Περιεχόμενα

Πρόλογος 3
Κεφάλαιο 1 4
Εισαγωγή 4
Κεφάλαιο 2 7
2.1 Η εξέλιξη των προκαρυωτικών και παθογόνων μικροοργανισμών 7
2.2 Προέλευση και εξέλιξη των αερομεταφερόμενων μικροοργανισμών 7
2.3 Τι είναι βιοαεροζόλ 8
2.4 Δυναμική των βιοαεροζόλ 9
2.4.1 Η κίνηση BROWN 9
2.4.2 Βαρύτητα 9
2.4.3 Ηλεκτρικές δυνάμεις 9
2.4.4 Θερμοβαθμίδα & Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία 9
2.4.5 Τυρβώδης διάχυση 10
2.5 Δειγματοληψία αδράνειας (Πρόσκρουση αδράνειας) 11
2.6 Σχήμα σωματιδίων 11
2.7 Μέγεθος κυττάρων ή σωματιδίων 12
2.8 Πηγές βιοαεροζόλ 13
Κατηγορία 13
2.9 Προσδιορισμός βιοαεροζόλ 14
2.9.1 Διήθηση και Μικροσκόπηση 14
2.9.2 Βαρυτικοί συλλέκτες και δειγματολήπτες αδράνειας 15
2.9.2.1 Βαρυτικοί συλλέκτες 15
2.9.2.2 Προσκρουστήρες αδράνειας διαδοχικής συλλογής (cascade impactors) 15
2.9.2.3 Εικονικοί προσκρουστήρες αδράνειας (virtual impactors) 15
2.9.2.4 Κυκλώνες διαδοχικής συλλογής (cascade cyclones) 15
2.9.2.4 Αναλυτικές συσκευές προσδιορισμού σωματιδίων σε πραγματικό χρόνο 16
2.9.2.5 Φυγοκεντρικοί Φασματογράφοι 16
2.9.3 Οπτικοί μετρητές/ αναλυτικές συσκευές 16
2.9.3.1 Οπτικός μετρητής σωματιδίων 16
2.9.3.2 Λέιζερ περίθλασης (Laser Diffractometer) 17
2.9.3.3 Laser Phase-Doppler System 17
2.9.3.4 Σύστημα ανάλυσης έντασης ακτινοβολίας (Intensity Deconvolution System) 17
2.9.3.5 Αλληλεπίδραση λέιζερ-σωματιδίων/ Συσκευή ανάλυσης εικόνας (Laser-particle interaction/Image Analyzer) 17
2.9.4 Ηλεκτρικές τεχνικές κινητικότητας 18
2.9.4.1 Ηλεκτρική συσκευή ανάλυσης σωματιδίων (Electrical Aerosol Analyzer) 18
2.9.4.2 Διαφορικός αναλυτής κινητικότητας (Differential Mobility Analyzer: DMAs) 18
2.9.4.3 Σύστημα LIDAR 18
2.9.4.4 Βιοαισθητήρες 18
2.9.5 Ερμηνεία των αποτελεσμάτων των Βιοαεροζόλ 19
Κεφάλαιο 3 20
3.1 Επιδράσεις της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης 20
3.2 Ανάλυση και μέτρηση σωματιδιακών ρύπων 20

3.3 Επιπτώσεις των βιοαεροζόλ στην ανθρώπινη υγεία....20
3.3.1 Μολυσματικές Ασθένειες....21
3.3.2 Ασθένειες του αναπνευστικού συστήματος....21
3.3.3 Καρκίνος....22
Κεφάλαιο 4....23
4.1 Ρύπανση Υδάτων και Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων....23
4.2 Μονάδες Επεξεργασίας....23
4.3 Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων του Δήμου Χανίων....24
Κεφάλαιο 5....33
Βιβλιογραφική ανασκόπηση....33
Κεφάλαιο 6....35
6.1 Περιγραφή περιοχής και μεθόδου δειγματοληψίας....35
6.2 Περιγραφή οργάνου δειγματοληψίας μικροοργανισμών σε αέρια δείγματα....36
6.3 Καλλιέργεια μικροοργανισμών και υποστρώματα....37
6.3.1. Θρεπτικά υποστρώματα....38
6.3.1.1. Membrane Lauryl Sulphate Agar (MLSA)....38
6.3.1.2. Nutrient Agar (NA)....39
6.3.1.3. Tryptone Soy Agar (TSA)....39
6.3.1.4 Malt Exctract Agar (MEA)....40
6.3.1.5 Slanetz & Bartley Medium (SBM)....40
6.4 Προσδιορισμός μετεωρολογικών παραμέτρων....41
6.5 Προσδιορισμός της δόσης της ηλιακής ακτινοβολίας....41
6.6 Μέτρηση H_2S, CO_2, SO_2, CH_4 και O_2 με τον πολυανιχνευτή αερίων....41
6.7 Στατιστική ανάλυση....42
Αριθμητικοί παράμετροι....42
Κεφάλαιο 7....44
7.1. Παρουσίαση αποτελεσμάτων δειγματοληψιών στην ΕΕΑΑ του Δήμου Χανίων....44
7.2 Αποτελέσματα της εφαρμογής του μαθηματικού μοντέλου....61
Δειγματοληψίες....62
7.3 Δειγματοληψίες Προαύλιο....64
Κεφάλαιο 8....70
8.1 Σχολιασμός-Συμπεράσματα....70
Παράρτημα....73
Βιβλιογραφικές Αναφορές....78

Πρόλογος

Η συγκεκριμένη εργασία είχε ως στόχο την μελέτη της παρουσίας συγκεκριμένων μικροοργανισμών στα αιωρούμενα σωματίδια της ατμόσφαιρας στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων του Δήμου Χανίων (ΔΕΥΑΧ).

Στο μικροβιακό φορτίο του αέρα προσδιορίστηκαν συγκεκριμένα οι συγκεντρώσεις των ολικών ετερότροφων βακτηρίων, των ολικών κολοβακτηρίων, των θερμοανθεκτικών κοπρανώδων κολοβακτηρίων και των μυκήτων.

Η εργασία πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Περιβαλλοντικής Χημείας και Βιοχημικών Διεργασιών του Τομέα Περιβαλλοντικής Τεχνολογίας του Τμήματος Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος του ΤΕΙ Κρήτης.

Το πρώτο κεφάλαιο αναφέρεται γενικά στην ύπαρξη των βιοαεροσόλ στην ατμόσφαιρα και αιτιολογεί την επιλογή των εγκαταστάσεων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων σαν σημείο έρευνας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύονται οι νόμοι που διέπουν την προώθηση, μεταφορά και απόθεση των βιοαεροζόλ. Επίσης αναφέρονται οι πηγές τους και οι τρόποι εντοπισμού τους.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναφέρονται γενικά τα στάδια επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων στην μονάδα επεξεργασίας του Δήμου Χανίων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναφέρονται τυχόν επιπτώσεις των βιοαεροζόλ στην ανθρώπινη υγεία.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αναφέρονται τα αποτελέσματα ανάλογων μελετών με αυτή που αναπτύχθηκε στη παρούσα εργασία.

Στο έκτο κεφάλαιο περιγράφεται το πειραματικό μέρος, αναφέρονται τα υλικά και οι αναλυτικές μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν.

Στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σε μορφή πινάκων και γραφημάτων.

Τέλος στο όγδοο κεφάλαιο αναφέρονται τα συμπεράσματα που απορρέουν από το σχολιασμό των αποτελεσμάτων.

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Η αλματώδης ανάπτυξη της τεχνολογίας ιδιαίτερα στα τέλη του 20ου αιώνα συνοδεύεται από μια εκτεταμένη οικολογική καταστροφή στον πλανήτη μας. Η ατμόσφαιρα του πλανήτη μας δέχεται συνεχόμενα μια επιβάρυνση από διάφορους ρυπογόνους παράγοντες με συνεχώς αυξανόμενο ρυθμό. Η ατμόσφαιρα δεν έχει πλέον την δυνατότητα αυτοκάθαρσης μέσω των φυσικών μηχανισμών που διαθέτει. Μία από τις μορφές ρύπανσης της ατμόσφαιρας, αποτελεί η σωματιδιακή ύλη. Τα τελευταία χρόνια παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον ο προσδιορισμός των βιολογικής προέλευσης αιωρούμενων σωματιδίων (βιοαεροσόλ) παρόλο που η ύπαρξη αερομεταφερόμενων παθογόνων μικροοργανισμών (όπως π.χ. του ιού της γρίπης) είναι πολλά χρόνια γνωστή. Η μελέτη της προέλευσης και των επιπτώσεων των βιοαεροζόλ στην ανθρώπινη υγεία έχει αρχίσει να απασχολεί έντονα την επιστημονική κοινότητα, ιδιαίτερα λόγω των αυξανόμενων κρουσμάτων που αναφέρουν αερομεταφερόμενες ασθένειες από βιοαεροσόλ (π.χ. ιός Embola, βιολογικά όπλα, κ.λ.π.).

Η μετακίνηση του αέρα παρέχει έναν σημαντικό και κοινό μηχανισμό για τη διασπορά των βιοαεροζόλ (μετακίνηση από μια θέση σε άλλη). Κάθε κυβικό μέτρο του εσωτερικού ή υπαίθριου αέρα μπορεί να περιέχει χιλιάδες ή ακόμα και εκατομμύρια μικροοργανισμούς και βιολογικά μόρια. Αυτά τα αερομεταφερόμενα βιολογικής προέλευσης μόρια και σωματίδια αναφέρονται συλλογικά ως βιοαεροζόλ. Τα βιοαεροζόλ μπορούν να είναι μικροοργανισμοί ή σωματίδια ή αέρια βιολογικής προέλευσης, τα οποία βρίσκονται στην ατμόσφαιρα. Τα παραδείγματα των βιοαεροζόλ περιλαμβάνουν τους ιούς, τα βακτήρια, τους μύκητες, τη γύρη, τα τεμαχισμένα σωματίδια από τα μικροβιακά κύτταρα ή τα έντομα, τα προϊόντα του μεταβολισμού των οργανισμών διαβίωσης (π.χ. περίττωμα εντόμων), πτητικές οργανικές ενώσεις βιολογικής προέλευσης, τοξίνες και άλλα.

Η αεροδυναμική τους διάμετρος κυμαίνεται περίπου από 0,01 έως 100 μm. Συγκεκριμένα τα βιοαεροζόλ μπορούν να επιφέρουν επιπτώσεις στην υγεία μέσω της μετάδοσης ασθενειών, αλλεργιών, ή και τοξικολογικών αντιδράσεων. Η εισπνοή βιοαεροζόλ από τον άνθρωπο μπορεί να προκαλέσει ασθένειες, όπως πνευμονία, άσθμα, ρινίτιδες, αλλεργίες και λοιμώδη νοσήματα του αναπνευστικού συστήματος. Παρόλα αυτά δεν αποτελούν κίνδυνο για την υγεία, εάν η ποσότητα τους δεν υπερβεί κάποια ανώτατα επιτρεπτά όρια. Παρόλο που η Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.) δεν έχει θεσπίσει κάποια ανώτατα επιτρεπτά όρια έκθεσης στην ατμόσφαιρα για βιοαεροσόλ διάφοροι δημόσιοι φορείς παγκόσμια ορίζουν κάποια επιθυμητά όρια που φαίνονται στον πίνακα 1.1 [1].

Τα βιοαεροζόλ υπάρχουν, αναπτύσσονται και πολλαπλασιάζονται τόσο στους εσωτερικούς όσο και στους εξωτερικούς χώρους. Στους εσωτερικούς χώρους η εισαγωγή τους γίνεται μεταξύ άλλων διαμέσου των συστημάτων ψύξης, θέρμανσης και εξαερισμού καθώς επίσης και από τα παράθυρα, τις πόρτες, τις ρωγμές στους τοίχους και από ένα πλήθος φυσικών και ανθρωπογενών δραστηριοτήτων. Επίσης μπορούν να αναπτυχθούν και να

πολλαπλασιαστούν σε εσωτερικούς χώρους προερχόμενα από πηγές όπως χαλιά, υφάσματα, υλικά επιπλώσεων, σκόνη, κατοικίδια, φυτά εσωτερικών χώρων κτλ. Τέλος μια από τις πηγές βιοαεροζόλ αποτελεί και ο ίδιος ο άνθρωπος εκτελώντας καθημερινές δραστηριότητες (ομιλία, βήχας). Η θερμοκρασία, η υγρασία, τα θρεπτικά υποστρώματα (π.χ. ξύλο, χαρτί, μπογιά), το οξυγόνο και το φως καθορίζουν την ανάπτυξη των βιοαεροζόλ.

Η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων είναι σημαντική για την αποφυγή της υποβάθμισης του περιβάλλοντος και την προστασία της δημόσιας υγείας. Ο ορθός σχεδιασμός εγκαταστάσεων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων προϋποθέτει την γνώση των πραγματικών ποιοτικών και ποσοτικών παραμέτρων των υγρών αποβλήτων, τον βέλτιστο καθαρισμό και την ορθή επιλογή του συστήματος επεξεργασίας. Οι ρυπαντικές ουσίες και οι μολυσματικοί παράγοντες που περιέχονται στα ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα ρυπαίνουν το φυσικό περιβάλλον. Ο στόχος κατά την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων είναι η απομάκρυνση των τοξικών ουσιών και των παθογόνων μικροοργανισμών.

Κατά τη διάρκεια της παρούσας πτυχιακής εργασίας πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων του Δήμου Χανίων (ΔΕΥΑΧ) και μετρήθηκε το μικροβιακό φορτίο στην ατμόσφαιρα για ένα χρονικό διάστημα 7 μηνών. Οι δειγματοληψίες έγιναν σε 10 διαφορετικούς χώρους στην ΔΕΥΑΧ για διάφορα είδη μικροοργανισμών (βακτήρια, μύκητες, κολοβακτήρια). Η επιλογή του χώρου έγινε με βάση την υψηλή επικινδυνότητα των παθογόνων μικροοργανισμών που περιέχονται στα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα και στην λυματολάσπη. Στο χώρο αυτό εργάζονται αρκέτα άτομα που έρχονται σε έμμεση επαφή μέσω της εισπνοής με τα υγρά απόβλητα. Εκτός από την ποσοτική αξιολόγηση των ζώντων και μη αερομεταφερόμενων παθογόνων βακτηρίων και μυκήτων (CFU/m^3), εφαρμόστηκε ένα μοντέλο εκτίμησης της συγκέντρωσης των αερομεταφερόμενων μικροοργανισμών λαμβάνοντας υπόψιν την υγρασία, θερμοκρασία, ταχυτητα ανέμου και ημερήσια παροχή αποβλήτων.

Πίνακας 1.1 Μικροβιακά επίπεδα σε εξωτερικούς και εσωτερικούς χώρους [1].

Μικρόβια	Κατώτατα όρια CFU/m^3	Μέσος όρος εύρους		Ανώτατα όρια	Αναφορές
		Κατώτερο	Ανώτερο		
Σπόρια μυκήτων εσωτερικών χώρων	50	10	500	150	ACGIH,CG
(καλοκαιρι)	-	-	-	500	CG
Σπόρια μυκήτων εξωτερικών χώρων	100	100	1000	-	CHBS
Σπόρια ακτινομυκήτων	0	0	150	240	
Σπόρια ακτινομυκήτων εξωτερικών χώρων	0	4	-	-	
Βακτήρια μη παθογόνα	50	0	500	50	ACGIH
Βακτήρια εξωτερικών χώρων	-	179	1083	-	
Παθογόνα βακτήρια	0	-	-	0	AIHA
Ιοί	0	-	-	0	AIHA
ACGIH: American Conference of Government Industrial Hygienists					
AIHA: American Industrial Hygiene Association					
CHBS: California Healthy Buildings Study					
CG: Canadian Guidelines					

Κεφάλαιο 2

2.1 Η εξέλιξη των προκαρυωτικών και παθογόνων μικροοργανισμών

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η κατανόηση της φυλογενετικής σχέσης των παθογόνων μικροοργανισμών μεταξύ τους, καθώς επίσης και με τα σπονδυλωτά σε συσχετισμό με το χρονικό διάστημα μέσα στο οποίο εμφανίζονται όλες οι διαφοροποιήσεις.

Η εξέλιξη των ευκαρυωτικών οργανισμών έχει κατανοηθεί πλήρως λόγω αφενός των μορφολογικών ομοιοτήτων μεταξύ των ειδών και αφετέρου των διαφορών μεταξύ των διαφόρων γενών. Αντίθετα η κατανόηση του τρόπου της βακτηριακής εξέλιξης παρουσιάζει μεγαλύτερη δυσκολία δεδομένου ότι διαφορετικοί φαινότυποι θεωρούνται ότι προέρχονται από διαφορετικές πρωτογενείς μορφές ζωής. Η άγνοια της προέλευσής τους και η σπανιότητα των μικροπαλαιοντολογικών στοιχείων περιπλέκει περαιτέρω το γεγονός. Εντούτοις, ορισμένα γενεαλογικά δέντρα μπορούν να προκύψουν βασιζόμενα εν μέρει στη μορφολογία και συνήθως στις συγκρίσεις του ριβοσωματικού και αγγελιοφόρου RNA.

Οι προκαρυωτικοί μικροοργανισμοί είναι μονοκύτταροι οργανισμοί και ξεχωρίζουν από τους ευκαρυωτικούς μονοκύτταρους ή πολυκύτταρους οργανισμούς. Οι προκαρυωτικοί μικροοργανισμοί μπορούν να διαιρεθούν σε δύο κατηγορίες, στα ευβακτήρια και αρχαιοβακτήρια, οι οποίες εξελίχθηκαν από τους διαφορετικούς προγόνους που ονομάζονται προγεννήτορες και υπήρχαν 3,5 δισεκατομμύρια έτη πριν [2]. Μετά την δημιουργία μιας πλούσιας ατμόσφαιρας οξυγόνου από τους αρχέγονους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς εμφανίστηκαν τα ευκαρυωτικά κύτταρα περίπου πριν 1,5 δισεκατομμύρια έτη. Δεν είναι απολύτως σίγουρο ότι οι ιοί υπήρξαν εκείνη την εποχή, τα βακτήρια όμως υπήρχαν και αυτή η περίοδος αντιπροσωπεύει τις αρχές και των συμβιωτικών και παρασιτικών σχέσεων μεταξύ προκαρυωτικών και ευκαρυωτικών (ενδοσυμβιοτική θεωρία). Οι παθογόνοι μικροοργανισμοί παρουσιάζονται κατά την εξελικτική πορεία των ανώτερων μορφών ζωής [2].

Τα πρώτα σπονδυλωτά εμφανίστηκαν πριν 600 εκατομμύρια έτη [2], τα πρώτα θηλαστικά πριν 200 εκατομμύρια έτη ενώ τα δίποδα εμφανίστηκαν πριν 7,5 εκατομμύρια έτη. Δεδομένου ότι η προστασία στις σπηλιές ή άλλους προστατευτικούς από τις καιρικές συνθήκες φυσικούς σχηματισμούς ήταν ήδη μια φυσική τάση των ζώων και του ανθρώπου, είναι πιθανή η ύπαρξη και μεταφορά των αερομεταφερόμενων παθογόνων μικροοργανισμών σε αυτούς τους εσωτερικούς χώρους από την προϊστορική εποχή [2].

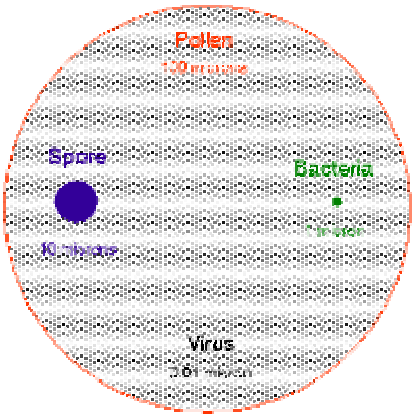
2.2 Προέλευση και εξέλιξη των αερομεταφερόμενων μικροοργανισμών

Αν και η πραγματική προέλευση των περισσότερων παθογόνων μικροοργανισμών (ειδικά των ιών) είναι άγνωστη, ορισμένα συμπεράσματα μπορούν να διεξαχθούν λόγω των διάφορων γενετικών και μορφολογικών ομοιοτήτων μεταξύ των διαφόρων ειδών. Η ευλογιά, για παράδειγμα, θεωρείται μορφή μεταλλάξεων της δαμαλίασης των βοοειδών [2]. Η

διφθερίτιδα, που προκαλείται από το βακτήριο *Corynebacterium diphtheria*, μεταδόθηκε επίσης από τα βοοειδή, που εξημερώθηκαν περίπου το 7000 π.Χ, αλλά είναι σχετικά νέα, όντας ασθένεια των τελευταίων 2000 ετών. Τα βοοειδή πάσχουν επίσης από μια μορφή φυματίωσης που προκαλείται από το βακτήριο *Mycobacterium tuberculosis*. Στοιχεία της φυματίωσης μπορούν να βρεθούν στους ανθρώπινους νεολιθικούς σκελετούς από το 5000 π.Χ. Τα άλογα είναι το μόνο άλλο ζώο που φιλοξενεί ιούς της ρινικής κοιλότητας και αν και δεν είχε εξημερωθεί μέχρι περίπου το 4000 π.Χ, και δεν μπορεί να είχε χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή τροφής μέχρι τότε, είχε κυνηγηθεί για να εξημερωθεί αιώνες πιο πριν και γι' αυτό θεωρείται ότι μπορεί να μετάδωσε στον άνθρωπο αυτούς τους ιούς [2].

2.3 Τι είναι βιοαεροζόλ

Τα βιοαεροζόλ ορίζονται από τον αμερικάνικο φορέα υγιεινής American Conference of Government Industrial Hygienists (ACGIH) ως αερομεταφερόμενα σωματίδια, μεγάλα μόρια ή πτητικές ενώσεις που ζουν, περιέχουν ζώντες οργανισμούς ή απελευθερώθηκαν από ζώντες οργανισμούς. Το μέγεθος ενός σωματιδίου βιοαεροζόλ μπορεί να ποικίλει από 0,01 μm έως 100 μm. Η συμπεριφορά των βιοαεροζόλ εξαρτάται από τις αρχές της βαρύτητας, του ηλεκτρομαγνητισμού, της τύρβης και της διάχυσης [3].



Σχήμα 2.1 Σύγκριση του σχετικού μεγέθους της γύρης, των σπορίων της γύρης, των βακτηρίων και των ιών [3].

Στο σχήμα 2.1 φαίνεται συγκριτικά το σχετικό μέγεθος της γύρης, των σπορίων της γύρης, των βακτηρίων και των ιών. Η κλίμακα αυτού του διαγράμματος είναι κατά προσέγγιση 8.000:1. Κάθε ένα από τα σημεία (τελείες) σε αυτό το διάγραμμα αντιπροσωπεύει 15 ιούς, ή μολυσματικά σωματίδια ιών. Σε αυτό το διάγραμμα, περίπου 100.000 αυτών των μολυσματικών σωματιδίων των ιών μπορούν να χωρέσουν μέσα στον κύκλο των 10 μm που αντιπροσωπεύει ένα σπόρο γύρης. Ενώ πολλά εκατομμύρια αυτών των σωματιδίων σωματιδίων ιών θα μπορούσαν να χωρέσουν μέσα στη διατομή μιας γύρης 100 μm [3].

2.4 Δυναμική των βιοαεροζόλ

2.4.1 Η κίνηση BROWN

Τα μόρια των βιοαεροζόλ που είναι μικρότερα από 1μm υπόκεινται στην κίνηση BROWN σύμφωνα με την εξίσωση του Einstein:

$$X = 5 \cdot 10^{-6} \sqrt{t/r}$$

όπου X = η τετραγωνική ρίζα της μέσης τιμής της μετατόπισης του σωματιδίου,cm
t = χρόνος, s
r = ακτίνα σωματιδίου, cm

2.4.2 Βαρύτητα

Για σωματίδια μεγαλύτερα από 1 μm, η διάχυση επηρεάζεται σημαντικά από τη βαρύτητα εναπόθεση. Για τα σφαιρικά σωματίδια η τελική ταχύτητα (στον στρωτό αέρα) που οφείλεται στη βαρύτητα είναι:

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

όπου ρ = πυκνότητα σωματιδίων, συνήθως1,1 g/cm3
d = διάμετρος σωματιδίων, cm.
Για τα σωματίδια μικρότερα από 0,5 μm η τελική ταχύτητα είναι περίπου μηδέν.
Η φυσική αποσύνθεση (μη βιολογική αποσύνθεση) οφείλεται στην εναπόθεση λόγω βαρύτητας και προσεγγίζεται με τη 1ης τάξης διαδικασία αποσύνθεσης

$$N_t = N_0 e^{-kt}$$

όπου N_o = αριθμός σωματιδίων στο χρόνο t=0
N_t = αριθμός σωματιδίων στο χρόνο t
k = 1ης τάξης σταθερά ρυθμού αποσύνθεσης
Από την προηγούμενη εξίσωση έχουμε

$$\ln\left(N_t / N_0\right) = -kt$$

2.4.3 Ηλεκτρικές δυνάμεις

Παρόλο που τα βιοαεροζόλ θα έπρεπε να έχουν ουδέτερο φορτίο, τα σωματίδια των βιοαεροζόλ είναι σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό φορτισμένα σύμφωνα με την εξίσωση κατανομής του Boltzman.

2.4.4 Θερμοβαθμίδα & Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

Οι θερμοβαθμίδες (π.χ. η μείωση της θερμοκρασίας με το ύψος στην τροπόσφαιρα) μπορεί να προκαλέσει τις μετακινήσεις αεροσόλ. Τα σωματίδια των αεροσόλ αλληλεπιδρούν με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία κυρίως μέσω της αντανάκλασης, της διάθλασης, της απορρόφησης και της διασποράς. Και στις δύο περιπτώσεις (θερμοβαθμίδα και ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία) τα διαφανή σωματίδια κινούνται προς τις πηγές θερμότητας

επειδή ενεργούν ως φακός και με αυτόν τον τρόπο συγκεντρώνουν την ενέργεια στην κυρτή τους πλευρά. Τα αδιαφανή σωματίδια κινούνται στην αντίθετη κατεύθυνση. Αυτό το φαινόμενο είναι γνωστό ως θερμοφόρηση (για τις θερμοβαθμίδες) και φωτοφόρηση (για την ακτινοβολία).

2.4.5 Τυρβώδης διάχυση

Στη στρωτή ροή τα σωματίδια μεταφέρονται κατά μήκος του ρεύματος αέρος μαζί με τα μόρια αέρα. Σε μια εναλλαγή στην κατεύθυνση του αέρα τα βαρύτερα σωματίδια βιοαεροζόλ δεν θα ακολουθήσουν τις γραμμές ροής. Κατά συνέπεια, τα σωματίδια μπορούν να αποτεθούν στις κυρτές ή γωνιακές επιφάνειες. Εξετάζοντας τη ροή σε έναν κυρτό σωλήνα, η γραμμική ταχύτητα αέρα δίνεται από τη σχέση:

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

όπου Q = ροή, cm^3/s
D = διάμετρος του σωλήνα, cm.
Για τη ροή του αέρα, ο αριθμός Reynolds δίνεται από τη σχέση:

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho V D}{\mu}$$

όπου D = διάμετρος σωλήνα,cm
το ρ = πυκνότητα αέρα, g/cm^3
μ = ιξώδες αέρα, $g/cm\ ^{s-1}$

Παρόλο που η ροή μπορεί να είναι στρωτή, ο αριθμός Reynolds για το σωματίδιο, στο οποίο εξασκώνται υψηλότερες δυνάμεις αδράνειας, είναι

$$\mathrm{Re}_p = \frac{\rho V_p r}{\mu}$$

όπου r = ακτίνα σωματιδίου, cm
Vp = ταχύτητα σωματιδίου, cm/s
Η ταχύτητα σωματιδίου δίνεται από το νόμο του Stokes. Για τα σφαιρικά σωματίδια αυτός είναι

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

όπου ρ = πυκνότητα μορίων, gm/cm^3
d = διάμετρος σωματιδίων, cm
R = ακτίνα της κλίσης σωλήνα, cm

Για την στρωτή ροή στην οποία το σωματίδιο δέχεται τύρβη, το πιθανότερο είναι να συμβεί η απόθεση. Για την τυρβώδη ροή, η απόθεση είναι λιγότερο πιθανή. Αυτός ο παράγοντας είναι σημαντικός για το σχεδιασμό συσκευών δειγματοληψίας που λειτουργούν με αδράνεια, όπως περιγράφεται παρακάτω [3].

2.5 Δειγματοληψία αδράνειας (Πρόσκρουση αδράνειας)

Ο ιδανικός δειγματολήπτης αποτελείται από ένα στρωτό ρεύμα αέρος το οποίο αλλάζει διεύθυνση πριν την επιφάνεια συλλογής. Η απόσταση που διανύεται από ένα σωματίδιο είναι:

$$D = V_p t$$

όπου t= L/V
Vp = ταχύτητα σωματιδίων, cm/s
t = χρόνος ταξιδιού, s
L = μήκος της κυρτής τροχιάς, cm
V = ταχύτητα αέρα, cm/s
Αντικαθιστώντας έχουμε:

$$V_p = \frac{DV}{L}$$

συνδυάζοντας με το νόμο Stoke's από παραπάνω έχουμε:

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

και

$$D_m = \frac{d^2 VL}{18\mu R}$$

το οποίο καλείται Sinclair Stopping Distance. Αυτό καθορίζει την πιθανότητα ενός δεδομένου μεγέθους σωματιδίου να προσκρούει στην επιφάνεια συλλογής κάτω από μια δεδομένη ροή αέρος. Η αποδοτικότητα συλλογής επηρεάζεται από την προσκόλληση της επιφάνειας, την αναπήδηση των σωματιδίων, και το σχήμα των σωματιδίων [3].

2.6 Σχήμα σωματιδίων

Τα σωματίδια των βιοαεροζόλ έχουν ποικίλα σχήματα, όπως π.χ. σφαιρικό, δωδεκάεδρο, σχήμα βελόνας και νιφάδας κ.α. Πολλοί ιοί είναι πολυμορφικοί και αλλάζουν το σχήμα τους. Οι περισσότερες δειγματοληπτικές μέθοδοι στηρίζονται στον καθορισμό της αεροδυναμικής διαμέτρου, που είναι η διάμετρος ενός σφαιρικού σταγονιδίου νερού, το οποίο αποτίθεται με τον ίδιο ρυθμό όπως το σωματίδιο, το οποίο προσδιορίζεται:

$$D_{ae} = D_p \left(\frac{\rho_p}{\rho_w} \right)^{0.5}$$

όπου ρ = πυκνότητα του νερού, mg/cm^3
Η αεροδυναμική διάμετρος είναι μόνο μια από τις διαφορετικές ισοδύναμες διαμέτρους, η χρήση των οποίων υπαγορεύεται από τη δειγματοληπτική μέθοδο. Άλλες ισοδύναμες διάμετροι μπορεί να είναι, η ισοδύναμη διάμετρος όγκου, η ισοδύναμη διάμετρος επιφάνειας ή η ισοδύναμη ηλεκτρική διάμετρος.

Το σχήμα των σωματιδίων είναι μια θεμελιώδης ιδιότητα και είναι σημαντική στην αξιολόγηση των κινδύνων υγείας και την ερμηνεία των αποτελεσμάτων από μερικές δειγματοληπτικές μεθόδους. Η μορφή της διασποράς συχνοτήτων μπορεί να αναπτυχθεί χρησιμοποιώντας την ανάλυση Fourier κυματοειδούς μορφής, τους οποίους οι πρώτες πέντε αρμονικές αντιπροσωπεύουν τη βασική μορφή, και οι υψηλότερες αρμονικές περιγράφουν τη σύσταση της επιφάνειας.

Η σύσταση επιφάνειας χαρακτηρίζεται από τη μαθηματική κλασματική διάσταση (fractal), η οποία ορίζεται ως 1,0 συν την απόλυτη αξία της κλίσης από το προφίλ της υποτιθέμενης περιμέτρου, βασισμένη σε μια διευκρινισμένη αύξηση. Οι χαρακτηριστικές μαθηματικές κλασματικές διαστάσεις (fractal δυσδιάστατα προφίλ) είναι οι ακόλουθες (Πίνακας 2.1) [3].

