

Αερομεταφερόμενοι μικροοργανισμοί και αιωρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα της Ανατολικής Μεσογείου



της Δρ. Ελευθερίας Κατσιβελα

Τα τελευταία 8 χρόνια, το Εργαστήριο Περιβαλλοντικής Χημείας και Βιοχημικών Διεργασιών του Τμήματος Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, δραστηριοποιείται στον Έλεγχο της Ποιότητας του Αέρα στο εξωτερικό φυσικό περιβάλλον και σε εσωτερικούς χώρους διαβίωσης του ανθρώπου. Ένα ιδιαίτερα ενδιαφέρον αντικείμενο σε αυτή την επιστημονική περιοχή, αφορά τον έλεγχο του αερομεταφερόμενου μικροβιακού φορτίου και την συσχέτιση αυτού, τόσο με περιβαλλοντικές παραμέτρους όσο και με συγκεκριμένες πηγές εκπομπής.

Κάθε κυβικό μέτρο του εσωτερικού ή υπαίθριου αέρα, μπορεί να περιέχει χιλιάδες ή ακόμα και εκατομμύρια αερομεταφερόμενα αιωρούμενα σωματίδια, μικροοργανισμούς και βιολογικά μόρια. Τα βιολογικής προέλευσης αερομεταφερόμενα μόρια και σωματίδια αναφέρονται συλλογικά ως βιοαεροζόλ. Τα βιοαεροζόλ μπορούν να είναι μικροοργανισμοί ή σωματίδια ή αέρια βιολογικής προέλευσης, τα οποία βρίσκονται στην ατμόσφαιρα. Ως παραδείγματα βιοαεροζόλ μπορούν να αναφερθούν, οι αερομεταφερόμενοι ιοί, τα βακτήρια, οι μύκητες, η γύρη, τμήματα μικροβιακών κυττάρων ή εντόμων, προϊόντα μεταβολισμού διαφόρων οργανισμών, πτητικές οργανικές ενώσεις βιολογικής προέλευσης, όπως τοξίνες και άλλα [1].

Τα αερομεταφερόμενα μικρόβια υπάρχουν, αναπτύσσονται και πολλαπλασιάζονται τόσο στους εσωτερικούς όσο και στους εξωτερικούς χώρους. Η εισαγωγή τους

στους εσωτερικούς χώρους πραγματοποιείται μεταξύ άλλων μέσω των συστημάτων ψύξης, θέρμανσης και εξαερισμού, καθώς επίσης και μέσω του φυσικού αερισμού 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 συγκεκριμένες πηγές εκπομπής, όπως χαλιά, υφάσματα, υλικά επιπλώσεων, σκόνη, κατοικίδια ζώα, φυτά εσωτερικών χώρων και άλλα. Τέλος, μια σημαντική πηγή 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 [1].

Τα αιωρούμενα σωματίδια στον αέρα, ανάλογα με το μέγεθος τους, επιδρούν στο αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου. Σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη των 10 μm (PM₁₀ - Particulate Matter) ανήκουν στο εισπνεύσιμο κλάσμα, μπορούν να είναι ιδιαίτερα επιβλαβή για την υγεία και για αυτό το λόγο έχει θεσπιστεί το ετήσιο ανώτατο επιτρεπτό όριο συγκέντρωσης τους στον αέρα ίση με 40 μg/m³. Όσο μικρότερα σε μέγεθος είναι τα σωματίδια, τόσο βαθύτερα στους πνεύμονες διεισδύουν, όπου μπορούν να εγκατασταθούν μόνιμα στα τοιχώματα και να δημιουργήσουν σοβαρά προβλήματα υγείας.

