

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Πατενταλάκης Νίκος
Αριθμός μητρώου: 2000.05.0041

“ΜΕΤΡΗΣΗ ΒΙΟΑΕΡΟΖΟΛ ΣΕ ΜΟΝΑΔΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ”



Επιβλέπων καθηγητής: Καλογεράκης Νίκος
Μέλη επιτροπής : Μαντζαβίνος Διονύσης
Λαζαρίδης Μιχάλης

Περιεχόμενα

<u>1. Βιοαεροζόλ</u>	1
<u>1.1 Ορισμός του Βιοαεροζόλ</u>	1
<u>1.2 Προέλευση του Βιοαεροζόλ</u>	2
<u>1.3 Τυπικά μεγέθη των σωματιδίων Βιοαεροζόλ</u>	4
<u>1.4 Μηχανισμοί και αργές κίνησης του Βιοαεροζόλ</u>	5
<u>1.4.1 Μηχανισμοί μεταφοράς σωματιδίων</u>	5
<u>1.4.2 Αργές που διέπουν την κίνηση του Βιοαεροζόλ</u>	7
1.4.2.1 Κίνηση Brown.....	7
1.4.2.2 Κίνηση λόγω βαρύτητας.....	7
1.4.2.3 Ηλεκτροστατικές δυνάμεις.....	9
1.4.2.4 Θερμική στρωμάτωση και ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.....	9
1.4.2.5 Τυρβώδης διάχυση.....	10
1.3.2.6 Δυνάμεις αδράνειας.....	11
<u>1.5 Βασικοί παράγοντες επηρεασμού της βιωσιμότητας του βιοαεροζόλ</u>	13
<u>1.5.1 Αστάθεια λόγω δομής</u>	13
<u>1.5.2 Επίδραση σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας</u>	13
<u>1.5.3 Επίδραση του οξυγόνου</u>	14
<u>1.5.4 Επίδραση των εξωτερικών παραγόντων και άλλων ρυπαντών</u>	14
<u>1.5.5 Επίδραση της ακτινοβολίας</u>	14
<u>1.5.6 Επίδραση στους κολιφάγους (σ.σ. βακτήριο κατά των κολοβακτηριδίων)</u>	15
<u>1.5.7 Επίδραση στους ιούς</u>	15
<u>1.5.8 Επίδραση στα βακτήρια</u>	15
<u>1.6 Λόγοι μέτρησης επιπέδων Βιοαεροζόλ</u>	15

2. Μέθοδοι συλλογής και μέτρησης Βιοαεροζόλ	17
2.1 Εισαγωγή	17
2.2 Συλλογή Βιοαεροζόλ	17
2.2.1 Προϋποθέσεις συλλογής	17
2.2.1.1 Προϋποθέσεις ασφαλείας	17
2.2.1.2 Περιβαλλοντικές συνθήκες	18
2.2.1.3 Υπολογισμός της ροής του μετρούμενου αέρα	18
2.2.1.4 Προετοιμασία του δειγματοληπτικού μέσου	19
2.2.1.5 Τήρηση των κανόνων αποστείρωσης	19
2.2.1.6 Καθορισμός συνθηκών συλλογής	19
2.2.1.7 Επιλογή τοποθεσίας δειγματοληψίας	20
2.2.2 Μέθοδοι συλλογής Βιοαεροζόλ	21
2.2.2.1 Impaction	21
2.2.2.2 Συλλέκτες βαρύτητας	22
2.2.2.3 Συλλέκτες εμπύθισης (impingers)	22
2.2.2.4 Συστήματα φίλτρων	24
2.3 Ανάλυση και μέτρηση δειγμάτων	24
2.3.1 Μέθοδος καλλιέργειας	25
2.3.1.1 Επιλογή μέσου καλλιέργειας	25
2.3.1.2 Ανάπτυξη μικροοργανισμών	26
2.3.1.3 Αποτελέσματα της μεθόδου	27
2.3.1.4 Διορθωμένη συγκέντρωση	28
2.3.1.5 Μέθοδοι αναγνώρισης των αναπτυσσόμενων μικροοργανισμών	28
2.3.1.6 Ερμηνεία των δεδομένων	29
2.3.2 Μέτρηση με χρήση μικροσκοπίου φωτός	29
2.3.3 Μέτρηση με χρήση μικροσκοπίου φθορισμού	30
2.3.4 Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο	30
2.3.5 Μέτρηση ροής	31
2.3.6 Χρήση μικροβιακών συστατικών	31
2.3.7 Ανίχνευση άλλων ουσιών με μοριακή βιολογία	32
2.3.8 Μέθοδοι καλλιέργειας vs Μέθοδοι μη καλλιέργειας	32
2.3.9 Μέθοδος μέτρησης σε πραγματικό χρόνο	33
2.4 Προβλήματα στη διαδικασία συλλογής και μέτρησης Βιοαεροζόλ	36
3. Επιπτώσεις Βιοαεροζόλ στην ανθρώπινη υγεία	39
3.1 Εισαγωγή	39
3.2 Σχέση Βιοαεροζόλ με το ανθρώπινο περιβάλλον	39
3.3 Παθήσεις που σχετίζονται με την παρουσία Βιοαεροζόλ	40
3.3.1 Μολυσματικές Ασθένειες	41
3.3.2 Αναπνευστικές ασθένειες	42
3.3.3 Καρκίνος	43
3.4 Παράγοντες που προκαλούν ασθένειες	44
3.4.1 Μύκητες και βακτήρια	44
3.4.2 Ενδοτοξίνες	45
3.4.3 Μυκοτοξίνες	46
3.4.4 Αλλεργιογόνα	46
3.5 Προστατευτική δράση της μικροβιακής έκθεσης	46

4. Εργασία πεδίου	49
4.1. Σκοπός εργασίας	49
4.2 Χώρος μελέτης και συνθήκες μέτρησης	49
4.2.1 Εισαγωγικά	49
4.2.2 Τοποθεσίες μέτρησης και λήψης δειγμάτων	50
4.2.2.1 Μονάδα Επεξεργασίας Αστικών Λυμάτων Ηρακλείου Κρήτης	51
4.2.2.2 Μονάδα Επεξεργασίας Λυμάτων Βιομηχανικής Περιοχής Ηρακλείου Κρήτης	54
4.2.2.3 Κέντρο Έρευνας και Εφαρμογής Υδατικής Τεχνολογίας (Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ)	56
4.2.2.4 Υπηρεσία Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων Μεταμόρφωσης της Ε.ΥΔ.Α.Π.	59
4.2.3 Συνθήκες μέτρησης	61
4.2.3.1 Μονάδα Επεξεργασίας Αστικών Λυμάτων Ηρακλείου Κρήτης	62
4.2.3.2 Μονάδα Επεξεργασίας Λυμάτων Βιομηχανικής Περιοχής Ηρακλείου Κρήτης	62
4.2.3.3 Κέντρο Έρευνας και Εφαρμογής Υδατικής Τεχνολογίας (Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ)	62
4.2.3.4 Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Μεταμόρφωσης της Ε.ΥΔ.Α.Π.	63
4.2.4 Χρησιμοποιούμενα υλικά και μέθοδοι	63
4.2.4.1 Όργανο λήψης δειγμάτων αέρα	63
4.2.4.2 Θρεπτικό υλικό	64
4.2.5 Αντικείμενο μέτρησης	65
4.3 Παρουσίαση και σχολιασμός αποτελεσμάτων και μετρήσεων	65
4.3.1 Διαγράμματα όγκου δείγματος σε σχέση με την πυκνότητα CFU/m³	65
4.3.1.1 Μονάδα Επεξεργασίας Αστικών Λυμάτων Ηρακλείου Κρήτης	66
4.3.1.2 Μονάδα Επεξεργασίας Λυμάτων Βιομηχανικής Περιοχής Ηρακλείου Κρήτης	68
4.3.1.3 Κέντρο Έρευνας και Εφαρμογής Υδατικής Τεχνολογίας (Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ)	70
4.3.1.4 Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Μεταμόρφωσης της Ε.ΥΔ.Α.Π.	73
4.3.2 Διακύμανση τιμών ανά σημείο μέτρησης	76
4.3.2.1 Μονάδα Επεξεργασίας Αστικών Λυμάτων Ηρακλείου Κρήτης	76
4.3.2.2 Μονάδα Επεξεργασίας Λυμάτων Βιομηχανικής Περιοχής Ηρακλείου Κρήτης	80
4.3.2.3 Κέντρο Έρευνας και Εφαρμογής Υδατικής Τεχνολογίας (Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ)	82
4.3.2.4 Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Μεταμόρφωσης της Ε.ΥΔ.Α.Π.	86
4.3.3 Σύγκριση ίδιων διεργασιών διαφορετικών μονάδων επεξεργασίας	90
4.3.3.1 Μονάδες αερισμού	90
4.3.3.2 Σύγκριση τιμών δεξαμενών δευτεροβάθμιας καθίζησης	92
4.4 Συμπεράσματα	93

5. Μοντέλο υπολογισμού διασποράς Βιοαεροζόλ	95
5.1 Εισαγωγή	95
5.2 Μαθηματικά μοντέλα υπολογισμού βιωσιμότητας Βιοαεροζόλ	95
5.2.1 Μοντέλο ξήρανσης και θερμοκρασίας	96
5.2.2 Μοντέλο επίδρασης οξυγόνου και περιβαλλοντικού αέρα.....	100
5.2.3 Συμπεράσματα μαθηματικών μοντέλων	101
5.3 Μοντέλο ποιότητας αέρα.....	102
5.3.1 Μοντέλο Industrial Source Complex (ISC)	102
5.3.1.1 Εφαρμογή του μοντέλου	103
5.3.1.2 Συμπεράσματα εφαρμογής μοντέλου.....	105

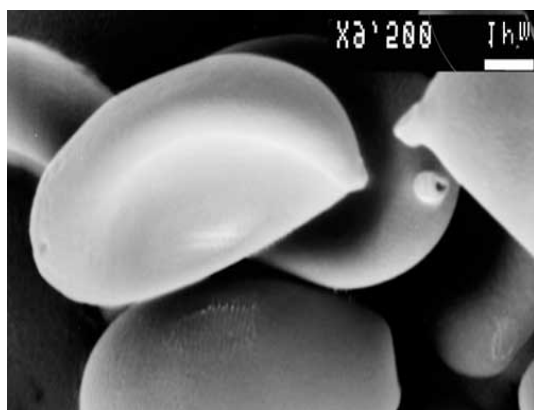
1. Βιοαεροζόλ

1.1 Ορισμός του Βιοαεροζόλ

Η διεθνής βιβλιογραφία περιέχει πληθώρα επιστημονικών ορισμών του όρου βιοαεροζόλ, με κάθε ορισμό να πηγάζει από το αντικείμενο έρευνας και την επιστημονική σκοπιά από την οποία αντιμετωπίζει ο εκάστοτε επιστήμονας το φαινόμενο. Ο γενικότερος ορισμός, σύμφωνα με τον C.S.Cox – Bioaerosols Handbook [1] δίνεται ως: “Βιοαεροζόλ είναι το αεροζόλ βιολογικής προέλευσης, και το οποίο ασκεί 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 ως 100 μm ”.



Ένας ακόμη περιεκτικότερος ορισμός δίνεται από τους B.Lighthart, A.J.Mohr – Atmospheric Microbial Aerosols [2] ως: “Βιοαεροζόλ ονομάζονται τα αιωρούμενα σωματίδια, μεγάλα μόρια ή πτητικά συστατικά που είναι ενεργά, περιέχουν ζώντες οργανισμούς ή ελευθερώθηκαν από ζωντανούς οργανισμούς. Το μέγεθος ενός σωματιδίου βιοαεροζόλ μπορεί να ποικίλει από 100 μικρά έως 0.01 μικρό. Η συμπεριφορά των βιοαεροζόλ καθορίζεται από τους νόμους της βαρύτητας, τους ηλεκτρομαγνητικούς νόμους, τη τύρβη και τη διάχυση. Τέλος, ένας



συμπληρωματικός ορισμός δίνεται από τους P.K.Morey, J.C.Feeley, J.A.Otten – Biological Contaminations in indoor Environments [3] ως: “Βιοαεροζόλ είναι τα αιωρούμενα σωματίδια, στερεά ή υγρής μορφής. Μπορούν σε μέγεθος να είναι μεγάλα μόρια ή πτητικά συστατικά. Περιέχουν ζώντες οργανισμούς.

Διαφέρουν σε μέγεθος, κυμαινόμενα από το κλάσμα ενός μικρού μέχρι περίπου 100 μικρά. Όμοια με τα σωματίδια της αδρανούς σκόνης, όλα τα σωματίδια βιοαεροζόλ

υπακούουν στο νόμο της βαρύτητας και επηρεάζονται από τις κινήσεις του αέρα και μεταφέρονται με τις αναταράξεις και τη διάχυση”.

Στο σύνολο τους οι ορισμοί περιέχουν το ίδιο νόημα, και δίνουν τις ίδιες βασικές πηγές προέλευσης και σχηματισμού των βιοαεροζόλ, καθώς και τους νόμους που κυβερνούν την κίνηση, μεταφορά και μετάδοση των σωματιδίων αυτών.

1.2 Προέλευση του Βιοαεροζόλ

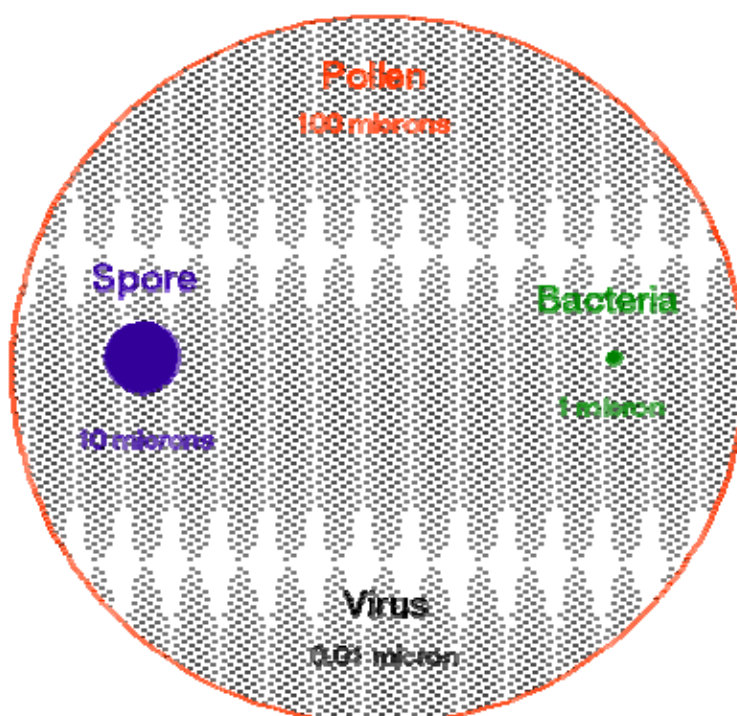
Η προέλευση του βιοαεροζόλ εντοπίζεται, γενικότερα, στο περιβάλλον καθ’ αυτό. Υπάρχουν αρκετοί τρόποι με τους οποίους βιολογικά υλικά μπορούν να δώσουν Βιοαεροζόλ: είτε μέσω φυσικών διεργασιών, είτε μέσω ατυχημάτων ή ακόμα και με εσκεμμένη εκπομπή τους στον αέρα. Κάθε ανθρώπινη ή ζωική δραστηριότητα μπορεί να δώσει Βιοαεροζόλ. Έτσι, Βιοαεροζόλ σχηματίζεται από τα κύτταρα (νεκρά ή ζωντανά) τα οποία ξεφεύγουν από την επιδερμίδα του ανθρώπου και των ζώων, ακόμα και σε περίπτωση που οι άνθρωποι είναι ντυμένοι. Ενέργειες όπως το φτάρνισμα και ο βήχας μπορούν να οδηγήσουν στην αεριοποίηση βακτηρίων, W.D.Griffiths, G.A.L.DeCosemo – The assessment of Bioaerosols: A critical review [7]. Βιοαεροζόλ προκύπτει και από την επιφάνεια των φύλλων και του κορμού των φυτών, καθώς και από μικροοργανισμούς (βακτήρια, μύκητες, μούχλα κ.α) οι οποίοι προσκολλώνται σε αιρούμενα σωματίδια, τα οποία γίνονται ο φορέας τους, και με αυτούς ταξιδεύουν με την κίνηση του αέρα και άλλες μεθόδους που θα περιγραφούν παρακάτω. Η επίδραση του αέρα στο έδαφος, ανατάραξη του νερού και η πτώση των σταγόνων της βροχής στο έδαφος, είναι οι μεγαλύτερες πηγές βιοαεροζόλ. Η καλλιέργεια της γης και η επεξεργασία των λυμάτων και αποβλήτων είναι επίσης σημαντικοί παράγοντες. Συγκεκριμένα, η έκρηξη των φυσαλίδων του αέρα, που παρέχεται στις δεξαμενές αερισμού ως παροχή οξυγόνου στην διαδικασία της βιοαποικοδόμησης, μόλις αυτές φτάσουν στην επιφάνεια της δεξαμενής, είναι σημαντική πηγή Βιοαεροζόλ για το περιβάλλον M.Orsini, P.Laurenti, F.Boninti, D.Arzani, A.Ianni, V.Romano-Spica – A molecular typing approach for evaluating bioaerosol exposure in wastewater treatment plant workers [8]. Τέλος, γεωργικές δραστηριότητες όπως η εκτροφή ζώων, διεργασίες επεξεργασίας τροφίμων, ιδιαίτερα γαλακτοκομικών προϊόντων παράγουν υψηλές τιμές βιοαεροζόλ [2].

Όσο αναφορά τους εσωτερικούς χώρους, ο σχηματισμός των βιοαεροζόλ οφείλεται, όπως περιγράφεται από τους Paul A. Jensen, Ph.D., PE, CIH και Millie P. Schafer, Ph.D., NIOSH/DPSE - SAMPLING AND CHARACTERIZATION OF BIOAEROSOLS [4], στις συνθήκες που επικρατούν στους χώρους εργασίας σε θερμά κλίματα (κίνηση πολλών ατόμων, ύπαρξη φυτών και λειτουργία κλιματιστικών), σε συνδυασμό με τον ελλιπή αερισμό των κτηρίων αυτών και ανανέωση του εσωτερικού αέρα, που περιέχει υψηλές συγκεντρώσεις βιοαεροζόλ με εξωτερικό αέρα. Παρομοίως, οι υδρατμοί, που σε άλλες περιπτώσεις θα είχαν εξαχθεί στο εξωτερικό περιβάλλον, συμπυκνώνονται σε ψυχρές επιφάνειες, με τον ίδιο τρόπο που συμβαίνει στα ελλιπώς μονωμένα κτήρια, χωρίς κλιματιστικά, και δημιουργούν συνθήκες για την μικροβιακή ανάπτυξη που σχετίζεται με τη δημιουργία βιοαεροζόλ, Brian Flannigan, Department of Biological Sciences, Heriot-Watt University, AIR SAMPLING FOR FUNGI IN INDOOR ENVIRONMENTS [5]. Τέλος οι νοσοκομειακές εγκαταστάσεις και κέντρα περίθαλψης, που δεν αποτελούν απλά πηγές βιοαεροζόλ αλλά και χώρους που η παρουσία αυτών είναι βλαβερή, επομένως η μέτρηση και αντιμετώπιση της εκπομπής σε αυτούς τους χώρους είναι απαραίτητη [3]. Γενικότερα, στους εσωτερικούς χώρους η παραγωγή βιοαεροζόλ συνδέεται άμεσα με τη Νόσο του Νοσούντως Κτιρίου, που είναι νέο παρατηρηθέν φαινόμενο, και αντικείμενο ιατρικής έρευνας.

Αναφορικά, η ποσοστιαία κατανομή των όγκων της συνολικής αερόβιας μικροβιακής ύλης (Βιοαεροζόλ) που δημιουργείται από βιολογικό υλικό σε απομακρυσμένες περιοχές, κατοικημένες περιοχές και απομακρυσμένα θαλάσσια περιβάλλοντα είναι 28%, 22% και 10% αντίστοιχα, Alan M.Jones, Roy M.Harrison – The effects of meteorological factors on atmospheric bioaerosol concentrations-a review [10]. Από αυτή τη παρατήρηση μπορούμε να συμπεράνουμε ότι ο σχηματισμός Βιοαεροζόλ δεν είναι κάτι που οφείλεται στην ανθρώπινη δραστηριότητα, ή είναι ένα νέο φαινόμενο, αλλά ότι είναι μια φυσική διαδικασία. Ο σχηματισμός και η ύπαρξη του, όμως, σε κατοικημένες περιοχές και εσωτερικούς χώρους κτηρίων έχει αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου, όπως θα αναφερθεί στη συνέχεια.

1.3 Τυπικά μεγέθη των σωματιδίων Βιοαεροζόλ

Τα μεγέθη των σωματιδίων του Βιοαεροζόλ ποικίλουν ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού τους και την πηγή τους. Τα μεγέθη κυμαίνονται από 15 έως 400 nm για τους ιούς, σε 0.3 με 10 μm για τα βακτήρια, μέχρι και τα 1 με 100 μm για τα σπόρια των μυκήτων, τη γύρη, τη σκόνη από τις διεργασίες, K.Wittmaack, H.Wehtes, U.Heinzmann, R.Agerer – An overview on bioaerosols viewed by scanning electron microscopy, in press [9]. Συγκεκριμένες μετρήσεις, που έχουν γίνει σε μικροοργανισμούς, έχουν δείξει ότι: Για τη γύρη των ανεμόφυλλων φυτών οι τυπικές διάμετροι είναι 17 με 58 μm (Stanley and Linskins, 1974), στα μυκητοσπόρια 1 με 30 μm (Gregory, 1973), τα βακτήρια κυμαίνονται από .025 έως 8 μm (Thompson, 1981) ενώ οι ιοί έχουν διάμετρο μικρότερη από 0.3 μm (Taylor, 1988) [10]. Στην ακόλουθη εικόνα φαίνεται η αναλογία της τάξης των μεγεθών των σωματιδίων που αποτελούν το Βιοαεροζόλ.



Σχηματική απεικόνιση της αναλογίας των μεγεθών των σωματιδίων που αποτελούν το Βιοαεροζόλ. Χαρακτηριστική είναι η διαφορά της τάξης μεγεθών του ιού με τα βακτήρια (10^2), με το δεύτερο να είναι μια απλή τελεία, που δείχνει πόσο μικρό μέγεθος έχει ένας ιός.

Η τυπική πυκνότητα των σωματιδίων Βιοαεροζόλ κυμαίνεται μεταξύ 0.9 και 1.3 g/cm³, ενώ η συνηθέστερα χρησιμοποιούμενη τιμή για τους υπολογισμούς είναι τα 1.1 g/cm³ [1].

1.4 Μηχανισμοί και αρχές κίνησης του Βιοαεροζόλ

Το κοινό χαρακτηριστικό όλων των αεροζόλ είναι η αεροδυναμική τους συμπεριφορά, και συγκεκριμένα για τα βιοαεροζόλ συμπεριλαμβάνονται και οι νόμοι που αφορούν τις βιολογικές τους ιδιότητες (π.χ βιωσιμότητα). [1]. Η συμπεριφορά οποιουδήποτε σωματιδίου στην ατμόσφαιρα θα εξαρτηθεί από το μέγεθος του, την πυκνότητα του και το σχήμα του. Επίσης, οι αντιδράσεις στις οποίες θα συμμετέχει ένα χημικό συστατικό (ρύπος) είναι μια σημαντική πλευρά της τύχης του στο περιβάλλον, Περιβαλλοντικά μοντέλα – Τύχη και μεταφορά ρύπων στον Αέρα, Νερό και Έδαφος, Jerald L.Schnoor [11]. Η αεροδυναμική διάμετρος ενός σωματιδίου ορίζεται ως η διάμετρος ενός ισοδύναμου σωματιδίου, που συμπεριφέρεται με τον ίδιο τρόπο με το σωματίδιο υπό εξέταση, αλλά είναι σφαιρικό και έχει πυκνότητα ενός γραμμαρίου ανά κυβικό εκατοστό [10].

1.4.1 Μηχανισμοί μεταφοράς σωματιδίων

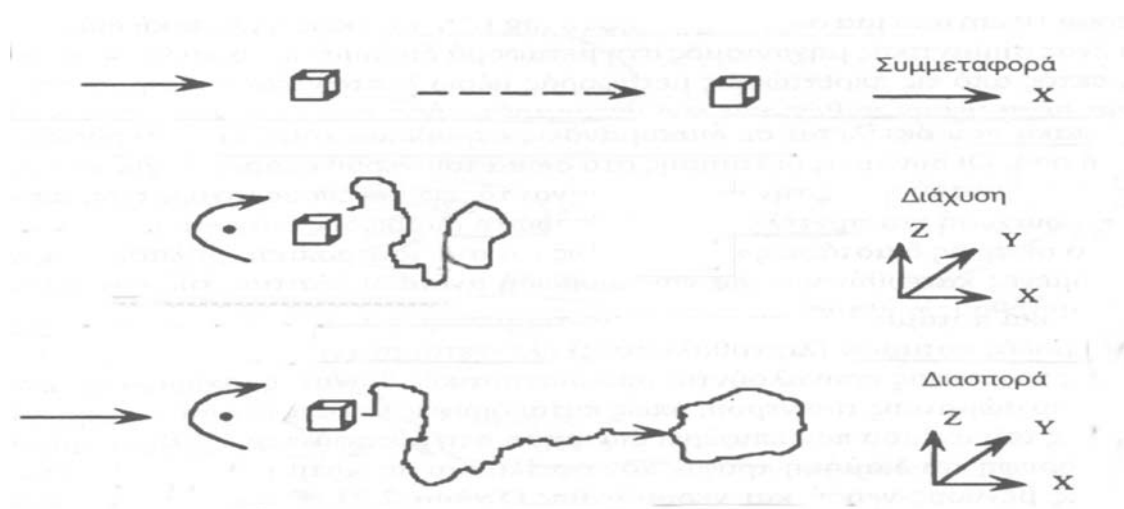
Όταν ένα σωματίδιο ξεφεύγει από το φυσικό του περιβάλλον (π.χ έδαφος) και γίνεται μέρος του αερίου μέσου, τότε η κίνηση του καθορίζεται από τρεις βασικούς μηχανισμούς μεταφοράς μάζας.

Πρώτος μηχανισμός μεταφοράς είναι η συμμεταφορά. Όπως ορίζει και η λέξη, συμμεταφορά έχουμε όταν το εν λόγω σωματίδιο μεταφέρεται μέσα στο μέσο με την ταχύτητα αυτού, χωρίς η κίνηση του αυτή να εξαρτάται από τη δική του ταχύτητα. Έτσι, συμμεταφορά σωματιδίων Βιοαεροζόλ έχουμε όταν υπάρχει άνεμος, ο οποίος μεταφέρει τα σωματίδια αυτά ανάλογα με την ταχύτητα του και τη διεύθυνση του, αποτελώντας σημαντικό παράγοντα στην απόσταση που αυτά είναι ικανά να καλύψουν [11].

Δεύτερος βασικός μηχανισμός μεταφοράς των σωματιδίων είναι η διάχυση. Αντίθετα με τη συμμεταφορά, η διάχυση είναι ένας μηχανισμός μεταφοράς ο οποίος δεν χρειάζεται κίνηση από το περιβάλλον μέσο για να μετακινηθούν τα σωματίδια. Διάχυση είναι η ανάμιξη των αιωρούμενων σωματιδίων εξαιτίας της τυχαίας κίνησης των μορίων του αέρα. Η κίνηση προκαλείται από τις κινητικές ενέργειες της μοριακής κίνησης μετατόπισης, περιστροφής και δόνησης. Στην ουσία, η μοριακή διάχυση αντιπροσωπεύει μια αύξηση εντροπίας, όπου τα αιωρούμενα σωματίδια κινούνται από περιοχές υψηλής συγκέντρωσης σε αντίστοιχες περιοχές χαμηλής συγκέντρωσης, σύμφωνα με το νόμο διάχυσης του Fick. Η κίνηση των σωματιδίων λόγω της διάχυσης είναι μια πολύ αργή διαδικασία και, σε περιπτώσεις ύπαρξης άλλου μηχανισμού, συνηθίζεται να παραβλέπεται. Μπορεί, όμως, να αποτελέσει σημαντικό μηχανισμό μεταφοράς σε περιπτώσεις ακινησίας του μέσου [11]

Τρίτος βασικός μηχανισμός μεταφοράς των σωματιδίων είναι η διασπορά. Στην περίπτωση της διασποράς, έχουμε αλληλεπίδραση μιας μορφής διάχυσης, της τυρβώδους διάχυσης, και των πεδίων ταχύτητας λόγω των διατμητικών δυνάμεων του μέσου. Η αλληλεπίδραση αυτή δημιουργεί ακόμη μεγαλύτερο βαθμό ανάμιξης, με τα σωματίδια να κινούνται λόγω του στροβιλισμού μικρής κλίμακας στο μέσο (τυρβώδης διάχυση) και της ταυτόχρονης κίνησης του μέσου [11]. Ο τρίτος αυτός μηχανισμός είναι σημαντικός σε περιπτώσεις που δεν υπάρχει σημαντική κίνηση του μέσου, και μεταφέρει το σωματίδιο και σε άλλες κατευθύνσεις, εκτός αυτής της κίνησης του μέσου.

Ο τρόπος μεταφοράς ενός σωματιδίου, ανάλογα με το μηχανισμό μεταφοράς, παρουσιάζεται στο ακόλουθο σχήμα.



Σχηματική αναπαράσταση των μηχανισμών μεταφοράς (1) Συμμεταφορά, κίνηση των σωματιδίων με την ταχύτητα του μέσου, (2) Διάχυση, κίνηση λόγω της κίνησης των μορίων του μέσου, (3) Διασπορά, μεταφορά μέσω των πεδίων ταχύτητα του μέσου και της κίνησης των μορίων αυτού [11].

1.4.2 Αρχές που διέπουν την κίνηση του Βιοαεροζόλ

Εκτός από τους βασικούς μηχανισμούς μεταφοράς των σωματιδίων που αναφέρθηκαν παραπάνω, τα σωματίδια υπακούν, όσο αναφορά την κίνηση τους στο χώρο, και σε κάποιες βασικές αρχές κίνησης, που εξαρτώνται από την φύση και τα χαρακτηριστικά αυτών. Παρακάτω παρατίθενται οι βασικοί νόμοι τους οποίους ακολουθούν τα σωματίδια βιοαεροζόλ κατά την κίνηση τους στον αέρα καθώς και οι παράγοντες που την επηρεάζουν.

1.4.2.1 Κίνηση Brown

Τα σωματίδια του βιοαεροζόλ βομβαρδίζονται συνεχώς από μόρια του περιβάλλοντος μέσου, τα οποία κινούνται τυχαία. Κάθε μεταδιδόμενη κίνηση είναι επίσης τυχαία, και το ολικό αποτέλεσμα είναι ότι τα μικρότερα σωματίδια βιοαεροζόλ περιστρέφονται γύρω από ένα σημείο το οποίο κινείται. Αυτή η μορφή της κίνησης ονομάζεται Κίνηση Brown και η ένταση της αυξάνει με την θερμοκρασία και μειώνεται με τη μείωση του μεγέθους των σωματιδίων.

Η κίνηση περιγράφεται από την εξίσωση του Αϊνστάιν, που στην απλοποιημένη της μορφή είναι :

$$\overline{X} = 5 \times 10^{-6} \sqrt{(t/r)}$$

με $\overline{X}$ τη τετραγωνική ρίζα της μέσης τιμής της μετατόπισης,

t ο χρόνος σε δευτερόλεπτα

r η ακτίνα του σωματιδίου σε cm

Για σωματίδια μεγαλύτερα του 1 μm , η διάχυση λόγω της κίνησης Brown είναι μικρότερη από την καθίζηση λόγω βαρύτητας [1].

1.4.2.2 Κίνηση λόγω βαρύτητας

Ένα σωματίδιο, σε ένα δοχείο χωρίς ροή αέρα, πέφτει εξαιτίας του βαρυντικού πεδίου, με μια ταχύτητα ανάλογη της μάζας του. Για σωματίδια μεγαλύτερα του ενός μικρού, η διάχυση λόγω βαρύτητας είναι η πιο σημαντική. Για σφαιρικά σωματίδια η

τελική ταχύτητα (ταχύτητα στην οποία η δύναμη που ασκείται στο σωματίδιο λόγω της ύπαρξης της βαρύτητας έχει εξισορροπηθεί από την δύναμη που ασκείται στο σωματίδιο λόγω της τριβής με το περιβάλλον μέσο), σε ήπιες ατμοσφαιρικές συνθήκες, δίνεται από την εξίσωση:

$$V = 3.2 \cdot 10 \rho d^2$$

όπου ρ η πυκνότητα του σωματιδίου, συνήθως 1.1 g/cm^3

d η διάμετρος του σωματιδίου, σε cm

έτσι ώστε, για παράδειγμα, ένα σωματίδιο μεγέθους $10 \mu\text{m}$ πέφτει με μια ταχύτητα της τάξης των 0.32 cm/sec . Ακόμη, όμως, και αυτός ο υπολογισμός ισχύει για το 1% των σωματιδίων αυτού του μεγέθους, καθώς τα μικρότερα σωματίδια περνάνε ανάμεσα από την μέση ελεύθερη διαδρομή των μορίων του αέρα. Για σωματίδια μικρότερα των $0.5 \mu\text{m}$ η τελική ταχύτητα είναι κοντά στο μηδέν [2]. Ο ρυθμός με τον οποίο τα σωματίδια κατακάθονται από την ατμόσφαιρα μέσω της τυρβώδους εναπόθεσης μπορεί να παραστεί με όρους ταχύτητας εναπόθεσης, που είναι συνάρτηση της αεροδυναμικής διαμέτρου του σωματιδίου (Nicholson, 1996) [10].

Αποτέλεσμα της κίνησης αυτής των σωματιδίων του Βιοαεροζόλ, λόγω της βαρύτητας, είναι η μείωση της συγκέντρωσής τους με το χρόνο και την απόσταση. Τέτοιου είδους απώλειες ονομάζονται ‘φυσικές απώλειες’ ή ‘φυσική θνησιμότητα’. Σε αυτή τη κατηγορία ανήκουν και απώλειες λόγω άλλων δυνάμεων, πλην της βαρυτικής, όπως οι ηλεκτροστατικές δυνάμεις, η θερμική στρωμάτωση κ.α. Η διαφοροποίηση γίνεται για να διαχωριστεί αυτός ο τρόπος των απωλειών από το ‘βιολογικό θάνατο’ των μικροοργανισμών, που οφείλεται σε διαφορετικούς παράγοντες.

Μια απλή προσέγγιση του φαινομένου είναι η μοντελοποίηση του, με το μοντέλο της ‘φυσικής θνησιμότητας’, που παριστά το φαινόμενο ως μιας πρώτης τάξης διαδικασία, ως:

$$N_t = N_0 \exp(-kt)$$

όπου: N_0 ο αριθμός των σωματιδίων σε χρόνο 0

N_t ο αριθμός των σωματιδίων σε χρόνο t
 k η πρώτη τάξεως σταθερά ρυθμού θνησιμότητας

Από την παραπάνω σχέση προκύπτει και η λογαριθμική μορφή της εξίσωσης, ως:

$$\ln \frac{N_t}{N_0} = -kt$$

της οποίας το γράφημα του λογαρίθμου των συγκεντρώσεων συναρτήσει του χρόνου δίνει μια, σχεδόν, ευθεία γραμμή, αρνητικής κλίσης ($-k$). Οι τιμές του k είναι συνάρτηση των συνθηκών βαρυτικής καθίζησης.

1.4.2.3 Ηλεκτροστατικές δυνάμεις

Οι επιδράσεις που οφείλονται στις ηλεκτροστατικές δυνάμεις τείνουν να περνούν απαρατήρητες από τους μελετητές. Παρόλο που το σύνολο του βιοαεροζόλ έχουν ουδέτερο φορτίο, τα σωματίδια του βιοαεροζόλ καθαυτά είναι τυχαίως φορτισμένα, σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό, σύμφωνα με την εξίσωση κατανομής Boltzman. Οι επιπτώσεις του υψηλού φορτίου των σωματιδίων περιλαμβάνουν την γρήγορη μείωση της μάζας των αεροζόλ, λόγω της αυξημένης επιφανειακής εναπόθεσης και συσσώρευσης [2],[1]. Περαιτέρω έρευνα σχετικά με τις ηλεκτροστατικές δυνάμεις είναι υπό διεξαγωγή, ενώ σχεδιάζονται και μαθηματικά μοντέλα υπολογισμού των επιπτώσεων των ηλεκτροστατικών δυνάμεων στην διαδικασία της συλλογής και της διήθησης.

1.4.2.4 Θερμική στρωμάτωση και ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

Οι θερμοκρασιακές διαβαθμίσεις (ή κλίση της θερμότητας) μπορούν να είναι υπεύθυνες για την κίνηση των αεροζόλ, καθώς τα σωματίδια ταξιδεύουν από ένα θερμότερο σε ένα ψυχρότερο κλίμα. Όταν μια πλευρά του σωματιδίου είναι θερμότερη από την άλλη, προκύπτει μια δύναμη που δημιουργεί την κίνηση του σωματιδίου. Τα σωματίδια του αεροζόλ αντιδρούν και με την ηλεκτρομαγνητική

ακτινοβολία, κυρίως λόγω ανάκλασης, διάθλασης, απορρόφησης και διασκόρπισης. Τα διαφανή σωματίδια κινούνται προς τις πηγές θερμότητας, καθώς δρουν ως φακοί, συγκεντρώνοντας ενέργεια στην κυρτή πλευρά. Τα μη διαφανή σωματίδια κινούνται στην αντίθετη κατεύθυνση. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται θερμοφορισμός και φωτοφορισμός, αντίστοιχα [1],[2].

1.4.2.5 Τυρβώδης διάχυση

Όταν ο αέρας κινείται γρήγορα, αντί να ρέει ομαλά (Στρωτή ροή), η ροή είναι ασταθής ή τυρβώδης, και η μετάβαση μεταξύ των δύο κατηγοριών καθορίζεται από τον αριθμό Reynolds, μια αδιάστατη ποσότητα. Στην στρωτή ροή τα σωματίδια μεταφέρονται με το ρεύμα του αέρα, μαζί με τα μόρια του αέρα, αλλά στις αλλαγές διεύθυνσης του ανέμου τα βαρύτερα σωματίδια βιοαεροζόλ αποσπώνται από τις γραμμές ροής. Ως αποτέλεσμα, τα σωματίδια μπορεί να κατακάθονται στις κυρτές επιφάνειες ή επιφάνειες με γωνίες. Αν θεωρήσουμε τη ροή σε ένα κυρτό σωλήνα, όπου η γραμμική ταχύτητα του αέρα δίνεται από τη σχέση:

$$V = \frac{Q}{\pi(D/2)^2}$$

όπου Q είναι η ροή, σε cm³/s

D η διάμετρος του σωλήνα, σε cm

Για την ροή, ο αριθμός του Reynolds δίνεται από τη σχέση

$$Re = \frac{\rho VD}{\mu}$$

όπου D η διάμετρος του σωλήνα, σε cm

ρ η πυκνότητα του αέρα, g/cm³

και μ το ιξώδες του αέρα, g/cm·s⁻¹

Παρ' όλο που αυτή η ροή μπορεί να είναι στρωτή, ο αριθμός του Reynolds για ένα σωματίδιο, στο οποίο ασκούνται μεγαλύτερες δυνάμεις αδράνειας, δίνεται ως:

$$Re_p = \frac{\rho V_p r}{\mu}$$

όπου r η διάμετρος του σωματιδίου, cm

V_p η ταχύτητα του σωματιδίου, cm/s

Η ταχύτητα των σωματιδίων δίνεται από το νόμο του Stokes για τα σφαιρικά σωματίδια:

$$V_p = \frac{\rho d^2 V^2}{18 \mu R}$$

όπου ρ η πυκνότητα των σωματιδίων, gm/cm³

d η διάμετρος των σωματιδίων, σε cm

R η ακτίνα της κλίσης του σωλήνα, σε cm

Για τη στρωτή ροή στην οποία το σωματίδιο δέχεται τύρβη, η εναπόθεση είναι πολύ πιθανό να συμβεί. Για την τυρβώδη ροή, η εναπόθεση είναι λιγότερο πιθανή. Αυτή η παρατήρηση είναι πολύ σημαντική στο σχεδιασμό των δειγματοληπτών που έχουν ως αρχή λειτουργίας την αδράνεια [2].

1.3.2.6 Δυνάμεις αδράνειας

Η δύναμη της αδράνειας θα περιγραφεί με τον τρόπο που λειτουργεί στους συλλέκτες αδράνειας. Συλλέκτες αδράνειας είναι συσκευές που αποτελούνται από (ή λειτουργούν με) ρεύματα αέρα, τα οποία μπορεί να κλείνουν ή όχι, και έχουν γωνιακές ή κυκλικές διασταυρώσεις. Από κάτω από τα ρεύματα αέρα βρίσκονται οι επιφάνειες πρόσκρουσης, και ο φορτωμένος με σωματίδια αέρας ροφάται με τέτοιο τρόπο ώστε όταν το ρεύμα αέρα πλησιάσει την επιφάνεια πρόσκρουσης να αλλάζει

Μέτρηση Βιοαεροζόλ σε Μονάδες Επεξεργασίας Λυμάτων

διεύθυνση. Τα μεταφερόμενα σωματίδια, λόγω της αδράνειας της ορμής, διασχίζουν τις γραμμές ροής και κατευθύνονται προς την επιφάνεια πρόσκρουσης.

Σε μια τέτοια περίπτωση, η απόσταση που διανύεται από το σωματίδιο είναι ίση με το γινόμενο της ταχύτητας του, τη χρονική στιγμή εκείνη, με τον χρόνο:

$$D = v \times t$$

όπου D η απόσταση

$$t \text{ ο χρόνος, με } t = \frac{L}{V}$$

όπου L το μήκος της καμπύλης τροχιάς

V η ταχύτητα του αέρα

$$\text{επομένως : } v = \frac{DV}{L}.$$

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι:

$$v = \frac{\rho d^2 V^2}{18\eta R}$$

επομένως:

$$\frac{DV}{L} = \frac{\rho d^2 V^2}{18\eta R}$$

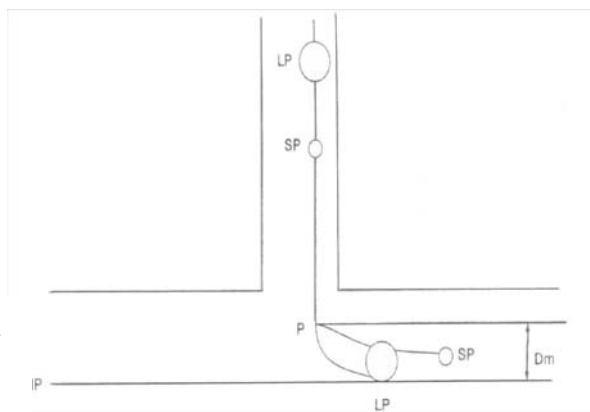
ή:

$$D_m = \frac{d^2 V}{18\eta} \frac{L}{R}$$

με το L/R να είναι αδιάστατη ποσότητα ίση με 1.56. Η ποσότητα D_m είναι γνωστή ως: ‘Απόσταση σταματήματος Sinclair’ και είναι η κάθετη απόσταση την οποία ένα σωματίδιο διανύει, μετά από μια αλλαγή διεύθυνσης. Καθορίζει την πιθανότητα ένα τυχαίο σωματίδιο να συγκρουστεί με την επιφάνεια συλλογής.

