για την μελέτη της διασποράς οσμών από δύο εγκαταστάσεις πλησίον των οποίων έχουν διατυπωθεί επανειλημμένα παράπονα από περιοίκους για έντονες οσμές. Και στις 2 περιπτώσεις έγιναν μετρήσεις συγκεντρώσεων οσμών στην περιοχή γύρω από τις εγκαταστάσεις αλλά οι τιμές που προέκυπταν ήταν μικρότερες από το όριο ανίχνευσης των συγκεκριμένων οσμών. Επίσης εφαρμόστηκε το μοντέλο AERMOD για τις συγκεκριμένες περιοχές και οι τιμές των συγκεντρώσεων επίσης ήταν μικρότερες από το όριο ανίχνευσης κατά την περίοδο που προσομοιώθηκε ακόμα και σε σημεία κοντά στις πηγές των οσμών. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι επειδή το μοντέλο υπολογίζει μέσες ωριαίες τιμές των συγκεντρώσεων των οσμών με αποτέλεσμα να μην λαμβάνει υπόψη την έντονη διακύμανση σε μικρότερη χρονική κλίμακα. Χρησιμοποιώντας το τροποποιημένο μοντέλο που περιγράφεται στο κεφάλαιο 2, προέκυψαν αποτελέσματα που περιγράφουν πιο ρεαλιστικά την κατάσταση που επικρατεί στις περιοχές πλησίον των εγκαταστάσεων που μελετήθηκαν στην παρούσα διατριβή. Στις ενότητες που ακολουθούν περιγράφονται τα μετεωρολογικά δεδομένα εισόδου που χρησιμοποιήθηκαν για τις προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν καθώς και τα αποτελέσματα που προέκυψαν. Τα τοπογραφικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν και για τις 2 περιπτώσεις προέκυψαν από την ψηφιοποίηση χαρτών των περιοχών που μελετήθηκαν ενώ ο υπολογισμός των δεδομένων εκπομπών οσμηρών ουσιών περιγράφεται αναλυτικά στο κεφάλαιο 3.

5.2 Εφαρμογή του τροποποιημένου μοντέλου για την διασπορά οσμών από το ΚΕΛ Χανίων

5.2.1 Μετεωρολογικά δεδομένα εισόδου

Τα δεδομένα εισόδου που δόθηκαν στο μοντέλο αφορούσαν στις εκπομπές του υδρόθειου από τις πηγές που εντοπίστηκαν όπως προέκυψαν από την διαδικασία που περιγράφεται στο κεφάλαιο 3 (Πίνακας 14).

Οι μετεωρολογικές συνθήκες παίζουν ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στην διασπορά των αερίων ρύπων στην ατμόσφαιρα. Οι κύριες παράμετροι που χρησιμοποιούν τα μοντέλα διασποράς αερίων ρύπων στην ατμόσφαιρα είναι η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία του αέρα καθώς και η διεύθυνση και η ταχύτητα του ανέμου. Χρησιμοποιώντας αυτά τα δεδομένα εισόδου το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε υπολογίζει πλήθος μετεωρολογικών παραμέτρων που χρησιμοποιεί στη συνέχεια όπως περιγράφηκε αναλυτικά στο κεφάλαιο 2.

Για την ακριβέστερη προσομοίωση της μετεωρολογίας της περιοχής μελέτης εγκαταστάθηκαν 2 μετεωρολογικοί σταθμοί στην περιοχή του ΚΕΛ Χανίων. Ο ένας εγκαταστάθηκε μέσα στα όρια του ΚΕΛ ενώ ο άλλος στον οικισμό Κουμπελί που βρίσκεται 660 m νότια- νοτιοανατολικά του πρώτου σταθμού (σχήμα 111).



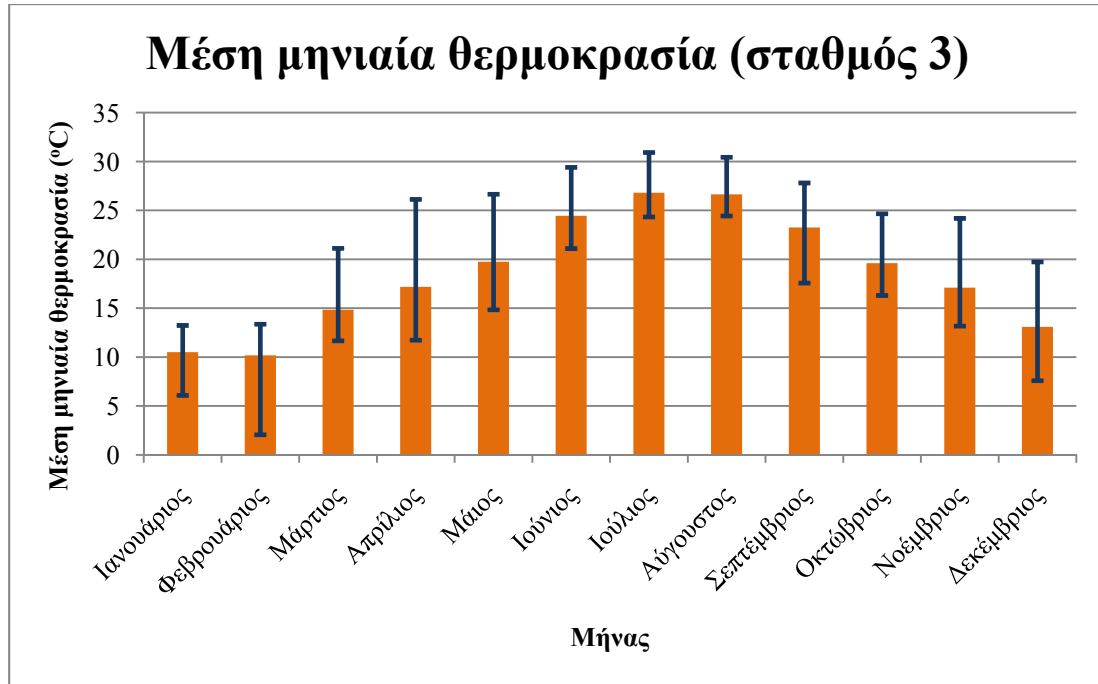
Σχήμα 111: Θέσεις εγκατάστασης των μετεωρολογικών σταθμών πλησίον του ΚΕΛ.

Στον πίνακα 30 παρουσιάζονται οι συντεταγμένες και το υψόμετρο των δυο μετεωρολογικών σταθμών εντός και πλησίον του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν τα μετεωρολογικά δεδομένα από έναν ακόμα μετεωρολογικό σταθμό που βρίσκεται στο Πολυτεχνείο Κρήτης (Π.Κ.). Η εγκατάστασή τους σε τόσο κοντινές αποστάσεις έγινε με σκοπό την μελέτη της επίδρασης της διαφοράς των μετεωρολογικών παραμέτρων σε μικρή χωρική κλίμακα στα αποτελέσματα του μοντέλου. Επίσης χρησιμοποιήθηκε και ο σταθμός του Π.Κ. με σκοπό να μελετηθεί η διαφορά στα δεδομένα που προκύπτουν ανάλογα με την χρήση επιτόπου δεδομένων ή του πλησιέστερου σταθμού.

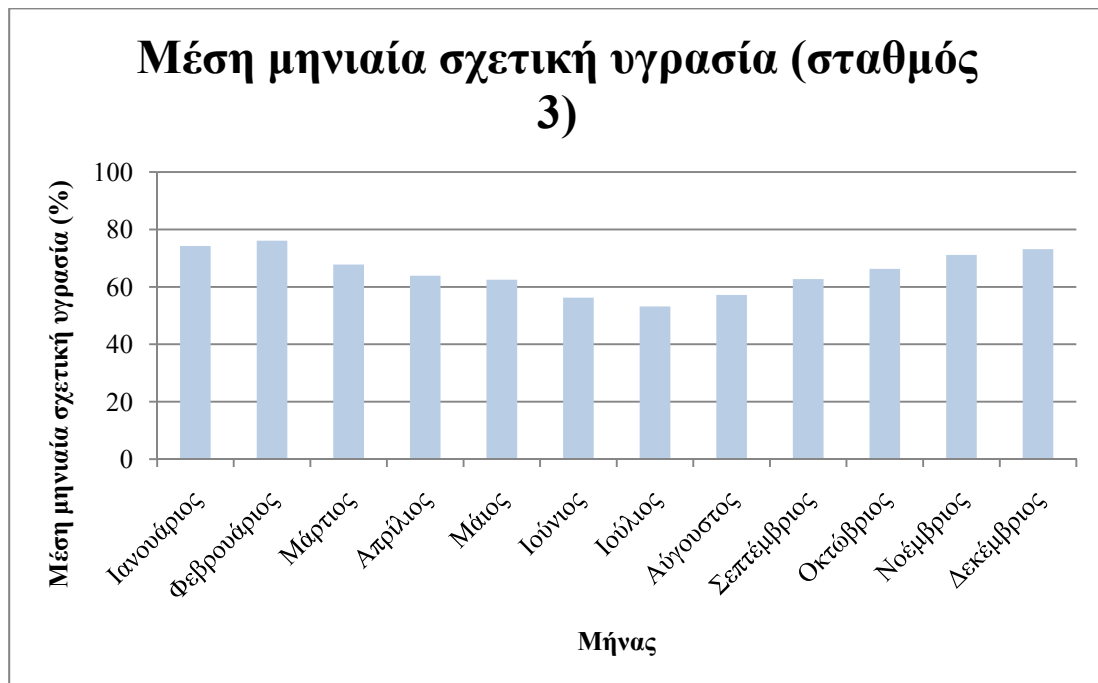
Πίνακας 30: Τοποθεσίες των 3 μετεωρολογικών σταθμών.

	Γεωγραφικό πλάτος	Γεωγραφικό μήκος	Υψόμετρο
Σταθμός 1 (ΚΕΛ)	35° 32' 30" N	24° 03' 06" E	2 m
Σταθμός 2 (Κουμπελί)	35° 31' 58" N	24° 03' 10" E	70 m
Σταθμός 3 (Π.Κ.)	35° 32' 00" N	24° 04' 09" E	137 m

Ο σταθμός 3 λειτουργεί εντός των εγκαταστάσεων του Πολυτεχνείου Κρήτης. Οι συντεταγμένες του και το υψόμετρο του παρουσιάζονται στον πίνακα 30. Στο σχήμα 112 παρουσιάζονται οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες για το έτος 2008. Επίσης έχουν προστεθεί οι μέγιστες και οι ελάχιστες ημερήσιες θερμοκρασίες που καταγράφηκαν κάθε μήνα του έτους. Οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες για το έτος 2008 ακολούθησαν την αναμενόμενη για την περιοχή διακύμανση με μέγιστες θερμοκρασίες κατά τους μήνες Ιούλιο-Αύγουστο και ελάχιστες κατά τους μήνες Ιανουάριο-Φεβρουάριο. Στο σχήμα 113 παρουσιάζεται η μέση μηνιαία σχετική υγρασία για το έτος 2008 για τον σταθμό 3. Στον πίνακα 31 παρουσιάζονται τα ανεμολογικά δεδομένα επεξεργασμένα ώστε να μελετήσουμε την συχνότητα εμφάνισης ανέμων διαφόρων εντάσεων και διευθύνσεων, ενώ στο σχήμα 114 παρουσιάζεται το ετήσιο ροδόγραμμα για τον σταθμό 3 για το έτος 2008. Η επικρατούσα διεύθυνση ανέμου ήταν η νοτιοδυτική με συχνότητα εμφάνισης 22,5%.



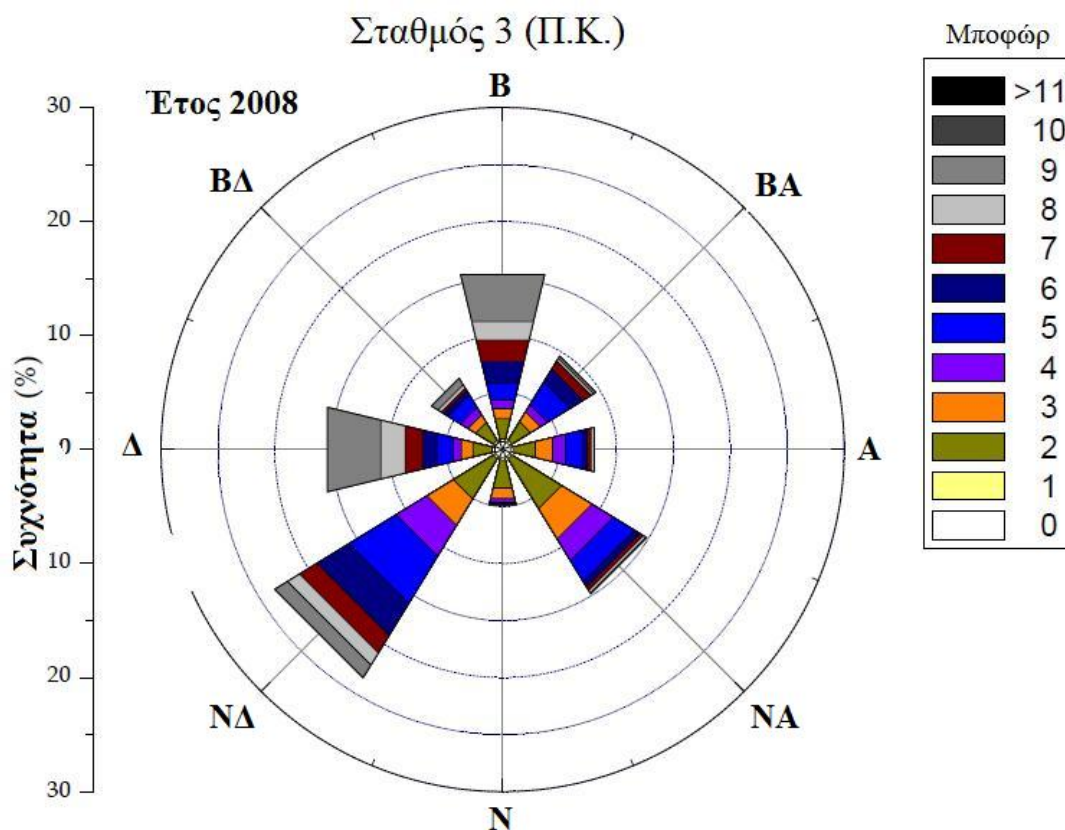
Σχήμα 112: Μέση μηνιαία θερμοκρασία για το έτος 2008 (σταθμός 3).



Σχήμα 113: Μέση μηνιαία σχετική υγρασία για το έτος 2008 (σταθμός 3).

Πίνακας 31: Ανεμολογικά δεδομένα μετεωρολογικού σταθμού 3 (Π.Κ.).

Μποφόρ	B	BA	A	NA	N	NΔ	Δ	ΒΔ	Σύνολο
0-1	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	7,72
2	1,84	1,89	1,97	5,09	2,52	4,11	1,73	1,80	20,95
3	0,90	1,02	1,57	3,13	0,92	2,71	1,03	0,78	12,06
4	0,78	0,74	1,16	2,21	0,36	3,17	0,74	0,79	9,94
5	1,47	2,33	1,54	2,19	0,14	4,88	1,46	1,28	15,29
6	1,96	1,33	0,42	0,54	0,01	3,27	1,29	0,45	9,27
7	1,94	0,84	0,35	0,34	0,00	1,80	1,58	0,24	7,09
8	1,70	0,26	0,28	0,29	0,00	1,26	2,22	0,35	6,35
9	4,21	0,23	0,00	0,07	0,08	1,29	4,79	0,66	11,33
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Σύνολο	14,79	8,63	7,29	13,86	4,03	22,49	14,84	6,35	100,00



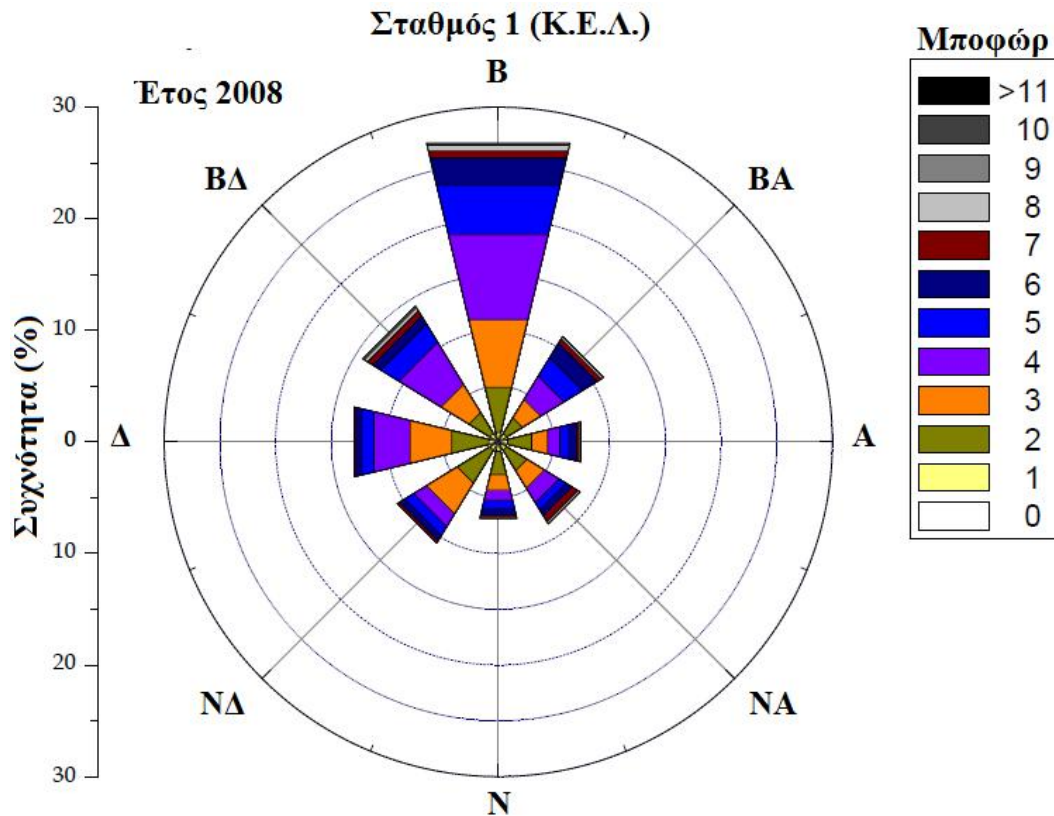
Σχήμα 114: Ροδόγραμμα για το έτος 2008 (σταθμός 3).

Ο σταθμός 1 τοποθετήθηκε μέσα στα όρια των εγκαταστάσεων του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων για να έχουμε μια όσο το δυνατόν πιο αντιπροσωπευτική εικόνα του πεδίου ταχυτήτων ανέμου στην περιοχή. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν υποβλήθηκαν σε στατιστική επεξεργασία ώστε να δημιουργηθεί ο πίνακας συχνοτήτων εμφάνισης ανέμων ανάλογα με την διεύθυνση και την ένταση τους. Τα δεδομένα που προέκυψαν παρουσιάζονται στον πίνακα 32 ενώ σχηματικά απεικονίζονται στο ροδόγραμμα του σχήματος 115.