Παρόλο που η ύπαρξη αερομεταφερό-

μενων παθογόνων μικροοργανισμών (όπως π.χ. του ιού της γρίπης) είναι πολλά χρόνια γνωστή και οι επιπτώσεις τους στην ανθρώπινη υγεία απασχολεί έντονα την επιστημονική κοινότητα, σχετικά περιορισμένη γνώση υπάρχει όσον αφορά την μικροβιακή σύσταση του αέρα, την ικανότητα επιβίωσης των αερομεταφερόμενων μικροοργανισμών, τον μεταβολισμό και τις ιδιότητες αυτών, την αλληλεπίδραση και πιθανή προσαρμογή αυτών σε χημικούς ρύπους, την ανθεκτικότητα αυτών σε αντιβιοτικά και την σχέση τους με μετεωρολογικές παραμέτρους, όπως ακτινοβολία, θερμοκρασία, σχετική υγρασία κ.ά.. Ακόμα λιγότερες ερευνητικές εργασίες έχουν ασχοληθεί με την περιεκτικότητα του αέρα σε αερομεταφερόμενους μικροοργανισμούς στην Μεσόγειο.

Το Εργαστήριο Περιβαλλοντικής Χημείας και Βιοχημικών Διεργασιών, αναγνωρίζοντας τη σημαντικότητα και το ενδιαφέρον αυτού του ερευνητικού αντικειμένου, έθεσε ως στόχο την καταγραφή και παρακολούθηση της συγκέντρωσης αερομεταφερόμενων μικροβίων σε σχέση με πιθανές πηγές εκπομπής, τόσο στον ατμοσφαιρικό αέρα όσο και σε εσωτερικούς κλιματιζόμενους και μη χώρους διαβίωσης του ανθρώπου [1-12].

Αρχικά, εξετάστηκαν οι συγκεντρώσεις των ζώντων, αερομεταφερόμενων, δυνητικά παθογόνων, ετερότροφων βακτηρίων και μυκήτων στον ατμοσφαιρικό αέρα της περιαστικής περιοχής της πόλης των Χανίων στο επίπεδο της ανθρώπινης έκθεσης, με σκοπό να χρησιμοποιηθούν τα δεδομένα αυτά σαν μάρτυρες. Η συλλογή των δεδομένων ξεκίνησε το έτος 2006 και συνεχίζεται έως σήμερα. Πραγματοποιούνται δειγματοληψίες εβδομαδιαίες σε διάφορες εποχές του χρόνου.

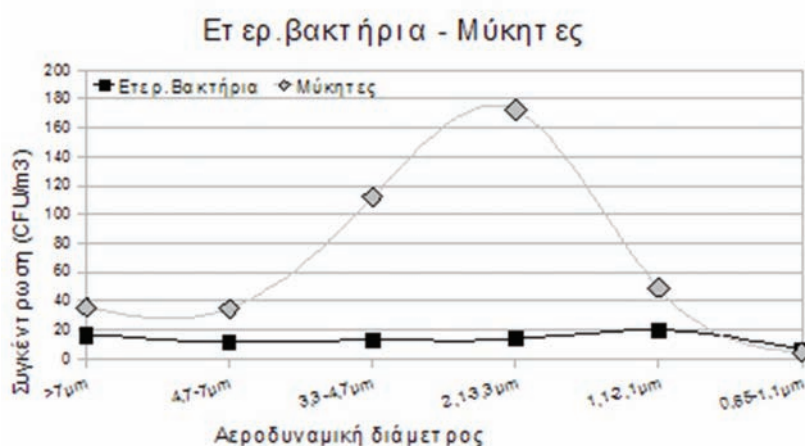
Συγκέντρωση και κατανομή μεγέθους αερομεταφερόμενων μικροβίων στην ατμόσφαιρα