Πίνακας 2.1 Κλασματικές διαστάσεις για δυσδιάστατα προφίλ [3].

Κλασματικές Διαστάσεις Fractal	**Τύπος Επιφάνειας**
1	επίπεδες επιφάνειες
1,15	ήπια/ μαλακή περιέλιξη
1,3	άκαμπτη περιέλιξη

2.7 Μέγεθος κυττάρων ή σωματιδίων

Το μέγεθος των κυττάρων ή των σωματιδίων είναι ένας σημαντικός παράγοντας στον καθορισμό των κινδύνων που συνδέονται με τη μικροβιακή μόλυνση. Γενικά, όσο μικρότερο είναι το μόριο, τόσο μεγαλύτερος ο κίνδυνος. Αυτή η σχέση οφείλεται στο γεγονός ότι τα μικρότερα κύτταρα και τα σπόρια παγιδεύονται μέσα στον ιστό των πνευμόνων και δεν αποβάλλονται εύκολα. Τμήματα των κυττάρων μπορούν να εμπεριέχουν μεγαλύτερους κινδύνους υγείας λόγω του ότι είναι πολύ μικρότερα από το μητρικό κύτταρο ή το σπόριο. Στο παρακάτω σχήμα 2.2 διακρίνονται το μέγεθος των κυττάρων των μικροοργανισμών σε μm καθώς και η διείσδυση τους στο αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου.

1: Νασοφάρυγγας ή Κεφάλι

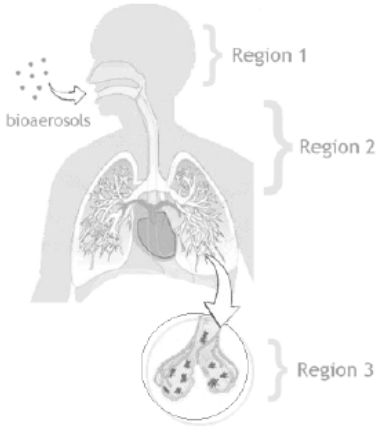
Απόθεση σωματιδίων <10 μm

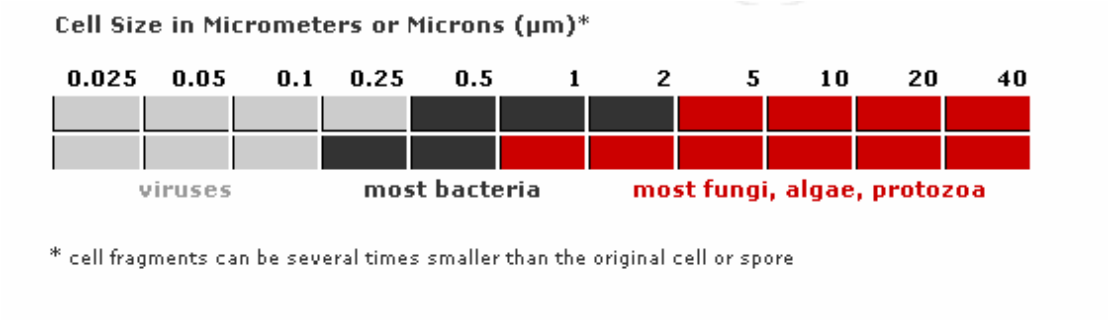
2: Λάρυγγας, Τραχεία, Βρόγχοι

Απόθεση σωματιδίων < 7,5 μm

3: Βρογχιόλια και Κυψελίδες

Απόθεση σωματιδίων <1 - 4 μm





Σχήμα 2.2 Μέγεθος των κυττάρων των μικροοργανισμών σε μm καθώς και η διείσδυση τους στο αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου

2.8 Πηγές βιοαεροζόλ

Τα βιοαεροζόλ μπορεί να προέλθουν από οποιαδήποτε φυσική ή ανθρωπογενή δραστηριότητα και κάθε πηγή μπορεί να προκαλέσει μια μοναδική συνάθροιση των βιοαεροζόλ. Στον παρακάτω πίνακα 2.2 παρατηρούνται τα παραδείγματα των συγκεντρώσεων βιοαεροζόλ από διαφορετικά περιβάλλοντα. Αυτές οι συγκεντρώσεις δεν είναι απαραιτήτως αντιπροσωπευτικές του κανονικού ή ακραίου επιπέδου.

Πίνακας 2.2 Παραδείγματα συγκεντρώσεων βιοαεροζόλ σε διαφορετικά περιβάλλοντα

Κατηγορία	**Είδος δραστηριότητας**	**Βακτήρια (CFU/m^3)**	**Μύκητες (CFU/m^3)**
Γεωργία	Ζωικές δραστηριότητες	10^3 - 10^5	10^2 - 10^8
	κομποστοποίηση	10^3 - 10^6	10^2 - 10^7
	Συγκομιδή,αποθήκευση	10^2 - 10^3	10^3 - 10^9
Συστήματα αέρα	Συστήματα κλιματισμού	10 - 10^3 10 - 10^4	10^2 - 10^7 10 - 10^3
Εσωτερικές επιφάνειες	Ταβάνια & τοίχοι	10 - 10^3	10 - 10^4
	Χαλιά	10^3- 10^6	10^2 - 10^5
	Εσωτερικά φυτά	10 - 10^4	10^2 - 10^5
	Δωμάτια εργασίας	10 - 10^2	10 - 10^2
Βιομηχανία	Κατασκευή επίπλων	10 - 10^3	10^4 - 10^8
	Παρασκευή τροφίμων	10 - 10^3	10^2 - 10^4
	Βιομηχανική επεξεργασία	10^2 - 10^6	10^2 - 10^6
Επεξεργασία λυμάτων	Αερισμός	10^2 - 10^3	10 - 10^2
	Ενεργός λάσπη	10^2 - 10^6	10 - 10^3

2.9 Προσδιορισμός βιοαεροζόλ

Ο στόχος του ελέγχου της ποιότητας του αέρα είναι να παρέχει ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα των μικροοργανισμών και των σωματιδίων που υπάρχουν μέσα στον αέρα που εμείς αναπνέουμε. Αν και αυτός ο στόχος μπορεί να φαίνεται απλός, αντιμετωπίζονται έντονα προβλήματα κατά τη διαδικασία. Οι μέθοδοι δειγματοληψίας πρέπει να μας παρέχουν πληροφορίες για διάφορους παράγοντες, όπως π.χ. για την αναλογία ζώντων και μη ζώντων οργανισμών, τις διαφορές στο μέγεθος και τη μορφή των κυττάρων, τις χρονικές διαφορές και χωρικές διαφορές, τους επιλεχθέντες όγκους αέρα, τη θέση των δειγμάτων αναφοράς ή/και τη διήθηση από τον υπαίθριο αέρα όσον αφορά την δειγματοληψία εσωτερικών χώρων. Δυστυχώς, ούτε μια μέθοδος δειγματοληψίας αέρα δε δίνει πληροφορίες για όλα τα ανωτέρω ζητήματα χωρίς μερικές παραδοχές. Για να ελαχιστοποιήσουμε αυτές τις παραδοχές, μια δειγματοληπτική μέθοδος αέρα πρέπει να σχεδιαστεί προσεκτικά. Τέτοιες μελέτες είναι εξαιρετικά ακριβές και συχνά το κόστος τους είναι απαγορευτικό. Από την άλλη πλευρά κι αν επιτευχθεί ένα επαρκές σχέδιο, τα αποτελέσματα αντιπροσωπεύουν μόνο ένα στιγμιότυπο από μια σημειακή δειγματοληψία.

Η παρακολούθηση (monitoring) των αερομεταφερόμενων βιοαεροζόλ σε ένα ρεύμα αέρος είναι σχεδόν αδύνατη, αν και ορισμένες νέες τεχνολογίες είναι πολλά υποσχόμενες (μέθοδος Lidar, Βιοαισθητήρες). Εάν κάποιος δεν ενδιαφέρεται για τη διάκριση μεταξύ των βιοαεροζόλ και άλλων αιωρούμενων σωματιδίων, τότε οι υπάρχουσες τεχνολογίες για τη δειγματοληψία, τον προσδιορισμό και την παρακολούθηση τους μπορούν να παρέχουν μία πληθώρα δεδομένων.

Οι μέθοδοι δειγματοληψίας των αιωρούμενων σωματιδίων χωρίζονται σε κατηγορίες και βασίζονται 1)στη διήθηση σε φίλτρα, 2) στη συλλογή με αδράνεια, 3) στη συλλογή με διάχυση και 4) στη συλλογή με βαρύτητα. Οι περισσότερες μέθοδοι απαιτούν την ισοκινητική δειγματοληψία. Αυτή επιτυγχάνεται συνήθως με κατάλληλους σωλήνες και αντλίες αναρρόφησης. Τα σημεία δειγματοληψίας πρέπει επίσης να επιλέγονται σε ικανοποιητική απόσταση μακριά από τις διαταραχές αέρα [3].

Οι μέθοδοι ανίχνευσης και παρακολούθησης των αιωρούμενων σωματιδίων βασίζονται στην οπτική και ηλεκτρονική κινητικότητα τους.

Στις παραγράφους 2.8.1 έως και 2.8.4.2 αναφέρονται μέθοδοι και τεχνολογίες δειγματοληψίας ανίχνευσης και παρακολούθησης γενικά αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα χωρίς να γίνεται διάκριση στα βιοαεροζόλ. Στις παραγράφους 2.8.4.3 και 2.8.4.4 αναφέρονται πολλά υποσχόμενες τεχνικές παρακολούθησης βιοαεροζόλ στην ατμόσφαιρα, οι οποίες βρίσκονται όμως στο στάδιο της εξέλιξης [3].

Οι μέχρι σήμερα γνωστές μέθοδοι ανάλυσης βιοαεροζόλ βασίζονται κυρίως στη καλλιέργεια μικροβίων σε θρεπτικά υποστρώματα.

2.9.1 Διήθηση και Μικροσκόπηση

Η συλλογή των δειγμάτων με διήθηση είναι η απλούστερη μέθοδος και όσο αφορά την ανίχνευση μικροοργανισμών απαιτεί τη μικροσκοπική ανάλυση που κατά κανόνα είναι κουραστική. Φίλτρα με διαφορετική διάμετρο πόρων χρησιμοποιούνται σταδιακά για να συλλέξουν τα διαφορετικά μεγέθη σωματιδίων [3].

2.9.2 Βαρυτικοί συλλέκτες και δειγματολήπτες αδράνειας

2.9.2.1 Βαρυτικοί συλλέκτες

Στους βαρυτικούς συλλέκτες η στρωτή ροή του αέρα εισάγεται σε ένα κλειστό δοχείο συλλογής όπου τα σωματίδια διαχωρίζονται κάτω από την επιρροή της βαρύτητας σύμφωνα με το νόμο του Stokes. Με αυτήν την μέθοδο συλλέγονται σωματίδια με μεγέθη 2 έως 10 μm. Η τελική ταχύτητα δίνεται από τη σχέση:

$$V_t = D_v^2\left(\rho_p - \rho_0\right)\frac{X}{18\mu}$$

όπου ρ_p = πυκνότητα σωματιδίων, gm/cm3
ρ_o= πυκνότητα αερίου, mg/cm3
Dv = διάμετρος ισοδύναμου όγκου, cm
X = δυναμικός παράγοντας σχήματος

2.9.2.2 Προσκρουστήρες αδράνειας διαδοχικής συλλογής (cascade impactors)

Cascade Impactors είναι οι πιο κοινές δειγματοληπτικές συσκευές και λειτουργούν με την κατεύθυνση της στρωτής ροής αέρος εντός και εκτός μιας σειράς από επιφάνειες συλλογής. Η ταχύτητα του αέρα αυξάνεται σε κάθε επίπεδο, έτσι ώστε τα μεγάλα σωματίδια αποτίθενται στο πρώτο στάδιο και διαδοχικά τα μικρότερα σωματίδια συλλέγονται στις υπόλοιπες επιφάνειες. Το τελικό στάδιο περιέχει συνήθως ένα φίλτρο με διάμετρο πόρων μικρότερη από 1 μm [3].

2.9.2.3 Εικονικοί προσκρουστήρες αδράνειας (virtual impactors)

Η αναπήδηση, η επαναιώρηση και η υπερφόρτωση σωματιδίων στις επιφάνειες συλλογής μπορούν να μειώσουν την αποδοτικότητα των προαναφερθέντων cascade impactors. Αυτό οδήγησε στην ανάπτυξη των virtual impactors, στους οποίους η επιφάνεια συλλογής αντικαθίσταται με έναν μεγάλο στάσιμο όγκο αέρα, όπου γίνεται η πρόσκρουση των σωματιδίων. Με τον cascade και τον virtual impactor συλλέγονται σωματίδια με μεγέθη από 0,08 έως 35 μm [3].

2.9.2.4 Κυκλώνες διαδοχικής συλλογής (cascade cyclones)

Οι κυκλώνες αερίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν αντί των προσκρουστήρων για μεγέθη σωματιδίων από 0,5 έως 20 μm. Οι κυκλώνες χρησιμοποιούν τη φυγοκεντρική δύναμη για να απομονώσουν και να συλλέξουν τα σωματίδια σε μία σειρά των διαδοχικών σταδίων [3].

2.9.2.4 Αναλυτικές συσκευές προσδιορισμού σωματιδίων σε πραγματικό χρόνο

Οι αναλυτικές συσκευές προσδιορισμού σωματιδίων σε πραγματικό χρόνο χρησιμοποιούν διπλές δέσμες ακτινών λέιζερ για να μετρήσουν την ταχύτητα των σωματιδίων μετά από την υποηχητική επιτάχυνση. Οι καταγραμμένοι χρόνοι διέλευσης μπορούν να συσχετιστούν άμεσα με την αεροδυναμική διάμετρο μέσω της εξίσωσης της κίνησης των σωματιδίων με τη σχέση:

$$\frac{dU_p}{dt} = \left(\frac{3\mu U_p}{D_{ae}^{\ 2}}\right)\left[6 + \left(\frac{\rho_g U_p D_{ae}}{\mu}\right)^{\frac{2}{3}}\left(\frac{X}{\rho_p}\right)^{\frac{1}{3}}\right]$$

όπου dUp/dt είναι η επιτάχυνση των σωματιδίων.

Με αυτή τη συσκευή προσδιορίζονται σωματίδια με μέγεθος από 0,5 έως 10 μm. Τα αποτελέσματα έξω από αυτήν την κλίμακα μπορούν να αλλοιωθούν από επανασκέδαση τύπου albedo, απώλειες λόγω αδράνειας στην είσοδο της συσκευής και αλληλοεπικάλυψη σωματιδίων [3].

2.9.2.5 Φυγοκεντρικοί Φασματογράφοι

Οι φασματογράφοι προσδιορισμού σωματιδίων μπορούν να διαιρεθούν σε δύο κατηγορίες, σε φυγοκεντικούς και σε σταθερής γεωμετρίας.

Οι φυγοκεντρικοί αξιοποιούν τον εξαναγκασμό του ατμοσφαιρικού αέρα να ακολουθήσει μια σπειροειδή διαδρομή μέχρι την επιφάνεια συλλογής. Η τελική ταχύτητα των σωματιδίων δίνεται από τη σχέση:

$$\frac{dx}{dt} = \left(\rho_p - \rho_g\right)\left(\frac{d_v^{\ 2}\omega^2 x}{18\mu}\right)$$

όπου X είναι η απόκλιση από τον άξονα περιστροφής στη θέση των σωματιδίων και dx/dt είναι η εξωτερική ταχύτητα του σωματιδίου. Με τους φυγοκεντρικούς φασματογράφους επιτυγχάνεται συλλογή σωματιδίων με μέγεθος από 0,08 έως 5 μm.

Αντίθετα οι φασματογράφοι σταθερής γεωμετρίας χρησιμοποιούν μια σταθερή κλίση (π.χ. με 90^o εκτροπή) για να πετύχουν την ίδια τελική επιφάνεια συλλογής. Σε αυτή την περίπτωση συλλέγονται σωματίδια μεγέθους από 0,5 έως 10 μm [3].

2.9.3 Οπτικοί μετρητές/ αναλυτικές συσκευές

Οι αναλυτικές συσκευές που εξαρτώνται από την αλληλεπίδραση μεταξύ των σωματιδίων και του φωτός συγκαταλέγονται σε μια από τις παρακάτω πέντε κατηγορίες.

2.9.3.1 Οπτικός μετρητής σωματιδίων

Ποικίλες οπτικές αναλυτικές συσκευές χρησιμοποιούνται, και οι περισσότερες εξαρτώνται από τη θεωρία της σκέδασης του φωτός, που βασίζεται στην ακόλουθη σχέση:

I : f (θ, φ, λ, m, d)

όπου:

ι είναι η ένταση του σκεδαζόμενου φωτός
θ είναι η γωνία σκέδασης
φ είναι η γωνία πόλωσης
λ είναι το μήκος κύματος του φωτός
m είναι μάζα σωματιδίων
d είναι διάμετρος σωματιδίων

Η αποδοτικότητα αυτών των αναλυτικών συσκευών επηρεάζεται από τα οριακά σφάλματα και τα τυχαία σφάλματα, ειδικά στις υψηλές συγκεντρώσεις, αν και αυτά μπορούν να βελτιωθούν με τους συντελεστές διόρθωσης. Μπορούν να προσδιοριστούν σωματίδια μεγέθους από 0,3 έως 20 μm [3].

2.9.3.2 Τα περιθλασίμετρα με ακτίνα Laser (Laser Diffractometer)

Τα Laser diffractometers προσδιορίζουν μόνο τη περίθλαση του σκεδαζόμενου φωτός (αγνοώντας την αντανάκλαση, την διάθλαση και την πόλωση). Η περίθλαση του σκεδαζόμενου φωτός δίνεται από την Fraunhofer σχέση:

$I : f (I_o, \theta, D_e, \lambda)$

2.9.3.3 Laser Phase-Doppler System

Το σύστημα Laser Phase-Doppler προσδιορίζει κινούμενους στόχους. Ανιχνεύει το σκεδαζόμενο φως όταν τα κινούμενα σωματίδια παρεμβάλλονται σε δύο παλμούς λέιζερ. Η ταχύτητα και το μέγεθος των σωματιδίων μπορεί να προσδιοριστεί με αυτή τη μέθοδο [3].

2.9.3.4 Σύστημα ανάλυσης έντασης ακτινοβολίας (Intensity Deconvolution System)

Αυτές οι συσκευές μετρούν την απόλυτη ένταση του φωτός που σκεδάζεται από μια εστιασμένη ακτίνα λέιζερ σε έναν οπτικά καθορισμένο όγκο. Δεδομένου ότι το μέγεθος των σωματιδίων μπορεί να ποικίλει η πιθανή ασάφεια πρέπει να επιλυθεί μέσω ενός αλγορίθμου αποσυνέλιξης κατά τρόπο ανάλογο με αυτό που λαμβάνονται οι εικόνες CAT-ανίχνευσης. Με αυτή την τεχνική μπορούν να ανιχνευτούν σωματίδια μεγέθους από 0,2 έως 200 μm και μέχρι μια συγκέντρωση 107 σωματιδίων/ cm3. Τέτοια συστήματα είναι πολύ ακριβά [3].

2.9.3.5 Συσκευή ανάλυσης εικόνας μέσω αλληλεπίδρασης λέιζερ-σωματιδίων (Laser-particle interaction/Image Analyzer)

Αυτή η συσκευή μπορεί να χαρακτηριστεί σαν ένα υβρίδιο από δύο ξεχωριστές συσκευές. Ο προσδιορισμός του μεγέθους των σωματιδίων βασίζεται στη παρεμπόδιση του φωτός και στο χρόνο μεταβίβασης καθώς επίσης και στον καθορισμό των παραγόντων του σχήματος από τη γρήγορη ανάλυση εικόνας. Το εύρος αυτού του οργάνου είναι από 0,5 έως 1200 μm, αλλά αυτό αντιπροσωπεύει 4 ξεχωριστές διαδικασίες μέτρησης [3].

2.9.4 Ηλεκτρικές τεχνικές κινητικότητας

2.9.4.1 Ηλεκτρικός αναλυτής σωματιδίων σωματιδίων (Electrical Aerosol Analyzer)

Ένας ηλεκτρικός αναλυτής σωματιδίων αποτελείται από έναν μονοπολικό φορτιστή διάχυσης, μια συσκευή ανάλυσης της κινητικότητας και έναν ανιχνευτή. Τα σωματίδια αποκτούν ένα ηλεκτροστατικό φορτίο και κατευθύνονται μέσω της αναλυτικής συσκευής σε ένα φίλτρο συλλογής στον ανιχνευτή, όπου το φορτίο διοχετεύεται στη γείωση. Μέσω της χρήσης του ρεύματος φάσης και των τεχνικών της ανάλυσης έντασης ακτινοβολίας, είναι δυνατό να διακριθούν σωματίδια μεγέθους από 0,013 έως 0,75 μm [3].

2.9.4.2 Διαφορικός αναλυτής κινητικότητας (Differential Mobility Analyzer: DMAs)

Ο DMAs λειτουργεί βασιζόμενος σε παρόμοια αρχή διαθέτοντας όμως ένα ηλεκτροστατικό ταξινομητή αντί για αναλυτή κινητικότητας. Επίσης έχει μερικές λειτουργικές διαφορές και προσδιορίζει σωματίδια μεγέθους από 0,01 έως 0,9 μm [3].

2.9.4.3 Σύστημα LIDAR

Η νεότερη τεχνολογία χρησιμοποιεί την μέθοδο LIDAR (Light Detection And Racing). Η μέθοδος LIDAR χρησιμοποιεί κύματα φωτός, με τον ίδιο τρόπο όπως στα ραντάρ χρησιμοποιούνται τα ραδιοκύματα. Η τεχνική εφαρμόζεται ως εξής: ένας παλμός λέιζερ κατάλληλα επιλεγμένου μήκους κύματος εκπέμπεται προς τον «στόχο» που θέλουμε να εξετάσουμε. Η ακτινοβολία αυτή αλληλεπιδρά με το στόχο (που περιέχει μόρια αερίων και σωματίδια) και το φως που επιστρέφει συλλέγεται και καταγράφεται από τον ανιχνευτή. Η τεχνική Lidar χρησιμοποιείται για τον άμεσο προσδιορισμό διαφόρων φαινομένων και μεγεθών στην ατμόσφαιρα. Ο αμερικανικός στρατός βρίσκεται αυτό τον καιρό στην διαδικασία ανάπτυξης ενός νέου συστήματος Lidar, ειδικά εξειδικευμένου για προσδιορισμό βιοαεροζόλ στον αέρα. Σε αυτό το σύστημα θα χρησιμοποιείται λέιζερ με μετατόπιση συχνότητας (a frequency-shifted (266 nanometer) diode-pumped Nd YAG laser), όπου το τελικό μήκος κύματος που θα δέχεται ο ανιχνευτής θα είναι στα 289 nm. Ο προσδιορισμός αυτός συνδυάζεται με την μέτρηση της συγκέντρωσης της τρυπτοφάνης, η οποία βρίσκεται σε όλα τα βιολογικά συστήματα και φθορίζει μεταξύ 300 και 400 nm [3].

2.9.4.4 Βιοαισθητήρες

Η τεχνολογία των βιοαισθητήρων βρίσκεται ακόμα στο στάδιο της εξέλιξης και είναι μία πολλά υποσχόμενη μέθοδος για το μέλλον όσον αφορά την ανίχνευση των βιοαεροζόλ. Οι βιοαισθητήρες περιλαμβάνουν έναν αναλυτή ή ένα ακινητοποιημένο σε φορέα αντιδραστήριο ενσωματωμένο σε ένα ηλεκτρονικό μεταγωγέα. Η χημική αντίδραση που λαμβάνει χώρα μεταξύ ενός βιοαεροζόλ και του αντιδραστηρίου προκαλεί ένα ηλεκτρικό σήμα στο μεταγωγέα. Αυτό το σήμα ενισχύεται στη συνέχεια και αναμεταδίδεται σε κάποια συσκευή ανίχνευσης. Θεωρητικά θα μπορούσε ένας μεγάλος αριθμός αυτών των μικροσκοπικών βιοαισθητήρων να διαμόρφωνε μια μέθοδο ικανή να προσδιορίζει οποιοδήποτε από τους γνωστούς ιούς ή τα βακτήρια. Οι

μικροβιακοί βιοαισθητήρες θα μπορούσαν να σχεδιαστούν με αναλυτές που θα έχουν μια εκλεκτικότητα για τα μικροβιολογικά συστατικά, όπως π.χ. βιταμίνη Β ή τρυπτοφάνη. Οι μηχανισμοί βάση των οποίων τα μικρόβια θα ανιχνεύονται θα μπορούσαν να περιλάβουν ηλεκτροχημικές μεθόδους (π.χ. αμπερομετρική, μέτρηση της αγωγιμότητας ή του δυναμικού) ή ηλεκτρομαγνητικές μεθόδους (οπτικός προσδιορισμός ή μάζας) [3].

2.9.5 Ερμηνεία των αποτελεσμάτων των Βιοαεροζόλ

Επειδή δεν υπάρχουν οριακές τιμές για τα περισσότερα βιοαεροζόλ (πίνακας 1.1), η πιο κοινή πρακτική βασίζεται στη σύγκριση συγκεντρώσεων κυττάρων σε εσωτερικούς χώρους με τις συγκεντρώσεις που μετριούνται υπαίθρια κάτω από τις ίδιες συνθήκες δειγματοληψίας. Αυτή η ανεπίσημη συγκριτική μέθοδος θεωρεί, ότι οι συγκεντρώσεις δεν πρέπει να είναι σημαντικά μεγαλύτερες από τις συγκεντρώσεις στο ύπαιθρο. Όταν οι συγκεντρώσεις σε εσωτερικούς χώρους είναι σημαντικά μεγαλύτερες, σημαίνει ότι υπάρχει μια εσωτερική πηγή εκπομπής. Με άλλα λόγια θα μπορούσε να υπάρχει μικροβιακή μόλυνση.

Τέτοιες βασικές προσεγγίσεις δεν ισχύουν για όλους τους μικροοργανισμούς. Τα σχετικά υψηλά επίπεδα ενός αερομεταφερόμενου μικροβίου μπορούν να αντιπροσωπεύουν πολύ χαμηλούς κινδύνους, ενώ τα εξαιρετικά χαμηλά επίπεδα πιο επικίνδυνων μολυσματικών παραγόντων μπορεί να προκαλέσουν την εκδήλωση ασθενειών. Επίσης υπάρχουν και άλλοι σημαντικοί παράγοντες που πρέπει να εξεταστούν, όπως π.χ. η θέση των δειγμάτων αέρα, η συχνότητα της ανίχνευσης, η συχνότητα της δειγματοληψίας, ο τύπος της συσκευής δειγματοληψίας και οι περιβαλλοντικές συνθήκες.

Κεφάλαιο 3

3.1 Επίδραση της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης στην υγεία του ανθρώπου

Η ρύπανση του αέρα έχει αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη ζωή, στην χλωρίδα και την πανίδα, ρυπαίνει το έδαφος και προκαλεί κλιματικές αλλαγές. Διάφορα επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης κατά το παρελθόν έχουν δείξει, ότι υψηλά επίπεδα ρύπων έχουν προκαλέσει τον πρόωρο θάνατο χιλιάδων ανθρώπων. Η επίδραση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης θεωρείται απειλητική και ο κίνδυνος άμεσος ή έμμεσος λόγω πιθανών χρόνιων επιπτώσεων. Επιδημιολογικές και κλινικές μελέτες έχουν συσχετίσει διάφορους αέριους ρύπους με πολλά προβλήματα υγείας, ξεκινώντας από ένα απλό κρυολόγημα έως διάφορους τύπους καρκίνου. Αυτές οι μελέτες συσχετίζουν την ατμοσφαιρική ρύπανση με αναπνευστικά κυρίως νοσήματα.

Η ανθρώπινη ευαισθησία στους αέριους ρύπους ποικίλει. Ο αριθμός των αέριων ρύπων και η διακύμανση των συγκεντρώσεων τους είναι πρακτικά άπειροι. Οι κλινικοί έλεγχοι δεν θα μπορούσαν να παρουσιάσουν ανθρώπινους δείκτες για όλα τα πιθανά μίγματα ρύπων και για διαφορετικές συγκεντρώσεις τους. Έτσι προσδιορίζονται οι πιθανές σχέσεις ανάμεσα στην χρόνια έκθεση στην αέρια ρύπανση και και τις επιδράσεις στην υγεία [4].

3.2 Ανάλυση και μέτρηση σωματιδιακών ρύπων

Οι σωματιδιακοί ρύποι του περιβάλλοντος αέρα χαρακτηρίζονται από τρία μεγέθη: την συγκέντρωση τους (μάζα ανά όγκο), την κατανομή του μεγέθους τους και την χημική τους σύνθεση. Η κατανομή του μεγέθους των σωματιδιακών ρύπων είναι πολύ σημαντική στην κατανόηση της μεταφοράς και της μετακίνησης τους στην ατμόσφαιρα και στην αλληλεπίδραση τους στο ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα. Η χημική σύνθεσή τους μπορεί να καθορίσει τον τύπο των βλαβών που θα προκαλέσουν στους οργανισμούς που τους εισπνέουν, στη βλάστηση και τα υλικά. Σωματιδιακή ύλη με αεροδυναμική διάμετρο <2.5μm Particulate Maffer ($PM_{2.5}$) είναι ιδιαίτερα επιβλαβής στην ανθρώπινη υγεία, επειδή ενσφηνώνεται στις μεμβράνες του πνεύμονα (σχήμα 2.2). Ο καθορισμός της κατανομής του μεγέθους των αιωρούμενων σωματιδίων μπορεί να βασιστεί στην αεροδυναμική διάμετρό τους, την ηλεκτρική κινητικότητα και την συμπεριφορά τους στην σκέδαση του φωτός όπως έχει αναφερθεί εκτενώς στο κεφάλαιο 2. Με τις μεθόδους της στοιχειακής ανάλυσης παρέχονται πληροφορίες για την χημική σύνθεση των σωματιδίων [4].

3.3 Επιπτώσεις των βιοαεροζόλ στην ανθρώπινη υγεία

Μπορούμε να διακρίνουμε τρεις βασικές ομάδες ασθενειών που συνδέονται με την έκθεση στα βιοαεροζόλ: 1)μολυσματικές ασθένειες, 2) αναπνευστικά προβλήματα και 3) καρκίνος. Οι μολυσματικές ασθένειες και τα αναπνευστικά προβλήματα είναι τα πιο συχνά εμφανιζόμενα. Εντούτοις, τα ακριβή στοιχεία σχετικά με τις επιπτώσεις στην υγεία των βιολογικών παραγόντων είναι ελλιπή. Εκτός από τις προαναφερθείσες βασικές ομάδες ασθενειών, έχουν περιγραφεί και άλλες δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία

όπως αλλεργικές και τοξικολογικές αντιδράσεις π.χ. δερματίτιδα σε εργαζομένους που έρχονται σε επαφή με latex [5, 6] ή πρόωρες γεννήσεις και αποβολές σε αγρότισσες που εκτίθενται σε μυκοτοξίνες με ανοσολογικά και ορμονικά προβλήματα [7]. Ωστόσο, μέχρι σήμερα αυτά τα αποτελέσματα δεν έχουν μελετηθεί πλήρως και επομένως είναι διαθέσιμες ελάχιστες μόνο πληροφορίες [8].

3.3.1 Μολυσματικές Ασθένειες

Οι μολυσματικές ασθένειες προέρχονται από παθογόνους ιούς, βακτήρια, μύκητες και πρωτόζωα και μεταφέρονται από μια μολυσματική πηγή στον αποδέκτη. Οι μολυσματικές ασθένειες που προκαλούνται στους επαγγελματικούς χώρους από αερομεταφερόμενους μικροοργανισμούς αναφέρονται παρακάτω. Αυτές μπορούν να οφείλονται σε:

1) συγκεκριμένους παθογόνους μικροοργανισμούς και μπορούν να εμφανιστούν, για παράδειγμα, στο προσωπικό νοσοκομείων και ιατρείων (γρίπη, Φυματίωση, κ.λ.π.), σε αγρότες και εργαζομένους σφαγείων και κτηνίατρους (πυρετός, γρίπη των πουλερικών, άνθρακας) και σε εργαζόμενους δασονομίας (tularaemia),

2) σε συγκέντρωση πολλών ανθρώπων στον εργασιακό χώρο όπως στην περίπτωση γραφείων, σε στρατιωτικούς ή εργαζόμενους αεροπορίας. [9, 10].