Πίνακας 32: Ανεμολογικά δεδομένα μετεωρολογικού σταθμού 1 (ΚΕΛ).

Μποφόρ	Β	ΒΑ	Α	ΝΑ	Ν	ΝΔ	Δ	ΒΔ	Σύνολο
0-1	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	6,96
2	4,14	1,64	2,19	2,14	2,14	3,44	3,44	2,19	21,32
3	6,24	1,94	1,49	1,84	1,44	3,24	3,84	2,94	22,97
4	7,84	2,44	1,14	1,54	0,94	1,34	3,34	4,44	23,02
5	4,54	1,94	0,84	0,74	0,78	0,94	1,09	1,94	12,82
6	2,54	1,54	0,70	0,64	0,58	0,54	0,57	0,84	7,95
7	0,64	0,44	0,24	0,60	0,18	0,24	0,12	0,54	2,99
8	0,54	0,24	0,14	0,22	0,11	0,00	0,05	0,34	1,64
9	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,32
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Σύνολο	27,18	10,72	7,28	8,26	6,71	10,28	12,99	13,93	100,00

Από τον πίνακα 32 παρατηρούμε ότι η επικρατούσα διεύθυνση ανέμου ήταν η βόρεια με μεγάλες συχνότητες εμφάνισης επίσης για τους βορειοδυτικούς και δυτικούς ανέμους. Επίσης η ένταση του ανέμου ήταν κατά κανόνα μικρή (μέχρι 5 Μποφόρ).



Σχήμα 115: Ροδόγραμμα για το έτος 2008 (σταθμός 1).

Συγκρίνοντας τα ροδογράμματα των σταθμών 1 και 3 παρατηρούμε ότι η διεύθυνση του ανέμου είναι σημαντικά διαφορετική κατά τη διάρκεια του έτους 2008. Αυτός ήταν ο κύριος λόγος που μας οδήγησε στην εγκατάσταση μετεωρολογικού σταθμού εντός της μονάδας που μελετάται ώστε τα δεδομένα να ανταποκρίνονται στην πραγματική κατάσταση. Ο λόγος που διαφοροποιούνται σημαντικά οι διευθύνσεις του ανέμου ενδέχεται να είναι τοπικά φαινόμενα κυκλοφορίας. Η περιοχή που μελετάται χαρακτηρίζεται από έντονο ανάγλυφο με ύψωμα προς τον νότο και θάλασσα προς τον βορρά. Η εμφάνιση φαινομένων όπως είναι η θαλάσσια αύρα μπορεί να διαφοροποιήσει σημαντικά την διεύθυνση του ανέμου σε σχέση με άλλη περιοχή ακόμα και αν η απόσταση των δύο σταθμών είναι μόλις λίγα χιλιόμετρα.

Μετρήσεις μετεωρολογικών δεδομένων πραγματοποιήθηκαν επίσης στον οικισμό Κουμπελί (σχήμα 111) που είναι ο πλησιέστερος οικισμός στο ΚΕΛ. Ο σταθμός 2 κατέγραφε για 3 μήνες (Ιούνιος 2008 – Αύγουστος 2008) δεδομένα διεύθυνσης και ταχύτητας ανέμου καθώς και θερμοκρασία και σχετική υγρασία. Στόχος ήταν να εξακριβωθεί αν τα μετεωρολογικά δεδομένα που μπορούμε να έχουμε από κοντινούς σταθμούς (σταθμός 3) είναι αντιπροσωπευτικά για την συγκεκριμένη περιοχή. Τα ανεμολογικά δεδομένα παρουσίασαν αρκετά καλή συμφωνία με τα δεδομένα που προέκυπταν από τον σταθμό 1 (εντός του ΚΕΛ) με μια διαφοροποίηση της τάξης του 1% για την ταχύτητα του ανέμου ενώ στο 99% των καταγραφών η διεύθυνση του ανέμου ήταν ίδια με αυτήν που προέκυπτε από τον σταθμό 1. Επίσης έγινε σύγκριση των δεδομένων θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας μεταξύ των σταθμών 2 και 3. Για να γίνει η σύγκριση των τιμών που κατέγραψαν οι 2 σταθμοί έγινε στατιστική επεξεργασία των δεδομένων ώστε να υπολογιστεί η μέση θερμοκρασία και σχετική υγρασία ανάλογα με την ώρα της ημέρας για την περίοδο που υπήρχαν κοινές μετρήσεις (Ιούνιος – Αύγουστος 2008). Στη συνέχεια υπολογίστηκε η ποσοστιαία διαφορά των τιμών που προέκυψαν μέσω της εξίσωσης 30.

$$\Delta = \left(\frac{V_2 - V_3}{V_3} \right) \cdot 100\% \quad (30)$$

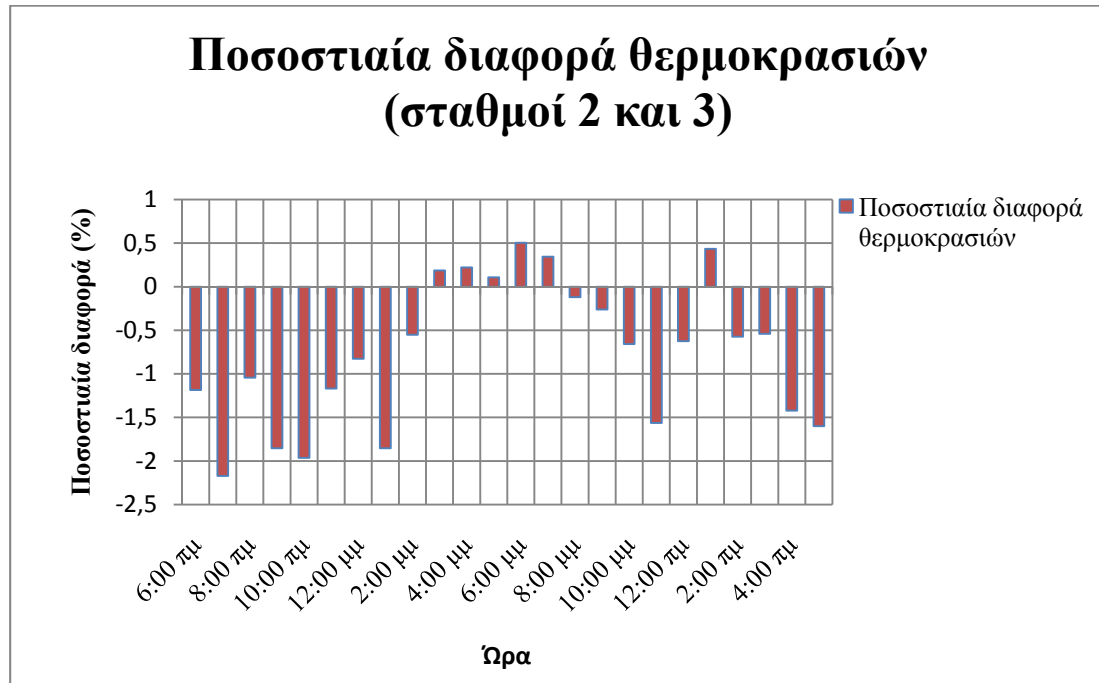
όπου:

Δ : η ποσοστιαία διαφορά των μετεωρολογικών παραμέτρων

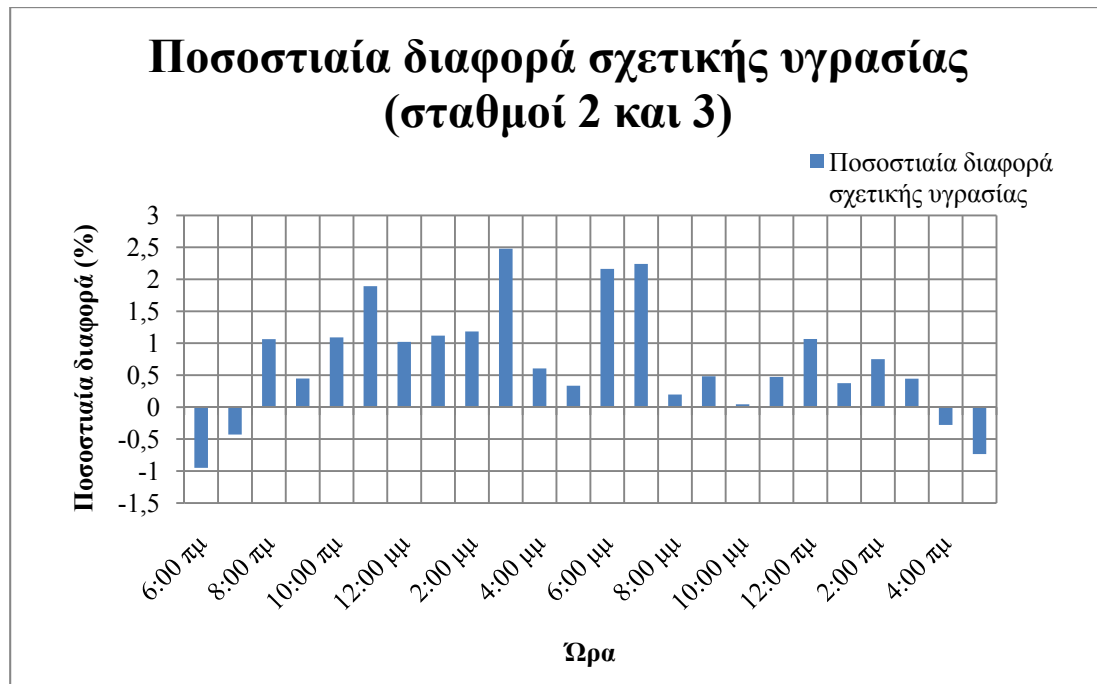
V_2 : η τιμή της παραμέτρου (θερμοκρασίας ή σχετικής υγρασίας) για τον σταθμό 2 (Κουμπελί)

V_3 : η τιμή της παραμέτρου (θερμοκρασίας ή σχετικής υγρασίας) για τον σταθμό 3 (Π.Κ.)

Τα αποτελέσματα της σύγκρισης παρουσιάζονται στα σχήματα 116 και 117.



Σχήμα 116: Σύγκριση μέσης ωριαίας θερμοκρασίας για τους σταθμούς 2 και 3.



Σχήμα 117: Σύγκριση μέσης ωριαίας θερμοκρασίας για τους σταθμούς 2 και 3.

Παρατηρούμε από τα διαγράμματα των σχημάτων 116 και 117 ότι οι μετεωρολογικές παράμετροι της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας έχουν αρκετά μικρή διαφορά ανάμεσα στις μετρήσεις των μετεωρολογικών σταθμών 2 και 3. Η θερμοκρασία είναι ελαφρώς χαμηλότερη στο Κουμπέλι σε σχέση με το Πολυτεχνείο Κρήτης ενώ η σχετική υγρασία είναι ελαφρώς μεγαλύτερη. Οι διαφορές είναι της τάξης του 2% οπότε κρίθηκε ότι για την παρούσα μελέτη μπορούν να παρέχουν ικανοποιητική ακρίβεια τα δεδομένα από τον σταθμό 3. Σε αντίθεση με τα ανεμολογικά δεδομένα όπου οι μετρήσεις διαφοροποιούνταν σε μεγάλο βαθμό και κρίθηκε απαραίτητη η χρήση των δεδομένων που μετρήθηκαν στην συγκεκριμένη περιοχή, για την θερμοκρασία και την σχετική υγρασία χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα του σταθμού 3.

5.2.2 Αποτελέσματα - Σενάρια

Το τροποποιημένο μοντέλο διασποράς εφαρμόστηκε για την μελέτη της διασποράς οσμών από το Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Χανίων σε γειτονικούς οικισμούς. Τα αποτελέσματα που προέκυπταν κατά την εφαρμογή μοντέλων διασποράς για την μελέτη των συγκεντρώσεων των οσμών σε γειτονικές περιοχές δεν έδειχναν να δικαιολογούν τον αρκετά μεγάλο αριθμό παραπόνων που έχουν διατυπωθεί επανειλημμένα από περιοίκους. Για το λόγο αυτό κρίθηκε αναγκαία η εφαρμογή της προσέγγισης που περιγράφεται στην παρούσα διατριβή.

Τα σενάρια που μελετήθηκαν ήταν τα ακόλουθα:

Σενάριο 1: Χρησιμοποιήθηκαν οι μέσες παρατηρούμενες μετεωρολογικές παράμετροι που παρατηρήθηκαν στην περιοχή κατά το έτος 2008. Τα δεδομένα αυτά περιγράφονται αναλυτικά στην παράγραφο 5.2.1. Τα δεδομένα εκπομπών που πραγματοποιήθηκαν επίσης ήταν οι μέσες τιμές εκπομπών υδρόθειου όπως υπολογίστηκαν στο κεφάλαιο 3.

Σενάριο 2: Οι τιμές των εκπομπών που εισήχθησαν ήταν οι μέγιστες που υπολογίστηκαν βάσει των μετρήσεων από όλες τις πηγές (αναλυτική περιγραφή στο κεφάλαιο 3). Επίσης ορίστηκαν μετεωρολογικές συνθήκες που επηρεάζουν αρνητικά την διασπορά των ρύπων (χαμηλότερες ταχύτητες ανέμου, συνθήκες ατμοσφαιρικής ευστάθειας).

Σενάριο 3: Οι εκπομπές θεωρήθηκαν αυξημένες κατά 100% από όλες τις πηγές. Λόγω της υψηλής διακύμανσης των εκπομπών ένα τέτοιο σενάριο αν και δεν μπορεί

να υφίσταται συνεχώς δεν αποκλείεται να συμβεί. Οι μετεωρολογικές παράμετροι διατηρήθηκαν ίδιες όπως στο σενάριο 1.

Σενάριο 4: Τα δεδομένα εκπομπών εισήχθηκαν στο μοντέλο μειωμένα σε σχέση με τις μέσες τιμές που υπολογίστηκαν κατά 30%. Οι μετεωρολογικές παράμετροι διατηρήθηκαν ίδιες όπως στο σενάριο 1.

Σενάριο 5: Τα δεδομένα εκπομπών εισήχθηκαν στο μοντέλο μειωμένα σε σχέση με τις μέσες τιμές που υπολογίστηκαν κατά 50%. Οι μετεωρολογικές παράμετροι διατηρήθηκαν ίδιες όπως στο σενάριο 1.

Το πρώτο σενάριο δίνει μια εικόνα για την «μέση» κατάσταση που επικρατεί στην παρούσα φάση στο ΚΕΛ Χανίων. Στο δεύτερο και το τρίτο σενάριο παρουσιάζεται η χειρότερη κατάσταση που μπορεί να προκύψει υπό ακραίες συνθήκες εκπομπών, μετεωρολογικών συνθηκών ή συνδυασμού αυτών. Το τέταρτο και το πέμπτο σενάριο δίνουν μια εικόνα για την κατάσταση που θα προκύψει αν μειωθούν οι εκπομπές κατά 30% ή 50% αντίστοιχα.

Βάσει αυτών των σεναρίων έγιναν εφαρμογές του τροποποιημένου μοντέλου διασποράς και υπολογίστηκαν η πιθανότητα ανίχνευσης του υδρόθειου και ο βαθμός όχλησης που μπορεί να προκληθεί σε 4 αποδέκτες. Ο πρώτος αποδέκτης ήταν κοντά στις δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης (σημεία δειγματοληψίας 1-16, σχήμα 23) λόγω του ότι αυτές αναγνωρίστηκαν ως οι κύριες πηγές υδρόθειου. Ο δεύτερος αποδέκτης ήταν 100 m νότια των δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης στην νότια περίμετρο της μονάδας (σημείο δειγματοληψίας 43, σχήμα 23). Οι επόμενοι 2 αποδέκτες ήταν σε χωριά κοντά στο Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων. Τα χωριά αυτά

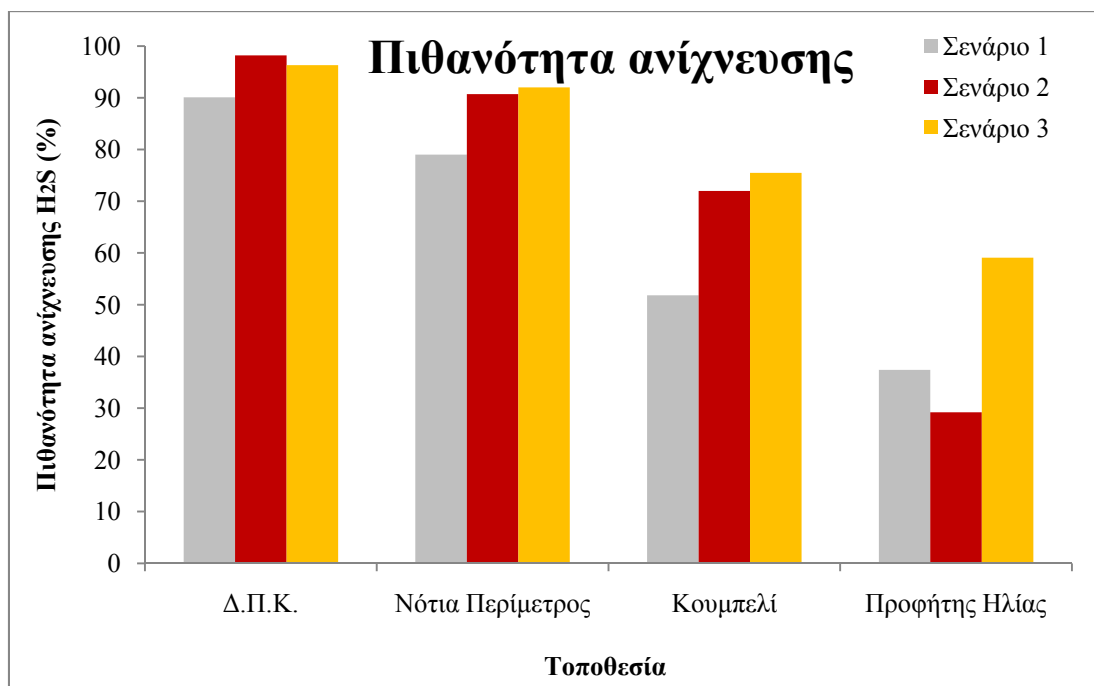
είναι το Κουμπελί και ο Προφήτης Ηλίας σε αποστάσεις από το ΚΕΛ 400m και 1200m αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων παρουσιάζονται στους πίνακες 33, 34 και τα σχήματα 118 - 121.

Πίνακας 33: Αποτελέσματα τροποποιημένου μοντέλου διασποράς (σενάρια 1,2,3).