Στο διπλανό σχέδιο μπορούμε να δούμε την αρχή λειτουργίας των συλλεκτών αδράνειας. Στο σχέδιο, το

Ιδανική πρόσκρουση σε ένα ρεύμα αέρα.
 D_m η απόσταση σταματήματος [1].



μεγαλύτερο σωματίδιο έχει μια απόσταση σταματήματος μεγαλύτερη από τη διάμετρο του σωλήνα εξόδου, επομένως το σωματίδιο προσκρούεται, αντίθετα με το μικρότερο σωματίδιο, του οποίου η απόσταση σταματήματος είναι μικρότερη από την διάμετρο εξόδου. Μια συνέπεια αυτής της αρχής είναι ότι η αποτελεσματικότητα της συλλογής σωματιδίων με αυτή τη μέθοδο εξαρτάται τόσο από το μέγεθος του σωματιδίου, όσο και από τη ροή του αέρα.

1.5 Βασικοί παράγοντες επηρεασμού της βιωσιμότητας του βιοαεροζόλ

1.5.1 Αστάθεια λόγω δομής

Ένας πρώτος λόγος επηρεασμού της βιωσιμότητας των μικροβίων και των αλλεργιογόνων είναι η ίδια τους η θερμοδυναμική σταθερότητα, με τις μεμβράνες τους να είναι ελάχιστα σταθερές και τα νουκλεϊκά οξέα ακόμη περισσότερο. Επομένως, οι περισσότεροι μικροοργανισμοί επηρεάζονται από λόγους που σχετίζονται με την επίδραση πιεστικών (stressing) συνθηκών σε αυτούς. Λόγω της διαφοράς στην ενέργεια που ασκεί κάθε παράγοντας επηρεασμού στο σωματίδιο, κάθε παράγοντας πίεσης, μικροοργανισμοί διαφορετικής σταθερότητας ενδέχεται να επιβιώνουν υπό διαφορετικές συνθήκες (ξήρανση, ακτίνες UV, σχετική υγρασία, θερμοκρασία κ.α).

1.5.2 Επίδραση σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας

Πολλά βιολογικά υλικά είναι υγροσκοπικά και επιδεικνύουν υστέρηση στις ισόθερμες απορρόφησης νερού. Επομένως, τα περισσότερα μικρόβια (που περιέχουν νουκλεϊκά οξέα, πρωτεΐνες και υδρογονάνθρακες) έχουν ισόθερμες απορρόφησης όπως η παρακάτω, για τον οργανισμό *Serratia marcescens*.

Μετά την δημιουργία του βιοαεροζόλ, οι συνθήκες ανταλλαγής νερού μεταξύ μικροοργανισμού και περιβάλλοντος εξαρτώνται από την επικρατούσα σχετική υγρασία, αλλά λόγω της υστέρησης, η ισορροπία νερού εξαρτάται από τη διεύθυνση της ροής του νερού. Η αποθήκευση σε μια τιμή σχετικής υγρασίας, επομένως, δίνει στην

πράξη, μεγαλύτερες σταθερές ισορροπίας νερού για την αφυδάτωση, παρά για την εφίδρωση [1].

1.5.3 Επίδραση του οξυγόνου

Η τοξικότητα του οξυγόνου στο βιοαεροζόλ που αποτελείται από φυτικά βακτήρια παρατηρείται μόνο σε περιβάλλοντα με σχετική υγρασία μικρότερη του 70% και αυξάνεται με την αύξηση της συγκέντρωσης του οξυγόνου, μέχρι την τάξη του 30%.

1.5.4 Επίδραση των εξωτερικών παραγόντων και άλλων ρυπαντών

Ρυπαντές, όπως το SO_x και το NO_x , γενικότερα, έχουν μικρότερη επίδραση στο βιοαεροζόλ, από ότι το όζον, ενώ η τοξικότητα του όζοντος μεγιστοποιείται, ακολουθούμενη από τις ατμοσφαιρικές ολεφίνες που υπάρχουν στα καύσιμα. Γενικότερα, η επιβίωση των βιοαεροζόλ στο εξωτερικό περιβάλλον, για πολλές κατηγορίες μικροοργανισμών είναι μικρότερη στο εξωτερικό περιβάλλον, από ότι σε εσωτερικό περιβάλλον. Λόγω της οξειδωτικής δράσης των OAF's (Ozone-olefin), τα υποκείμενα βιοαεροζόλ μπορεί να δείξουν ανάλογη χημική μετάλλαξη. Ένα παράδειγμα είναι ότι, στις περισσότερες περιπτώσεις, η διάδοση ασθενειών λόγω των σωματιδίων στον αέρα είναι πιθανότερο να συμβούν σε εσωτερικό περιβάλλον, παρά σε εξωτερικό, υπό αυτές τις συνθήκες, αν ο κλιματισμός δεν είναι σωστός [1].

1.5.5 Επίδραση της ακτινοβολίας

Η επίδραση της ακτινοβολίας στα σωματίδια του βιοαεροζόλ τείνει να ακολουθήσει αυτές που παρατηρούνται σε υδατικά περιβάλλοντα ή όταν επιδράει με την στερεή επιφάνεια, αλλά αυξάνεται λόγω της ξήρανσης και του οξυγόνου. Η πιο δυνατή ενεργειακά ακτινοβολία (ακτίνες γ, ακτίνες χ, UV) επιφέρει ενδιάμεσες αντιδράσεις ελεύθερων ριζών, καταστρέφοντας έτσι τα νουκλεϊκά οξέα, τις πρωτεΐνες, τα σάκχαρα, τα λιπίδια και τις μεμβράνες, συμπεριλαμβάνοντας και το σχηματισμό διμερών δεσμών θυμίνης-θυμίνης, σπάσιμο του νήματος του DNA και των αλληλένδετων δεσμών των πρωτεϊνών, τη διάσπαση και το πολυμερισμό. Η πολύ υψηλή ακτινοβολία σπάει τους ομοιοπολικούς δεσμούς απευθείας [1].

1.5.6 Επίδραση στους κολιφάγους (σ.σ. βακτήριο κατά των κολοβακτηριδίων)

Οι T3 κολιφάγοι, όταν διασπείρονται από υγρό περιβάλλον, επιδεικνύουν βέλτιστη βιωσιμότητα όταν αποθηκεύονται σε περιβάλλον με ποσοστά υγρασίας μεγαλύτερα του 75%, ενώ η βιωσιμότητα τους μειώνεται για μικρότερα μεγέθη. Σε ποσοστά σχετικής υγρασίας μικρότερα του 75%, ο βαθμός ξήρανσης είναι αρκετός να καταστήσει τους δεσμούς που συγκρατούν το κεφάλι και την ουρά του κολιφάγου αδύναμους και εύθραυστους [1].

1.5.7 Επίδραση στους ιούς

Η ικανότητα των ιών να παραμένουν ενεργοί μπορεί να επηρεαστεί σε μεγάλο βαθμό από τη σύνθεση του υγρού εκπομπής. Ο βαθμός της υδροφοβίας του ιού, και η φύση και συγκέντρωση των αλάτων στο περιβάλλον μπορούν να είναι σημαντικά, έχοντας ως κοινό σημείο την καταστροφή του δακτυλίου του ιού να είναι το κύριο σημείο καταστροφής [1].

1.5.8 Επίδραση στα βακτήρια

Καθώς τα βακτήρια είναι πιο πολύπλοκα βιοχημικά, δομικά και σε οργάνωση, τα βακτήρια αναμένεται να έχουν περισσότερο πολύπλοκους μηχανισμούς αδρανοποίησης από ότι οι φάγοι και οι ιοί. Έτσι, μερικά βακτήρια πρέπει να επέλθουν σε συνθήκες της τάξης του 20% υγρασία για να αρχίσουν να επηρεάζονται από το περιβάλλον [1].

1.6 Λόγοι μέτρησης επιπέδων Βιοαεροζόλ

Δεδομένης της προέλευσης του Βιοαεροζόλ, κρίνεται σημαντική η ανάγκη μέτρησης των σωματιδίων αυτών στον περιβάλλον αέρα, είτε πρόκειται για εξωτερικούς χώρους είτε για το εσωτερικό κτηρίων. Οι κύριοι λόγοι για τους οποίους πρέπει να γίνονται μετρήσεις των επιπέδων του Βιοαεροζόλ είναι, γενικότερα, τρεις.

Πρώτον, για να μπορεί μια μονάδα (είτε αυτή πρόκειται για μονάδα βιομηχανίας της οποίας οι διεργασίες οδηγούν στον σχηματισμό ποσοτήτων Βιοαεροζόλ, είτε για μονάδες επεξεργασίας λυμάτων, είτε για άλλου είδους δραστηριότητες) να θέτει στόχους ώστε να τηρεί τις νομικές προϋποθέσεις για τα όρια Βιοαεροζόλ στον αέρα ή να συμμορφώνεται με τις Οδηγίες, που συχνά δηλώνουν ότι η ποιότητα του αέρα πρέπει να μετράται, αλλά δεν καθορίζουν μεθοδολογία ή τα αποδεκτά όρια στα οποία πρέπει να στοχεύει η μονάδα. Δεύτερον, για να γίνεται συλλογή επιδημιολογικών δεδομένων, πιθανότατα με στόχο να γίνει θέσπιση ορίων έκθεσης σε χώρους εργασίας και τρίτον, για το γενικότερο επιστημονικό ενδιαφέρον και την έρευνα πάνω στο φαινόμενο του σχηματισμού των σωματιδίων Βιοαεροζόλ και τις επιπτώσεις αυτού στο Περιβάλλον και τη Δημόσια Υγεία.

2. Μέθοδοι συλλογής και μέτρησης Βιοαεροζόλ

2.1 Εισαγωγή

Η παρατήρηση του φαινομένου του Βιοαεροζόλ από την επιστημονική κοινότητα ξεκίνησε μερικές δεκαετίες πριν. Η συστηματική, όμως, παρακολούθηση του και η σύνδεση του με περιβαλλοντικά προβλήματα και επιπτώσεις πάνω στην υγεία του ανθρώπου, είναι κάτι που συμβαίνει μόλις την τελευταία δεκαετία. Αφορμή για την αλλαγή στάσης, πάνω στο επιστημονικό ενδιαφέρον του φαινομένου και τις επιπτώσεις του, έδωσαν ιατρικές παρατηρήσεις, σχετικά με ασθένειες που προέκυπταν σε άτομα που εργάζονταν σε συγκεκριμένους χώρους, όπου ήταν γνωστό ότι ο εισπνεόμενος αέρας κατά τη διάρκεια της καθημερινής τους εργασίας είχε μεγάλη περιεκτικότητα σε σωματίδια. Ακόμη μεγαλύτερη ώθηση στην ανάγκη μέτρησης και γρήγορης ανάλυσης των επιπέδων του βιοαεροζόλ έδωσαν οι φόβοι για πιθανή χρήση των βιολογικών παραγόντων, ως πιθανό μέσο επίθεσης τρομοκρατών. Η χρήση μικροοργανισμών σε συστήματα αερισμού από τρομοκρατικές οργανώσεις επέβαλαν την έρευνα πάνω στις συγκεντρώσεις του Βιοαεροζόλ και ενέτειναν την δημιουργία μεθόδων συλλογής και μέτρησης Βιοαεροζόλ, που θα μπορούν να δίνουν γρήγορα και ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Σε όρους μεθοδολογίας, η συλλογή Βιοαεροζόλ μπορεί να θεωρηθεί ως μέτρηση αιωρούμενων σωματιδίων και ανάλυση των μικροοργανισμών μέσα στο δείγμα. Πιο απλά, τα ανεξάρτητα βήματα της διαδικασίας μπορούν να κριθούν με διαφορετικές αρχές, με τη συλλογή να καθορίζεται από κανόνες της επιστήμης των Αεροζόλ και της ανάλυσης από κανόνες της Μικροβιολογίας [7].

2.2 Συλλογή Βιοαεροζόλ

2.2.1 Προϋποθέσεις συλλογής

2.2.1.1 Προϋποθέσεις ασφαλείας

Κατά τη συλλογή σωματιδίων βιοαεροζόλ, οι μελετητές θα πρέπει να χρησιμοποιούν κατάλληλα σύνεργα προστασίας προσωπικού, και να εφαρμόζουν

αυστηρά τους κανόνες υγιεινής. Τέτοια σύνεργα θεωρούνται προστασία αναπνοής (μάσκα) για την προφύλαξη από την εισπνοή μικροοργανισμών, και ρούχα που να διασφαλίζουν την ασφάλεια του σώματος τους από τους μικροοργανισμούς. Η ακολουθία μιας σωστής διαδικασίας προσωπικής υγιεινής (πλύσιμο του εκτιθέμενου δέρματος, καλή πλύση των ρούχων και μη χρήση φαγητού και ποτού κατά τη διάρκεια της λήψης των δειγμάτων) οδηγούν στην ελαχιστοποίηση της απορρόφησης, της εισπνοής και τη γενικότερη λήψη μικροοργανισμών.

Τα όργανα θα πρέπει να χειρίζονται με ασφάλεια, και τα δείγματα και οι δίσκοι καλλιέργειας των μικροβίων με προσοχή, για να γίνει πρόληψη της μόλυνσης των δειγματοληπτών, και πιο σημαντικά, να γίνει πρόληψη της μετάδοσης παθογόνων μικροοργανισμών στον άνθρωπο ή στο χώρο εργασίας [4].

2.2.1.2. Περιβαλλοντικές συνθήκες

Η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία πρέπει να καταγράφονται κατά τη διάρκεια της περιόδου δειγματοληψίας. Τα βακτήρια ξηραίνονται όταν βρίσκονται σε ξηρό αέρα, το οποίο θα επηρεάσει τη μέτρηση.

Σε περίπτωση που τα σωματίδια είναι ηλεκτρικά φορτισμένα κατά τη διάρκεια εκπομπής τους, θα πρέπει να γίνεται ουδετεροποίηση τους πριν τη δειγματοληψία.

Οι τοποθεσίες που γίνεται η δειγματοληψία θα πρέπει να ευνοούν τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Ταυτόχρονα, θα πρέπει να ανταποκρίνονται στις συνθήκες στις οποίες εκτίθενται οι άνθρωποι που δουλεύουν στους αντίστοιχους εργασιακούς χώρους. Οι μετρήσεις θα πρέπει να γίνονται στις περιοχές στις οποίες εκτίθενται οι εργαζόμενοι [4].

2.2.1.3 Υπολογισμός της ροής του μετρούμενου αέρα

Η ροή του μετρούμενου αέρα είναι πολύ σημαντική στον υπολογισμό της συγκέντρωσης των μικροοργανισμών. Όλοι οι δειγματολήπτες θα πρέπει να ρυθμίζονται πριν και μετά τη λήψη του δείγματος, για να εξασφαλιστεί η ροή στα επιθυμητά πλαίσια [4].

2.2.1.4 Προετοιμασία του δειγματοληπτικού μέσου

Ένα βήμα πριν τη συλλογή των μικροοργανισμών είναι η προετοιμασία του μέσου συλλογής. Ανάλογα με το είδος των σωματιδίων που θέλουμε να συλλέξουμε, πρέπει να χρησιμοποιήσουμε το κατάλληλο μέσο συλλογής και τον αντίστοιχο συλλέκτη. Όπως θα περιγραφεί και στη συνέχεια, η συλλογή ζώντων μικροοργανισμών προς μέτρηση μπορεί να γίνει είτε απευθείας σε θρεπτικό υλικό, είτε με τη χρήση ενός φίλτρου (μεμβράνη, υγρό μέσο), από το οποίο θα εξαχθούν αργότερα. Αντίθετα, για τους μη ζώντες μικροοργανισμούς δεν είναι ανάγκη να γίνει χρήση θρεπτικού μέσου, και η βαφή μπορεί να γίνει κατευθείαν στο φίλτρο, και να ακολουθήσει η απευθείας μέτρηση των μικροοργανισμών στο μικροσκόπιο.

2.2.1.5 Τήρηση των κανόνων αποστείρωσης

Ένα τελευταίο, αλλά πολύ σημαντικό για την ακρίβεια και εγκυρότητα της μέτρησης, βήμα είναι η τήρηση των συνθηκών αποστείρωσης καθ' όλη τη διάρκεια προετοιμασίας, συλλογής, χειρισμού και μέτρησης του δείγματος. Λόγω της φύσης της μέτρησης, δεδομένου ότι οι μικροοργανισμοί που μετρούνται βρίσκονται σε μικρές ποσότητες, και μπορούν να παραχθούν και από τον ίδιο τον άνθρωπο, πρέπει να γίνει σαφές ότι το δείγμα δεν θα πρέπει, όσο αυτό είναι δυνατόν, σε επαφή με εξωτερικούς παράγοντες, πλην της ίδιας της μέτρησης. Έτσι, θα πρέπει να γίνεται αποστείρωση του μέσου συλλογής πριν και μετά από κάθε μέτρηση με ένα μέσο (για παράδειγμα ισοπροπανόλη), να μην αφήνεται το δείγμα σε επαφή με τον αέρα, να φυλάσσεται σε ειδικά δοχεία κατά τη διάρκεια συλλογής, αλλά και μετά από αυτή. Συγκεκριμένα, δείγματα τα οποία περιλαμβάνουν ζώντες οργανισμούς πρέπει να φυλάσσονται σε σκιερούς και δροσερούς χώρους (π.χ φορητό ψυγείακι), ώστε να μην γίνεται ανάπτυξη τους λόγω της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος, που μπορούν να δώσουν λάθος συμπεράσματα.

2.2.1.6 Καθορισμός συνθηκών συλλογής

Κατά το σχεδιασμό του τρόπου συλλογής πρέπει να απαντηθούν μερικά ερωτήματα. Πρώτα από όλα πρέπει να καθορίσουμε το σκοπό της μέτρησης. Αν αυτή γίνεται για επιδημιολογική μελέτη, για τη μέτρηση συγκεντρώσεων έκθεσης του

εργατικού προσωπικού, ή για την μελέτη της ποιότητας του αέρα. Ανάλογα με το σκοπό της μέτρησης, η δειγματοληψία θα γίνει διαφορετικά, με διαφορετικά μέσα, χρόνους και υλικά, και πιθανότατα σε διαφορετική τοποθεσία. Έπειτα, πρέπει να επιλεγεί σωστά η τοποθεσία λήψης των δειγμάτων, και οι κατάλληλες συνθήκες μέτρησης (π.χ χρονική περίοδος, για τη σωστή θερμοκρασία περιβάλλοντος, αν είναι επιθυμητή ή όχι η παρουσία ανέμου κατά την μέτρηση, και αν η μέτρηση πρέπει να γίνει στο ύπαιθρο ή σε κλειστό χώρο) [7].

2.2.1.7 Επιλογή τοποθεσίας δειγματοληψίας

Ανάλογα με το αντικείμενο της έρευνας, η τοποθεσία δειγματοληψίας θα είναι διαφορετική. Για επιδημιολογικές μελέτες και μέτρηση της έκθεσης εργαζομένων, οι μετρήσεις πρέπει να γίνουν σε χώρους εργασίας. Οι ολικοί αριθμοί των μικροοργανισμών πρέπει να καθοριστούν σε ένα περιβάλλον όπου παράγονται φυσικά, λόγω των διεργασιών ή των συνθηκών, οι μικροοργανισμοί. Η μέθοδος συλλογής και ανάλυσης θα πρέπει να είναι συγκεκριμένη, έτσι ώστε το γκρουπ των μικροοργανισμών υπό παρατήρηση να εντοπιστεί και να καταμετρηθεί. Η μέθοδος θα πρέπει να είναι εξειδικευμένη, καθώς η συγκέντρωση των μικροοργανισμών υπό έρευνα αναμένεται να είναι μικρή. Σε τέτοιες περιπτώσεις, ο ολικός αριθμός μικροοργανισμών είναι πιο σημαντικός από τον αριθμό των ζώντων, καθώς η πιο επικίνδυνη περίπτωση θα οφείλεται σε αλλεργική ή τοξική αντίδραση.

Για την μέτρηση της αερόβιας συγκέντρωσης των μικροοργανισμών σε αγρότες και ζώα, οι μετρήσεις θα πρέπει να γίνουν σε εγκαταστάσεις αποθήκευσης σοδειάς και χώρους διαμονής ζώων. Σε τέτοιες περιπτώσεις θα χρειαστούν συσκευές που μετράνε προσωπική έκθεση στους μικροοργανισμούς κατά τη μέτρηση. Επίσης, στατικοί συλλέκτες είναι απαραίτητοι, για την μέτρηση της γενικής ποιότητας του αέρα, και για να δώσουν μια ένδειξη της πιθανής έκθεσης εργατών ή ζώων. Τέλος, χρήσιμο θα ήταν να βρεθεί πως μεταβάλλεται η συγκέντρωση, σε περίπτωση λειτουργίας συστημάτων εξαερισμού ή ελέγχου σκόνης (κυκλώνες, σακκόφιλτρα).

Για την μέτρηση της επίπτωσης στην υγεία των εργαζομένων και των κατοίκων γύρω από μια μονάδα επεξεργασίας λυμάτων, πρέπει να γίνει συλλογή σωματιδίων από ένα τέτοιο χώρο, και να γίνουν επιδημιολογικές μελέτες. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η έρευνα για Gram negative βακτήρια, gram positive βακτήρια, παθογόνα και ιούς είναι η πιο ενδιαφέρουσα [7].

Τέλος, κάθε τοποθεσία μέτρησης δίνει και μια διαφορετική κατηγορία συλλογής. Όπως, π.χ τα νοσοκομεία, είναι ένας τελείως διαφορετικός τομέας έρευνας. Η γνώση και καθορισμός του ακριβούς αντικειμένου μελέτης είναι, επομένως, από τα καίρια σημεία της εργασίας. Γύρω από αυτόν περιστρέφεται η μεθοδολογία αλλά και οι στόχοι καθ' αυτής της μελέτης.

2.2.2 Μέθοδοι συλλογής Βιοαεροζόλ

Όπως αναφέρθηκε, η μέθοδος συλλογής συνδέεται άμεσα με το αποτέλεσμα που ζητείται από την μέτρηση. Προς το παρόν, δεν είναι ακόμα ξεκάθαρο ποια είδη Βιοαεροζόλ θα πρέπει να προσμετρούνται. Ακόμη, δεν είναι σαφές ποια μέθοδος συλλογής κρίνεται ικανοποιητική. Μερικοί συλλέκτες είναι προσαρμογή εκείνων που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή σκόνης ή σωματιδίων στον αέρα, ενώ άλλοι είναι ειδικά σχεδιασμένοι στο να συλλέγουν Βιοαεροζόλ (μικροοργανισμούς στον αέρα). Η έρευνα για την ανάπτυξη συσκευών που θα συλλέγουν μη μικροβιακής προέλευσης σωματίδια Βιοαεροζόλ (πρωτεϊνικά αεροζόλ) είναι περιορισμένη, αλλά είναι γενικότερα αποδεκτό ότι συλλέκτες μικροοργανισμών είναι κατάλληλοι για τέτοιου είδους μετρήσεις [1]. Οι κύριες μέθοδοι συλλογής σωματιδίων Βιοαεροζόλ που χρησιμοποιούνται σήμερα αναφέρονται παρακάτω.

2.2.2.1 Impaction

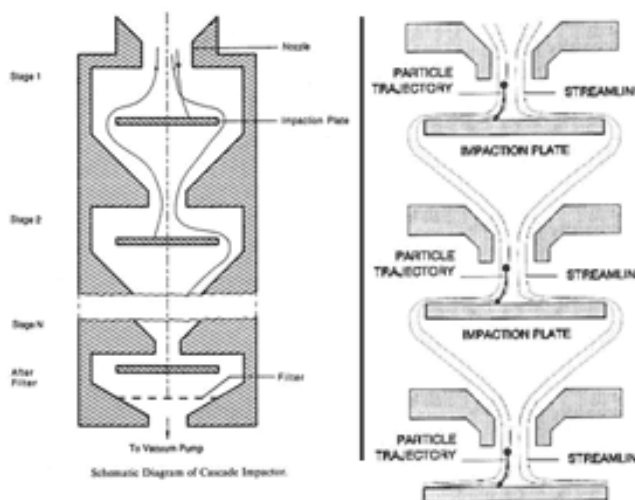
Η αρχή της συλλογής με σύγκρουση (impaction) βασίζεται στην τάση των σωματιδίων να αποκλίνουν από το ρεύμα αέρος, λόγω της αδράνειας, όταν οι γραμμές ροής του αέρα κλίνουν για να παρακάμψουν μια στερεή ή ημιστερεή επιφάνεια. Τα σωματίδια αυτά που θα παρεκκλίνουν είναι αυτά που συλλέγονται στην επιφάνεια του μέσου. Οι μετρητές του τύπου αυτού χωρίζονται σε μετρητές με είσοδο σε μορφή κόσκινου, με σχισμές ή σειριακής πρόσκρουσης [1]. Πάνω σε αυτή τη μέθοδο βασίζονται διάφορες συσκευές μέτρησης και συλλογής βιοαεροζόλ, που ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας τους, δίνουν διαφορετικά ποσοτικά και ποιοτικά αποτελέσματα μετρήσεων. Τέτοιες συσκευές είναι: Οι παγίδες σπορίων (spore traps), οι δειγματολήπτες περιστρεφόμενου βραχίονα (rotating arm samplers), οι

δειγματολήπτες που χρησιμοποιούν θρεπτικό άγαρ ως μέσο πρόσκρουσης και οι συσκευές διαδοχικής πρόσκρουσης (cascade impactors).

Συγκεκριμένα, οι συλλέκτες συριακής σύγκρουσης είναι εκείνοι που χρησιμοποιούνται πιο συχνά, και δουλεύουν κατευθύνοντας την γραμμική ροή μέσα και γύρω από μια σειρά επιφανειών πρόσκρουσης. Η ταχύτητα του αέρα αυξάνεται σε κάθε στάδιο, έτσι ώστε τα βαρύτερα σωματίδια κατακάθονται πρώτα, και διαδοχικά τα μικρότερα σωματίδια συλλέγονται στις τελευταίες επιφάνειες συλλογής. Το τελευταίο στάδιο συνήθως περιλαμβάνει ένα φίλτρο με μέγεθος πόρων μικρότερο του ενός μικρού (submicron filter),

Biosensors and Bioelectronics, 6: 477-489, Schasfoort, R.B.M., P.Bergveld, R.P.H.Kooyman, J.Greve [13].

Στην διπλανή εικόνα φαίνεται η αρχή λειτουργίας ενός συλλέκτη συριακής ροής, ενός από τα μοντέλα που κυκλοφορούν στο εμπόριο.



2.2.2.2 Συλλέκτες βαρύτητας

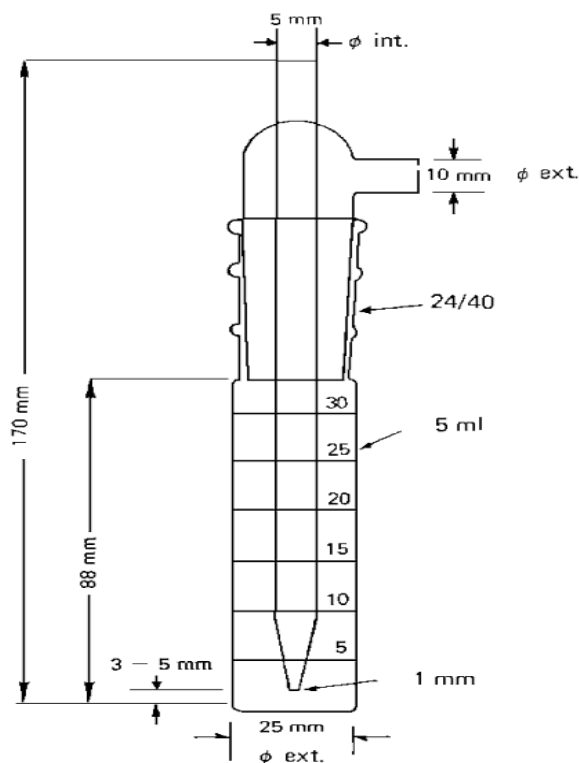
Οι συλλέκτες βαρύτητας είναι η πιο απλή μέθοδος συλλογής αερόβιων βιολογικών σωματιδίων. Το μέσο συλλογής αφήνεται ελεύθερο σε επαφή με τον αέρα που γίνεται η δειγματοληψία, και συλλέγει σωματίδια με τη βοήθεια της βαρύτητας. Αυτή η μέθοδος δεν χρειάζεται ειδικά όργανα, καθώς είναι πολύ απλή και χρησιμοποιείται συχνά, δίνοντας επιπρόσθετες πληροφορίες. Παρ' όλα αυτά, η μέθοδος αυτή δεν δίνει πληροφορίες για τον μετρούμενο όγκο, δίνει αποτελέσματα για τα μεγαλύτερα σωματίδια (καθώς αυτά είναι που κατακάθονται ευκολότερα), και επηρεάζεται πολύ από την κίνηση του αέρα (αναταράξεις) [1].

2.2.2.3 Συλλέκτες εμβύθισης (impingers)

Σε ένα συλλέκτη εισροής ο αέρας ροφάται, μέσω μιας αντλίας κενού, και διέρχεται μέσα από έναν όγκο υγρού. Τα σωματίδια που βρίσκονται στον αέρα

αφήνουν το ρεύμα του αέρα και εμβυθίζονται στο υγρό. Το σύστημα αυτό εισήχθη από τους Greenburg και Smith, ως σύστημα συλλογής σκόνης, και αργότερα χρησιμοποιήθηκε για τη συλλογή Βιοαεροζόλ. Οι περισσότεροι συλλέκτες κατασκευάζονται από γυαλί, έχουν ένα θάλαμο συλλογής και η ροή του αέρα γίνεται μέσω ενός πλευρικού σχηματισμού για εφαρμογή της αντλίας. Ο αέρας εισάγεται μέσω μιας κοίλου σωλήνα εισροής, ακολουθούμενος από ένα jet εμβύθισης, το οποίο λειτουργεί ως κρίσιμη είσοδος, και καθορίζει την ταχύτητα εισόδου του αέρα, και επομένως καθορίζει και τη ροή του.

Τα βασικά πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής σε σχέση με τους άλλους συλλέκτες είναι ότι είναι ικανοί να συλλέγουν δείγματα ακόμα και σε αέρα με υψηλές συγκεντρώσεις σωματιδίων, καθώς τα υγρά δείγματα μπορούν να διαλυθούν έπειτα στο επιθυμητό επίπεδο, για ανάλυση και επεξεργασία τους. Αντίθετα, οι υπόλοιπες μέθοδοι εύκολα υπερχειλίζουν τις επιφάνειες συλλογής τους, υπό τέτοιες συνθήκες. Ταυτόχρονα, τα δείγματα που λαμβάνονται με αυτή τη μέθοδο μπορούν εύκολα να αναλυθούν χημικά, βιολογικά, ανοσοποιητικά, και μοριακά. Βασικά προβλήματα της μεθόδου είναι η απώλεια σωματιδίων από τις προκύπτουσες φυσαλίδες, κατά την ροή του αέρα στο εσωτερικό του υγρού [1].



Έπειτα από την εφαρμογή της μεθόδου αυτής στη συλλογή Βιοαεροζόλ, οι συλλέκτες έχουν βελτιωθεί και εξειδικευθεί, προκειμένου να δίνουν όσο το δυνατόν καλύτερη ταχύτητα εισόδου των σωματιδίων στο υγρό, ώστε αυτά να μην προσκρούουν στην επιφάνειά του, αυξάνοντας την θνησιμότητα τους, αλλά και την συγκράτησή τους μέσα στο υγρό και αποφυγή επαναιώρησης. Ταυτόχρονα, δίνουν λιγότερη εξάτμιση στο υγρό και λιγότερες δημιουργούμενες φυσαλίδες, και η μελέτη πάνω στα

υγρά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μέσο συλλογής, έχει δώσει την δυνατότητα συλλογής μεγαλύτερου όγκου δείγματος, με μεγαλύτερη διάρκεια

δειγματοληψίας. Η αρχή λειτουργίας των συλλεκτών εμβύθισης φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.

2.2.2.4 Συστήματα φίλτρων

Τα πιο κοινώς χρησιμοποιούμενα, και από τις παλαιότερες μεθόδους, είναι οι αντλίες που λειτουργούν με μπαταρία, οι οποίες ενσωματώνουν στο άκρο τους ένα φίλτρο. Από αυτό περνάει το ρεύμα του αέρα, συγκρατώντας τους οργανισμούς και τα σωματίδια που είναι μεγαλύτερα από τους πόρους του. Το δείγμα έπειτα μπορεί να επεξεργαστεί και να αναλυθεί ανάλογα. Βασικό μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι τα φίλτρα προσφέρουν μικρή προστασία στους μικροοργανισμούς, τους οποίους η ροή του αέρα μπορεί να ξηράνει. Η διαδικασία του ξεπλύματος απομακρύνει από την επιφάνεια του φίλτρου τους μικροοργανισμούς, ώστε να πάρουμε μετρήσεις ως προς το σύνολο των μικροοργανισμών, και όχι μόνο των ζώντων.

Το μέγεθος των πόρων των φίλτρων είναι, συνήθως, 5 μm και συλλέγουν σωματίδια μεγέθους 0.3 μm με ακρίβεια περίπου 95%.

2.3 Ανάλυση και μέτρηση δειγμάτων

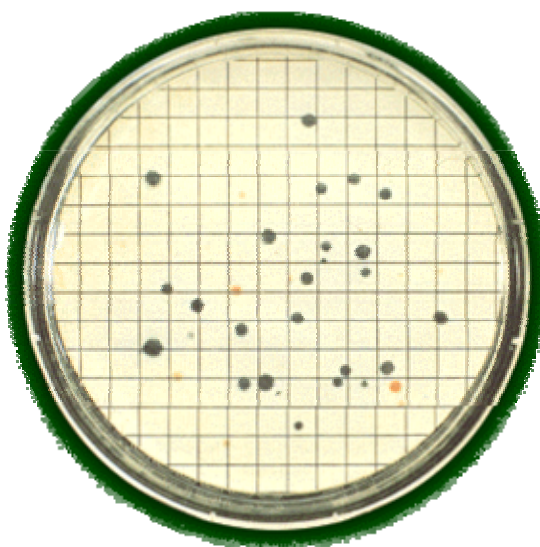
Οι μέθοδοι μέτρησης Βιοαεροζόλ μπορούν να χωριστούν σε εκείνες που βασίζονται στην καλλιέργεια μικροοργανισμών και σε εκείνες που δεν χρειάζονται καλλιέργεια. Οι μέθοδοι καλλιέργειας ανιχνεύουν μόνο μικροοργανισμούς που μπορούν να αναπτύξουν αποικίες. Οι καλλιεργήσιμοι μικροοργανισμοί είναι μόνο ένα τμήμα των ζώντων οργανισμών, καθώς όχι όλοι οι μικροοργανισμοί είναι ικανοί να αναπτυχθούν υπό τις δοσμένες συνθήκες. Οι μέθοδοι που δεν βασίζονται στην καλλιέργεια δεν εξαρτώνται από την ικανότητα καλλιέργειας των μικροοργανισμών, και συνήθως δίνουν πολύ μεγαλύτερους αριθμούς μικροοργανισμών από τις μεθόδους καλλιέργειας [12].

Στην βιβλιογραφία δεν υπάρχουν καθορισμένες διαδικασίες για την μέτρηση των Βιοαεροζόλ. Οι συνεχής εξέλιξη των μεθόδων, όμως, δείχνει το ενδιαφέρον στην έκθεση στο Βιοαεροζόλ στον τομέα της επαγγελματικής υγιεινής. Η αντίθεση αυτή δείχνει τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι ερευνητές που ασχολούνται με τον

τομέα της υγείας. Οι διαφορετικές μέθοδοι μέτρησης, που θα παρουσιαστούν και παρακάτω, μετράνε διαφορετικές οντότητες, και τα χαρακτηριστικά της επίδοσης κάθε μεθόδου δεν έχουν καθοριστεί πλήρως. Μόνο με αλληλοσύγκριση των μεθόδων μπορεί να δοθεί μια εκτίμηση των δυνατοτήτων κάθε μεθόδου και της σχετικής ολικής ικανότητας μέτρησης [12].

2.3.1 Μέθοδος καλλιέργειας

Η κλασσική μέθοδος της καλλιέργειας σε στερεά μέσα ήταν η στάνταρ τεχνική για περισσότερο από 100 χρόνια. Στην αρχή χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη και την απομόνωση μικροοργανισμών. Παρ' όλα αυτά, αναπτύχθηκε σε μια ομολογουμένως, ποσοτική τεχνική, συνήθως χωρίς να λαμβάνονται υπ' όψιν οι περιορισμοί της. Ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό των μεθόδων



καλλιέργειας είναι ότι επιτρέπει την απομόνωση των αερόβιων μικροοργανισμών σε καθαρές καλλιέργειες, που είναι το αναγκαίο βήμα για τη διαδικασία αναγνώρισης τους [7].

2.3.1.1 Επιλογή μέσου καλλιέργειας

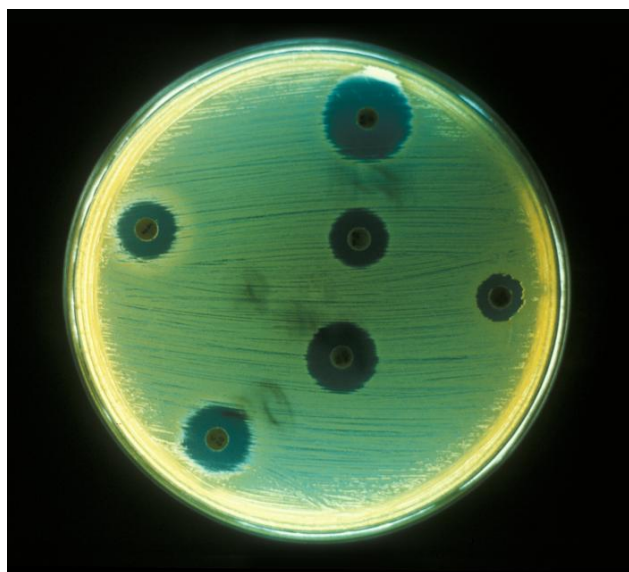
Οι καλλιεργήσιμοι μικροοργανισμοί μπορούν να αναπτυχθούν σε ένα ημιστερεό θρεπτικό μέσο, σε αποικίες, που αργότερα μπορούν να μετρηθούν με απλή οπτική παρατήρηση. Οι αποικίες των μυκήτων μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με βάση τη μορφολογική τους εμφάνιση και να αναγνωριστούν από τα χαρακτηριστικά τους ως προς την ανάπτυξη, την οργανοληπτική εμφάνιση και τη μικρομορφολογία, όπως αυτή παρατηρείται από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. Τα βακτήρια μπορούν να αναγνωριστούν από την μορφολογία, τη βαφή Gram, την ανάπτυξη σε συγκεκριμένα θρεπτικά υποστρώματα και σε ειδικές συνθήκες, και την παραγωγή συγκεκριμένων

μεταβολιτών [12]. Υπολογίζεται ότι οι μετρήσεις από καλλιέργεια δίνουν μόνο το 0.0001 με 10% του συνολικού πληθυσμού στα περιβαλλοντικά δείγματα [7].

Οι μικροοργανισμοί μπορούν να τοποθετηθούν στο θρεπτικό μέσω απευθείας με τη μέτρηση, χρησιμοποιώντας συλλέκτες πρόσκρουσης με επιφάνεια το τριβλίο με το θρεπτικό μέσο. Παρόμοια, διαλύματα από συσκευές εμβύθισης και φίλτρα μπορούν να καλλιεργηθούν με αραιώση πάνω σε θρεπτικό υλικό. Με αυτή τη μέθοδο, υποδείγματα των διαλυμάτων ή αραιώσεις αυτών μπορούν να αναπτυχθούν. Έτσι, η υπερχειλίση των τριβλίων μπορεί να αποφευχθεί, με ανάπτυξη σε τριβλία διαφορετικών διαλυμάτων, δίνοντας αποικίες με τη βέλτιστη πυκνότητα. Ένα ακόμη πλεονέκτημα είναι ότι διάφορα μέσα και θερμοκρασίες μπορούν να εφαρμοστούν σε ένα περιβαλλοντικό δείγμα, προκειμένου να μετρηθούν διαφορετικές ομάδες μικροοργανισμών [12].

2.3.1.2 Ανάπτυξη μικροοργανισμών

Τα συλλεγόμενα δείγματα, στην περίπτωση που το δείγμα συλλέγεται σε τριβλία με θρεπτικό υλικό, πρέπει να εκκολαφθούν στην κατάλληλη θερμοκρασία, για διάστημα που ποικίλει από ώρες έως μέρες, ανάλογα με τον μικροοργανισμό και το θρεπτικό μέσο, μέχρι να σχηματίσουν αποικίες [4]. Μια αποικία είναι μια μακροσκοπικά ορατή (με το γυμνό μάτι) ανάπτυξη των μικροοργανισμών σε ένα σταθερό μέσο καλλιέργειας



Οι απαιτήσεις για ανάπτυξη μπορεί να διαφέρουν σημαντικά από μικροοργανισμό σε μικροοργανισμό, και δεν υπάρχει μέσο τέτοιο που να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για όλα τα είδη. Για παράδειγμα, οι υψηλότερες συγκεντρώσεις για την ανάπτυξη των μυκήτων δίνει το θρεπτικό υλικό που παράγεται από κόκκους (συνήθως κριθαριού) (malt extract

agar). Για τα βακτήρια και τους ακτινομύκητες οι υψηλότερες συγκεντρώσεις βρέθηκαν στο tryptic soy agar και half-strength nutrient agar [12].

Η ανάπτυξη των μικροοργανισμών μπορεί να καταπιεστεί ή να βοηθηθεί με την παρουσία άλλων ειδών. Αναστολείς ανάπτυξης συχνά προστίθενται στο θρεπτικό υλικό για να αναστείλουν την ανάπτυξη ανεπιθύμητων μικροοργανισμών. Επίσης, αντιβιοτικά χρησιμοποιούνται για να καταπιέσουν την ανάπτυξη των βακτηρίων σε θρεπτικό μέσο για μύκητες, και το θρεπτικό μέσο για βακτήρια περιέχει αντιμυκητικά συστατικά. Τέλος, διάφορα άλλα υλικά έχουν χρησιμοποιηθεί για να περιορίσουν την ανάπτυξη των ταχέως αναπτυσσόμενων *Mucor* και *Rhizopus*, που μπορεί να καλύψουν βραδύτερα αναπτυσσόμενους μύκητες [12].