Επιπλέον, η ασθένεια των λεγεωνάριων και ο πυρετός είναι μεταδιδόμενες μολυσματικές ασθένειες που προκαλούνται από την έκθεση σε βιοαεροζόλ που περιέχουν λεγεωνέλλες (Legionellae, ιδιαίτερα pneumophila Legionella). Οι λεγεωνέλλες είναι αρνητικά βακτήρια που αναπτύσσονται στο νερό. Προκαλεί πνευμονία, ιδιαίτερα σε ηλικιωμένους και άτομα με ευαίσθητο ανοσοποιητικό σύστημα. Το βακτήριο της λεγεωνέλλας εισέρχεται στον αέρα μέσω διαδικασιών αερισμού (π.χ. αερισμός υγρών αποβλήτων). Η ύπαρξή του έχει αναφερθεί σε διάφορους εργασιακούς χώρους, κυρίως μέσω των πύργων ψύξης διαφόρων κλιματιστικών [11, 12], σε τουαλέτες νοσοκομείων [13], συσκευαστήρια κρεάτων [14], σε διάφορους χώρους με ελαττωματική λειτουργία κλιματιστικών όπου υγροποιούνται υδρατμοί σε αεραγωγούς (π.χ. σε συσκευαστήρια φρούτων και λαχανικών [15], σε SPA και πισίνες [16]. Επίσης, διάφορες ασθένειες μπορούν να προκύψουν από την εισπνοή των σπορίων μυκήτων π.χ. κατά την αποσύνθεση τροφίμων, σε χώρους με περιττώματα, λίπασμα ή χώμα. Τέτοιες ασθένειες είναι για παράδειγμα η ιστοπλάσμωση, οι κρυπτοκοκκικές λοιμώξεις και άλλες μυκητιάσεις [17, 18]. Κατά συνέπεια, στα υψηλού κινδύνου επαγγέλματα για μολυσματικές ασθένειες εξαιτίας της έκθεσης σε βιοαεροζόλ περιλαμβάνονται μεταξύ άλλων οι αγρότες, οι κτηνίατροι, οι εργαζόμενοι σε χώρους υγειονομικής περίθαλψης, οι βιολόγοι και οι γιατροί [8].

3.3.2 Ασθένειες υπερευαισθησίας (αλλεργίες)

Τα αναπνευστικά προβλήματα και η κακή λειτουργία του ανοσοποιητικού συστήματος έχουν μελετηθεί ευρύτατα όσον αφορά την επίδραση των αιωρούμενων σωματιδίων σε αυτά. Μπορεί να εμφανίζονται σαν απλές καθημερινές παθήσεις αρχικά που μετά εξελίσσονται σε χρόνιες παθήσεις. Τα αναπνευστικά συμπτώματα στον εργασιακό χώρο

προκαλούνται από την έκθεση σε τοξίνες, αλλεργιογόνες ουσίες και παράγοντες που προκαλούν ερεθισμούς. Οι αλλεργίες οφείλονται σε βιοαεροζόλ ποικίλης προέλευσης που δρουν σαν αντιγόνα και προκαλούν μία αλλεργική ανταπόκριση του ανοσοποιητικού συστήματος του οργανισμού. Σε μερικές περιπτώσεις ασθένειες του αναπνευστικού συστήματος όπως το άσθμα οφείλονται τόσο σε αλλεργιογόνους παράγοντες όσο και σε μολυσματικούς ή τοξικολογικούς παράγοντες (ενδοτοξίνες) [19, 20]. Άλλοι παράγοντες μέσα στον εργασιακό χώρο, όπως το κάπνισμα, μπορεί να εντείνουν τα αναπνευστικά προβλήματα [21]. Για παράδειγμα, σε έναν εργαζόμενο με άσθμα που εργάζεται σε χώρο με υψηλά επίπεδα σωματιδιακών ρύπων, επιβαρύνεται η υγεία του, ενώ σε άτομα που εργάζονται στον ίδιο χώρο και δεν έχουν κάποιο πρόβλημα υγείας, η αντίδραση του οργανισμού είναι φυσιολογική [22, 23, 24, 8].

3.3.3 Καρκίνος

Ο καρκίνος μπορεί να προκληθεί από ποικίλους παράγοντες συμπεριλαμβανομένων των ογκογόνων ιών και άλλων βιολογικών παραγόντων. Μέχρι σήμερα οι μόνες αποδεδειγμένες βιολογικές καρκινογόνες ουσίες που δεν προέρχονται από ιούς είναι οι μυκοτοξίνες. Ίσως η πιο γνωστή καρκινογόνος μυκοτοξίνη είναι αφλατοξίνη (aflatoxin) από τον μύκητα *Aspergillus flavus,* η οποία είναι μια ευρέως γνωστή καρκινογόνος ουσία, ιδιαίτερα όσον αφορά τον καρκίνο συκωτιού [25-27]. Η Ochratoxin A θεωρείται επίσης ως πιθανή καρκινογόνος ουσία που προσβάλει τον άνθρωπο [28]. Η αφλατοξίνη και η ωχρατοξίνη μπορούν να εισέλθουν στον ανθρώπινο οργανισμό με την κατάποση, αλλά και με την εισπνοή ιδιαίτερα στις βιομηχανίες επεξεργασίας φιστικιών ή κατά την επεξεργασία ζωικών τροφών και στις βιομηχανίες στις παραγωγής σιτηρών [26, 29]. Οι εργαζόμενοι στις βιομηχανίες ζωικών τροφών έχουν αυξημένο κίνδυνο να προσβληθούν από καρκίνο του συκωτιού, καθώς επίσης και από καρκίνο της χοληφόρου ατραπού, του σιαλογόνου αδένα και από πολλαπλό μυέλωμα [30]. Οι αγρότες που δεν χρησιμοποιούν μέτρα προστασίας διατρέχουν άμεσο κίνδυνο να προσβληθούν από λευχαιμία, καρκίνο στο στομάχι, προστάτη, καρκίνο στον εγκέφαλο και στο συνδετικό ιστό [31, 32]. Στις αιτίες συμπεριλαμβάνονται η χρήση των φυτοφαρμάκων και η έκθεση σε βιολογικούς παράγοντες, που προέρχονται από τα ζώα. Οι μελέτες έχουν δείξει πολλά περιστατικά καρκίνου στους πνεύμονες σε εργαζομένους σε σφαγεία και σε χασάπηδες [33]. Επίσης παρουσιάζεται αυξημένος κίνδυνος να προσβληθούν από λευχαιμία άτομα που εργάζονται σε βιομηχανίες κρέατος [34]. Τέλος, οι εργαζόμενοι σε διάφορες βιομηχανίες που επεξεργάζονται βιολογικά υλικά διατρέχουν κίνδυνο να προσβληθούν από διάφορα είδη καρκίνου, όπως οι εργαζόμενοι σε κλωστοϋφαντουργίες, βιομηχανίες δέρματος και παπουτσιών. Εντούτοις, είναι ακόμα άγνωστο εάν οι κίνδυνοι οφείλονται στην έκθεση σε βιολογικούς παράγοντες ή οφείλονται σε διάφορες χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται σε αυτές τις βιομηχανίες [8].

Κεφάλαιο 4

4.1 Ρύπανση Υδάτων και Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων

Ένας από τους πιο αποτελεσματικούς τρόπους αντιμετώπισης της ρύπανσης των υδάτινων πόρων από τα απόβλητα είναι οι Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Αστικών Αποβλήτων (ΕΕΑΑ). Οι ΕΕΑΑ έχουν ως σκοπό τον καθαρισμό (διαχωρισμό) των αστικών αποβλήτων από τα «βλαβερά» συστατικά που περιέχουν, ώστε αυτά να διατεθούν ακίνδυνα στο περιβάλλον.

Ως «βλαβερά» συστατικά των αποβλήτων θεωρούνται τα ογκώδη αντικείμενα, η άμμος, τα μικρού μεγέθους αιωρούμενα στερεά, το οργανικό φορτίο, οι παθογόνοι μικροοργανισμοί και τα θρεπτικά στοιχεία (άζωτο και φώσφορος).

Αν τα απόβλητα διοχετευθούν χωρίς επεξεργασία σε έναν υδάτινο αποδέκτη δημιουργούν διάφορα προβλήματα. Τα ογκώδη στερεά, η άμμος και τα αιωρούμενα στερεά προκαλούν περισσότερο αισθητική δυσαρέσκεια παρά ουσιαστική ρύπανση του υδάτινου φορέα. Οι παθογόνοι μικροοργανισμοί είναι υπεύθυνοι για τη μετάδοση ασθενειών στον άνθρωπο και σε άλλους οργανισμούς. Τα οργανικά συστατικά, το άζωτο και ο φώσφορος είναι όμως τα περισσότερο υπεύθυνα για τις δυσάρεστες καταστάσεις ρύπανσης. Αυτό συμβαίνει γιατί κάθε υδάτινος φορέας, αλλά και τα ίδια τα απόβλητα, περιέχουν μικροοργανισμούς που καταναλώνουν τα οργανικά συστατικά των αποβλήτων, καθώς και το άζωτο και το φώσφορο, για να τραφούν και να πολλαπλασιαστούν καταναλώνοντας παράλληλα οξυγόνο (αναπνέοντας), που βρίσκεται διαλυμένο στο νερό του φορέα μέχρι να εξαφανιστούν τελείως. Το άζωτο και ο φώσφορος μπορεί να δημιουργήσουν το λεγόμενο φαινόμενο του ευτροφισμού, που εκδηλώνεται με την υπερβολική ανάπτυξη των φυκών στον υδάτινο φορέα [35].

4.2 Μονάδες Επεξεργασίας

Το Συμβούλιο Υπουργών Περιβάλλοντος της ΕΕ εξέδωσε οδηγία (271/91)(19/3/92) για τον καθαρισμό των αστικών αποβλήτων, στην οποία προβλέπεται ότι θα πρέπει να εγκατασταθούν ΕΕΑΑ σε όλες τις πόλεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Συγκεκριμένα, προτείνεται η πραγματοποίηση βιολογικού καθαρισμού για όλες τις πόλεις με πληθυσμό μεγαλύτερο από 15000 κατοίκους μέχρι το 2000 και για τις μικρότερες μέχρι το 2005. Για τις πόλεις που βρίσκονται σε περισσότερο ευαίσθητες περιοχές (εκβολές ποταμών, λιμνοθάλασσες κ.α) προβλέπεται και τριτοβάθμιος καθαρισμός.

Οι βασικές μονάδες σε μια ΕΕΑΑ με πρωτοβάθμιο καθαρισμό περιλαμβάνει τις εσχάρες (μια σειρά από μεταλλικές ράβδους στις οποίες συγκρατούνται τα ογκώδη στερεά), τους εξαμμωτές (ειδικά σχεδιασμένες δεξαμενές στις οποίες δημιουργούνται κατάλληλες συνθήκες ροής που προκαλούν τη καθίζηση της άμμου σε αυτές) και τις δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης (όπου καθιζάνει και απομακρύνεται μεγάλο μέρος των αιωρούμενων στερεών, (>=50%) και μέρος των οργανικών συστατικών, (>=30%)). Συχνά ένας εξαμμώτης περιέχει και διάταξη για την απομάκρυνση των ελαίων και λιπών που περιέχονται στα απόβλητα. Τα αιωρούμενα

συστατικά που καθιζάνουν στον πυθμένα των δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης αποτελούν την πρωτοβάθμια λάσπη.

Μια ΕΕΑΑ με βιολογικό ή δευτεροβάθμιο καθαρισμό επιτυγχάνει σχεδόν την πλήρη απομάκρυνση (μεγαλύτερη απο 95%) των οργανικών συστατικών. Ο δευτεροβάθμιος καθαρισμός περιλαμβάνει την αερόβια επεξεργασία στη δεξαμενή αερισμού και την δευτεροβάθμια καθίζηση. Στην δεξαμενή αερισμού παρέχεται οξυγόνο στους μικροοργανισμούς τεχνητά με διατάξεις αερισμού, που καλούνται αεριστήρες, για να αναπτυχθούν και να πολλαπλασιαστούν. Έτσι τα οργανικά συστατικά καταναλώνονται από τους μικροοργανισμούς, που όχι μόνο δεν είναι βλαβεροί, όπως οι παθογόνοι, αλλά αποτελούν το «εργαλείο» καθαρισμού σε μια ΕΕΑΑ. Το μίγμα των μικροοργανισμών και των οργανικών συστατικών των αποβλήτων καλείται ενεργός ίλυς και είναι αυτή που καθιζάνει και συλλέγεται στον πυθμένα των δεξαμενών δευτεροβάθμιας καθίζησης (δευτεροβάθμια λάσπη. Μετά τη δευτεροβάθμια επεξεργασία τα υγρά απόβλητα μπορούν να διατεθούν στον υδάτινο αποδέκτη εφόσον ο αποδέκτης δεν κριθεί ότι είναι ιδιαίτερα ευαίσθητος, ώστε να απαιτεί τριτοβάθμια επεξεργασία. Τα καθαρισμένα πλέον υγρά απόβλητα υφίστανται μόνο τη διεργασία της απολύμανσης, συνήθως με χλωρίωση, για την εξόντωση των παθογόνων μικροοργανισμών σε επιμήκεις δεξαμενές και διοχετεύονται πλέον μετά την επακόλουθη αποχλωρίωση χωρίς κανένα φόβο στον αποδέκτη.

Τριτοβάθμια επεξεργασία πραγματοποιείται σε μια ΕΕΑΑ όταν τα επεξεργασμένα απόβλητα διοχετεύονται σε έναν αποδέκτη, όπου είναι πιθανή η δημιουργία ευτροφισμού ή όταν αναμένονται λειτουργικά προβλήματα (π.χ. ανύψωση της λάσπης) στην ΕΕΑΑ. Τότε γίνεται απομάκρυνση του αζώτου ή/και του φωσφόρου με βιολογικές μεθόδους ή/και με τη χρήση χημικών.

Τα ογκώδη στερεά που συγκρατούνται στις εσχάρες και η άμμος που καθιζάνει στους εξαμμώτες, αφυδατώνονται και μεταφέρονται με απορριματοφόρα σε χώρους υγειονομικής ταφής.

Η πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια λάσπη από τις δεξαμενές καθίζησης υφίσταται συμπύκνωση (αύξηση του ποσοστού των στερεών που περιέχει), σταθεροποίηση (μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών, των οσμών και της δυνατότητας της λάσπης να γίνει σηπτική), και αφυδάτωση και ξήρανση. Η σταθεροποίηση γίνεται αερόβια με τον αερισμό της λάσπης σε δεξαμενές όμοιες με τις δεξαμενές αερισμού ή αναερόβια σε χωνευτές. Μετά την αφυδάτωση και ξήρανση διατίθεται η λάσπη σε χώρους υγειονομικής ταφής ή επεξεργάζεται περαιτέρω σαν εδαφοβελτιωτικό λίπασμα [35].

4.3 Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων του Δήμου Χανίων

Η εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών λυμάτων του Δήμου Χανίων (ΔΕΥΑΧ) βρίσκεται σε λειτουργία από το 1995 και προβλέπει την επεξεργασία τόσο αστικών λυμάτων που αντιστοιχούν σε 105.500 κατοίκους, όσο και βιομηχανικών αποβλήτων που αντιστοιχούν σε 5.000 ισοδύναμους κατοίκους καθώς και βοθρολυμάτων που αντιστοιχούν σε 7.000 ισοδύναμους κατοίκους, δηλαδή είναι συνολικής δυναμικότητας 117.500 ισοδύναμων κατοίκων και 26.000m^3/d.

Η επεξεργασία των λυμάτων γίνεται με τη μέθοδο της αερόβιας ενεργοποίησης της λάσπης. Πριν τη τελική διάθεση η λάσπη επεξεργάζεται με

τη μέθοδο της αναερόβιας χώνευσης με παράλληλη αξιοποίηση του παραγόμενου βιοαερίου για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Στην εικόνα 4.1 φαίνεται η κάτοψη της εγκατάστασης επεξεργασίας υγρών αποβλήτων του Νομού Χανίων. Οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν όπως φαίνεται στην εικόνα 3.1 στα ακόλουθα σημεία:

1) Αίθουσα εσχάρων (5. εικόνα 4.1)
2) Δεξαμενή και αντλιοστάσιο βοθρολυμάτων (9. εικόνα 4.1)
3) Δεξαμενή αμμοσυλλογής και λιποσυλλογής (10. εικόνα 4.1)
4) Δεξαμενή Α καθίζησης (12. εικόνα 4.1)
5) Δεξαμενή αερισμού (15. εικόνα 4.1)
6) Δεξαμενή Β καθίζησης (19. εικόνα 4.1)
7) Δεξαμενή χλωρίωσης (22. εικόνα 4.1)
8) Κτίριο αφυδάτωσης (35. εικόνα 4.1)

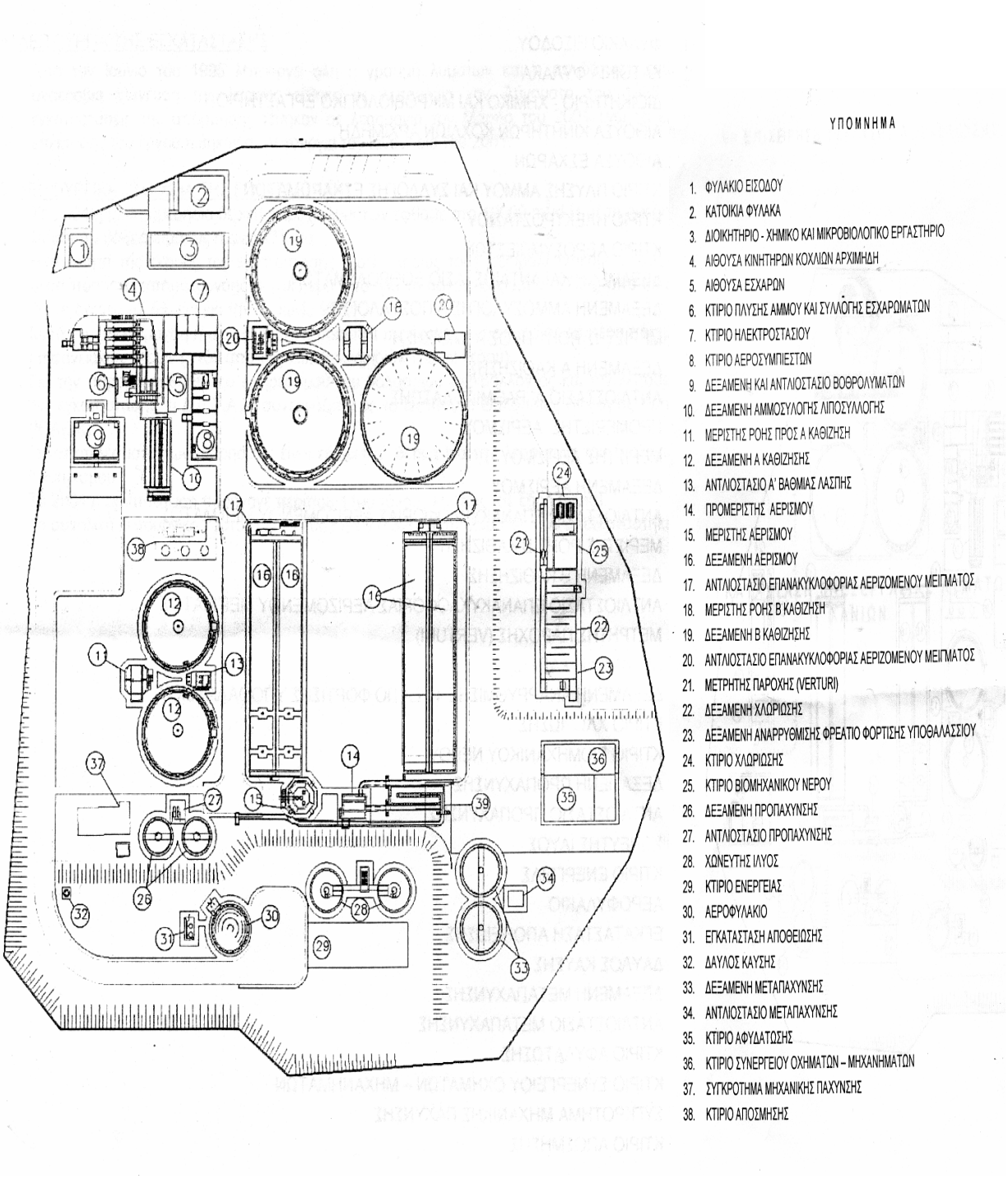
Η εγκατάσταση έχει σχεδιαστεί για την απομάκρυνση του BOD_5 κατά 96% και των αιωρούμενων στερεών κατά 95% και περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια [36].

1) **Εσχάρωση**: Η εσχάρωση γίνεται αρχικά με επίπεδες χειροκίνητες εσχάρες και στη συνέχεια με τρεις αυτόματες εσχάρες (η μία είναι εφεδρική) με διάκενο μεταξύ ράβδων 6mm. Η ενεργοποίηση του περιστρεφόμενου μηχανισμού απομάκρυνσης εσχαρωμάτων γίνεται με αισθητήρια διαφοράς πιέσεως αέρα οπότε τα εσχαρώματα αφού συμπιεστούν μεταφέρονται σε κάδο συλλογής μέσω μεταφορικής ταινίας (εικόνα 4.2).
2) **Εξάμμωση και Αφαίρεση Λιπών (Λιποσυλλογή)**: λειτουργούν δύο δεξαμενές εξάμμωσης και αφαίρεσης λιπών. Ο συνολικός όγκος της κάθε δεξαμενής είναι 118 m^3, από τα οποία τα 75 m^3 είναι περιοχή εξάμμωσης και τα 43 m^3 ο όγκος της περιοχής αφαίρεσης λιπών. Στα λύματα διοχετεύεται αέρας μέσω 11 κεραμικών διαχυτήρων. Με προβλεπόμενο χρόνο παραμονής των λυμάτων στην περιοχή εξάμμωσης μεγαλύτερο από 7 min επιτυγχάνεται η αφαίρεση του 90% του αριθμού των σωματιδίων που έχουν διάμετρο μεταξύ 0,16 και 0,20 mm. Τα επιπλέοντα υλικά απομακρύνονται μέσω ειδικού μηχανισμού και συγκεντρώνονται σε φρεάτιο συλλογής. Επίσης λειτουργεί ειδική διάταξη έκπλυσης οργανικών ενώσεων και απομάκρυνσης της υγρασίας από την άμμο (εικόνα 4.3).
3) **Πρωτοβάθμια Καθίζηση**: υπάρχουν δύο δεξαμενές, διαμέτρου 22 m η καθεμιά. Τα λύματα εισέρχονται στο κέντρο της δεξαμενής και εξέρχονται ακτινικά μέσω υπερχειλιστών. Η κάθε δεξαμενή είναι εφοδιασμένη με περιστρεφόμενη γέφυρα και φέρει ξέστρο στον πυθμένα για να παρασύρει τη λάσπη στο κεντρικό φρεάτιο. Η απόδοση της πρωτοβάθμιας καθίζησης είναι απομάκρυνση BOD_5 κατά 33% και αιωρούμενων σωματιδίων κατά 60% (εικόνα 4.5).
4) **Δεξαμενές Αερισμού**: τα λύματα από τις δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης οδηγούνται μέσω μεριστών ροής στις τέσσερις δεξαμενές αερισμού που κάθε μία έχει διαστάσεις 60 m μήκος, 8,4 m πλάτος και 4,50 m ωφέλιμο βάθος. Σε κάθε δεξαμενή υπάρχει ανοξική και αερόβια ζώνη. Τα λύματα οξυγονώνονται μέσω διαχυτήρων μεμβράνης λεπτής φυσαλλίδος που βρίσκονται στον πυθμένα των δεξαμενών. Παράλληλα με την αφαίρεση του οργανικού φορτίου γίνεται και νιτροποίηση. Για την απομάκρυνση του αζώτου γίνεται μερική απονιτροποίηση στην

ανοξική ζώνη μέσω ανακυκλοφορίας των νιτροποιημένων εκροών. Ο συνολικός όγκος των δεξαμενών είναι 9.072 m^3 (εικόνα 4.6, 4.7).

5) **Δεξαμενές Δευτεροβάθμιας Καθίζησης**: υπάρχουν τρεις δεξαμενές διαμέτρου 33 m και όγκου 2.130 m^3 η μία. Η ροή εισόδου των λυμάτων έχει την ίδια μορφή με την πρωτοβάθμια ενώ για την εκροή οι δύο (παλαιότερες) φέρουν περιμετρικούς επιφανειακούς υπερχειλιστές και η νεότερη υποεπιφανειακούς ακτινικούς σωλήνες υπερχείλισης. Η πλεονάζουσα ίλυς αντλείται προς τη μηχανική πάχυνση και η ίλυς ανακυκλοφορίας αντλείται προς τις δεξαμενές επιλογής (εικόνα 4.8, 4.9).
6) **Δεξαμενή Χλωρίωσης**: Η απολύμανση των λυμάτων επιτυγχάνεται μέσω τροφοδοσίας διαλύματος υποχλωριώδους νατρίου με 15% ενεργό χλώριο. Η δεξαμενή χλωρίωσης έχει διαστάσεις 24 m μήκος, 10 m πλάτος και 2,5 m βάθος δίνοντας ωφέλιμο όγκο 600 m^3. Ο χρόνος επαφής είναι 3 min με σχεδιαζόμενη συγκέντρωση κοπρανώδών κολοβακτηρίων μετά την απολύμανση της τάξεως 176 αποικιών/100ml. Στο τέλος της δεξαμενής χλωρίωσης γίνεται αποχλωρίωση των λυμάτων. Ο υποθαλάσσιος αγωγός διάθεσης είναι από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας διαμέτρου 710 mm και καταλήγει σε βάθος 16 m (εικόνα 4.10, 4.11).
7) **Μηχανική Πάχυνση Λάσπης**: η δευτεροβάθμια λάσπη υφίσταται πάχυνση με δύο φυγόκεντρους δυναμικότητας 25 m^3/h και 175 kg/h η κάθε μία. Η παραγόμενη λάσπη οδηγείται ακολούθως στην προπάχυνση, ενώ υπάρχει δυνατότητα απ' ευθείας παροχέτευσης της και στους χωνευτές ή στη μεταπάχυνση (εικόνα 4.12) [36].

Εικόνα 4.1Κάτοψη Επεξεργασίας Λυμάτων Νομού Χανίων





Εικόνα 4.2 Αίθουσα Μηχανικών Εσχάρων



Εικόνα 4.3 Δεξαμενές Αμμοσυλλογής και Λιποσυλλογής



Εικόνα 4.4 Δεξαμενή και αντλιοστάσιο βοθρολυμάτων



Εικόνα 4.5 Δεξαμενή Πρωτοβάθμιας Καθίζησης



Εικόνα 4.6 Δεξαμενή Αερισμού



Εικόνα 4.7 Δεξαμενή Αερισμού



Εικόνα 4.8 Δεξαμενή Δευτεροβάθμιας Καθίζησης



Εικόνα 4.9 Δεξαμενή Δευτεροβάθμιας Καθίζησης



Εικόνα 4.10 Δεξαμενή Χλωρίωσης



Εικόνα 4.11 Δεξαμενή Αποχλωρίωσης



Εικόνα 4.12 Μηχανική Πάχυνση Λάσπης/Ταινιοφιλτροπρέσες

Κεφάλαιο 5

Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Οι αέρομεταφερόμενοι μικροοργανισμοί και τα άλλα βιολογικής προέλευσης σωματίδια παρουσιάζουν μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον επειδή μπορεί να έχουν επιπτώσεις στη δημόσια υγεία. Τα βιοαεροζόλ μπορούν να παραχθούν κατά την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων και πιθανόν να περιέχουν παθογόνους μικροοργανισμούς. Γύρω λοιπόν από τα βιοαεροζόλ έχουν γίνει διάφορες μελέτες.

Αναλυτικότερα στην δημοσίευση των Pascual *et al.* [7], περιγράφονται τα αποτελέσματα από μια σειρά πειραμάτων για τον εντοπισμό αερομεταφερόμενων μικροοργανισμών σε εγκατάσταση μονάδας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στην Ισπανία. Τα αέρια δείγματα ελήφθησαν επίσης με τον δειγματολήπτη αέρα MAS 100 (Merck) και οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν στην πρωτοβάθμια επεξεργασία, στην Εξάμμωση, στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας Καθίζησης, στην δεξαμενή Αερισμού και στις Ταινιοφιλτροπρέσες Λάσπης με σκοπό τον προσδιορισμό των επιπέδων μόλυνσης στους σταθμούς εργασίας. Η μέθοδος προσδιορισμού του μικροβιακού φορτίου έγινε επίσης με την καλλιέργεια των μικροοργανισμών με τα κατάλληλα θρεπτικά υποστρώματα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η προεπεξεργασία και η πρωτοβάθμια δεξαμενή Καθίζησης ήταν τα στάδια με τις υψηλότερες εκπομπές βιοαεροζόλ, και ότι οι συγκεντρώσεις τους εξαρτώνται από την ταχύτητα του ανέμου και την καθημερινή παροχή στις εγκαταστάσεις του βιολογικού καθαρισμού.

Στην δημοσίευση των *Suresh et al.* [38], περιγράφονται τα βιοαεροζόλ που παράγονται από τα αστικά και τα ζωικά απόβλητα και ειδικά οι παθογόνοι μικροοργανισμοί. Η παγκόσμια αύξηση του πληθυσμού σε συνδυασμό με τις εντατικές αγροτικές και κτηνοτροφικές εργασίες, έχουν σαν αποτέλεσμα την παραγωγή, συσσώρευση και εναπόθεση μεγάλων ποσών αποβλήτων στον κόσμο. Τα βιοαεροζόλ μπορεί να είναι πηγή παθογόνων μικροβίων, ενδοτοξινών και αλλεργιών. Υπάρχει σχέση μεταξύ των εκπομπών βιοαεροζόλ από τα ζωικά και αστικά απόβλητα και την επίδρασή που μπορεί να έχουν στη δημόσια υγεία. Έχει γίνει βασική πρόοδος στην κατανόηση των χαρακτηριστικών των βιοαεροζόλ τους κινδύνους στην υγεία και τις αλλεργίες που μπορεί να προκαλέσουν, ειδικά οι παθογόνοι.

Οι Sanchez-Monedero *et al.* [39] ασχολήθηκαν με το βιοφιλτράρισμα στις δραστηριότητες κομποστοποίησης και με την αποτελεσματικότητα του στον έλεγχο των βιοαεροζόλ. Το βιοφιλτράρισμα αναπτύχθηκε σαν μέθοδος για τον έλεγχο των αέρομεταφερόμενων μικροοργανισμών που απελευθερώνονται κατά τις δραστηριότητες κομποστοποίησης. Για τον έλεγχο αυτό πραγματοποιήθηκαν πειράματα σε επτά εγκαταστάσεις κομποστοποίησης με διαφορετική υποδομή και διαφορετικά βιοφίλτρα. Μετρήθηκαν οι συγκεντρώσεις ομάδων μικροβίων στον αέρα πριν και μετά την είσοδο από το βιοφίλτρο. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων έδειξε μείωση των αερομεταφερόμενων μικροοργανισμών που έφτανε στο 90% για το βακτήριο *Aspergillus fumigatus* και 39% των μεσόφιλων ετερότροφων βακτηρίων. Το βιοφιλτράρισμα είναι μια μέθοδος ευρέως διαδεδομένη και με αποτελεσματικότητα στον έλεγχο των βιοαεροζόλ.