Η αναγκαιότητα καταγραφής των επιπέδων του αερομεταφερόμενου μικροβιακού φορτίου του υπόβαθρου, προήλθε λόγω της έλλειψης ανώτατων επιτρεπτών οριακών τιμών για τα περισσότερα βιοαεροζόλη. Η πιο κοινή πρακτική, είναι η σύγκριση των συγκεντρώσεων αυτών σε εσωτερικούς χώρους με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις σε υπαίθριους χώρους κατά τη διάρκεια δειγματοληψίας κάτω από τις ίδιες συνθήκες. Αυτή η συγκριτική μέθοδος θεωρεί, ότι οι συγκεντρώσεις σε εσωτερικούς χώρους δεν πρέπει να είναι σημαντικά μεγαλύτερες από



τις συγκεντρώσεις σε υπαίθριους χώρους και κυρίως να μην ξεπερνούν το διπλάσιο των τιμών του εξωτερικού αέρα [1]. Η συγκέντρωση των ζώντων βακτηρίων και των μυκήτων ανά κυβικό μέτρο αέρα, δίνεται σε αριθμό σχηματιζόμενων αποικιών ανά κυβικό μέτρο αέρα (CFU/m³).

Από την μελέτη αυτή διαπιστώθηκε, ότι κατά τη διάρκεια των μετρήσεων η μέση συγκέντρωση των αερομεταφερόμενων μυκήτων, (432 + 350 CFU/m³), ήταν τουλάχιστον 4 φορές υψηλότερη αυτής των ετερότροφων βακτηρίων (104 + 83 CFU/m³) και παρουσίαζε μεγάλη μεταβλητότητα. Οι υψηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν ιδιαίτερα κατά την άνοιξη και το καλοκαίρι, σε συν-



Διάγραμμα 1.

Κατανομή των μέσων συγκεντρώσεων των ετερότροφων βακτηρίων και μυκήτων, ανάλογα με την αεροδυναμική τους διάμετρο. Αφορά τους μέσους όρους κάθε επιπέδου όλων των δειγματοληψιών [2-3].

δυσασμό με το αερομεταφερόμενο νέφος της Σαχάρας, όπου παρατηρήθηκαν υπερβάσεις των μέσων τιμών από 3 έως 5 φορές. Όσον αφορά στην κατανομή των μέσων συγκεντρώσεων σε 6 επίπεδα κατανομής ανάλογα με την αεροδυναμική διάμετρο τους, από 0,65 έως και μεγαλύτερη από 7,7 μm, παρατηρήθηκε ότι οι μύκητες παρουσιάζουν μέγιστα σε αεροδυναμικές διαμέτρους από 2,1 έως 4,7 μm, ενώ τα βακτήρια παρουσιάζουν σχεδόν μια ισοκατανομή χωρίς εμφανές μέγιστο, όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 1 [2-3].

Ενδιαφέρον, παρουσίασε η διαπίστωση ότι οι συγκεντρώσεις των αερομεταφερόμενων βακτηρίων και μυκήτων στον ατμοσφαιρικό αέρα, παρουσιάζουν μεταβλητή κατανομή και δεν συσχετίζονται με τον αριθμό ή τις συγκεντρώσεις μάζας των εισπνεύσιμων αιωρούμενων σωματιδίων με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη των 10 μm (PM₁₀), 2,5 μm (PM_{2,5}) και 1 μm (PM₁). Η μέση συκέντρωση των εισπνεύσιμων PM₁₀ σωματιδίων κατά την διάρκεια των δειγματοληψιών (47 + 21 μg/m³) ήταν ελαφρά υψηλότερη της ανώτατης επιτρεπτής ετήσιας οριακής τιμής (40 μg/m³) που έχει θεσπιστεί βάσει της ευρωπαϊκής νομοθεσίας για την προστασία της ανθρώπινης υγείας. Αυτό το γεγονός συ-