Το μέγεθος των αποικιών και η πυκνότητα αποικιών στην επιφάνεια των τριβλίων μπορεί να επηρεάσει την ακρίβεια, λόγω της συνένωσης των κοντινών αποικιών. Οι μέτρηση μπορεί να είναι υποκειμενική, ακόμα και όταν οι αποικίες είναι μέσα στο πλήθος των προτεινόμενων 30 με 300 αποικιών σε ένα στάνταρ τριβλίο. Το άνω όριο της μέτρησης αποικιών μπορεί να αυξηθεί, μετρώντας με ένα μικροσκόπιο τις αποικίες, πριν αυτές συνενωθούν [12].

2.3.1.3 Αποτελέσματα της μεθόδου

Τα αποτελέσματα της μέτρησης εκφράζονται σε μονάδες σχηματισμού αποικίας (Colony Forming Units – CFU) ανά όγκο μετρούμενου αέρα. Το CFU είναι ο αριθμός των μικροοργανισμών που μπορούν να αναπαραχθούν για να δημιουργήσουν αποικίες, και καθορίζεται από τις αποικίες που σχηματίζονται. Για τον υπολογισμό της ολικής συγκέντρωσης των αναπτυσσόμενων μικροοργανισμών, διαιρούμε τον όγκο του μετρούμενου αέρα με τον ολικό αριθμό των αποικιών που μετρήσαμε στο τριβλίο [4].

Καθώς τα βακτήρια εν αιώρηση μπορεί να στρεσαριστούν, ο αριθμός των CFU που λαμβάνουμε είναι, πιθανότατα, ένα μη ισχύον μέσο βιωσιμότητας. Η μόνη πληροφορία που προκύπτει από τη μέτρηση αποικιών είναι το ποσοστό από το δειγματοληπτικό πληθυσμό που έχει την ικανότητα να σχηματίσει αποικίες στο μέσο που έχει επιλεγεί από το εργαστήριο, και κάτω από τις συνθήκες ανάπτυξης που χρησιμοποιήθηκαν [7].

Σε ότι αναφορά τη σύνδεση των μετρήσεων με την πραγματικότητα, η χρήση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από την καλλιέργεια των μικροοργανισμών μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική υποεκτίμηση της συγκέντρωσης των κυττάρων στο δείγμα. Αυτό που είναι σημαντικό για την έρευνα, είναι το σύνολο των σωματιδίων

που είναι ικανά να διαπεράσουν την άμυνα του οργανισμού του ανθρώπου. Έτσι, όταν μετράμε αερόβιους μικροοργανισμούς για λόγους υγείας, ένας ή ένας μικρός αριθμός ειδών μικροοργανισμών μπορεί να μας ενδιαφέρουν. Μπορεί να είναι πολύ δύσκολο να ανιχνευθούν και να ποσοτικοποιηθούν μικροοργανισμοί ενός είδους, μέσα σε ένα σύνολο, χρησιμοποιώντας τη μέτρηση αποικιών. Ο αριθμός των μικροοργανισμών που βρίσκονται στο φόντο σε ένα δείγμα, ή και η αυξημένη τους ανταγωνιστικότητα, μπορεί να πνίξει τα είδη που μας ενδιαφέρουν, κάνοντας το αδύνατο να τα παρατηρήσουμε και να τα μετρήσουμε [7].

2.3.1.4 Διορθωμένη συγκέντρωση

Τις περισσότερες φορές είναι δύσκολο να αναγνωριστούν πολλαπλές αποικίες σε ένα σημείο πάνω στο τριβλίο, λόγω έλλειψης διαφορετικής μορφολογίας στις αποικίες, ή λόγω των χημικών που εκκρίνουν οι λοιποί μικροοργανισμοί στην ίδια τοποθεσία. Ακόμη, μερικοί μικροοργανισμοί παράγουν μεγάλες, μεταδιδόμενες αποικίες, ενώ άλλοι παράγουν μικροαποικίες. Επίσης, η μορφολογία μιας αποικίας μπορεί να εμποδίζει τελείως μια άλλη, και μια γρήγορα αναπτυσσόμενη μπορεί να εμποδίσει την ανάπτυξη μιας βραδύτερα αναπτυσσόμενης. Σε αυτές τις περιπτώσεις πρέπει να γίνεται μια στατιστική διόρθωση στους μετρούμενους αριθμούς αποικιών, για να ισοσταθμιστεί η πιθανότητα μερικά σωματίδια να κατακάθισαν στο ίδιο σημείο στο θρεπτικό υλικό. Η διορθωμένη συγκέντρωση των αναπτυσσόμενων μικροοργανισμών υπολογίζεται διαιρώντας των όγκο του αέρα που μετρήθηκε με τον διορθωμένο αριθμό των παρατηρούμενων αποικιών στο τριβλίο [4].

2.3.1.5 Μέθοδοι αναγνώρισης των αναπτυσσόμενων μικροοργανισμών

Η επιστήμη της κατηγοριοποίησης, και ειδικότερα της κατηγοριοποίησης των ζώντων οργανισμών, ονομάζεται ταξινομία. Το αντικείμενο της ταξινομίας είναι η κατηγοριοποίηση των ζώντων οργανισμών, να βρεθεί η σχέση μεταξύ μιας ομάδας οργανισμών και μιας άλλης, και να γίνει διαφοροποίηση μεταξύ τους. Οι δύο βασικότερες μέθοδοι για την κατηγοριοποίηση των μικροοργανισμών είναι οι εξής:

Η πρώτη μέθοδος είναι μέσω της κλασσικής μικροβιολογίας, που περιλαμβάνει γενικές μεθόδους κατηγοριοποίησης ή αναγνώρισης των μικροοργανισμών. Η λιγότερη συγκεκριμένη από τις μεθόδους της κλασσικής

μικροβιολογίας είναι η παρατήρηση των χαρακτηριστικών ανάπτυξης, που περιλαμβάνουν την μορφή του μικροοργανισμού σε υγρό μέσο, την μορφολογία της αποικίας σε στερεό μέσο, και το χρωματισμό με βαφή. Η μέθοδος της απλής βαφής είναι εκείνη της βαφής των μικροοργανισμών με μια απλή βασική βαφή, που τονίζει το μέγεθος του κυττάρου, το σχήμα του, τη μορφολογία του και την παρουσία ή απουσία της κάψουλας μαστιγίου ή ένδοσπορίων, με τη χρήση μικροσκοπίου.

Η δεύτερη χρησιμοποιούμενη μέθοδος είναι η κλινική ή περιβαλλοντική μικροβιολογία. Σύμφωνα με αυτή, όλα τα συστήματα αναγνώρισης θα πρέπει να επιτρέπουν την επαρκή και βάσιμη διαφοροποίηση μεταξύ των μικροοργανισμών. Αρκετές διαφοροποιήσεις των κλασσικών μεθόδων της βιοχημείας έχουν χρησιμοποιηθεί τα προηγούμενα χρόνια για να διευκολύνουν τον εμβολιασμό των μέσων, το καθορισμό των ειδών, βασιζόμενοι σε μοντέλα αντίδρασης. Γενικότερα, στο παρελθόν, οι κλινικές μέθοδοι έχουν χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση περιβαλλοντικών δειγμάτων. Παρ' όλα αυτά, τα περιβαλλοντικά δείγματα διαφέρουν σε σχέση με τα κλινικά, και για αυτό ίσως χρειαστεί αλλαγή στις χρησιμοποιούμενες μεθόδους [4].

2.3.2.6 Ερμηνεία των δεδομένων

Όσο αναφορά στην ερμηνεία των δεδομένων, στη βιβλιογραφία υπάρχει διάσταση απόψεων πάνω στο αν είναι αναγκαίο να αναγνωρίζονται οι μικροοργανισμοί που μετρούνται ή απλώς ενδείκνυται. Για την περίπτωση της κλινικής έρευνας, θεωρείται χρήσιμη και βοηθητική, ως προς την έρευνα, η αναγνώριση των αιτιολογικών παραγόντων [4].

2.3.2 Μέτρηση με χρήση μικροσκοπίου φωτός

Η μέτρηση με μικροσκόπιο είναι μια βασική μέθοδος, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να συλλεχθούν οι ολικοί αριθμοί των μικροοργανισμών, καθώς και μορφολογικά δεδομένα, όπως το σχήμα του κυττάρου, η κινητικότητα και η αντιδράσεις, σαν βοήθεια στην αναγνώριση των μικροοργανισμών [4].

Οι μικροοργανισμοί που έχουν συλλεχθεί σε ένα φίλτρο ή σε ένα μέσο, μπορούν να μετρηθούν με τη χρήση του μικροσκοπίου φωτός, αν μπορούν να αναγνωριστούν από την μορφολογική τους εμφάνιση. Τα μυκητοσπόρια μετρώνται

σε πλακέτες μικροσκοπίου, από τη μέθοδο της πρόσκρουσης (impactor). Τα βακτήρια μπορούν να μετρηθούν με το μικροσκόπιο φωτός, μετά από χρώση. Μορφολογικά δεδομένα, σχέδια και μικρογραφίες μυκητοσπορίων έχουν εκδοθεί από διάφορους συγγραφείς, αλλά σχετική βιβλιογραφία για αναφορά δεν είναι ακόμη διαθέσιμη. Η ταξινόμηση των μυκητοσπορίων μπορεί να βοηθηθεί από τη μορφολογία των σπορίων των ειδών που απομονώθηκαν από το ίδιο περιβάλλον. Για παράδειγμα, όμως, τα μικρά σπόρια των *Aspergillus* και *Penicillium* δεν μπορούν να διαχωριστούν μορφολογικά, και μετρούνται ως ένα είδος.

Τα συστηματικά λάθη που γίνονται στη μέθοδο κατά τη μέτρηση μπορούν να αποφευχθούν, αν μετράμε τυχαία πεδία με καθορισμένες αποστάσεις [12].

2.3.3 Μέτρηση με χρήση μικροσκοπίου φθορισμού

Οι μικροοργανισμοί, εκτός από την παρατήρηση τους στο μικροσκόπιο υπό την παρουσία φωτός, μπορούν να παρατηρηθούν και με χρήση φθορίζων ουσιών. Οι μικροοργανισμοί μπορούν να βαφτούν με φθορίζων ουσίες, και να μετρηθούν σε ένα μικροσκόπιο επιφθορισμού. Διάφορες φθορίζων ουσίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν, για τη χρώση διαφορετικών συστατικών των μικροοργανισμών.

Τα δείγματα συλλέγονται συνήθως σε φίλτρα, επαναιωρούνται, βάφονται σε υδατικό διάλυμα διασποράς, και ξαναφιλτράρονται. Η πυκνότητα των σωματιδίων στο τελικό φίλτρο μπορεί να διορθωθεί με φίλτρανση του απαραίτητου όγκου του διαλύματος. Ο φθορισμός ευκολύνει την αναγνώριση των μικροοργανισμών μεταξύ των άλλων σωματιδίων και εκείνων που εμποδίζονται από άλλα σωματίδια. Για παράδειγμα, το Acridine orange δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα, και χρησιμοποιείται κυρίως σε μετρήσεις εργασιακού περιβάλλοντος με υψηλές συγκεντρώσεις [12].

Ωστόσο, τα σπόρια των μυκήτων, μπορεί να αντέξουν στη χρώση ή να καλύψουν τη χρώση με σκούρα φυσική χρωμάτωση των ιστών τους.

2.3.4 Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο

Μια από τις νέες μεθόδους μέτρησης των δειγμάτων είναι η ανίχνευση με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. Το τελευταίο έχει μεγαλύτερη ανάλυση από το οπτικό και μεγαλύτερο βάθος πεδίου από το οπτικό μικροσκόπιο. Οι δυνατότητες του είναι πολύ

χρήσιμες, ειδικά για την μελέτη πού μικρών σπορίων ακτινομύκητων, αλλά, γενικότερα, το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο δεν έχει χρησιμοποιηθεί ιδιαίτερα σαν μέθοδος κατάταξης των σπορίων. Με τη χρήση του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου μπορούμε να κατατάξουμε είδη που μορφολογικά είναι ίδια σε διαφορετικές ομάδες, αντί να τα μετράμε μαζί [12].



2.3.5 Μέτρηση ροής

Οι μικροοργανισμοί που συλλέγονται με την εμβύθιση ή σε φίλτρα, μπορούν να μετρηθούν με μέτρηση ροής κυττάρων. Οι μικροοργανισμοί βάφονται με μια χρωστική και μετρώνται αυτόματα, με συνδυασμό φθορισμού και διάθλασης φωτός.

Λάθη στη μέθοδο μπορούν να προκύψουν αν μη μικροβιακά σωματίδια στον αέρα του χώρου εργασίας, για παράδειγμα τμήματα από φυτά και ζώα, χρωστούν και μετρηθούν ως μικροοργανισμοί [12].

2.3.6 Χρήση μικροβιακών συστατικών

Σε αντιπαράθεση με τη μέτρηση μικροοργανισμών με μεθόδους καλλιέργειας ή μη καλλιέργειας, η έκθεση σε συγκεκριμένες τοξικές ή αλλεργικές ουσίες και μεταβολίτες μπορεί επίσης να καθοριστεί. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι οι ενδοτοξίνες, τα συστατικά των τοιχωμάτων των κυττάρων μούχλας, και αλλεργιογόνα. Η μέτρηση των συστατικών μπορεί να έχει πλεονεκτήματα, σε σύγκριση με την μέτρηση της έκθεσης με αρίθμηση μικροοργανισμών. Τα παρακάτω πλεονεκτήματα είναι τα πιο σημαντικά: Τα συστατικά μπορεί να είναι παρόντα σε ένα περιβάλλον σε εύκολα μετρήσιμη μορφή, καθώς είναι σταθερά. Επομένως, μπορούν να μετρηθούν με μεγαλύτερους χρόνους μέτρησης και με χρήση μεθόδων συλλογής που είναι έγκυρες και εμπεριστατωμένες. Τέλος, η αιτιολογική συνάφεια των συστατικών αυτών είναι ακριβείς, και μπορεί να βρεθεί η πηγή εκπομπής τους.

2.3.7 Ανίχνευση άλλων ουσιών με μοριακή βιολογία

Μαζί με τις μεθόδους ανίχνευσης των σωματιδίων με απευθείας μέτρηση ή χρώση τους ή των συστατικών τους, έρευνα γίνεται για την δυνατότητα μέτρησης άλλων ουσιών που μπορεί να έχουν επιπτώσεις στην υγεία. Αναφορικά, οι ουσίες που μετρώνται είναι οι ενδοτοξίνες, που προκαλούν ασθένειες του πνεύμονα, τα γλουκάνια, που ευθύνονται για το σύνδρομο των Νοσούντων κτηρίων, και τα αντιγόνα και αλλεργιογόνα, που μπορούν να προκαλέσουν αντίδραση της χυμικής immunoglobulin στο σώμα και αλλεργικές αντιδράσεις [12].

Η μέθοδος της μοριακής βιολογίας περιλαμβάνει μεθόδους ανίχνευσης με ανιχνευτές γονιδίων και αντιδράσεις αλυσίδας πολυμεράσης. Αυτές οι τεχνικές, που επιτρέπουν την αναγνώριση και αρίθμηση των ειδών ή τύπου του μικροοργανισμού, σε ένα φόντο άλλων μικροοργανισμών, είναι συγκεκριμένες. Είναι αρκετά γρήγορες τεχνικές, που επιτρέπουν να ληφθεί αποτέλεσμα εντός 2 με 5 ωρών. Παρ' όλα αυτά, είναι τεχνικές που θεωρούνται πολύπλοκες, και χρειάζονται εξειδικευμένες γνώσεις και εξοπλισμό, προκειμένου να αναπτυχθούν σωστά. Οι αντιδράσεις μπορεί να παρεμποδιστούν σε περίπτωση υψηλών συγκεντρώσεων ή υψηλής μόλυνσης.

Η εφαρμογή αυτής της μεθόδου είναι μικρή στη βιβλιογραφία για την ανίχνευση Βιοαεροζόλ. Έχει όμως δειχθεί από τους Alvarez et al.(1994) ότι η στερεής φάσης αντιδράσεις αλυσίδας πολυμεράσης έχουν αυξημένη ικανότητα ανίχνευσης από αυτή της καλλιέργειας για την μέτρηση των E.coli. Καταλήγουν, μάλιστα, ότι η τεχνική αυτή μπορεί να είναι χρήσιμη για τον εντοπισμό αιωρούμενων μικροοργανισμών, που μπορεί να μην είναι καλλιεργήσιμοι, εξαιτίας της εναιώρισης ή του στρες κατά τη συλλογή [4].

2.3.8 Μέθοδοι καλλιέργειας vs Μέθοδοι μη καλλιέργειας

Οι μέθοδοι που βασίζονται στην καλλιέργεια των μικροοργανισμών είναι πιθανότατα μη ικανοποιητικοί, καθώς και οι μη ζώντες μικροοργανισμοί και τα συστατικά των μικροβίων, μαζί με τα προϊόντα τους, μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα υγείας. Οι μέθοδοι καλλιέργειας είναι φτωχά υποκατάστατα των μεθόδων μη καλλιέργειας, και έχουν μικρή ακρίβεια. Παρ' όλα αυτά, η ταυτοποίηση των μικροοργανισμών γίνεται πιο εύκολα από της μεθόδους καλλιέργειας. Η χρήση μεθόδων φίλτρου προτιμάται για μετρήσεις ατομικής έκθεσης, καθώς τα φίλτρα

μπορούν να αναλυθούν με μια ποικιλία μεθόδων μη καλλιέργειας, και η χρήση φίλτρου στη συλλογή μπορεί να προσαρμοστεί στα προσφάτως καθορισμένα κριτήρια για μεγέθη σωματιδίων που έχουν επιπτώσεις στην υγεία, *Methods for Quantitative Assessment of Airborne Levels of Noninfectious Microorganisms in Highly Contaminated Work Environments*, Wijnand Eduard, Dick Heederik [12].

2.3.9 Μέθοδος μέτρησης σε πραγματικό χρόνο

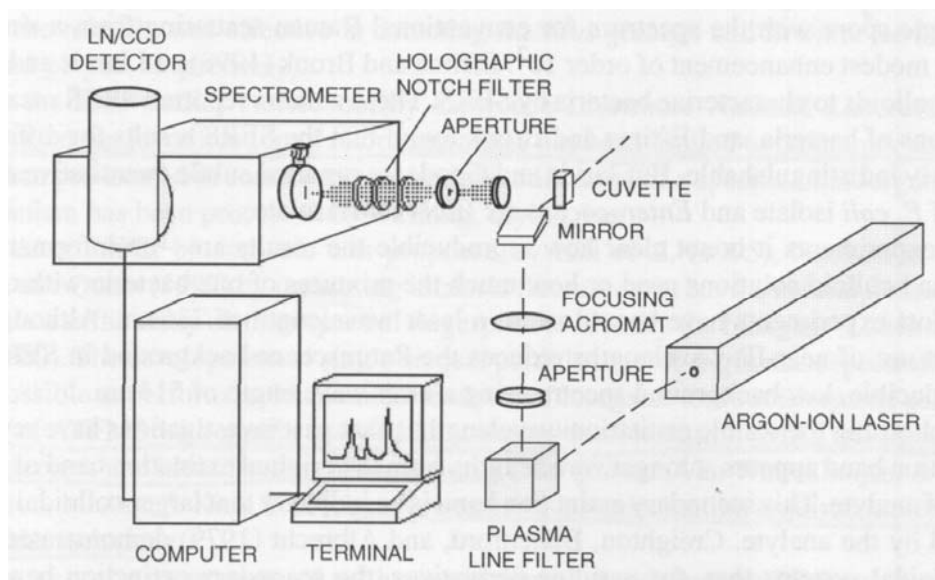
Οι παραδοσιακές μέθοδοι μέτρησης σε μη πραγματικό χρόνο, αφαιρώντας τα σωματίδια από την επιφάνεια στην οποία έχουν συλλεχθεί και αναλύοντας τα με μικροσκοπική μέτρηση, χημικές μεθόδους και βιολογικές διεργασίες δεν παρέχουν γρήγορη ταυτοποίηση και αποτελέσματα.

Εναλλακτική μέθοδος μέτρησης έχουν προταθεί από το Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL) για συλλογή, ανίχνευση και ταυτοποίηση σε πραγματικό χρόνο. Το μεγαλύτερο μέρος της δημοσιευμένης εμπειρίας πάνω στην αναγνώριση μικροοργανισμών αναφέρεται σε εργαστηριακές μελέτες. Η μέτρηση σε πραγματικό χρόνο προτάθηκε από τους Hill et al.(1995), Nachma et al. (1996), και Hairston, Ho & Quant (1997), μετρώντας τη φυσική (εσωτερική) ικανότητα φθορισμού, αλλά ο φυσικός φθορισμός συνήθως δεν παρέχει αρκετά ευδιάκριτο φασματικό αποτύπωμα ώστε να γίνει ταυτοποίηση ενός παράγοντα Βιοαεροζόλ. Η ανάπτυξη του single aerosol particle time-of-flight mass spectrometers (ATFMS) το έκανε εφικτό να γίνουν γρήγορες χημικές αναλύσεις των ανόργανων και μερικών οργανικών σωματιδίων.

Το σύστημα λειτουργεί με βάση συγκεκριμένες αρχές. Το όλο σύστημα βασίζεται πάνω στη Raman spectroscopy, που έχει χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα στο παρελθόν για τη μελέτη μιας μεγάλης ποικιλίας ιών και βιομορίων σε υδατικά διαλύματα. Η στιγμιαία επίδραση Raman είναι τόσο αδύναμη, που ο φθορισμός, όταν συμβεί, διακόπτει το φάσμα του Raman, και τα βιολικά γενικότερα περιέχουν φθορίζων παράγοντες, που δείχνουν ισχυρό φθορισμό. Ο αντανακλαστικός φθορισμός Raman χρειάζεται ένα laser διαβαθμιζόμενο, για να μετράει τις διάφορες συχνότητες απορρόφησης στα βιολικά. Η Surface-enhanced Raman spectrometry (SERS) καταπιέζει το φθορισμό και αυξάνει κατά πολύ το σήμα του Raman. Έτσι, το SERS μοιάζει να είναι κατάλληλος μετρητής για καθορισμό της χημικής σύστασης των Βιοαεροζόλ, ειδικότερα όταν γίνεται ανίχνευση μικρών ποσοτήτων υλικού. Το

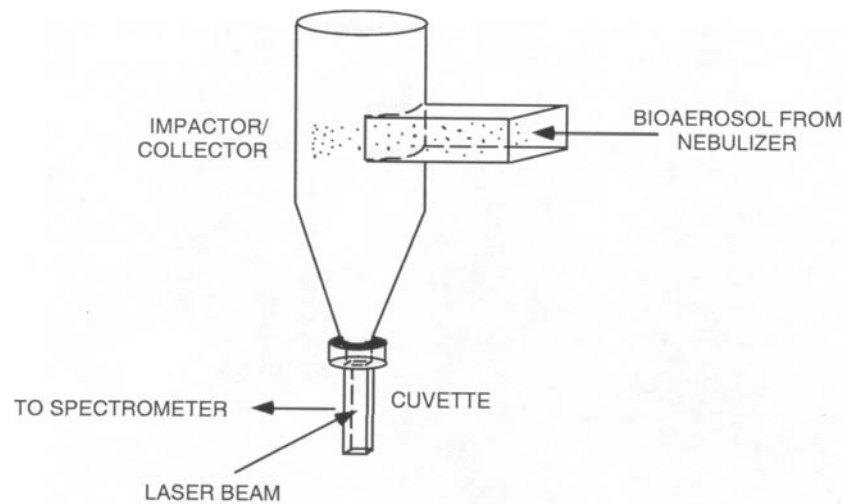
SERS έχει χρησιμοποιηθεί για το διαχωρισμό των επικίνδυνων Βιοαεροζόλ μεταξύ τους, και από το βιολογικό υλικό στο φόντο του δείγματος. Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι το SERS έχει ένα σύνολο από πλεονεκτήματα, έναντι άλλων μεθόδων ανίχνευσης Βιοαεροζόλ, καθώς μπορεί να ενσωματωθεί σε μια πραγματικής μέτρησης, και πιθανότατα φορητή, συσκευή ανίχνευσης μικροποσοτήτων Βιοαεροζόλ, Bioaerosol characterization by surface-enhanced Raman spectroscopy (SERS) – A.Sengupta, M.L.Laucks, N.Dildine, E.Drapala, E.J.Davis (in press) [14].

Στις παρακάτω εικόνες φαίνεται η αρχή λειτουργίας της μεθόδου μέτρησης σε πραγματικό χρόνο. Η πρώτη εικόνα δείχνει το σύστημα μέτρησης Raman που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις SERS.



Σύστημα Raman [14]

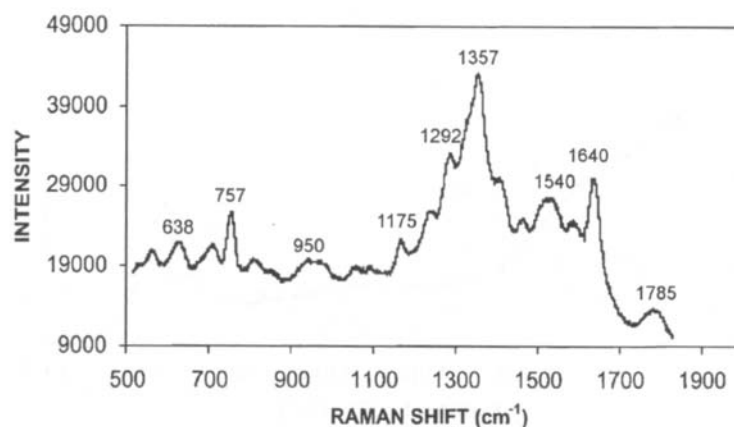
Στην ακόλουθη εικόνα φαίνεται το σύστημα συλλογής του Βιοαεροζόλ, όπως αυτό χρησιμοποιείται από τη μέθοδο μέτρησης σε πραγματικό χρόνο.



Αρχή λειτουργίας για μέτρηση Βιοαεροζόλ σε πραγματικό χρόνο [14]

Για την ανίχνευση μικροοργανισμών χρειάζεται να αναγνωριστεί ή να χαρακτηριστούν οι χημικές ομάδες που είναι παρών στα κυτταρικά τοιχώματα. Το εξωτερικό τοίχωμα ευθύνεται για τις παθογονικές ιδιότητες των μικροοργανισμών. Η σύνθεση του κυτταρικού τοιχώματος, επίσης, διαφέρει για διαφορετικά είδη, όπως τα gram-positive και gram-negative. Τα κυρίαρχα συστατικά των κυττάρων είναι αμινοξέα και πολυσακχαρίτες.

Παρακάτω φαίνεται το τυπικά παραγόμενο διάγραμμα για μέτρηση με τη χρήση του SERS για την περίπτωση μέτρησης E.coli.



Διάγραμμα SERS ενός BL21 Escherichia coli [14]

Η μέθοδος αυτή, της μέτρησης σε πραγματικό χρόνο είναι σχετικά απλή και γρήγορη, συγκρινόμενη με τις συμβατικές μεθόδους μέτρησης.

Τέλος, έχουν αναφερθεί στη βιβλιογραφία και άλλες μέθοδοι σαν αυτή. Μια, αναφορικά, είναι ο Ultraviolet aerodynamic particle sizer (UVAPS), που είναι μια νέα μέθοδος, και βασίζεται στο φυσικά εκπεμπόμενο φθορισμό από τα φθορίζον συστατικά. Αξίζει, δε, να σημειωθεί ότι το σύστημα αυτό πρώτα αναπτύχθηκε για λόγους ασφαλείας από επιθέσεις με παράγοντες Βιοαεροζόλ, Real-time monitoring of viable bioaerosols: capability of the UVAPS to predict the amount of individual microorganisms in aerosol particles, Victoria Agranovski, Zoran D.Ristovski [15].

2.4 Προβλήματα στη διαδικασία συλλογής και μέτρησης Βιοαεροζόλ

Παρ' όλα αυτά, ο προσδιορισμός των επιπέδων Βιοαεροζόλ μπορεί να είναι περίπλοκος, και μάλλον ειδικός τομέας έρευνας, σε αντίθεση με περιπτώσεις μέτρησης μη βιολογικών αεροζόλ. Το Βιοαεροζόλ είναι σταθερά πιο περίπλοκο, για παράδειγμα η ζωτικότητα των μικροοργανισμών μπορεί να εξαρτηθεί από τα επίπεδα μόλυνσης, φυσικό στρες, και αλλαγές στις περιβαλλοντικές συνθήκες. Τα χαρακτηριστικά και η συμπεριφορά τους μπορεί να επηρεαστεί από τη διαδικασία ανάπτυξης τους, σχηματισμού αεροζόλ, η μετάβαση τους σε αέρια κατάσταση, κατά τη συλλογή τους από τους δειγματολήπτες, κατά την αποθήκευση, χειρισμό ή ανάλυση. Ένα άλλο βασικό στοιχείο που πρέπει να σημειωθεί είναι ότι δεν υπάρχουν καθορισμένα πρωτόκολλα σχετικά με τη μέτρηση Βιοαεροζόλ, και οι αρχές που χρησιμοποιούνται είναι ίδιες με εκείνες της συλλογής σκόνης. Ο αριθμός των δειγμάτων που χρειάζεται να ληφθούν, η χρονική διάρκεια λήψης και η θέση του δειγματολήπτη εξαρτώνται ανάλογα από το περιβάλλον και τη δραστηριότητα μέτρησης [7].

Η συλλογή και καθίζηση των σωματιδίων του Βιοαεροζόλ επηρεάζονται από παράγοντες που έχουν σχέση με το μέγεθος των σωματιδίων. Αυτοί συμπεριλαμβάνουν την δράση της αδράνειας, της καθίζησης, καθώς και της κίνησης Brown. Σε ιδανικές συνθήκες, τα σωματίδια θα πρέπει να συλλέγονται ποσοτικά, ασχέτως του μεγέθους τους, πράγμα δύσκολο στην πράξη. Μερικές φορές είναι χρήσιμη η γνώση του μεγέθους των σωματιδίων, ώστε να υπολογίζονται οι

συγκεντρώσεις στο καθοδικό ρεύμα αέρα, και να μπορεί να υπολογιστεί η καθίζηση, πράγμα επίσης δύσκολο να επιτευχθεί. Το αποτέλεσμα της συμμετοχής της αδράνειας στη συλλογή βιοαεροζόλ, συνήθως παίζει σημαντικό ρόλο στην αποδοτικότητα των μετρητών, είτε μέσω των απωλειών στο σημείο εισαγωγής, είτε με την υπερσυλλογή ή υποσυλλογή των σωματιδίων λόγω της εισόδου. Οι επιπτώσεις της αδράνειας αυξάνουν σημαντικά με την αύξηση του μεγέθους των σωματιδίων, και υπάρχουν σε κάθε σύστημα όπου υπάρχει διατάραξη του αέρα. Επομένως, η ποσοτική συλλογή σωματιδίων σε εξωτερικούς χώρους, λαμβάνοντας υπ' όψιν τις αλλαγές στην ροή του ανέμου και την ταχύτητα αυτού, είναι αρκετά δύσκολη υπόθεση. Σε ιδανικές συνθήκες, η ροή του ανέμου δεν θα πρέπει να διαταράσσεται και η ταχύτητα του μετρούμενου αέρα, όταν μπαίνει σε ένα χώρο ή στο δειγματολήπτη, θα πρέπει να είναι ίση με την ταχύτητα στην γύρω περιοχή. Τέτοια δείγματα ονομάζονται ισοκινητικά, και είναι οι ιδανικές περιπτώσεις δειγματοληψίας. Στο εξωτερικό περιβάλλον τέτοια δείγματα είναι σχεδόν αδύνατο να επιτευχθούν, αφού, σύμφωνα με τις μελέτες πολλών ερευνητών με χρήση ειδικών οργάνων αυτόματης διατήρησης διεύθυνσης και αυτόματου υπολογισμού ροής, τα αποτελέσματα ήταν απογοητευτικά, και έπρεπε να εφαρμοστούν οι διορθωτικοί συντελεστές για ανισοκινητικά δείγματα [1].

Ο επόμενος σημαντικός παράγοντας που δημιουργεί πρόβλημα στη διαδικασία συλλογής και μέτρησης του Βιοαεροζόλ είναι η βιωσιμότητα των παραγόντων. Στο βαθμό που οι μικροοργανισμοί μπορούν να θεωρηθούν ζωντανοί οργανισμοί, είναι απαραίτητο να καθοριστεί τι εννοούμε με την βιωσιμότητα και επιβίωση τους. Στη αεροβιολογία αυτό συνήθως σχετίζεται με την ιδιότητα του μικροοργανισμού να δημιουργήσει αποικία σε ένα θρεπτικό μέσο. Στην πραγματικότητα, αυτό είναι μέτρο μόνο της καλλιεργησιμότητας του μικροοργανισμού, κάτω από τις δοσμένες συνθήκες. Αυτή η ανάλυση δεν μπορεί, όμως, να δώσει στοιχεία για την ικανότητα του μικροοργανισμού να δημιουργήσει αποικία ή να προσβάλει έναν δέκτη. Στη βιβλιογραφία υπάρχουν παραδείγματα μικροοργανισμών που είναι πολύ δύσκολο να καλλιεργηθούν, αλλά είναι πολύ εύκολο να αποδειχθεί η συμμετοχή τους στη πρόκληση ασθενειών σε πραγματικές συνθήκες (*Legionella pneumophilla*). Σε γενικές γραμμές, ένα σύνολο από διαφορετικούς παράγοντες επηρεάζει την βιωσιμότητα των μικροοργανισμών που αποτελούν το Βιοαεροζόλ. Οι παράγοντες αυτοί μπορούν να δρουν μαζί και να στρεσάρουν τον οργανισμό. Οι πιο σημαντικοί παράγοντες είναι: το είδος του

μικροοργανισμού, οι συνθήκες ανάπτυξης της καλλιέργειας, η μέθοδος παραγωγής του Βιοαεροζόλ, ο δειγματολήπτης και το περιβάλλον εναιώρησης. Η ξήρανση, ακτινοβολία, το οξυγόνο και το όζον είναι ακόμα μερικοί λόγοι που επηρεάζουν την βιωσιμότητα του Βιοαεροζόλ [7].

3. Επιπτώσεις Βιοαεροζόλ στην ανθρώπινη υγεία

3.1 Εισαγωγή

Η έκθεση σε σωματίδια βιοαεροζόλ, ειδικότερα στους παθογόνους ή αλλεργιογόνους μικροοργανισμούς, μπορεί να προκαλέσει μια μεγάλη ποικιλία αναπνευστικών και διάφορων διαταραχών στην υγεία, στο γενικό και εργατικό πληθυσμό [16]. Συγκεκριμένα, εργάτες που χειρίζονται βιολογικά υλικά, όπως οι αγρότες, οι εργάτες πριονιστηρίων, και οι εργάτες που δουλεύουν στην επεξεργασία και μεταφορά λυμάτων [12]. Η μόλυνση, για παράδειγμα, μπορεί να προέλθει από επαφή, εισπνοή ή κατάποση παθογόνων ή πιθανώς παθογόνων, ζώντων μικροοργανισμών. Αλλεργική ή τοξική αντίδραση μπορεί να προκύψει με απλή έκθεση στους αιωρούμενους μικροοργανισμούς. Αυτοί δεν είναι ανάγκη να είναι ζώντες, καθώς και τα νεκρά κύτταρα και θραύσματα κυττάρων μπορούν να προκαλέσουν την ίδια αντίδραση, όπως τα ζωντανά κύτταρα. Αυτό, πρακτικά, σημαίνει ότι ο ολικός αριθμός των αιωρούμενων κυττάρων είναι σημαντικός. Έτσι, στην περίπτωση που μετράμε τα αιωρούμενα σωματίδια για λόγους υγείας, το εισπνεόμενο ποσοστό των αεροζόλ πρέπει να μετράται, και όταν μετράμε προσωπική έκθεση, ο δειγματολήπτης πρέπει να είναι στο ύψος της περιοχής αναπνοής [7].

3.2 Σχέση Βιοαεροζόλ με το ανθρώπινο περιβάλλον

Το ενδιαφέρον για την έκθεση σε σωματίδια Βιοαεροζόλ έχει αυξηθεί τις τελευταίες δεκαετίες. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι, τώρα πλέον, αναγνωρίζεται κατάλληλα ότι η έκθεση σε βιολογικούς παράγοντες, στο εργασιακό αλλά και σπιτικό περιβάλλον, σχετίζεται με μια μεγάλη ποικιλία δυσμενών επιπτώσεων στην υγεία, με μεγάλο αντίκτυπο στην δημόσια υγεία, που περιλαμβάνει μεταδοτικές μολυσματικές ασθένειες, οξύ τοξική δράση, αλλεργίες και καρκίνο.

Την τελευταία δεκαετία, διάφορες νέες δραστηριότητες έχουν προκύψει, στις οποίες η έκθεση σε Βιοαεροζόλ είναι άφθονη. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι οι Μονάδες Επεξεργασίας Λυμάτων. Οι εργάτες σε τέτοιες μονάδες συχνά εκτίθενται σε

μεγάλες συγκεντρώσεις μικροοργανισμών, και διάφορες μελέτες έχουν γίνει που έχουν δείξει υψηλή διάδοση συμπτωμάτων του αναπνευστικού συστήματος και φλεγμονές της αναπνευστικής οδού, σε τέτοιου είδους εργασίες. Άλλο παράδειγμα είναι η παραγωγή υψηλά καθαρών βιολογικών ουσιών, όπως τα βιολογικά ένζυμα που χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία επεξεργασίας τροφίμων και στην βιομηχανία παραγωγής απορρυπαντικών. Σήμερα, υπάρχει προφανής τάση για αύξηση της παραγωγής τέτοιων ενζύμων. Πολλά από αυτά τα ένζυμα είναι πιθανά αλλεργιογόνα, και μπορούν αν προκαλέσουν αλλεργικό άσθμα και ρινίτιδα σε εργαζόμενους που χειρίζονται αυτά, ή τα ενδιάμεσα προϊόντα αυτών, τα οποία περιέχουν ένζυμα. Η αυξημένη μόνωση των κτηρίων, σε συνδυασμό με τον φτωχό εξαερισμό, έχει επίσης δημιουργήσει περιβάλλοντα με αυξημένη έκθεση σε Βιοαεροζόλ, και αρκετές μελέτες έχουν υποδείξει πως μια σημαντική μερίδα των ασθενειών που έχουν σχέση με το κτήριο εργασίας ή διαμονής (Σύνδρομο Νοσούντος Κτηρίου) σχετίζεται με τέτοιου είδους έκθεση. Τέλος, η αύξηση της χρήσης αντιβιοτικών στην επεξεργασία της ξυλείας έχει επιταχύνει την ανάπτυξη παθογόνων ανθεκτικών στα αντιβιοτικά, το οποίο μπορεί να αυξήσει τον κίνδυνο σοβαρών μολυσματικών ασθενειών σε εργάτες που χειρίζονται τη διεργασία παραγωγής ξυλείας, Bioaerosol Health Effects and Exposure Assessment: Progress and Prospects – J. Douwes, P. Thorne, N. Pearce and D. Heederik [18].

3.3 Παθήσεις που σχετίζονται με την παρουσία Βιοαεροζόλ

Η ανθρώπινη έκθεση σε σωματίδια Βιοαεροζόλ είναι γνωστό ότι μπορεί να οδηγήσει σε ασθένειες, όπως αλλεργική αλβεότις, σύνδρομο τοξικότητας σε οργανική σκόνη, άσθμα και αλλεργίες [17]. Στις περισσότερες περιπτώσεις η έκθεση συμβαίνει σε πολύπλοκα μίγματα τοξινών και αλλεργιογόνων, και μια μεγάλη κλίμακα πιθανών επιπτώσεων στην υγεία πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν. Τρεις μεγάλες κατηγορίες ασθενειών πρέπει να ξεχωριστούν: Οι μολυσματικές ασθένειες, οι αναπνευστικές ασθένειες και οι καρκίνοι. Οι μολυσματικές και αναπνευστικές είναι και οι πιο συχνές. Όμως, δεν υπάρχουν βάσιμα περιστατικά ή δεδομένα εξάπλωσης για τις περισσότερες ασθένειες που προκύπτουν από τους βιολογικούς παράγοντες. Επιπλέον των βασικών ομάδων, έχουν περιγραφεί στη βιβλιογραφία και άλλες

επιπτώσεις στην υγεία των εκτιθέμενων εργατών, ή πρόωρες γεννήσεις ή καθυστερημένες αμβλώσεις σε αγρότισσες που εκτέθηκαν σε μυκοτοξίνες με ανοσοτοξικές και ορμονικές επιδράσεις. Παρ' όλα αυτά, μέχρι σήμερα δεν έχει γίνει μελέτη αυτών των επιδράσεων και επομένως υπάρχει ελάχιστη πληροφορία πάνω σε αυτά τα θέματα [18]. Τα σωματίδια του βιοαεροζόλ μπορούν να ταξιδέψουν μεγάλες αποστάσεις, λόγω της ατμοσφαιρικής διάχυσης. Παρ' όλα αυτά, η ικανότητα των βιοαεροζόλ να προκαλέσουν το ξέσπασμα μιας νόσου εξαρτάται από άλλες παραμέτρους, κυρίως την ικανότητα των μικροβίων να επιβιώσουν και να παραμείνουν μολυσματικά για τους κατάλληλους υποδοχείς. Αλλά για πολλά μικρόβια, και αρκετά αλλεργιογόνα το εναέριο περιβάλλον είναι εχθρικό προς εκείνα, λόγω της ξήρανσης, της έκθεσης σε ακτινοβολία, στο οξυγόνο και σε άλλους ρυπαντές.

Παρακάτω παρουσιάζονται κατηγοριοποιημένες οι βασικότερες ασθένειες που έχει βρεθεί ότι μπορεί να προκύψουν από την έκθεση σε Βιοαεροζόλ.