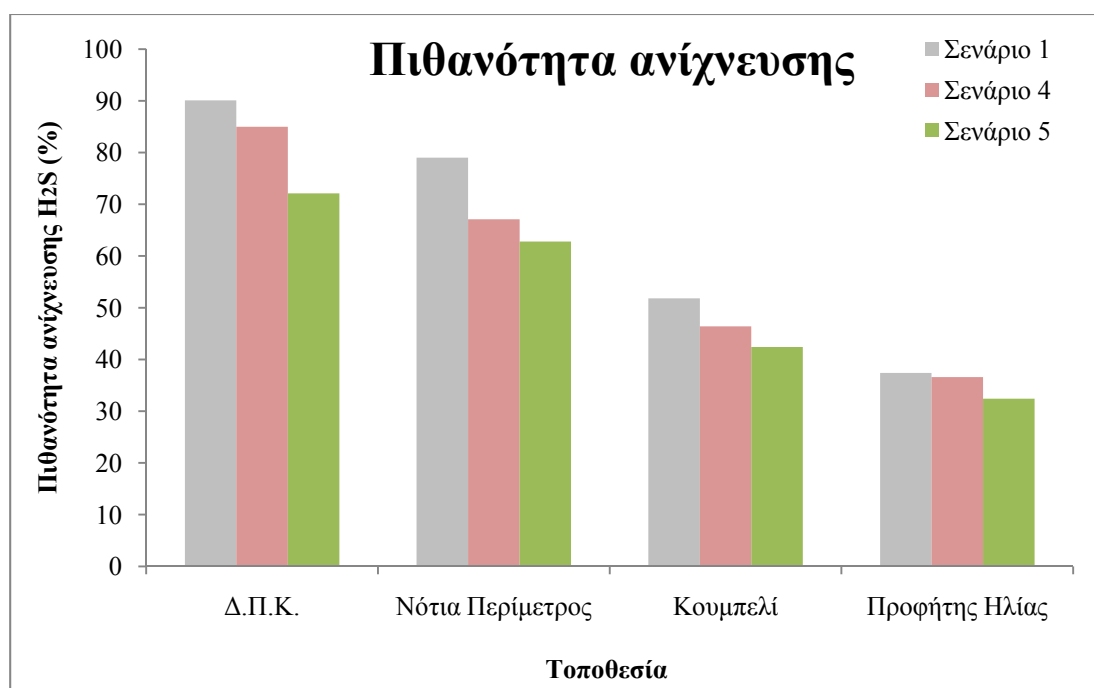
	Σενάριο 1		Σενάριο 2		Σενάριο 3	
Αποδέκτης	Πιθανότητα ανίχνευσης (%)	Βαθμός όχλησης (AU)	Πιθανότητα ανίχνευσης (%)	Βαθμός όχλησης (AU)	Πιθανότητα ανίχνευσης (%)	Βαθμός όχλησης (AU)
ΔΠΚ	90,1	4,8	98,2	6,2	96,3	5,7
Νότια Περίμετρος	79,0	4,2	90,7	4,9	92,0	5,0
Κουμπελί	51,8	3,2	72,0	3,8	75,5	4,0
Προφήτης Ηλίας	37,4	3,0	29,2	2,7	59,1	3,4

Πίνακας 34: Αποτελέσματα τροποποιημένου μοντέλου διασποράς (σενάρια 1,4,5).

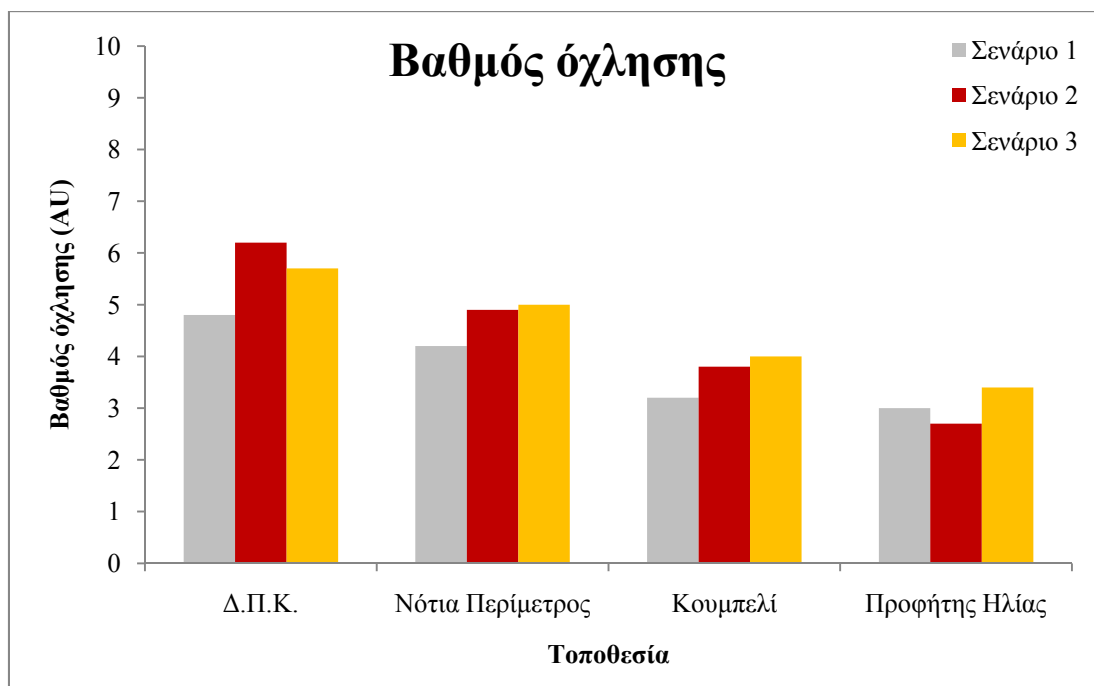
	Σενάριο 1		Σενάριο 4		Σενάριο 5	
Αποδέκτης	Πιθανότητα ανίχνευσης (%)	Βαθμός όχλησης (AU)	Πιθανότητα ανίχνευσης (%)	Βαθμός όχλησης (AU)	Πιθανότητα ανίχνευσης (%)	Βαθμός όχλησης (AU)
ΔΠΚ	90,1	4,8	85	4,5	72,1	3,8
Νότια Περίμετρος	79	4,2	67,1	3,8	62,8	3,5
Κουμπελί	51,8	3,2	46,4	3,1	42,4	3
Προφήτης Ηλίας	37,4	3	36,6	1,8	32,4	2,8



Σχήμα 118: Πιθανότητα ανίχνευσης του υδρόθειου για τα σενάρια 1,2,3.

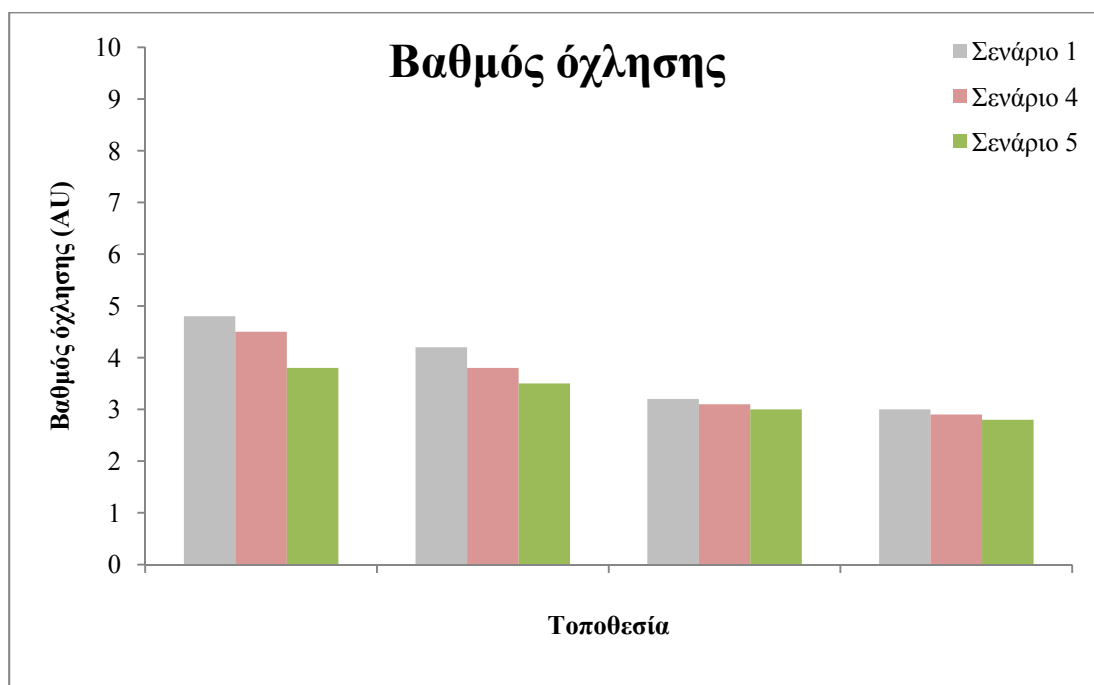


Σχήμα 119: Πιθανότητα ανίχνευσης του υδρόθειου για τα σενάρια 1,4,5.

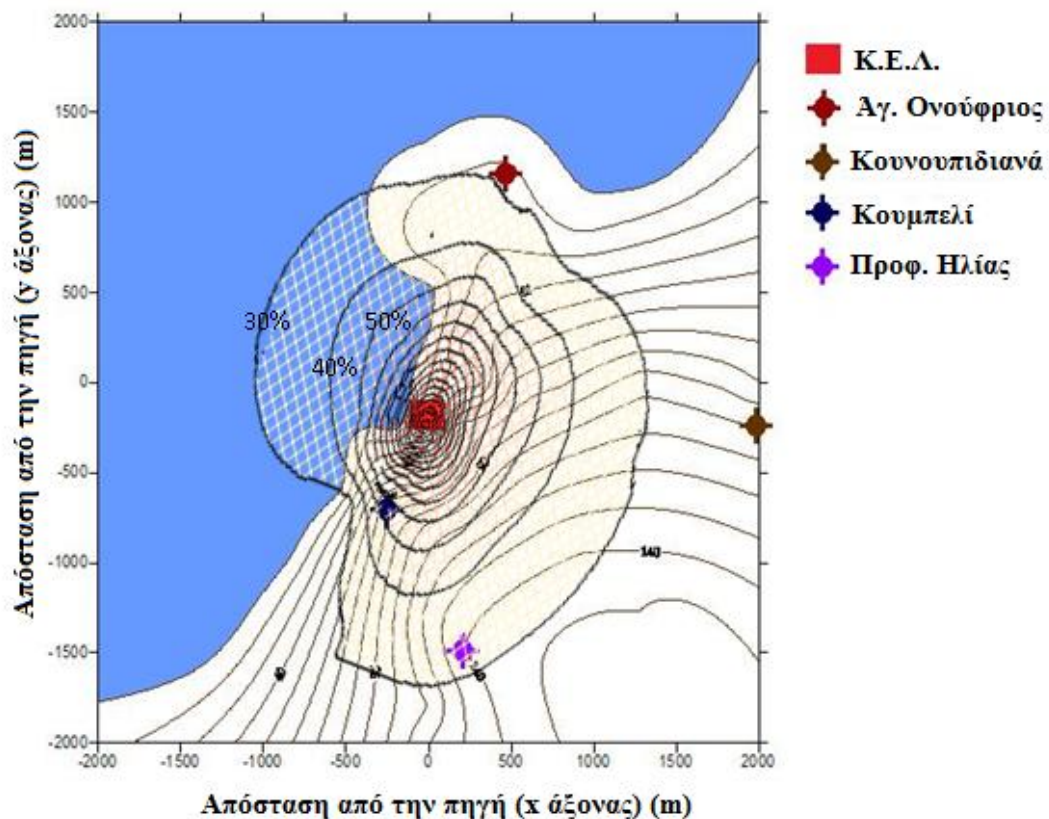


Σχήμα 120: Βαθμός όχλησης λόγω του υδρόθειου για τα σενάρια

1,2,3.



Σχήμα 121: Βαθμός όχλησης λόγω του υδρόθειου για τα σενάρια 1,4,5.



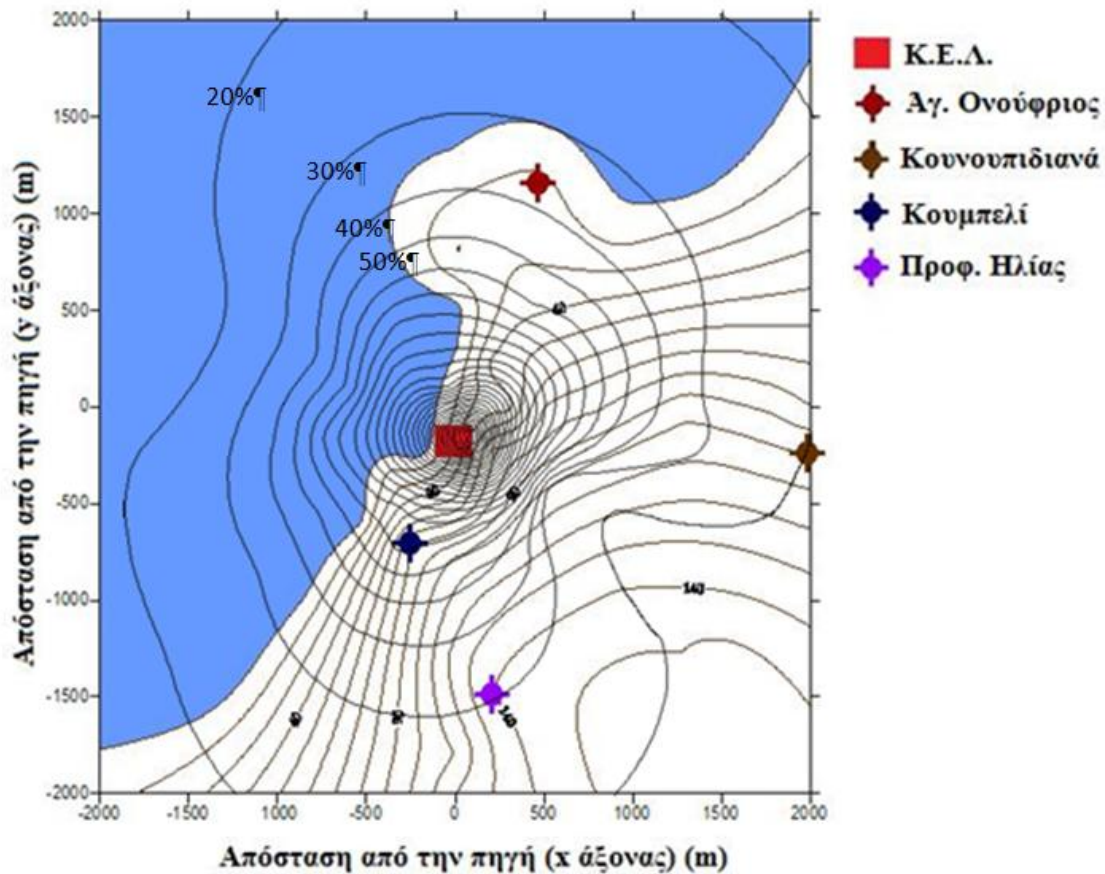
Σχήμα 122: Καμπύλες ίσων πιθανοτήτων ανίχνευσης του υδρόθειου πλησίον του ΚΕΛ (σενάριο 1)

Στο σχήμα 122 παρουσιάζονται οι καμπύλες ίσων πιθανοτήτων ανίχνευσης του υδρόθειου στην περιοχή γύρω από το ΚΕΛ όπως προέκυψαν από την εφαρμογή του μοντέλου για το σενάριο 1. Η κύρια διεύθυνση διάδοσης των οσμών είναι η Νότιο-Νοτιοανατολική λόγω της επικρατούσας διεύθυνσης ανέμου και του ανάγλυφου της περιοχής. Οι οικισμοί που φαίνεται να επηρεάζονται από την παρουσία των οσμών στην ατμόσφαιρα είναι το Κουμπελί και ο Προφήτης Ηλίας. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι μπορεί να υπάρξει μεγάλη πιθανότητα ανίχνευσης της οσμής στην περιοχή κοντά στην εγκατάσταση. Η χωρική κατανομή της πιθανότητας ανίχνευσης

του υδρόθειου ακολουθεί την ίδια μορφή και στα σενάρια 3,4,5 όπου χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιες μετεωρολογικές συνθήκες με το σενάριο 1.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το σενάριο 1 δείχνουν ότι η οσμή του υδρόθειου κοντά στις πηγές έχει πολύ μεγάλη πιθανότητα να ανιχνευτεί (90,1%) και η πιθανότητα αυτή μειώνεται καθώς αυξάνεται η απόσταση από την πηγή. Λόγω του χαμηλού ορίου ανίχνευσης της συγκεκριμένης χημικής ένωσης, η πιθανότητα ανίχνευσής της παραμένει υψηλή ακόμα και 400m από την πηγή (Κουμπελί).

Οι μετεωρολογικές συνθήκες παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην διασπορά των οσμών όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε στα αποτελέσματα του σεναρίου 2. Οι συνθήκες ατμοσφαιρικής ευστάθειας αυξάνουν την πιθανότητα ανίχνευσης και τον βαθμό όχλησης κοντά στις πηγές αλλά σε μεγαλύτερες αποστάσεις (Προφήτης Ηλίας) η επίδραση τους έχει τα αντίθετα αποτελέσματα μιας και οι παράμετροι αυτοί μειώνονται σημαντικά σε μεγάλες αποστάσεις. Όταν επικρατούν συνθήκες έντονης ευστάθειας της ατμόσφαιρας η τυρβώδης ανάμιξη και η μεταφορά των ρύπων είναι μειωμένη με αποτέλεσμα να παρατηρείται μικρότερη πιθανότητα ανίχνευσης και βαθμός όχλησης σε μεγάλες αποστάσεις σε σχέση με το «ευνοϊκότερο» σενάριο 1 (σχήματα 118, 120).



Σχήμα 123: Καμπύλες ίσων πιθανοτήτων ανίχνευσης του υδρόθειου πλησίον του ΚΕΛ (σενάριο 2).

Στο σχήμα 123 παρουσιάζονται οι καμπύλες ίσων πιθανοτήτων ανίχνευσης του υδρόθειου γύρω από την περιοχή του Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων για το 2^ο σενάριο που εφαρμόστηκε. Στο σενάριο αυτό χρησιμοποιήθηκαν μετεωρολογικές συνθήκες που δεν ευνοούν την διασπορά των ρύπων (ευσταθής ατμόσφαιρα, χαμηλές ταχύτητες ανέμου). Παρατηρούμε ότι η απόσταση στην οποία ανιχνεύεται το υδρόθειο έχει αυξηθεί σημαντικά σε σχέση με το σενάριο 1.