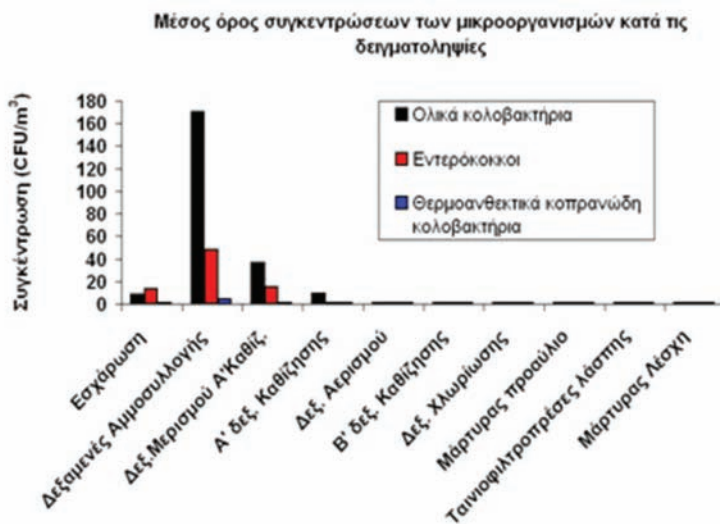
σχετίζεται με εκπομπές από φυσικές πηγές εκπομπής, οι οποίες για το σημείο δειγματοληψίας είναι κυρίως τα θαλάσσια σωματίδια, η αερομεταφερόμενη σκόνη της ερήμου και η επαναιώρηση σωματιδίων λόγω τυρβώδους ατμοσφαιρικής ροής [2-3].

Εκπομπές βιοαεροζολι από εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων

Εξετάζοντας πιθανές πηγές εκπομπής βιοαεροζολι στον ατμοσφαιρικό αέρα και αναγνωρίζοντας ως πιθανή πηγή τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων του Δήμου Χανίων, μελετήσαμε την παρουσία συγκεκριμένων μικροβιακών δεικτών κοπρανώδους προέλευσης στα αιωρούμενα σωματίδια της ατμόσφαιρας. Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας, ήταν ο προσδιορισμός των εκπομπών των ζώντων, δυνητικά παθογόνων, αερομεταφερόμενων μικροβίων στους σταθμούς εργασίας. Οι διενεργηθείσες δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν σε όλα τα στάδια επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων (εσχάρωση, εξάμωση, πρωτοβάθμια δεξαμενή καθίζησης, δεξαμενή αερισμού, δευτερόβαθμια δεξαμενή καθίζησης, κλωρίωση, ταινιοφιλτράρες λιάσης). Τα αποτελέσματα αυτής της εργασίας, όπως παρουσιάζονται στο διάγραμμα 2, έδειξαν ότι η προεπεξεργασία και η πρωτοβάθμια καθίζηση είναι τα στάδια με τις υψηλότερες εκπομπές βιοαεροζολι

(ολικά ετερότροφα βακτήρια 764,2 CFU/m³ κατά μέσο όρο στην προεπεξεργασία και 281,3 CFU/m³ κατά μέσο όρο στην πρωτοβάθμια καθίζηση, κοπρανώδη κολλοβακτήρια 27,8 CFU/m³ κατά μέσο όρο στην προεπεξεργασία και 1,8 CFU/m³ κατά μέσο όρο στην πρωτοβάθμια καθίζηση, ολικά κολλοβακτήρια 185,5 CFU/m³ κατά μέσο όρο στην προεπεξεργασία και 17,25 CFU/m³ κατά μέσο όρο στην πρωτοβάθμια καθίζηση, εντερόκοκκος 56,25 CFU/m³ κατά μέσο όρο στην προεπεξεργασία και 2,5 CFU/m³ κατά μέσο όρο στην πρωτοβάθμια καθίζηση και μύκητες 380

ολικών ετερότροφων βακτηρίων, 100% μείωση των κοπρανωδών θερμοανθεκτικών κολλοβακτηρίων, 99,9% μείωση των ολικών κολλοβακτηρίων, 100% μείωση των εντερόκοκκων και 95,9% μείωση των μυκήτων). Οι μετρηθείσες ελάχιστες συγκεντρώσεις αερομεταφερόμενων μικροβίων κατά την ολοκλήρωση της βιολογικής επεξεργασίας είχαν τιμές αντίστοιχες εκείνων του φυσικού περιβάλλοντος (μάρτυρες). Η εργασία αυτή έδειξε, ότι οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων αποτελούν κυρίως κατά την προεπεξεργασία μια σημαντική πηγή



Διάγραμμα 2.