3.3.1 Μολυσματικές Ασθένειες

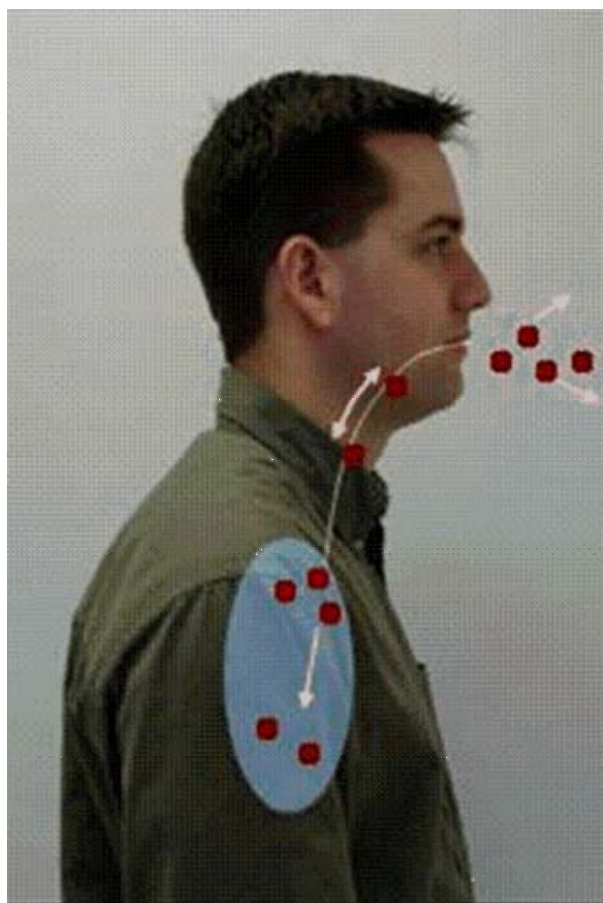
Οι μολυσματικές ασθένειες προκύπτουν από τους ιούς, τα βακτήρια, τα πρωτόζωα και τους εντερικούς σκώληκες (έλμινς), και περιλαμβάνουν διάδοση ενός μολυσματικού παράγοντα από ένα φορέα σε ένα πιθανό δέκτη, μέσω μια απευθείας επαφής, κοινής μεταφοράς, αέριας διάδοσης κ.α. Οι μολυσματικές ασθένειες που σχετίζονται με το Βιοαεροζόλ είναι: (1) Έκθεση σε ειδικές επαγγελματικές συνθήκες, όπως αυτές μπορεί να προκύψουν, για παράδειγμα, στους εργαζόμενους ενός νοσοκομείου (φυματίωση, στομαχικοί πόνοι, ιλαρά), στους αγρότες, εργάτες σφαγείων, κτηνιάτρους (Q-fever, γρίπη χοίρων, άνθρακας) και εργάτες δασών (tularemia). (2) Συσπείρωση ατόμων σε χώρους εργασίας, όπως οι περιπτώσεις γραφείων, στρατού ή χώρων αερομεταφοράς (γρίπη, φυματίωση, στομαχικοί πόνοι). Επιπλέον, η νόσος των Λεγεωνάριων και ο Pontiac fever είναι υψηλής σημασίας μεταδιδόμενες ασθένειες που σχετίζονται με την παρουσία Βιοαεροζόλ, που προκύπτουν από εργασιακή ή μη έκθεση σε Legionellae. Η Legionellae είναι Gram-negative βακτήρια που κατοικούν σε υδατικό περιβάλλον, όπως τα, κατασκευασμένα από τον άνθρωπο, συστήματα νερού (Βιόφιλτρα, πύργοι ψύξης, air condition κ.α), και μπορεί να προκαλέσει πνευμονία που μπορεί να αποβεί μοιραία, ιδιαίτερα σε ευπαθείς ομάδες (ηλικιωμένοι). Η Legionellae περνάει σε αιωρούμενη φάση κατά τη

διάρκεια τέτοιων διεργασιών. Περιπτώσεις ξεσπάσματος ασθένειας σχετικής με αυτό έχουν αναφερθεί σε μπάνια νοσοκομείων, σε συσκευαστήρια κρέατος, εργατικούς χώρους με υψηλή υγρασία, όπως πρατήρια φρούτων και λαχανικών, πισίνες και σε χώρους με ψεκαστήρες.

Επομένως, επαγγέλματα υψηλού κινδύνου για μολυσματικές ασθένειες που σχετίζονται με έκθεση σε Βιοαεροζόλ είναι οι αγρότες, οι κτηνίατροι, οι εργαζόμενοι στον τομέα της υγείας και οι βιοφαρμακευτικοί εργάτες, που μελετάνε τους μολυσματικούς παράγοντες [18].

3.3.2 Αναπνευστικές ασθένειες

Τα αναπνευστικά συμπτώματα και η εξασθένηση της λειτουργίας του πνεύμονα είναι πιθανότατα τα πιο μελετημένα μεταξύ των ασθενειών που σχετίζονται

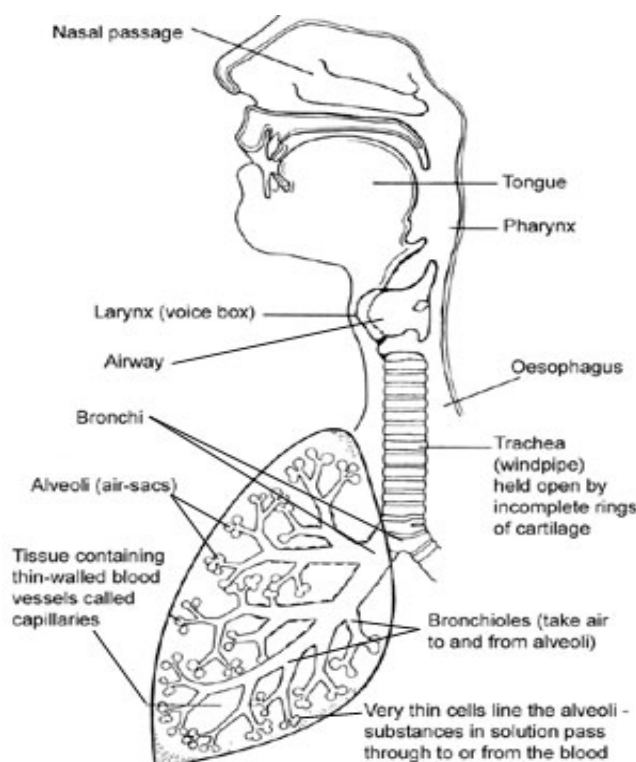


με την οργανική σκόνη. Ποικίλουν από οξείς μέσες επιδράσεις που, τουλάχιστον αρχικά, δεν έχουν επιπτώσεις στην καθημερινή ζωή, μέχρι σοβαρές χρόνιες αναπνευστικές ασθένειες, που χρειάζονται ειδική φροντίδα. Γενικά, τα συμπτώματα που σχετίζονται με την υγεία προκύπτουν από την φλεγμονή της αναπνευστικής οδού, που δημιουργείται από συγκεκριμένη έκθεση σε τοξίνες, προ φλεγμονικούς παράγοντες και αλλεργιογόνα. Βασιζόμενοι στους υποστρωματικούς μηχανισμούς φλεγμονής και τα επακόλουθα συμπτώματα, μπορεί να γίνει μια

διαφοροποίηση ανάμεσα στα αλλεργιογόνα και τους μη αλλεργιογόνα συμπτώματα. Τα μη αλλεργιογόνα αναπνευστικά συμπτώματα αντικατοπτρίζουν μια μη ανοσοσυγκεκριμένη φλεγμονή της αναπνευστικής οδού, ενώ τα αλλεργιογόνα συμπτώματα δίνουν μια ανοσοσυγκεκριμένη φλεγμονή, στην οποία τα διάφορα

αντισώματα παίζουν σημαντικό ρόλο στην αντίδραση του οργανισμού. Στην επαγγελματική νοσολογία έχει αναγνωριστεί από καιρό ότι ένα βασίμο ποσοστό περιπτώσεων άσθματος οφείλεται σε μη αλλεργιογόνους παράγοντες. Ο τύπος αυτός του άσθματος αναφέρεται ως: ‘Asthma-like disorder or syndrome’ ή ‘irritant-reduced asthma’, και είναι υψηλά παρουσιαζόμενο σε αγρότες και επαγγέλματα που σχετίζονται με την αγροτική, και με επαγγέλματα που υποθέτεται ότι παράγουν Βιοαεροζόλ. Παρόλο που οι ασθένειες που προκύπτουν από την παρουσία Βιοαεροζόλ έχουν όλες τις ενδείξεις για δημιουργία άσθματος, έχει βρεθεί σε μερικούς πληθυσμούς, ότι αυτά τα συμπτώματα δεν σχετίζονται μόνο με την αναστρέψιμη ασθένεια των πνευμόνων (cross-shift reversible decrease in lung function), αλλά και με την ταχεία χρονική μείωση της λειτουργίας των πνευμόνων (COPD, chronic obstructive pulmonary diseases). Πρόκειται για μια τελείως διαφορετική κατηγορία άσθματος. Προϋπάρχων αναπνευστικές δυσλειτουργίες μπορεί να αυξήσουν τον κίνδυνο της ανάπτυξης επαγγελματικού άσθματος. Τέλος, επιπλέον με τις άλλες ασθένειες, οι εργάτες μπορεί να αναπτύξουν υπερευαίσθητη πνευμονίτιδα (Hypersensitive pneumonitis HP) και τοξικά σύνδρομα οργανικής σκόνης (organic dust toxic syndrome ODS) [18].

3.3.3 Καρκίνος



Η εμφάνιση καρκίνου μπορεί να προκύψει από μια ποικιλία παραγόντων, συμπεριλαμβανομένου των οργανικών ιών και άλλων βιολογικών παραγόντων. Μέχρι σήμερα, το μόνο καθαρά αναγνωρισμένο, μη ιικό βιολογικό επαγγελματικό καρκινογόνο θεωρείται οι μυκοτοξίνες. Αυτές εμφανίζονται σε βιομηχανίες όπου υλικά που έχουν μολυνθεί με μούχλα επεξεργάζονται. Η πιο

γνωστή καρκινογόνος μυκοτοξίνη είναι η αφλοτοξίνη *Aspergillus flavus*, που είναι ένα γνωστό καρκινογόνο για τον άνθρωπο, και ιδιαίτερα με τον καρκίνο του ήπατος. Ένα άλλο καρκινογόνο είναι η Ochratoxin A. Η πιο σχετική οδός έκθεσης σε αυτά είναι η κατάποση, αλλά έκθεση μπορεί να γίνει και με εισπνοή σε βιομηχανίες, όπως η επεξεργασία φιστικιών και ξύλου, όπου συμβαίνει δημιουργία σωματιδίων σκόνης. Οι εργάτες στην επεξεργασία ξύλου έχουν αυξημένο κίνδυνο καρκίνου του ήπατος, καθώς και καρκίνους της ηπατικής χολής (biliary tract), σιελογόνου αδένα και πολλαπλού μυελόματος. Οι αγρότες έχουν αυξημένο κίνδυνο εμφάνισης αιματολογικού καρκίνου, χειλικό καρκίνο, στομαχικό, προστάτη, ιστών και εγκεφάλου. Οι λόγοι είναι κυρίων και το Βιοαεροζόλ από φυτοφάρμακα, οργανικούς ιούς και βιολογικούς παράγοντες που προκύπτουν στον αέρα σε φάρμες [18].

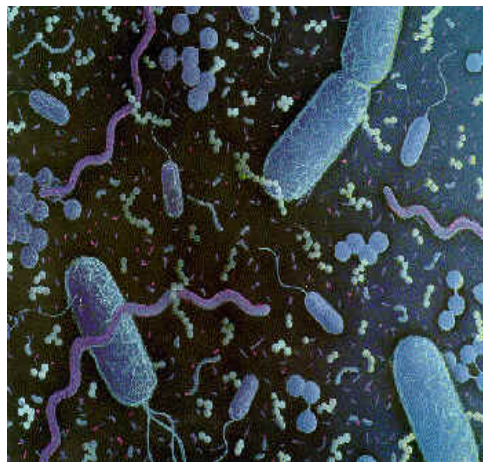
Παρ' όλα αυτά, μια αποτελεσματική μέθοδος που να υπολογίζει την σχέση μεταξύ της εργασιακής έκθεσης στο Βιοαεροζόλ και επιπτώσεις στην υγεία δεν έχει ακόμα καθοριστεί [8].

3.4 Παράγοντες που προκαλούν ασθένειες

Από το σύνολο των σωματιδίων Βιοαεροζόλ που προκύπτουν από διάφορες ανθρώπινες ή φυσικές δραστηριότητες, κάποιοι συγκεκριμένοι παράγοντες έχουν χαρακτηριστεί οι πιο κρίσιμοι προς μέτρηση και βλαβεροί για την ανθρώπινη υγεία. Παρακάτω αναφέρονται οι βασικότεροι παράγοντες έκθεσης.

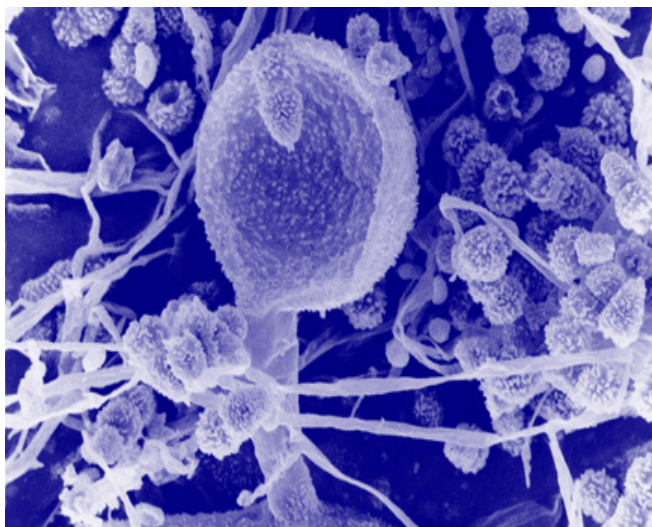
3.4.1 Μύκητες και βακτήρια

Οι μύκητες και τα θερμοφιλά βακτήρια είναι οι πιο γνωστές πηγές αλλεργιογόνων που παίζουν ρόλο στη δημιουργία Hypersensitive pneumonitis (HP). Αυτά τα είδη περιλαμβάνουν τα συνήθη *Penicillium* και *Aspergillus*, που παράγονται σε χώρους εργασίας, σε υψηλές συγκεντρώσεις. Αλλά και άχυρα που έχουν μολυνθεί με θερμοφιλά βακτήρια, όπως η



Βακτήρια

Saccharopolyspora rectivirgula ή οι *Thermoactinomyces vulgaris* είναι πηγές HP. Παρόμοιες δυσλειτουργίες έχουν προκύψει σε μανηταροκαλλιεργητές και σε εργάτες compost.



Μύκητες

Τα περισσότερα βακτήρια ή παράγοντες βακτηρίων δεν είναι πολύ ισχυρά αλλεργιογόνα, με εξαίρεση τους ακτινομύκητες που παράγουν σπόρια. Τα συστατικά των τοιχωμάτων των βακτηρίων, όπως η ενδοτοξίνη και τα πεπτιδογλυκάνια είναι παράγοντες με προφλεγμονώδεις ιδιότητες, που μπορούν να προκαλέσουν αναπνευστικές παθήσεις [18].

3.4.2 Ενδοτοξίνες

Οι ενδοτοξίνες αποτελούνται από λιποπολυσακχαρίτες (LPS) και είναι μη αλλεργικοί παράγοντες τοιχωμάτων του κυττάρου των Gram-negative βακτηρίων με ισχυρές προφλεγμονώδεις ιδιότητες. Είναι συνήθως παρών σε πολλούς εργασιακούς χώρους, αλλά και γενικότερα στο περιβάλλον, και ειδικά στη σπιτική σκόνη. Η ενδοτοξίνη έχει αναγνωριστεί σαν σημαντικός παράγοντας στην αιτιολόγηση των επαγγελματικών ασθενειών του πνεύμονα, συμπεριλαμβανομένου και του άσθματος και του ODS. Τα υποκείμενα που εκτίθενται στην ενδοτοξίνη σε πειράματα εισπνοής παρουσιάζουν κλινικά συμπτώματα, όπως πυρετό, σπασμούς, αρθραλγία, συμπτώματα γρίπης, λεύκωση αίματος, φλεγμονή της αναπνευστικής οδού, συμπτώματα άσθματος, όπως βήχας, πόνοι στο στήθος, φράξιμο των βρόγχων, καθώς και ανεπάρκεια της λειτουργίας των πνευμόνων και μειωμένη ικανότητα εξάπλωσης των πνευμόνων [18].

3.4.3 Μυκοτοξίνες

Οι μυκοτοξίνες ή τοξίνες των μυκήτων είναι χαμηλού μοριακού βάρους βιομόρια, που παράγονται από τους μύκητες και είναι τοξικά, σε ανθρώπου και ζώα. Μερικές είναι πιθανά καρκινογόνα. Πολλές άλλες μυκοτοξίνες έχουν κατηγοριοποιηθεί ως κατέχοντες ξεχωριστές χημικές δομές και αντιδραστικές ομάδες λειτουργίας, συμπεριλαμβανομένου των πρωτεΐων και δευτερέων αμινών, οξέων και αμίδων. Για τις μυκοτοξίνες λίγα είναι γνωστά για τα συμπτώματα που επιφέρει η έκθεση σε εργασιακούς χώρους. Αυτό που είναι γνωστό είναι ότι είναι παρών στη σκόνη από σιτηρά, στη σκόνη από βαμβάκι και στη σκόνη από στάχυ [18].

3.4.4 Αλλεργιογόνα

Τα αλλεργιογόνα αποτελούνται από μια μεγάλη ποικιλία μακρομοριακών δομών, και κυμαίνονται από μικρά έως μεγάλα μοριακά βάρη, που συνήθως είναι πρωτεΐνες βιολογικής προέλευσης. Τα πιο δυνατά αλλεργιογόνα σε χώρους εργασίας περιλαμβάνουν ένζυμα που παράγονται από μύκητες και βακτήρια που παράγονται από βιοτεχνολογικές εταιρίες, για χρήση σε σκόνες πλυντηρίων και βιομηχανία ανθρώπινων και ζωικών τροφών. Επομένως, οι πληθυσμοί που κινδυνεύουν δεν είναι μόνο οι εργάτες στην παραγωγή των ενζύμων, αλλά και στην παραγωγή τροφίμων [18].



3.5 Προστατευτική δράση της μικροβιακής έκθεσης;

Τα τελευταία χρόνια η υπόθεση της υγιεινής από τις επιπτώσεις στην υγεία στα πιθανά οφέλη των μικροβιακών παραγόντων. Αυτό προϋποθέτει να ζήσει και να αναπτυχθεί ένα άτομο σε περιβάλλον που δεν είναι αποστειρωμένο, όπως τα περισσότερα σπίτια, αλλά σε περιβάλλον στο οποίο υπάρχουν τέτοιοι παράγοντες. Πιστεύεται ότι η μικροβιακή έκθεση, και συγκεκριμένα η έκθεση στις μυκοτοξίνες σε νεαρή ηλικία, μπορεί να προστατέψει από τη δημιουργία ατοπιών και άσθματος. Παρ' όλα αυτά, οι μηχανισμοί δεν είναι ακόμα πλήρως κατανοητοί. Μελέτες σε παιδιά

αγροτών έδειξαν ότι η ανάπτυξη σε μια φάρμα προστατεύει από ατοπίες και άσθμα. Ο τομέας αυτός της έρευνας όμως παραμένει ακόμα υπό σκιά, και χρειάζεται να γίνουν πολλές έρευνες πριν καταστεί δυνατό να προκύψουν βάσιμα συμπεράσματα πάνω στο φαινόμενο αυτό [18].

4. Εργασία πεδίου

4.1.Σκοπός εργασίας

Η μελέτη του βιοαεροζόλ, των πηγών εκπομπής, των χαρακτηριστικών και επιπτώσεων που έχει στην ανθρώπινη υγεία προϋποθέτει, εκ των πραγμάτων, την διεξαγωγή μετρήσεων της συγκέντρωσης αυτού, σε χώρους όπου κρίνεται πιθανή η παρουσία σωματιδίων. Οι μετρήσεις αυτές αποδίδουν αριθμητικές τιμές και στοιχεία, όσο αναφορά τη συγκέντρωση βιοαεροζόλ σε συγκεκριμένες τοποθεσίες. Η ανάλυση και επεξεργασία των μετρήσεων και των αποτελεσμάτων τους μπορεί να οδηγήσει σε παρατηρήσεις και χρήσιμα συμπεράσματα, σχετικά με τη δράση των σωματιδίων.

4.2 Χώρος μελέτης και συνθήκες μέτρησης

4.2.1 Εισαγωγικά

Η μέτρηση συγκεντρώσεων βιοαεροζόλ μπορεί να γίνει σε διάφορους χώρους που είναι πιθανό να έχουν ικανοποιητικές τιμές για τη λήψη δειγμάτων, είτε αυτοί είναι εξωτερικοί χώροι είτε εσωτερικοί χώροι. Ανάλογα με τον επιλεγόμενο χώρο, και τις δραστηριότητες που συμβαίνουν σε αυτόν, περιμένουμε να έχουμε τα αντίστοιχα ποσά συγκεντρώσεων.

Για τις ανάγκες της εργασίας αποφασίστηκε να γίνουν οι μετρήσεις σε χώρο όπου λειτουργεί Μονάδα Επεξεργασίας Λυμάτων. Ο λόγος για την επιλογή μιας τέτοιας τοποθεσίας είναι η ίδια η φύση μιας τέτοιας εγκατάστασης. Η επεξεργασία λυμάτων που πραγματοποιείται, σε συνδυασμό με τις δεξαμενές να βρίσκονται σε ελεύθερη επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα, και τις διεργασίες επεξεργασίας από μόνες τους να περιλαμβάνουν την ανατάραξη της υδάτινης μάζας, οδηγούν σε ιδανικές συνθήκες εκπομπής σωματιδίων και μικροοργανισμών από την υδάτινη επιφάνεια στον ατμοσφαιρικό αέρα. Έτσι, σε τοποθεσίες πλησίον των δεξαμενών καθίζησης και αερισμού είναι ιδανικά σημεία για συλλογή δειγμάτων. Συγκεκριμένα, το σπάσιμο των φυσαλίδων στην επιφάνεια της δεξαμενής αερισμού ελευθερώνει

σταγονίδια στην ατμόσφαιρα, με υψηλό μικροβιακό περιεχόμενο και η μέτρηση του είναι ενδιαφέρον από άποψη περιβαλλοντική αλλά και από άποψη υγείας, Raygor.C, K. Mackay - 'Bacterial Air Pollution from an Activated Sludge Tank', Water, Air and Soil Pollution, 1975, Vol. 5, pp. 47-52 [6].

Σε ένα τέτοιο χώρο, αρχικά αναμένουμε να υπάρχει μεγάλη συγκέντρωση βιοαεροζόλ, μεγαλύτερη, ίσως, από εγκαταστάσεις διαφορετικού τύπου. Μια τέτοια εγκατάσταση, λόγω των υψηλών συγκεντρώσεων βιοαεροζόλ που δημιουργεί, είναι δυνατόν να αποτελεί κίνδυνο για την υγεία του ανθρώπου. Η χωροταξία, όμως, τέτοιων εγκαταστάσεων, μακριά από κατοικημένες περιοχές, και συνήθως στα περίχωρα των πόλεων, μαζί με τις βιομηχανικές μονάδες, τις καθιστούν λιγότερο άμεσα επικίνδυνες. Πρέπει, όμως, να ελεγχθεί και η συμμετοχή της κίνησης του αέρα στην μεταφορά των μικροοργανισμών, που θα μπορούσε να φέρει τα σωματίδια σε κατοικημένες περιοχές, σε συνδυασμό με τις φυσικές ιδιότητες του βιοαεροζόλ που αναφέρθηκαν στην αρχή (βιωσιμότητα, φυσικές ιδιότητες), ώστε να βγει ένα συμπέρασμα για τη μεταβολή της συγκέντρωσης σε σχέση με την απόσταση.

4.2.2 Τοποθεσίες μέτρησης και λήψης δειγμάτων

Για την λήψη των δειγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη επιλέχθηκαν τέσσερις διαφορετικές εγκαταστάσεις, όλες της ίδιας φύσεως (Μονάδες Επεξεργασίας Λυμάτων), οι οποίες όμως λειτουργούν υπό διαφορετικές συνθήκες, έχουν διαφορετικά μεγέθη και επεξεργάζονται λύματα διαφορετικής σύστασης. Ο λόγος επιλογής διαφορετικών μονάδων είναι, κυρίως, η παρατήρηση και σύγκριση της διαφορετικότητας των αποτελεσμάτων, ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν σε κάθε μονάδα.

Οι εγκαταστάσεις που επιλέχθηκαν για να γίνουν οι μετρήσεις είναι οι ακόλουθες: Η Μονάδα Επεξεργασίας Αστικών Λυμάτων της περιοχής του Ηρακλείου Κρήτης, η Μονάδα Επεξεργασίας Λυμάτων της βιομηχανικής περιοχής στην περιοχή του Ηρακλείου Κρήτης, το Κέντρο Έρευνας και Εφαρμογής Υδατικής Τεχνολογίας (Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ) της Εταιρείας Ύδρευσης Άρδευσης Πόλεως (Ε.ΥΔ.Α.Π) και η Υπηρεσία Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων Μεταμόρφωσης της Ε.ΥΔ.Α.Π στη Μεταμόρφωση Αττικής. Οι δυο πρώτες τοποθεσίες βρίσκονται πλησίον κατοικήσιμων περιοχών, και είναι χρήσιμο να βρεθεί ο βαθμός της πιθανής ανθρώπινης έκθεσης σε βιοαεροζόλ. Οι επόμενες δύο τοποθεσίες βρίσκονται στο 13.5

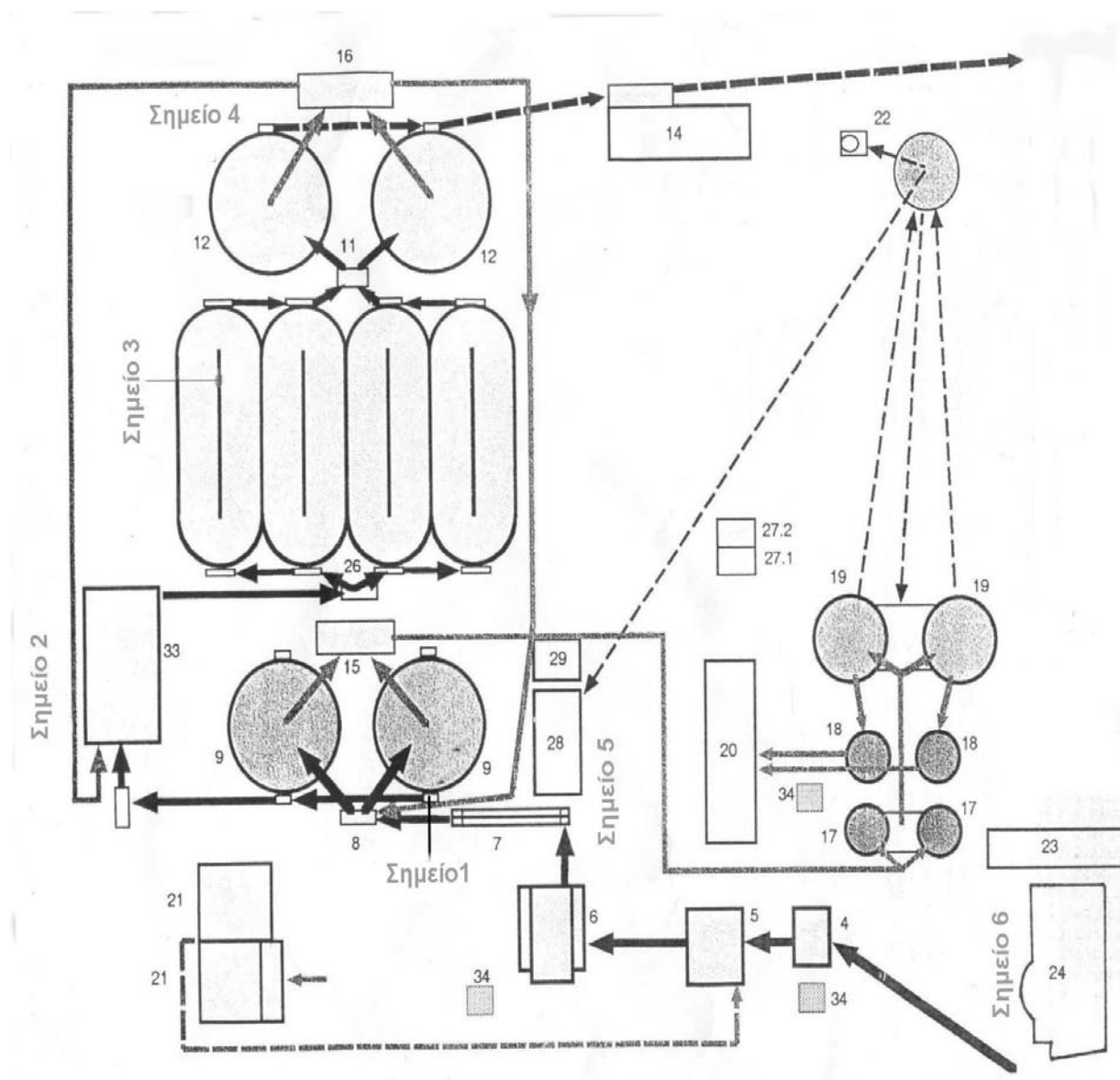
χιλιόμετρο της Εθνικής οδού Αθηνών-Λαμίας, που είναι περιοχή που απέχει αρκετά από κατοικήσιμες περιοχές.

4.2.2.1 Μονάδα Επεξεργασίας Αστικών Λυμάτων Ηρακλείου Κρήτης

Η Μονάδα Επεξεργασίας Αστικών Λυμάτων Ηρακλείου είναι από τις μεγαλύτερες μονάδες στην Ελλάδα, και έχει σχεδιαστεί να επεξεργάζεται τα απόβλητα των δήμων του Ηρακλείου, της Νέας Αλικαρνασσοῦ και της περιοχής του Γκάζι (συνολικά, περίπου 165000 κάτοικοι). Η ολική χωρητικότητα της μονάδας είναι 30500 m³/day, αν και προς το παρόν δέχεται μόνο 20000 m³/day. Η μονάδα περιλαμβάνει τέσσερις ελλειπτικές δεξαμενές αερισμού, που συνθέτουν δύο παράλληλα υποσυστήματα, και επιτυγχάνουν πλήρη νιτροποίηση και απονιτροποίηση, σύμφωνα με το σύστημα BIODENITRO System of Kruger. Ο επιφανειακός αερισμός επιτυγχάνεται με τη χρήση 12 ‘βουρτσών’, μήκους περίπου 9 μέτρα η κάθε μία, και διαμέτρου 1 μέτρο. Οι ‘βούρτσες’ λειτουργούν εναλλάξ και είναι κάθετες στον μακρύ άξονα της έλλειψης.

Τα σημεία μέτρησης που επιλέχθηκαν ήταν έξι στο σύνολο, σε διαφορετικές μονάδες μέσα στην εγκατάσταση. Η λήψη τους έγινε σε εκείνες τις μονάδες που θεωρήθηκε ότι δίνουν τη μεγαλύτερη εκπομπή βιοαεροζόλ. Τα σημεία μέτρησης είναι τα ακόλουθα, όπως παρουσιάζονται και στο σχεδιάγραμμα της εγκατάστασης:

Σημείο 1:	Δυτική πλευρά της πρώτης εκ των δύο δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης
Σημείο 2:	Στη νοτιοδυτική πλευρά της δεξαμενής επιλογής
Σημείο 3:	Στη γέφυρα της νότιας δεξαμενής αερισμού
Σημείο 4:	Στην ανατολική πλευρά της νότιας δεξαμενής δευτεροβάθμιας καθίζησης
Σημείο 5:	Μεταξύ των κτηρίων του εξαμμωτή, της μονάδας αφυδάτωσης και εσχάρωσης,
Σημείο 6:	Μπροστά από τα διοικητικά γραφεία της μονάδας, στην είσοδο του κτιρίου



Εικόνα 4.1 Μονάδα Επεξεργασίας Αστικών Λυμάτων Ηρακλείου Κρήτης

Υπόμνημα			
4	Αντλιοστάσιο εισόδου	18	Δεξαμενές μεταπάχυνσης
5	Κτίριο εσχάρων	19	Δεξαμενές χώνευσης
6	Αμμοσυλλέκτης και λιποσυλλέκτης	20	Κτήριο αφυδάτωσης λάσπης
7	Δίαυλος Parshall	21	Δεξαμενές υποδοχής βοθρολυμάτων
8	Θάλαμος διανομής 1	22	Αεριοφυλάκιο και πυρσός καύσης
9	Δεξαμενές Α' καθίζησης	23	Κτήριο συνεργείου
10	Δεξαμενές αερισμού	24	Κτήριο διοίκησης
11	Θάλαμος διανομής 3	26	Θάλαμος διανομής 2

12	Δεξαμενές Β' καθίζησης	27	1:Δεξαμενή νερού έκπλυσης
14	Κτίριο χλωρίωσης	27	2:Δεξαμενή νερού πόσιμου
15	Αντλιοστάσιο Α' λάσπης	28	Κτίριο υποσταθμού ρεύματος
16	Αντλιοστάσιο Β' λάσπης	29	Κτίριο ενέργειας αερισμού
17	Δεξαμενές προπάχυνσης	33	Δεξαμενή επιλογής
		34	Μονάδες απόσμησης



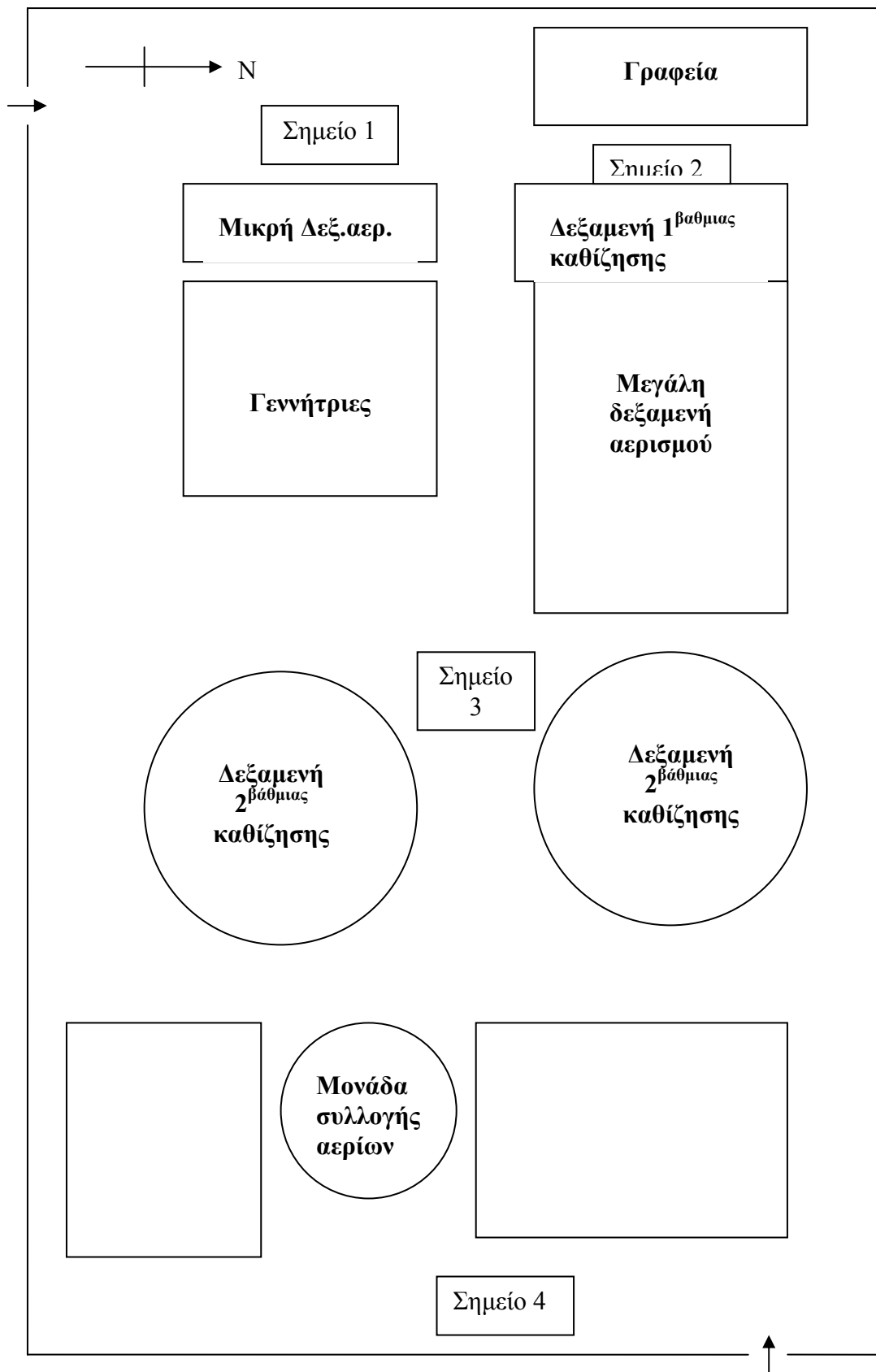
Εικόνα 4.2 ‘Βούρτσες’ αερισμού της Μονάδας Επεξεργασίας Αστικών Λυμάτων Ηρακλείου

4.2.2.2 Μονάδα Επεξεργασίας Λυμάτων Βιομηχανικής Περιοχής Ηρακλείου Κρήτης

Η τοποθεσία της μονάδας είναι 5 χιλιόμετρα από το κέντρο του Ηρακλείου, και είναι μια εγκατάσταση δύο φάσεων, με ικανότητα επεξεργασίας $1500 \text{ m}^3/\text{day}$. Η μονάδα περιλαμβάνει δύο δεξαμενές αερισμού, πριν και μετά τη δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης, μαζί με δυο ακόμη δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης. Η μονάδα είναι ακόμη εφοδιασμένη με σύστημα αεριστήρων PULSAR static aerators. Η πρώτη δεξαμενή, που είναι μικρή, δέχεται τα λύματα για προεπεξεργασία, ενώ η βασική επεξεργασία γίνεται στη δεύτερη δεξαμενή, που είναι και η μεγαλύτερη από τις δύο (εφοδιασμένη με 180 αεριστήρες). Η ροή του αέρα φτάνει τα $5400 \text{ Nm}^3/\text{h}$, και ο συνολικός όγκος της δεξαμενής είναι 5200 m^3 . Η μονάδα δέχεται κυρίως απόβλητα του Βιομηχανικού Πάρκου, και μερικά από κοντινή κοινότητα.

Τα σημεία λήψης δειγμάτων στην εγκατάσταση, επιλέχθηκαν σε τρία κεντρικά σημεία της και ένα πιο απομακρυσμένο, και παρουσιάζονται στο διάγραμμα. Τα σημεία λήψης είναι τα ακόλουθα:

Σημείο 1:	Στη ανατολική πλευρά της μικρής δεξαμενής αερισμού στα πρώτα στάδια επεξεργασίας
Σημείο 2:	Στην ανατολική πλευρά της πρωτοβάθμιας δεξαμενής καθίζησης
Σημείο 3:	Στο ενδιάμεσο των δυο δεξαμενών δευτεροβάθμιας καθίζησης
Σημείο 4:	Στη δυτική πλευρά της εγκατάστασης, πίσω από τη μονάδα συγκέντρωσης των παραγόμενων αερίων



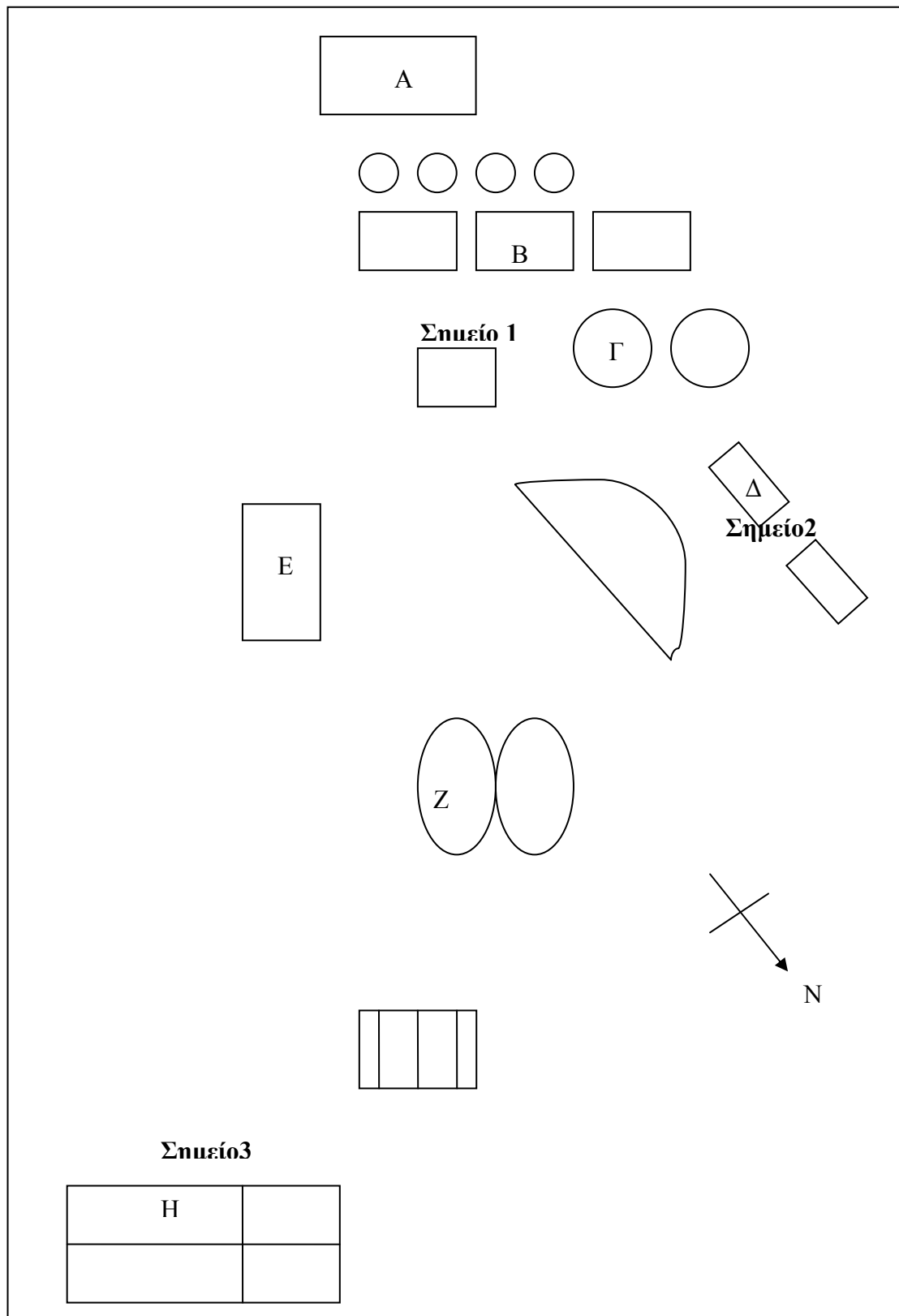
Εικόνα 4.3 Σχηματική διάταξη Μονάδας Επεξεργασίας Λυμάτων Βιομηχανικής περιοχής Ηρακλείου Κρήτης



Εικόνα 4.4 Μεγάλη δεξαμενή αερισμού της Μονάδας Επεξεργασίας Λυμάτων Βιομηχανικής περιοχής Ηρακλείου Κρήτης

4.2.2.3 Κέντρο Έρευνας και Εφαρμογής Υδατικής Τεχνολογίας (Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ)

Το Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ βρίσκεται στο 13.5 χιλιόμετρο της Εθνικής οδού Αθηνών – Λαμίας, και πρόκειται για μια πειραματική μονάδα, στην οποία εφαρμόζονται νέες διαδικασίες στην επεξεργασία των λυμάτων (Εικόνα 3.4). Η εγκατάσταση αυτή αποτελείται από το σύνολο των μονάδων που συνθέτουν μια κανονική μονάδα επεξεργασίας λυμάτων με μόνη διαφορά ότι οι τιμές των λειτουργικών συντελεστών, με βάση τους οποίους γίνεται η επεξεργασία των λυμάτων (στάθμη λυμάτων στις δεξαμενές, τιμές παροχής αερισμού λυμάτων, σχήμα δεξαμενών και τεχνικές αερισμού) διαφοροποιούνται για τις ανάγκες της έρευνας. Η ιδιαιτερότητα αυτή της εγκατάστασης ήταν και ο βασικός λόγος που επιλέχθηκε ως ένα από τα μέρη δειγματοληψίας, για να μετρηθούν και να συγκριθούν οι συγκεντρώσεις του βιοαεροζόλ που δίνει η εγκατάσταση, σε σχέση με τις τιμές που παίρνουμε από τις υπόλοιπες μονάδες. Η σχηματική διάταξη της εγκατάστασης δίνεται παρακάτω, μαζί με το σχετικό υπόμνημα.