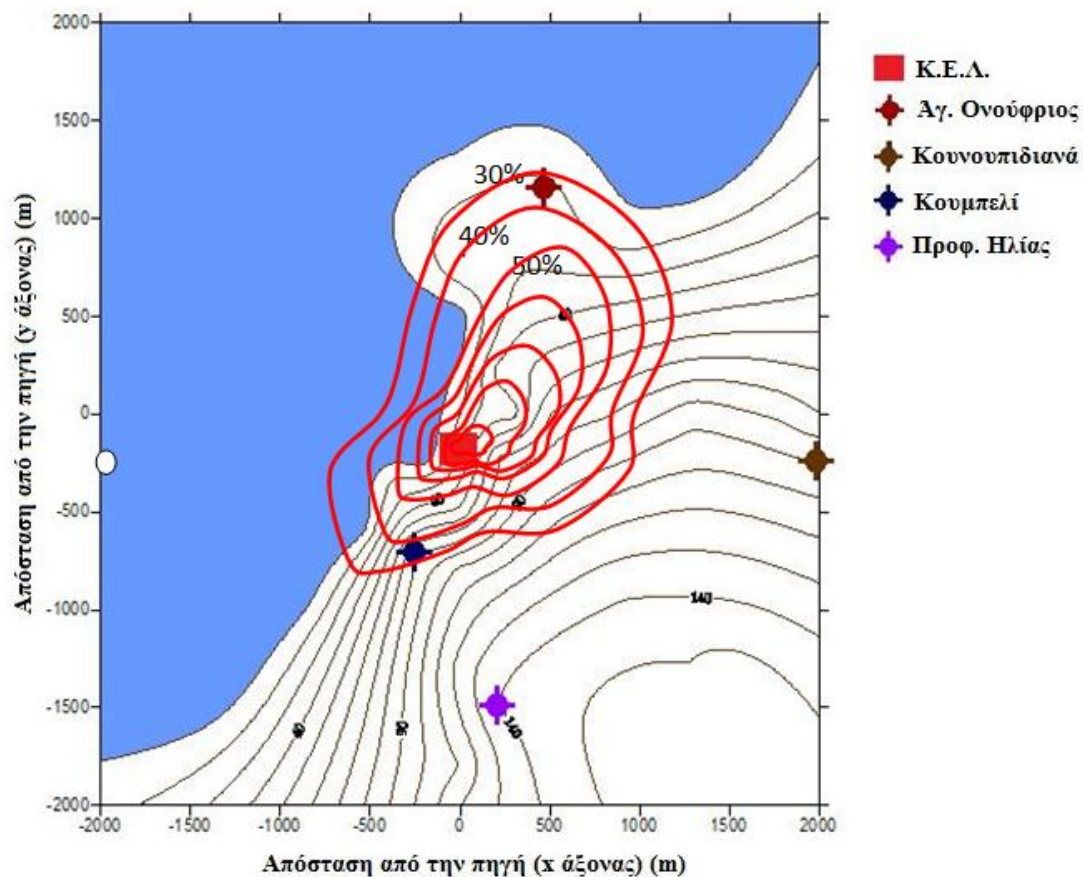
Στο σενάριο 3 παρατηρούμε ότι με την αύξηση των εκπομπών υδρόθειου από τις πηγές, τόσο η πιθανότητα ανίχνευσης όσο και ο βαθμός όχλησης αυξήθηκαν σε όλους

τους αποδέκτες. Ακόμα και στους μακρινούς αποδέκτες οι δείκτες αυτοί ήταν σημαντικά αυξημένοι σε σχέση με το σενάριο 1. Συγκεκριμένα, η πιθανότητα ανίχνευσης του υδρόθειου ξεπέρασε το 50% ακόμα και 1 km μακριά από την πηγή.

Η μείωση των εκπομπών στα σενάρια 4 και 5 οδήγησε σε μειωμένες τιμές της πιθανότητας ανίχνευσης και του βαθμού όχλησης από την παρουσία του υδρόθειου στην ατμόσφαιρα όπως φαίνεται από τον πίνακα 34. Χρησιμοποιώντας ως δεδομένες τις μέσες μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή οι συγκεντρώσεις του υδρόθειου ήταν αρκετά χαμηλές ακόμα και εντός των ορίων της εγκατάστασης. Τα σενάρια που χρησιμοποιήθηκαν υποδεικνύουν ότι οι επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες επηρεάζουν σημαντικά την συγκέντρωση των οσμηρών ενώσεων, γεγονός που είναι ακόμα πιο προφανές στις μικρές χρονικές κλίμακες που χρησιμοποιούνται στην παρούσα μελέτη. Η ελάττωση των εκπομπών υδρόθειου έχει επίσης το αναμενόμενο αποτέλεσμα της μείωσης της πιθανότητας ανίχνευσης και του βαθμού όχλησης που εντοπίζεται σε όλους τους αποδέκτες. Επομένως, υπό τις παρούσες συνθήκες το πρόβλημα που δημιουργείται λόγω των οσμών που εκλύονται από το ΚΕΛ Χανίων περιορίζεται κοντά στην εγκατάσταση αλλά μπορεί να ενταθεί σημαντικά ανάλογα με τις μετεωρολογικές συνθήκες. Σε αποστάσεις μεγαλύτερες του 1 km από το ΚΕΛ (Προφήτης Ηλίας) η πιθανότητα ανίχνευσης και ο βαθμός όχλησης παίρνουν πολύ χαμηλές τιμές στα σενάρια 4 και 5 (32,4-36,6 και 1,8-2,8 αντίστοιχα).

Στο σχήμα 124 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή του μοντέλου διασποράς χρησιμοποιώντας ως μετεωρολογικά δεδομένα εισόδου τα δεδομένα που συλλέχθηκαν στον σταθμό 3 (Πολυτεχνείο Κρήτης). Παρατηρούμε ότι η εικόνα που παρουσιάζεται είναι σημαντικά διαφορετική σε σχέση με αυτήν που προέκυψε χρησιμοποιώντας τα πραγματικά δεδομένα της συγκεκριμένης περιοχής. Επίσης σημαντικά διαφορετική είναι αυτή η εικόνα από την εικόνα που θα

αναμέναμε από την καταγραφή των παραπόνων για όχληση που προκαλείται από οσμές που εκλύονται από το Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων. Οι οσμές φαίνεται να επηρεάζουν με την ίδια πιθανότητα ανίχνευσης το Κουμπελί και τον Άγιο Ονούφριο. Η επικρατούσα διεύθυνση ανέμου που είναι διαφορετική σε σχέση με αυτήν που μετρήθηκε στην συγκεκριμένη περιοχή επηρέασε έντονα το αποτέλεσμα της προσομοίωσης και αυτός είναι ο βασικός λόγος που προκύπτει αυτή η εικόνα. Το αποτέλεσμα αυτό υποδεικνύει την σημαντικότητα του να χρησιμοποιούνται μετεωρολογικά δεδομένα για την συγκεκριμένη περιοχή κατά την μελέτη της διασποράς οσμών.



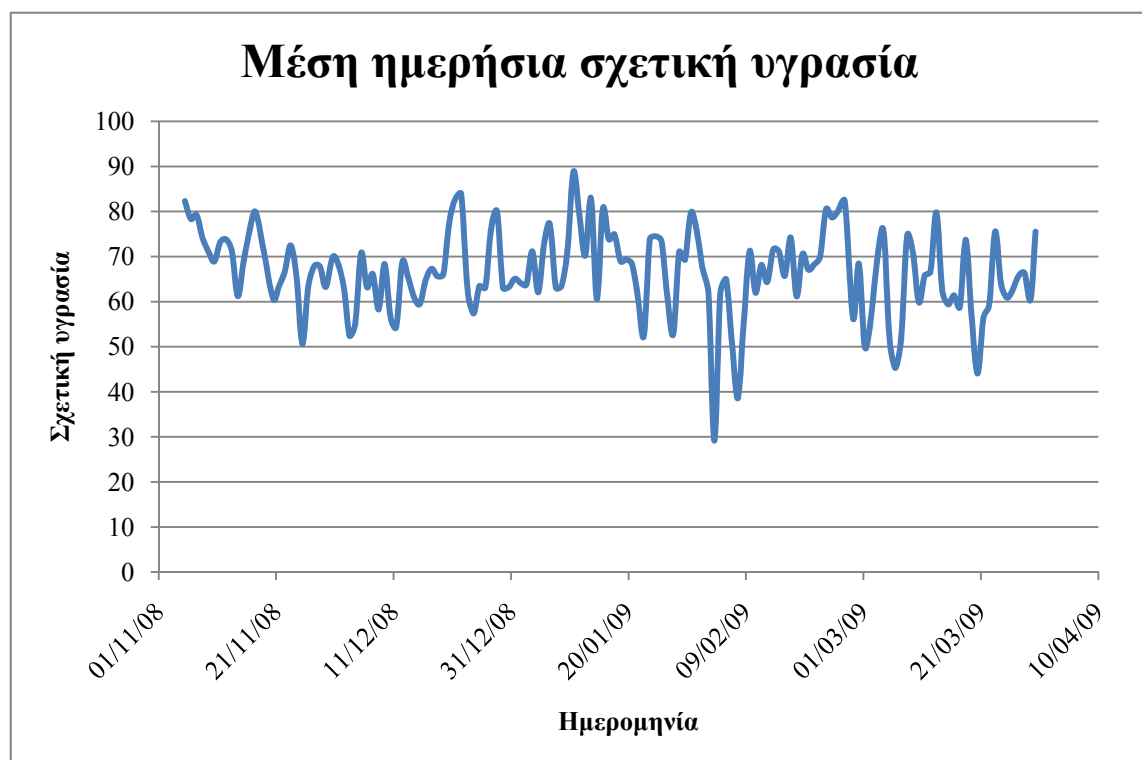
Σχήμα 124: Καμπύλες ίσων πιθανοτήτων ανίχνευσης του υδρόθειου πλησίον του ΚΕΛ χρησιμοποιώντας τα ανεμολογικά δεδομένα του σταθμού 3.

Τα δεδομένα εκπομπών του υδρόθειου (όπως περιγράφηκε στο κεφάλαιο 3) υπολογίστηκαν βάσει μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν εντός της εγκατάστασης με την αντίστροφη εφαρμογή γκαουσιανών μοντέλων. Επομένως τα αποτελέσματα του μοντέλου είναι σε συμφωνία με τις μετρήσεις όπως είναι αναμενόμενο και μικρές αποκλίσεις που μπορεί να παρουσιαστούν οφείλονται στην χρήση του λόγου μέγιστης προς τη μέση τιμή (peak to mean ratio). Για παράδειγμα, μετρήσεις που έλαβαν χώρα ανάμεσα στις 2 δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης (οι οποίες αναγνωρίστηκαν ως οι κύριες πηγές υδρόθειου) έδωσαν ως μέση τιμή της περιόδου μετρήσεων τα 60 ppb. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή του μοντέλου έδωσαν πιθανότητα ανίχνευσης κοντά στις δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης 90,1% και βαθμό όχλησης ίσο με 5,7 AU. Οι τιμές αυτές αντιστοιχούν σε συγκέντρωση 62 ppb στον συγκεκριμένο αποδέκτη. Η διαφορά μεταξύ υπολογισμένης και μετρούμενης συγκέντρωσης είναι ίση με 3,3%. Το μοντέλο μπορεί να υπερεκτιμά τις συγκεντρώσεις λόγω της χρήσης του λόγου μέγιστης προς τη μέση τιμή (peak to mean ratio). Η χρονική κλίμακα στην οποία έγινε η αναγωγή των συγκεντρώσεων με τη χρήση του συγκεκριμένου λόγου είναι ίση με 10s ενώ η διάρκεια δειγματοληψίας του οργάνου για να πάρει 1 μέτρηση είναι ίση με 30s. Αυτός ενδέχεται να είναι ο κύριος λόγος που τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή του μοντέλου είναι ελαφρώς μεγαλύτερα από τις μετρήσεις.

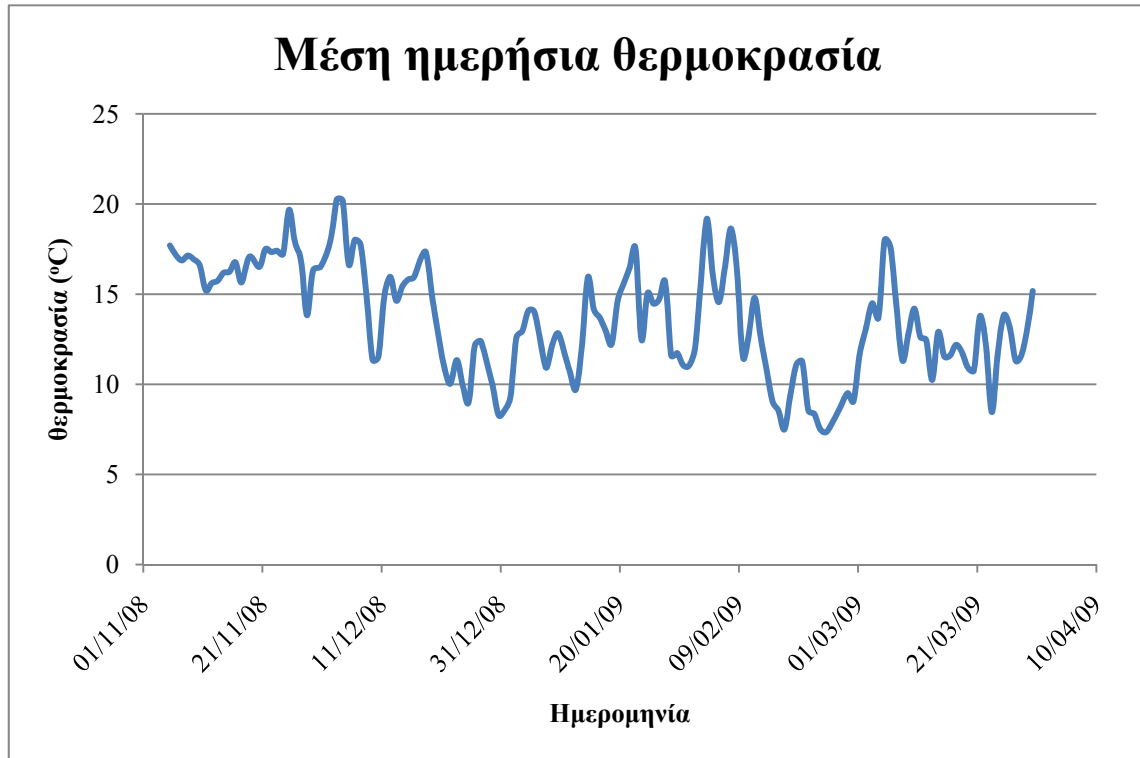
5.3 Εφαρμογή του τροποποιημένου μοντέλου για την διασπορά οσμών από Χοιροτροφική μονάδα

5.3.1 Μετεωρολογικά δεδομένα εισόδου

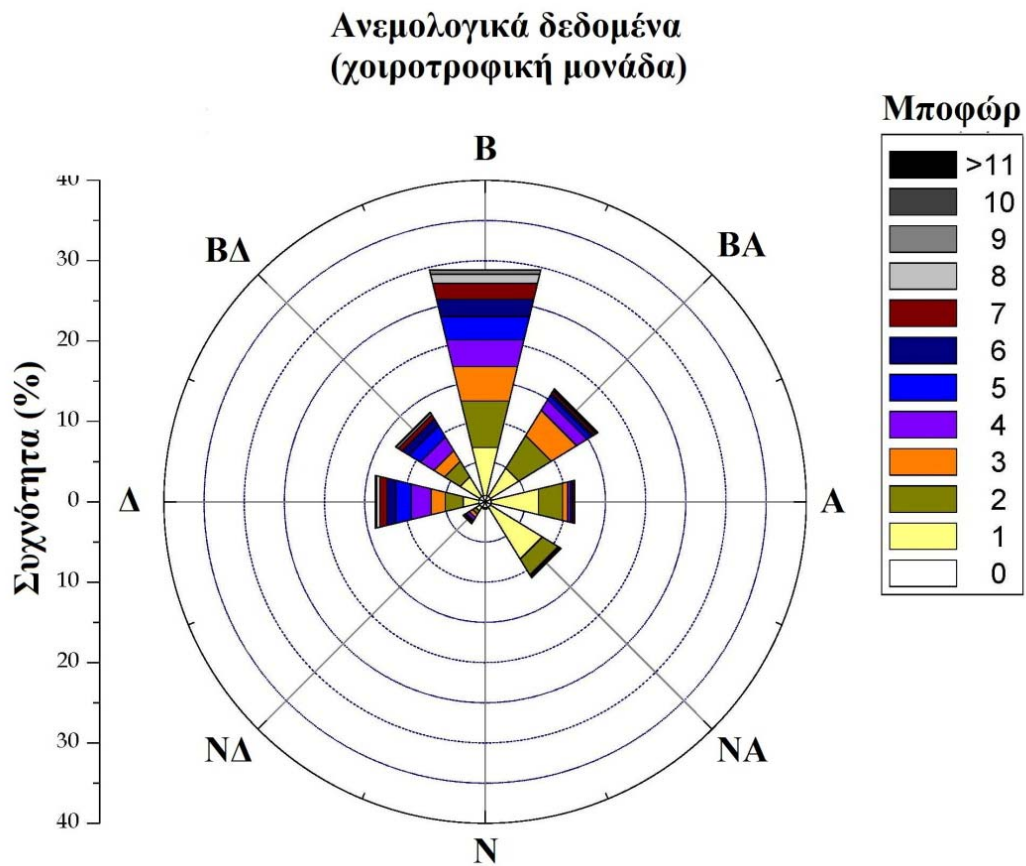
Για την συλλογή των μετεωρολογικών δεδομένων που απαιτούνται για την εφαρμογή του μοντέλου διασποράς στην περίπτωση της χοιροτροφικής μονάδας εγκαταστάθηκε μετεωρολογικός σταθμός εντός των εγκαταστάσεων της μονάδας. Η περίοδος κατά την οποία πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις ήταν από τον Νοέμβριο του 2008 μέχρι και τον Μάρτιο του 2009. Τα δεδομένα που μετρήθηκαν σε αυτή την περίοδο ήταν η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, η διεύθυνση και η ταχύτητα του ανέμου και παρουσιάζονται στα σχήματα 125-126.



Σχήμα 125: Μέση ημερήσια σχετική υγρασία.



Σχήμα 126: Μέση ημερήσια θερμοκρασία.



Σχήμα 127: Ροδόγραμμα για την περίοδο μετρήσεων (11/2008-03/2009).

Η μέση ημερήσια θερμοκρασία για την περίοδο μετρήσεων ήταν 13,5 °C και η μέση ημερήσια σχετική υγρασία ήταν 66,5%. Στο σχήμα 127 παρουσιάζεται το ροδόγραμμα (windrose) για τη συχνότητα εμφάνισης ανέμου διαφόρων εντάσεων και διευθύνσεων. Παρατηρούμε ότι η επικρατούσα διεύθυνση ανέμου ήταν η βόρεια με εντάσεις να κυμαίνονται από 3-9 m/s αλλά σε αρκετές περιπτώσεις να ξεπερνάν τα 18 m/s. Οι συνθήκες αυτές είναι χαρακτηριστικές της βόρειας Κρήτης και επηρεάζονται τόσο από τη ευρύτερο πεδίο ταχυτήτων του ανέμου όσο και από τοπικά φαινόμενα όπως η θαλάσσια αύρα.