Μέσες συγκεντρώσεις αερομεταφερόμενων ολικών και κοπρανωδών κολλοβακτηρίων και εντερόκοκκων κατά την επεξεργασία αστικών λυμάτων [4-5].

CFU/m³ κατά μέσο όρο στην προεπεξεργασία και 130 CFU/m³ κατά μέσο όρο στην πρωτοβάθμια καθίζηση με παροχή 17.440,5 m³/day) [4-5].

Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 2, παρατηρήθηκε μία σταδιακή μείωση της εκπομπής των βιοαεροζόλ, κατά την αυξανόμενη επεξεργασία των υγρών αποβλήτων, δηλαδή κατά τη μετάβαση από την προεπεξεργασία στην πρωτοβάθμια καθίζηση, στη δευτεροβάθμια επεξεργασία και στην απολύμανση (97,77% μείωση των

εκπομπής βιοαεροζόλ. Το γεγονός αυτό αντιμετωπίζεται πλέον σχεδόν παντού (συμπεριλαμβανομένου του βιολογικού καθαρισμού του Δήμου Χανίων) με κλειστές στεγαζόμενες εγκαταστάσεις και ειδικά αντιρρυπαντικά συστήματα των αερίων εκπομπών τους, ώστε να μην αποτελούν κίνδυνο για την δημόσια υγεία [4-5].

Ποιότητα αέρα εσωτερικών κλιματιζόμενων χώρων

Μελετήθηκε η ποιότητα του αέρα κλειστών κλιματιζόμενων χώρων σε εργασιακό

Πίνακας 1. Αναλογία μέσων συγκεντρώσεων αερομεταφερόμενων παραμέτρων εσωτερικού προς εξωτερικού περιβάλλοντος [6-7].

Προσδιοριζόμενοι Παράμετροι	Γραφείο ενός ατόμου	Γραφείο τεσσάρων ατόμων	Χώρος εξυπηρέτησης κοινού	Μη κλιματιζόμενος χώρος δύο ατόμων
Ετερότροφα Βακτήρια	1,0	2,7	2,8	2,3
Μύκητες	0,3	0,6	0,3	1,1
Ολικά Κολλοβακτήρια	0,1	0,8	0,7	1,2
Εισπνεύσιμα PM ₁₀	1,9	1,7	2,9	2,7

περιβάλλον, σε σχέση με αυτή ενός μη κλιματιζόμενου χώρου και του εξωτερικού ατμοσφαιρικού αέρα με προσδιορισμό των συγκεντρώσεων των ετερότροφων βακτηρίων, των μυκήτων, των ολικών κολλοβακτηρίων, αλλά και των εισπνεύσιμων αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀. Πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες σε εσωτερικούς κλιματιζόμενους χώρους εργασίας σε γραφεία κτιρίου με κεντρικό σύστημα αερισμού και κλιματισμού σε συνθήκες ψύξης κατά την καλοκαιρινή περίοδο, σε συνθήκες θέρμανσης κατά την χειμερινή περίοδο και εν μέρει χωρίς κλιματισμό κατά την φθινοπωρινή περίοδο. Παράλληλα, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε μη κλιματιζόμενο χώρο του ίδιου κτιρίου καθώς και μετρήσεις στο εξωτερικό περιβάλλον, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν σαν σημεία αναφοράς [6-7].

Όπως φαίνεται στον πίνακα 1, όπου παρουσιάζεται η αναλογία των μέσων συγκεντρώσεων εσωτερικού προς εξωτερικού περιβάλλοντος, η ποιότητα του αέρα στους κλιματιζόμενους χώρους ήταν καλύτερη εκείνης του μη κλιματιζόμενου χώρου.