Εικόνα 4.4 Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ

Υπόμνημα	
A.	Κτήρια διοίκησης
B.	Δεξαμενές Αερισμού
Γ.	Δευτεροβάθμια καθίζηση
Δ.	Εξαμμωτές
Ε.	Κτήρια τεχνολογικού εξ.
Ζ.	Δευτεροβάθμια καθίζηση
Η.	Πιλοτική μονάδα αερισμού

Τα σημεία λήψης των δειγμάτων, όπως φαίνεται στο διάγραμμα της εγκατάστασης, επιλέχθηκαν στα κεντρικά σημεία λειτουργίας της. Αυτά είναι τα ακόλουθα:

Σημείο 1:	Βόρεια πλευρά των δεξαμενών αερισμού, και ανάμεσα από τις δεξαμενές αερισμού, τη νότια δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης, σε απόσταση, περίπου, 2,5 μέτρων από την δεξαμενή του αερισμού.
Σημείο 2:	Βορειοανατολική γωνία των δεξαμενών εξάμμωσης, σε απόσταση περίπου 1 μέτρου από τη δεξαμενή.
Σημείο 3:	Το τελευταίο σημείο ήταν στην δοκιμαστική μονάδα αερισμού, όπου επικρατούν πειραματικές συνθήκες αερισμού και τροφοδοσίας λυμάτων, για τους ερευνητικούς σκοπούς της μονάδας. Η μέτρηση έγινε στο νότιο μέρος της δεξαμενής, στο κέντρο της απόστασης..

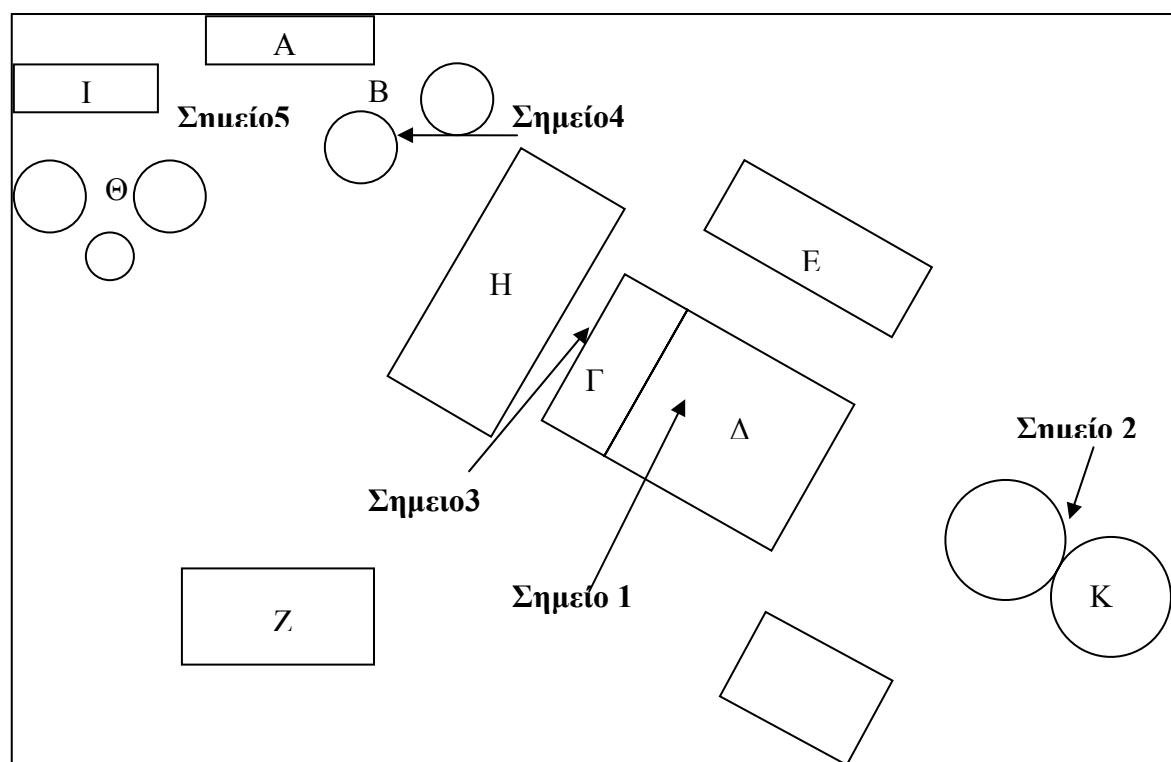
Παρακάτω φαίνεται οι μονάδες αερισμού του Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ.



Εικόνα 4.5 Δεξαμενές αερισμού του Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ

4.2.2.4 Υπηρεσία Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων Μεταμόρφωσης της Ε.ΥΔ.Α.Π

Νότια του Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ βρίσκεται το Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων της Ε.ΥΔ.Α.Π, που εξυπηρετεί τους κατοίκους της μεταμόρφωσης και των γύρω περιοχών. Πρόκειται για μεγάλου μεγέθους εγκατάσταση, η οποία έχει τη δυνατότητα να επεξεργάζεται και βοθρολύματα. Όπως παρουσιάζεται στο ακόλουθο διάγραμμα και τις φωτογραφίες, περιλαμβάνει δύο παράλληλες ορθωγικές δεξαμενές καθίζησης, πέντε δεξαμενές αερισμού, με τρία συστήματα αερισμού με φυσητήρα η κάθε μια, και δυο δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης.



Εικόνα 4.6 Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Μεταμόρφωσης

Υπόμνημα	
A.	Μονάδα αφυδάτωσης λάσπης
B.	Δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης βοθρολυμάτων
Γ.	Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης
Δ.	Δεξαμενές αερισμού
E.	Κεντρικά γραφεία διοίκησης
Z.	Χώρος εναπόθεσης λάσπης από πρωτοβάθμια καθίζηση
H.	Παλιό εγκαταλελειμμένο κτήριο
Θ.	Δεξαμενές αναερόβιας χώνευσης
I.	Κτήριο τεχνολογικού εξοπλισμού
K.	Δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης

Τα σημεία λήψης που παρουσιάζονται στο διάγραμμα, όπως εκείνα επιλέχθηκαν για την αντιπροσωπευτικότητα τους, είναι τα ακόλουθα:

Σημείο 1:	Δεξαμενές αερισμού, πάνω στην εξέδρα από την πρώτη εξ αριστερών σειρά από τους επιφανειακούς αεριστήρες
------------------	---

Σημείο 2:	Δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης, στο βόρειο άκρο της πρώτης κατά σειρά δεξαμενής, σε απόσταση περίπου 1 μέτρου από τη δεξαμενή
Σημείο 3:	Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης, στην ανατολική γωνία της πρώτης δεξαμενής, σε απόσταση 1 μέτρου από τη δεξαμενή
Σημείο 4:	Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης βοθρολυμάτων, ανάμεσα από τις δύο δεξαμενές, σε απόσταση 1 μέτρου από την πρώτη δεξαμενή
Σημείο 5:	Μονάδα αφυδάτωσης λάσπης, στο ανατολικό άκρο της, σε απόσταση 2 περίπου μέτρων από το δοχείο ρήψης της λάσπης από τη μονάδα



**Εικόνα 4.7 Δεξαμενές αερισμού του Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων
Μεταμόρφωσης**

4.2.3 Συνθήκες μέτρησης

Παρακάτω περιγράφονται οι καιρικές συνθήκες κατά τη χρονική διάρκεια κάθε μέτρησης, καθώς και παράγοντες οι οποίοι, ενδεχομένως, να επηρέασαν τη μέτρηση.

4.2.3.1 Μονάδα Επεξεργασίας Αστικών Λυμάτων Ηρακλείου Κρήτης

Η δειγματοληψία στη Μονάδα Επεξεργασίας Αστικών Λυμάτων Ηρακλείου έγινε τις πρώτες μεσημεριανές ώρες της 7^{ης} Μαΐου 2004, από τις 11 π.μ έως τις 3 μ.μ, σε δυο διαδοχικές μέρες δειγματοληψίας. Οι καιρικές συνθήκες κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας στη μονάδα ήταν καλές, με τη θερμοκρασία να ανέρχεται στους 32 βαθμούς Κελσίου υπό σκιά, και τον άνεμο να είναι ελαφρύς, έως συνθήκες άπνοιας. Κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας δεν συνέβη κάτι που να εμπόδιζε ή να αλλοίωσε την διαδικασία.

4.2.3.2 Μονάδα Επεξεργασίας Λυμάτων Βιομηχανικής Περιοχής Ηρακλείου Κρήτης

Η δειγματοληψία στη Μονάδα Επεξεργασίας Λυμάτων Βιομηχανικής περιοχής έγινε τις μεσημεριανές ώρες της 14^{ης} Μαΐου 2004, από τις 1 μ.μ μέχρι τις 6 μ.μ. Η θερμοκρασία υπό σκιά ήταν 30 βαθμοί Κελσίου, και επικρατούσε ηλιοφάνεια καθ' όλη τη διάρκεια της μέτρησης. Ο άνεμος ήταν μέτριος, με βορειοδυτική κατεύθυνση, και κατά τη διάρκεια της μέτρησης δεν συνέβη κάτι που να παρεμπόδιζε τη διαδικασία.

4.2.3.3 Κέντρο Έρευνας και Εφαρμογής Υδατικής Τεχνολογίας (Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ)

Η δειγματοληψία στο Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ έγινε τις πρωινές ώρες της 8^{ης} Ιουλίου 2004, από τις 8 π.μ μέχρι τις 1 μ.μ. Η θερμοκρασία στις 8 π.μ ήταν στους 28 βαθμούς Κελσίου. Την στιγμή της πρώτης λήψης επικρατούσαν άνεμοι δυτικοί, ασθενείς. Κατά τις 09:30 και η θερμοκρασία ήταν 30 βαθμοί Κελσίου και οι άνεμοι ήταν βόρειοι, ισχυροί. Περίπου στις 11:30 η θερμοκρασία εκείνη την ώρα είχε ανέλθει στους 35 βαθμούς Κελσίου και οι άνεμοι εξακολουθούσαν να πνέουν βόρειοι, πολύ ισχυροί. Κατά τη διάρκεια της μέτρησης, ένας από τους υπεύθυνους εργάτες για την συντήρηση του περιβάλλοντα χώρου της μονάδας, κατάβρεχε την επιφάνεια μιας από τις μονάδες αερισμού, και αφού ερωτήθηκε για την ενέργεια του, δήλωσε ότι το έκανε για να διώξει τους αφρούς από την επιφάνεια της δεξαμενής. Αυτό ενδεχομένως να επηρεάσει την μέτρηση που ήταν εκείνη την ώρα σε εξέλιξη μπροστά από τη μονάδα. Επίσης, αυτή η ενέργεια δείχνει την έλλειψη ενημέρωσης του προσωπικού που δουλεύει στις μονάδες, τόσο ως προς τη φύση και την αρχή

λειτουργίας των διεργασιών, όσο και ως προς τις πιθανές συνέπειες που έχει η συνεχής επαφή τους με τα αιωρούμενα σωματίδια που προκύπτουν από τις διεργασίες, αφού κανείς από τους εργαζόμενους αυτούς δεν ήταν εξοπλισμένος με μια μάσκα προστασίας για την αναπνοή του, ή ακόμη γάντια προστασίας, για την αποφυγή επαφής με λύματα, τα οποία έχουν μεγάλες συγκεντρώσεις παθογόνων μικροοργανισμών.

4.2.3.4 Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Μεταμόρφωσης της Ε.Υ.Δ.Α.Π

Η δειγματοληψία στο Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Μεταμόρφωσης έγινε τις πρωινές ώρες της 9^{ης} Ιουλίου 2004, από τις 9 π.μ μέχρι τις 12 μ.μ. Κατά τη λήψη του πρώτου δείγματος, στις 9 π.μ η θερμοκρασία ήταν, περίπου 30 βαθμοί Κελσίου, και επικρατούσαν μέτριοι, βορειοδυτικοί άνεμοι. Κατά τη λήψη του δεύτερου δείγματος, στις 11 π.μ η θερμοκρασία είχε ανέβει στους 32 βαθμούς Κελσίου, και οι άνεμοι ήταν ασθενείς, βορειοδυτικοί. Τέλος, κατά το τελευταίο δείγμα, περίπου στις 12 και μισή μ.μ η θερμοκρασία είχε ανέλθει στους 34 βαθμούς Κελσίου και η ταχύτητα του ανέμου είχε εξασθενήσει. Τα δυο τελευταία δείγματα, που πάρθηκαν την επόμενη ημέρα, είχαν τις ίδιες τιμές θερμοκρασίας, με τους άνεμους να έχουν εξασθενήσει.

4.2.4 Χρησιμοποιούμενα υλικά και μέθοδοι

Για την ανάλυση και την εξέταση των συνθηκών που επικρατούν στον αέρα σε μονάδες επεξεργασίας λυμάτων, και συγκεκριμένα τη μέτρηση της συγκέντρωσης των μικροοργανισμών στον αέρα, έγινε χρήση των ακόλουθων οργάνων μέτρησης, υλικών και μεθόδων.

4.2.4.1 Όργανο λήψης δειγμάτων αέρα

Για την λήψη των δειγμάτων από τον αέρα στην περιοχή της εγκατάστασης, που περιλαμβάνει λήψη από διαφορετικά σημεία τεσσάρων ξεχωριστών εγκαταστάσεων, χρησιμοποιήθηκε η συσκευή “MAS-100” λήψης αέρα, που

βασίζεται στις αρχές που περιγράφονται από τον Andersen και λαμβάνει αέρα μέσω μιας διάτρητης πλάκας. Το συνακόλουθο ρεύμα αέρος, που περιέχει σωματίδια και



μικροοργανισμούς, οδηγείται στην επιφάνεια ενός στάνταρ τύπου Petri dish (Ø 90 mm), που είναι επιστρωμένο με το κατάλληλο είδος άγαρ (impaction method με χρήση θρεπτικού υλικού). Το MAS-100 λειτουργεί με μια αντλία αέρος υψηλών επιδόσεων, με συνεχή παρακολούθηση της ροής του αέρα. Το σύστημα του οργάνου μετράει την εισερχόμενη ροή του αέρα και

την ρυθμίζει στην σταθερή τιμή των 100 L/min και μπορεί να συλλέξει μέχρι 1000 L την φορά. Η ταχύτητα πρόσκρουσης των αιωρούμενων μικροοργανισμών στο άγαρ είναι περίπου 11 m/s.

4.2.4.2 Θρεπτικό υλικό

Για την ανάπτυξη και θρέψη των μικροοργανισμών χρησιμοποιήθηκαν τα ακόλουθα υλικά, ανάλογα με το είδος του μικροοργανισμού που ήταν υπό παρατήρηση.

ENDO Agar: Επιλεκτική μέθοδος καλλιέργειας για την ανίχνευση και απομόνωση των E.Coli και των Coliform βακτηρίων σε διάφορα υλικά, σύμφωνα με τον ENDO (1904). Τα άλατα του θειώδους οξέως και τοξίνες εμποδίζουν την ανάπτυξη των gram θετικών βακτηρίων. Τα Escherichia Coli και τα κολοβακτηρίδια μεταβολίζουν την λακτόζη με παραγωγή αλδεϋδης και οξέως. Η αλδεϋδη απελευθερώνει τα οξέα της φουξίνης από το σύμπλοκο φουξίνης-θεικού, και η φουξίνη βάφει τις αποικίες κόκκινες. Στην περίπτωση των Escherichia Coli, η αντίδραση αυτή είναι τόσο έντονη, ώστε η φουξίνη κρυσταλλώνεται, δίνοντας αποικίες με ένα μόνιμο μεταλλικό πράσινο χρώμα.

Peptone Yeast Agar: Επιλεκτική μέθοδος καλλιέργειας για την ανίχνευση και απομόνωση των ολικών βακτηριδίων (εντεροβακτηριδίων) από τρόφιμα και άλλα υλικά. Το αμυλοσάκχαρο ευνοεί την ανάπτυξη των εντεροβακτηριδίων. Η ισχυρή ικανότητα ουδετεροποίησης του μέσου καλλιέργειας εμποδίζει τα σχηματιζόμενα οξέα από το να θανατώσουν την αποικία.

4.2.5 Αντικείμενο μέτρησης

Σκοπός της έρευνας είναι να μετρηθούν οι συγκεντρώσεις των ολικών βακτηριδίων και των E.Coli στον αέρα, που εκπέμπονται από εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων. Μεγάλες συγκεντρώσεις τέτοιων μικροοργανισμών στην ατμόσφαιρα μπορεί να οδηγήσει σε ασθένειες που σχετίζονται με τους πνεύμονες, να προκαλέσουν αλλεργίες, ιώσεις. Η ανάλυση των δειγμάτων έγινε με αρχικά με επώαση τους σε θάλαμο, στους 34 βαθμούς Κελσίου, για χρονικά διαστήματα μίας και δύο ημερών. Στο τέλος της πρώτης και της δεύτερης μέρας έγινε μέτρηση των αποικιών και υπολογισμός των CFU ανά m^3 αέρα (CFU/m^3).

4.3 Παρουσίαση και σχολιασμός αποτελεσμάτων και μετρήσεων

Από την επεξεργασία των μετρήσεων, μετά την ανάλυση των δειγμάτων, καταμέτρηση των αποικιών και μετατροπή τους σε συγκεντρώσεις CFU/m^3 , μπορούν να προκύψουν διαγράμματα που παρουσιάζουν τις συγκεντρώσεις, σε σχέση με το μετρούμενο σημείο, την διακύμανση των τιμών μεταξύ τους και άλλα συγκριτικά διαγράμματα, που μπορούν να βοηθήσουν στην κατανόηση των αποτελεσμάτων και να οδηγήσουν σε παρατηρήσεις.

4.3.1 Διαγράμματα όγκου δείγματος σε σχέση με την πυκνότητα CFU/m^3

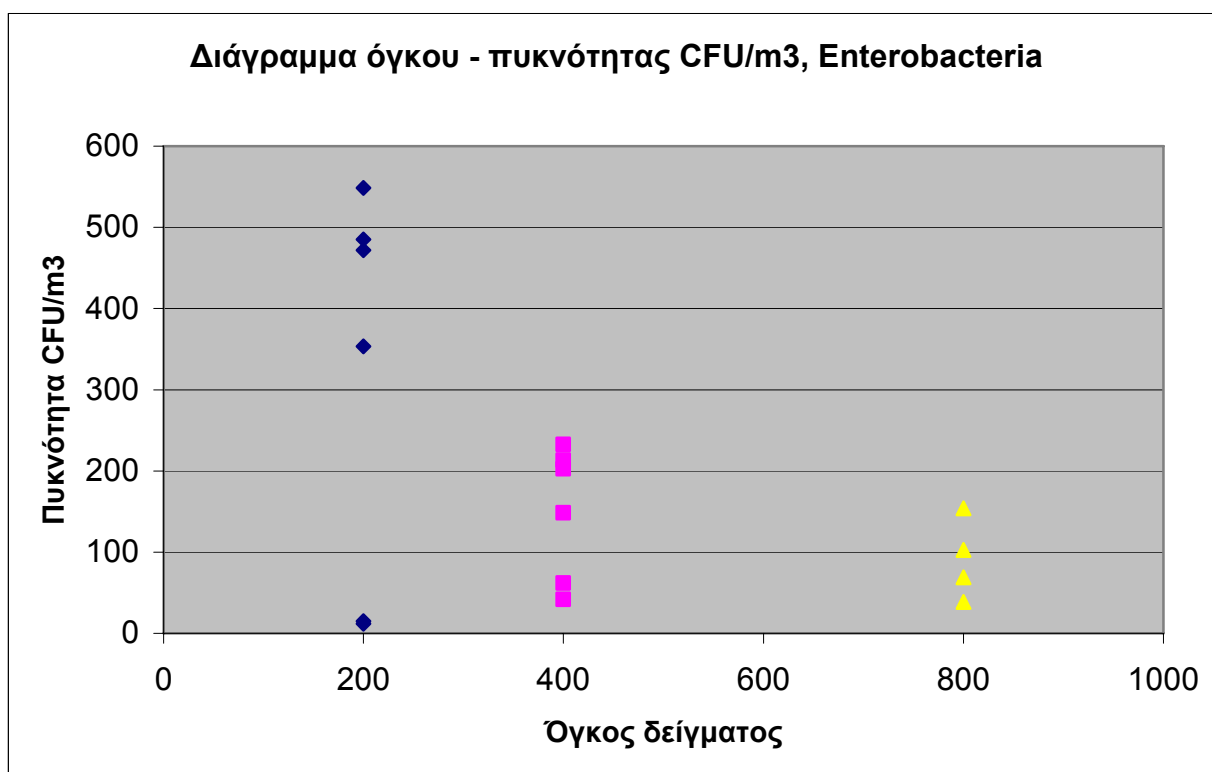
Τα πρώτα διαγράμματα που μπορούμε να σχηματίσουμε, παρουσιάζουν την κατανομή των πυκνοτήτων των CFU/m^3 σε σχέση με τον όγκο του αντίστοιχου δείγματος. Τα διαγράμματα αυτά μπορούν να δώσουν μια εύκολη πρώτη ματιά σε ότι αναφορά τις συγκεντρώσεις των μικροοργανισμών στον αέρα. Έτσι μπορούμε να

δούμε πόσα Colony Forming Units υπάρχουν στα 200 λίτρα αέρα, στα 400 και στα 800, και να συμπεράνουμε για την ποιότητα του αέρα.

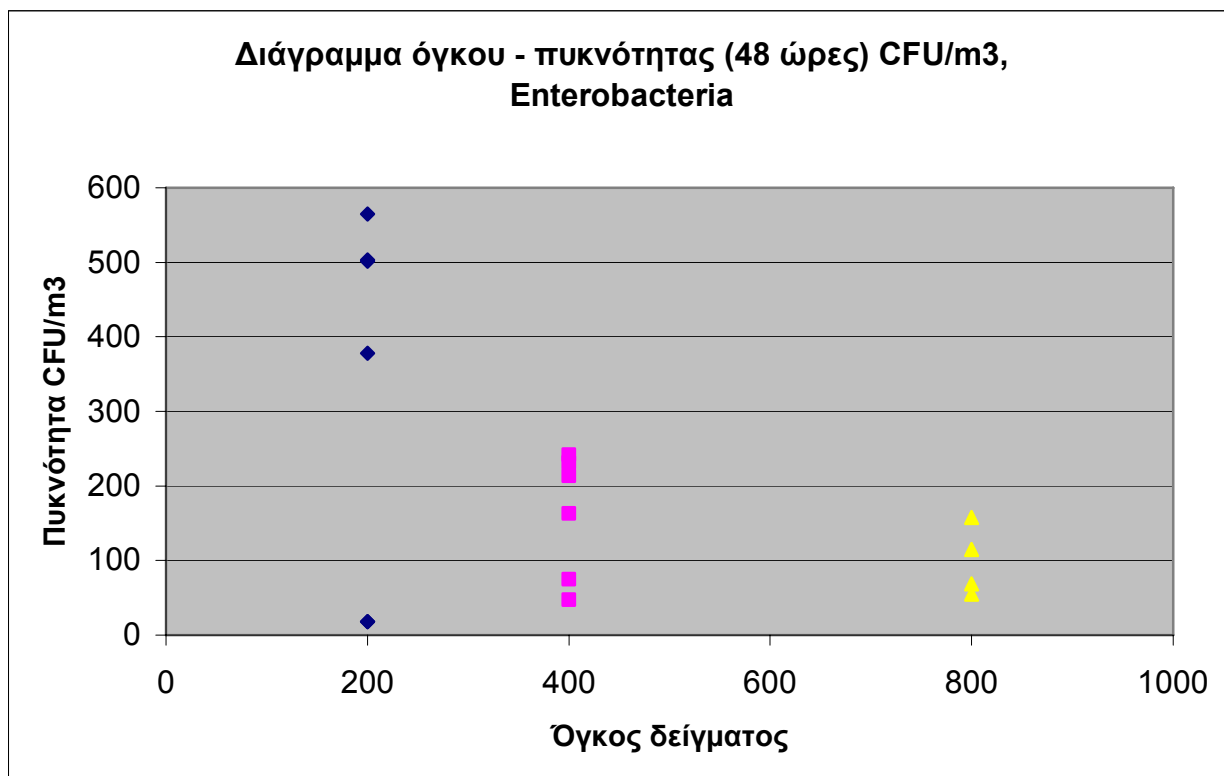
4.3.1.1 Μονάδα Επεξεργασίας Αστικών Λυμάτων Ηρακλείου Κρήτης

Τα διαγράμματα που προκύπτουν από τα δείγματα που πάρθηκαν στη Μονάδα Επεξεργασίας Αστικών Λυμάτων Ηρακλείου δίνονται παρακάτω, για τη μέτρηση των αποικιών σε 24 ώρες επώασης τους σε θάλαμο, στους 34 βαθμούς Κελσίου, καθώς και για 48 ώρες επώαση. Τα δείγματα που παρουσιάζονται αφορούν τις συγκεντρώσεις για τα εντεροβακτήρια και τα E.Coli και κολοβακτηρίδια στον αέρα της εγκατάστασης, και παρουσιάζονται ανάλογα με το θρεπτικό μέσο που επιλέχθηκε για τη συλλογή και ανάπτυξη τους.

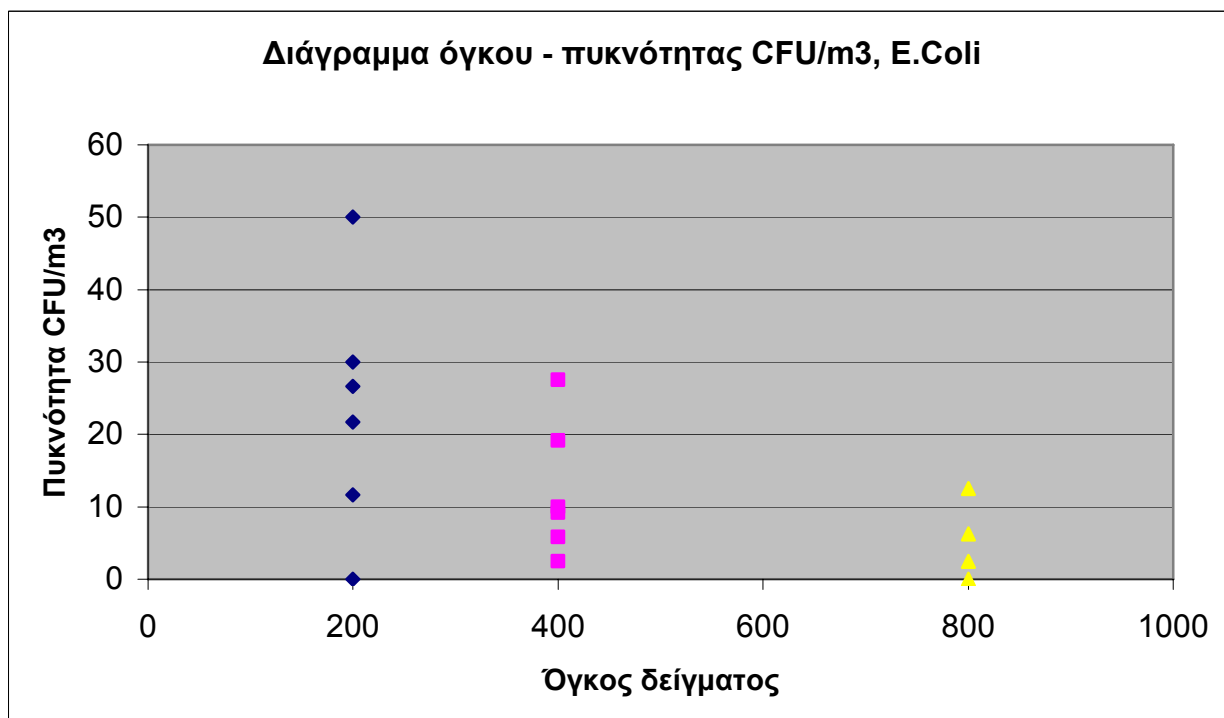
Παρακάτω παρουσιάζονται τα σχηματιζόμενα διαγράμματα:



Διάγραμμα 4.7 Σχέση όγκου πυκνότητας για Enterobacteria για τη Μονάδα Επεξεργασίας Αστικών Λυμάτων Ηρακλείου



Διάγραμμα 4.8 Σχέση όγκου πυκνότητας για τα Enterobacteria, 48 ώρες μέτρηση, για τη Μονάδα Επεξεργασίας Αστικών Λυμάτων Ηρακλείου



Διάγραμμα 4.9 Σχέση όγκου πυκνότητας για τα E.Coli για τη Μονάδα Επεξεργασίας Αστικών Λυμάτων Ηρακλείου

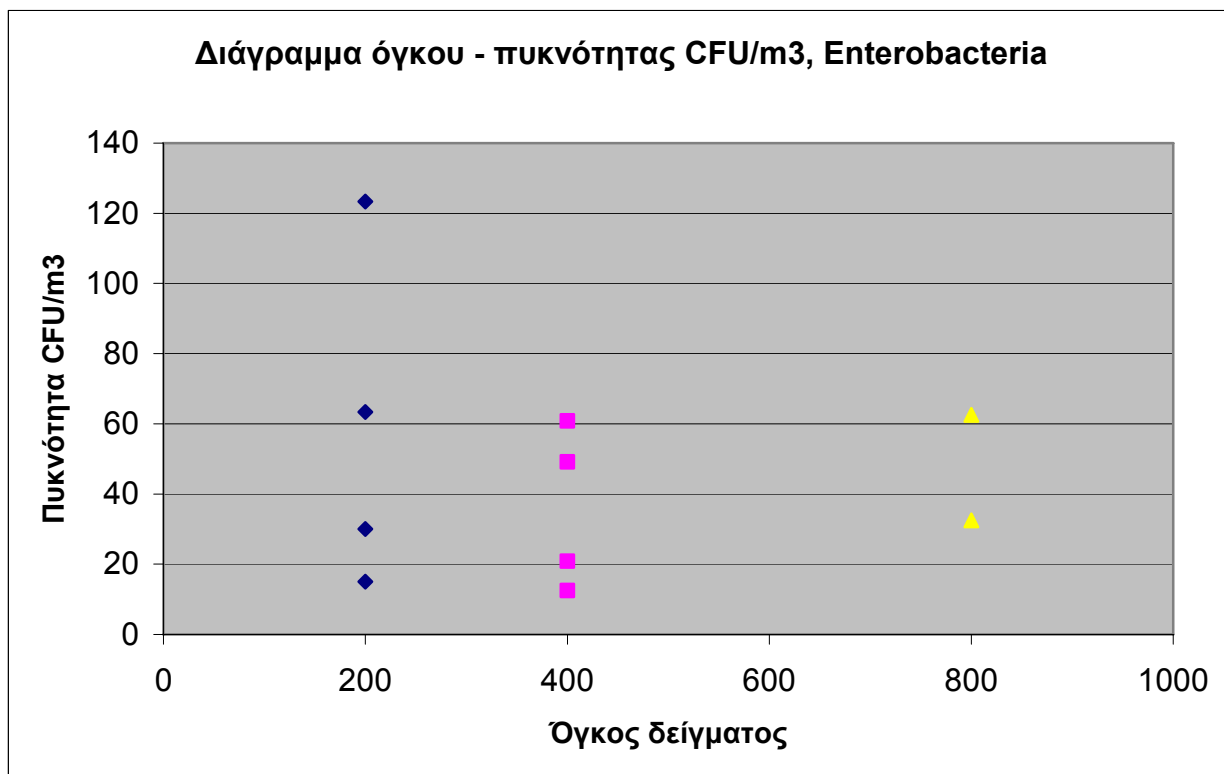
Από τα διαγράμματα παρατηρούμε μεγάλες συγκεντρώσεις μικροοργανισμών στους μικρούς όγκους, που είναι λογικό, καθώς οι συγκεντρώσεις έχουν διαιρεθεί με μικρότερο όγκο. Όσο αναφορά τα εντεροβακτήρια, παρατηρούμε μια μικρή αύξηση της συγκέντρωσης με τη δεύτερη μέτρηση, κυρίως στους μικρούς όγκους. Στο πρώτο διάγραμμα έχουμε τη μέγιστη συγκέντρωση στα 200 λίτρα να είναι 548 CFU/m^3 , ενώ η μέση τιμή των συγκεντρώσεων είναι 314 CFU/m^3 .

Αντίθετα, στο διάγραμμα για τα E.Coli παρατηρούμε πολύ μικρότερες πυκνότητες. Η μέγιστη τιμή για τις πυκνότητες είναι τα 50 CFU/m^3 , για τον όγκο των 200 λίτρων.

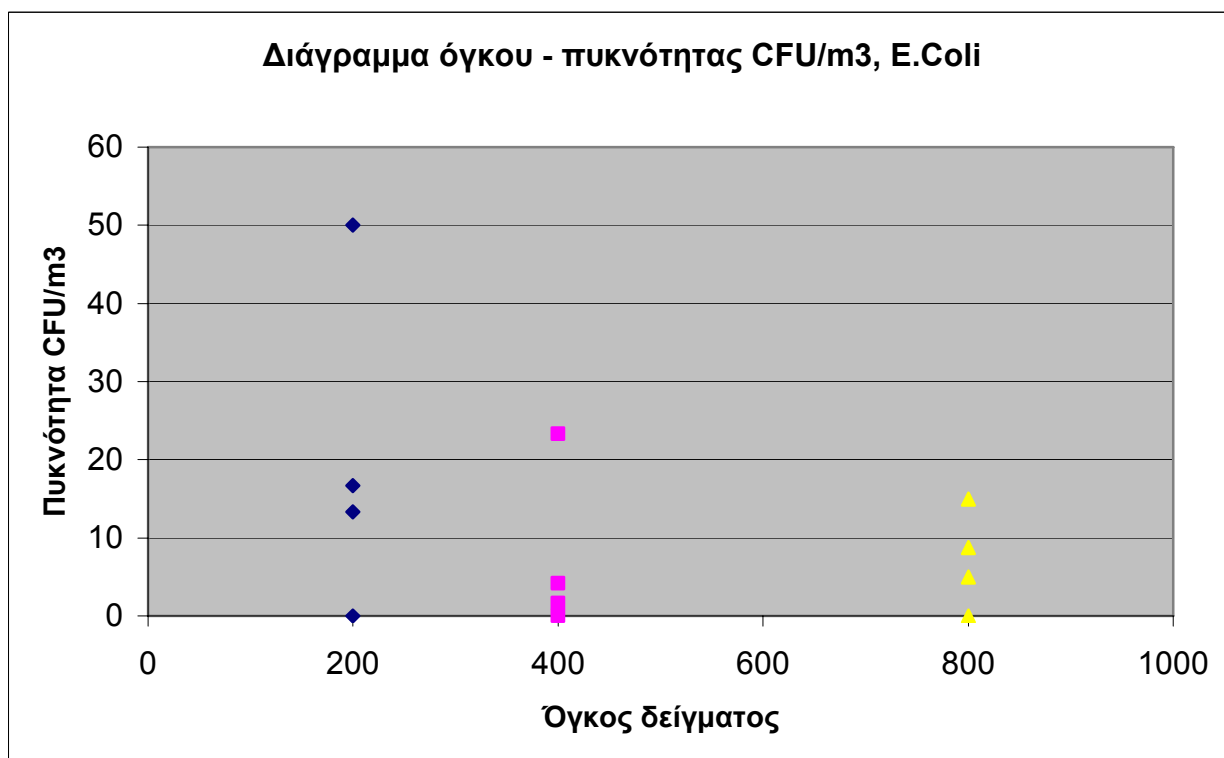
4.3.1.2 Μονάδα Επεξεργασίας Λυμάτων Βιομηχανικής Περιοχής Ηρακλείου Κρήτης

Τα αντίστοιχα διαγράμματα παρουσιάζονται για τις μετρήσεις που έγιναν στη Βιομηχανική περιοχή του Ηρακλείου. Σχετικά με την προηγούμενη μέτρηση, αναμένουμε να έχουμε μικρότερες συγκεντρώσεις, καθώς πρόκειται για μια εγκατάσταση η οποία δεν επεξεργάζεται αστικά λύματα, παρά μόνο σε μικρές συγκεντρώσεις (από την κοινότητα που συμβάλει στην εγκατάσταση). Η απουσία της οργανικής προέλευσης λυμάτων θα πρέπει να ακολουθείται από αντίστοιχη μείωση στους μετρούμενους μικροοργανισμούς, ιδιαίτερα στις συγκεντρώσεις των εντεροβακτηριδίων.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα για την Βιομηχανική περιοχή του Ηρακλείου:



Διάγραμμα 4.10 Σχέση όγκου πυκνότητας για τα Enterobacteria για τη Βιομηχανική περιοχή του Ηρακλείου



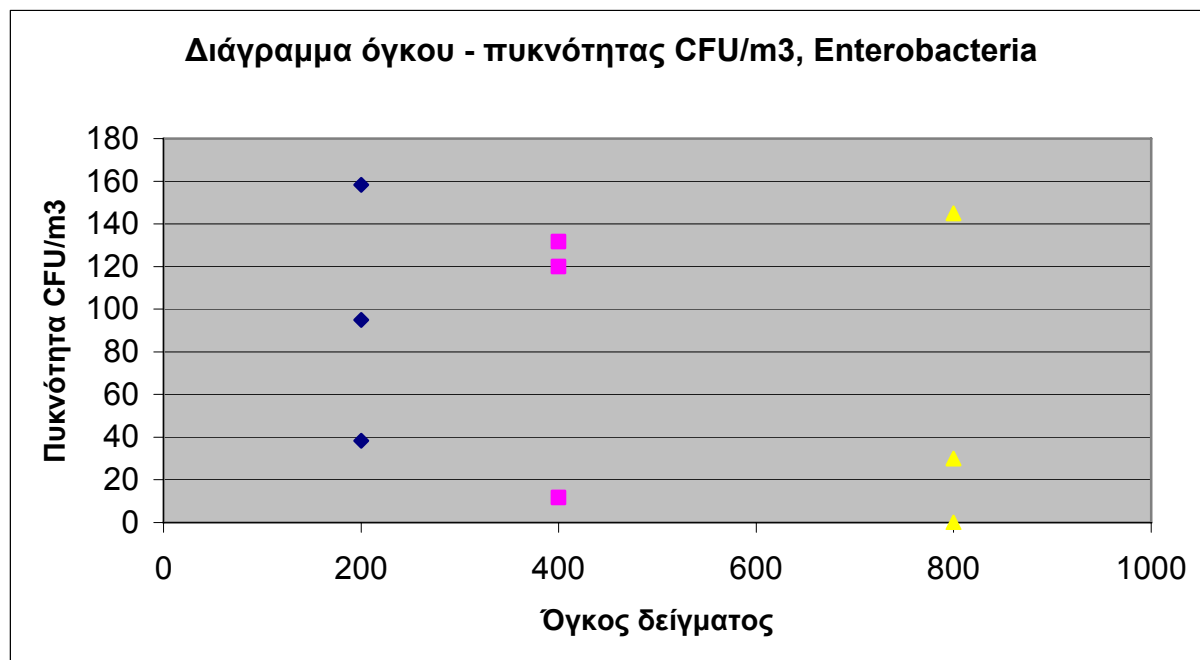
Διάγραμμα 4.11 Σχέση όγκου πυκνότητας για τα E.Coli για τη Βιομηχανική περιοχή του Ηρακλείου

Από τα παραπάνω διαγράμματα μπορούμε να δούμε ότι, όπως περιμέναμε, η πυκνότητα των εντεροβακτηριδίων και των E.Coli είναι όντως μικρότερη από εκείνη της Μονάδας Επεξεργασίας Αστικών Λυμάτων (548 CFU/m³ έναντι 123 CFU/m³). Αυτό, πάλι, οφείλεται στην απουσία λυμάτων οργανικής προέλευσης, που οφείλονται στις ανθρώπινες δραστηριότητες.