Στην έκθεση των Ranalli *et al.* [40] περιγράφονται τα αποτελέσματα μιας μελέτης που πραγματοποιήθηκε προκειμένου να υπολογιστούν οι αερομεταφερόμενοι μικροοργανισμοί με διαφορετικές μεθόδους ταυτοποίησής τους. Η μέθοδος είναι βασισμένη σε μια μοριακή τεχνική με την αλυσιδωτή αντίδραση πολυμερασών (PCR) και συγκρίθηκε με τη μέθοδο της καλλιέργειας των μικροοργανισμών στα κατάλληλα υποστρώματα. Οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν σε δεξαμενές αερισμού αστικών και βιομηχανικών αποβλήτων στην Ιταλία σε διαφορετικές περιόδους. Αυτή η μελέτη πραγματοποιήθηκε με διαφορετικές μεθόδους δειγματοληψίας όπως με τη δοκιμαστική λειτουργία της δειγματοληπτικής συσκευής SAS (συστήματα αέρα επιφάνειας, PBI), Sartorius MD8 με φίλτρο ζελατίνης μεμβρανών και τη μέθοδο βαρύτητας με τριβλία που χρησιμοποιήθηκαν για να συλλέξουν βακτηριακά δείγματα αερολύματος επί τόπου. Τα αποτελέσματα δεν έδειξαν συσχετισμό μεταξύ των δύο μεθόδων καλλιέργειας λόγω των διαφορετικών μηχανισμών συλλογής των βιοαεροζόλ. Για την τεχνική PCR, χρησιμοποιήθηκαν εγχυτήρες (URL 301- URR 432) για την ανίχνευση του *Escherichia coli* στα καθορισμένα δείγματα αέρα. Στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων τα υψηλότερα ποσοστά εκπομπών βακτηρίων εμφανίστηκαν στην μηχανική προεπεξεργασία και στις κλειστές δεξαμενές της ενεργοποιημένης λάσπης.

Κεφάλαιο 6

6.1 Περιγραφή περιοχής και μεθόδου δειγματοληψίας

Στα πλαίσια της παρούσας πτυχιακής εργασίας πραγματοποιήθηκε όπως προαναφέρθηκε ο προσδιορισμός των βιολογικής προέλευσης αιωρούμενων σωματιδίων (βιοαεοζόλ) στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων του Δήμου Χανίων (ΔΕΥΑΧ). Πραγματοποιήθηκαν συνολικά επτά δειγματοληψίες: $1^{η}$-16/03/05, $2^{η}$-30/03/05, $3^{η}$-13/04/05, $4^{η}$-25/05/05, $5^{η}$-31/05/05, $6^{η}$-24/06/05, $7^{η}$-15/07/05. Τα δείγματα συλλέγονταν από τους προαναφερθέντες χώρους του βιολογικού καθαρισμού (βλέπε 3.3), στο ίδιο πάντα σημείο. Ταυτόχρονα πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες στον προαύλιο χώρο του ΤΕΙ και στη Λέσχη Σίτισης του ΤΕΙ Κρήτης, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν σαν σημεία αναφοράς, ώστε να μπορούν να συγκριθούν τα αποτελέσματα. Έτσι σαν μάρτυρες χρησιμοποιήθηκαν οι συγκεντρώσεις των αντίστοιχων μικροοργανισμών στην ατμόσφαιρα ενός υπαίθριου χώρου (προαύλιο του ΤΕΙ) και ενός κλειστού χώρου με μεγάλη συγκέντρωση ανθρώπων και έντονη δραστηριότητα (Λέσχη φοιτητικής σίτισης του ΤΕΙ).

Ο στόχος της δειγματοληψίας των βιοαεροζόλ είναι η ποσοτική εκτίμηση των ζωντανών αερομεταφερόμενων ολικών ετερότροφων βακτηρίων, ολικών και κοπρανωδών κολοβακτηρίων, εντερόκοκκων και μυκήτων. Η μονάδα μέτρησης που χρησιμοποιήθηκε ήταν αριθμός αποικιών ανά κυβικό μέτρο αέρα, (Colony Forming Units) (CFU/m^3). Όλες οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν πρωί (από τις 9:00 έως τις 15:00), εκτός από την πέμπτη και την έκτη δειγματοληψία που πραγματοποιήθηκαν απόγευμα προς βράδυ (από τις 15:30 έως τις 20:30). Ο όγκος του δείγματος κάθε φορά προσαρμόζονταν ώστε να τα αποτελέσματα να είναι αντιπροσωπευτικά και επεξεργάσιμα. Οι βέλτιστοι όγκοι ανά μικροοργανισμό παρουσιάζονται στον πίνακα 6.1.

Πίνακας 6.1 Βέλτιστοι όγκοι δειγματοληψίας ανά οργανισμό

Σημείο Δειγματοληψίας	Ολικά Ετερότροφα Βακτήρια	Ολικά Κολοβακτήρια	Κοπρανώδη Κολοβακτήρια	Εντερόκοκκοι	Μύκητες
Εσχάρωση	250L	500L	2000L	2000L	250L
Εξάμμωση	50L	250L	2000L	2000L	50L
Δεξαμενή μερισμού	50L	250L	2000L	2000L	50L
Α δεξαμενή καθίζησης	500L	2000L	2000L	2000L	500L
Δεξαμενή αερισμού	1000L	2000L	2000L	2000L	1000L
Β δεξαμενή καθίζησης	1000L	2000L	2000L	2000L	1000L
Δεξαμενή χλωρίωσης	1000L	2000L	2000L	2000L	1000L
Ταινιοφιλτροπρέσες λάσπης	50L	2000L	2000L	2000L	50L
Μάρτυρας λέσχη	50L	2000L	2000L	2000L	50L
Μάρτυρας προαύλιο	100L	2000L	2000L	2000L	100L

6.2 Περιγραφή οργάνου δειγματοληψίας μικροοργανισμών σε αέρια δείγματα

Για τη συλλογή των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε ο ενός σταδίου διάτρητος δειγματολήπτης MAS 100 (Merck Γερμανίας). Ο δειγματολήπτης MAS 100 είναι μια απλουστευμένη μορφή της αντίστοιχης συσκευής Andersen, βασισμένος στην αρχή λειτουργίας της αναρρόφησης αέρα μέσω μιας διάτρητης πλάκας 400 οπών επάνω σε ένα τριβλίο με θρεπτικό υπόστρωμα. Το τριβλίο περιέχει στερεό θρεπτικό υπόστρωμα με άγαρ και είναι διαμέτρου 90mm. Μετά την συλλογή τα τριβλία επωάζονται και οι αποικίες καταμετρούνται σε CFUs. Ο δειγματολήπτης MAS 100 είναι μία μεγάλης απόδοσης αναρροφητική συσκευή. Το σύστημα μετρά το εισαγόμενο ρεύμα αέρα και ρυθμίζει τον αναρροφούμενο αέρα με μια σταθερή ροή 100 λίτρα το λεπτό (L/min). Το όργανο αντισταθμίζει όλους τους παράγοντες που επηρεάζουν το ρεύμα αέρα, όπως τον όγκο του άγαρ στο τριβλίο ή την διαφοροποίηση της διαμέτρου των τριβλίων. Συνιστάται ο χρόνος συλλογής να μην ξεπερνά τα 10 λεπτά και παράλληλα η ταχύτητα ροής να μην είναι μεγαλύτερη από 100 L/min επειδή υπάρχει κίνδυνος αφυδάτωσης του άγαρ (International Standard ISO/CD 14698-1 ρρ16 under B.3.3.2, 1996). Επιπλέον η ταχύτητα πρόσκρουσης πρέπει να είναι < 20 m/sec, με κατακόρυφη ταχύτητα αέρα 0,45 m/sec (ταυτόσημη με ταχύτητα αέρα πρόσκρουσης ~ 19 m/sec) [41].

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα του δειγματολήπτη MAS 100 είναι:

- Χρήση οποιονδήποτε εμπορικά διαθέσιμων τριβλίων διαμέτρου 90 mm, είτε πληρωμένα με τυποποιημένο άγαρ είτε μετά από εργαστηριακή προετοιμασία. Η διαθεσιμότητα δίνει ανεξαρτησία και οικονομία ανά κόστος τεστ, αφού δεν χρειάζεται να αγοραστούν ειδικά αναλώσιμα.
- Ύπαρξη ενσωματωμένου αισθητήρα όγκου. Αντισταθμίζει τις εξωτερικές διαφοροποιήσεις έτσι ώστε να προκύπτουν σωστά και συγκρίσιμα αποτελέσματα.
- Απλό και λειτουργικό πρόγραμμα.
- Προγραμματισμένοι όγκοι συλλογής 10, 20, 50, 100, 200, 250, 500, 750 και 1000 λίτρα και επιπλέον μια επιλογή ελεύθερης τοποθέτησης όγκου.
- Προγραμματισμένη λειτουργία χρονικής καθυστέρησης της δειγματοληψίας από 1 έως 60 λεπτά. Έτσι δεν δημιουργούνται δίνες από το άτομο που πραγματοποιεί τη συλλογή και συμβάλλει στην αναπαραγωγή των αποτελεσμάτων.
- Έχει διεθνείς εγκρίσεις CE, UL, CSL
- Βαθμονομείται αυτόματα. Απαιτείται έλεγχος για την βαθμονόμηση μόνο μια φορά το χρόνο.
- Πολυλειτουργική κεφαλή συλλογής, που επιτρέπει κατακόρυφο και οριζόντιο ρεύμα αέρα. Σταθερό σε οποιαδήποτε θέση.
- Παγκόσμια παροχή ρεύματος. Δυνατότητα φόρτισης και σε 110 και σε 240 Volts.
- Αντοχή λειτουργίας μπαταρίας έως και 7 ώρες. Μας δίνει τη δυνατότητα επιτόπου δειγματοληψίας.
- Αυτόματο κλείσιμο εξοικονομώντας έτσι την ενέργεια της μπαταρίας.

Εικόνα 6.1. δειγματολήπτης MAS 100 Merck Γερμανίας.



6.3 Καλλιέργεια μικροοργανισμών και υποστρώματα

Η ανάλυση των δειγμάτων έγινε με τη διαδικασία της καλλιέργειας των μικροοργανισμών σε στερεά υποστρώματα και την καταμέτρηση των αποικιών.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η εξής:

1) Παρασκευή τριβλίων με το εκάστοτε υπόστρωμα που ήταν απαραίτητο για κάθε μέτρηση. Τα υποστρώματα που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται στον πίνακα 6.2.
2) Τα υποστρώματα χρησιμοποιούνταν συνήθως άμεσα ή μετά από συντήρηση των τριβλίων στο ψυγείο για 24 ώρες.
3) Λήψη δειγμάτων με το δειγματολήπτη MAS 100.
4) Εισαγωγή τριβλίων σε επωαστικό θάλαμο, για 48-72h (ώρες) σε θερμοκρασία 37^0C, $44,5^0$C ή 25^0C ανάλογα με τους μικροοργανισμούς που προσδιορίζονταν.
5) Καταμέτρηση των αναπτυσσόμενων αποικιών. Ο βέλτιστος αριθμός αποικιών ανά τριβλίο κυμαίνεται από 20 έως 80 αποικίες.

Πίνακας 6.2 Υποστρώματα και μικροοργανισμοί

Υποστρώματα	**Μικροοργανισμοί**
Membrane Lauryl Sulphate Agar	Ολικά κολοβακτήρια, θερμοανθεκτικά κοπρανώδη κολοβακτήρια
Nutrient Agar	Ολικά ετερότροφα βακτήρια, αυτόχθονα βακτήρια
Tryptone Soy Agar	Ολικά ετερότροφα βακτήρια, αυτόχθονα βακτήρια
Malt Extract Agar	Μύκητες
Slanetz & Bartley Medium	Εντερόκοκκος

6.3.1. Θρεπτικά υποστρώματα

6.3.1.1. Membrane Lauryl Sulphate Agar (MLSA)

Το Membrane Lauryl Sulphate Agar είναι ένα επιλεκτικό μέσο για την ανίχνευση και απομόνωση των ολικών κολοβακτηρίων (Total Coliforms) στους 37^{o}C και των θερμοανθεκτικών κοπρανώδων κολοβακτηρίων (Feacal Coliforms) στους 44,5^{0}C. Τα ολικά κολοβακτήρια περιλαμβάνουν τα αερόβια και προαιρετικά αναερόβια μη σπορογόνα Gram-αρνητικά βακτήρια, τα οποία ζυμώνουν την λακτόζη με παραγωγή αερίου στους 37^{0}C. Τα κοπρανώδη κολοβακτήρια παράγουν ινδόλη από την τρυπτοφανή στους 44,5^{0}C και βρίσκονται στο γαστρεντερικό σωλήνα του ανθρώπου και των άλλων θερμόαιμων ζώων. Τα συστατικά του Membrane Lauryl Sulphate Agar αναφέρονται στον πίνακα 6.3

Πίνακας 6.3 Σύσταση του υποστρώματος MLSA

Συστατικά	**Συγκέντωση (g/L)**
Peptone	39
Yeast Extract	6
Lactose	30
Phenol Red	0,2
Sodium layril sulphate	1
Agar	15
pH	7,4 ± 0,2

Η προετοιμασία του θρεπτικού υποστρώματος γίνεται ως εξής:

- Διάλυση 76,2 g/L (Membrane Lauryl Sulphate Broth) και 15 g/L (Agar) σε απιονισμένο νερό στους 45 ^{0}C έτσι ώστε να δημιουργηθεί ένα ομοιογενές μείγμα.
- Τοποθέτηση σε κλίβανο αποστείρωσης στους 121^{0}C και 1,2 bar πίεση για 15 min .
- Το αποστειρωμένο διάλυμα, τοποθετείται σε τριβλία, όπου στη διάρκεια της διαδικασίας αυτής υπάρχει φλόγιστρο ώστε να διατηρηθούν οι αποστειρωμένες συνθήκες.
- Τα τριβλία με το υπόστρωμα διατηρούνται σε συνθήκες δωματίου μέχρι να στερεοποιηθούν και να στεγνώσουν. Μπορούν να διαφυλαχθούν στο ψυγείο για λίγες μέρες έως ότου χρησιμοποιηθούν για τη δειγματοληψία.
- Τα τριβλία επωάζονται σε επωαστικό θάλαμο στους 37^{0}C ή 44,5^{0}C αντίστοιχα για 48h.

Οι αποικίες των κολοβακτηρίων που αναπτύσσονται και καταμετρώνται έχουν κίτρινο χρώμα.

6.3.1.2. Nutrient Agar (NA)

Το Nutrient Agar είναι ένα επιλεκτικό μέσο για την ανίχνευση των ολικών ετερότροφων βακτηρίων. Τα ολικά ετερότροφα βακτήρια περιλαμβάνουν όλα τα αερόβια και αναερόβια βακτήρια που μπορούν να πολλαπλασιαστούν σε θρεπτικά υποστρώματα που περιέχουν απλά οργανικά στοιχεία (αμινοξέα, πεπτίδια και κυρίως υδατάνθρακες). Για τη δημιουργία του συγκεκριμένου υποστρώματος ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία: σε 1000ml απιονισμένου νερού προσθέτουμε 28 g NA. Στη συνέχεια μετά από καλή ανάδευση, τοποθετείται σε κλίβανο αποστείρωσης στους 121^0C και σε πίεση 1,2 bar για 15min. Στη συνέχεια το υπόστρωμα τοποθετείται στα τριβλία και κατόπιν αφού ολοκληρωθεί η δειγματοληψία με το δειγματολήπτη MAS 100, τα τριβλία επωάζονται σε επωαστικό θάλαμο για 48h στους 37^0C αν πρόκειται για τον προσδιορισμό των αλλόχθονων βακτηρίων ή στους 22^0C για 72h αν πρόκειται για προσδιορισμό των αυτόχθονων βακτηρίων. Καταμετρώνται όλες οι αποικίες που αναπτύσσονται ανεξάρτητα από το χρώμα τους. Τα συστατικά του Nutrient Agar αναφέρονται παρακάτω (Πίνακας 6.4)

Πίνακας 6.4 Σύσταση του υποστρώματος NA

Συστατικά	**Συγκέντρωση (g/L)**
Peptone	5
Beef Extract	3
Sodium chloride	8
Agar	12
pH	7,4 ± 0,2

6.3.1.3. Tryptone Soy Agar (TSA)

Το Tryptone Soy Agar είναι ένα επιλεκτικό μέσο για την ανίχνευση επίσης των ολικών ετερότροφων βακτηρίων. Για τη δημιουργία του συγκεκριμένου υποστρώματος ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία: σε 1000 ml απιονισμένου νερού προσθέτουμε 30 g Tryptone Soy Broth και 15 g Agar-Agar . Στη συνέχεια μετά από καλή ανάδευση, τοποθετείται σε κλίβανο αποστείρωσης στους 121^0C και σε 1,2 bar πίεση για 15min. Στη συνέχεια το υπόστρωμα τοποθετείται στα τριβλία και κατόπιν αφού ολοκληρωθεί η δειγματοληψία με το δειγματολήπτη MAS 100, τα τριβλία επωάζονται σε επωαστικό θάλαμο για 48h στους 37^0C αν πρόκειται για τον προσδιορισμό των αλλόχθονων βακτηρίων ή για 72h στους 22^0C για τον προσδιορισμό των αυτόχθονων βακτηρίων. Καταμετρώνται όλες οι αποικίες που αναπτύσσονται ανεξάρτητα από το χρώμα. Τα συστατικά του Tryptone Soy Agar αναφέρονται στον πίνακα 6.5.

Πίνακας 6.5 Σύσταση του υποστρώματος TSA

Συστατικά	**Συγκέντρωση (g/L)**
Tryptone (Casein Digest USP)	17
Soy Peptone	3
Sodium chloride	5
Dipotassium phosphate	2,5
Agar	15
Dextrose	2,5
pH	7,4 ± 0,2

6.3.1.4 Malt Exctract Agar (MEA)

Το Malt Exctract Agar είναι ένα επιλεκτικό μέσο για την ανίχνευση των μυκήτων. Για τη δημιουργία του συγκεκριμένου υποστρώματος ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία: σε 1000ml απιονισμένου νερού προσθέτουμε 20 g Malt Exctract Broth και 15 g Agar-Agar. Στη συνέχεια μετά από καλή ανάδευση, τοποθετείται σε κλίβανο αποστείρωσης στους 121^{0}C και σε πίεση 1,2 bar για 15min. Στη συνέχεια το υπόστρωμα τοποθετείται στα τριβλία και κατόπιν αφού ολοκληρωθεί η δειγματοληψία με το δειγματολήπτη MAS 100, τα τριβλία επωάζονται σε επωαστικό θάλαμο για 96h στους 25^{0}C. Τα συστατικά του Malt Exctract Agar αναφέρονται στον πίνακα 6.6.

Πίνακας 6.6 Σύσταση του υποστρώματος ΜΕΑ

Συστατικά	**Συγκέντωση (g/L)**
Malt Exctract	17
Mycological Peptone	3
Agar	15
pH	5,4+0,2

6.3.1.5 Slanetz & Bartley Medium (SBM)

Το Slanetz & Bartley Medium είναι ένα επιλεκτικό μέσο για την ανίχνευση των εντερόκοκκων. Για τη δημιουργία του συγκεκριμένου υποστρώματος ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία: σε 1000ml απιονισμένου νερού προσθέτουμε 43,5 g Slanetz & Bartley Medium. Στη συνέχεια μέχρι να διαλυθεί και το τοποθετούμε σε πλάκα ανάδευσης θερμαίνοντας το στους 47^{o}C. Μετά από επιπλέον 10min ανάδευσης σε αυτή τη θερμοκρασία το υπόστρωμα τοποθετείται στα τριβλία. Αφού ολοκληρωθεί η δειγματοληψία με το δειγματολήπτη MAS 100, τα τριβλία επωάζονται σε επωαστικό θάλαμο για 48h στους 37^{0}C. Οι αποικίες που αναπτύσσονται έχουν βαθύ κόκκινο (μωβ) χρώμα. Τα συστατικά του Slanetz & Bartley Medium αναφέρονται στον πίνακα 6.7.

Πίνακας 6.7 Σύσταση του υποστρώματος SBM

Συστατικά	**Συγκέντωση (g/L)**
Tryptone	20
Yeast Extract	5
Glucose	2
Dipotassium hydrogen phosphate	4
Sodium azide	0,4
2,3,4 Tetrazolium	0,1
Agar	12
pH	7,4 ± 0,2

6.4 Προσδιορισμός μετεωρολογικών παραμέτρων

Για τον έλεγχο της επίδρασης των μετεωρολογικών παραγόντων (θερμοκρασία, υγρασία, διεύθυνση και ταχύτητα του ανέμου και ηλιακή ακτινοβολία) στα αποτελέσματα πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε όλα τα σημεία δειγματοληψίας. Η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία προσδιορίστηκαν με ένα φορητό όργανο. Η διεύθυνση του ανέμου προσδιορίστηκε με πυξίδα. Η ταχύτητα του ανέμου προσδιορίστηκε με ανεμόμετρο. Κάθε μία ώρα λαμβάνονταν μετρήσεις της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας από πυρανόμετρο (Kipp and Zonen, Netherlands) τοποθετημένο σε ιστό ύψους 5 m από τη βάση του και τα αποτελέσματα εκφράζονταν σε W/m^2.

6.5 Προσδιορισμός της δόσης της ηλιακής ακτινοβολίας

Ως δόση ηλιακής ακτινοβολίας ορίζεται το γινόμενο της έντασης της υπεριώδους ακτινοβολίας επί το χρόνο έκθεσης.

Δόση ($Watt*sec/m^2$) = ένταση ($Watt/m^2$)*χρόνος (sec)

Στη συγκεκριμένη εργασία η δόση ισούται με την ολική ένεργεια που δέχονται οι μικροοργανισμοί στο συγκεκριμένο σημείο δειγματοληψίας, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε αδρανοποίηση ή ενεργοποίηση τους. Για παράδειγμα έστω ότι ο μέσος όρος της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας για το χρονικό διάστημα 8:00-9:00 είναι 300 W/m^2, τότε η δόση της ηλιακής ακτινοβολίας θα είναι:

300 W/m^2 * 3600 sec = 1.080.000 $(W *sec)/m^2$

Για τον υπολογισμό της συνολικής δόσης που δέχθηκαν οι μικροοργανισμοί μέχρι π.χ. τις 9:00 π.μ. θα πρέπει να προσθέσουμε τα γτινόμενα από τις ωριαίες δόσεις από τις πρώτες πρωινές ώρες μέχρι τις 9:00.

6.6 Μέτρηση H_2S, CO_2, SO_2, CH_4 και O_2 με τον πολυανιχνευτή αερίων

Παράλληλα με τον προσδιορισμό του μικροβιακού φορτίου σε αεροζόλ στη ΔΕΥΑ Χανίων, κατά την $3^η$ δειγματοληψία στις 13/04/2005, έγινε μέτρηση των αερίων H_2S, CO_2, SO_2, CH_4 και O_2 στα σημεία δειγματοληψίας. Οι

μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με έναν πολυανιχνευτή αερίων. Οι ενώσεις του θείου σε διαλύματα είναι πολύ δραστικές τόσο σαν οξειδωτικά όσο και σαν αναγωγικά, έτσι πολλά αποτελέσματα διάβρωσης υλικών μπορούν να σχετισθούν με τα επίπεδα των ενώσεων του θείου στην ατμόσφαιρα. Το SO_2 είναι τοξικό αέριο και σε συνδυασμό με τα αιωρούμενα σωματίδια επιδρά σοβαρά στο αναπνευστικό σύστημα και προκαλεί ή επιδεινώνει παθολογικές καταστάσεις. Επιπλέον είναι αέριος ρύπος που ευθύνεται για τη δημιουργία του φαινόμενου της καπνομίχλης και της όξινης βροχής. Το CO_2, αν και απαραίτητο για τη διατήρηση της ζωής στον πλανήτη και δεν είναι τοξικό για το περιβάλλον, έχει έμμεση επίδραση στην ρύπανση της ατμόσφαιρας. Λόγω της επίδρασης που έχει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου μπορεί να καταταχθεί στους αέριους ρύπους. Η μεγαλύτερη ποσότητα εκλύεται στην ατμόσφαιρα από βιολογικές διεργασίες (αναπνοή ζώων, φυτών, μεταβολισμός οργανισμών). Η μακροχρόνια έκθεση του οργανισμού σε συγκεκριμένες συγκεντρώσεις υδρογονανθράκων (C_vH_v, CH_4) τους καθιστά σε μερικές περιπτώσεις καρκινογόνους [4] [42].

6.7 Στατιστική ανάλυση

Βάσει του μαθηματικού μοντέλου που αναπτύχθηκε από τους Pascual *et al* [37] η συγκέντρωση των βιοαεροζόλ σε μια ΕΕΑΑ εξαρτάται από το στάδιο της επεξεργασίας, το σημείο δειγματοληψίας, την παροχή των υγρών αποβλήτων στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας του βιολογικού καθαρισμού και την ταχύτητα του ανέμου στον περιβάλλοντα χώρο (πίνακας 6.8). Επίσης βάσει του προαναφερθέντος μοντέλου η συγκέντρωση των βιοαεροζόλ δεν εξαρτάται άμεσα από μικρές μεταβολές της σχετικής υγρασίας και της θερμοκρασίας. Παρακάτω αναφέρεται η διαδικασία λειτουργίας του μοντέλου πίνακα 6.8 [37].

Πίνακας 6.8 Μαθηματικό μοντέλο υπολογισμού της συγκέντρωσης των βιοαεροζόλ σε log(CFU/m^3) [6].

Log (CFU/m^3) = [-3,848 + ((2,384*10^{-4})*παροχή) – (0,125*ταχύτητα ανέμου) + (3,329*παράμετρος1) + (1,701*παράμετρος2) + (2,175*παράμετρος3) + (2,848*παράμετρος4) + (0*παράμετρος5) + (1,117*στάδιο1) + (1,117*στάδιο2) + (0,242*στάδιο3) +(0*στάδιο4) – (0,416*παράμετρος1*στάδιο1) – (0,879*παράμετρος1*στάδιο2) – (0,530*παράμετρος1*στάδιο3) + (0*παράμετρος1*στάδιο4) – (0,295*παράμετρος2*στάδιο1) – (0,555*παράμετρος2*στάδιο2) – (0,482*παράμετρος2*στάδιο3) + (0*παράμετρος2*στάδιο4) – (0,408*παράμετρος3*στάδιο1) – (0,727*παράμετρος3*στάδιο2) – (0,553*παράμετρος3*στάδιο3) + (0*παράμετρος3*στάδιο4) – (0,683*παράμετρος4*στάδιο1) –(0,933*παράμετρος4*στάδιο2) + (0*παράμετρος4*στάδιο3) + (0*παράμετρος5*στάδιο3) +(0*παράμετρος5*στάδιο2)+(0*παράμετρος5+στάδιο3)+ ε]

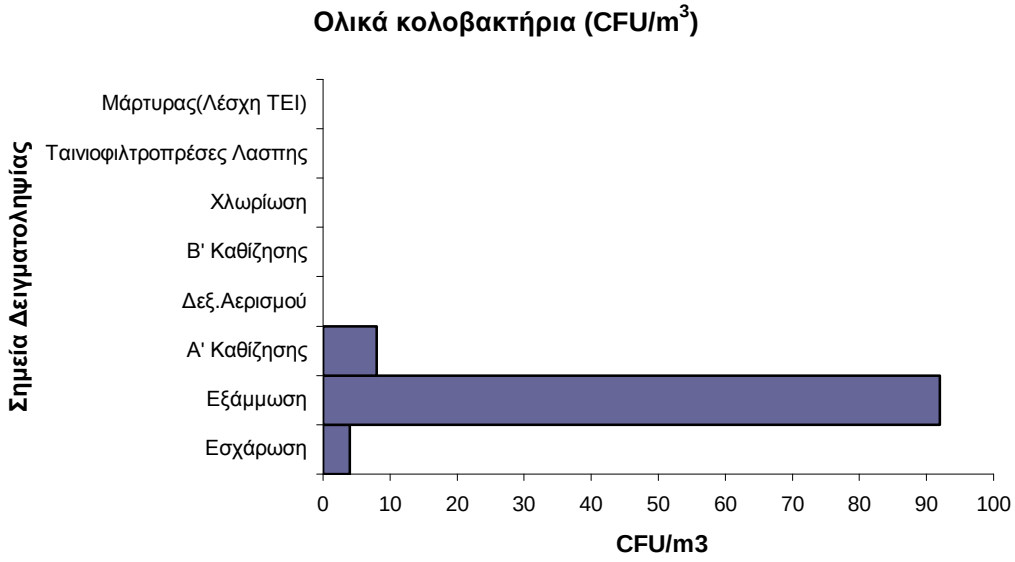
Όπου:
Αριθμητικοί παράμετροι
Παροχή: ημερήσια παροχή στην ΕΕΑΑ (m^3/day)

Ταχύτητα ανέμου: ταχύτητα ανέμου στο σημείο δειγματοληψίας (m/s). 0 m/s ταχύτητα του ανέμου χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του log (CFU/m^3) στην προεπεξεργασία και στις ταινιοφιλτροπρέσες Λάσπης. Το μοντέλο εφαρμόσθηκε χωρίς επιπλέον αλλαγές στην παρούσα εργασία.
Παράμετρος1: ολικά ετερότροφα βακτήρια (τοποθετείται ο αριθμός 1 αν η παράμετρος1 εξετάζεται, ενώ τοποθετείται ο αριθμός 0 δεν εξετάζεται η παράμετρος 1)
Παράμετρος2: κοπρανώδη θερμοανθεκτικά κολοβακτήρια (τοποθετείται ο αριθμός 1 αν η παράμετρος 2 εξετάζεται, ενώ τοποθετείται ο αριθμός 0 αν δεν εξετάζεται η παράμετρος 2)
Παράμετρος3: ολικά κολοβακτήρια (τοποθετείται ο αριθμός 1 αν η παράμετρος3 εξετάζεται, ενώ τοποθετείται ο αριθμός 0 αν δεν εξετάζεται η παράμετρος 3)
Παράμετρος4: μύκητες (τοποθετείται ο αριθμός 1 αν η παράμετρος4 εξετάζεται, ενώ τοποθετείται ο αριθμός 0 αν δεν εξετάζεται η παράμετρος 4)
Παράμετρος5: *P. Aeruginosa* (τοποθετείται ο αριθμός 1 αν η παράμετρος5 εξετάζεται, ενώ τοποθετείται ο αριθμός 0 αν δεν εξετάζεται η παράμετρος 5)
Στάδιο1: πρωτοβάθμια επεξεργασία (τοποθετείται ο αριθμός 1 αν η στάδιο1 εξετάζεται, ενώ τοποθετείται ο αριθμός 0 αν δεν εξετάζεται το στάδιο1)
Στάδιο2: Α' δεξαμενή καθίζησης (τοποθετείται ο αριθμός 1 αν η στάδιο2 εξετάζεται, ενώ τοποθετείται ο αριθμός 0 αν δεν εξετάζεται το στάδιο2)
Στάδιο3: δεξαμενή αερισμού (τοποθετείται ο αριθμός 1 αν η στάδιο3 εξετάζεται, ενώ τοποθετείται ο αριθμός 0 αν δεν εξετάζεται το στάδιο3)
Στάδιο4: ταινιοφιλτροπρέσες λάσπης (τοποθετείται ο αριθμός 1 αν η στάδιο4 εξετάζεται, ενώ τοποθετείται ο αριθμός 0 αν δεν εξετάζεται το στάδιο4)

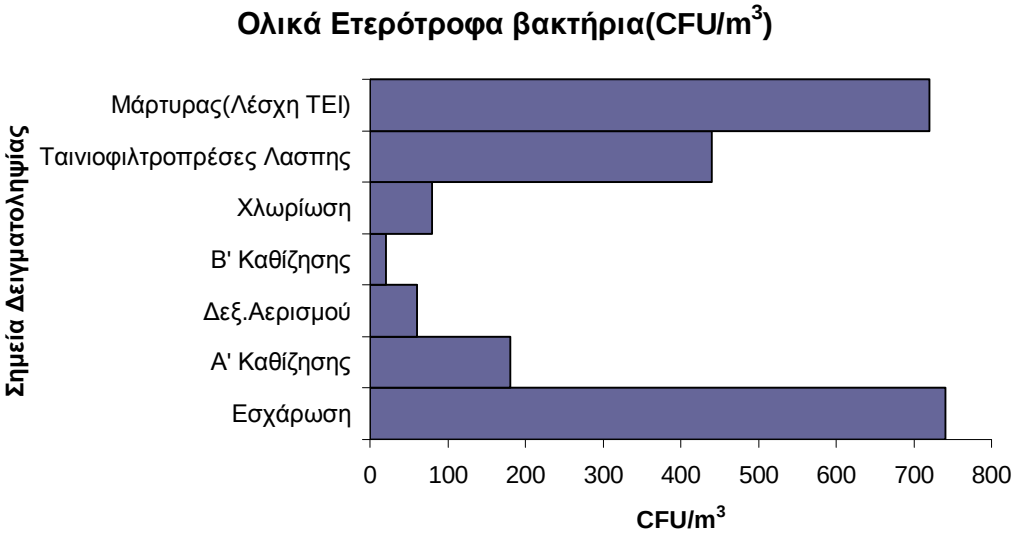
Κεφάλαιο 7

7.1. Παρουσίαση αποτελεσμάτων δειγματοληψιών στην ΕΕΑΑ του Δήμου Χανίων

1η Δειγματοληψία 16/03/05



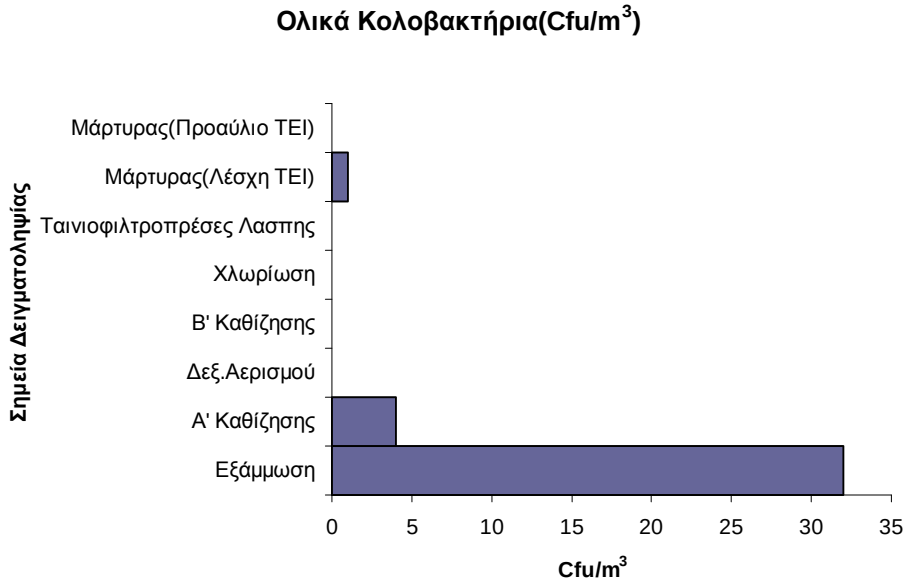
Διάγραμμα 7.1. Προσδιορισμός ολικών κολοβακτηρίων κατά την δειγματοληψία στην ΕΕΑΑ Χανίων στις 16/03/05. Ο όγκος δειγματοληψίας ήταν 250L.