5.3.2 Αποτελέσματα - Σενάρια

Το μοντέλο AERMOD χρησιμοποιήθηκε για την μελέτη των επιπτώσεων που σχετίζονται με τις οσμές του υδρόθειου και της αμμωνίας που εκπέμπονται από την χοιροτροφική μονάδα που μελετάται, σε γειτονικές περιοχές. Αρχικά έγινε μια εφαρμογή του μοντέλου AERMOD για την μελέτη της διασποράς των οσμών από την συγκεκριμένη χοιροτροφική μονάδα. Υπολογίστηκαν ετήσιες, μηνιαίες και ημερήσιες μέσες τιμές για την συγκέντρωση των οσμών κοντά στην εγκατάσταση. Οι συγκεντρώσεις που υπολογίζονται στα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι μικρότερες από το όριο ανίχνευσης υπό «συνήθεις» μετεωρολογικές συνθήκες και ρυθμούς εκπομπής. Η ασυμφωνία των αποτελεσμάτων με την παρατήρηση εργαζομένων και διερχόμενων από την εγκατάσταση που κάνουν λόγο για έντονες οσμές κατά περιόδους μας οδήγησε στην εφαρμογή του τροποποιημένου μοντέλου διασποράς ώστε να υπάρξουν πιο ρεαλιστικά αποτελέσματα.

Τα σενάρια που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εφαρμογή του μοντέλου είναι τα ακόλουθα.

Σενάριο 1: Εφαρμογή του τροποποιημένου μοντέλου χρησιμοποιώντας τις μέγιστες τιμές εκπομπών που υπολογίστηκαν για την συγκεκριμένη εγκατάσταση (κεφάλαιο 3). Οι μετεωρολογικές συνθήκες εισήχθησαν βάσει των επιτόπου μετρήσεων που έγιναν (παράγραφος 5.3.1).

Σενάριο 2: Εφαρμογή του τροποποιημένου μοντέλου θεωρώντας μια αύξηση των εκπομπών κατά 50%. Η αύξηση αυτή είναι δυνατόν αν συμβεί σε μεμονωμένα περιστατικά εκπομπών οσμών λόγω της έντονης διακύμανσης που παρουσιάζουν οι εκπομπές ανάλογα με τον τύπο και την κατάσταση που επικρατεί σε κάθε θάλαμο της εγκατάστασης. Οι μετεωρολογικές συνθήκες εισήχθησαν βάσει των επιτόπου μετρήσεων που έγιναν.

Σενάριο 3: Εφαρμογή του τροποποιημένου μοντέλου με τα δεδομένα εκπομπών που χρησιμοποιήθηκαν και στο σενάριο 1, ανυψώνοντας όμως τις καμινάδες κατά 2m (θεωρήσαμε το ύψους τους ίσο με 8m αντί για 6m που είναι στην πραγματικότητα). Οι μετεωρολογικές συνθήκες που χρησιμοποιήθηκαν είναι ίδιες όπως στα προηγούμενα σενάρια.

Σενάριο 4: Εφαρμογή του τροποποιημένου μοντέλου θεωρώντας μια μείωση των εκπομπών αμμωνίας και υδρόθειου κατά 50%. Μια τέτοια μείωση μπορεί να προκύψει με την εφαρμογή ειδικών διατάξεων απόσμησης των απαερίων του κάθε θαλάμου.

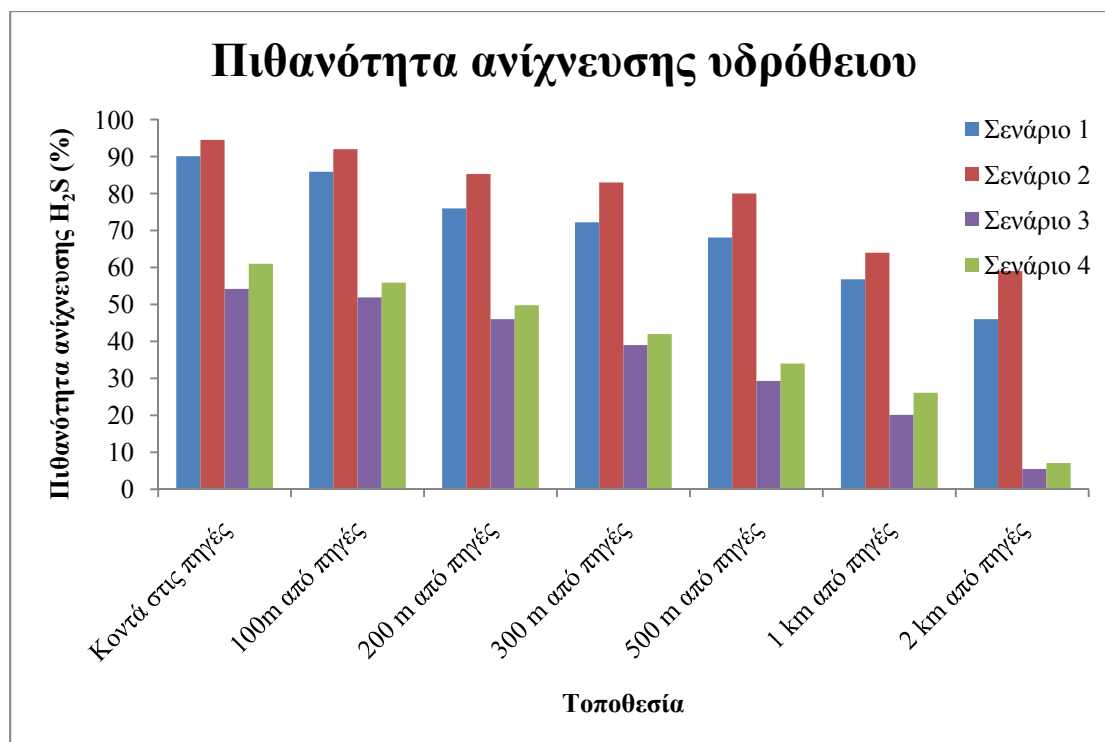
Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή του μοντέλου παρουσιάζονται στους πίνακες 35 και 36 και στα σχήματα 128-131.

Πίνακας 35: Πιθανότητα ανίχνευσης (PD) και βαθμός όχλησης (DA) λόγω του υδρόθειου.

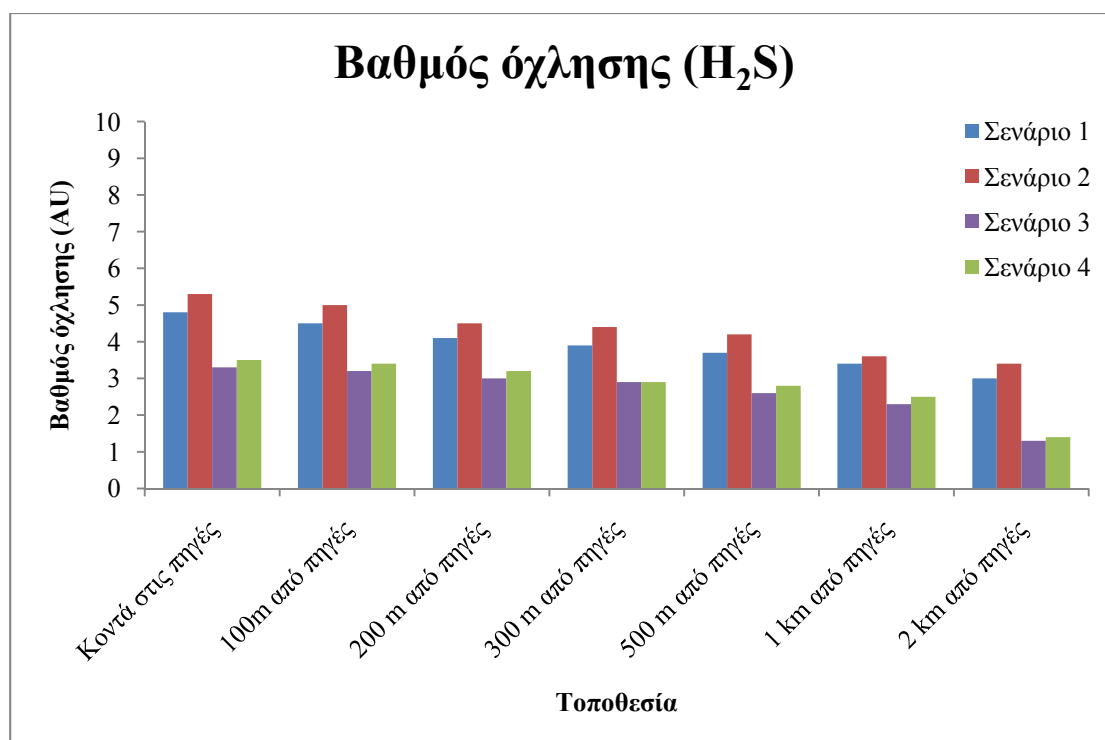
	Μέγιστες τιμές							
	Σενάριο 1		Σενάριο 2		Σενάριο 3		Σενάριο 4	
	PD (%)	DA (AU)	PD (%)	DA (AU)	PD (%)	DA (AU)	PD (%)	DA (AU)
Κοντά στις πηγές	90,1	4,8	94,5	5,3	54,2	3,3	61	3,5
100m από πηγές	85,9	4,5	92	5	51,9	3,2	55,9	3,4
200 m από πηγές	76	4,1	85,3	4,5	46	3	49,8	3,2
300 m από πηγές	72,2	3,9	83	4,4	39	2,9	42	2,9
500 m από πηγές	68,1	3,7	80	4,2	29,3	2,6	34	2,8
1 km από πηγές	56,8	3,4	64	3,6	20,1	2,3	26,1	2,5
2 km από πηγές	46	3	59	3,4	5,5	1,3	7,1	1,4

Πίνακας 36: Πιθανότητα ανίχνευσης (PD) και βαθμός όχλησης (DA) λόγω της αμμωνίας.

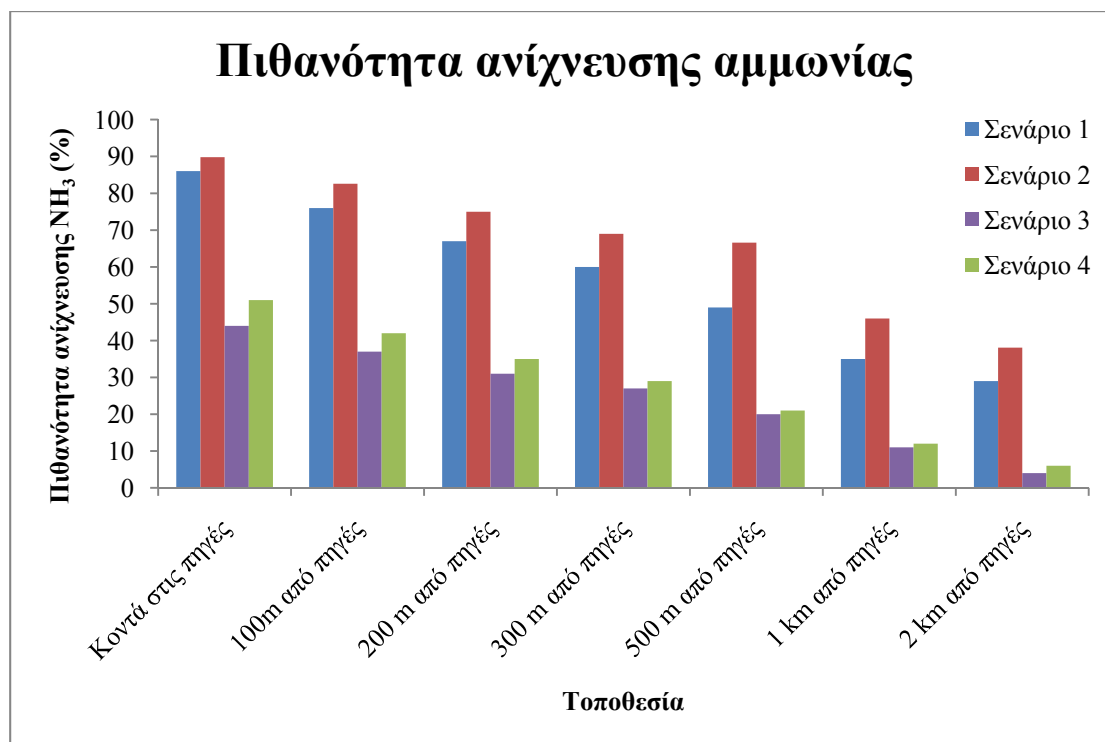
	Μέγιστες τιμές							
	Σενάριο 1		Σενάριο 2		Σενάριο 3		Σενάριο 4	
	PD (%)	DA (AU)	PD (%)	DA (AU)	PD (%)	DA (AU)	PD (%)	DA (AU)
Κοντά στις πηγές	86	5,8	89,8	6	44	4,3	51	4,5
100m από πηγές	76	5,3	82,6	5,6	37	4,1	42	4,2
200 m από πηγές	67	5	75	5,2	31	3,9	35	4
300 m από πηγές	60	4,8	69	5	27	3,7	29	3,8
500 m από πηγές	49	4,5	66,6	4,9	20	3,5	21	3,6
1 km από πηγές	35	4	46	4,4	11	3	12	3,1
2 km από πηγές	29	3,8	38,1	4,1	4	2,5	6	2,7



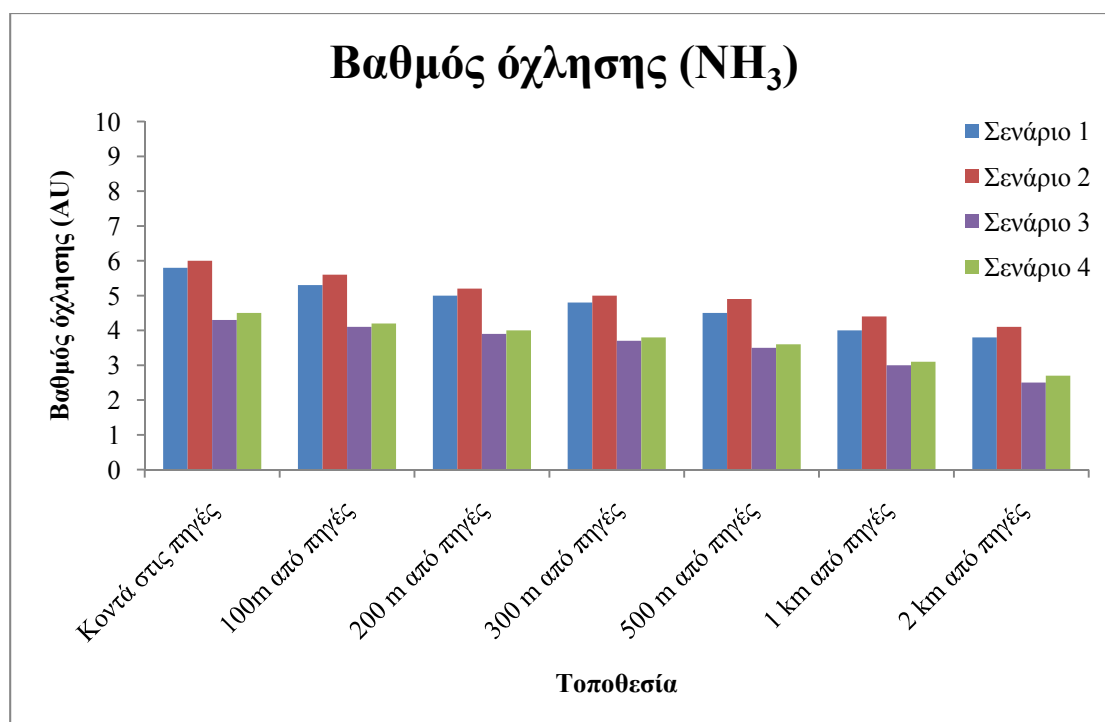
Σχήμα 128: Πιθανότητα ανίχνευσης του υδρόθειου για τα σενάρια που μελετήθηκαν.



Σχήμα 129: Βαθμός όχλησης λόγω του υδρόθειου για τα σενάρια που μελετήθηκαν.

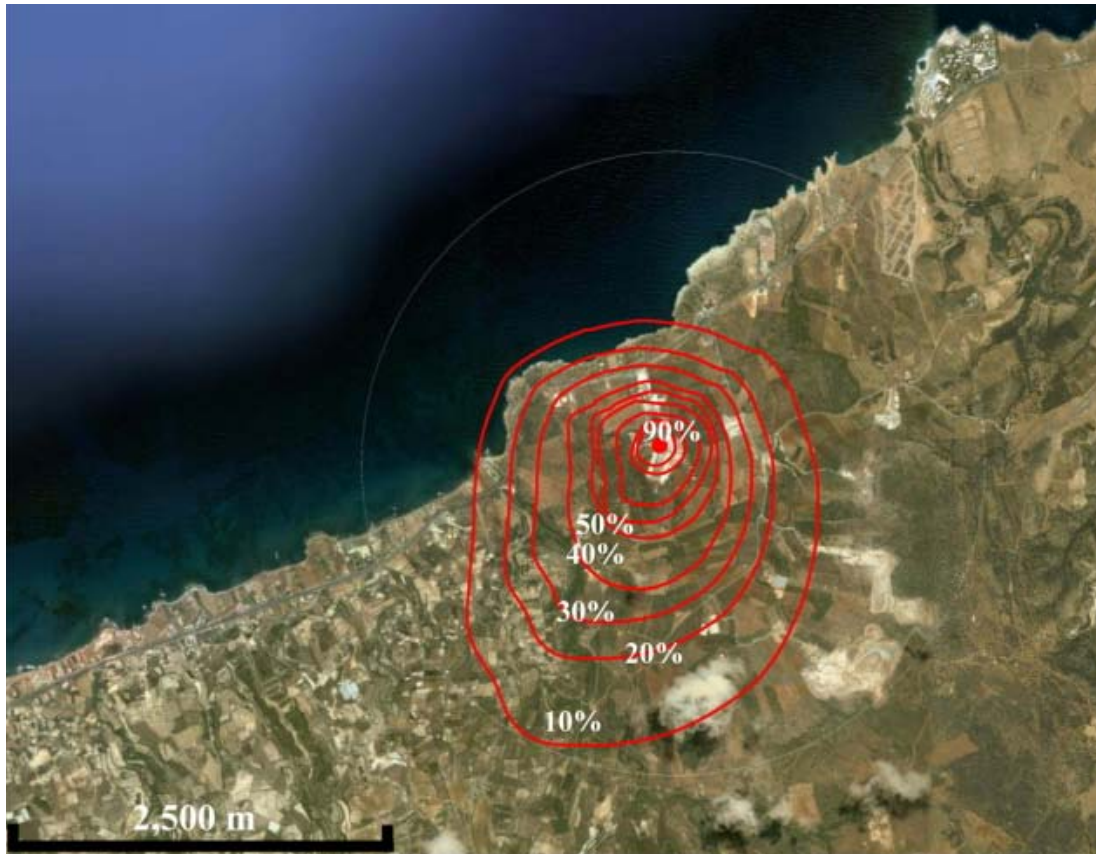


Σχήμα 130: Πιθανότητα ανίχνευσης της αμμωνίας για τα σενάρια που μελετήθηκαν.