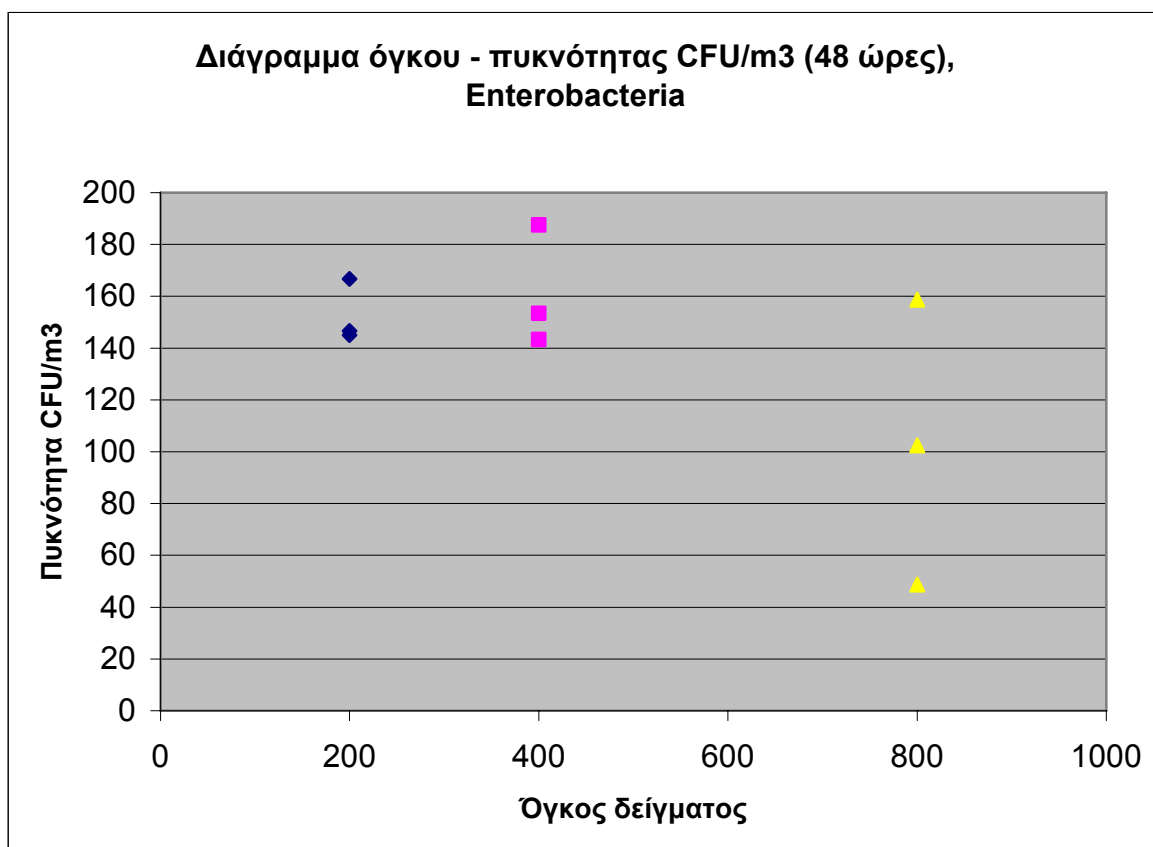
Στην περίπτωση του διαγράμματος των E.Coli παρατηρούμε πάλι μικρές συγκεντρώσεις, που είναι περίπου ίδιες με εκείνες της προηγούμενης μέτρησης. Αυτό είναι αναμενόμενο, καθώς η παρουσία των E.Coli δεν εξαρτάται από την παρουσία οργανικών στο δείγμα επεξεργασίας.

4.3.1.3 Κέντρο Έρευνας και Εφαρμογής Υδατικής Τεχνολογίας (Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ)

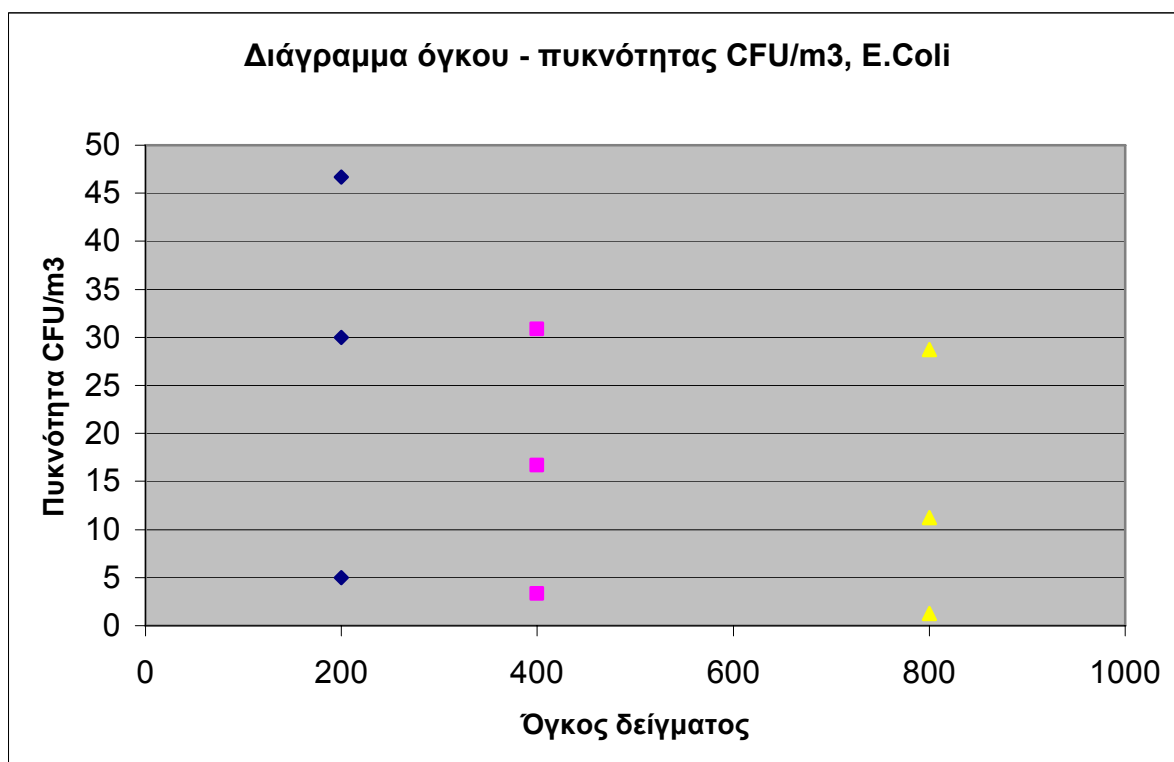
Για το Κέντρο Έρευνας και Εφαρμογής Υδατικής Τεχνολογίας οι μετρήσεις που πήραμε περιμένουμε να δώσουν αποτελέσματα με διαφορετικές συγκεντρώσεις από εκείνες της Μονάδας Επεξεργασίας Αστικών Λυμάτων του Ηρακλείου, λόγω της διαφορετικότητας των μονάδων και των συστημάτων επεξεργασίας των λυμάτων. Τα αποτελέσματα που πήραμε από το Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ παρουσιάζονται στα ακόλουθα διαγράμματα:



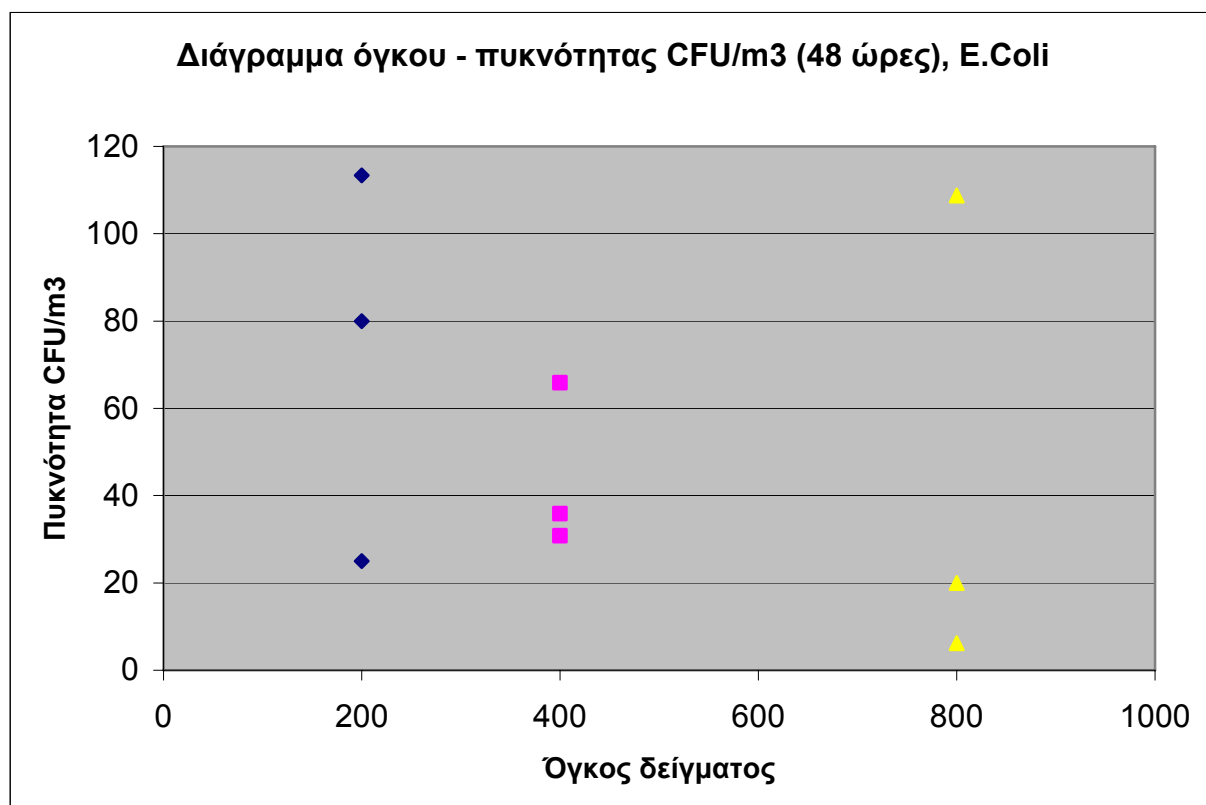
Διάγραμμα 4.12 Σχέση όγκου πυκνότητας για τα Enterobacteria, για το Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ



**Διάγραμμα 4.13 Σχέση όγκου πυκνότητας για τα Enterobacteria, 48 ώρες
μέτρηση, για το Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ**



Διάγραμμα 4.14 Σχέση όγκου πυκνότητας για τα E.Coli, για το Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ



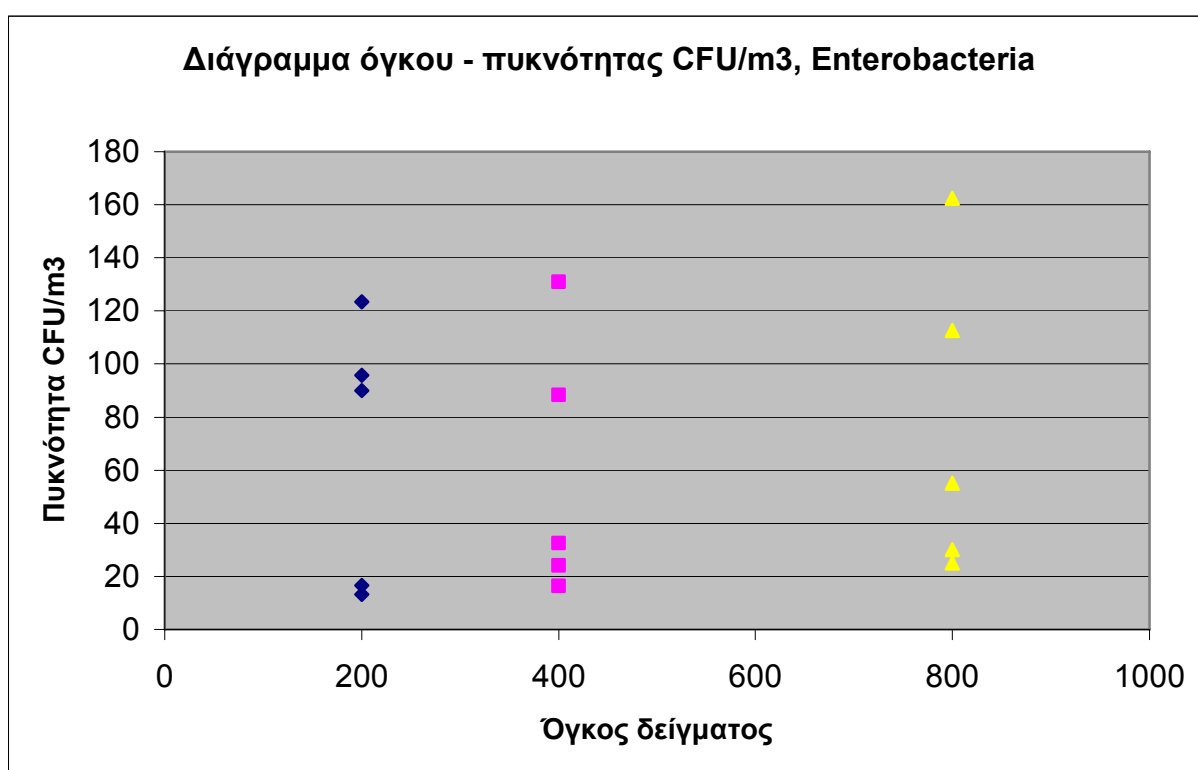
Διάγραμμα 4.15 Σχέση όγκου πυκνότητας για τα E.Coli, 48 ώρες, για το Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ

Από τα διαγράμματα που πήραμε για τις μετρήσεις στο Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα είναι ακριβώς όπως αναμέναμε, δηλαδή με μικρότερες τιμές από εκείνες που πήραμε στη Μονάδα Επεξεργασίας Αστικών Λυμάτων του Ηρακλείου, αλλά μεγαλύτερες από εκείνες της Μονάδας Επεξεργασίας Λυμάτων της Βιομηχανικής περιοχής. Οι πυκνότητες των τιμών CFU/m³ είναι μικρότερες, με τη μεγαλύτερη τιμή να είναι στα 158 CFU/m³, όταν η τιμή για το Ηράκλειο ήταν στα 548 CFU/m³. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ είναι μια πειραματική μονάδα, στην οποία δεν γίνεται επεξεργασία κανονικών αποβλήτων, οπότε οι τιμές των συγκεντρώσεων είναι μικρότερες, αλλά και οι ποσότητες είναι μικρότερες, και άρα οι τιμές είναι σαφώς χαμηλότερες. Η περίπτωση οι τιμές να είναι μικρότερες επειδή οι διεργασίες που χρησιμοποιούνται στη μονάδα δίνουν καλύτερα αποτελέσματα δεν λαμβάνεται υπ' όψιν, καθώς υπάρχει μεγάλη διαφορά για να οφείλεται στις διαφορετικές τιμές των συντελεστών λειτουργίας της μονάδας. Στην περίπτωση των E.Coli παρατηρούμε ότι οι τιμές είναι χαμηλές, όπως και στις υπόλοιπες μετρήσεις, χωρίς να επηρεάζονται από τις συνθήκες λειτουργίας της μονάδας.

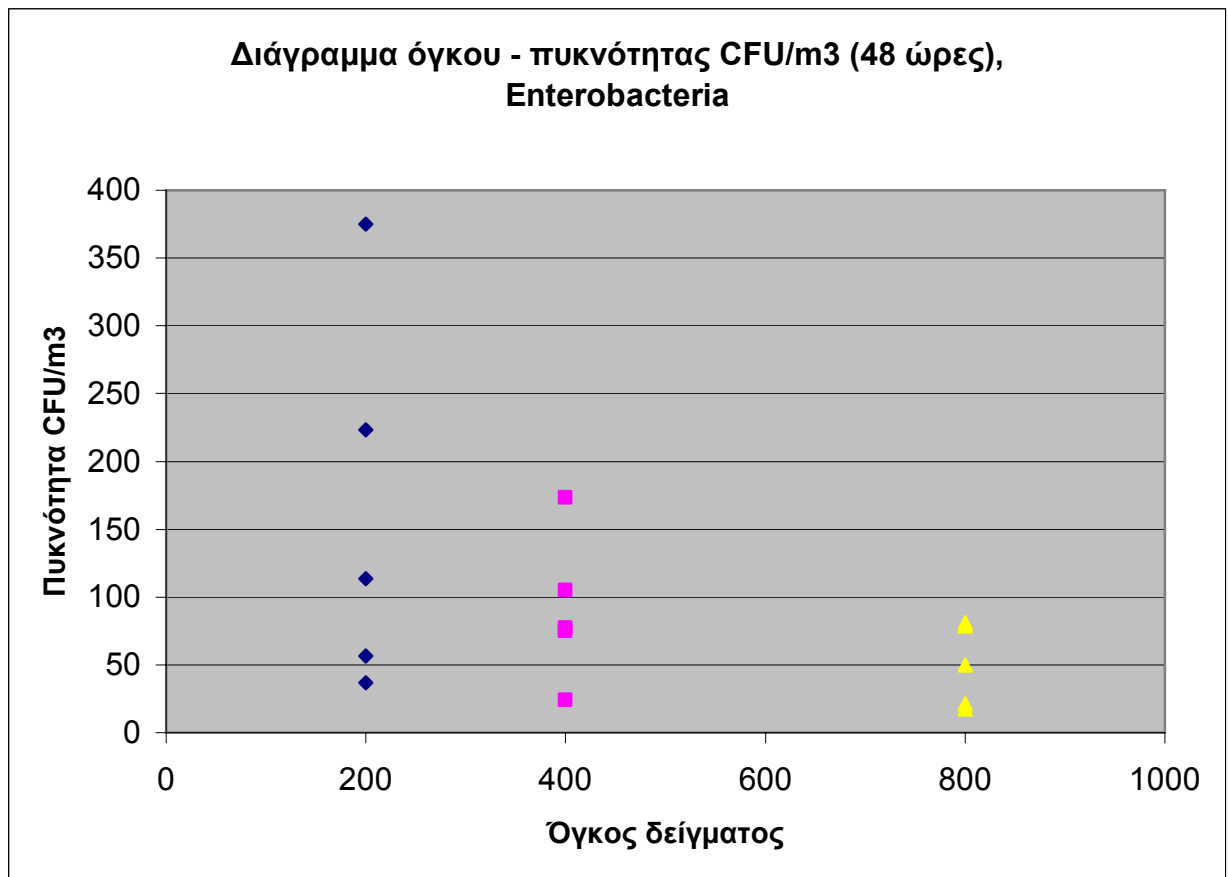
4.3.1.4 Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Μεταμόρφωσης της Ε.ΥΔ.Α.Π

Στο τέλος, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που πήραμε από το Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Μεταμόρφωσης της Ε.ΥΔ.Α.Π. Στην περίπτωση αυτή περιμένουμε οι τιμές να έχουν περίπου το ίδιο μέγεθος με εκείνο της Μονάδας Επεξεργασίας Λυμάτων του Ηρακλείου, καθώς πρόκειται για μια μονάδα του ίδιου τύπου, που επεξεργάζεται αστικά λύματα και είναι και αυτή μεγάλου μεγέθους.

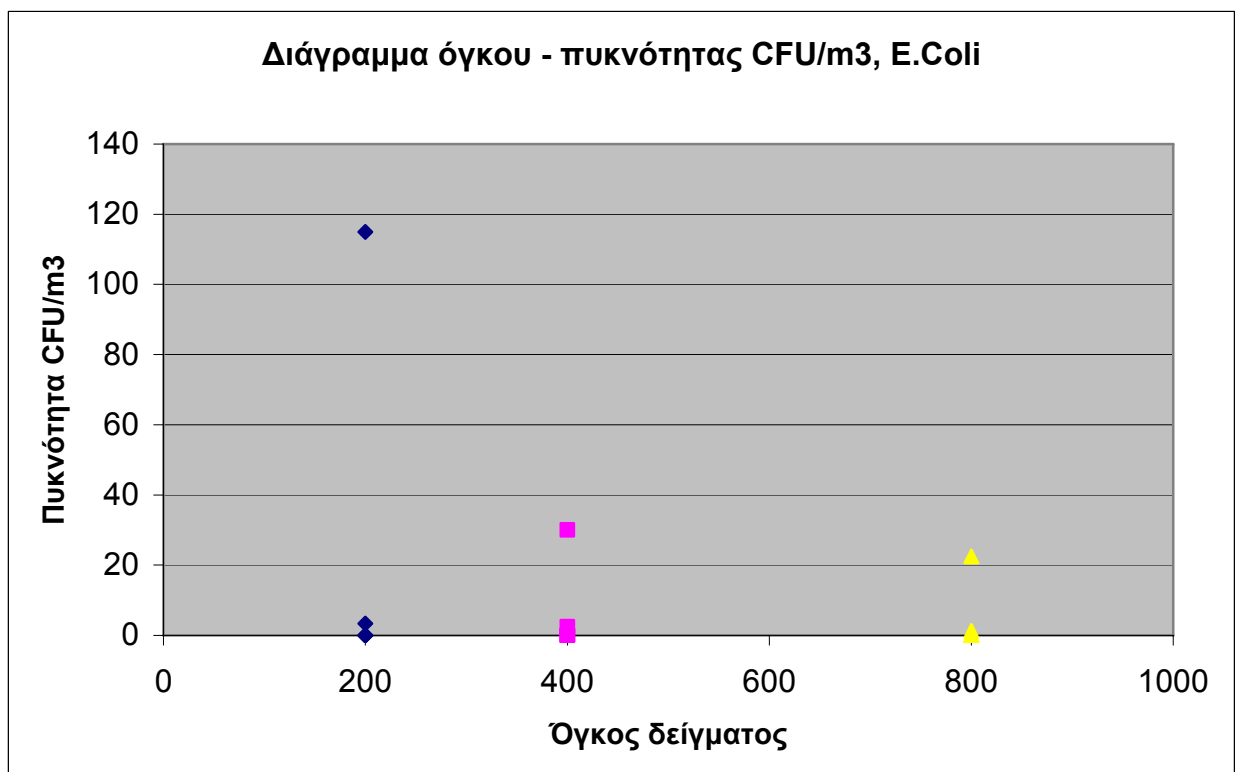
Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα που προκύπτουν από την ανάλυση των μετρήσεων που πήραμε από τη μονάδα:



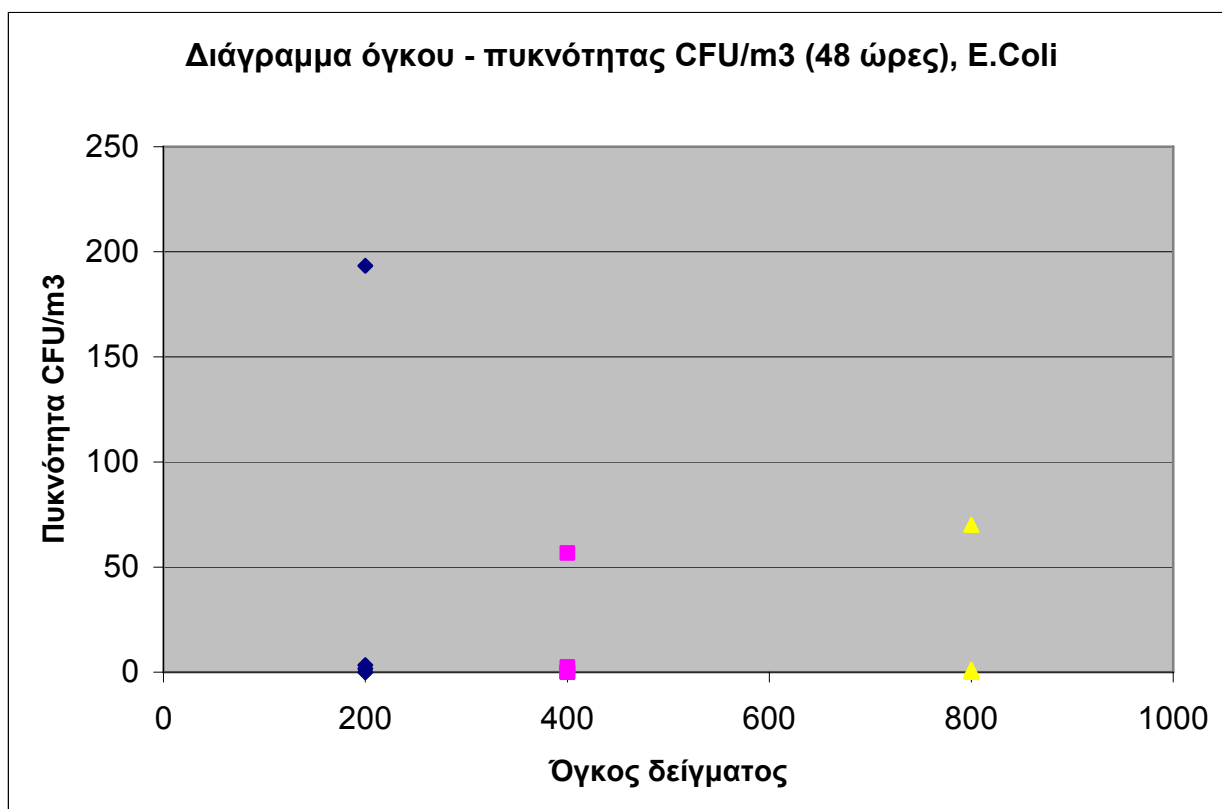
Διάγραμμα 4.16 Σχέση όγκου πυκνότητας για τα Enterobacteria, για την Ε.ΥΔ.Α.Π



**Διάγραμμα 4.17 Σχέση όγκου πυκνότητας για τα Enterobacteria, 48 ώρες
μέτρηση, για την Ε.ΥΔ.Α.Π**



Διάγραμμα 4.18 Σχέση όγκου πυκνότητας για τα E.Coli, για την Ε.ΥΔ.Α.Π



Διάγραμμα 4.19 Σχέση όγκου πυκνότητας για τα E.Coli, 48 ώρες μέτρηση, για την Ε.ΥΔ.Α.Π

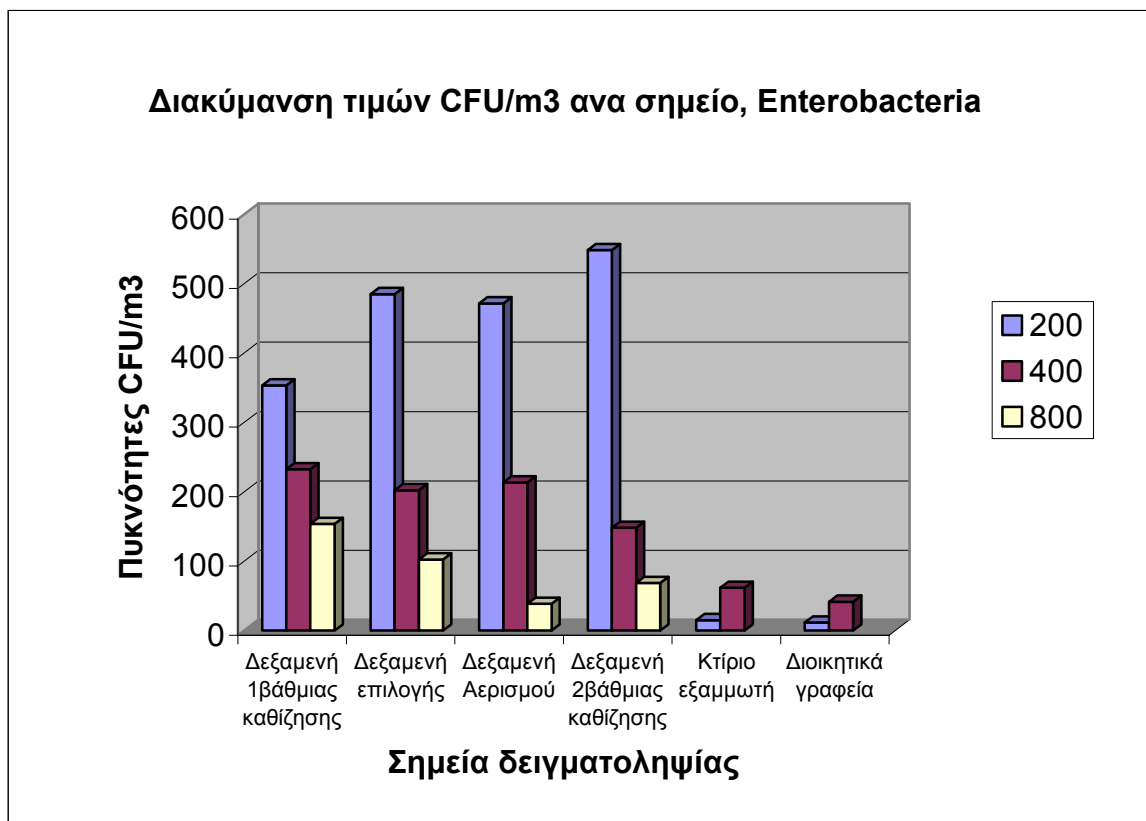
Από τα διαγράμματα που σχηματίστηκαν παρατηρούμε ότι οι τιμές των πυκνοτήτων για τα CFU της Μονάδας της Ε.ΥΔ.Α.Π είναι μικρότερες από εκείνες που αναμέναμε. Το αποτέλεσμα αυτό μπορεί να οφείλεται στην καλύτερη λειτουργία της μονάδας, ή στις συνολικά καλύτερες διεργασίες. Ακόμη, μπορεί να οφείλεται στην διαφορετική χρονική περίοδο στην οποία έγιναν οι μετρήσεις, καθώς η ατμόσφαιρα στην μια περίπτωση είχε μια σχετική υγρασία, μικρότερη θερμοκρασία και περισσότερο άνεμο από την ζεστή και ξηρότερη ατμόσφαιρα της δεύτερης μέτρησης, η οποία έγινε στα μέσα του καλοκαιριού. Οι διαφορετικές τιμές στη θερμοκρασία θα μπορούσαν να δώσουν ταχύτερες αντιδράσεις στη μονάδα, και άρα λιγότερες εκπομπές. Ακόμη, η υψηλότερη θερμοκρασία θα μπορούσε κάλλιστα να επηρεάσει την βιωσιμότητα των μικροοργανισμών στον αέρα, και να οδηγήσει στην σύντομη θνησιμότητα τους, με αποτέλεσμα την παρουσία μικρότερης συγκέντρωσης κατά τη διάρκεια της ανάλυσης. Στην περίπτωση, πάλι, των E.Coli, οι τιμές είναι χαμηλές, όπως και σε κάθε άλλη μέτρηση.

4.3.2 Διακύμανση τιμών ανά σημείο μέτρησης

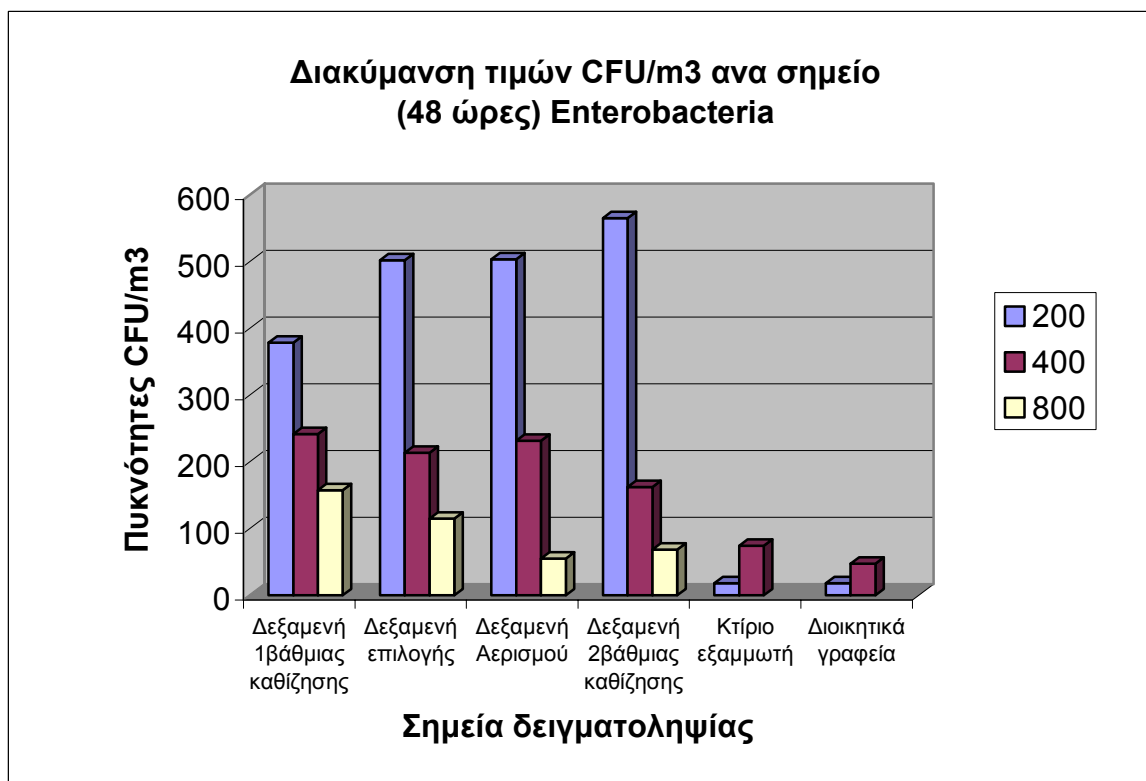
Οι μετρήσεις που πήραμε από τις μονάδες εξαρτώνται και μεταβάλλονται ανάλογα με το σημείο στο οποίο πήραμε τη μέτρηση. Κάθε σημείο μέτρησης δίνει αποτελέσματα ανάλογα με τη διεργασία στην οποία αντιστοιχεί. Η φύση κάθε διεργασίας την κάνει περισσότερο ή λιγότερο ικανή να παράγει σωματίδια και βιοαεροζόλ. Έτσι, για παράδειγμα, η διεργασία του αερισμού των λυμάτων εκπέμπει περισσότερα σωματίδια από εκείνη της 2βάθμιας καθίζησης, καθώς περιλαμβάνει την εισαγωγή αέρα στη μάζα των λυμάτων. Παρακάτω παρουσιάζονται οι τιμές των πυκνοτήτων CFU/m³ για κάθε εγκατάσταση, ανάλογα με το σημείο στο οποίο έγινε η μέτρηση. Έτσι μπορούμε να δούμε και να συγκρίνουμε, και να βγάλουμε ένα συμπέρασμα για το ποιες διεργασίες είναι εκείνες που δημιουργούν το περισσότερο βιοαεροζόλ και πρόβλημα στην ατμόσφαιρα, και να δώσουμε έμφαση στην βελτιστοποίηση των συνθηκών της λειτουργίας του συγκεκριμένου σταδίου, αλλάζοντας διάφορες παραμέτρους (όγκος δεξαμενής, ποσότητα λυμάτων, συγκέντρωση, ποσοστό εισερχόμενου αέρα, προσθήκη ουσιών ελέγχου της λειτουργίας κ.α).

4.3.2.1 Μονάδα Επεξεργασίας Αστικών Λυμάτων Ηρακλείου Κρήτης

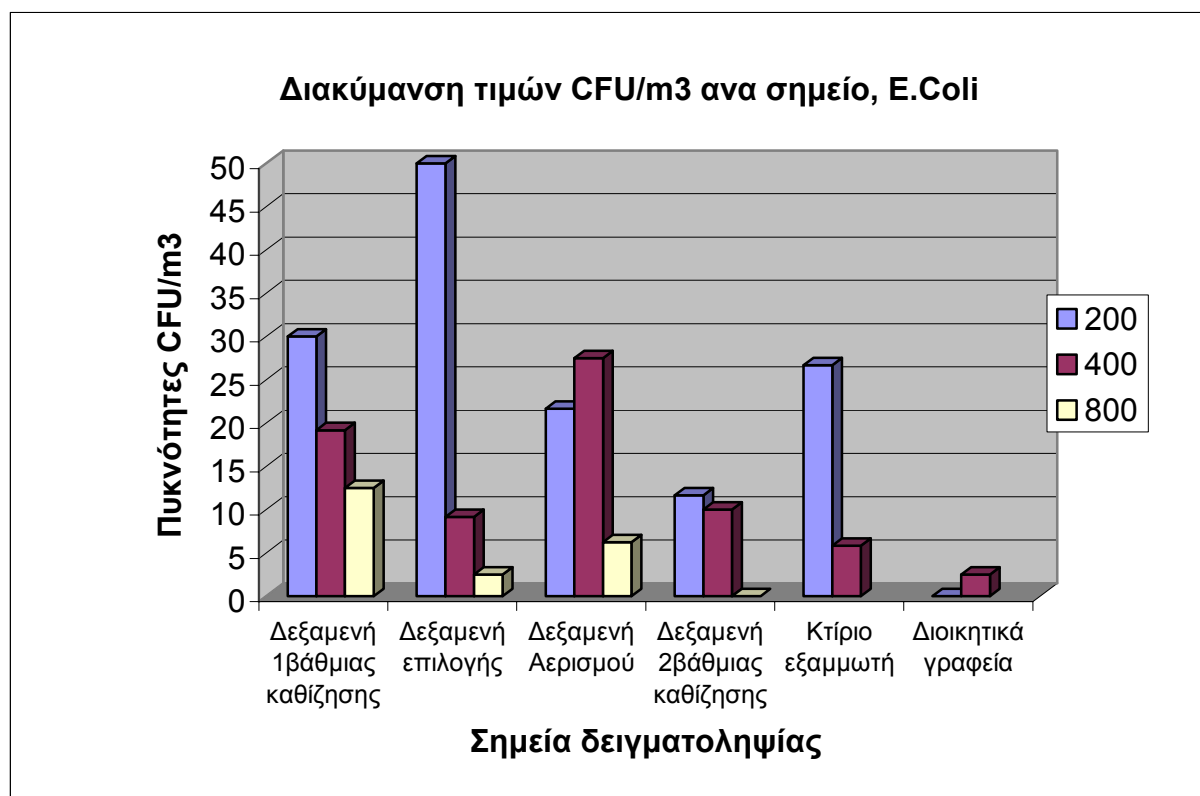
Η Μονάδα Επεξεργασίας Αστικών Λυμάτων του Ηρακλείου περιλαμβάνει όλα τα στάδια μιας ολοκληρωμένης μονάδας, και οι μετρήσεις που πήραμε έγιναν σε όλα τα αντιπροσωπευτικά σημεία της εγκατάστασης. Αυτό που αναμένεται από τα διαγράμματα είναι υψηλές τιμές εκπομπής στις διαδικασίες που έχουν, εκ φύσης, την μεγαλύτερη εκπομπή σωματιδίων στον αέρα. Έτσι, αναμενόμενες υψηλές συγκεντρώσεις θα περιμένουμε στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης, στην μονάδα αερισμού, αλλά και στη μονάδα δευτεροβάθμιας καθίζησης, λόγω της μεγάλης επιφάνειας που έχει η δεξαμενή, που σημαίνει και μεγάλη επιφάνεια εκπομπής, άρα και αυξημένη ποσότητα σωματιδίων στον αέρα. Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα, ανάλογα με το σημείο μέτρησης:



Διάγραμμα 4.20 Διακύμανση τιμών πυκνοτήτων ανά σημείο, Enterobacteria, για την μονάδα Επεξεργασίας Αστικών λυμάτων Ηρακλείου



Διάγραμμα 4.21 Διακύμανση τιμών πυκνοτήτων ανά σημείο, 48 ώρες μέτρηση, Enterobacteria, για την Μονάδα Επεξεργασίας Αστικών Λυμάτων Ηρακλείου



Διάγραμμα 4.22 Διακύμανση τιμών πυκνοτήτων ανά σημείο, E. Coli, για την Μονάδα Επεξεργασίας Αστικών Λυμάτων Ηρακλείου

Από τα διαγράμματα βλέπουμε ότι οι μεγαλύτερες πυκνότητες για τα εντεροβακτήρια δίνονται στην μονάδα 2βάθμιας καθίζησης, πράγμα που δεν αναμείναμε, καθώς η δεξαμενή αερισμού έχει μεγαλύτερη δυνατότητα εκπομπής σωματιδίων. Παρ' όλα αυτά, όπως αναφέραμε, οι δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης, λόγω της μεγάλης τους επιφάνειας, μπορούν να εκπέμψουν μεγάλες ποσότητες σωματιδίων. Οι τιμές που δίνονται από τη δεξαμενή αερισμού είναι σχεδόν στο ίδιο επίπεδο, αν και μικρότερες. Οι υπόλοιπες τιμές είναι σχετικά μικρότερες, με εκείνες που έχουν ληφθεί από τα διοικητικά γραφεία μπροστά και στο σημείο του εξαμμωτή να είναι ελάχιστες, πράγμα το οποίο είναι θετικό για την υγεία των εργαζομένων στην εγκατάσταση. Η μεγάλη διαφορά στις τιμές των συγκεντρώσεων για τις δύο μονάδες, αερισμού και δευτεροβάθμια, σε σχέση με τις συγκεντρώσεις μπροστά από τα γραφεία, μας δίνει τη δυνατότητα να κάνουμε μερικά γρήγορα συμπεράσματα από την απλή παρατήρηση. Οι μικροοργανισμοί που παράγονται από τις διεργασίες αυτές δεν έχουν μεγάλη βιωσιμότητα στον αέρα, και επομένως σε μικρή σχετικά απόσταση έχουμε αρκετά μεγάλη πτώση των τιμών της συγκέντρωσης. Για τα E.Coli παρατηρούμε τις ίδιες σχετικά συγκεντρώσεις, με μέγιστα σε

διαφορετικά σημεία λήψης, πράγμα το οποίο σχετίζεται με τις πηγές εκπομπής των μικροοργανισμών αυτών στην ατμόσφαιρα.

Παρακάτω παρουσιάζεται η μονάδα δευτεροβάθμιας καθίζησης στην περιοχή του Ηρακλείου, όπου φαίνεται καθαρά το μέγεθος της επιφάνειας, καθώς και η μονάδα πρωτοβάθμιας καθίζησης.



Εικόνα 4.23 Δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης στη Μονάδα Επεξεργασίας Αστικών Λυμάτων της περιοχής του Ηρακλείου



Εικόνα 4.24 Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης στη Μ.Ε.Α.Λ Ηρακλείου

4.3.2.2 Μονάδα Επεξεργασίας Λυμάτων Βιομηχανικής Περιοχής Ηρακλείου Κρήτης

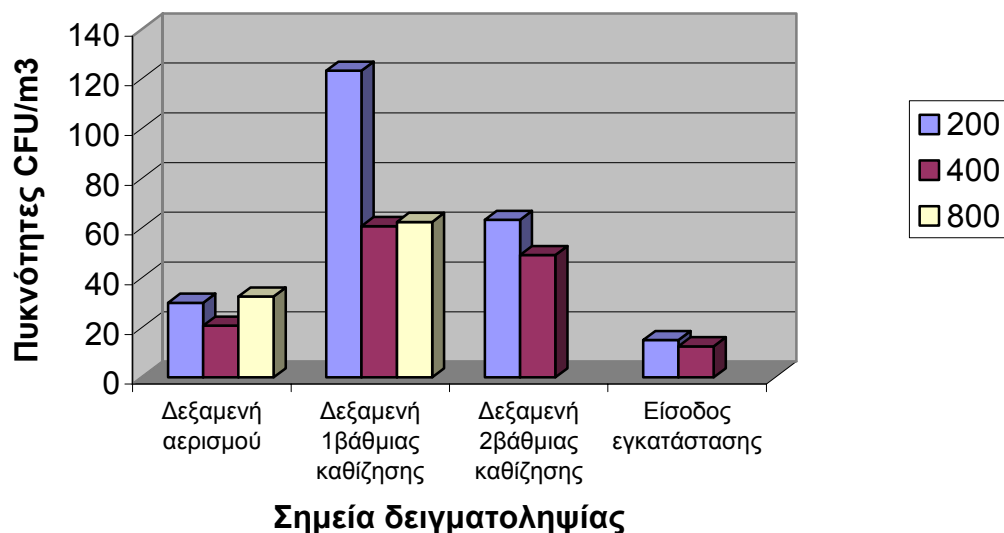
Για τη Μονάδα Επεξεργασίας Λυμάτων Βιομηχανική Περιοχής Ηρακλείου μπορούμε να υποθέσουμε ότι οι μεγαλύτερες πυκνότητες θα δίνονται στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης, αν και θα είναι μικρότερες από εκείνες της προηγούμενης μονάδας. Ο λόγος που υποθέτουμε κάτι τέτοιο, αντί της μονάδας αερισμού μπορεί να εξηγηθεί από την απλή παρατήρηση της κατάστασης της δεξαμενής και τις συνθήκες λειτουργίας αυτής, αλλά και λόγω της εμπειρίας κατά τη διάρκεια της μέτρησης, που έγινε αντιληπτή η διαφορά στο επίπεδο των εκπεμπόμενων μικροοργανισμών σε σχέση με τις άλλες δεξαμενές, μόνο από τα επίπεδα της μυρωδιάς που εκλύοταν από τη δεξαμενή.