Τα αποτελέσματα αυτής της εργασίας έδειξαν, ότι τις ώρες αιχμής (11:00-14:00, εξυπηρέτηση κοινού) η παρουσία των ετερότροφων βακτηρίων και των PM₁₀ σωματιδίων ήταν ιδιαίτερα αυξημένες. Ενώ οι

υψηλές συγκεντρώσεις αερομεταφερόμενων ετερότροφων βακτηρίων είχαν άμεση σχέση με την ύπαρξη ατόμων στους εσωτερικούς χώρους. Οι υψηλές συγκεντρώσεις PM₁₀ σωματιδίων επηρεάζονταν τόσο από τις υψηλές συγκεντρώσεις στο εξωτερικό περιβάλλον, όσο και από δραστηριότητες στο εσωτερικό περιβάλλον (κάπνισμα, ύπαρξη ατόμων). Η ποιότητα του αέρα του μη κλιματιζόμενου χώρου με φυσικό αερισμό, εξαρτιόταν από την ροή του αέρα. Η αυξανόμενη ροή του φυσικού αερισμού στον μη κλιματιζόμενο χώρο, παρόλο που οδηγούσε σε μείωση των συγκεντρώσεων των ετερότροφων βακτηρίων, ταυτόχρονα είχε σαν αποτέλεσμα την αύξηση των συγκεντρώσεων των μυκήτων και των εισπνεύσιμων PM₁₀ σωματιδίων με τάση εξομοίωσης αυτών με εκείνων του εξωτερικού περιβάλλοντος [6-7].

Ανθεκτικότητα αερομεταφερόμενων μικροοργανισμών σε αντιβιοτικά και μυκητοκτόνα

Αερομεταφερόμενοι μικροοργανισμοί με ανθεκτικότητα σε αντιβιοτικά και μυκητοκτόνα, μελετήθηκαν σε μη κλιματιζόμενους εσωτερικούς εργασιακούς χώρους καθώς και στον εξωτερικό ατμοσφαιρικό αέρα. Μικρόβια με ανθεκτικότητα σε φαρμακευτικές ουσίες είναι υπεύθυνα για ενδονοσοκομιακές λοιμώξεις. Λόγω της υπέρμετρης χρήσης αντιβιοτικών τις τελευταίες δεκαετίες

από τον ανθρώπινο πληθυσμό και της εσφαλμένης χρήσης τους σαν πρόσθετα σε ζωοτροφές έχει παρατηρηθεί η αύξηση της ύπαρξης ανθεκτικών στελεχών. Για αυτό τον λόγο, ο έλεγχος της συγκέντρωσης ανθεκτικών σε φαρμακευτικές ουσίες αερομεταφερόμενων μικροβίων, αποτέλεσε επίσης ένα ενδιαφέρον θέμα έρευνας. Συνολικά, εξετάστηκαν τρία διαφορετικά αντιβιοτικά (στρεπτομυκίνη, αμπικιλλίνη και τετρακυκλίνη) σε αερομεταφερόμενα βα-

κτήρια και δύο μυκητοκτόνα (κυκλοεξιμίδιο, νυστατίνη) σε αερομεταφερόμενους μύκητες σε συγκεντρώσεις από 2,5 έως 100 µg ανά mL θεραπευτικού υποστρώματος. Συνολικά διαπιστώθηκε μια υψηλή ανθεκτικότητα στα ελεγχθέντα αντιβιοτικά και μυκητοκτόνα σε μεγάλο ποσοστό αερομεταφερόμενων μικροβίων, τόσο στον ατμοσφαιρικό αέρα όσο και στον αέρα εσωτερικών χώρων (πίνακας 2) [8-9].