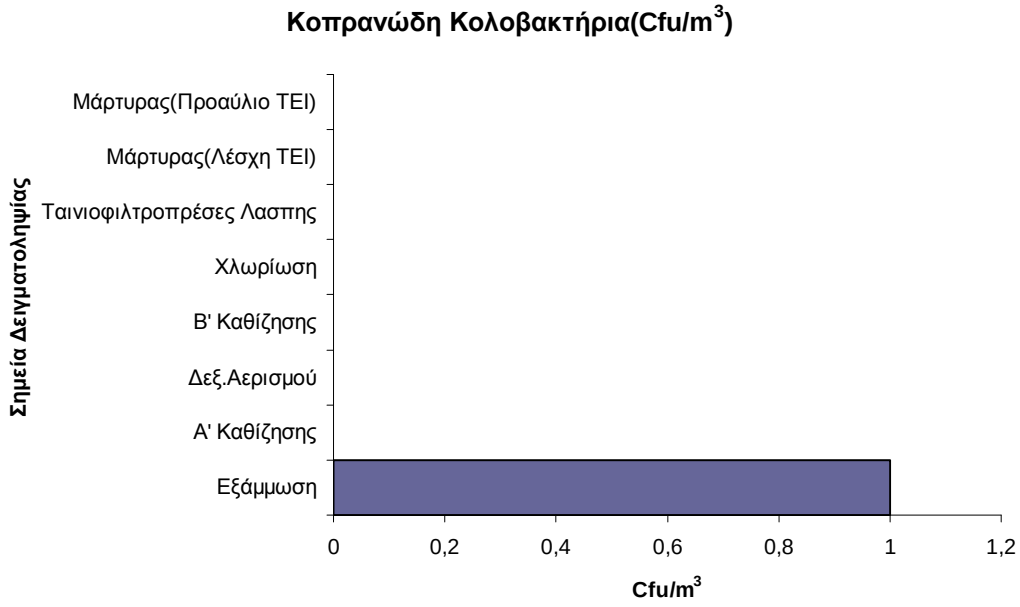
Διάγραμμα 7.2. Προσδιορισμός ολικών ετερότροφων βακτηρίων σε θρεπτικό υπόστρωμα ΝΑ κατά την δειγματοληψία στην ΕΕΑΑ Χανίων στις 16/03/05. Ο όγκος δειγματοληψίας ήταν 50L.

Η 1η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στις 16/03/05 τις πρωινές ώρες (10:00-14:00) με σκοπό τον προσδιορισμό του βέλτιστου όγκου δειγματοληψίας ανά σημείο και κατηγορία μικροοργανισμών. Τα σημεία στα οποία πραγματοποιήθηκε η δειγματοληψία αναγράφονται στα διαγράμματα 7.1, 7.2 και φαίνονται στην εικόνα 3.1. Η ημερήσια παροχή αστικών λυμάτων στην ΕΕΑΑ Χανίων αυτή τη μέρα ήταν 16.958 m^3/day. Η θερμοκρασία κυμαινόταν από 21,9^{0}C έως 25,9^{0}C, η σχετική υγρασία από 39% έως 53% και επικρατούσε ΒΒΔ άνεμος με ταχύτητα από 0,5 έως 1,4 m/s. Η ηλιακή ακτινοβολία αυξήθηκε σταδιακά κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας από 6,8 σε 859 W/m^2. Οι όγκοι αέρα της δειγματοληψίας που αναφέρονται και στο παράρτημα ήταν για τα ολικά και κοπρανώδη κολοβακτήρια 250L και για τα ολικά ετερότροφα βακτήρια 50L. Από τα αποτελέσματα διαπιστώθηκε, ότι για τα ολικά και κοπρανώδη κολοβακτήρια δεν ήταν επαρκής ο όγκος δείγματος πλην του σημείου δειγματοληψίας στη διαδικασία της εξάμμωσης, όπου η συγκέντρωση των ολικών κολοβακτηρίων ήταν 92 CFU/m^3 (διάγραμμα 7.1). χαμηλές συγκεντρώσεις ολικών κολοβακτηρίων μετρήθηκαν επίσης στο χώρο της εξάμμωσης καθώς και στη Δεξαμενή Α' Καθίζησης. Η ύπαρξη αυξημένου αριθμού ολικών κολοβακτηρίων (92 CFU/m^3) στην διαδικασία της εξάμμωσης οφείλεται στο ότι οι δεξαμενές βρίσκονται σε στεγαζόμενο, κλειστό χώρο, τα απόβλητα δεν είναι επεξεργασμένα και αναδεύονται έντονα. Λόγω του μικρού όγκου δειγματοληψίας (250L) τα κοπρανώδη κολοβακτήρια δεν ήταν ανιχνεύσιμα στις δεξαμενές Α' Καθίζησης, Αερισμού, Β' Καθίζησης, Χλωρίωσης και Ταινιοφιλτροπρέσες Λάσπης, οπού πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις. Ολικά ετερότροφα βακτήρια εντοπίστηκαν σε όλα τα στάδια της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων εκτός από την εξάμμωση όπου δεν πραγματοποιήθηκε μέτρηση. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις βρέθηκαν στην εσχάρωση (740 CFU/m^3 διάγραμμα 7.2). η συγκέντρωση αυτή ήταν ίδια με τη συγκέντρωση των ολικών ετερότροφων βακτηρίων στον αντίστοιχο μάρτυρα ενός κλειστού χώρου, χωρίς καλό εξαερισμό και με έντονη ανθρώπινη δραστηριότητα (διάγραμμα 7.2). Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι παρατηρήθηκε μια σταδιακή μείωση του αριθμού των ολικών ετερότροφων βακτηρίων κατά την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων από την εσχάρωση μέχρι την Δεξαμενή Β' Καθίζησης ενώ κατά τη διαδικασία της χλωρίωσης παρατηρήθηκε μία σχετική αύξηση. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις των ολικών ετερότροφων βακτηρίων μετρήθηκαν κατά τη διαδικασία της εσχάρωσης και κατά τη διαδικασία της αφυδάτωσης της λάσπης και ήταν συγκρίσιμες με αυτές του μάρτυρα σε κλειστό χώρο.

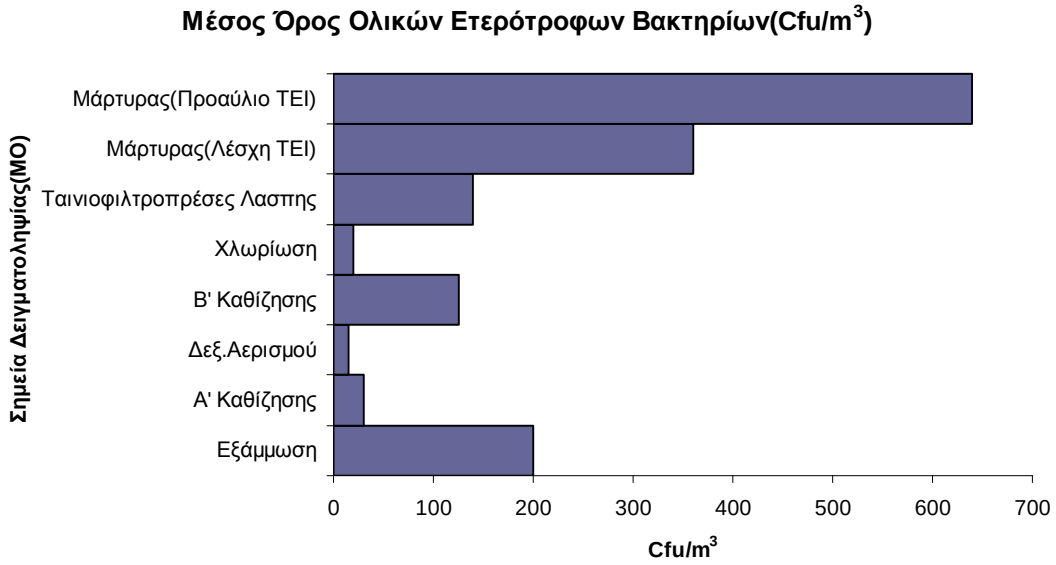
2η Δειγματοληψία 30/03/05



Διάγραμμα 7.3. Προσδιορισμός ολικών κολοβακτηρίων κατά την δειγματοληψία στην ΕΕΑΑ Χανίων στις 30/03/05. Ο όγκος δειγματοληψίας ήταν 250L στις δεξαμενές Εξάμμωσης, Α' Καθίζησης, Αερισμού, Β' Καθίζησης και 1000L στη δεξαμενή Χλωρίωσης, Ταινιοφιλροπρέσες Λάσπης και στους μάρτυρες.



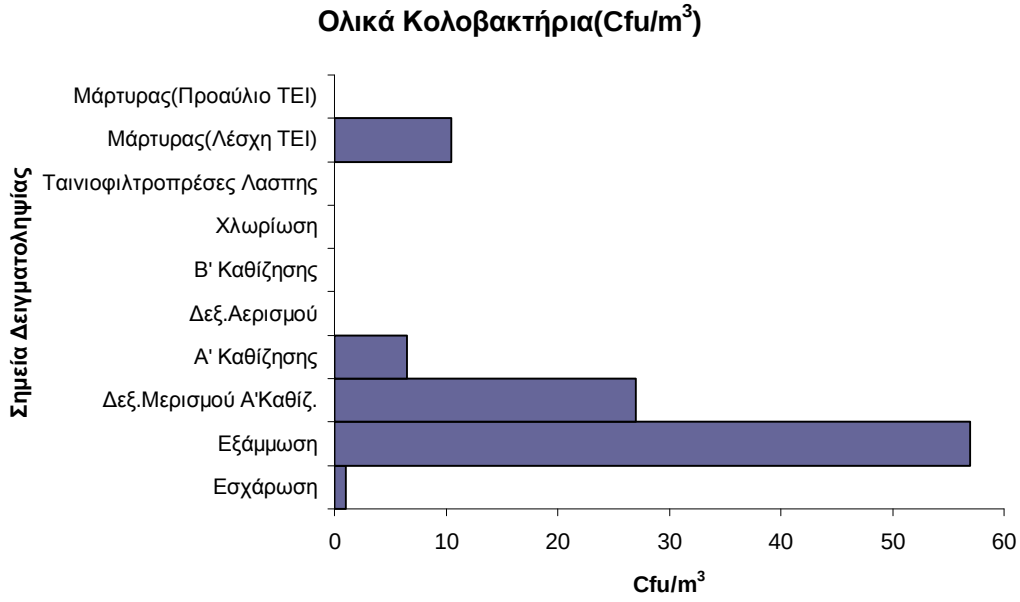
Διάγραμμα 7.4. Προσδιορισμός κοπρανωδών κολοβακτηρίων κατά την δειγματοληψία στην ΕΕΑΑ Χανίων στις 30/03/05. Ο όγκος δειγματοληψίας ήταν 1000L.



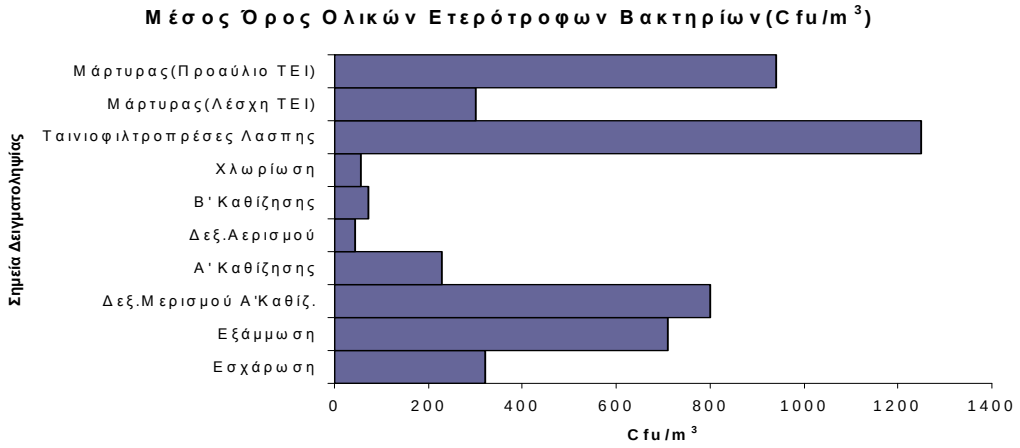
Διάγραμμα 7.5. Προσδιορισμός ολικών ετερότροφων βακτηρίων σε θρεπτικό υπόστρωμα ΝΑ κατά την δειγματοληψία στην ΕΕΑΑ Χανίων στις 30/03/05. Ο όγκος δειγματοληψίας ήταν 50L στη δεξαμενή Εξάμμωσης, στις Ταινιοφιλτροπρέσες Λάσπης, στο μάρτυρα στη φοιτητική λέσχη σίτισης και 100L στις δεξαμενές Α' Καθίζησης, Αερισμού, Β' Καθίζησης, Χλωρίωσης καθώς και στο μάρτυρα στον προαύλιο χώρο του ΤΕΙ.

Η 2η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στις 30/03/05 τις πρωινές ώρες (10:00-14:00). Τα σημεία, στα οποία πραγματοποιήθηκε η δειγματοληψία αναγράφονται στα (Διαγράμματα 7.3, έως 7.5). Η ημερήσια παροχή αυτή τη μέρα ήταν 18.012 m^3/day. Η θερμοκρασία κυμαινόταν από 21,9^{0}C έως 25,9^{0}C, η σχετική υγρασία από 39% έως 53% και επικρατούσε ΒΒΔ άνεμος με ταχύτητα από 0,5 έως 1,4 m/s. Η ηλιακή ακτινοβολία αυξήθηκε σταδιακά κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας από 125,7 σε 796 W/m^2. Κατά την 2^η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε μια αναπροσαρμογή των όγκων δειγματοληψίας αέρα όπου κρίθηκε αναγκαίο για πιο ικανοποιητικά αποτελέσματα (βλέπε παράρτημα). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι μετρήθηκαν υψηλές συγκεντρώσεις ποσά ολικών κολοβακτηρίων στην Δεξαμενή Εξάμμωσης (32 CFU/m^3). Επίσης προσδιορίστηκε η ύπαρξη ολικών κολοβακτηρίων στην Α΄ Δεξ. Καθίζησης (4 CFU/m^3) και στο μάρτυρα στη λέσχη του ΤΕΙ (1 CFU/m^3) (διάγραμμα 7.3). Τα κοπρανώδη κολοβακτήρια ήταν ανιχνεύσιμα μόνο στη δεξαμενή Εξάμμωσης (1CFU/m^3) σε όγκο δείγματος 100 L. Ολικά ετερότροφα βακτήρια εντοπίστηκαν σε όλα τα στάδια, στα οποία έγινε δειγματοληψία (διάγραμμα 7.5). Στη συγκεκριμένη δειγματοληψία η υψηλότερη συγκέντρωση ολικών ετερότροφων βακτηρίων ήταν στον προαύλιο χώρο του ΤΕΙ (μάρτυρας) (320 CFU/m^3). Η παρατήρηση της σταδιακής μείωσης των ολικών κολοβακτηρίων κατά την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων επιβεβαιώθηκε με την εξαίρεση σε αυτή τη δειγματοληψία της δεξαμενής Β' Καθίζησης. Η συγκέντρωση των ολικών ετερότροφων βακτηρίων σε όλες τις διαδικασίες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων ήταν χαμηλότερη από τη συγκέντρωση στους μάρτυρες, οι οποίοι είχαν υψηλότερες συγκεντρώσεις.

3η Δειγματοληψία 13/04/05



Διάγραμμα 7.6. Προσδιορισμός ολικών κολοβακτηρίων κατά την δειγματοληψία στην ΕΕΑΑ Χανίων στις 13/04/05. Ο όγκος δειγματοληψίας ήταν 1000L στις δεξαμενές Εξάμμωσης, Εσχάρωσης, Α' Καθίζησης, Μερισμού και 2000L στις δεξαμενές, Αερισμού, Β' Καθίζησης, Χλωρίωσης, Ταινιοφιλροπρέσες Λάσπης και στους μάρτυρες.



Διάγραμμα 7.7. Προσδιορισμός ολικών ετερότροφων βακτηρίων σε θρεπτικό υπόστρωμα ΝΑ κατά την δειγματοληψία στην ΕΕΑΑ Χανίων στις 13/04/05. Ο όγκος δειγματοληψίας ήταν 50L στις δεξαμενές Εσχάρωσης, Μερισμού, και στο μάρτυρα στη φοιτητική λέσχη σίτισης, ενώ ήταν 100L στη δεξαμενή Εξάμμωσης και στο μάρτυρα στον προαύλιο χώρο του ΤΕΙ και 250L στις δεξαμενές Α' Καθίζησης, Αερισμού, Β' Καθίζησης, Χλωρίωσης, και στις Ταινιοφιλτροπρέσες Λάσπης.

Η 3η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στις 13/04/05 τις πρωινές ώρες (10:00-15:00). Τα σημεία, στα οποία πραγματοποιήθηκε η δειγματοληψία αναγράφονται στα (Διαγράμματα 7.6 και 7.7). Η ημερήσια παροχή αυτή τη μέρα ήταν 19.423 m^3/day. Η θερμοκρασία κυμαινόταν από 13,4^{0}C έως 24^{0}C, η σχετική υγρασία από 30% έως 36% και επικρατούσε ΝΝΔ άνεμος με ταχύτητα από 1,4 έως 6,7 m/s. Η ηλιακή ακτινοβολία αυξήθηκε σταδιακά κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας από 331 έως 845 W/m^2. Κατά την 3^η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε μια περαιτέρω αύξηση του όγκου αέρα δειγματοληψίας όσον αφορά τον προσδιορισμό των κολοβακτηρίων από τα 1000L στα 2000L στα σημεία δειγματοληψίας που δεν ήταν ανιχνεύσιμα κατά τις προηγούμενες δειγματοληψίες για την διεξαγωγή πιο ικανοποιητικών αποτελεσμάτων. Έτσι προσδιορίστηκαν ανιχνεύσιμες συγκεντρώσεις ολικών κολοβακτηρίων στις διαδικασίες της Εσχάρωσης (1 CFU/m^3), Εξάμμωσης (57 CFU/m^3), Μερισμού Α' Καθίζησης (27 CFU/m^3), Α' Καθίζησης (6,5 CFU/m^3) καθώς και στο μάρτυρα στη Λέσχη (10,5 CFU/m^3). Τα θερμοανθεκτικά κοπρανώδη κολοβακτήρια προσδιορίστηκαν ενδεικτικά μόνο στο στάδιο της Εξάμμωσης (3 CFU/m^3) και της Α' Δεξ. Καθίζησης (1 CFU/m^3) όπου είχαν συγκριτικά χαμηλές συγκεντρώσεις αλλά ανιχνεύσιμες. Τα ολικά ετερότροφα βακτήρια είχαν συγκεντρώσεις αντίστοιχες του εκάστοτε μάρτυρα (κλειστού ή ανοιχτού χώρου αντίστοιχα) (διάγραμμα 7.7). Ο υψηλότερος αριθμός των ολικών ετερότροφων βακτηρίων ήταν κατά την αφυδάτωση της λάσπης (1.250 CFU/m^3) προφανώς λόγω της συμπύκνωσης της και του μεγάλου μικροβιακού φορτίου που περιείχε (διάγραμμα 7.7). Κατά την 3^η δειγματοληψία προσδιορίστηκαν εκτός των προαναφερθέντων παραμέτρων και οι συγκεντρώσεις των αερίων H_2S, CO_2, SO_2, CH_4 και O_2 στα σημεία δειγματοληψίας. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 7.1.

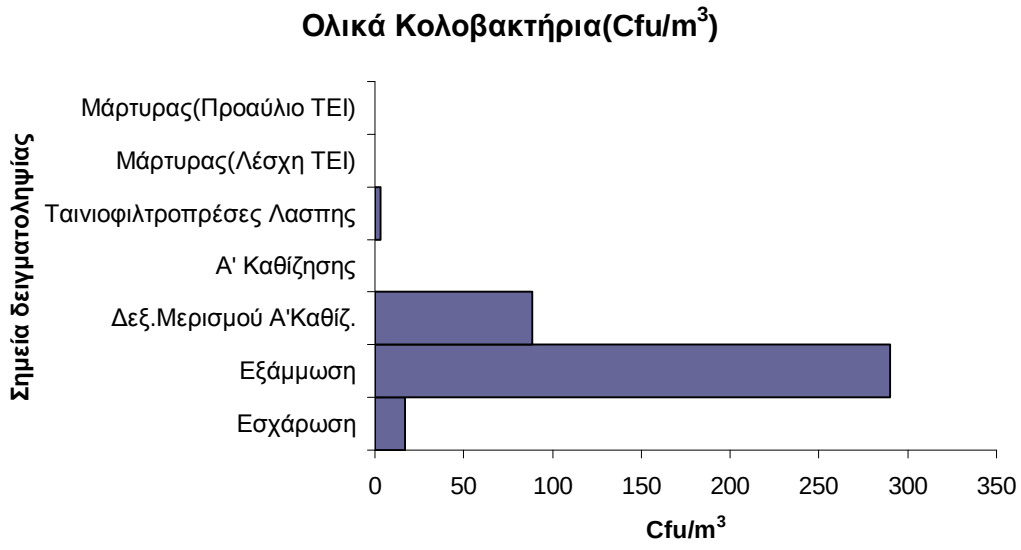
Πίνακας 7.1 Μέτρηση αέριων ρύπων στις 13/04/05 στην ΕΕΑΑ Χανίων.

	H_2S (ppm)	**CO_2 (ppm)**	**SO_2 (ppm)**	**CH_4 (LEL)**	**O_2 (%)**
Εσχάρωση	1,5	600	0	0	20,9
Λιποσυλλογή	1,5	700	0	0	20,9
Δεξ.Μερισμού Α'Καθίζ.	3	700	0	0	20,9
Α' Καθίζησης	1,5-44,5	600	0	0	20,9
Δεξ.Αερισμού	0	500	0	0	20,9
Β' Καθίζησης	0	500	0	0	20,9
Χλωρίωση	0	500	0	0	20,9
Ταινιοφιλτροπρέσες Λάσπης	0	500	0	0	20,9

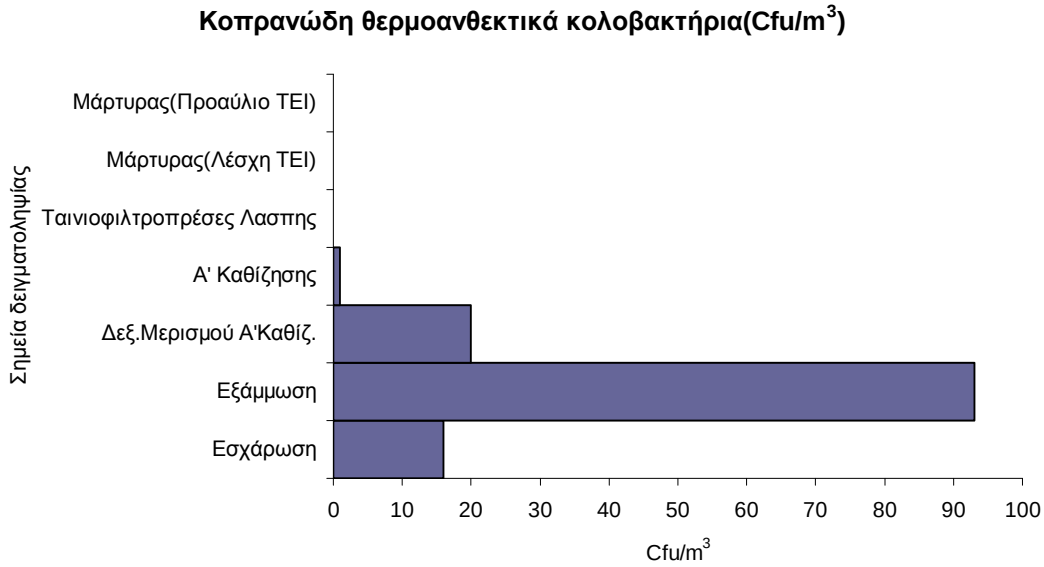
Όπως φαίνεται και από τον πίνακα 7.1 μετρήθηκαν συγκεντρώσεις H_2S από 1,5 έως 44,5 ppm στα στάδια της προεπεξεργασίας και της πρωτοβάθμιας καθίζησης, ενώ στα επόμενα στάδια μετρήθηκαν μηδενικές συγκεντρώσεις. Οι συγκεντρώσεις του CO_2 ήταν αυξημένες και κυμαίνονταν από 500 έως 700 ppm. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις ήταν στην

προεπεξεργασία και πρωτοβάθμια καθίζηση των υγρών αποβλήτων. Οι συγκεντρώσεις του μεθανίου και του διοξειδίου του θείου ήταν μηδενικές σε όλα τα στάδια, ενώ η συγκέντρωση του O_2 ήταν στα φυσιολογικά όρια.

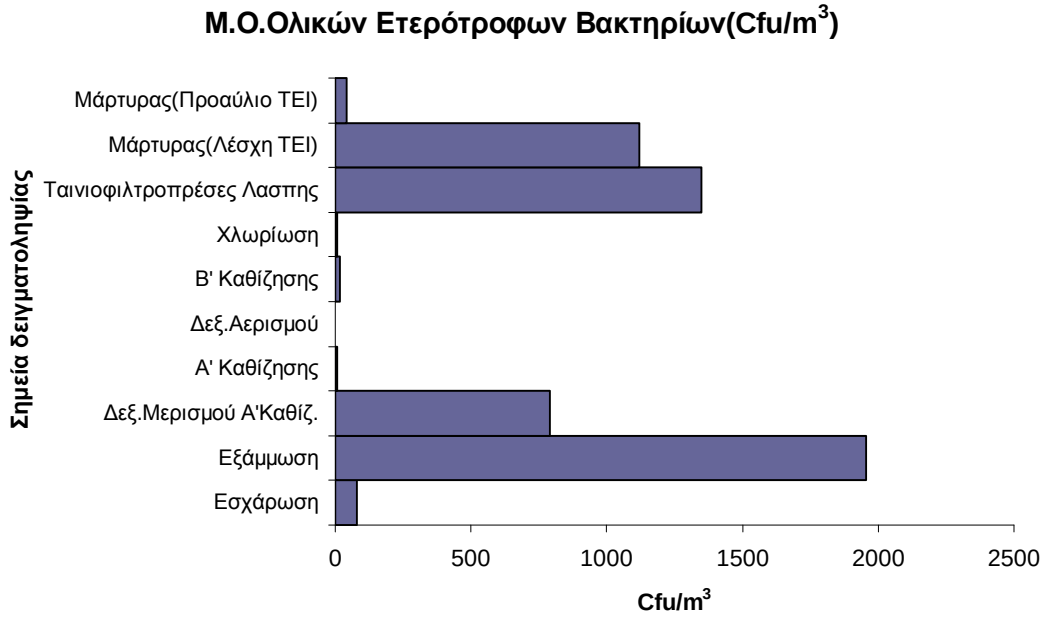
4η Δειγματοληψία 25/05/05



Διάγραμμα 7.8. Προσδιορισμός ολικών κολοβακτηρίων κατά την δειγματοληψία στην ΕΕΑΑ Χανίων στις 25/05/05. Ο όγκος δειγματοληψίας ήταν 2000L.



Διάγραμμα 7.9. Προσδιορισμός κοπρανωδών κολοβακτηρίων κατά την δειγματοληψία στην ΕΕΑΑ Χανίων στις 25/05/05. Ο όγκος δειγματοληψίας ήταν 2000L.

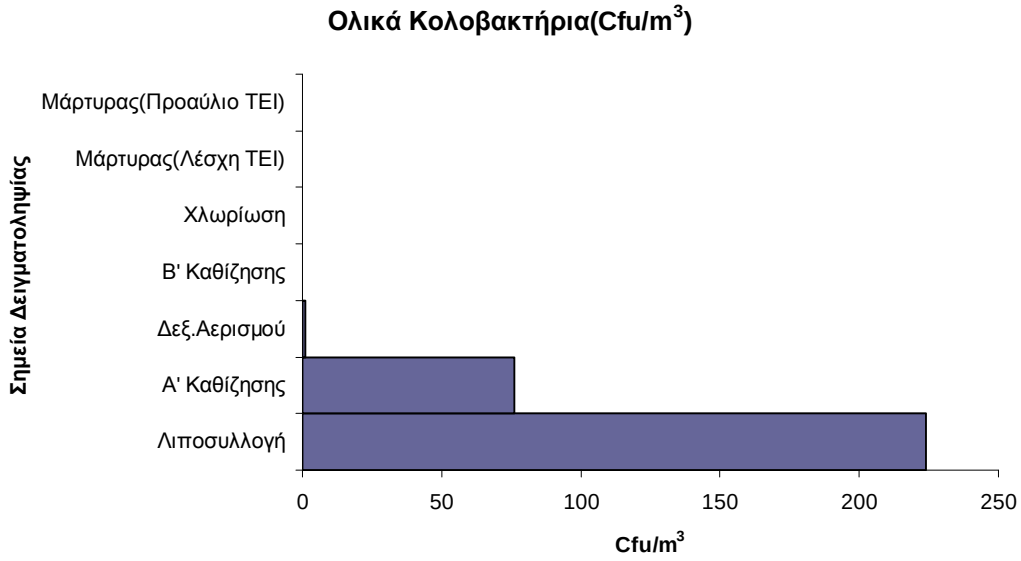


Διάγραμμα 7.10. Προσδιορισμός ολικών ετερότροφων βακτηρίων σε θρεπτικό υπόστρωμα ΝΑ κατά την δειγματοληψία στην ΕΕΑΑ Χανίων στις 13/04/05. Ο όγκος δειγματοληψίας ήταν 50L στις δεξαμενές Εσχάρωσης, Μερισμού, και στο μάρτυρα στη φοιτητική λέσχη σίτισης, ενώ ήταν 100L στη δεξαμενή Εξάμμωσης και στο μάρτυρα στον προαύλιο χώρο του ΤΕΙ και 250L στις δεξαμενές Α' Καθίζησης, Αερισμού, Β' Καθίζησης, Χλωρίωσης και στις Ταινιοφιλτροπρέσες Λάσπης.