Σχήμα 131: Βαθμός όχλησης λόγω της αμμωνίας για τα σενάρια που μελετήθηκαν.

Όπως προκύπτει από τα σχήματα 128 – 131 η πιθανότητα ανίχνευσης τόσο του υδρόθειου όσο και της αμμωνίας έχουν ιδιαίτερα αυξημένες τιμές μέσα στην εγκατάσταση (90,1% και 86% αντίστοιχα) σύμφωνα με τα αποτελέσματα του σεναρίου 1. Ο βαθμός όχλησης που προκαλείται από τις συγκεκριμένες οσμές είναι 4,8 και 5,8 αντίστοιχα κοντά στις πηγές. Οι τιμές αυτές μειώνονται καθώς απομακρυνόμαστε από τις πηγές αλλά η πιθανότητα ανίχνευσης του υδρόθειου παραμένει μεγαλύτερη από 50% ακόμα και σε απόσταση 1 km από την πηγή. Η αμμωνία σε απόσταση 1 km από την πηγή έχει πολύ μικρότερη πιθανότητα ανίχνευσης (ίση με 35%). Τα αποτελέσματα αυτά ανταποκρίνονται στις υφιστάμενες συνθήκες μιας και οι εκπομπές αλλά και οι μετεωρολογικές συνθήκες που χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα εισόδου είναι υπολογισμένες βάσει μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στη συγκεκριμένη εγκατάσταση. Η χωρική κατανομή των πιθανοτήτων ανίχνευσης για το υδρόθειο παρουσιάζεται στο σχήμα 132. Παρατηρούμε ότι η κύρια διεύθυνση προς την οποία μεταφέρονται οι οσμηρές χημικές ενώσεις που εκλύονται από την χοιροτροφική μονάδα είναι η νότια με τις συγκεντρώσεις να φθίνουν σε πολύ μικρές αποστάσεις προς τα βόρεια. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην επικρατούσα διεύθυνση του ανέμου.



Σχήμα 132: Καμπύλες ίσων πιθανοτήτων ανίχνευσης του υδρόθειου πλησίον της χοιροτροφικής μονάδας (σενάριο 1).

Στο σενάριο 2 θεωρήθηκε μια αύξηση των εκπομπών υδρόθειου και αμμωνίας κατά 50%. Τόσο η πιθανότητα ανίχνευσης όσο και ο βαθμός όχλησης αυξήθηκε σημαντικά και για τις 2 οσμές. Εντονότερο πρόβλημα εμφανίζεται λόγω της παρουσίας του υδρόθειου στην ατμόσφαιρα με την πιθανότητα ανίχνευσης του να είναι περίπου ίση με 50% ακόμα και 2 km μακριά από τις πηγές. Μέχρι τα 500m από τις πηγές συνυπάρχουν και οι 2 οσμές με πιθανότητα ανίχνευσης μεγαλύτερη από 50%. Το γεγονός αυτό μπορεί να εντείνει το πρόβλημα μιας και η συνύπαρξη 2 ή περισσότερων οσμών μπορεί να οδηγήσει σε εντονότερη διέγερση του οσφρητικού συστήματος και να προκαλέσει μεγαλύτερη όχληση.

Οι προτεινόμενες λύσεις για το υφιστάμενο πρόβλημα μελετήθηκαν στα σενάρια 3 και 4. Στο σενάριο 3 μελετήθηκε η επίδραση της ανύψωσης των καμινάδων των πηγών στην όχληση που μπορεί να προκαλέσουν οι οσμές σε διάφορες αποστάσεις, ενώ στο σενάριο 4 προσομοιώθηκε η περίπτωση όπου οι εκπομπές των οσμών θα ήταν μειωμένες κατά 50%. Και στις 2 περιπτώσεις τόσο η πιθανότητα ανίχνευσης όσο και ο βαθμός όχλησης προκύπτουν σημαντικά μειωμένοι σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση (σενάριο 1).

Μειώνοντας τις εκπομπές υδρόθειου και αμμωνίας κατά 50% η πιθανότητα ανίχνευσης του υδρόθειου μειώνεται στο 63% ενώ από τα 100m απόσταση από τις πηγές η πιθανότητα μειώνεται κοντά στο 50%. Ο βαθμός όχλησης που προκαλείται από την παρουσία της συγκεκριμένης ένωσης στην ατμόσφαιρα επίσης μειώνεται αισθητά. Με την παρέμβαση αυτή ουσιαστικά το πρόβλημα λόγω της οσμής του υδρόθειου μπορεί να θεωρηθεί αμελητέο από τα 300m από τις πηγές με πιθανότητα ανίχνευσης μικρότερη από 40% και βαθμό όχλησης μικρότερο από 3 AU. Σημαντική είναι η βελτίωση της κατάστασης και όσον αφορά στην αμμωνία για την οποία το πρόβλημα λόγω της οσμής της μπορεί αν θεωρηθεί αμελητέο από τα 300m από την πηγή με πιθανότητα ανίχνευσης μικρότερη από 30% και βαθμό όχλησης μικρότερο από 3,7AU.

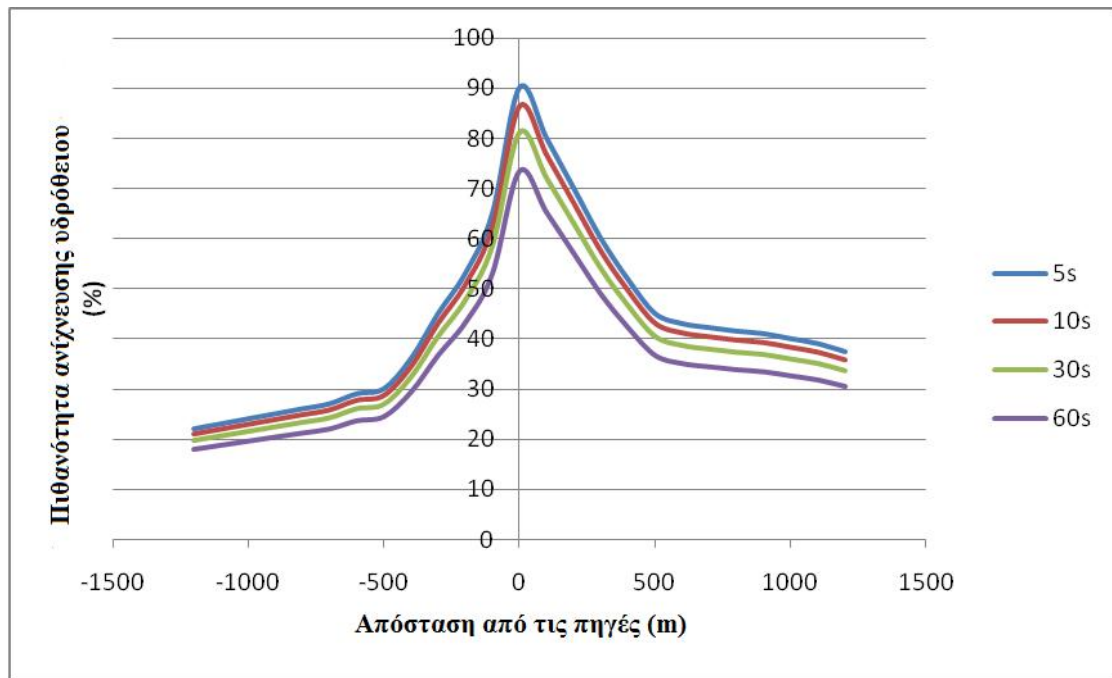
Στην περίπτωση που οι καμινάδες ανυψωθούν κατά 2m (να έχουν ύψος 8m αντί για 6m που έχουν) τα αποτελέσματα είναι επίσης ενθαρρυντικά. Η μείωση των επιπτώσεων των οσμών είναι έντονη ακόμα και σε μικρές αποστάσεις από την πηγή. Η πιθανότητα ανίχνευσης του υδρόθειου και της αμμωνίας είναι 61% και 51% αντίστοιχα σε μικρές αποστάσεις από τις πηγές (εντός της εγκατάστασης). Ο βαθμός όχλησης που προκαλείται από τις οσμές είναι 3,5AU και 4,5AU για το υδρόθειο και την αμμωνία αντίστοιχα κοντά στις πηγές. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η μεταβολή στις

παραμέτρους αυτές σε σχέση με την μεταβολή που προκαλείται χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του σεναρίου 3. Σε μικρές αποστάσεις η ανύψωση της καμινάδας οδηγεί σε μεγαλύτερη μείωση των επιπτώσεων των οσμών σε σχέση με την μείωση που θα μπορούσε να επιτευχθεί με την μείωση των εκπομπών. Σε μεγαλύτερες αποστάσεις ωστόσο, η μείωση των εκπομπών είναι πιο αποτελεσματική. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι αυξάνοντας το ύψος εκπομπής, οι οσμές διανύουν μεγαλύτερη απόσταση στον οριζόντιο άξονα μέχρι να υπάρξει διασπορά των οσμών μέχρι την επιφάνεια του εδάφους στην οποία βρίσκονται οι αποδέκτες των οσμών. Σε μεγαλύτερες αποστάσεις η διασπορά των οσμών είναι αρκετή ώστε το πλούμιο να φτάνει την επιφάνεια του εδάφους. Για το λόγο αυτό η ανύψωση των καμινάδων είναι αποτελεσματικότερη σε μικρές αποστάσεις σε σχέση με την μείωση των εκπομπών ενώ η μείωση των εκπομπών είναι αποτελεσματικότερη σε μεγαλύτερες αποστάσεις.

Η κύρια επίπτωση της ύπαρξης οσμών στην ατμόσφαιρα είναι η όχληση που μπορεί να προκαλέσουν στους ανθρώπους. Η συνολική ποσότητα των εκπεμπόμενων οσμηρών ενώσεων δεν δημιουργεί πρόβλημα εφόσον ακόμα και στο δυσμενέστερο σενάριο που μελετήθηκε δεν προκύπτει άλλο πρόβλημα πέρα από την όχληση λόγω των οσμών. Επομένως, σε αντίθεση με τους «κλασσικούς» ρύπους όπου η αραίωση δεν λύνει ουσιαστικά το πρόβλημα, στην περίπτωση της μελέτης των επιπτώσεων των οσμών μπορεί να αποτελέσει λύση. Παρόλο δηλαδή που δεν επιτυγχάνουμε την ίδια μείωση των επιπτώσεων των οσμών σε μεγάλες αποστάσεις ανυψώνοντας την καμινάδα σε σχέση με την μείωση των εκπομπών αυτό δεν αποτελεί πρόβλημα μιας και σε μεγάλες αποστάσεις ήδη η πιθανότητα ανίχνευσης και ο βαθμός όχλησης είναι σε χαμηλά επίπεδα.

5.4 Έλεγχος ευαισθησίας στην χρονική κλίμακα που χρησιμοποιείται

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τα γκαουσιανά μοντέλα όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο προκύπτουν σε μέσες τιμές για χρονικό διάστημα 30 min – 1 h. Στην παρούσα διατριβή χρησιμοποιώντας τον λόγο μέγιστης προς τη μέση τιμή αναγάγαμε τις μέσες ωριαίες συγκεντρώσεις σε μέγιστες συγκεντρώσεις που μπορεί να παρατηρηθούν σε μικρότερο χρονικό διάστημα. Στο σχήμα 133 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή του μοντέλου στο ΚΕΛ Χανίων για το βασικό σενάριο (σενάριο 1) χρησιμοποιώντας διαφορετικά χρονικά διαστήματα για τον προσδιορισμό των μέγιστων τιμών. Τα χρονικά διαστήματα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν 5 s, 10 s, 30 s και 60 s. Η πιθανότητα ανίχνευσης του υδρόθειου στην κύρια διεύθυνση στην οποία μεταφέρεται υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας τα διαφορετικά αυτά χρονικά διαστήματα. Στο σχήμα 133 οι αρνητικές τιμές των αποστάσεων αντιστοιχούν σε βόρεια διεύθυνση ενώ θετικές τιμές αντιστοιχούν σε νότια διεύθυνση.



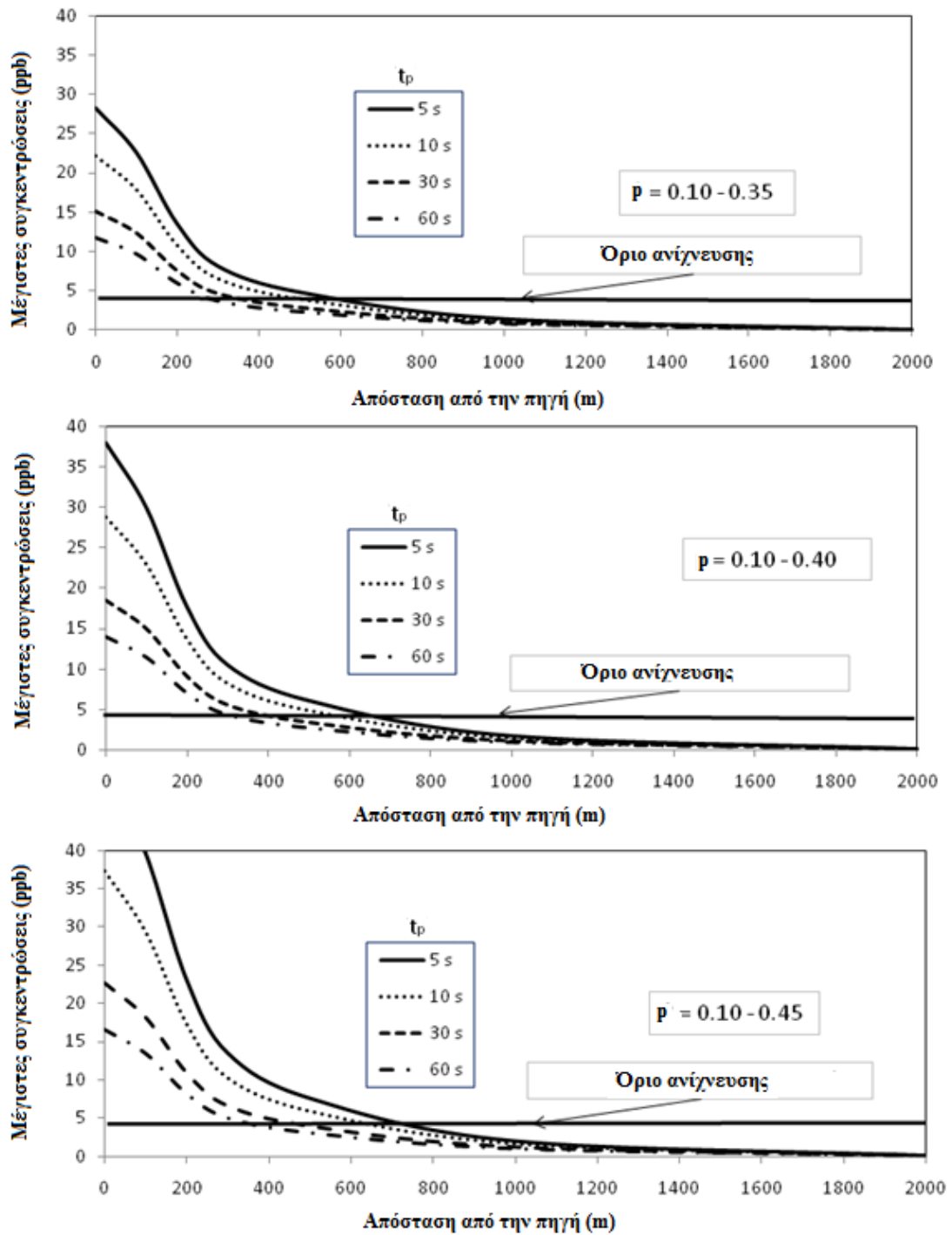
Σχήμα 133: Πιθανότητα ανίχνευσης του υδρόθειου σε διάφορες αποστάσεις για διαφορετικές χρονικές κλίμακες (εφαρμογή στο ΚΕΛ Χανίων).

Παρατηρούμε από το σχήμα 133 ότι χρησιμοποιώντας χρονική διάρκεια ίση με 10 s (100% μεγαλύτερη από την τιμή των 5s), η μέση μείωση στην πιθανότητα ανίχνευσης είναι 4%. Χρησιμοποιώντας 30 s και 60 s (600% και 1200% αυξημένες χρονικές κλίμακες σε σχέση με τα 5 s) η μέση μείωση στην πιθανότητα ανίχνευσης του υδρόθειου ήταν 10% και 15% αντίστοιχα. Η μείωση της πιθανότητας ανίχνευσης είναι μικρή λόγω της σιγμοειδούς καμπύλης που περιγράφει την πιθανότητα ανίχνευσης των οσμών. Λόγω του ότι η αίσθηση της οσμής μπορεί να ενεργοποιηθεί σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα έκθεσης η τιμή που επιλέχθηκε στην παρούσα μελέτη ήταν τα 5s.

Λόγω της εγγενούς αβεβαιότητας στην εκλογή των τιμών t_p και p της εξίσωσης 25, είναι ιδιαίτερα σημαντικό να ελεγχθεί η ευαισθησία των αποτελεσμάτων για αλλαγές

σε αυτές τις παραμέτρους. Ο υπολογισμός των μέγιστων συγκεντρώσεων από τις αντίστοιχες μέσες τιμές που παράγει το μοντέλο διασποράς πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας διαφορετικές χρονικές κλίμακες (peak time scales). Στο σχήμα 134 παρουσιάζονται οι τιμές που προέκυψαν από την εφαρμογή του μοντέλου στην χοιροτροφική μονάδα της Creta Farm στο Ρέθυμνο. Η τιμή που χρησιμοποιήθηκε για την παράμετρο p , όπως έχει αναφερθεί, θεωρήθηκε ότι μειώνεται γραμμικά μέχρι την απόσταση των 2 km από την πηγή. Όπως παρατηρούμε στο σχήμα 134, όσο μικρότερη χρονική κλίμακα χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των μέγιστων συγκεντρώσεων, τόσο μεγαλύτερη γίνεται η απόσταση στην οποία οι συγκεντρώσεις που προκύπτουν είναι μεγαλύτερες από το όριο ανίχνευσης του υδρόθειου. Πενταπλασιάζοντας την τιμή t_p , η απόσταση αυτή παρατηρούμε ότι υποδιπλασιάζεται. Η ένταση της οσμής επίσης, είναι μεγαλύτερη καθώς μικραίνει η χρονική κλίμακα που χρησιμοποιείται.