Πίνακας 2: Μέσες συγκεντρώσεις ζώντων, αερομεταφερόμενων μικροβίων και ποσοστό ανθεκτικότητας αυτών σε αντιβιοτικά ή μυκητοκτόνα αντίστοιχα στον αέρα εσωτερικών χώρων και στην ατμόσφαιρα του εξωτερικού περιβάλλοντος[8-9].

		Ανθεκτικότητα βακτηρίων σε αντιβιοτικά (% of CFU/m ³)								
Σημείο δειγματοληψίας	Μέση συγκέντρωση (CFU/m ³)	σε στρεπτομυκίνη 25 – 50 – 100 µg/mL			σε τετρακυκλίνη 5 – 25 – 100 µg/mL			σε αμπικιλλίνη 2.5 – 5 – 25 µg/mL		
		Γραφείο 2 ατόμων	415 + - 358	4,8	4,2	1,6	3,4	0,1	0,1	3,9
Γραφείο 4 ατόμων	432 + - 199	2,4	2	2	0,9	0,3	0,1	2,6	0,9	0,7
Γραφείο 10 ατόμων	250 + - 257	5,5	3,3	2,2	2,1	2,0	0,4	7,8	2,3	0,4
Εξωτερικό περιβάλλον	177 + - 84	9,7	4,6	4,6	8,6	2,8	0,7	7,2	5,2	0

		Ανθεκτικότητα μυκήτων σε μυκητοκτόνα (% of CFU/m ³)					
Σημείο δειγματοληψίας	Μέση συγκέντρωση (CFU/m ³)	σε κυκλοεξιμίδιο 25 – 50 – 100 µg/mL			σε νυστατίνη 5 – 25 – 100 µg/mL		
		Γραφείο 2 ατόμων	236 + - 192	7,6	6	4,7	48
Γραφείο 4 ατόμων	170 + - 181	10,2	10	8,6	95	δ.π.	48
Γραφείο 10 ατόμων	308 + - 233	18	7,4	4,5	59,3	δ.π.	36
Εξωτερικό περιβάλλον	731 + - 531	12,6	10,2	3,7	55,6	δ.π.	46

δ.π.: δεν προσδιορίστηκε

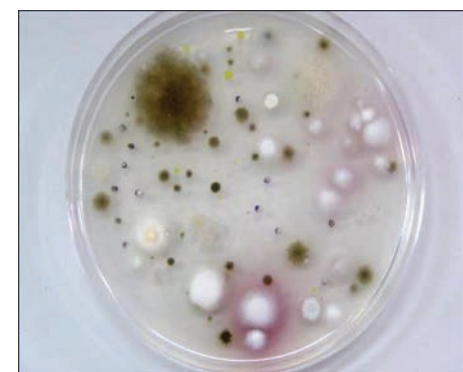
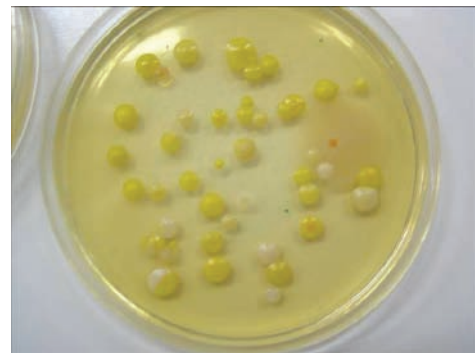


Διαπιστώθηκε ότι τα βακτήρια έχουν την υψηλότερη ανθεκτικότητα στη στρεπτομυκίνη, και οι μύκητες στη νυστατίνη. Πιο συγκεκριμένα, το ποσοστό των ζώντων, αερομεταφερόμενων ετερότροφων βακτηρίων που ήταν ανθεκτικό σε συγκέντρωση στρεπτομυκίνης 100 μg ανά mL θρεπτικού υποστρώματος, ήταν 4,6 % στον ατμοσφαιρικό αέρα, ενώ στους εσωτερικούς εργασιακούς χώρους κυμαινόταν από 1,6 έως 2,2 % επί του συνόλου των αερομεταφερόμενων βακτηρίων. Ταυτόχρονα, το ποσοστό των ζώντων αερομεταφερόμενων μυκήτων που ήταν ανθεκτικό σε συγκέντρωση νυστατίνης 100 μg ανά mL θρεπτικού υποστρώματος, ήταν εξαιρετικά υψηλό και κυμαινόταν από 36 έως 52 % τόσο στον εξωτερικό ατμοσφαιρικό αέρα όσο και στο εσωτερικό περιβάλλον [8-9].