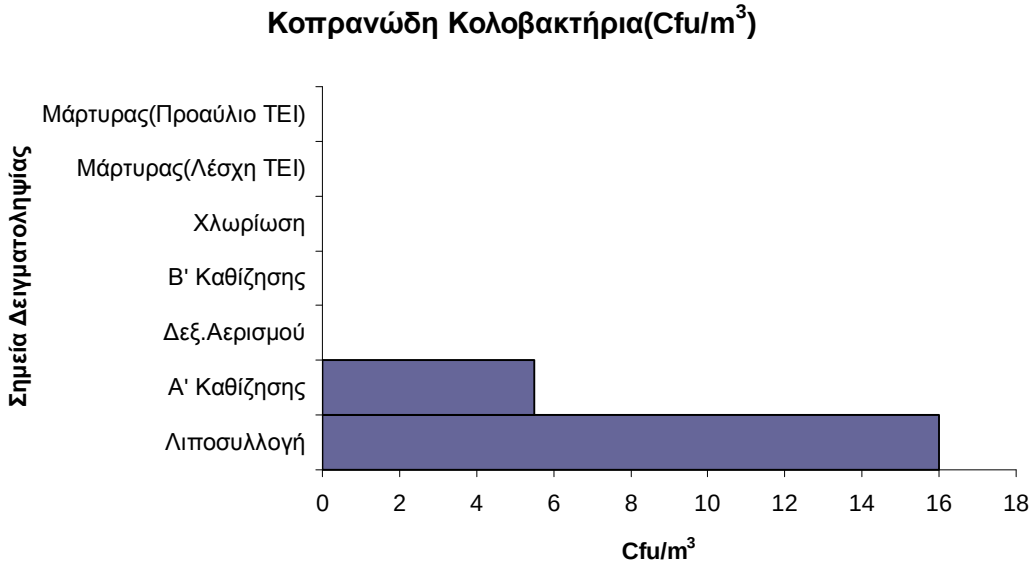
Η 4η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στις 25/05/05 τις πρωινές ώρες (10:00-15:00). Τα σημεία στα οποία πραγματοποιήθηκε η δειγματοληψία αναγράφονται στα (διαγράμματα 7.8 έως 7.10). Η ημερήσια παροχή αυτή τη μέρα ήταν 15.914 m^3/day. Η θερμοκρασία κυμαινόταν από 25,9^{0}C έως 27,9^{0}C, η σχετική υγρασία από 42% έως 85% και επικρατούσε ΒΒΑ άνεμος με ταχύτητα από 1,1 έως 2,1 m/s. Η ηλιακή ακτινοβολία αυξήθηκε σταδιακά κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας από 442,2 σε 653 W/m^2. Στην 4^η δειγματοληψία δεν πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες στις Δεξαμενές Αερισμού, Β' Καθίζησης και Χλωρίωσης για τα ολικά και κοπρανώδη κολοβακτήρια γιατί δεν ήταν ανιχνεύσιμα σε καμία από τις προηγούμενες δειγματοληψίες ακόμη και με τον υψηλότερο δυνατό όγκο δειγματοληψίας των 2000L (βλέπε παράρτημα). Και κατά την 4^η δειγματοληψία με τους βελτιστοποιημένους όγκους δείγματος αέρα παρατηρήθηκε η γνωστή από τις προηγούμενες δειγματοληψίες σταδιακή μείωση των ολικών και κοπρανωδών κολοβακτηρίων στα βιοαεροζόλ κατά τη μετάβαση από την πρωτοβάθμια στη δευτεροβάθμια επεξεργασία υγρών αποβλήτων. Τα ολικά κολοβακτήρια είχαν υψηλές συγκεντρώσεις στην Εξάμμωση (290 CFU/m^3) στην Δεξ. Μερισμού (93 CFU/m^3) και στην Εσχάρωση (16 CFU/m^3) (διάγραμμα 7.8). Κατά αναλογία στις ίδιες δεξαμενές προσδιορίστηκαν τα θερμοανθεκτικά κοπρανώδη κολοβακτήρια συγκεντρώσεις (διάγραμμα 7.9), που παρατηρείται μια αύξηση σε σχέση με

την προηγούμενη δειγματοληψία στους εσωτερικούς χώρους δειγματοληψίας, πιθανόν λόγω της αυξημένης σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας. Στα ολικά ετερότροφα βακτήρια παρατηρήθηκε μείωση της συγκέντρωσής τους σε όλους τους ανοιχτούς χώρους, πιθανότατα λόγω της επίδρασης της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας (διάγραμμα 7.10). Αντίθετα σε όλους τους κλειστούς χώρους (Εσχάρωση, Εξάμμωση, Μερισμός, Λάσπη, μάρτυρας Λέσχη) παρατηρήθηκε αύξηση της συγκέντρωσης τους πιθανότατα λόγω της αυξημένης θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας.

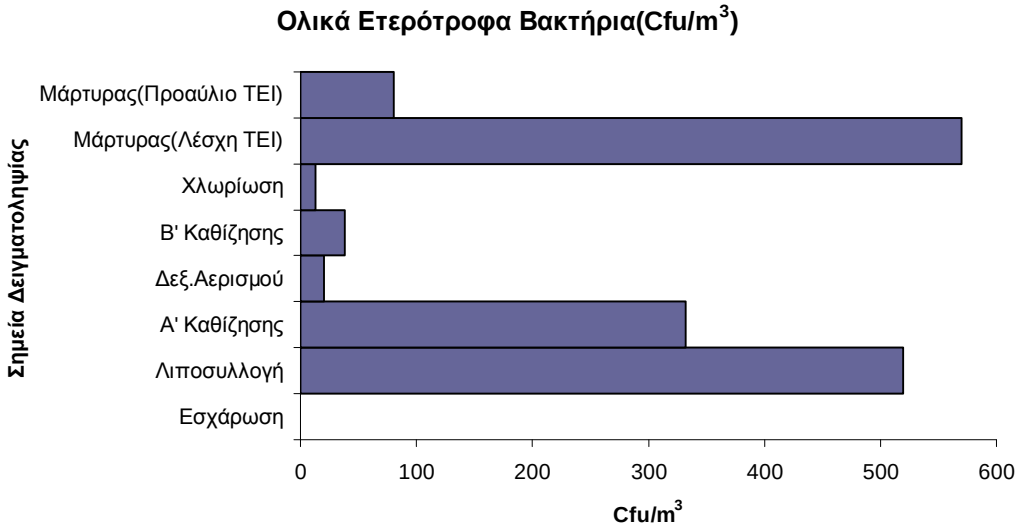
5η Δειγματοληψία 31/05/05



Διάγραμμα 7.11. Προσδιορισμός ολικών κολοβακτηρίων κατά την δειγματοληψία στην ΕΕΑΑ Χανίων στις 31/05/05. Ο όγκος δειγματοληψίας ήταν 500L στη Δεξ. Εξάμμωσης και 2000L στα υπόλοιπα σημεία δειγματοληψίας.



Διάγραμμα 7.12. Προσδιορισμός κοπρανωδών κολοβακτηρίων κατά την δειγματοληψία στην ΕΕΑΑ Χανίων στις 31/05/05. Ο όγκος δειγματοληψίας ήταν 1000L στην Δεξ. Εξάμμωσης και 2000L στα υπόλοιπα σημεία δειγματοληψίας.

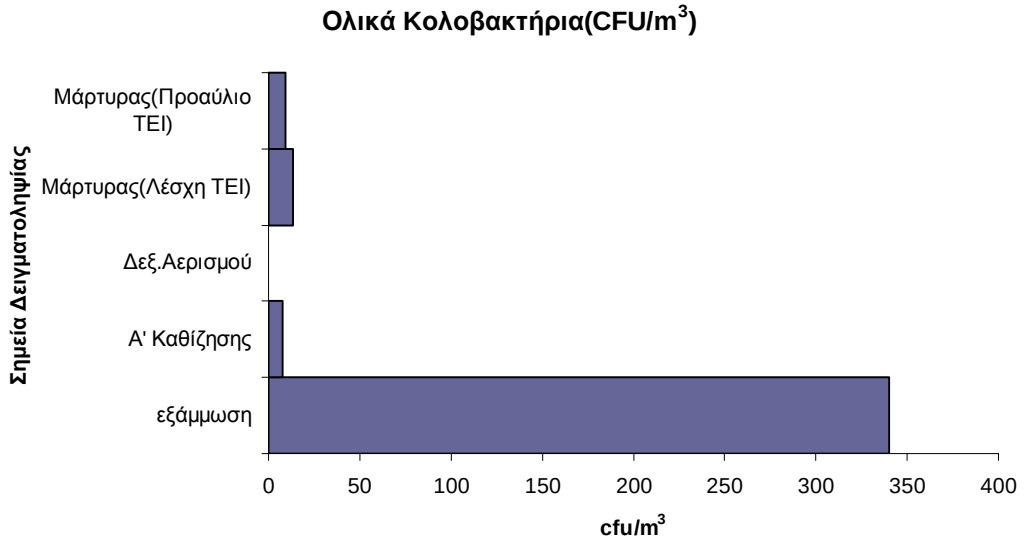


Διάγραμμα 7.13. Προσδιορισμός ολικών ετερότροφων βακτηρίων σε θρεπτικό υπόστρωμα ΝΑ κατά την δειγματοληψία στην ΕΕΑΑ Χανίων στις 31/05/05. Ο όγκος δειγματοληψίας ήταν 50L στην δεξαμενή Εξάμμωσης, 100L στους μάρτυρες, 250L στην Α' Δεξ. Καθίζησης, 500L στις Δεξαμενές Αερισμού και Β' Καθίζησης και 1000L στην Δεξαμενή Χλωρίωσης.

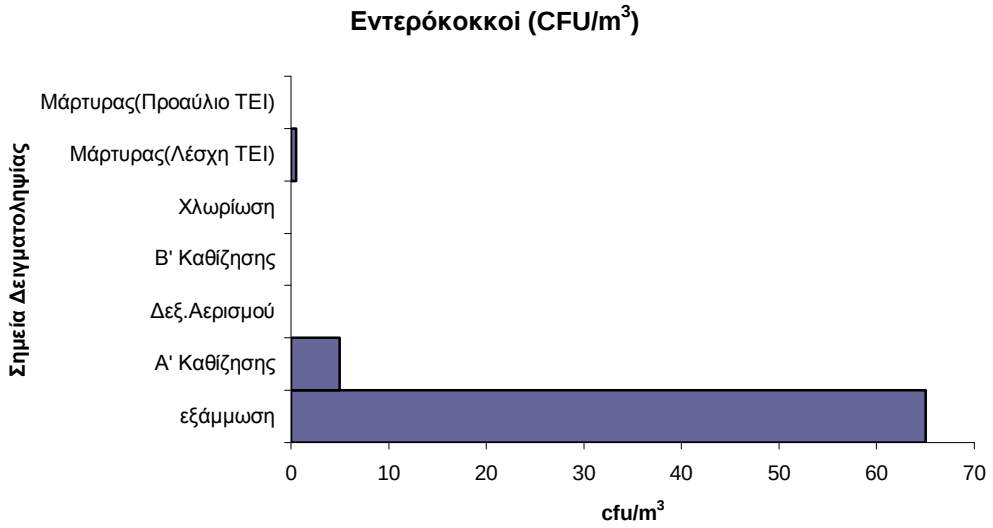
Η 5η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στις 31/05/05 το απόγευμα προς βράδυ (16:30-21:00). Τα σημεία στα οποία πραγματοποιήθηκε η δειγματοληψία αναγράφονται στα (διαγράμματα 7.11εώς 7.13). Η ημερήσια παροχή αυτή τη μέρα ήταν 16.586 m3/day. Η θερμοκρασία κυμαινόταν από

26^0C έως $29,9^0$C, η σχετική υγρασία από 54% έως 63% και επικρατούσε ΒΔ άνεμος με ταχύτητα από 0 έως 1 m/s. Η ηλιακή ακτινοβολία ήταν αρχικά κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας 574 W/m^2 και μειώθηκε σταδιακά μέχρι 0 W/m^2. Στην $5^η$ δειγματοληψία δεν πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες στην Εσχάρωση, στη Δεξαμενή Μερισμού και στις Ταινιοφιλτροπρέσες Λάσπης λόγω του ότι ο πρωταρχικός στόχος αυτής της δειγματοληψίας ήταν η εξακρίβωση της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στις συγκεντρώσεις των βακτηρίων στην ατμόσφαιρα στις δεξαμενές που βρίσκονται σε ανοιχτό χώρο. Πραγματικά υπήρξαν ενδείξεις ότι η ηλιακή ακτινοβολία επηρεάζει αρνητικά τις συγκεντρώσεις των βακτηρίων στην ατμόσφαιρα. Συγκριτικά οι συγκεντρώσεις όλων των εξεταζόμενων βακτηρίων στους κλειστούς χώρους της εξάμμωσης ήταν στα ίδια επίπεδα όπως και στην προηγούμενη δειγματοληψία.

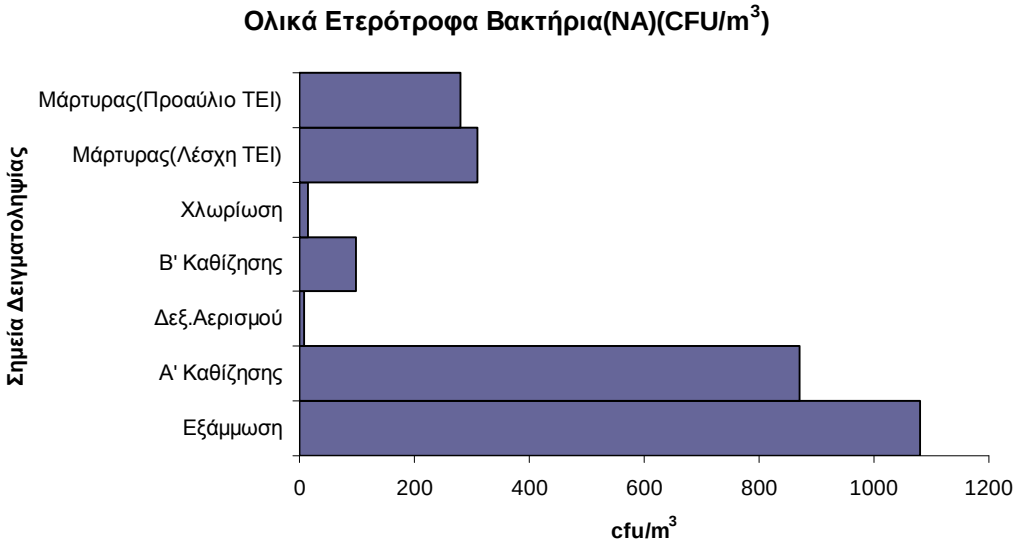
$6^η$ Δειγματοληψία 24/06/05



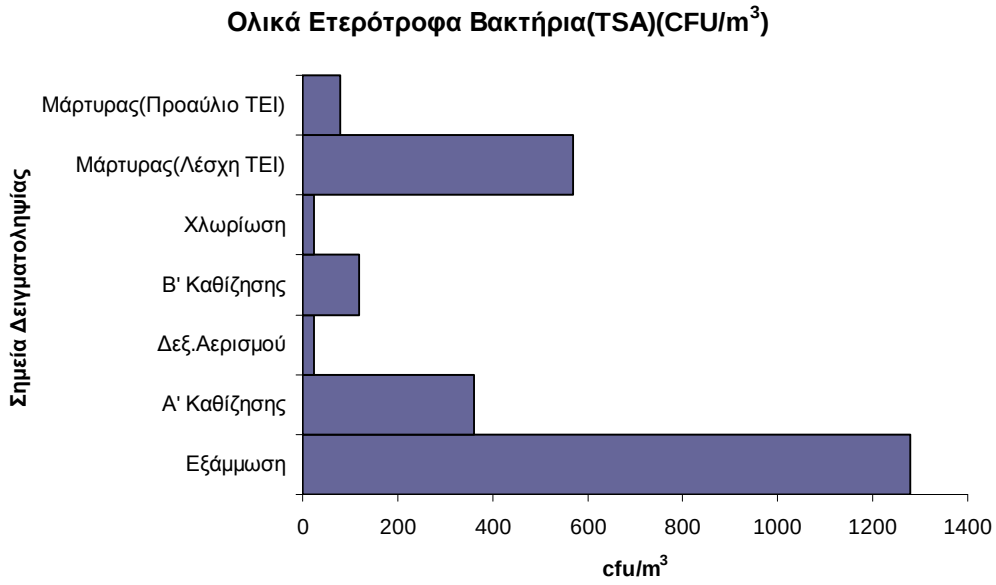
Διάγραμμα 7.14. Προσδιορισμός ολικών κολοβακτηρίων κατά την δειγματοληψία στην ΕΕΑΑ Χανίων στις 24/06/05. Ο όγκος δειγματοληψίας ήταν 250L στη Δεξ. Εξάμμωσης, 1000L στην Α' Δεξ. Καθίζησης και 2000L στην Δεξ. Αερισμού και στους μάρτυρες.



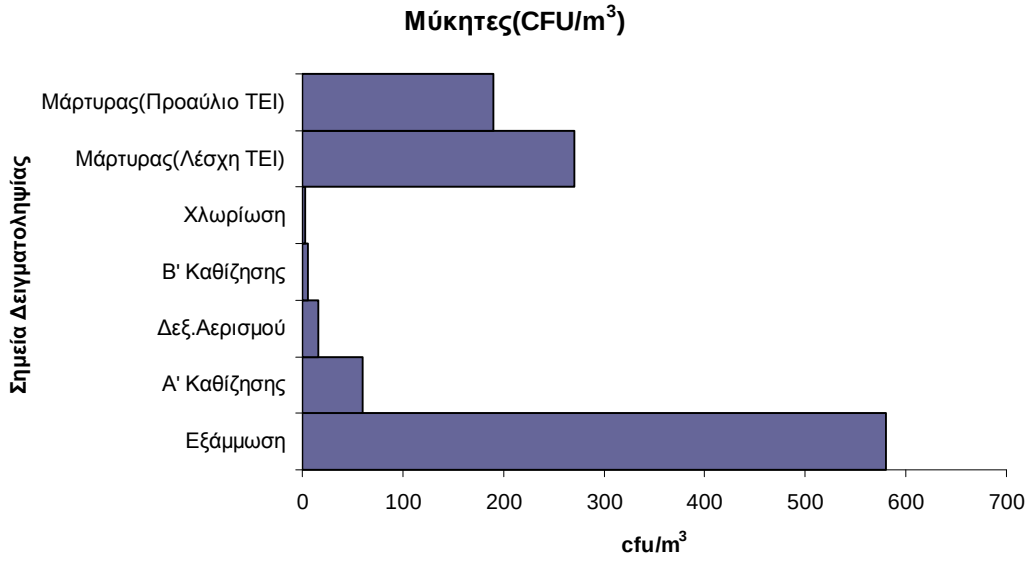
Διάγραμμα 7.15. Προσδιορισμός εντερόκοκκων κατά την δειγματοληψία στην ΕΕΑΑ Χανίων στις 24/06/05. Ο όγκος δειγματοληψίας ήταν 2000L.



Διάγραμμα 7.16. Προσδιορισμός ολικών ετερότροφων βακτηρίων σε θρεπτικό υπόστρωμα NA κατά την δειγματοληψία στην ΕΕΑΑ Χανίων στις 24/06/05. Ο όγκος δειγματοληψίας ήταν 50L στη δεξαμενή Εξάμμωσης, 100L στους μάρτυρες και στην Α' Δεξ. Καθίζησης, 500L στις Δεξαμενές Αερισμού, Β' Καθίζησης και Χλωρίωσης.



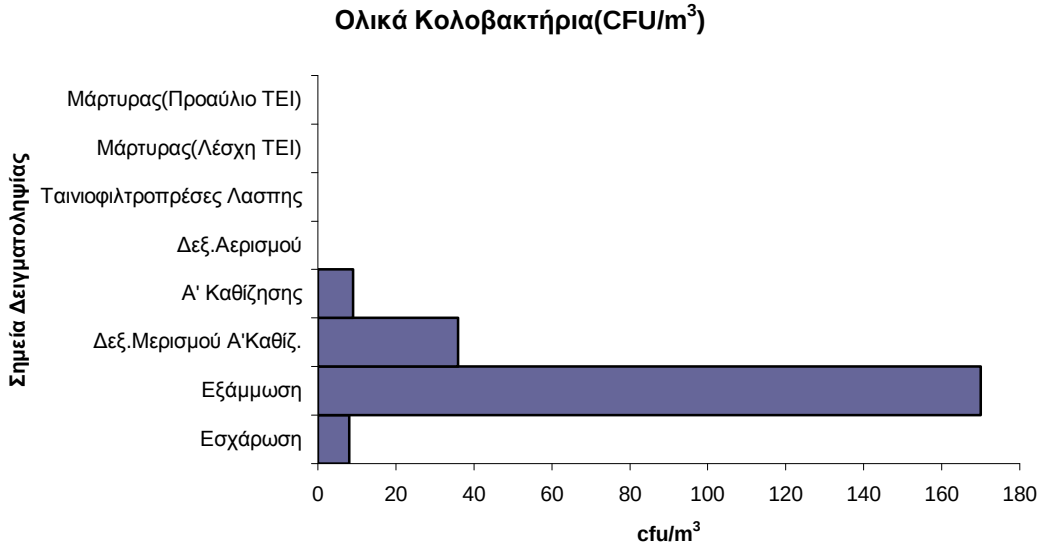
Διάγραμμα 7.17. Προσδιορισμός ολικών ετερότροφων βακτηρίων σε θρεπτικό υπόστρωμα TSA κατά την δειγματοληψία στην ΕΕΑΑ Χανίων στις 24/06/05. Ο όγκος δειγματοληψίας ήταν 50L στην δεξαμενή Εξάμμωσης, 100L στους μάρτυρες και στην Α' Δεξ. Καθίζησης, 500L στις Δεξαμενές Αερισμού, Β' Καθίζησης και Χλωρίωσης.



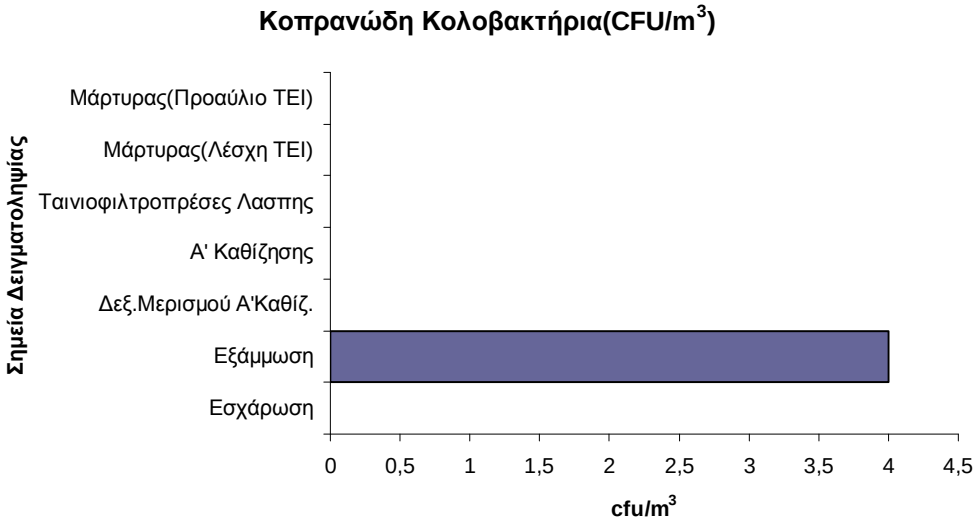
Διάγραμμα 7.18. Προσδιορισμός μυκήτων κατά την δειγματοληψία στην ΕΕΑΑ Χανίων στις 24/06/05. Ο όγκος δειγματοληψίας ήταν 50L στην δεξαμενή Εξάμμωσης, 100L στους μάρτυρες και στην Α' Δεξ. Καθίζησης, 500L στις Δεξαμενές Αερισμού, Β' Καθίζησης και Χλωρίωσης.

Η 6η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στις 24/06/05 το απόγευμα προς βράδυ (16:00-21:00). Τα σημεία στα οποία πραγματοποιήθηκε η δειγματοληψία αναγράφονται στα (Διαγράμματα 7.14 έως 7.18). Η ημερήσια παροχή αυτή τη μέρα ήταν 17.750 m^3/day. Η θερμοκρασία κυμαινόταν από 22,6^{0}C έως 30,9^{0}C, η σχετική υγρασία από 51% έως 63% και επικρατούσε ΒΒΔ άνεμος με ταχύτητα από 0,9 έως 3,3 m/s. Η ηλιακή ακτινοβολία μειώθηκε σταδιακά κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας από 839 σε 0 W/m^2. Στην 6^η δειγματοληψία δεν πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες στις Δεξαμενές Αερισμού, Β' Καθίζησης και Χλωρίωσης για τα ολικά και τα κοπρανώδη κολοβακτήρια λόγω του ότι δεν ήταν ανιχνεύσιμα σε όλες τις προηγούμενες δειγματοληψίες. Αντίθετα σε αυτή την δειγματοληψία προσδιορίστηκαν σε όλα τα σημεία δειγματοληψίας κοπρανώδεις εντερόκοκκοι, ολικά ετερότροφα βακτήρια σε ένα επιπλέον θρεπτικό υπόστρωμα (TSA) καθώς και μύκητες. Σε αυτή τη δειγματοληψία προσδιορίστηκαν ολικά κολοβακτήρια και στους δύο μάρτυρες, ακόμα και στον προαύλιο χώρο (9,5 CFU/m^3). Τα ολικά κολοβακτήρια ήταν υψηλά τόσο στην Εξάμμωση (340 CFU/m^3) όσο και στην Α' Καθίζησης (7,5 CFU/m^3). Ανάλογα τα κοπρανώδη κολοβακτήρια ήταν υψηλά στην Εξάμμωση (50 CFU/m^3) και ανιχνεύσιμα στην Α' Καθίζησης (3,5 CFU/m^3). Ανάλογα με τα ολικά κολοβακτήρια παρατηρούνται συγκεντρώσεις εντερόκοκκων στην Εξάμμωση, Α' Καθίζηση και στον στεγαζόμενο μάρτυρα. Αντίθετα στο μάρτυρα στον υπαίθριο χώρο, στις Δεξαμενές Αερισμού, Β' Καθίζησης, και Χλωρίωσης δεν προσδιορίστηκαν εντερόκκοκοι παρόλο που χρησιμοποιήθηκε όγκος δείγματος 2000L. Η συγκέντρωση των ολικών ετερότροφων βακτηρίων προσδιορίστηκε όπως προαναφέρθηκε σε δύο διαφορετικής εκλεκτικότητας θρεπτικά υποστρώματα. Και στα δύο υποστρώματα παρατηρήθηκαν οι ίδιες αυξομειώσεις στα διάφορα σημεία δειγματοληψίας παρόλο που οι απόλυτες τιμές τους διαφέρουν. Οι υψηλότερες τιμές μετρήθηκαν και στις δύο περιπτώσεις στην Εξάμμωση (1.080 και 1.280 CFU/m^3). Επίσης υψηλές συγκεντρώσεις μετρήθηκαν στις Δεξαμενές Α' καθίζησης και Β' Καθίζησης, ενώ στις Δεξαμενές Αερισμού και Χλωρίωσης ήταν οι συγκεντρώσεις τους ιδιαίτερα χαμηλές, χαμηλότερες και από τους μάρτυρες. Αντίστοιχα με τα ολικά ετερότροφα βακτήρια η υψηλότερη συγκέντρωση των μυκήτων ήταν στην Εξάμμωση (580 CFU/m^3), ενώ στις Δεξαμενές Α' Καθίζησης, Β' Καθίζησης, Αερισμού και Χλωρίωσης ήταν χαμηλότερη από τους δύο μάρτυρες. Στις ταινιοφιλτροπρέσες Λάσπης, στην Εσχάρωση και στην Δεξαμενή Μερισμού δεν έγινε δειγματοληψία. Στον μάρτυρα (Λέσχη) διαπιστώθηκαν υψηλές τιμές ολικών ετερότροφων βακτηρίων (διάγραμμα 7.16, 7.17) και μυκήτων (διάγραμμα 7.18), πιθανότατα εξαιτίας της έντονης ανθρώπινης δραστηριότητας του χώρου ιδιαίτερα τις απογευματινές ώρες (ώρες φαγητού). Παρόλα αυτά οι μετρηθείσες συγκεντρώσεις ήταν χαμηλότερες από τις συγκεντρώσεις στην προεπεξεργασία υγρών αποβλήτων. Και σε αυτή την απογευματινή δειγματοληψία διαπιστώθηκε η αυξημένη συγκέντρωση βακτηρίων στα αέρια δείγματα στις υπαίθριες δεξαμενές.

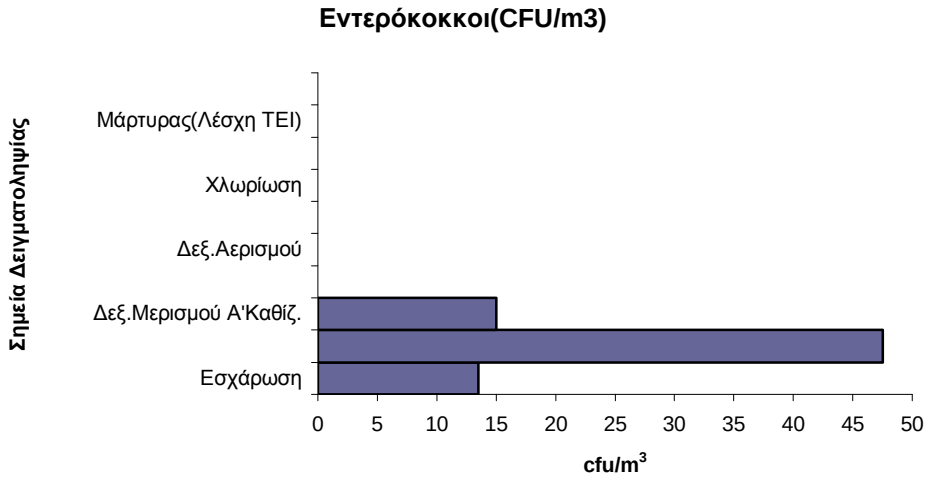
7η Δειγματοληψία 15/07/05



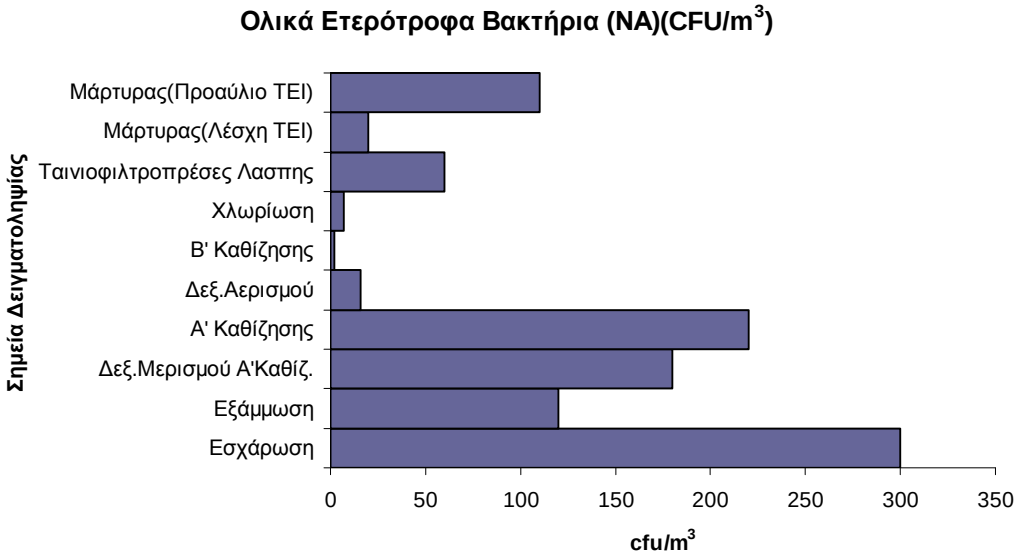
Διάγραμμα 7.19. Προσδιορισμός ολικών κολοβακτηρίων κατά την δειγματοληψία στην ΕΕΑΑ Χανίων στις 15/07/05. Ο όγκος δειγματοληψίας ήταν 100L στη Δεξ. Εξάμμωσης, 250L στην Εσχάρωση και στη Δεξ. Μερισμού, 1000L στην Α’ Δεξ. Καθίζησης και 2000L στην Δεξ. Αερισμού, Λάσπης και στους μάρτυρες.