Εικόνα 4.25 Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης στη Μονάδα Επεξεργασίας Λυμάτων της Βιομηχανικής περιοχής του Ηρακλείου

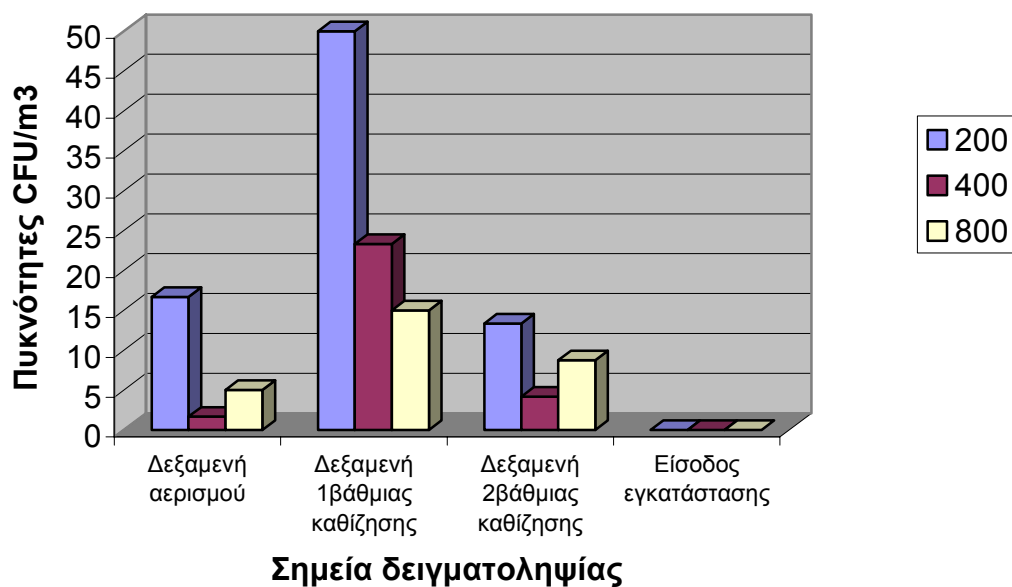
Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα που αντιστοιχούν στην μονάδα:

Διακύμανση τιμών CFU/m³ ανα σημείο, Enterobacteria



Διάγραμμα 4.26 Διακύμανση τιμών πυκνοτήτων ανά σημείο, Enterobacteria, για τη Βιομηχανική περιοχή Ηρακλείου

Διακύμανση τιμών CFU/m³ ανα σημείο, E.Coli

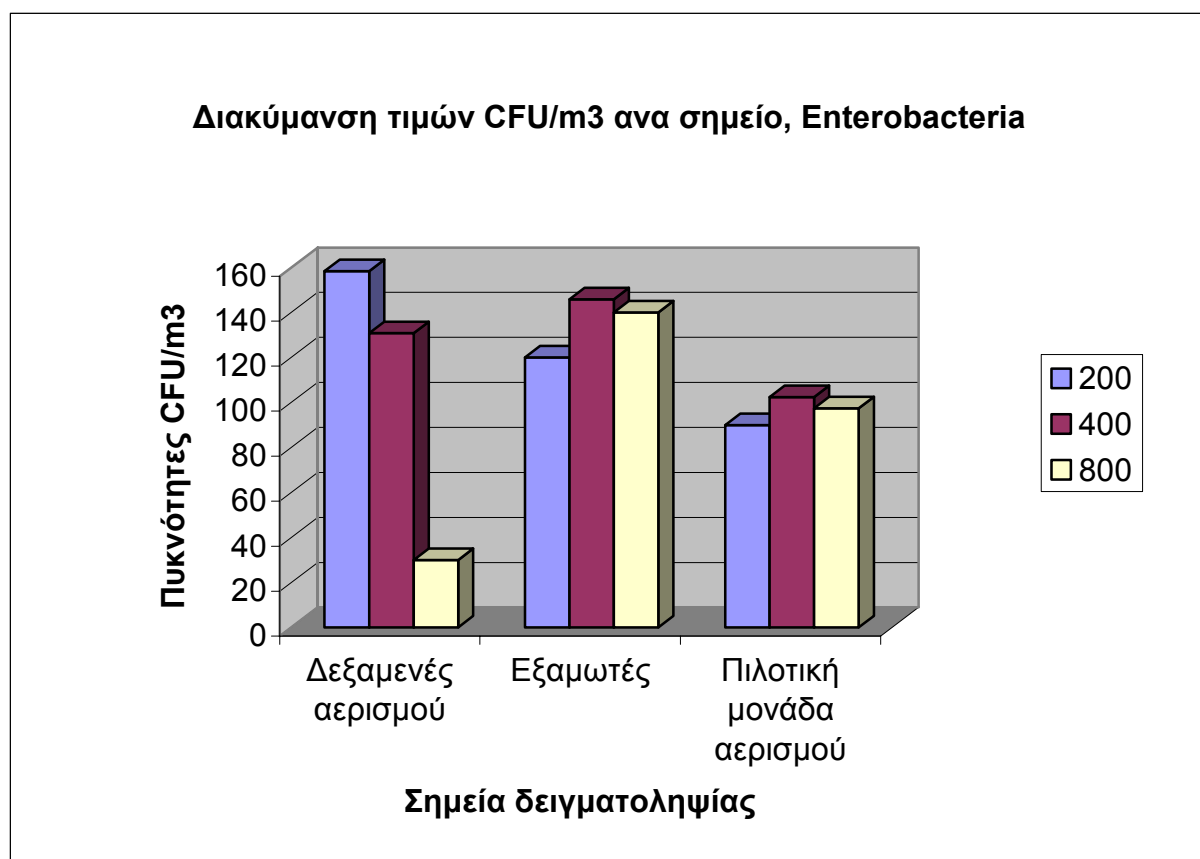


Διάγραμμα 4.27 Διακύμανση τιμών πυκνοτήτων ανά σημείο, E.Coli, για τη Βιομηχανική περιοχή Ηρακλείου

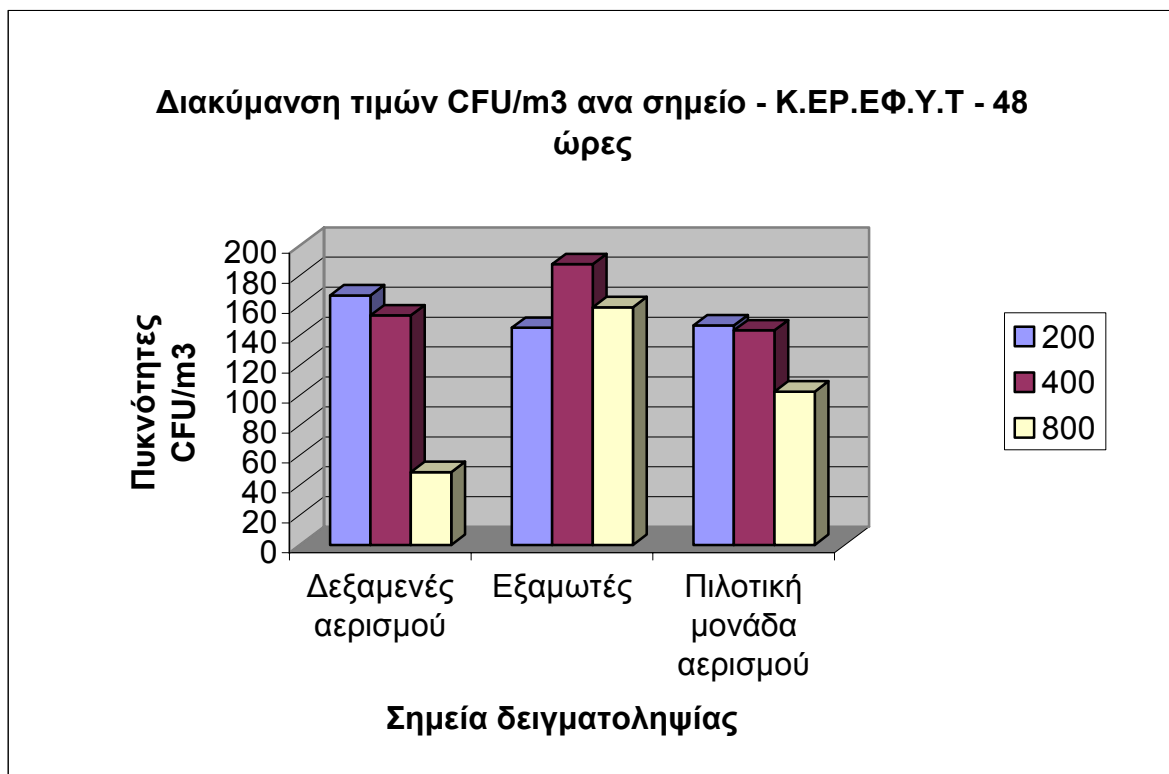
Από το διάγραμμα βλέπουμε ότι, όπως περιμέναμε, οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις παρουσιάζονται στην μονάδα 1βάθμιας καθίζησης, και στη δεξαμενή 2βάθμιας καθίζησης. Όπως και προηγουμένως, στην είσοδο της εγκατάστασης παρατηρούμε μικρές συγκεντρώσεις, πράγμα το οποίο είναι ενθαρρυντικό για την εκπομπή των βιοαεροζόλ στην ατμόσφαιρα.

4.3.2.3 Κέντρο Έρευνας και Εφαρμογής Υδατικής Τεχνολογίας (Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ)

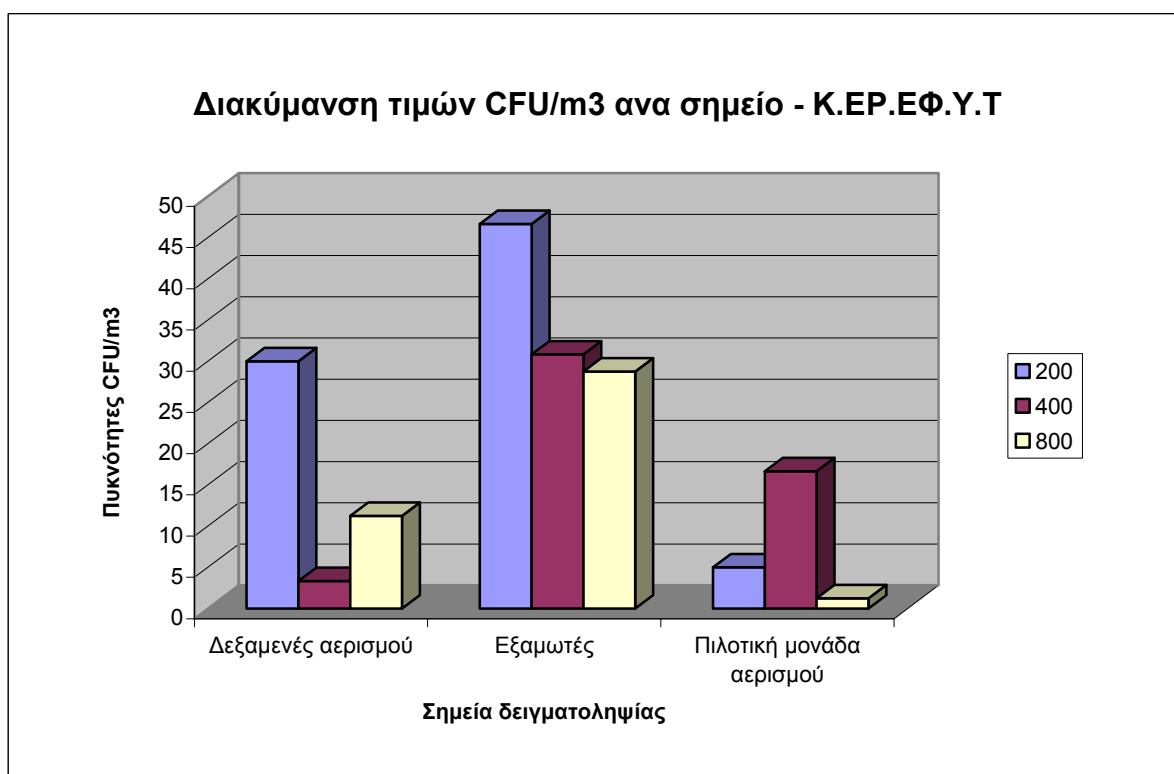
Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τα σημεία μέτρησης στο Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ. Λόγω της φύσης της εγκατάστασης, δεν μπορούμε να πούμε σε πια από τις διαδικασίες επεξεργασίας θα περιμέναμε την μεγαλύτερη συγκέντρωση, αν και η δεξαμενή αερισμού είναι το πιθανότερο να δίνει τις μεγαλύτερες τιμές. Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα που αφορούν το Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ .



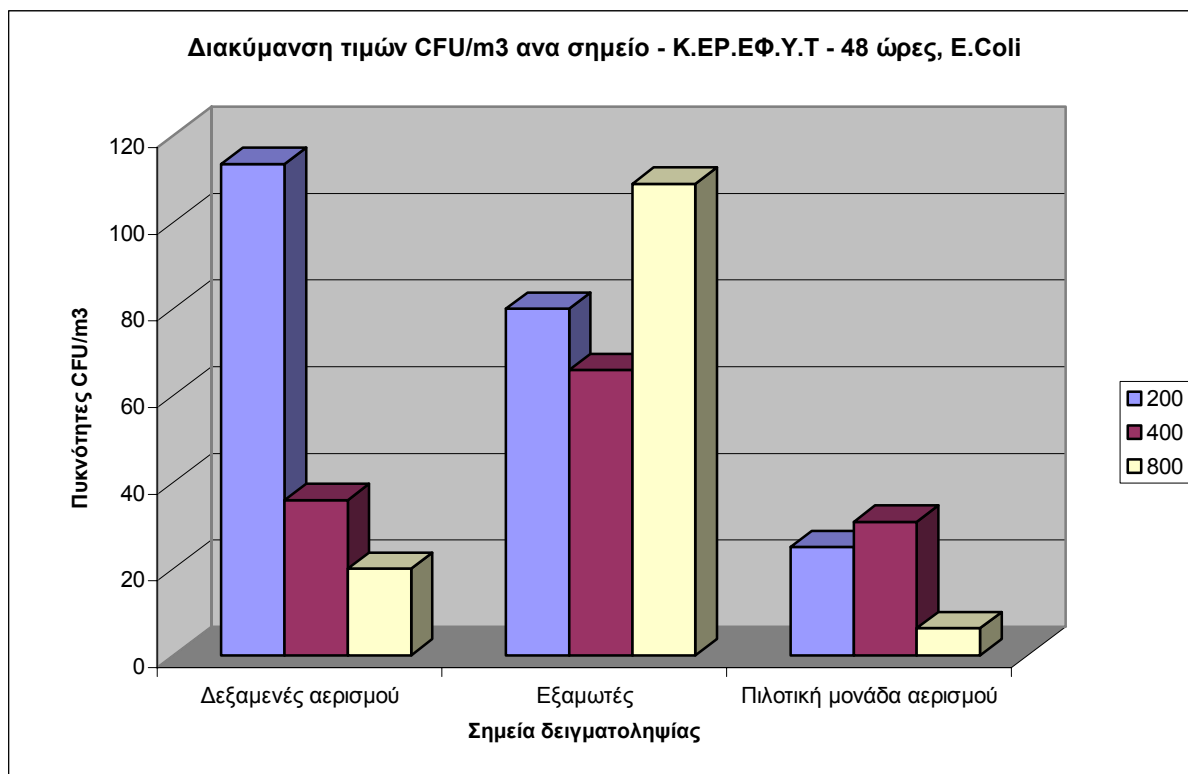
Διάγραμμα 4.28 Διακύμανση τιμών πυκνοτήτων ανά σημείο, Enterobacteria, για το Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ



Διάγραμμα 4.29 Διακύμανση τιμών πυκνοτήτων ανά σημείο, 48 ώρες μέτρηση, Enterobacteria, για το Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ



Διάγραμμα 4.30 Διακύμανση τιμών πυκνοτήτων ανά σημείο, E.Coli, για το Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ



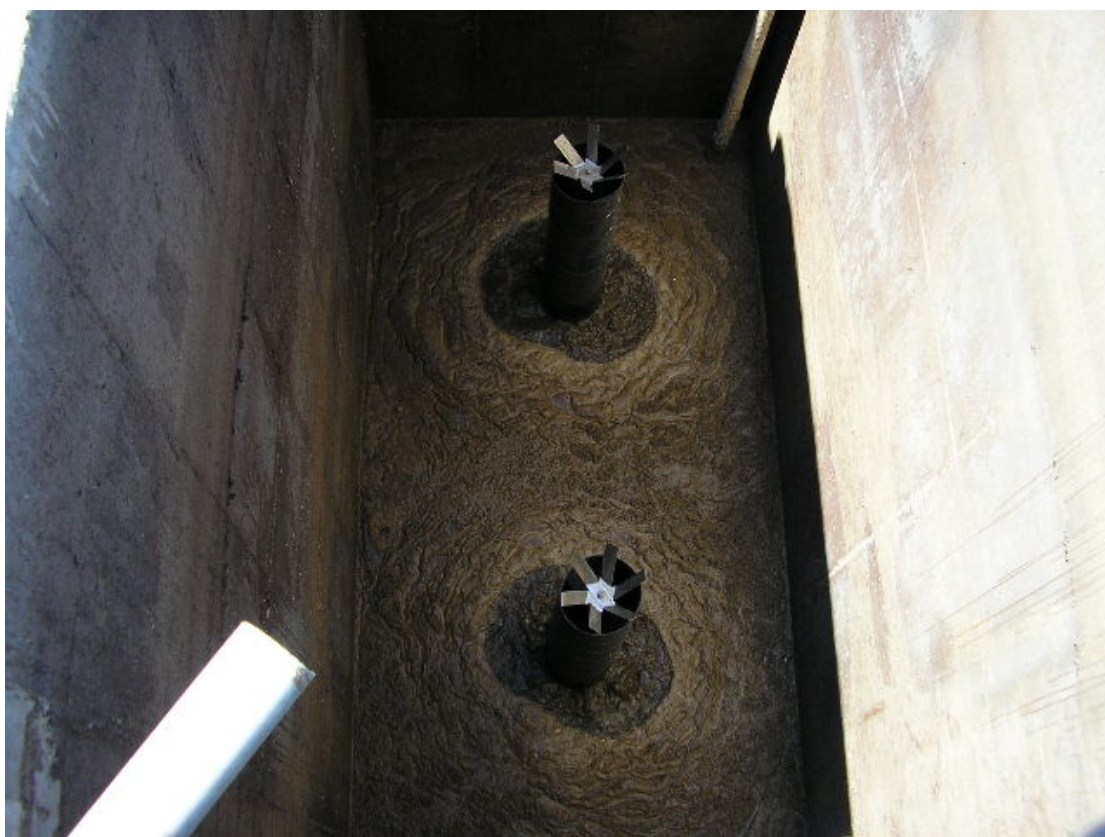
Διάγραμμα 4.31 Διακύμανση τιμών πυκνοτήτων ανά σημείο, E.Coli, για το Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ

Από τα διαγράμματα παρατηρούμε ότι οι δεξαμενές αερισμού έχουν τη μεγαλύτερη εκπομπή βιοαεροζόλ, με τους εξαμωτές να έχουν τις αμέσως μεγαλύτερες πυκνότητες. Η πιλοτική μονάδα αερισμού έχει τις μικρότερες συγκεντρώσεις, στο οποίο πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν το γεγονός ότι η μονάδα λειτουργεί με διαφορετικές τιμές συντελεστών από εκείνες των κανονικών μονάδων. Από τις παρακάτω εικόνες μπορεί να διευκρινιστούν οι λόγοι για τους οποίους η μονάδα αερισμού δίνει τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις.

Αν παρατηρήσουμε τις εικόνες, η μονάδα αερισμού λειτουργεί κανονικά, και είναι σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας (πλήρως γεμισμένη, κανονική παροχή αέρα). Αντίθετα, η πιλοτική μονάδα αερισμού δεν είναι πλήρως γεμισμένη, προφανώς για πειραματικούς λόγους. Η λειτουργία των εξαμωτών κρίνεται κανονική.



Εικόνα 4.32 Δεξαμενή αερισμού στο Κ.Ε.Ρ.Ε.Φ.Υ.Τ



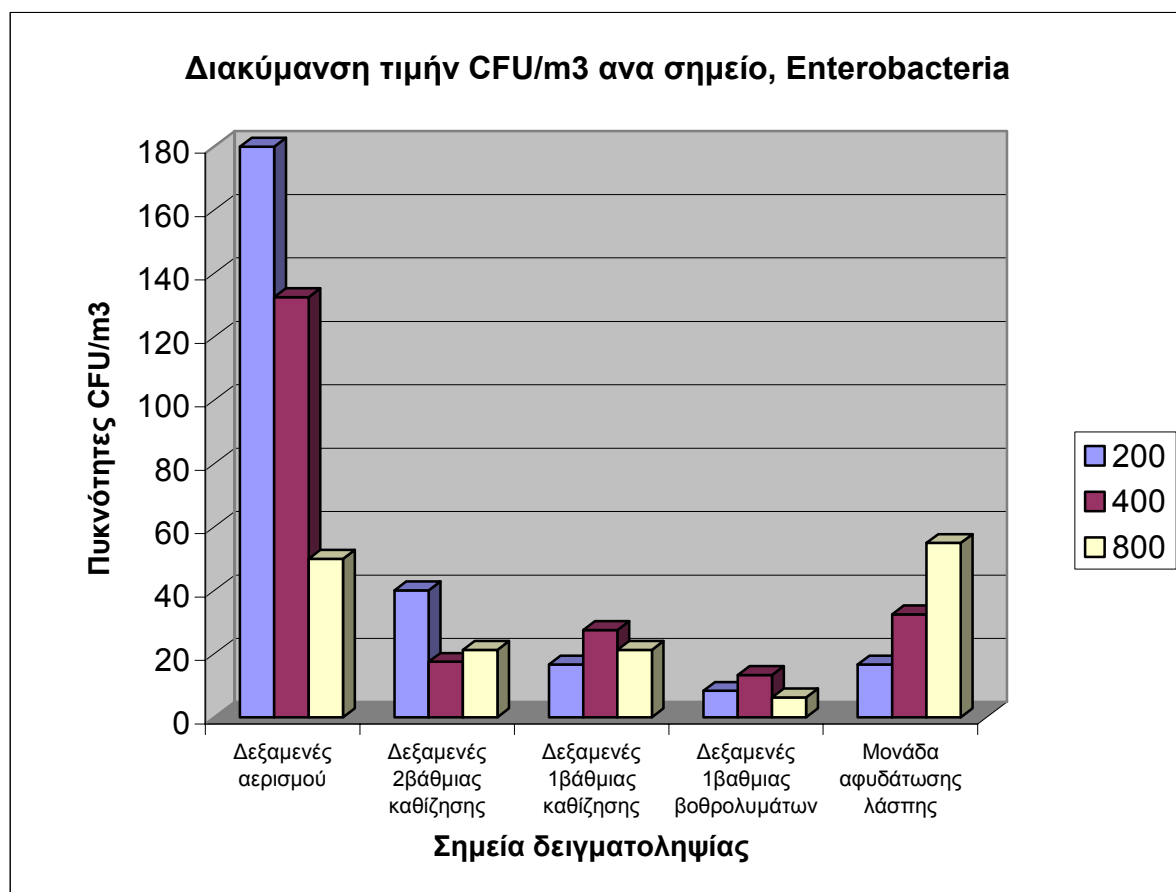
Εικόνα 4.32 και 4.33 Πιλοτική μονάδα αερισμού στο Κ.Ε.Ρ.Ε.Φ.Υ.Τ



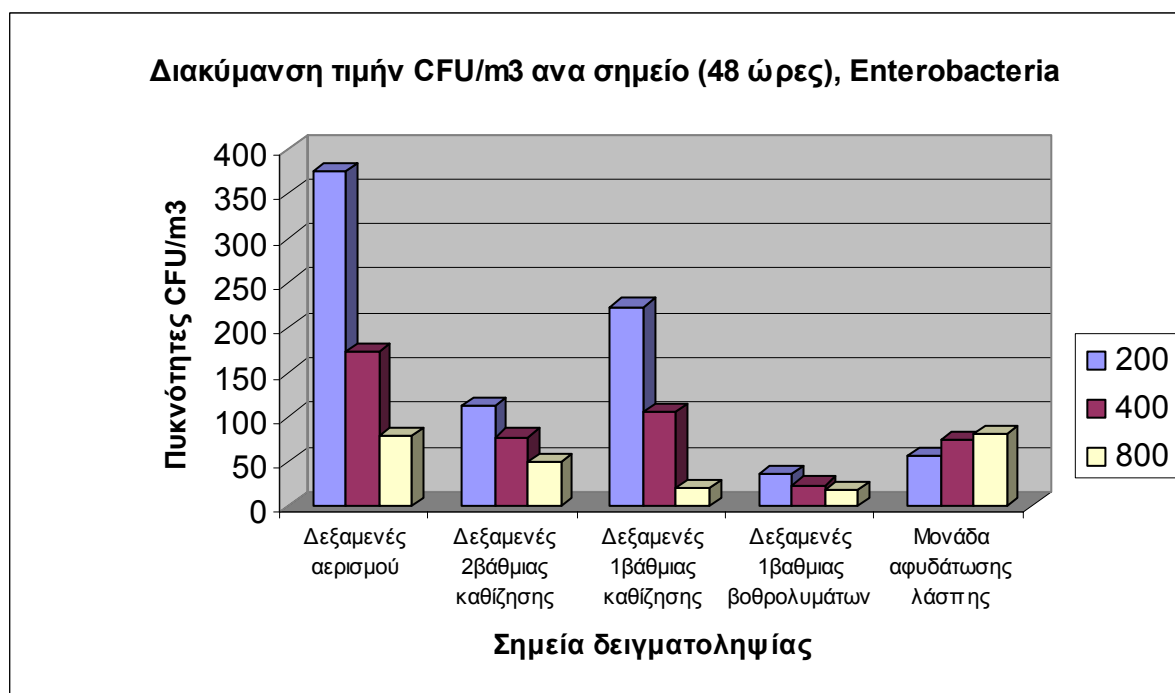
Εικόνα 4.33 Πιλοτική μονάδα αερισμού στο Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ

3.3.2..4 Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Μεταμόρφωσης της Ε.ΥΔ.Α.Π

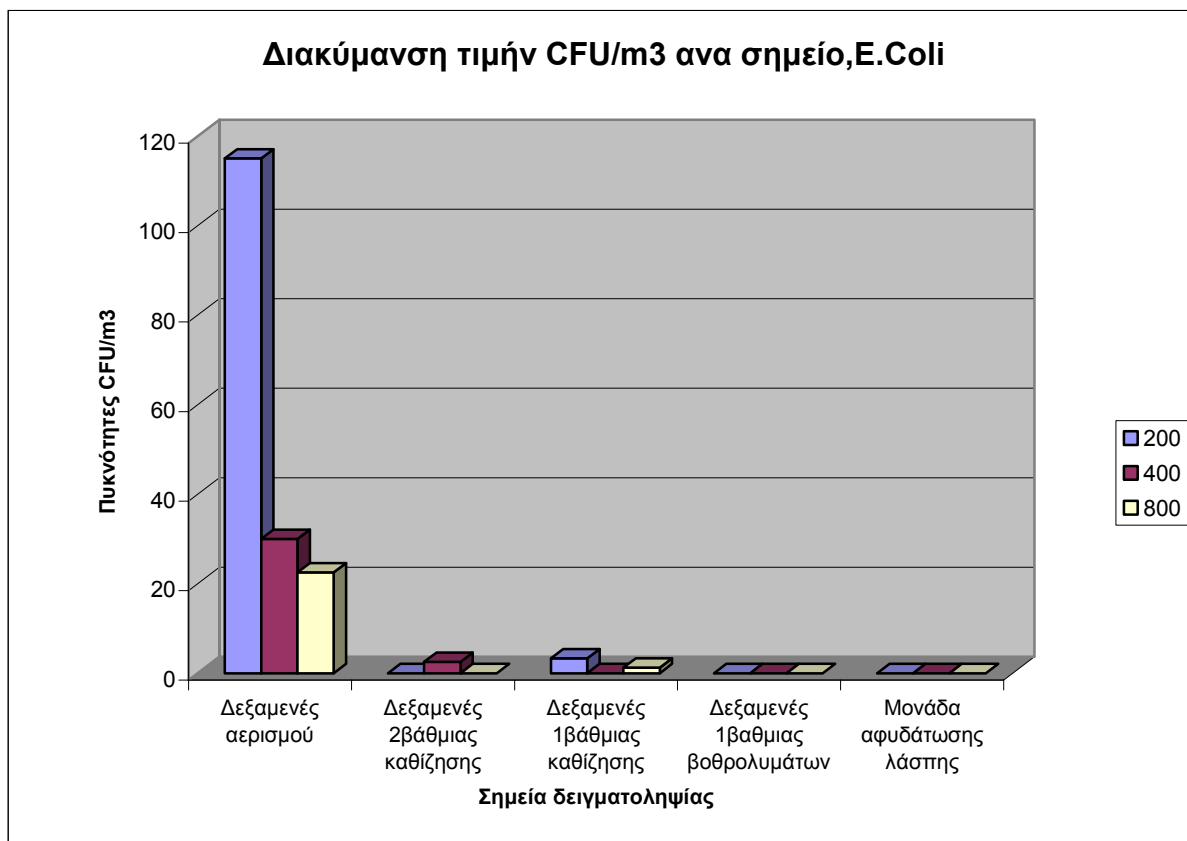
Τέλος, παρουσιάζουμε τα διαγράμματα που δείχνουν την πυκνότητα ανάλογα με το σημείο, στο Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Μεταμόρφωσης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση η δεξαμενή αερισμού περιμένουμε να δώσει την μεγαλύτερη πυκνότητα CFU/m³, λόγω και του γεγονότος ότι η μέθοδος αερισμού στην συγκεκριμένη μονάδα είναι της εμφύσησης αέρα, που δημιουργεί μεγάλη συγκέντρωση βιοαεροζόλ στον αέρα. Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα που προκύπτουν από τις μετρήσεις στη μονάδα:



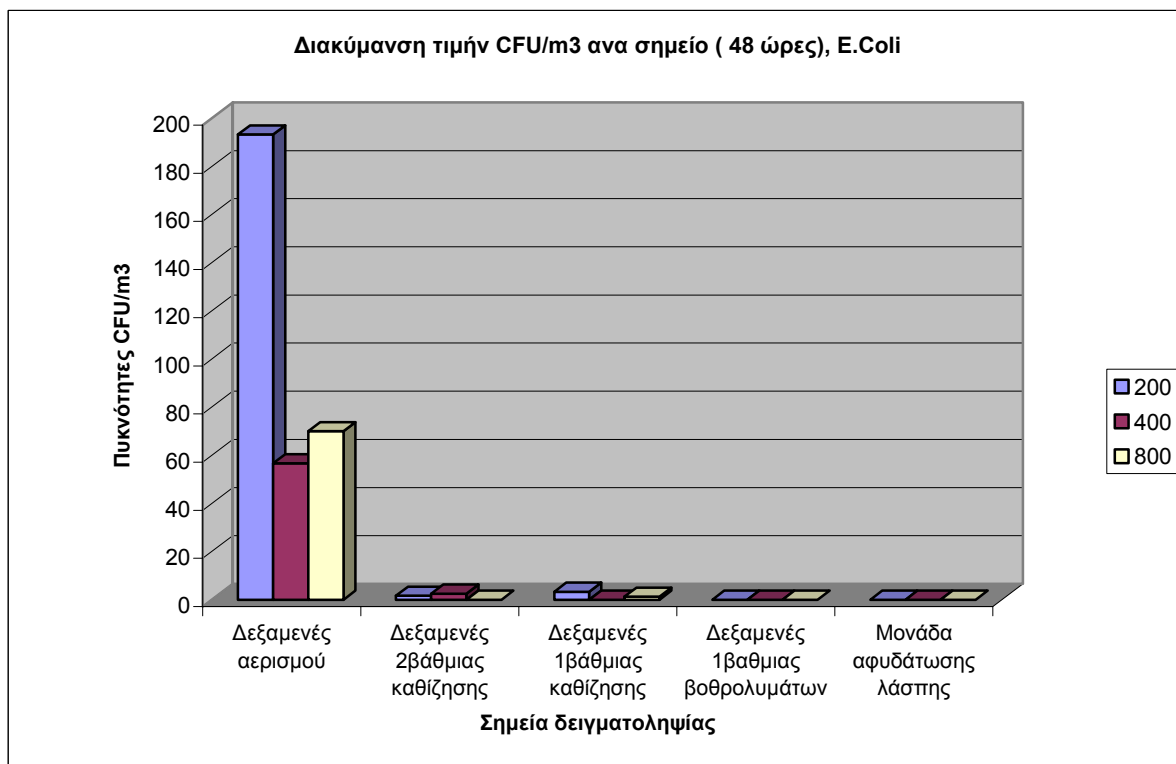
Διάγραμμα 4.34 Διακύμανση τιμών πυκνοτήτων ανά σημείο, Enterobacteria, για την Ε.ΥΔ.Α.Π



Διάγραμμα 4.35 Διακύμανση τιμών πυκνοτήτων ανά σημείο, 48 ώρες μέτρηση, Enterobacteria, για την Ε.ΥΔ.Α.Π



**Διάγραμμα 4.36 Διακύμανση τιμών πυκνοτήτων ανά σημείο, E.Coli,
Ε.ΥΔ.Α.Π**



**Διάγραμμα 4.37 Διακύμανση τιμών πυκνοτήτων ανά σημείο, 48 ώρες μέτρηση,
E.Coli, για την Ε.ΥΔ.Α.Π**

Από τα διαγράμματα είναι προφανές ότι η μεγαλύτερη, μακράν, πυκνότητα δίνεται στη μονάδα αερισμού. Η διαφορετικότητα στο μέγεθος της πυκνότητας στη συγκεκριμένη διεργασία, σε σχέση με τις υπόλοιπες διεργασίες, δείχνει το πόσο παραπάνω βιοαεροζόλ παράγει η συγκεκριμένη διεργασία. Το αποτέλεσμα ήταν αναμενόμενο, καθώς η εμφύσηση αέρα στα λύματα δημιουργεί φυσαλίδες, οι οποίες ανερχόμενες στην επιφάνεια εκπέμπουν σωματίδια στην ατμόσφαιρα. Η αμέσως επόμενη μεγαλύτερη συγκέντρωση φαίνεται να είναι στη μονάδα δευτεροβάθμιας καθίζησης, και αυτό λόγω του εμβαδού επιφάνειας της δεξαμενής. Παρακάτω φαίνεται από τις εικόνες η κατάσταση πάνω από τη δεξαμενή αερισμού με εμφύσηση και η δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης της μονάδας.



Εικόνα 4.38 Δεξαμενή αερισμού με εμφύσηση της Μονάδας Επεξεργασίας Λυμάτων Μεταμόρφωσης



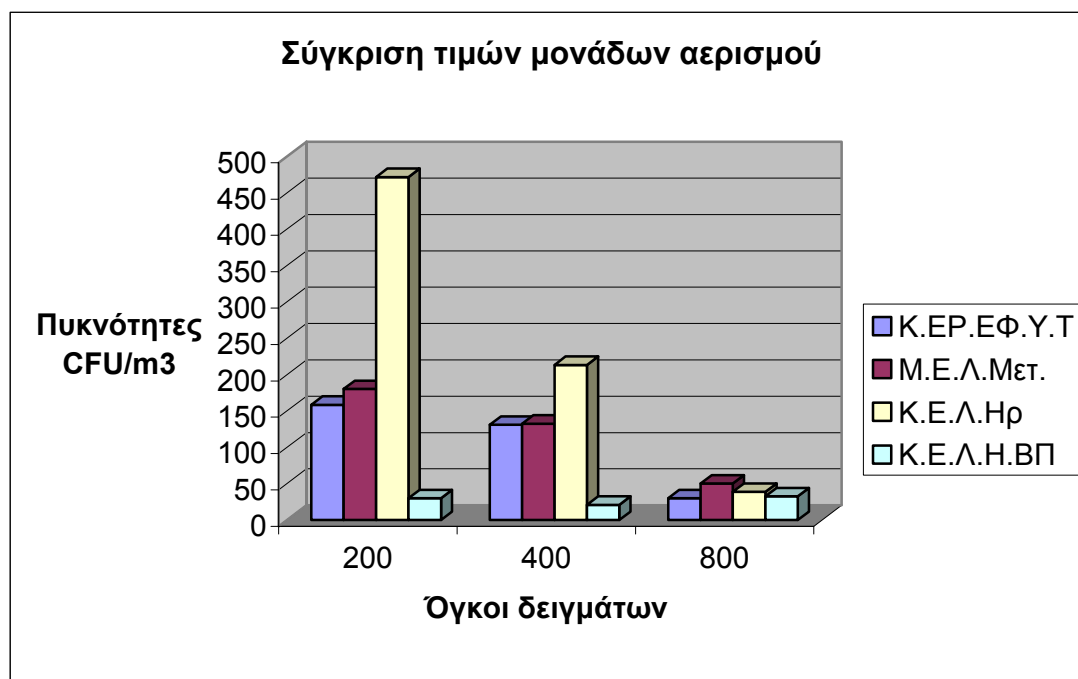
Εικόνα 4.39 Δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης της Μονάδας Επεξεργασίας Λυμάτων Μεταμόρφωσης

4.3.3 Σύγκριση ίδιων διεργασιών διαφορετικών μονάδων επεξεργασίας

Ως τελευταίο κομμάτι σύγκρισης των εκπομπών από τις μονάδες, μπορούμε να δημιουργήσουμε διαγράμματα τα οποία περιλαμβάνουν την ίδια λειτουργία και για τις τέσσερις διαφορετικές μονάδες για τις οποίες έγιναν οι μετρήσεις. Έτσι θα έχουμε μια άμεση παρατήρηση της διαφορετικότητας στην εκπομπή από δεξαμενές που εκτελούν την ίδια λειτουργία.

4.3.3.1 Μονάδες αερισμού

Παρακάτω παρουσιάζεται το συγκριτικό διάγραμμα των δεξαμενών αερισμού και των τεσσάρων μονάδων, για να είναι δυνατή η άμεση σύγκριση των τιμών τους.



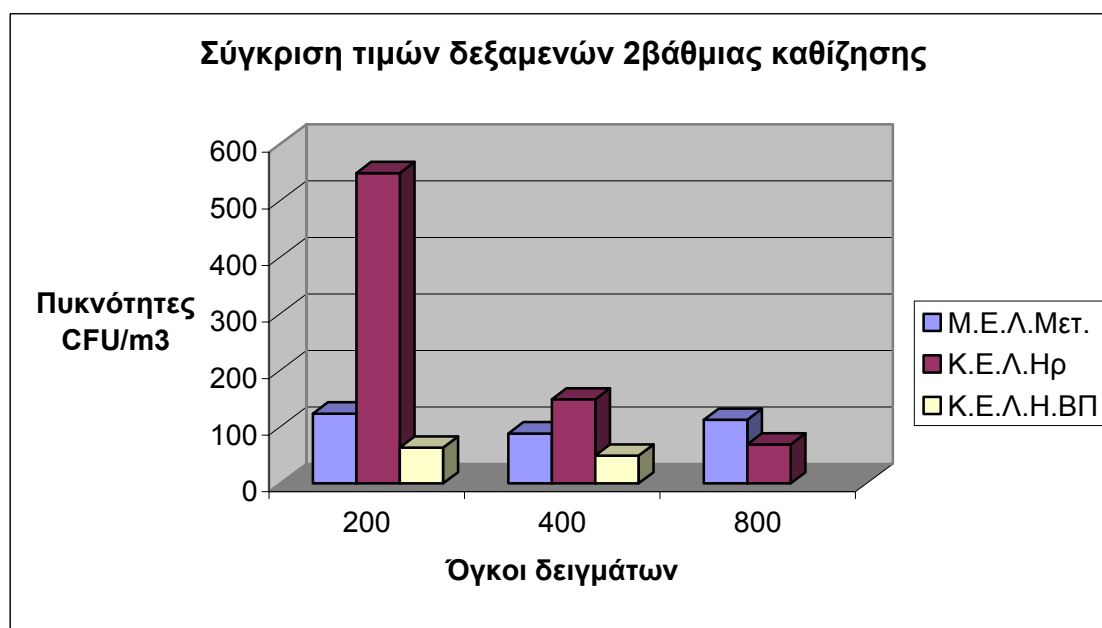
Εικόνα 4.40 Σύγκριση τιμών μονάδων αερισμού

Από το γράφημα είναι προφανές ότι την μεγαλύτερη συγκέντρωση μικροοργανισμών έχει το Κέντρο Επεξεργασίας Αστικών Λυμάτων της περιοχής του Ηρακλείου. Αυτό μπορεί να αιτιολογηθεί από τον τρόπο εισαγωγής αέρα στη δεξαμενή, με τη μέθοδο της ‘βούρτσας’, που αναφέρθηκε νωρίτερα. Αυτή η μέθοδος, της εισόδου μιας περιστρεφόμενης σωλήνας από την οποία εξέχουν κομμάτια υλικού για το ανακάτεμα των νερών της δεξαμενής, είναι προφανές ότι θα διασκορπίζει τα νερά σε μεγάλο βαθμό πάνω και γύρω από τη δεξαμενή. Αμέσως μετά είναι η Μονάδα Επεξεργασίας Λυμάτων στη Μεταμόρφωση, που και εκείνη διαθέτει έναν τρόπο αερισμού που αναταράσσει τα νερά και δημιουργεί πολλές φυσαλίδες.

Αυτό που μπορούμε να συμπεράνουμε από τη σύγκριση των δεξαμενών αυτών είναι ότι η συγκέντρωση που προκύπτει από μια δεξαμενή αερισμού έχει άμεση σχέση με τον τρόπο αερισμού της. Χρήσιμο θα ήταν να έχει γίνει μέτρηση σε μια μονάδα η οποία να διαθέτει σύστημα εισροής αέρα από τον πυθμένα με σύστημα φυσαλίδων, που από τη βιβλιογραφία, δίνει τη μικρότερη παροχή οξυγόνου με την μεγαλύτερη κατανάλωση, και δεν είναι απαραίτητη η διατάραξη της επιφάνειας των νερών της δεξαμενής.