Επίσης, ελέγχθηκε η επίδραση της επιλογής διαφορετικών τιμών του συντελεστή p στην εξίσωση 25. Όταν η μέγιστη τιμή του p αλλάζει από 0,35 σε 0,45, η απόσταση μέχρι την οποία οι μέγιστες συγκεντρώσεις του υδρόθειου είναι μεγαλύτερες από το όριο ανίχνευσης αυξάνεται από τα 500 m στα 700 m. Η πιθανότητα ανίχνευσης σε αυτές τις αποστάσεις είναι πάντα μεγαλύτερη από 50%, γεγονός το οποίο υποδηλώνει ότι η όχληση λόγω των οσμών είναι πιο πιθανό να εμφανιστεί αποστάσεις μικρότερες των 700 m σε κάθε περίπτωση.



Σχήμα 134: Μέγιστη συγκέντρωση υδρόθειου σε διάφορες αποστάσεις για διαφορετικές χρονικές κλίμακες (εφαρμογή στην χοιροτροφική μονάδα).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΈΡΕΥΝΑ

6.1 Συμπεράσματα

Η εργασία αυτή είναι μια πρώτη προσπάθεια δημιουργίας μιας ολοκληρωμένης πλατφόρμας εκτίμησης της όχλησης που μπορεί να προκληθεί από την εκπομπή οσμηρών χημικών ενώσεων στην ατμόσφαιρα. Οι συγκεντρώσεις που παρατηρήθηκαν βρίσκονται σε επίπεδα για τα οποία δεν υπάρχουν επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων που εκτίθενται σε αυτές (της τάξης των λίγων $\mu\text{g}/\text{m}^3$ για το υδρόθειο και των λίγων $\mu\text{g}/\text{m}^3$ για την αμμωνία). Ωστόσο, η όχληση που προκαλείται από την παρουσία χημικών ενώσεων όπως το υδρόθειο και η αμμωνία στην ατμόσφαιρα μπορεί να είναι πολύ σημαντική, κυρίως για τους ανθρώπους που κατοικούν κοντά στις πηγές των ρύπων αυτών.

Αρχικά, επισημάνθηκε η σημασία της προσεκτικής επιλογής του μοντέλου που θα χρησιμοποιηθεί για την μοντελοποίηση της διασποράς των οσμών στην ατμόσφαιρα. Μελετήθηκαν αναλυτικά τα κυριότερα μοντέλα που χρησιμοποιούνται σήμερα και λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιαιτερότητες που παρουσιάζει η μελέτη της διασποράς των οσμών επιλέχθηκε ως καταλληλότερο το μοντέλο AERMOD που κατασκευάστηκε από την USEPA.

Επιπλέον, κρίθηκε απαραίτητη η τροποποίηση του μοντέλου διασποράς που εφαρμόζεται σε μια τέτοιου είδους μελέτη. Για την διαπίστωση αυτή χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από δύο εγκαταστάσεις στην Κρήτη (Κέντρο Επεξεργασίας Αστικών Λυμάτων Χανίων και Χοιροτροφική μονάδα της Creta Farm στο Ρέθυμνο). Και στις δυο αυτές περιπτώσεις έχουν διατυπωθεί επανειλημμένα παράπονα από τους περιοίκους για την δυσοσμία που προκύπτει λόγω της

λειτουργίας των εγκαταστάσεων αυτών. Ωστόσο, χρησιμοποιώντας το μοντέλο AERMOD και υπολογίζοντας μέσες ωριαίες συγκεντρώσεις των οσμηρών χημικών ενώσεων (H_2S και NH_3) σε διάφορες αποστάσεις από τις πηγές μέχρι τα 2 km, διαπιστώθηκε ότι οι συγκεντρώσεις που προέκυπταν ήταν μικρότερες από το όριο αναγνώρισης της κάθε οσμής (4,7 ppb και 17 ppm για το υδρόθειο και την αμμωνία αντίστοιχα).

Για τους παραπάνω λόγους εφαρμόστηκαν κάποιες τροποποιήσεις στον τρόπο που εφαρμόζεται το μοντέλο AERMOD όταν αφορά στην διασπορά των οσμών. Αρχικά εισήχθηκε ο λόγος μέγιστης προς τη μέση τιμή, ο οποίος μετατρέπει τις μέσες ωριαίες τιμές ή τις μέσες τιμές 30 min σε μέγιστες τιμές που μπορεί να παρατηρηθούν σε πολύ μικρότερο χρονικό διάστημα (της τάξης των λίγων δευτερολέπτων). Επίσης τα αποτελέσματα που προκύπτουν μπορεί να είναι μικρότερα από το όριο ανίχνευσης της οσμής που μελετάται αλλά παρόλα αυτά να προκαλείται όχληση. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι ότι το όριο ανίχνευσης αντιστοιχεί στην συγκέντρωση για την οποία το 50% των ανθρώπων που εκτίθενται σε αυτήν ανιχνεύουν την οσμή. Ακόμα και σε μικρότερες συγκεντρώσεις όμως η οσμή μπορεί να ανιχνευτεί από μικρότερο ποσοστό ανθρώπων. Για το λόγο αυτό τα αποτελέσματα του μοντέλου εκφράστηκαν σε όρους πιθανότητας ανίχνευσης και βαθμού όχλησης που προκαλείται από την κάθε οσμή.

Για την εφαρμογή του μοντέλου στο Κέντρο Επεξεργασίας Αστικών Λυμάτων Χανίων απαιτούνται μετεωρολογικά δεδομένα εισόδου καθώς και δεδομένα εκπομπών.

Για την συλλογή αντιπροσωπευτικών μετεωρολογικών δεδομένων εγκαταστάθηκαν δύο μετεωρολογικοί σταθμοί (ο ένας εντός και ο άλλος πλησίον του ΚΕΛ Χανίων).

Πραγματοποιήθηκε σύγκριση των δεδομένων θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας, ταχύτητας και διεύθυνσης ανέμου που μετρήθηκαν στους δύο σταθμούς αλλά και σε σχέση με τα δεδομένα από τον μετεωρολογικό σταθμό που λειτουργεί στο Πολυτεχνείο Κρήτης ώστε να εκτιμηθεί για ποιες μετεωρολογικές παραμέτρους είναι σημαντική η συλλογή επιτόπου δεδομένων. Τα δεδομένα αυτά εισήχθησαν στο μοντέλο για την εφαρμογή του.

Για την δημιουργία των αρχείων εισόδου για τις εκπομπές έγιναν μετρήσεις υδρόθειου και βιοαεροζόλ ώστε να εντοπιστούν οι πιθανές πηγές. Οι κύριες πηγές υδρόθειου από Κέντρα Επεξεργασίας Λυμάτων εντοπίστηκε ότι είναι οι δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης, οι δεξαμενές επιλογής βακτηρίων και οι μεριστές. Οι συγκεντρώσεις του υδρόθειου που μετρήθηκαν κυμαίνονταν από 0,2 μέχρι 3,5 ppm κοντά σε αυτές τις πηγές. Μέσω αυτών των μετρήσεων ποσοτικοποιήθηκαν οι εκπομπές υδρόθειου από τις συγκεκριμένες πηγές. Οι μετρήσεις των βιοαεροζόλ έδειξαν ότι δεν υπάρχει εκπομπή αερομεταφερόμενων μικροοργανισμών σε εξωτερικούς χώρους από το Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων. Οι συγκεντρώσεις ετερότροφων βακτηρίων, μυκήτων και κολοβακτηρίων που μετρήθηκαν ήταν σε αντίστοιχα επίπεδα με αυτά που καταγράφηκαν στον μάρτυρα. Αντίθετα, στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής (εσωτερικός χώρος) παρατηρήθηκαν ιδιαίτερα αυξημένες συγκεντρώσεις βιοαεροζόλ. Η μέση συγκέντρωση των ετερότροφων βακτηρίων ήταν 1.000 CFU/m³ στις δεξαμενές εξάμμωσης και λιποσυλλογής, ενώ οι αντίστοιχες συγκεντρώσεις στις δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης και στον μάρτυρα ήταν 50-100 CFU/m³. Κρίνεται επομένως αναγκαία η χρήση προστατευτικών μέσων (μάσκα και γάντια) από τους εργαζόμενους σε εσωτερικούς χώρους Κέντρων Επεξεργασίας Λυμάτων για την ελαχιστοποίηση της δόσης σε βιοαεροζόλ. Ωστόσο, δεν εισήχθησαν στο μοντέλο διασποράς τιμές

εκπομπών βιοαεροζόλ λόγω του ότι σε εξωτερικούς χώρους δεν εντοπίστηκαν πηγές. Αναγκαία κρίνεται επίσης η χρήση ειδικών οργάνων προειδοποίησης για υψηλές συγκεντρώσεις υδρόθειου από τους εργαζόμενους σε εσωτερικούς χώρους σε Κέντρα Επεξεργασίας Λυμάτων λόγω του ότι η μέση συγκέντρωση του υδρόθειου στην δεξαμενή εξάμμωσης και λιποσυλλογής ήταν 8 ppm ξεπερνώντας σε αρκετές περιπτώσεις την συγκέντρωση που οδηγεί στον ερεθισμό ματιών, μύτης και λαιμού.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν για την πιθανότητα ανίχνευσης και τον βαθμό όχλησης λόγω της εκπομπής υδρόθειου από το κέντρο επεξεργασίας λυμάτων υποδεικνύουν ότι υπάρχει ισχυρή πιθανότητα όχλησης λόγω των οσμών, ειδικά σε ακραίες καιρικές συνθήκες ή όταν παρατηρούνται αυξημένες εκπομπές. Εφαρμόστηκαν επίσης διάφορα σενάρια με διαφορετικά δεδομένα εισόδου ώστε να μελετηθεί η επίδραση διαφορετικών μετεωρολογικών συνθηκών ή διαφορετικών εκπομπών υδρόθειου στην όχληση που προκαλείται σε γειτονικούς οικισμούς. Η πιθανότητα ανίχνευσης του υδρόθειου κατά τα δυσμενή σενάρια ήταν πάνω από 70% στο Κουμπελί (400 m από τις πηγές), ενώ εισάγοντας μια μείωση στις εκπομπές κατά 30-50% η πιθανότητα ανίχνευσης στον οικισμό του Κουμπελί είναι μικρότερη από 50%.

Το τροποποιημένο μοντέλο εφαρμόστηκε επίσης για την χοιροτροφική μονάδα της Creta Farm στο Ρέθυμνο. Τα μετεωρολογικά δεδομένα που εισήχθησαν στο μοντέλο συλλέχθηκαν από μετεωρολογικό σταθμό που λειτουργεί εντός της εγκατάστασης. Οι εκπομπές υδρόθειου και αμμωνίας προέκυψαν κατόπιν μετρήσεων των συγκεντρώσεων στους χώρους όπου βρίσκονται οι χοίροι και των παροχών των καμινάδων που χρησιμοποιούνται για τον εξαερισμό των χώρων αυτών. Σε εσωτερικούς χώρους, οι συγκεντρώσεις ήταν αυξημένες και για το λόγο αυτό προτείνεται η χρήση ειδικών οργάνων προειδοποίησης για υψηλές συγκεντρώσεις

υδρόθειου και αμμωνίας για τους εργαζόμενους στην μονάδα. Οι συγκεντρώσεις που προέκυψαν από την εφαρμογή του μοντέλου δεν βρίσκονται σε επίπεδα στα οποία μπορεί να προκληθούν άμεσα προβλήματα υγείας στους περιοίκους. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν δείχνουν, ωστόσο, μεγάλη πιθανότητα ανίχνευσης και βαθμό όχλησης για το υδρόθειο και την αμμωνία ιδιαίτερα κάτω από επιβαρυμένες συνθήκες (αυξημένες εκπομπές, δυσμενείς μετεωρολογικές συνθήκες). Συγκεκριμένα, η πιθανότητα ανίχνευσης του υδρόθειου βρέθηκε ότι είναι 59% σε απόσταση 2 km από τις πηγές με σχετικά μικρό ωστόσο βαθμό όχλησης (3,4 AU). Στα 2 km από τις πηγές, η αμμωνία παρουσιάζει μικρότερη πιθανότητα ανίχνευσης (38%) αλλά μεγαλύτερο βαθμό όχλησης (4,1 AU). Στη συνέχεια μελετήθηκαν δύο σενάρια (αύξηση ύψους καμινάδας, μείωση εκπομπών) κατά τα οποία η όχληση που προκαλείται από τις οσμές που εκπέμπονται από την μονάδα μειώνεται σημαντικά (πιθανότητα ανίχνευσης υδρόθειου και αμμωνίας μικρότερη από 50% σε αποστάσεις 200 m από τις πηγές).

Η παραπάνω ανάλυση αποτελεί μια ολοκληρωμένη μελέτη για τις επιπτώσεις που μπορεί να προκληθούν από την εκπομπή οσμών κοντά σε κατοικημένες περιοχές.

6.2 Προτάσεις για επέκταση της επιστημονικής έρευνας

Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στην παρούσα διατριβή αφορά στην εκτίμηση της όχλησης που προκαλείται από την εκπομπή οσμηρών ενώσεων στην ατμόσφαιρα. Λόγω των ιδιοτεροτήτων που παρουσιάζει η μελέτη της επίδρασης των οσμηρών χημικών ενώσεων (H_2S , NH_3 κ.α.) στους ανθρώπους που εκτίθενται σε αυτές απαιτείται ακριβής προσδιορισμός του συνόλου των οσμηρών ενώσεων που

εκλύονται από τις υπό μελέτη εγκαταστάσεις. Στην διατριβή αυτή χρησιμοποιήθηκαν ως χημικές ενώσεις – δείκτες το υδρόθειο και η αμμωνία. Ωστόσο η όχληση λόγω της συνύπαρξης πολλών χημικών ενώσεων δεν είναι ίδια μ00ε το άθροισμα των οχλήσεων που προκαλείται από κάθε οσμή. Για το λόγο αυτό είναι αναγκαίο να συμπεριληφθούν στην παρούσα μεθοδολογία προσεγγίσεις για μίγματα χημικών ενώσεων. Για να γίνει αυτό απαιτούνται μελέτες της συσχέτισης πιθανότητας ανίχνευσης και βαθμού όχλησης των συγκεκριμένων μιγμάτων χημικών ενώσεων που θα εντοπιστούν με τις συγκεντρώσεις τους. Η συσχέτιση αυτή μπορεί να γίνει με συνδυασμό αναλυτικών μετρήσεων των συγκεντρώσεων των οσμηρών χημικών ενώσεων και οσφρησιμετρίας.

Επίσης, το τροποποιημένο μοντέλο μπορεί να βαθμονομηθεί μέσω της εφαρμογής του κοντά σε πηγές οσμηρών χημικών ενώσεων και ταυτόχρονης μελέτης με ερωτηματολόγια σε περιοίκους των πηγών. Οι πηγές αυτές είναι προτιμότερο να είναι φυσικές (πχ θερμές πηγές, γεωτρήσεις) και να κατοικεί κοντά τους μεγάλος πληθυσμός ανθρώπων. Έτσι, οι απαντήσεις θα είναι κατά το δυνατόν πιο αμερόληπτες και αντιπροσωπευτικές και η στατιστική ανάλυση των απαντήσεων θα δώσει μια εικόνα της συσχέτισης των αποτελεσμάτων του τροποποιημένου μοντέλου με την πραγματική κατάσταση που επικρατεί.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Abbott J. (1993), Enclosed wastewater treatment plants-health and safety considerations. *Foundation for Water Research Report FR/W 0001*.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) (2004). Toxicological Profile for Ammonia.

AIHA, 1989. Odor Thresholds for Chemicals with Established Occupational Health Standards. American Industrial Hygiene Association, 2700 Prosperity Avenue, Suite 250, Fairfax, Virginia 22031.

Amoore JE. 1985. The perception of hydrogen sulfide odor in relation to setting an ambient standard. Olfacto-Labs, Berkeley, CA: prepared for the California Air Resources Board.

Amshel, C. E., Fealk, M. H., Phillips, B. J. and Caruso, D. M. (2000). Anhydrous ammonia burns case report and review of the literature. *Burns* **26**, 493-7.

Arnold IM, Dufresne RM, Alleyne BC, Stuart PJ (1985) Health implication of occupational exposures to hydrogen sulfide. *Journal of Occupational Medicine*, **27**(5), 373–376.

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). 2004. Toxicological Profile for Ammonia. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta, GA. September 2004 [online]. Available: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp126.html>

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). 2006. Medical Management Guidelines for Ammonia(NH₃). U.S. Department of Health and Human Services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry [online]. Available: <http://www.atsdr.cdc.gov/MHMI/mmg126.html>

Bates, M.N., Garrett, N. and Shoemack, P., 2002. Investigation of health effects of hydrogen sulfide from a geothermal source. *Archives of Environmental Health*, **57**(5): 405-411.

BGI Incorporated. Viable (microbial) particle sizing instruments. Six stage and single stage models BGI10800 Series BGI10890. Waltham MA 02451USA. October 2009

Bosanquet, C.H. and Pearson, J.L. (1936).The spread of smoke and gases from chimney. *Trans. Faraday Soc.*, 32:124.

Both, R., Sucker, K., Winneke, G., Koch, E. (2004). Odour intensity and hedonic tone—important parameters to describe odour annoyance to residents? *Water Science and Technology* **50** (4), 83–92.

Briggs, G. A., 1993: Plume dispersion in the convective boundary layer. Part II: Analysis of CONDORS field experiment data. *J.Appl.Meteor.*, **32**, 1388-1425.

Bundy, D.S., Y.C. Chen, S.J. Hoff and J. Zhu. 1997. Modeling odour intensity for swine units. In Proceedings of the International Symposium on Ammonia and Odour.

Caltrans (1989) *CALINE4 – A Dispersion Model for Predicting Air Pollutant Concentrations Near Roadways*, Final Report prepared by the Caltrans Division of New Technology and Research (Report No. FHWA/CA/TL-84/15).

Cambridge Environmental Research Consultants Ltd. (CERC). ADMS 2 User Guide Version 3.2. CERC, 3 Kings Parade, Cambridge, CB2 1SJ, UK. July, 2004

Capelli Laura, Sironi Selena, Renato Del Rosso, Céntola Paolo (2009). Predicting odour emissions from wastewater treatment plants by means of odour emission factors. *Water Research* **43**, 1977-1985.

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.

Chartered Institute of Environmental Health (2000) “*Annual Report on the Work of Local Authority Environmental Health Departments of England and Wales*”.

Cox Christopher S., Wathes Christopher M., Bioaerosols handbook. Lewis publishers, New York. 1995. pp 621.

Deardorff, J. W., 1979: Prediction of convective mixed-layer entrainment for realistic capping inversion structure. *J.Atmos.Sci.*, **36**, 424-436.