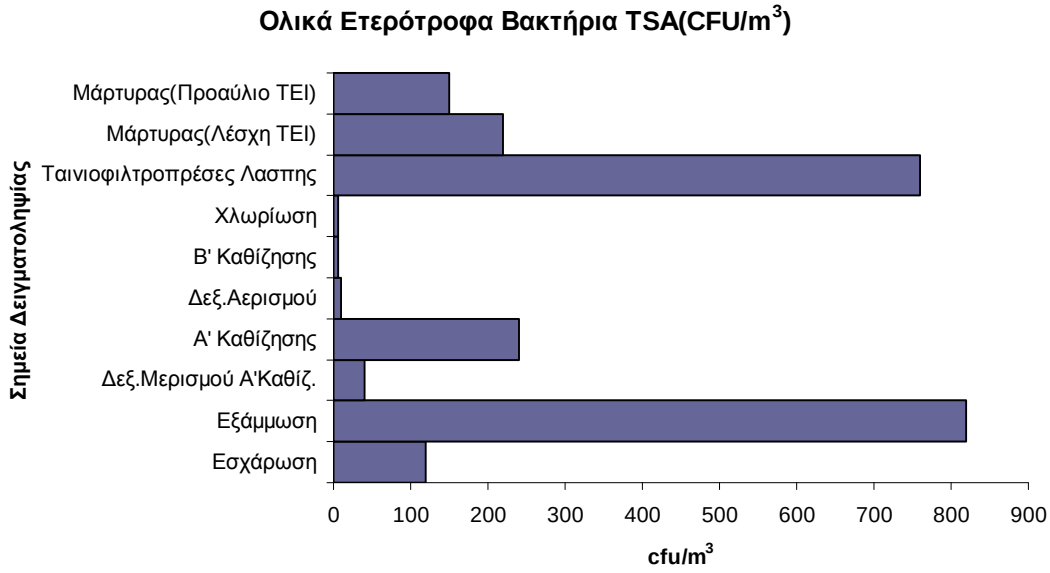
Διάγραμμα 7.20. Προσδιορισμός ολικών κοπρανωδών κολοβακτηρίων κατά την δειγματοληψία στην ΕΕΑΑ Χανίων στις 15/07/05. Ο όγκος δειγματοληψίας ήταν 1000L στις Δεξαμενές Εξάμμωσης, Εσχάρωσης και Μερισμού και 2000L στους μάρτυρες και στην Α’ Δεξαμενή Καθίζησης.



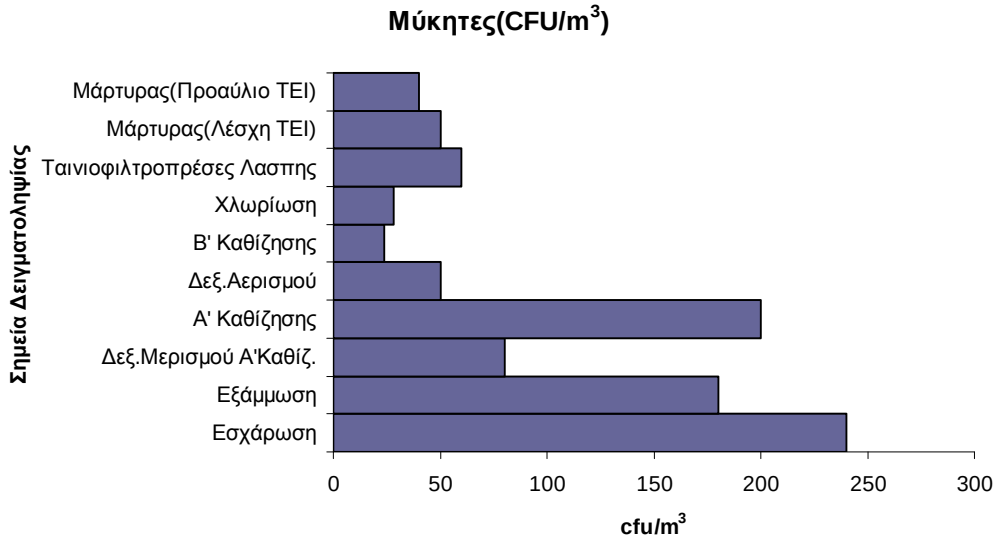
Διάγραμμα 7.21. Προσδιορισμός εντερόκοκκων κατά την δειγματοληψία στην ΕΕΑΑ Χανίων στις 15/07/05. Ο όγκος δειγματοληψίας ήταν 2000L.



Διάγραμμα 7.22 Προσδιορισμός ολικών ετερότροφων βακτηρίων σε θρεπτικό υπόστρωμα ΝΑ κατά την δειγματοληψία στην ΕΕΑΑ Χανίων στις 15/07/05. Ο όγκος δειγματοληψίας ήταν 50L στις δεξαμενές Εξάμμωσης, Εσχάρωσης, Μερισμού και Α' Δεξ. Καθίζησης, 100L στους μάρτυρες, 500L στις Δεξαμενές Αερισμού, Β' Καθίζησης και 1000L στη Δεξαμενή Χλωρίωσης.



Διάγραμμα 7.23. Προσδιορισμός ολικών ετερότροφων βακτηρίων σε θρεπτικό υπόστρωμα TSA κατά την δειγματοληψία στην ΕΕΑΑ Χανίων στις 15/07/05. Ο όγκος δειγματοληψίας ήταν 50L στις δεξαμενή Εξάμμωσης, Εσχάρωσης, Μερισμού και Α' Δεξ. Καθίζησης, 100L στους μάρτυρες, 500L στις Δεξαμενές Αερισμού, Β' Καθίζησης και 1000L στην Δεξαμενή Χλωρίωσης.



Διάγραμμα 7.24. Προσδιορισμός μυκήτων κατά την δειγματοληψία στην ΕΕΑΑ Χανίων στις 15/07/05. Ο όγκος δειγματοληψίας ήταν 50L στις δεξαμενές Εξάμμωσης, Εσχάρωσης, Μερισμού και Α' Καθίζησης, 100L στους μάρτυρες, 500L στις Δεξαμενές Αερισμού και Β' Καθίζησης και 1000L στην Δεξαμενή Χλωρίωσης.

Η 7η Δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στις 15/07/05 πρωί (8:45-15:30). Τα σημεία στα οποία πραγματοποιήθηκε η δειγματοληψία αναγράφονται στα (διαγράμματα 7.19 έως 7.24). Η ημερήσια παροχή αυτή τη μέρα ήταν 18.379 m^3/day. Η θερμοκρασία κυμαινόταν από 22,6^{0}C έως 31,4^{0}C, η σχετική υγρασία από 38% έως 61% και επικρατούσε ΒΒΔ άνεμος με ταχύτητα από 1 έως 3 m/s. Η ηλιακή ακτινοβολία αυξήθηκε σταδιακά κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας από 161,3 σε 761 W/m^2. Στην 7η δειγματοληψία δεν πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες στις δεξαμενές Αερισμού, Β' Καθίζησης και Χλωρίωσης για τα ολικά και τα κοπρανώδη κολοβακτήρια λόγω της μη ανίχνευσης τους στις προηγούμενες δειγματοληψίες (βλέπε αποτελέσματα 3ης δειγματοληψίας). Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα της 7ης δειγματοληψίας που πραγματοποιήθηκε πρωινή ώρα κάτω από την επίδραση έντονης ηλιακής ακτινοβολίας με τα αποτελέσματα της 6ης δειγματοληψίας που πραγματοποιήθηκε απογευματινές ώρες με ηλιακή ακτινοβολία παρατηρήθηκε ότι οι συγκεντρώσεις των ολικών και κοπρανωδών κολοβακτηρίων και των ολικών ετερότροφων βακτηρίων ήταν σοβαρά χαμηλότερες. Αντίθετα οι μύκητες παρουσίασαν μία αύξηση στις υπαίθριες δεξαμενές Αερισμού, Α' Καθίζησης, Β' Καθίζησης και Χλωρίωσης. Τα ολικά κολοβακτήρια ήταν προσδιορίσημα στην Εσχάρωση, Εξάμμωση, Δεξαμενή Μερισμού, και Α' Δεξαμενή Καθίζησης με υψηλότερες συγκεντρώσεις στην Εξάμμωση (170 CFU/m^3) και στην Δεξαμενή Μερισμού (36 CFU/m^3). Κοπρανώδη κολοβακτήρια (4 CFU/m^3) ήταν μόνο ανιχνεύσιμα στη διαδικασία Εξάμμωσης που βρίσκεται σε κλειστό χώρο. Ομοίως εντερόκοκκοι προσδιορίστηκαν σε όλες τις δεξαμενές που βρίσκονται σε κλειστούς χώρους, δηλαδή στην Εσχάρωση (13,5 CFU/m^3), Εξάμμωση (47,5 CFU/m^3) και στην Δεξαμενή Μερισμού (15 CFU/m^3). Τα ολικά ετερότροφα βακτήρια παρουσιάζουν μία σταδιακή μείωση κατά την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων (διάγραμμα 7.22, 7.23). Η συσχέτιση μεταξύ TSA και NA δείχνει αποκλίσεις λόγω της διαφορετικής εκλεκτικότητας των υποστρωμάτων (διάγραμμα 7.22, 7.23). Όμοια με τα ολικά ετερότροφα βακτήρια και οι μύκητες δείχνουν μία σταδιακή μείωση μετά την Α' Καθίζηση με συγκεντρώσεις αντίστοιχες αυτών που είναι στους μάρτυρες. Υψηλές συγκεντρώσεις μυκήτων καταμετρήθηκαν στις στεγαζόμενες διεργασίες (Εσχάρωση, Εξάμμωση, Δεξαμενή Μερισμού) καθώς και στην Α' Δεξαμενή Καθίζησης.

7.2 Αποτελέσματα της εφαρμογής του μαθηματικού μοντέλου

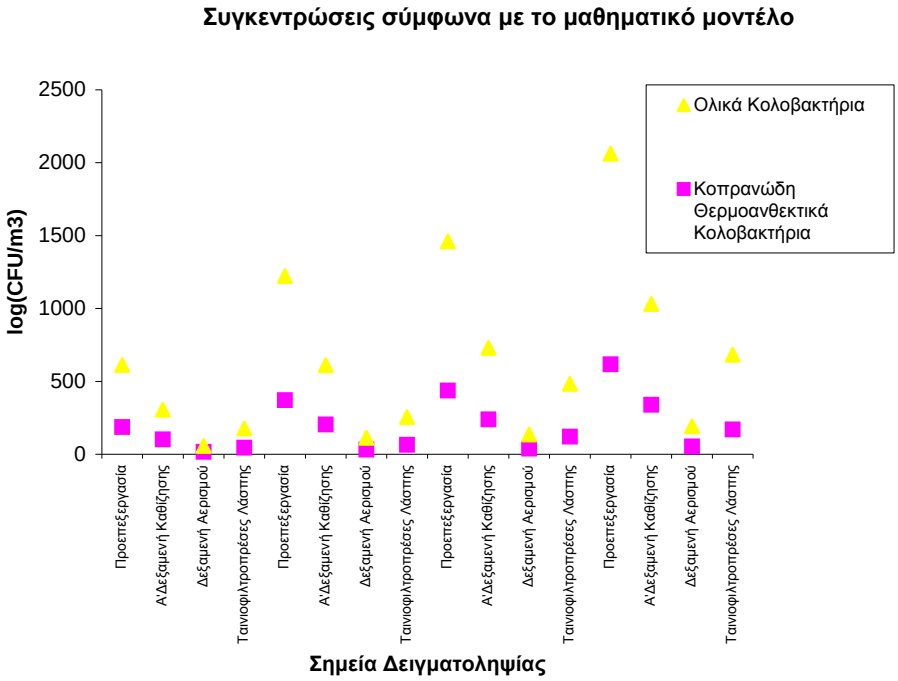
Όπως αναφέρθηκε στο 6ο κεφάλαιο εφαρμόσθηκε ένα μαθηματικό μοντέλο λαμβάνοντας υπόψιν φυσικοχημικές παραμέτρους (παροχή υγρών αποβλήτων και ταχύτητα του ανέμου στις εγκαταστάσεις δειγματοληψίας), οι οποίοι συνοψίζονται στον πίνακα 7.2 Παρακάτω ακολουθούν τα αποτελέσματα εφαρμογής του μοντέλου για τα ολικά και τα κοπρανώδη κολοβακτήρια (πίνακας 7.3). Το μοντέλο εφαρμόστηκε μόνο στις 4 τελευταίες πραγματοποιθείσες δειγματοληψίες λόγω του ότι μόνο σε αυτές χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιοι όγκοι δειγματοληψίας.

Πίνακας 7.2 Φυσικοχημικές παράμετροι στα στάδια δειγματοληψίας

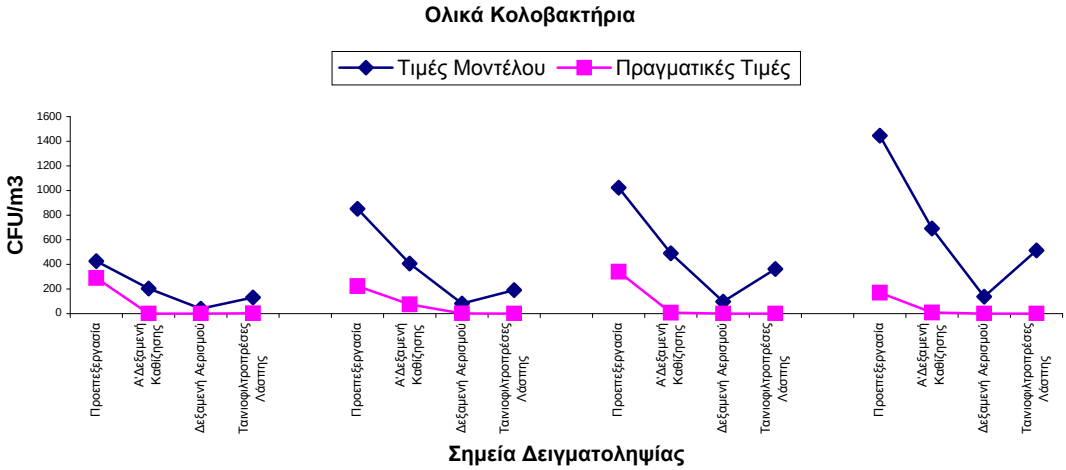
Δειγματοληψίες	Ταχύτητα ανέμου (m/s)	Παροχή (m^3/day)
2η (30/03/05)	0,95	18012
3η (13/04/05)	4,05	19423
4η (25/05/05)	1,6	15914
5η (31/05/05)	0,5	16586
6η (24/06/05)	2,1	17750
7η (15/07/05)	2,1	18379

Πίνακας 7.3. Συγκέντρωση ολικών και κοπρανωδών κολοβακτηρίων σύμφωνα με το μοντέλο και οι αντίστοιχες πραγματικές τιμές.

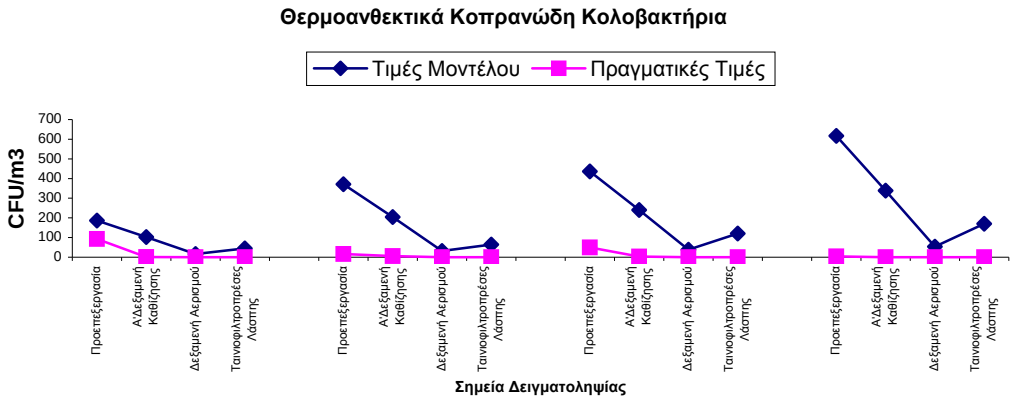
Δειγματοληψίες	Στάδια Επεξεργασίας	Κοπρανώδη Θερμοανθεκτικά Κολοβακτήρια ($CFUm^3$) Τιμές Μοντέλου	Ολικά Κολοβακτήρια ($CFUm^3$) Τιμές Μοντέλου	Κοπρανώδη Θερμοανθεκτικά Κολοβακτήρια ($CFUm^3$) Πραγματικές Τιμές	Ολικά Κολοβακτήρια ($CFUm^3$) Πραγματικές Τιμές
25/5/2005	Προεπεξεργασία	186	427	93	290
	Α'Δεξαμενή Καθίζησης	102	204	1	1
	Δεξαμενή Αερισμού	17	41	0	0
	Ταινιοφιλτροπρέσες Λάσπης	45	132	0	3
31/5/2005	Προεπεξεργασία	372	851	16	224
	Α'Δεξαμενή Καθίζησης	204	407	6	76
	Δεξαμενή Αερισμού	32	81	0	1
	Ταινιοφιλτροπρέσες Λάσπης	65	191	0	0
24/6/2005	Προεπεξεργασία	437	1023	50	340
	Α'Δεξαμενή Καθίζησης	240	490	4	8
	Δεξαμενή Αερισμού	38	98	0	1
	Ταινιοφιλτροπρέσες Λάσπης	120	363	0	0
14/7/2005	Προεπεξεργασία	617	1445	4	170
	Α'Δεξαμενή Καθίζησης	339	692	0	9
	Δεξαμενή Αερισμού	54	138	0	0
	Ταινιοφιλτροπρέσες Λάσπης	170	513	0	0



Διάγραμμα 7.25. Συγκεντρώσεις ολικών και κοπρανωδών κολοβακτηρίων σε (CFU/m^3) σύμφωνα με το μαθηματικό μοντέλο (βλέπε 6.7) με βάση την παροχή υγρών αποβλήτων και την ταχύτητα του ανέμου αναφερόμενα στα σημεία δειγματοληψίας στις 25/05/05, 31/05/05, 24/06/05 και 14/07/05.



Διάγραμμα7.26. Συγκεντρώσεις ολικών κολοβακτηρίων σε (CFU/m^3) σύμφωνα με το μαθηματικό μοντέλο (βλέπε 6.7) σύμφωνα με την παροχή υγρών αποβλήτων και την ταχύτητα του ανέμου στα σημεία δειγματοληψίας και συγκεντρώσεις σε CFU/m^3 σύμφωνα με την καλλιέργεια των μικροοργανισμών σε MLSA θρεπτικό υπόστρωμα στις 25/05/05, 31/05/05, 24/06/05 και 14/07/05.



Διάγραμμα7.27. Συγκεντρώσεις ολικών θερμοανθεκτικών κολοβακτηρίων σε (CFU/m^3) κολοβακτηρίων σύμφωνα με το μαθηματικό μοντέλο (βλέπε 6.7) σύμφωνα με την παροχή υγρών αποβλήτων και την ταχύτητα του ανέμου στα σημεία δειγματοληψίας καθώς και συγκεντρώσεις σε CFU/m^3 σύμφωνα με την καλλιέργεια των μικροοργανισμών σε θρεπτικά υποστρώματα στις 25/05/05, 31/05/05, 24/06/05 και 14/07/05.

Στο διάγραμμα 7.25 παριστάνονται γραφικά οι συγκεντρώσεις των ολικών και κοπρανωδών κολοβακτηρίων στα σημεία δειγματοληψίας της ΕΕΑΑ του Δήμου Χανίων σύμφωνα με το προαναφερθέν μαθηματικό μοντέλο (βλέπε 6.7) και λαμβάνοντας υπόψιν τις τιμές του πίνακα 7.2. Στα διαγράμματα 7.26 και 7.27 παριστάνονται γραφικά τόσο οι συγκεντρώσεις των ολικών και κοπρανωδών κολοβακτηρίων που υπολογιστηκαν βάσει του μαθηματικού μοντέλου όσο και ταυτόχρονα οι μετρηθείσες συγκεντρώσεις των αντίστοιχων βακτηρίων στην παρούσα εργασία.

Από τη σύγκριση της εφαρμογής του μαθηματικού μοντέλου με τις μετρηθείσες συγκεντρώσεις απορρέουν τα παρακάτω συμπεράσματα. Η επαναλαμβανόμενη σε κάθε δειγματοληψία μειωτική τάση των συγκεντρώσεων των βακτηρίων με αυξανόμενη επεξεργασία από την διαδικασία της προεπεξεργασίας μέχρι και τη δεξαμενή αερισμού επιβεβαιώνεται τόσο από την εφαρμογή του μαθηματικού μοντέλου όσο και από τις πραγματικά μετρηθείσες τιμές (διάγραμμα 7.25 έως 7.27). παρόλα αυτά οι υπολογισθείσες τιμές διαφέρουν από τις μετρήσεις σε μια τάξη μεγέθους 10^1-10^2. Η ελαφρά αυξητική τάση στη διαδικασία της αφυδάτωσης της λάσπης στις ταινιοφιλτροπρέσες και σε σχέση με την δεξαμενή αερισμού δεν μπόρεσε να επιβεβαιωθεί στις μετρηθείσες τιμές των ολικών και κοπρανωδών κολοβακτηρίων. Επίσης δεν μπόρεσε να επιβεβαιωθεί η γραμμική αυξητική τάση εκπομπής μικροοργανισμών με αυξανόμενη παροχή υγρών αποβλήτων, όπως φαίνεται στα διαγράμματα 7.26 και 7.27 και στον πίνακα 7.2.

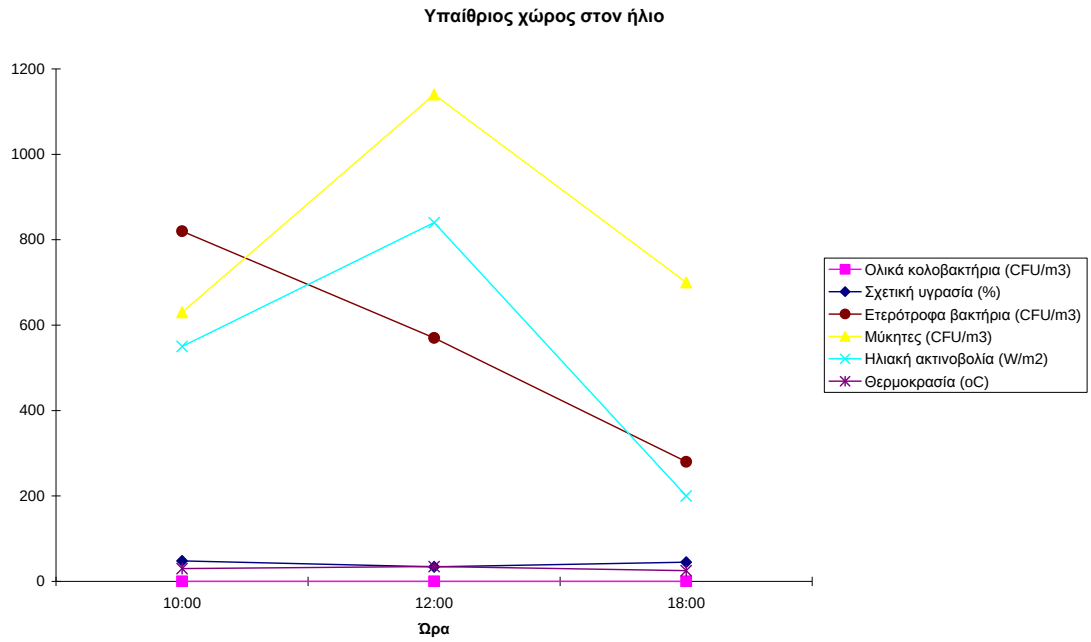
7.3 Δειγματοληψίες Προαύλιο

Στις 14/07/05 και στις 14/09/05 έως στις 17/09/05 πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες στον προαύλιο χώρο του ΤΕΙ (που χρησιμοποιήθηκε σαν μάρτυρας) σε τρεις διαφορετικές χρονικές περιόδους της ημέρας (10:00-

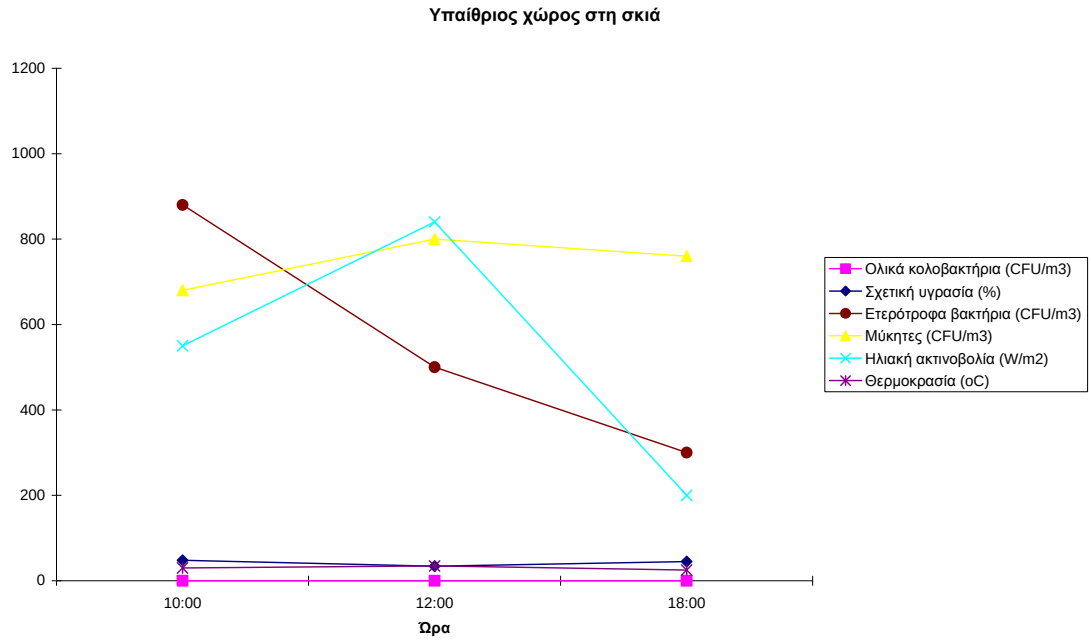
11:20, 12:00-13:00, 18:00-19:00) τόσο στον ήλιο όσο και στη σκιά. Αυτές οι δειγματοληψίες έγιναν με σκοπό την παρατήρηση της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας UV στη συγκέντρωση των μικροοργανισμών στην ατμόσφαιρα. Κατά τις 14/07/05, 14/09/05 και 15/09/05 επικρατούσε ηλιοφάνεια με υψηλές θερμοκρασίες. Στις 16/09/05 επικρατούσε άστατος καιρός με μερική ηλιοφάνεια και βροχόπτωση, ενώ στις 17/09/05 επικρατούσε άστατος καιρός χωρίς βροχόπτωση. Τα ακριβη μετεωρολογικά δεδομένα των ημερών δειγματοληψίας φαίνονται στον πίνακα 7.4. Σε αυτή τη σειρά πειραμάτων μετρήθηκαν οι συγκεντρώσεις των ολικών κολοβακτηρίων, των ετερόχθονων και αυτόχθονων ολικών ετερότροφων βακτηρίων και των μυκήτων. Τα αποτελέσματα των δειγματοληψιών παρουσιάζονται παρακάτω στα αντίστοιχα διαγράμματα 7.28 έως 7.32. Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων παρατηρήθηκε, ότι υπάρχει μεγάλη μεταβλητότητα στις συγκεντρώσεις των αερομεταφερόμενων μικροβίων, η οποία σχετίζεται άμεσα με τις επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ηλιακή ακτινοβολία, ταχύτητα και διεύθυνση του ανέμου, βροχόπτωση κ.α.). Παρόλα αυτά κατά μέσο όρο διαπιστώσαμε, ότι κατά τη διάρκεια της ημέρας τόσο στον ήλιο όσο και στη σκιά παρατηρήθηκε μια σταδιακή μείωση των ετερόχθονων ολικών ετερότροφων βακτηρίων (διαγράμματα 7.25 έως 7.27) κατά τις ημερομηνίες 14/07/05, 14/09/05 και 15/09/05, όπου επικρατούσε καλός καιρός με ηλιοφάνεια. Μεταβολές στην προαναφερθησα συμπεριφορά διαπιστώθηκαν κατά τις 16/09/05 και 17/09/05 λόγω του άστατου καιρού με μερική συννεφιά και βροχόπτωση. Αντίθετα στα αυτόχθονα ολικά ετερότροφα βακτήρια (διάγραμμα 7.28) και στους μύκητες (διαγράμματα 7.25, 7.26) παρατηρήθηκε μια αύξηση τις μεσημεριανές ώρες και μια πτώση στη συνέχεια κατά τις απογευματινές ώρες. Η συμπεριφορά των μυκήτων ήταν σταθερή στον ήλιο και σκια σε ημέρες με υψηλή ηλιοφάνεια και ημέρες με βροχόπτωση. Τα ολικά κολοβακτήρια δεν ήταν ανιχνεύσιμα και στις δύο περιπτώσεις κατά τη δειγματοληψία στις 14/07/05 (διάγραμμα 7.25, 7.26).

Πίνακας 7.4. Προσδιορισμός μικροοργανισμών σε βιοαεροζόλ σε υπαίθριο χώρο (στον ήλιο και σκιά) στις 14/07/05, 14/09/05, 15/09/05, 16/09/05, 17/09/05.