4.3.3.2 Σύγκριση τιμών δεξαμενών δευτεροβάθμιας καθίζησης

Παρακάτω γίνεται η σύγκριση των τιμών εκπομπής για τις δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης, για να βρεθεί κατά πόσο παίζει ρόλο και το μέγεθος της δεξαμενής, καθώς και οι τρεις δεξαμενές είχαν διαφορετικές διαστάσεις.



Εικόνα 4.41 Σύγκριση τιμών δεξαμενών δευτεροβάθμιας καθίζησης

Από το παραπάνω γράφημα μπορούμε να δούμε ότι το Κέντρο Επεξεργασίας Αστικών Λυμάτων του Ηρακλείου, το οποίο έχει και τις μεγαλύτερες διαστάσεις για την συγκεκριμένη δεξαμενή, δίνει τις μεγαλύτερες πυκνότητες μικροοργανισμών στον αέρα. Αυτό, βέβαια, μπορεί να οφείλεται και σε κατώτερης ποιότητας επεξεργασία των λυμάτων, σε σύγκριση με τις άλλες μονάδες. Η εξάρτηση της εκπομπής, όμως, από παραπάνω από μια μεταβλητές δεν μπορεί να μας δώσει βάσιμα στοιχεία για το αν η επιφάνεια της δεξαμενής είναι ο σημαντικότερος λόγος που επηρεάζει την εκπομπή σωματιδίων από αυτή.

4.4 Συμπεράσματα

Από τα σχηματιζόμενα διαγράμματα μπορούμε να δούμε ότι οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις δίνονται στις δεξαμενές αερισμού και τις 2βάθμιας καθίζησης, καθώς οι διεργασίες αυτές είναι που παράγουν τις μεγαλύτερες ποσότητες βιοαεροζόλ, λόγω της φύσης τους. Σε σχέση με τις μονάδες μεταξύ τους, οι μεγαλύτερες τιμές δόθηκαν στις δύο μονάδες που κάνουν επεξεργασία αστικών λυμάτων, εκείνες της Μονάδας Επεξεργασίας Αστικών Λυμάτων του Ηρακλείου και εκείνης του Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων Μεταμόρφωσης της Ε.ΥΔ.Α.Π. Οι τιμές των συγκεντρώσεων σε απόσταση από τις δεξαμενές, όπως εκείνες που λήφθηκαν στις εισόδους των εγκαταστάσεων, είναι μικρές, και αυτό δείχνει ότι η συγκέντρωση μειώνεται χαρακτηριστικά σε σχέση με την απόσταση. Με βάση το συμπέρασμα αυτό, υποθέτουμε ότι οι εγκαταστάσεις αυτές, της επεξεργασίας λυμάτων, παρ' ότι παράγουν βιοαεροζόλ, αυτό μειώνεται με την απόσταση από τη δεξαμενή. Το μόνο που μπορούμε να υποθέσουμε ότι μπορεί να προκαλέσει πρόβλημα είναι οι καιρικές συνθήκες, όπου σε περιόδους με έντονους ανέμους ή χαμηλές θερμοκρασίες, η μεταφορά των μικροοργανισμών θα είναι μεγαλύτερη και η θνησιμότητα τους μικρότερη, επομένως θα είναι πιθανότερο να βρεθούν σε μεγαλύτερες αποστάσεις.

Για τον καλύτερο υπολογισμό και ασφαλέστερη χρήση των τιμών των μετρήσεων για σχεδιαστικούς λόγους, και για λήψη μέτρων απόστασης τέτοιων μονάδων από κατοικημένες περιοχές, πρέπει να γίνει εκτενής έρευνα, η οποία θα υπολογίσει και την βιωσιμότητα των παραγόντων προς μέτρηση, και θα συλλέξει και αναλύσει τα δείγματα με διαφορετικές μεθόδους (φίλτρα, βιολογική ανάλυση), προκειμένου να είναι πιο έγκυρη η μέτρηση, και θα έχει καλύψει τις περιπτώσεις των νεκρωμένων σωματιδίων που δεν προσμετρήθηκαν με την παρούσα διαδικασία, αλλά και τη συλλογή σωματιδίων που δεν έγινε με το παρόν όργανο μέτρησης.

Η χρήση μαθηματικών μοντέλων υπολογισμού των αποστάσεων στις οποίες μπορεί να φτάσει το Βιοαεροζόλ που δημιουργείται από τέτοιες μονάδες, σε συνδυασμό με όρια τα οποία πρέπει να θεσπιστούν από την Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας, σχετικά με τα ανώτατα όρια των συγκεντρώσεων των μικροοργανισμών αυτών στον αέρα, θα μπορέσει να αποτελέσει χρήσιμη συμβολή, και για τον τομέα της έρευνας πάνω στη δράση και κίνηση των μικροοργανισμών, αλλά και στον τομέα της υγείας, για λόγους πρόληψης και αντιμετώπισης των προκυπτουσών ασθενειών.

5. Μοντέλο υπολογισμού διασποράς Βιοαεροζόλ

5.1 Εισαγωγή

Η μέτρηση του επιπέδου των τιμών των συγκεντρώσεων του Βιοαεροζόλ δίνει πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση στις περιοχές μέτρησης, οι οποίες σε συνδυασμό με τα επιτρεπτά ή προτεινόμενα επίπεδα μπορούν να οδηγήσουν σε συμπεράσματα σχετικά με την ποιότητα του αέρα στην περιοχή, και αργότερα να χρησιμοποιηθούν στη λήψη αποφάσεων για την τροποποίηση των συνθηκών εκπομπής ή αλλαγή των μέτρων προστασίας. Όλα αυτά προϋποθέτουν την θέσπιση συγκεκριμένων ορίων στην εκπομπή των διαφόρων μικροοργανισμών στην ατμόσφαιρα.

Στην περίπτωση της μέτρησης Βιοαεροζόλ, που είναι ένας πρόσφατα ερευνούμενος τομέας, όπως ήδη προαναφέρθηκε, δεν υπάρχουν συγκεκριμένα όρια ή προτεινόμενα όρια για την εκπομπή σωματιδίων Βιοαεροζόλ, που να δίνουν ασφαλή έκθεση σε αυτά. Λόγω, ταυτόχρονα, της δυσκολίας στον υπολογισμό της τύχη της μεταφοράς τους στον αέρα, είναι ακόμα πιο περίπλοκος ο υπολογισμός της δυνατότητας μεταφοράς τους, καθώς και της μεταβολής της συγκέντρωσης τους, σε σχέση με την απόσταση από την πηγή.

Στην εργασία αυτή θα γίνει προσπάθεια υπολογισμού της διασποράς των μικροοργανισμών αυτών στον αέρα, προκειμένου να δειχθεί, τουλάχιστον, την έκταση που επηρεάζουν. Αυτό θα γίνει με τη βοήθεια μαθηματικού μοντέλου, στο οποίο δίνεται η δεδομένη συγκέντρωση, συνθήκες έκλυσης και παράμετροι της πηγής, και δίνει πληροφορίες σχετικά με την εξάπλωση του ρύπου ή σωματιδίου στο περιβάλλον.

5.2 Μαθηματικά μοντέλα υπολογισμού βιωσιμότητας Βιοαεροζόλ

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, τα σωματίδια του Βιοαεροζόλ επηρεάζονται από διάφορους παράγοντες στην ατμόσφαιρα, οι οποίοι καθορίζουν την ικανότητα τους να επιβιώσουν στον αέρα. Παράγοντες τέτοιοι είδαμε ότι είναι η

θερμοκρασία, η αφυδάτωση, η παρουσία οξυγόνου και άλλοι βιολογικοί παράγοντες. Παρακάτω θα παρουσιαστούν δυο μαθηματικά μοντέλα υπολογισμού της βιωσιμότητας των μικροοργανισμών του Βιοαεροζόλ, σε σχέση με ομάδες παραγόντων που επηρεάζουν την βιωσιμότητα.

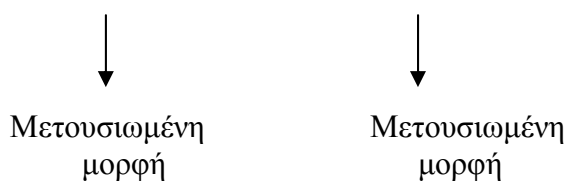
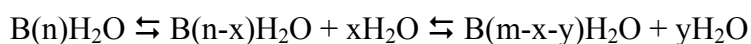
5.2.1 Μοντέλο ξήρανσης και θερμοκρασίας

Περίπου το 1970, αξιόπιστα δεδομένα για την επίπτωση της αφυδάτωσης στα σωματίδια του Βιοαεροζόλ, όπως το *E.coli*, *F.tularensis*, *K.pneumoniae*, *Flavobacterium*, *Semliki Forest virus* και *Venezuelan equine encephalitis virus* είχαν ήδη πιστοποιηθεί. Μαθηματικά μοντέλα κατασκευάστηκαν [19], σε μια προσπάθεια να συγκριθούν με τα πειραματικά δεδομένα. Συνδυάζοντας την θεωρία των πιθανοτήτων και πρώτης τάξης κινητικής μετουσίωσης, μια μαθηματική εξίσωση προέκυψε, που περιγράφει την επίδραση της αφυδάτωσης. Η βάση της έγκειται στο ότι οι μικροοργανισμοί περιέχουν ένα βασικό έτερον, το $B(nH_2O)$, η βιολογική δράση του οποίου είναι απαραίτητη για την αντιγραφή των μικροβιακών κυττάρων, δηλαδή της βιωσιμότητας. Αυτό το βασικό έτερον, όταν εκτίθεται σε περιβάλλον με χαμηλότερη σχετική υγρασία, σχηματίζει μια σειρά υδριτών, με μια αυθόρμητη μετουσίωση, μέσω μιας κινητικής πρώτης τάξης, όπως:

$$\frac{-dx}{dt} = kx$$

όπου το x είναι η συγκέντρωση του είδους που μετουσιώνεται.

Επομένως, το μοντέλο είναι:



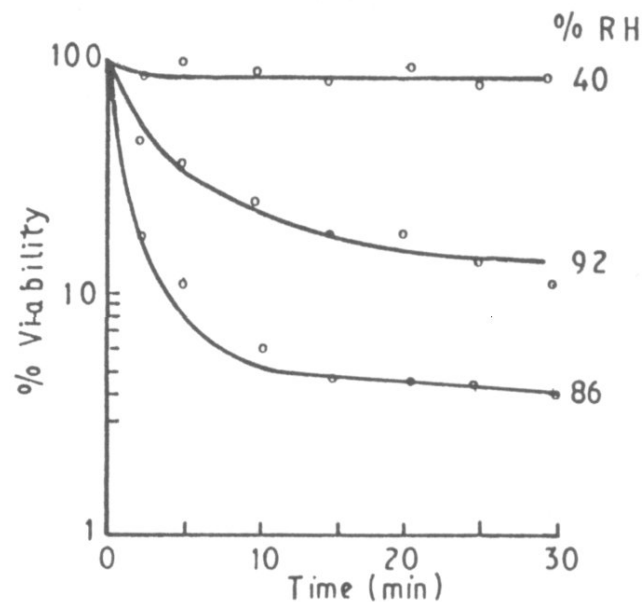
και αυτή η κατάσταση μπορεί να οδηγήσει στην ακόλουθη σχέση:

$$\ln V = K[B(n-x)H_2O]_0 (\exp(-kt) - 1) + \ln 100$$

όπου: $K[B(n-x)H_2O]_0$ σταθερά

k	κινητική σταθερά πρώτης τάξης μετουσίωσης
t	χρόνος
V	% βιωσιμότητα στο χρόνο t

που βρέθηκε ότι ταιριάζει σε αρκετές εκατοντάδες καμπύλες βιωσιμότητας-χρόνου σε μεγάλο βαθμό, όπως φαίνεται και στις ακόλουθες εικόνες:



Βιωσιμότητα του *Escherichia coli* σε νιτρώδης ατμόσφαιρα. Οι τελείες αντιπροσωπεύουν τα πειραματικά δεδομένα. Οι καμπύλες υπολογίστηκαν με τη θεωρία πιθανοτήτων [1]

Περίπου το 1987 μια αμιγώς διαφορετική προσέγγιση, που περιελάμβανε τη θεωρία καταστροφής και την κινητική της μετουσίωσης, έδωσε την ακόλουθη εξίσωση πρώτης τάξης μετουσίωσης:

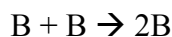
$$V/100 = [K([B] - [B]_{\min})]^{1/2}$$

που σε σύγκριση με την προηγούμενη εξίσωση δίνει το ακόλουθο αποτέλεσμα:

$$V/100 = \exp[K([B] - [B]_0)]$$

Η ομοιότητα των δύο σχέσεων φαίνεται από τα βιώσιμα τμήματα, που είναι κοντά στη μονάδα, αλλά διαφέρουν σημαντικά για τα βιώσιμα τμήματα που πλησιάζουν το μηδέν. Η θεωρία της καταστροφής δείχνει ότι τα βιώσιμα τμήματα μπορεί να είναι μηδέν, ενώ η θεωρία της πιθανότητας δείχνει ένα κατώτατο όριο ίσο με $-K[B]_0$, και ενώ το όριο αυτό είναι κοντά στο μηδέν, δεν μπορεί να είναι ακριβώς μηδέν, που πιθανών να δημιουργεί προβλήματα.

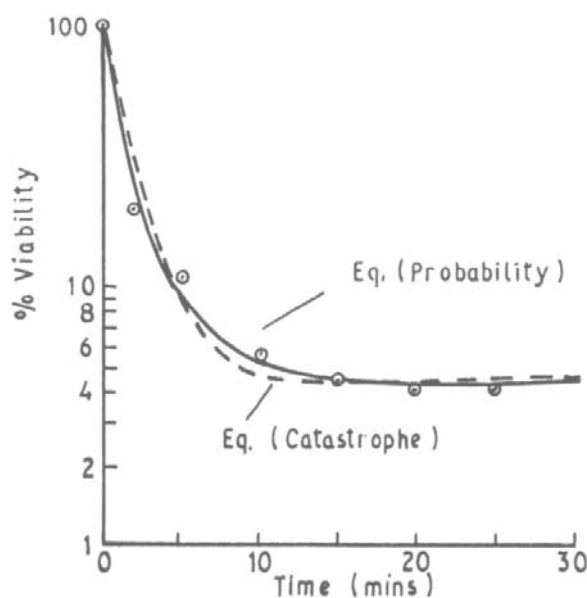
Ο αντίστοιχος διμερισμός δεύτερης τάξης είναι :



όπου το διμερές είναι η ανενεργή μορφή του βασικού έτερου, επομένως:

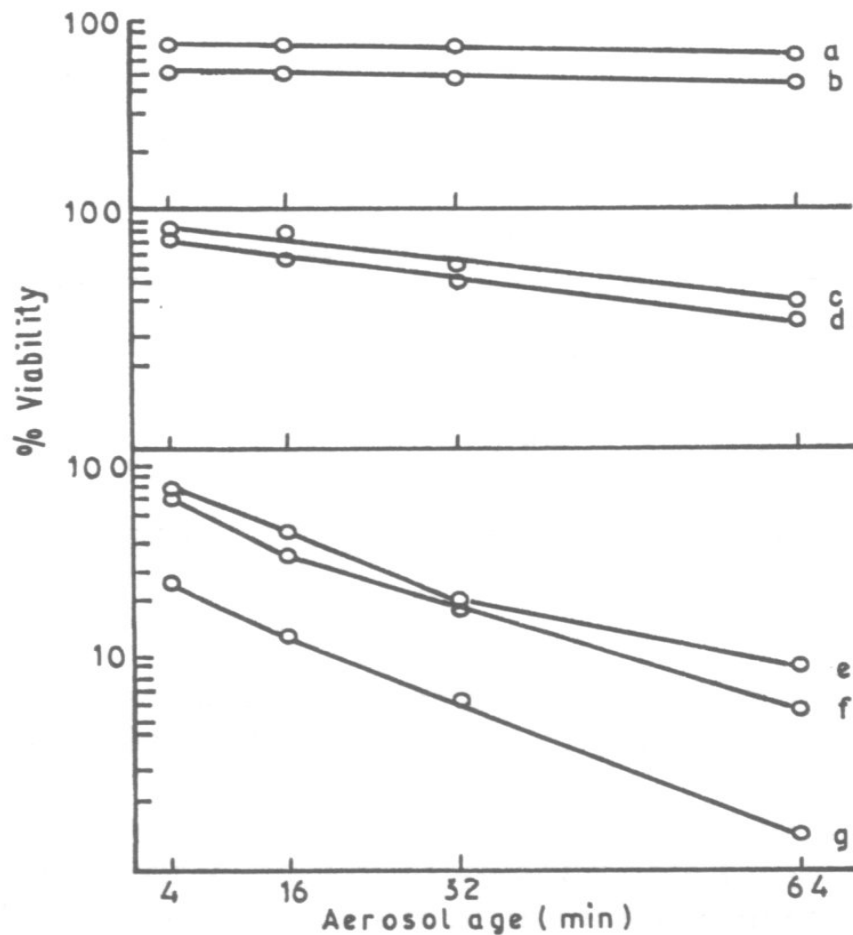
$$V/100 = [(K[B]_0 / (1 + K[B]_0 kt)) - K[B]_{\min}]^{1/2}$$

Γενικότερα, οι εξισώσεις της θεωρίας καταστροφής, ή η εξίσωση δεύτερης τάξης αυτής, πλησιάζουν καλύτερα τα δεδομένα θνησιμότητας, αλλά όχι πάντα, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Σύγκριση μοντέλων θνησιμότητας σε σχέση με το χρόνο για το E.Coli σε νιτρώδη ατμόσφαιρα [1]

Οι Ehrlich και οι συνεργάτες του έδωσαν μια σειρά από πακέτα δεδομένων κατάλληλα για ανάλυση των επιπτώσεων της θερμοκρασίας στην βιωσιμότητα του Βιοαεροζόλ, όπως φαίνεται από το ακόλουθο διάγραμμα, ενώ οι καμπύλες υπολογίστηκαν από την παραπάνω εξίσωση δεύτερου βαθμού.



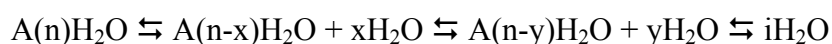
Επίδραση της θερμοκρασίας στην βιωσιμότητα του αεροζόλ, για το *Flavobacterium* sp. στον αέρα. Τα σύμβολα στο σχέδιο είναι για τις ακόλουθες θερμοκρασίες: a=-18; B=-40; c=24; d=-2; e=29; f=38; g=49 °C [1]

Από το παραπάνω διάγραμμα μπορούμε να υπολογίσουμε το ποσοστό θνησιμότητας σε σχέση με την ώρα και τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος για το οποίο ενδιαφερόμαστε.

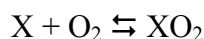
Τα αποτελέσματα των ερευνών δείχνουν ότι για δυο διαφορετικά είδη, διαφορετικοί μηχανισμοί επιφέρουν θάνατο από ξήρανση, το ένα λειτουργώντας πάνω από τη βέλτιστη θερμοκρασία, και το άλλο κυρίως κάτω από αυτή. Επίσης, η βέλτιστη θερμοκρασία επιβίωσης-μολυσματικότητας αντιστοιχεί με τη φάση μετάβασης από μορφή gel σε liquid-crystalline phospholipids, που με τη σειρά της εξαρτάται από τα μικροβιακά συμπληρώματα των λιπαρών οξέων [1].

5.2.2 Μοντέλο επίδρασης οξυγόνου και περιβαλλοντικού αέρα

Τα δεδομένα που υπάρχουν για την επίδραση της σχετικής υγρασίας, του οξυγόνου και του χρόνου στην βιωσιμότητα του Βιοαεροζόλ για το είδος *Serratia marcescens* έχουν παρουσιαστεί στη βιβλιογραφία [19]. Το βασικό έτερον Α, που είναι απαραίτητο για τη βιωσιμότητα, σχηματίζει μια σειρά από υδρίτες, όπως φαίνεται από την ακόλουθη σχέση:



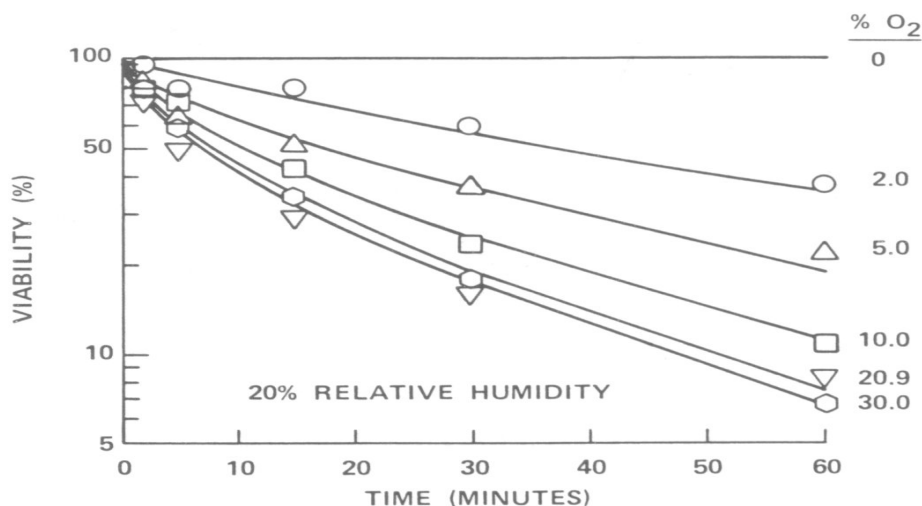
Ένας φορέας Χ αξιώνεται ότι συνδέει την αντιστρεψιμότητα με το οξυγόνο:



και το XO_2 μπορεί να αντιδράσει με κάθε υδρίτη, χωρίς να σχηματίζει τριτογενή σύμπλοκα $A.XO_2$, που δίνουν οξυγονωμένα είδη AO_2 και ελεύθερο φορέα Χ. Η ενσωμάτωση των αντίστοιχων διαφορικών εξισώσεων και η χρήση της θεωρίας της πιθανότητας οδηγεί σε μια εξίσωση, της οποίας η απλοποιημένη μορφή είναι η ακόλουθη:

$$\ln V = K[A]_0 \{ \exp(-k[X]_0[O_2]t / (K_x + [O_2])) - 1 \} + \ln 100$$

Στο ακόλουθο διάγραμμα φαίνεται η σύγκλιση των πειραματικών δεδομένων με αυτά που προκύπτουν από τα μοντέλα υπολογισμού [1], σχετικά με την επίδραση του οξυγόνου. Οι αναλύσεις αυτές δείχνουν ότι αν το είδος Α υπάρχει, πρέπει να βρίσκεται στο τοίχωμα των βακτηρίων, ενώ το είδος Β θα ήταν στην απώτερη εξωτερική επιφάνεια των τοιχωμάτων.



Για την περίπτωση του περιβαλλοντικού αέρα, η επίδραση είναι παρόμοια με εκείνη του οξυγόνου, εκτός του ότι η εξίσωση ισορροπίας μεταξύ του φορέα και του ελεύθερου αέρα επιτυγχάνεται πιο αργά. Οι επιδράσεις αναμένεται να παρουσιάσουν καθυστέρηση πριν την απώλεια της βιωσιμότητας, όπως συχνά παρατηρείται στην πράξη [1].

5.2.3 Συμπεράσματα μαθηματικών μοντέλων

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τα μαθηματικά μοντέλα είναι αρκετά βοηθητικά για την κατανόηση της τύχης του Βιοαεροζόλ μετά την έκλυση του στην ατμόσφαιρα. Αρχικά, από τα διαγράμματα μπορούν να προκύψουν μερικά γρήγορα συμπεράσματα. Για παράδειγμα, από το διάγραμμα που συνδέει τη θερμοκρασία και το χρόνο με τη βιωσιμότητα, παρατηρούμε ότι σε χρονική διάρκεια μισής ώρας η βιωσιμότητα έχει πέσει κατά 50%, σε μια θερμοκρασία περιβάλλοντος ίση με 24 βαθμούς Κελσίου. Έπειτα, από το διάγραμμα της επιρροής της περιεκτικότητας σε οξυγόνο, μπορούν να προκύψουν άμεσα τα ακόλουθα συμπεράσματα. Για ένα ατμοσφαιρικό περιβάλλον, του οποίου η περιεκτικότητα σε οξυγόνο λαμβάνεται ίση με 20.9, η βιωσιμότητα μετά το πέρας της μισής ώρας είναι ίση με λιγότερο από 20%.

Αν θεωρήσουμε τη συνιστάμενη επίδραση και των δύο, τότε μπορούμε να δούμε ότι οι μικροοργανισμοί που αποτελούν το Βιοαεροζόλ δεν διαθέτουν μεγάλη βιωσιμότητα στον ατμοσφαιρικό αέρα, και η οποία είναι ακόμα μικρότερη, όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Αυτό μας δείχνει ότι, όσο αναφορά τη βιωσιμότητα των μικροοργανισμών, η επίδραση τους στην ανθρώπινη υγεία θα είναι μειωμένη. Πριν, όμως, βγάλουμε συμπεράσματα σχετικά με την ασφάλεια των πηγών εκπομπής μικροοργανισμών, πρέπει με κάποιο τρόπο να δούμε την απόσταση στην οποία ταξιδεύουν οι μικροοργανισμοί αυτοί, καθώς, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, η επίδραση τους πάνω στην ανθρώπινη υγεία δεν εξαρτάται τόσο από τη βιωσιμότητα τους. Δηλαδή, ακόμα και οι νεκροί οργανισμοί έχουν αλλεργικές και μολυσματικές επιδράσεις πάνω στον οργανισμό.

Για το σκοπό αυτό, ακολουθεί μια προσπάθεια χρήσης ενός Γκαουσιανού μοντέλου, που υπολογίζει την εξάπλωση ενός ρύπου, συναρτήσει των μετεωρολογικών παραμέτρων που επικρατούν στην περιοχή, και των συνθηκών έκλυσης από την πηγή.

5.3 Μοντέλο ποιότητας αέρα

Η διασπορά ενός ρύπου στο περιβάλλον, μετά από την έκλυση του στην ατμόσφαιρά εξαρτάται από μια πληθώρα παραμέτρων. Βασική μεταβλητή είναι οι μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή κατά τη χρονική στιγμή της έκλυσης του ρύπου, οι οποίες θα καθορίσουν σε μεγάλο βαθμό την απόσταση και την ταχύτητα με την οποία θα διαδοθεί ο ρύπος. Δεύτερη βασική μεταβλητή είναι η αντιδραστικότητα του ρύπου με το περιβάλλον, καθώς αυτό καθορίζει το κατά πόσο θα αποικοδομηθεί κατά τη διάρκεια της μεταφοράς του με το ρεύμα του αέρα. Τέλος, παράμετροι που παίζουν ρόλο στην μεταφορά και την τύχη του ρύπου στο περιβάλλον είναι οι συνθήκες έκλυσης του ρύπου, δηλαδή το ύψος και η ταχύτητα με την οποία εκλύθηκε στο περιβάλλον, η διάμετρος της μονάδας (καμινάδας) που εκπέμπει το ρύπο, η θερμοκρασία του ίδιου και άλλα.

Στην περίπτωση της μελέτης μας, θέλουμε να μελετήσουμε την κίνηση των μικροοργανισμών στον αέρα μετά από την εκπομπή τους στο περιβάλλον. Στην βιβλιογραφία δεν υπάρχει ακριβές μοντέλο που για τον υπολογισμό της κίνησης των μικροοργανισμών στον αέρα, και σε περίπτωση που υπάρχει, έχει αναπτυχθεί από το προσωπικό για ιδιωτική χρήση και δεν κυκλοφορεί σε ελεύθερη έκδοση. Για τον λόγο αυτό, και με δεδομένο το γεγονός που υπολογίστηκε προηγουμένως, την θνησιμότητα των μικροοργανισμών μετά την έκθεσή τους στο περιβάλλον λόγω της θερμοκρασίας και του οξυγόνου, θα κάνουμε τη θεώρηση ότι μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ένα αριθμητικό γκαουσιανό μοντέλο το οποίο λειτουργεί για αδρανείς ρύπους. Θεωρούμε, δηλαδή, ότι μετά το θάνατο τους οι μικροοργανισμοί θα συμπεριφερθούν σαν σωματίδια που δεν αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον, οπότε και μπορούν να εφαρμοστούν οι νόμοι που ισχύουν για τα σωματίδια.

5.3.1 Μοντέλο Industrial Source Complex (ISC)

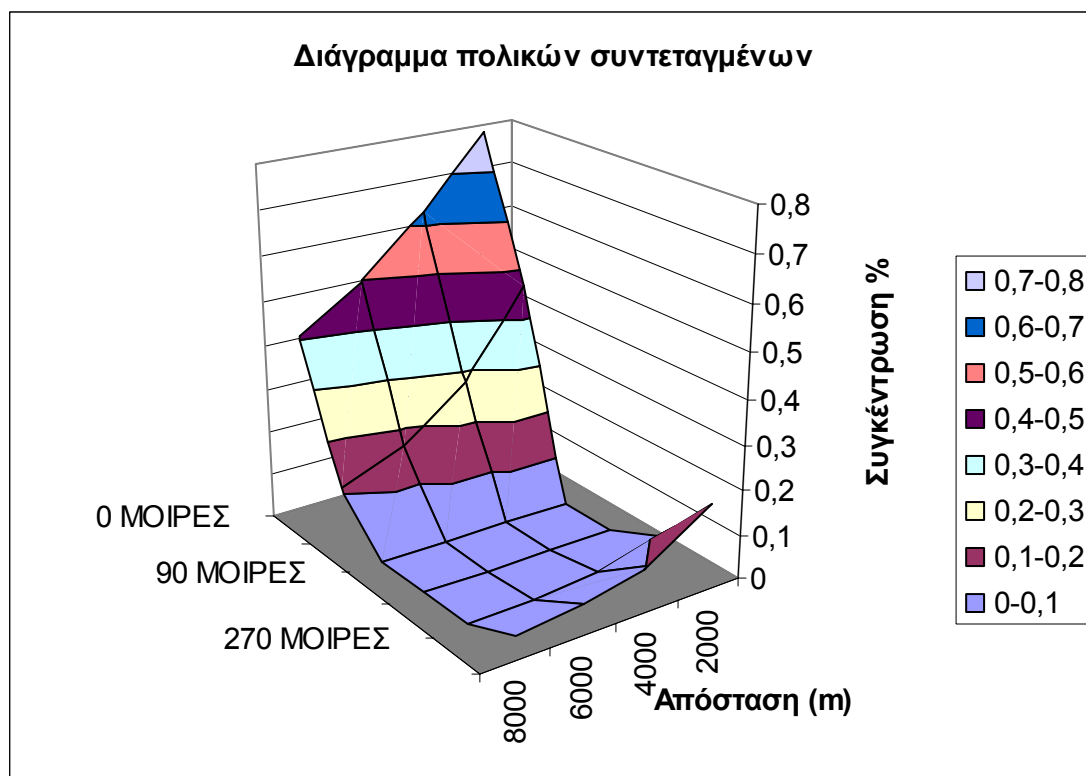
Το μοντέλο ISC είναι ένα γκαουσιανό ατμοσφαιρικό μοντέλο διασποράς σταθερής κατάστασης (steady state) της U.S E.P.A, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση συγκεντρώσεων των ρυπαντών από μια μεγάλη ποικιλία πηγών. Βασικό πλεονέκτημα του μοντέλου είναι το ότι μετά από πρόσφατες αναβαθμίσεις παρέχει τη δυνατότητα αρκετά ικανοποιητικής ακρίβειας, καθώς

λαμβάνει υπόψη του στους υπολογισμούς την καθίζηση και την υγρή και ξηρή εναπόθεση των σωματιδίων, και το κατώρευμα λόγω γειτονικών κτηρίων.

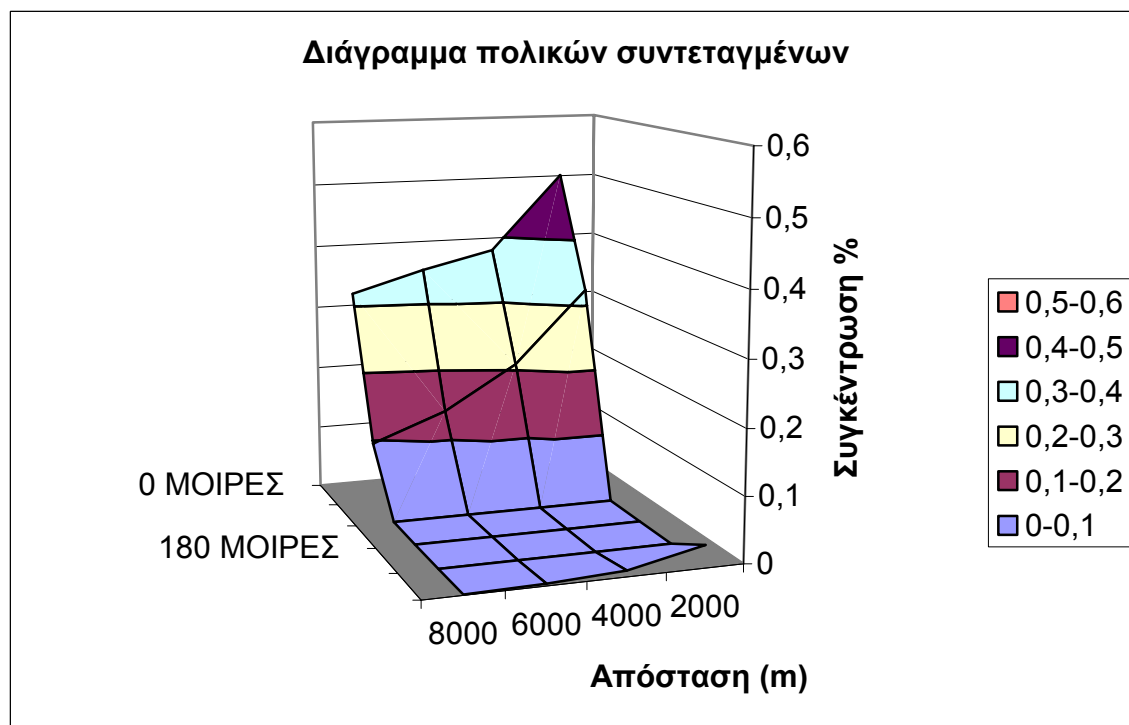
Στο μοντέλο αυτό εισάγονται οι παράμετροι των μετεωρολογικών συνθηκών (θερμοκρασία, ταχύτητα ανέμου, διεύθυνση, σχετική υγρασία), καθώς και τα χαρακτηριστικά της πηγής η οποία εκπέμπει το ρύπο. Τα μετεωρολογικά αυτά δεδομένα μπορούν να βρεθούν εύκολα στο διαδίκτυο, από μετεωρολογικούς σταθμούς που βρίσκονται σε διάφορες περιοχές, και να χρησιμοποιηθούν σαν είσοδος στο μοντέλο. Με βάση το ρύπο και το ρυθμό εκπομπής που του έχουμε δώσει στην είσοδο ότι έχει ο ρύπος στο περιβάλλον, το μοντέλο αυτό μπορεί να μας δώσει αποτελέσματα σχετικά με τη μεταβολή της συγκέντρωσης σε σχέση με την απόσταση από την πηγή. Παρακάτω θα γίνει μια απλή εφαρμογή του μοντέλου αυτού, για να πάρουμε ένα οπτικό δείγμα του πως κινείται ο ρύπος (εδώ οι μικροοργανισμοί) σε σχέση με την απόσταση.

5.3.1.1 Εφαρμογή του μοντέλου

Από την εκτέλεση του μοντέλου και την ρύθμιση των δεδομένων εισόδου, λαμβάνουμε αριθμητικά αποτελέσματα, σχετικά με το πώς κυμαίνεται η συγκέντρωση στον αποδέκτη. Στην παρούσα φάση, λάβαμε σαν προεπιλογή πολιτικό σύστημα συντεταγμένων, από το οποίο προέκυψε η μεταβολή της συγκέντρωσης του ρύπου, σε σχέση με την απόσταση. Παρακάτω παρουσιάζονται δυο απόψεις των αποτελεσμάτων που έδωσε το μοντέλο, για την κίνηση των μικροοργανισμών.



Διάγραμμα πολικών συντεταγμένων μεταβολής της συγκέντρωσης % των μικροοργανισμών σε σχέση με την απόσταση από τον δέκτη, για τη δεξαμενή αερισμού του Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων στη Μεταμόρφωση Αττικής.



Διάγραμμα πολικών συντεταγμένων μεταβολής της συγκέντρωσης % των μικροοργανισμών σε σχέση με την απόσταση για τη Μονάδα Επεξεργασίας Αστικών Λυμάτων περιοχής Ηρακλείου.

5.3.1.2 Συμπεράσματα εφαρμογής μοντέλου

Παρατηρώντας τα διαγράμματα που προκύπτουν από την εκτέλεση του αριθμητικού μοντέλου για την τύχη του ρύπου στο περιβάλλον, μπορούμε να σημειώσουμε την ομοιότητα, ως προς τα αποτελέσματα, με εκείνα τα αποτελέσματα που πήραμε από τα μαθηματικά μοντέλα σε προηγούμενη παράγραφο. Και στις δύο περιπτώσεις, αυτό που βγαίνει σαν συμπέρασμα είναι ότι σε σχέση με την απόσταση η βιωσιμότητα, από την μία πλευρά, και η συγκέντρωση από την άλλη μειώνονται, με αποτέλεσμα να μειώνουν τον κίνδυνο από την εκπομπή των μικροοργανισμών από τις μονάδες.

Καθώς η κλίση της μεταβολής της συγκέντρωσης σε σχέση με την απόσταση είναι αρκετά μεγάλη, όπως φαίνεται από τα διαγράμματα, μπορούμε να υποθέσουμε ότι η κατασκευή Μονάδων Επεξεργασίας Λυμάτων στα περίχωρα αστικών περιοχών δεν θα δημιουργήσει ιδιαίτερα προβλήματα στην υγεία των κατοίκων. Παρ' όλα αυτά, καθώς η μεταφορά και διασπορά των μικροοργανισμών στην γύρω περιοχή εξαρτάται από μια πληθώρα παραγόντων, εκ των οποίων οι καιρικές συνθήκες είναι αστάθμητος παράγοντας και εξαρτάται από την περιοχή, και με δεδομένο ότι δεν υπάρχουν αυτή τη στιγμή στη βιβλιογραφία συγκεκριμένες τιμές συγκεντρώσεων για τις οποίες μπορεί να χαρακτηριστεί η εκπομπή ασφαλής, δεν μπορούμε να πούμε με βεβαιότητα ότι μια τέτοια μονάδα δεν θα επηρεάσει την υγεία των κατοίκων.

Τα μοντέλα ποιότητας του αέρα είναι πολύ χρήσιμα στον υπολογισμό της μεταβολής της συγκέντρωσης, και θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και να εκτελούνται για κάθε περιοχή την οποία μελετάμε, και για τις διαφορετικές συνθήκες αυτής, προκειμένου να έχουμε την γενική εικόνα για την περιοχή. Αυτό, σε συνδυασμό με την θέσπιση κατώτατων τιμών ορίων για τους μικροοργανισμούς, μπορεί να δώσει χρήσιμες πληροφορίες, αλλά και να αποτελέσει βάση για την ανοικοδόμηση και επέκταση του θεσμού των Μονάδων Επεξεργασίας Λυμάτων, χωρίς την φοβία των κατοίκων για τις επιπτώσεις από την λειτουργία μιας τέτοιας μονάδας στην περιοχή τους.

Βιβλιογραφία

- [1] C.S.Cox, C.M.Wathes, Bioaerosols Handbook, CRC Press, 1995**
- [2] B.Lighthart, A.J.Mohr. Atmospheric Microbial Aerosols, Chapman & Hall 1994**
- [3] P.K.Morey, J.C.Feeley, J.A.Otten, editors, Biological Contaminants in indoor Environments**
- [4] Paul A. Jensen, Ph.D, PE, Millie P. Schafer, Ph.D, NIOSH/DPSE, Sampling and Characterization of bioaerosols**
- [5] Brian Flannigan, Department of Biological Sciences, Heriot-Watt University, Air sampling for fungi in indoor environments**
- [6] Raygor. C, K. Mackay, Bacterial Air Pollution from an Activated Sludge tank, Water, Air and Soil Pollution, 1975, Vol.5 pp 47-52**
- [7] W.D. Griffiths, G.A.L. DeCosemo, The assessment of bioaerosols: A critical review**
- [8] M. Orsini, P. Laurenti, F. Boniti, D. Arzani, A. Ianni, V. Romano-Spica, A molecular typing approach for evaluating bioaerosol exposure in wastewater treatment plant workers**
- [9] K. Wittmaack, H. Wehnes, U. Heinzmann, R. Agerer, An overview on bioaerosols viewed by scanning electron microscopy (in Press)**
- [10] Alan M. Jones, Roy M. Harris, The effects of meteorological factors on atmospheric bioaerosol concentrations – a review**
- [11] Jerald L. Schnoor Περιβαλλοντικά μοντέλα Τύχη και Μεταφορά Ρύπων στον Αέρα, Νερό και έδαφος**
- [12] Wijnand Eduard, Dick Heederick, Methods for Quantitative Assessment of Airborne levels of Noninfectious Microorganisms in Highly Contaminated Work Environments**
- [13] Schasfoort, R.B.M, P. Bergveld, R.P.H Kooymon, J. Greeve, Biosensors and Bioelectronics, 1991, pp: 477-489**
- [14] A. Sengupta, M.L. Laucks, N. Dildine, E.Drapla, E.J. Davis, Bioaerosol characterization by surface enhanced Raman spectroscopy (SERS), (in press)**

- [15] Victoria Agranovski, Zoran D. Ristovski, Real time monitoring of viable bioaerosols: Capability of the UVAPS to predict the amount of individual microorganisms in aerosol particles
- [16] Xuejun Lin, Tiina Reponen, Klaus Willeke, Zheng Wang, Sergey A. Grinshpun and Mikhaylo Tronov, Survival of Airborne Microorganisms During Swirling Aerosol Collection
- [17] Zheng Wang, Tiina Reponen, Sergey A. Grinshpun, Rafal L. Forney, Klaus Willeke, Effect of Sampling time and air humidity on the bioefficiency of filter samplers for bioaerosol collection
- [18] Bioaerosol Health effects and Exposure Assessment: Progress and Prospects
- [19] Solomon WR, Burge HP, Boise JR, Airborne *Aspergillus fumigatus* levels outside and within a large clinical center, J. Allergy, 1978, pp 62(1):55-60