Municipal enterprise for water and sewage of Chania (DEYACH) website <http://www.deyax.org.gr>. accessed 20/10/2009

Dravnieks A. (1984) Hedonics of Odors and Odor Descriptors. *Journal of Air Pollution Control Association* **34** (7), 752-753

Dravnieks A. and Jarke F. (1980) Odor threshold measurement by dynamic olfactometry: significant operational variables. *J. Air Pollut. Control Assoc.* **30**, 1284-1289.

Drew G.H., Smith R., Gerard V., Burge C., Lowe M., Kinnersley R., Sneath R., Longhurst P.J. (2007). Appropriateness of selecting different averaging times for modelling chronic and acute exposure to environmental odours. *Atmospheric Environment* **41**, 2870-2880.

Durand, M. and Scott, B.J., 2003. An investigation of geothermal soil gas emissions and indoor air pollution in selected Rotorua buildings, Institute of Geological & Nuclear Sciences Science Report 2003/28.

Dyer, A. J., 1974: A review of flux-profile relationships. *Bound.Layer Meteor.*, **7**, 363-372.

Environmental & Agricultural Science & Engineering.. (EASE). Air Quality Impact Assessment. De Bortoli Wines, Bilbul, NSW. Report Number 20952.4757. prepared by Peter Binns. October 2005.

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.

Easter, C., C. Quigley, P. Burrowes, J. Witherspoon, D. Apgar (2005). Odor and air emissions control using biotechnology for both collection and wastewater treatment systems. *Chemical Engineering Journal*, **113**, 93-104.

Fakhoury K.J., Heber A.J., Shao P. and Ni J. Q. (2000). Correlation of odor detection thresholds with concentrations of hydrogen sulfide, Ammonia and trace gases emitted from swine manure. 2000 ASAE Annual international meeting. Midwest express center. Milwaukee, Wisconsin.

Foundation for Water Research (FWR) (1993). Enclosed Wastewater Treatment Plants – Health and Safety Considerations. Report No. FR/W0001. FWR, Allen House, The Listons, Liston Road, Marlow, Bucks., SL7 1FD.

Gallego, E., Soriano, C., Roca, F. X., Perales, J. F., Alarcon, M. And Guardino, X. (2008). Identification of the origin of odour episodes through social participation, chemical control and numerical modelling. *Atmospheric Environment* **42**, 8150-8160.

Gostelow, P. and Parsons, S .A. (1999). Sewage treatment works odour measurement. *Wat. Sci. Tech.* **41**(6), 33–40

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.

Gray Wolf Sensing Solutions website, (Accessed on 7/7/2009)
<http://www.wolfsense.com/directsense-iaq-indoor-air-quality-monitor.html>

Gregory P.H. (1973), The Microbiology of the Atmosphere, Leonard Hall.

Griffiths W.D., Decosemo G.A.L. (1994). The assessment of bioaerosols: a critical review. *Journal of aerosol science* **25**, 1425-1458

Grisoli Pietro, Rodolfi Marinella, Villani Simona, Grignani Elena, Cottica Danilo, Berri Angelo, Picco Anna Maria, Dacarro Cesare (2009). Assessment of airborne microorganism contamination in an industrial area characterized by an open composting facility and a wastewater treatment plant. *Environmental Research* **109**, 135-142

Gulfreund P.D., Liu C.S., Nicholson B.R., Roberts E.M. (1983). Complex model performance evaluation in Nevada and New Mexico. *JAPCA* **33** (9), 864-871.

Hanna, S. R. and R. J. Paine, 1989: Hybrid Plume Dispersion Model (HPDM) development and evaluation. *J.Appl.Meteor.*, **28**, 206-224.

Hayes E.T., Curran T.P., Dodd V.A. (2006). A dispersion modelling approach to determine the odour impact of intensive pig production units in Ireland. *Bioresource Technology* **97**, 1773-1779.

Heber A J; Duggirala R K; Ni J Q; SpenceML; Haymore B L; Adamchuk V I; Bundy D S; Sutton A L; Kelly D T; Keener KM(1997). Manure treatment to reduce gas emissions from large swine houses. In: International Symposium on Ammonia and Odour Control from Animal Production Facilities (Voermans J A M; Monteny G J eds), pp 449}458. Vinkeloord, The Netherlands. NVTL, PO-Box 83, 5240 AB Rosmalen, The Netherlands

Henshaw, P.; Nicell, J.A.; Sikdar, A. (2006). Parameters for the Assessment of Odor Impacts on Communities. *Atmospheric Environment* **40**, 1016-1029.

Hirsch AR, Zavala G (1999) Long term effects on the olfactory system of exposure to hydrogen sulphide. *Occupational and Environmental Medicine*, 56:284–287.

Holtslag, A. A. M., 1984: Estimates of diabatic wind speed profiles from near-surface weather observations. *Bound.Layer Meteor.*, **29**, 225-250.

Holtslag, A. A. M. and A. P. van Ulden, 1983: A simple scheme for daytime estimates for the surface fluxes from routine weather data. *J.Climate Appl.Meteor.*, **22**, 517-529.

Jones A.M., Harrison R.M. (2004), The effects of meteorological factors on atmospheric bioaerosol concentrations—a review, *Science of the Total Environment*, **326**, 151–180.

Karageorgos Petros, **Latos Manolis**, Mpasiakos Christos, Chalarakis Elefterios, Dimitrakakis Emmanuel, Daskalakis Charis, Psillakis Elefteria, Lazaridis Mihalios and Kalogerakis Nicolas (2010). “Characterization and Dispersion Modelling of Odors from a Piggery Facility”. *Journal of Environmental Quality* (In press).

Karra Styliani, Katsivela Eleftheria (2007). Microorganisms in bioaerosol emissions from wastewater treatment plants during summer at a Mediterranean site. *Water Research* **41**, 1355-1365.

Kaskura, T. and Tatsukawa, K. (1995). On the scent of a good idea for odour removal. *Water Quality International*. No. 2, pp. 24– 27.

Kunkel, B. A., 1991: AFTOX 4.0 — The Air Force Toxic Chemical Dispersion Model — A User’s Guide. PL-TR-91-2119, Environmental Research Papers No. 1083, Phillips Laboratory, Directorate of Geophysics, Air Force Systems Command, Hanscom AFB, MA 01731-5000, 62 pages.

Lawrence C.C. Koe, N.C. Tan (1990). Odour generation potential of wastewaters. *Water Research* **24**, 1453-1458.

Legator, M.S., 2001. Health effects from chronic low-level exposure to hydrogen sulfide. *Archives of Environmental Health*, **56**: 123-131.

Leonardos, G., D.A. Kendall, and N.J. Barnard. (1969). Odor threshold determinations of 53 odorant chemicals. *Journal of the Air Pollution Control Association* **19**(2):91-95.

Littarru Paolo (2007). Environmental odours assessment from waste treatment plants: Dynamic olfactometry in combination with sensorial analysers “electronic noses”. *Waste Management* **27**, 302-309.

Luebs, R.E. and Laag, A.E.(1973). Ammonia and related gases emanating from a large dairy area. *Calif. Agric.*, **27**(2): 10.

Matthais-Maser S, Obolkin V, Khodzer T, Jaenicke R. Seasonal variation of primary biological aerosol particles in the remote continental region of Lake Baikal/Siberia. *Atmos Environ* 2000; **34**: 3805-3811.

Mavroidis I., 2009. Effect of averaging time on mean concentrations in building influenced dispersion. *International Journal of Environment and Waste Management*, **4** (1-2), 50-61.

McIntyre A. (2000). Application of dispersion modeling to odour assessment: a practical tool or a complex trap? *Water Science and Technology* **41**(6), 81-88.

Merck, 1999, MAS-100 Microbiological Air Sampler Operators Manual

Miedema, H.M.E., Walpot, J.I., Vos, H., Steunenbergh, C.F. (2000). Exposure-annoyance relationships for odour from industrial sources. *Atmospheric Environment* **34**, 2927–2936.

Ministry for the Environment, 2002. *Review of Odour Management in New Zealand: Technical Report*. Air quality technical report no. 24. Ministry for the Environment, Wellington, New Zealand.

Muehling A J (1970). Gases and odors from stored swine waste. *Journal of Animal Science*, **30**, 526-530

Nagata Y., Measurement of Odor Threshold by Triangle Odor Bag Method, Bulletin of Japan Environmental Sanitation Center, (1990), **17**, pp. 77-89

NRC (National Research Council). 2002. Ammonia. Pp. 22-68 in Review of Submarine Escape Action Levels for Selected Chemicals. Washington, DC: National Academy Press.

Nicell, J. (2003). Expressions to Relate Population Responses to Odor Concentration. *Atmospheric Environment* **37**, 4955-4964.

Nicell, J. and P. Henshaw (2007). Odor Impact Assessments Based on Dose-Response Relationships and Spatial Analyses of Population Response. *Water Practice* **1**, Issue 2.

Nicolai, R.E., C.J. Clanton and H. Guo. 2000. Modeling the relationship between detection threshold and intensity of swine odours. Proceedings of the Second International Conference: Air Pollution from Agricultural Operations, ASAE, St. Joseph, MI, p296-304.

Oke, T. R., 1978: *Boundary Layer Climates*. John Wiley and Sons, New York, New York, 372pp.

Oke, T. R., 1982: The energetic basis of the urban heat island. *Quart.J.Roy.Meteor.Soc.*, **108**, 1-24.

Ontario Ministry of the Environment. 2001. Ontario Air Standards for Ammonia. Standards Development Branch, Ontario Ministry of the Environment. March 2001 [online]. Available: http://www.ene.gov.on.ca/envision/env_reg/er/documents/2001/air_standards/pa00e0003.pdf

OSHA (Occupational Safety and Health Administration). 2008. Ammonia Refrigeration. Safety and Health Topics. U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration [online]. Available: <http://www.osha.gov/SLTC/ammoniarefrigeration/index.html>

Panofsky, H. A. and J. A. Dutton, 1984: *Atmospheric Turbulence: Models and Methods for Engineering Applications*. John Wiley and Sons, New York, 417pp.

Parsons S.A., Smith N., Gostelow P. and Wishart J. (2000). Hydrogen sulphide dispersion modelling – urban and rural case studies. *Water Science and Technology* Vol **41** No 6 pp 117–126

Pascual L., Perez-Luz S., Yanez A.M., Santamaria A., Gibert K., Salgot M., Apraiz D., Catalan V. (2003), Bioaerosol emission from wastewater treatment plants. *Aerobiologia* **19**, 261–270.

Piringer, Martin, Erwin Petz, Inga Groehn, Gunther Schauburger (2007). A sensitivity study of separation distances calculated with the Austrian Odour Dispersion Model (AODM). *Atmospheric Environment* **41**, 1725-1735.

Pratt, G. Recommendations on the Combined Impact of Air Emissions from Multiple Feedlots – Draft. Minnesota Pollution Control Agency, November, 1999.

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.

Ramsdell J.V. Jr., Hinos W.T. (1967). Concentration fluctuations and peak-to-mean concentration ratios in plumes from a ground-level continuous point source *Atmospheric Environment* **5**, 483-495.

Ranalli G., Principi P., Sorlini C. (2000), Bacterial aerosol emission from wastewater treatment plants: culture methods and biomolecular tools, *Aerobiologia*, **16**, 39–46.

Schafer, Perry L., William H. Prokop, et. al., (1995), Odor Control in Wastewater Treatment Plants, WEF Manual of Practice No. 22, ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 82, Water Environment Federation, Alexandria, VA, and American Society of Civil Engineers, New York, NY.

Schauberger, G., Piringer, M., Petz, E. 2000: Diurnal and annual variation of the sensation distance of odour emitted by livestock buildings calculated by the Austrian odour dispersion model (AODM) *Atmos. Env.* **34** (28), 4839 – 4851.

Schauberger, G. and Piringer M., 2004. Assessment of the odour concentration in the near-field of small sources. *Environmental Odour Management*, VDI-Berichte 1850:343 – 352.

Schiffman Susan S., Bennett Jeanette L., Raymer James H. (2001). Quantification of odors and odorants from swine operations in North Carolina. *Agricultural and Forest Meteorology* **108**, 213-240.

Schiffman Susan S., Williams C. M. (2005). Science of Odor as a Potential Health Issue. *J. Environ. Qual.* **34**, 129-138

Seinfeld John and Pandis Spyros. “*Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*”, 2nd Edition, Wiley-Interscience, 2006

Sironi Selenia, Capelli Laura, Céntola Paolo, Renato Del Rosso, Massimiliano Il Grande (2006). Odour emission factors for the prediction of odour emissions from

plants for the mechanical and biological treatment of MSW. *Atmospheric Environment* **40**, 7632-7643.

Smith, M.E., 1973. Recommended Guide for the Prediction of the Dispersion of Airborne Effluents. ASME, New York.

Smith, R.J. 1993. Dispersion of Odours from Ground Level Agricultural Sources. J. agric. Engineering res. **54**(3): 187-200.

Sohn J.H., Smith R.J., Yoong E. (2006). Process studies of odour emissions from effluent ponds using machine-based odour measurement. *Atmospheric Environment* **40**, 1230-1241.

Stanley R.G., Linskins H.F. (1974) Pollen: biology, chemistry and management, Springer Verlag, Berlin, Germany.

STI (12/1996), 'User's Guide to the UAM-AERO Model' , Sonoma Technology, inc. (STI).

Stuetz R. M., Fenner R. A., Engin G. (1999). Assessment of odours from sewage treatment works by an electronic nose, H₂S analysis and olfactometry. *Water Research* **33**, 453-461.

Stull, R. B., 1983: A heat flux history length scale for the nocturnal boundary layer. *Tuller*, **35A**, 219-230.

Taylor E.J. editor (1988) Dorland's medical dictionary. W. B. Saunders Co, Philadelphia, USA.

Thermo electron corporation. Instruction manual, Series 10-800, Viable sampler (six and two stage viable samplers). 27 Forge Parkway Franklin Massachusets. December 2003.

Thompson W. A. R. editor (1981) Black's medical dictionary, 33 eds. Adam and Charles Black.

TSI P-TRAK® Ultrafine Particle Counter Model 8525, Operation and Service Manual, 1980380, Revision K, February 2009

TSI DUSTTRAK™ Model 8520 Aerosol Monitor, Operation and Service Manual, 1980198, Revision R, June 2006

TSI (2009b) Thermo Scientific Six Stage Viable, Andersen Cascade Impactor. Bioaerosol and microbial particle sizing sampler. Product Specifications.

U.S. EPA (1991), '*Guidline for regulatory applications of the Urban Airshed Model*' , EPA-450/4-91-013, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC 27711.

US EPA (1993) Report to Congress on hydrogen sulfide air emissions associated with the extraction `of oil and natural gas. Research Triangle Park, NC, US Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards (EPA/453/R93045; NTIS Publication No. PB941312240).

U.S. EPA (1995): Industrial Source Complex (ISC3) Dispersion Model User's Guide - Volumes I and II. EPA-454/B-95-003a and b, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, North Carolina 27711.

U.S. EPA (1998): AERMOD: Description of Model Formulation. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, North Carolina 27711.

U.S. EPA (2000). User's Guide for the Assessment System for Population Exposure Nationwide (ASPEN, Version 1.1) Model.EPA-454/R-00-017, April, 2000.

U.S. EPA (2004)AERMOD: Description of model formulation. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC. September 2004

U.S. EPA (2007) Odour assessment using odour source modelling. *EPA Guidelines*, EPA 373/07

Van Ulden, A. P. and A. A. M. Holtslag, 1985: Estimation of atmospheric boundary layer parameters for diffusion applications. *J.Climate Appl.Meteor.*, **24**, 1196-1207.

VDI, (1992), "Olfactometry- Determination of Odour Intensity", VDI 3882/1, Part 1, Germany.

Venkatram, A., 1980: Estimating the Monin-Obukhov length in the stable boundary layer for dispersion calculations. *Bound.Layer Meteor.*, **19**, 481-485.

Venkatram, A., 1982: A semi-empirical method to compute concentration associated with surface releases in the stable boundary layer. *Atmos.Environ.*, **16**, 245-248.

Venkatram A, 2002. Accounting for averaging time in air pollution modelling. *Atmospheric Environment* **36**: 2165-70

Venkatram, A., R. Brode, A. Cimorelli, R. Lee, R. Paine, S. Perry, W. Peters, J. Weil, and R. Wilson, 2001: A complex terrain dispersion model for regulatory applications. *Atmospheric Environment*, **35**, 4211-4221.

Wang Lingjuan, Parker David, Parnell Calvin, Lacey Ronald, Shaw Bryan (2006). Comparison of CALPUFF and ISCST3 models for predicting downwind odor and source emission rates. *Atmospheric Environment* **40**, 4663-4669.

Weil, J. C. and R. P. Brower, 1983: Estimating convective boundary layer parameters for diffusion applications. PPSP-MD-48, Maryland Power Plant Siting Program, Maryland Department of Natural Resources, Baltimore, MD, 45pp.

Williams R.L., Verrall K.A. (1991). Ammonia odour detection thresholds determined at the Q.D.P.I. Feedlot odour workshop. Division of Environment, Department of Environment and Heritage

Willis, G. E. and J. W. Deardorff, 1981: A laboratory study of dispersion in the middle of the convectively mixed layer. *Atmos. Environ.*, **15**, 109-117.

Winegar ED, Schmidt CC, (1998), “Jerome 631-X portable hydrogen sulfide sensor: laboratory and field evaluation”, Report to Arizona Instrument Corporation, 15p

World Health Organization (1981). *Hydrogen sulfide*. Geneva, Environmental Health Criteria, No. 19

World Health Organization. (1986). Ammonia. Environmental Health Criteria 54. Geneva.

World Health Organization (2000) Air Quality Guidelines - Second Edition. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark, 2000

Wright R. H. “The Sense of Smell”, CRC Press Inc, Florida, 1982

Wyngaard, J. C., 1988: Structure of the PBL. *Lectures on Air Pollution Modeling*. Venkatram, A. and Wyngaard, J. C., American Meteorological Society, 9-57pp.

Xing Y., Guo H., Feddes J., Yu Z., Shewchuck S., Predicala B. (2007). Sensitivities of four air dispersion models to climatic parameters for swine odor dispersion. *Transactions of the ASABE* **50** (3), 1007-1017.

Yu Z., Guo H., Xing Y. and Lague C. (2009). Setting acceptable odour criteria using steady-state and annual hourly weather data. *Biosystems Engineering* **103**, 329-337.

Zhu, J., L. Jacobson, and D. Schmidt. 1998. Modeling the Agricultural Odour Dispersion Using Atmospheric Dispersion Models. Paper presented at ASAE Meeting, Coronado Springs Resort Orlando, Florida. July 11-16. Paper No. 984056.

Zilitinkevich, S. S., 1972: On the determination of the height of the ekman boundary layer. *Bound.Layer Meteor.*, **3**, 141-145.