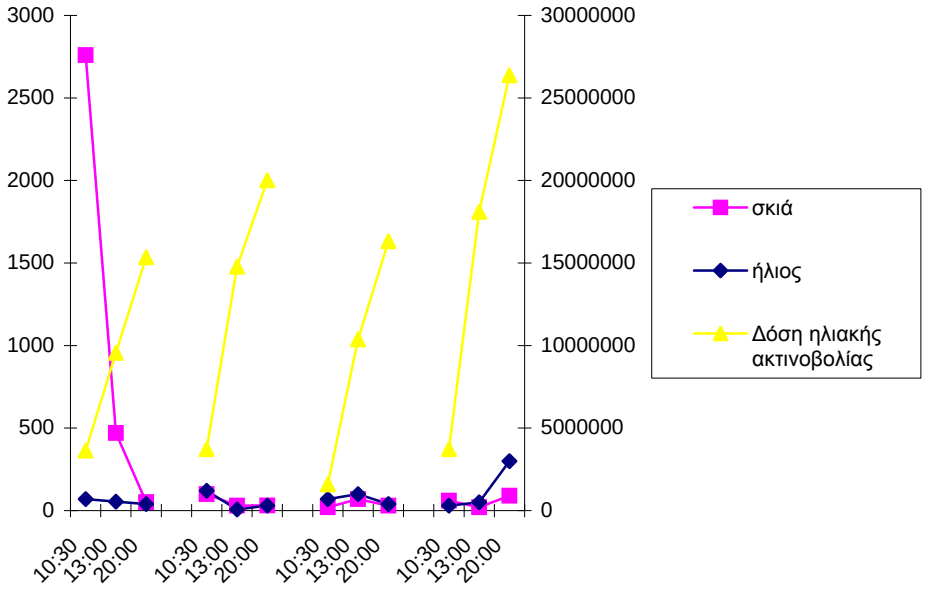
			Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2)	**Θερμοκρασία(^oC)**	**Υγρασία(%)**
14/9/2005	**10:30**	**ήλιος**	550	32	45
		σκιά	77	32	45
	13:00	**ήλιος**	699	35	58
		σκιά	98	35	58
	20:00	**ήλιος**	0	28	42
		σκιά	0	28	42
15/9/2005	**10:30**	**ήλιος**	572	27	51
		σκιά	80	27	51
	13:00	**ήλιος**	470	33	43
		σκιά	65,8	33	43
	20:00	**ήλιος**	0	25,3	57
		σκιά	0	25,3	57
16/9/2005	**10:30**	**ήλιος**	360	27,8	51
		σκιά	50	27,8	51
	13:00	**ήλιος**	396	28	60
		σκιά	55	28	60
	20:00	**ήλιος**	0	20	45
		σκιά	0	20	45
17/9/2005	**10:30**	**ήλιος**	610	25	60
		σκιά	85	25	60
	13:00	**ήλιος**	740	31,9	58
		σκιά	103	31,9	58
	20:00	**ήλιος**	0	22	50
		σκιά	0	22	50
14/7/2005	**10:00**	**ήλιος**	550	30	48
		σκιά	98	28,4	51
	12:00	**ήλιος**	840	34,6	34
		σκιά	117,6	28,9	48
	18:00	**ήλιος**	200	25	45
		σκιά	28	26,3	51



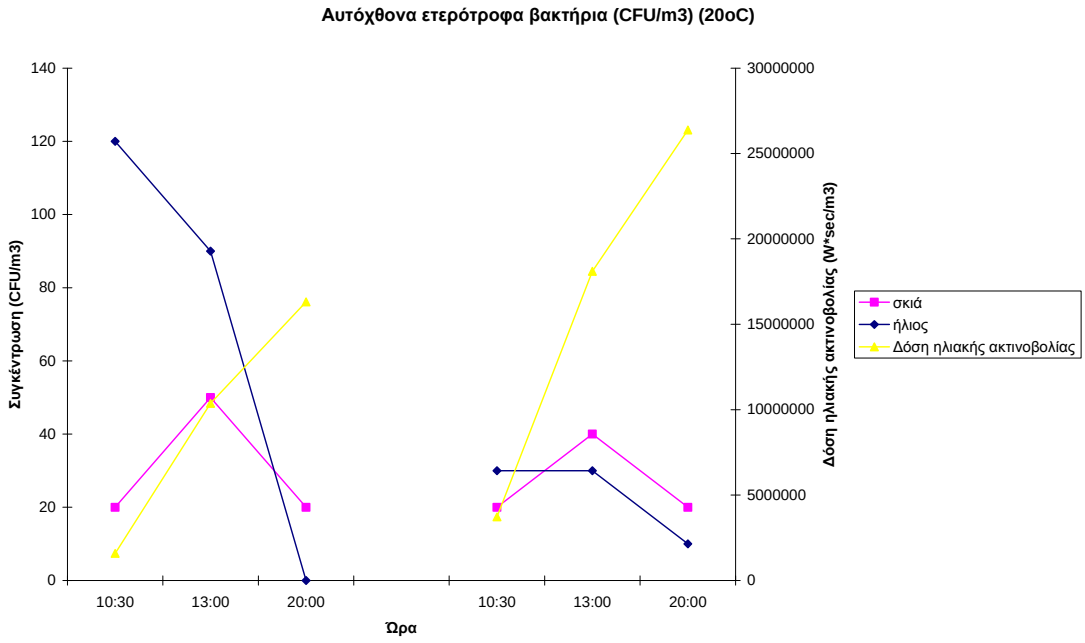
Διάγραμμα 7.28. Προσδιορισμός ολικών κολοβακτηρίων σε δείγμα όγκου 2000L καθώς και προσδιορισμός ολικών ετερότροφων βακτηρίων (ετερόχθονων) σε θρεπτικό υπόστρωμα ΝΑ και προσδιορισμός μυκήτων σε δείγμα αέρα όγκου 100L στις 14/07/05 σε υπαίθριο χώρο στον ήλιο.



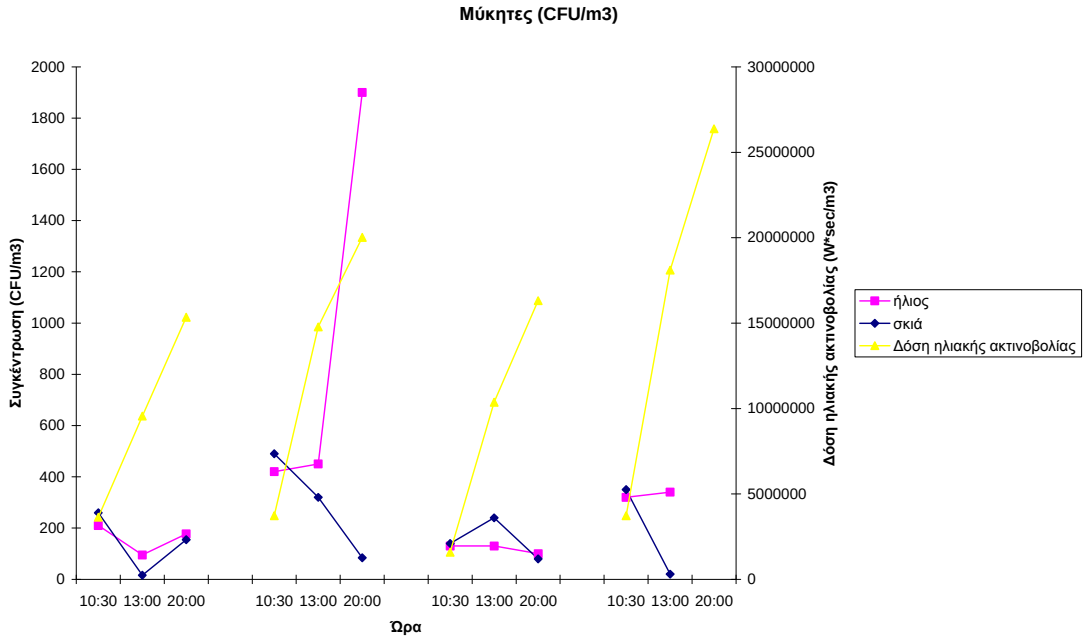
Διάγραμμα 7.29. Προσδιορισμός ολικών κολοβακτηρίων σε δείγμα όγκου 2000L καθώς και προσδιορισμός ολικών ετερότροφων βακτηρίων (ετερόχθονων) σε θρεπτικό υπόστρωμα ΝΑ και προσδιορισμός μυκήτων σε δείγμα αέρα όγκου 100L στις 14/07/05 σε υπαίθριο χώρο στη σκιά.



Διάγραμμα 7.30. Προσδιορισμός ολικών ετερότροφων βακτηρίων ετερόχθονων σε θρεπτικό υπόστρωμα ΝΑ από 14/09/05 έως 17/09/05 με όγκο αέρα 100L σε ήλιο και σκιά.



Διάγραμμα 7.31. Προσδιορισμός αυτόχθονων ολικών ετερότροφων βακτηρίων από 16/09/05 έως 17/09/05 με όγκο αέρα 100L σε ήλιο και σκιά.



Διάγραμμα 7.32. Προσδιορισμός μυκήτων στις 16/09/05 με όγκο αέρα 100L σε ήλιο και σκιά.

Κεφάλαιο 8

8.1 Σχολιασμός-Συμπεράσματα

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία μελετήθηκαν τα βιολογικής προέλευσης αιωρούμενα σωματίδια στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων της πόλης των Χανίων. Οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν με το δειγματολήπτη αέρα MAS 100 (Merck) σε όλα τα στάδια επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων (εσχάρωση, εξάμμωση, πρωτοβάθμια δεξαμενή καθίζησης, δεξαμενή αερισμού, δευτερόβαθμια δεξαμενή καθίζησης, χλωρίωση, ταινιοφολτροπρέσες λάσπης).

Γενικότερα διαπιστώθηκε μείωση του μικροβιακού φορτίου στα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα (διαγράμματα 8.1, 8.2)

Παρατηρήθηκαν συγκεντρώσεις στην προεπεξεργασία των υγρών αποβλήτων που πραγματοποιούνται σε εσωτερικούς χώρους δειγματοληψίας που υπερβαίνουν τα ανώτερα όρια σύμφωνα με τον πίνακα 1.1, γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα, ότι ο χρόνος παραμονής των εργαζομένων στους εσωτερικούς χώρους επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων και συγκεκριμένα στο κτίριο Εσχάρωσης, Εξάμμωσης και Λιποσυλλογής και στο κτίριο Αφυδάτωσης της λάσπης πρέπει να είναι σύντομος.

Στους εξωτερικούς χώρους δεν υπάρχει κάποια νομοθεσία που να ορίζει τα ανώτατα επιτρεπτά όρια, αλλά συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των δειγματοληψιών με αυτά του μάρτυρα στον προαύλιο χώρο του ΤΕΙ δεν εντοπίζεται λόγος ανησυχίας γιατί οι συγκεντρώσεις των αερομεταφερόμενων μικροοργανισμών είναι μικρότερες του μάρτυρα.

Κατά τη διάρκεια της $4^{ης}$ και $7^{ης}$ δειγματοληψίας παρατηρείται μία αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας, μια αύξηση της θερμοκρασίας και μία μείωση της σχετικής υγρασίας οι οποίες συνοδεύονται από ταυτόχρονη μείωση του μικροβιακού φορτίου στους υπαίθριους, μη στεγαζόμενους χώρους επεξεργασίας. Αντίθετα κατά την $5^{η}$ και $6^{η}$ δειγματοληψία που πραγματοποιήθηκαν απόγευμα παρατηρήθηκαν υψηλότερες συγκεντρώσεις μικροοργανισμών στις μη στεγαζόμενες δεξαμενές.

Για εξακρίβωση της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στην συγκέντρωση των μικροοργανισμών στην ατμόσφαιρα πραγματοποιήθηκαν παράλληλες δειγματοληψίες σε διάφορες χρονικές στιγμές της μέρας σε σκιά και ήλιο στον υπαίθριο μάρτυρα (βλέπε 7.3). Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων παρατηρήθηκε, ότι υπάρχει μεγάλη μεταβλητότητα στις συγκεντρώσεις των αερομεταφερόμενων μικροβίων, η οποία σχετίζεται άμεσα με τις επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ηλιακή ακτινοβολία, ταχύτητα και διεύθυνση του ανέμου, βροχόπτωση κ.α.). Παρόλα αυτά κατά μέσο όρο διαπιστώσαμε, ότι κατά τη διάρκεια της ημέρας τόσο στον ήλιο όσο και στη σκιά παρατηρήθηκε μια σταδιακή μείωση των ετερόχθονων ολικών ετερότροφων βακτηρίων (διαγράμματα 7.25 έως 7.27) κατά τις ημερομηνίες 14/07/05, 14/09/05 και 15/09/05, όπου επικρατούσε καλός καιρός με ηλιοφάνεια. Μεταβολές στην προαναφερθησα συμπεριφορά διαπιστώθηκαν κατά τις 16/09/05 και 17/09/05 λόγω του άστατου καιρού με μερική συννεφιά και βροχόπτωση.Στα προαναφερθέντα πειράματα παρατηρήθηκε για τα ετερόχθονα ολικά ετερότροφα βακτήρια σε θρεπτικό υπόστρωμα ΝΑ, μία σταδιακή μείωση των συγκεντρώσεων με την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας και στον ήλιο και

στη σκιά ημέρες με καλό καιρό με ηλιοφάνεια. Αντίθετα στα αυτόχθονα ολικά ετερότροφα βακτήρια σε θρεπτικό υπόστρωμα ΝΑ και στους μύκητες παρατηρήθηκε μία αύξηση των συγκεντρώσεων με την αύξηση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας. Στους μύκητες μπορεί αυτό να εξηγηθεί με μία πιθανη επιτάχυνση της εκβλάστησης των σπορίων. Παρόλα αυτά δεν μπορούν να εξαχθούν ασφαλή αποτελέσματα σχετικά με την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας λόγω του ότι η αναπτυξη των αερομεταφερόμενων μικροοργανισμών στην ατμοσφαιρα επηρεάζεται από ένα πλήθος παραμέτρων που στα πλαίσια της παρούσας εργασίας δεν εξετάστηκαν.

Τα απότελέσματα των μετρήσεων των αερομεταφερόμενων μικροοργανισμών συγκρίθηκαν με τα αποτελέσματα ενός μαθηματικού μοντέλου πρόβλεψης συγκεντρώσεων βιοαεροζόλ στα διάφορα στάδια μιας μονάδας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Οι μετρηθείσες τιμές είχαν μια απόκλιση της τάξης του 10^{1}-10^{2} από τις υπολογισθήσες. Επιβεβαιώνεται μόνο μία σταδιακή μείωση του μικροβιακού φορτίου στην ατμόσφαιρα κατά την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. Η εφαρμογή του μαθηματικού μοντέλου (βλέπε 7.2) οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το μικροβιακό φορτίο στην ατμόσφαιρα δεν εξαρτάται μόνο από την παροχή των υγρών αποβλήτων στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας τους και από την ταχύτητα του ανέμου στην περιοχή κατά τις ώρες της δειγματοληψίας αλλά και από άλλες παραμέτρους που δεν ελήφθησαν υπόψιν στην διαμόρφωση του μοντέλου.



Διάγραμμα 8.1. Προσδιορισμός μέσου όρου των συγκεντρώσεων των μικροοργανισμών για τα ολικά και κοπρανώδη κολοβακτήρια και τους εντερόκοκκους κατά τις επτά δειγματοληψίες στα στάδια επεξεργασίας.



Διάγραμμα 8.2. Προσδιορισμός μέσου όρου των συγκεντρώσεων των μικροοργανισμών για τα ολικά ετερότροφα βακτήρια και τους μύκητες κατά τις επτά δειγματοληψίες στα στάδια επεξεργασίας.

Παράρτημα

Αποτελέσματα δειγματοληψιών

13/4/2005	Συνολικά 48h					
	Ολικά κολοβακτήρια (cfu/m3)	Κοπρανώδη κολοβακτήρια (cfu/m3)	1)Ολικά βακτήρια (cfu/m3)	2)Ολικά βακτήρια (cfu/m3)	^{o}C	Humidity(%)
Εσχάρωση	1	n.d	320	n.d	24	33
Λιποσυλλογή	57	3	630	790	20,3	36
Δεξ.Μερισμού Α'Καθίζ.	27	n.d	800	n.d	23,1	32
Α' Καθίζησης	6,5	1	152	304	22,6	30
Δεξ.Αερισμού	0	n.d	44	44	22,6	30
Β' Καθίζησης	0	n.d	80	64	22,6	30
Χλωρίωση	0	n.d	44	68	22,6	30
Ταινιοφιλτροπρέσες Λασπης	0	n.d	1236	1264	13,4	33
Μάρτυρας(Λέσχη ΤΕΙ)	10,5	n.d	300	n.d	25,9	53
Μάρτυρας(Προαύλιο ΤΕΙ)	0	n.d	940	n.d	23	30

25/5/2005	Συνολικά 48h					
	Ολικά κολοβακτήρια (cfu/m3)	Κοπρανώδη κολοβακτήρια (cfu/m3)	1)Ολικά βακτήρια (cfu/m3)	2)Ολικά βακτήρια (cfu/m3)	^{o}C	Humidity(%)
Εσχάρωση	17	16	100	60	27,9	85
Λιποσυλλογή	290	93	1790	2120	26,3	42
Δεξ.Μερισμού Α'Καθίζ.	88,5	20	640	940	23,4	46
Α' Καθίζησης	0,5	1	8	8	25,9	47
Δεξ.Αερισμού	n.d	n.d	4	4	25,9	47
Β' Καθίζησης	n.d	n.d	12	24	25,9	47
Χλωρίωση	n.d	n.d	8	6	25,9	47
Ταινιοφιλτροπρέσες Λασπης	3	0	1180	1520	24,8	66
Μάρτυρας(Λέσχη ΤΕΙ)	0,5	0	1540	700	26,8	63
Μάρτυρας(Προαύλιο ΤΕΙ)	0	0	20	60	26	57

16/3/2005	Συνολικά 48h				
	Ολικά κολοβακτήρια (cfu/m3)	Ολικά βακτήρια (cfu/m3)	Κοπρανώδη κολοβακτήρια (cfu/m3)	^{o}C	Humidity(%)
Εσχάρωση	4	740	/	27,3	48
Λιποσυλλογή	92	/	/	25,9	42
Α' Καθίζησης	8	180	0	25,9	42
Δεξ.Αερισμού	0	60	0	25,9	42
Β' Καθίζησης	0	20	0	25,9	42
Χλωρίωση	0	80	0	25,9	42
Ταινιοφιλτροπρέσες Λασπης	0	440	0	25,3	36
Μάρτυρας(Λέσχη ΤΕΙ)	0	720	/		

30/3/2005	Συνολικά 48h					
	Ολικά κολοβακτήρια (cfu/m3)	Κοπρανώδη κολοβακτήρια (cfu/m3)	1)Ολικά βακτήρια (cfu/m3)	2)Ολικά βακτήρια (cfu/m3)	^{o}C	Humidity(%)
Λιποσυλλογή	32	1	60	340	21,9	51
Α' Καθίζησης	4	0	40	20	23	39
Δεξ.Αερισμού	0	0	10	20	23	39
Β' Καθίζησης	0	0	40	210	23	39
Χλωρίωση	0	0	40	0	23	39
Ταινιοφιλτροπρέσες Λασπης	0	0	20	260	22,3	48
Μάρτυρας(Λέσχη ΤΕΙ)	1	0	320	400	25,9	53
Μάρτυρας(Προαύλιο ΤΕΙ)	0	0	640	/	24,5	43

31/5/2005	Συνολικά 48h					
	Ολικά κολοβακτήρια (cfu/m3)	Κοπρανώδη κολοβακτήρια (cfu/m3)	Ολικά βακτήρια (cfu/m3)	Ολικά βακτήρια (22^{o}C) (cfu/m3)	^{o}C	Humidity(%)
Εσχάρωση	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Λιποσυλλογή	224	16	520	1640	29,9	54
Δεξ.Μερισμού Α'Καθίζ.	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Α' Καθίζησης	76	5,5	332	32	29,9	58
Δεξ.Αερισμού	1	0	20	16	29,9	58
Β' Καθίζησης	0,5	0	38	8	29,9	58
Χλωρίωση	0	0	13	6	29,9	58
Ταινιοφιλτροπρέσες Λασπης	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Μάρτυρας(Λέσχη ΤΕΙ)	0,5	0	570	n.d	26,8	63
Μάρτυρας(Προαύλιο ΤΕΙ)	0	0	80	n.d	26	57

24/6/2005	Συνολικά 48h					
	Ολικά κολοβακτήρια (cfu/m3)	Κοπρανώδη κολοβακτήρια (cfu/m3)	Ολικά βακτήρια (cfu/m3)NA	Ολικά βακτήρια (cfu/m3)TSB	Μύκητες(cfu/m3)	Εντερόκοκκος(cfu/m3)
Εσχάρωση	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Λιποσυλλογή	340	50	1080	1280	580	65
Δεξ.Μερισμού Α'Καθίζ.	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Α' Καθίζησης	7,5	3,5	870	360	60	5
Δεξ.Αερισμού	0,5	n.d	8	24	16	0
Β' Καθίζησης	n.d	n.d	98	118	6	0
Χλωρίωση	n.d	n.d	15	24	3	0
Ταινιοφιλτροπρέσες Λασπης	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Μάρτυρας(Λέσχη ΤΕΙ)	13,5	0	310	570	270	0,5
Μάρτυρας(Προαύλιο ΤΕΙ)	9,5	0	280	80	190	0

15/7/2005	Συνολικά 48h					
	Ολικά κολοβακτήρια (cfu/m3)	Κοπρανώδη κολοβακτήρια (cfu/m3)	Ολικά βακτήρια (cfu/m3)NA	Ολικά βακτήρια (cfu/m3)TSB	Μύκητες (cfu/m3)	Εντερόκοκκος(cfu/m3)
Εσχάρωση	8	0	300	120	240	13,5
Λιποσυλλογή	170	4	120	820	180	47,5
Δεξ.Μερισμού Α'Καθίζ.	36	0	180	40	80	15
Α' Καθίζησης	9	0	220	240	200	0
Δεξ.Αερισμού	0	n.d	16	10	50	0
Β' Καθίζησης	n.d	n.d	2	6	24	0
Χλωρίωση	n.d	n.d	7	6	28	0
Ταινιοφιλτροπρέσες Λασπης	0	0	60	760	60	0
Μάρτυρας(Λέσχη ΤΕΙ)	0	0	20	220	50	0
Μάρτυρας(Προαύλιο ΤΕΙ)	0	0	110	150	40	0

Ετερόχθονα ολικά ετερότροφα βακτήρια.

Ετερόχθονα Ολικά Ετερότροφα Βακτήρια						
			Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας	Θερμοκρασία(^{o}C)	Υγρασία(%)	CFU/m^3
14/9/2005	10:30	ήλιος	550	32	45	2760
		σκιά	77	32	45	70
	13:00	ήλιος	699	35	58	470
		σκιά	98	35	58	54
	20:00	ήλιος	0	28	42	51
		σκιά	0	28	42	40
15/9/2005	10:30	ήλιος	572	27	51	100
		σκιά	80	27	51	120
	13:00	ήλιος	470	33	43	30
		σκιά	65,8	33	43	7
	20:00	ήλιος	0	25,3	57	31
		σκιά	0	25,3	57	30
16/9/2005	10:30	ήλιος	360	27,8	51	20
		σκιά	50	27,8	51	70
	13:00	ήλιος	396	28	60	70
		σκιά	55	28	60	100
	20:00	ήλιος	0	20	45	30
		σκιά	0	20	45	40
17/9/2005	10:30	ήλιος	610	25	60	60
		σκιά	85	25	60	30
	13:00	ήλιος	740	31,9	58	20
		σκιά	103	31,9	58	50
	20:00	ήλιος	0	22	50	90
		σκιά	0	22	50	300

Αυτόχθονα ολικά ετερότροφα βακτήρια.

Αυτόχθονα Ολικά Ετερότροφα Βακτήρια						
			Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας	Θερμοκρασία(^{o}C)	Υγρασία(%)	CFU/m^3
16/9/2005	10:30	ήλιος	360	27,8	51	20
		σκιά	50	27,8	51	120
	13:00	ήλιος	396	28	60	50
		σκιά	55	28	60	90
	20:00	ήλιος	0	20	45	20
		σκιά	0	20	45	0
17/9/2005	10:30	ήλιος	610	25	60	20
		σκιά	85	25	60	30
	13:00	ήλιος	740	31,9	58	40
		σκιά	103	31,9	58	30
	20:00	ήλιος	0	22	50	20
		σκιά	0	22	50	10

Μύκητες

Μύκητες						
			Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας	Θερμοκρασία(^oC)	Υγρασία(%)	CFU/m^3
16/9/2005	10:30	ήλιος	360	27,8	51	130
		σκιά	360	27,8	51	140
	13:00	ήλιος	396	28	60	130
		σκιά	396	28	60	240
	20:00	ήλιος	0	20	45	100
		σκιά	0	20	45	80

Δειγματοληψία στις 14/07/05

14/7/2005							
Ώρα	Ένταση ηλιακής Ακτινοβολίας (W/m^2)		Ολικά κολοβακτήρια (Cfu/m3)	Ολικά ετεροτροφα βακτήρια (Cfu/m3)	Μύκητες (Cfu/m3)	Θερμοκρασία(^oC)	Υγρασία(%)
10:00	700	Ήλιος	0	820	630	30	48
	98	Σκια	0	880	680	28,4	51
12:00	840	Ήλιος	0	570	1140	34,6	34
	117,6	Σκια	0	500	800	28,9	48
18:00	200	Ήλιος	0	280	700	25	45
	28	Σκια	0	300	760	26,3	51

Βιβλιογραφικές Αναφορές

[1] Maier R. M., Pepper J. L., Gerba C. P., 2002, *Environmental Microbiology*, Academic Press, Canada

[2] Department of Architectural Engineering, Greece: Background information [online], 2005. Available from:

<http://www.engr.psu.edu/ae/iec/abe/topics/evolution.asp#pro>[accessed 20/05/2005].

[3] Department of Architectural Engineering, Greece: Background information [online], 2005. Available from:

<http://www.engr.psu.edu/ae/iec/index.htm> [accessed 20/05/2005].

[4] Γεντεκάκης Ι., 1999, *Ατμοσφαιρική Ρύπανση Επιπτώσεις, Έλεγχος & Εναλλακτικές Τεχνολογίες*: Τζιόλα Θεσσαλονίκη

[5] Tyrjanmaa K., *Incidence of immediate allergy to latex gloves in hospital personnel,* 1987, Contact Dermatitis (17), 270-5

[6] Charous BL., Hamilton RG., Yunginger JW., *Occupational latex exposure: characteristics of contact and systemic reactions in 47 workers*, J Allergy Clin. Immunol. (94), 1994

[7] Kristensen P., Andersen A., Irgens LM., 2000, *Hormonedependent cancer and adverse reproductive outcomes in farmers ' families —effects of climatic conditions favoring fungal growth in grain*, Scand J Work Environ Health (26), 331 –7

[8] Douwes J., Thorne P., Pearce N., Heederik D., *Bioaerosol Health Effects and Exposure Assessment: Progress and Prospects*, Annals of Occupational Hygiene 47 (3), 2003, 187-200.

[9] Driver CR., Valway SE., Morgan WM., Onorato IM., Castro KG., 1994, *Transmission of Mycobacterium tuberculosis associated with air travel*, J Am Med Assoc, (272),1031 –5

[10] Van den Ende J., Lynen L., Elsen P *et al.*, 1998, *A cluster of airport malaria in Belgium in 1995*, Acta Clin Belg, (953), 259 –63.

[11] Castellani Pastoris M., Ciceroni L., Lo Monaco R *et al.,* 1997, *Molecular epidemiology of an outbreak of Legionnaires ' disease associated with a cooling tower in Genova-Sestri Ponente, Italy*, Eur J Clin Microbiol Infect Dis, (16), 883 – 92

[12] Brown CM., Nuorti PJ., Breiman RF *et al.,* 1999, *A community outbreak of Legionnaires ' disease linked to hospital cooling towers: an epidemiological method to calculate dose of exposure*, Int J Epidemiol, (28), 353 –9

[13] Kool JL., Bergmire-Sweat D., Butler JC *et al.,* 1999, *Hospital characteristics associated with colonization of water systems by Legionella and risk of nosocomial legionnaires 'disease: a cohort study of 15 hospitals*, Infect Control Hosp Epidemiol, (20), 798 –805

[14] Osterholm MT., Chin TD., Osborne DO *et al.,* 1983, *A 1957 outbreak of Legionnaires ' disease associated with a meat packing plant*, Am J Epidemiol, (117), 60 –7

[15] Mahoney FJ., Hoge CW., Farley TA *et al.,* 1992, *Community-wide outbreak of Legionnaires ' disease associated with a grocery store mist machine,* J Infect Dis, (165), 736 –9

[16] Den Boer JW., Yzerman EP., Schellekens J *et al.,* 2002, *A large outbreak of Legionnaires 'disease at a flower show the Netherlands*, Emerg Infect Dis, (8), 37 –43

[17] MMWR, *Coccidioidomycosis —United States 1991 – 1992*, 1993, Morbid Mortal Weekly Rep, 42(2), 21 –4

[18] NIOSH, *Histoplasmosis: protecting workers at risk, DHHS (NIOSH),* Publication no.97 –146, Cincinnati, OH: NIOSH, 1997

[19] Bernstein IL, Chan-Yeung M., Malo JL, Bernstein DI (eds), 1999, Asthma in the workplace, 2nd edn. New York, NY: Marcel Dekker

[20] Vogelzang PF, van der Gulden JW, Folgering H *et al.,* 1998, *Endotoxin exposure as a major determinant of lung function decline in pig farmers,* Am J Respir Crit Care Med, (157),15 –8

[21] Cullinan P., Cook A., Gordon S et al., 1999, Allergen exposure, atopy and smoking as determinants of allergy to rats in a cohort of laboratory employees, Eur Respir J, (13),1139 –43

[22] Donham KJ, Rylander R., 1986, Epilogue: Health effects of organic dusts in the farm environment, Am J Ind Med, (10), 339 –40

[23] Von Essen S., Robbins RA, Thompson AB, Rennard SI, 1990, Organic dust toxic syndrome: an acute febrile reaction to organic dust exposure distinct from hypersensitivity pneumonitis, Clin Toxicol, (28), 389 –420

[24] Rylander R., 1997c, Evaluation of the risks of endotoxin exposures, Int J Occup Environ Health, (3) (suppl), 32 –6

[25] Hayes RB, Van Nieuwenhuize JP, Raatgever JW, Kate FJW, 1984, *Aflatoxin exposures in the industrial setting: an epidemiological study of mortality*, Food Chem. Toxicol, (22), 39 –43

[26] Sorenson WG, Jones W., Simpson J., Davidson JI, 1984, *Aflatoxin in respirable airborne peanut dust*, J Toxicol Environ Health, (14), 525 –33

[27] Bray GA, Ryan DH (eds), 1991, *Mycotoxins cancer and health*, Baton Rouge, LA, Louisiana State University Press

[28] National Toxicology Program, *Sixth annual report on carcinogens,* Washington, 1991, DC: US Government Printing Office, Summary, (17 –19), 309 –11

[29] Autrup JL, Schmidt J, Autrup H., 1993, *Exposure to aflatoxin B1 in animal-feed production plant workers,* Environ Health Perspect, (99), 195 –7

[30] Olsen JH, Dragsted L, Autrup H., 1988, *Cancer risk and occupational exposure to aflatoxins in Denmark*, Br J Cancer, (58), 392 –6

[31] Blair A., Hoar Zahm S., Pearce NE, Heineman EF, *Fraumeni JF,* 1992, *Clues to cancer etiology from studies of farmers*, Scand J Work Environ Health, (18), 209 –15

[32] Khuder SA, Mutgi AB, Schaub EA, 1998, *Meta-analyses of brain cancer and farming,* Am J Ind Med, (34), 252 –60

[33] Reif JS, Pearce NE, Fraser J, 1989, *Cancer risks among New Zealand meat workers,* Scand J Work Environ Health, (15), 24 –9

[34] Bethwaite P., McLean D., Kennedy J., Pearce N, 2001, *Adult onset acute leukaemia and employment in the meat industry: a New Zealand case-control study,* Cancer Causes Control, (12), (635 –43), 339 –40

[35] Στάμου Α., 1995, *Βιολογικός Καθαρισμός Αστικών Αποβλήτων:* Παπασωτηρίου Αθήνα

[36] Έκδοση της ΔΕΥΑ ΧΑΝΙΩΝ, 2004, *Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων*

[37] Pascual Leonor, Perez-Luz Sara, Yanez Adela M., Santamaria Ana, Gibert Carina, Salgot Miquel, Apraiz David, Catalan Vicente., *Bioaerosol emission from wastewater treatment*, Aerobiologia 19, 2003, 261-270

[38] Suresh D. Pillai and Steven C. Ricke, 2002, Can. J. Microbiol., 48, 681-696

[39] Miguel A. Sanchez-Monedero* and Edward I. Stediford, Claudio Mondini

[40] Giancarlo Ranalli, Pamela Principi & Claudia Sorlini (Bacterial aerosol emission from wastewater treatment plants: Culture methods and bio-molecular tools)

[41] Merck, 1999, *MAS-100 Microbiological Air Sampler Operators Manual*

[42] Κατσίβελα Ε., Μαρουκλή Δ., Παντίδου Α., 2005, Εργαστήριο Ελέγχου Ποιότητας Αέρα, ΤΕΙ Κρήτης Παράρτημα Χανίων