Επίσης διαπιστώθηκε, ότι ενώ στο εξωτερικό περιβάλλον η συγκέντρωση της μάζας των εισπνεύσιμων PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ και PM_1 σωματιδίων είχε πολύ χαμηλή συσχέτιση με την συγκέντρωση των ανθεκτικών ή μη σε αντιβιοτικά μικροβίων (R^2 μικρότερο από 0,2), στους εσωτερικούς χώρους ήταν υψηλή και ο συντελεστής συσχέτισης R^2 κυμαινόταν από 0,5 έως 0,9 [8-9].

Ανθεκτικότητα των αερομεταφερόμενων μικροοργανισμών σε βαρέα μέταλλα

Η ανθεκτικότητα των αερομεταφερόμενων μικροοργανισμών στα βαρέα μέταλλα μόλυβδο και υδράργυρο που υπάρχουν στα αιωρούμενα σωματίδια της ατμόσφαιρας, αποτέλεσε επίσης αντικείμενο έρευνας. Η επιλογή των συγκεκριμένων βαρέων μετάλλων παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον λόγω της ύπαρξής τους στον ατμοσφαιρικό αέρα. Ενώσεις μόλυβδου έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν σε μεγάλες συγκεντρώσεις και χρησιμοποιούνται εν μέρει ακόμα και σή-



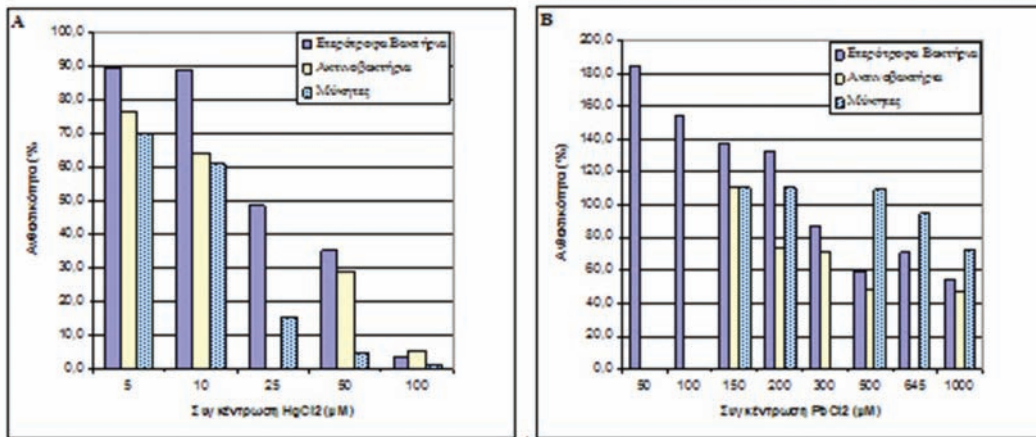
μερα σε μικρότερες ποσότητες σαν αντι-κροτικά στην βενζίνη, ενώ ο υδράργυρος εκπέμπεται κατά την καύση κάρβουνου ως παραπροϊόν στον αέρα.

Τα σημαντικότερα αποτελέσματα της συγκεκριμένης εργασίας παρουσιάζονται στο διάγραμμα 3 και έδειξαν, ότι τα αερο-μεταφερόμενα μικρόβια παρουσίαζαν μια πολύ υψηλή ανθεκτικότητα σε συγκεντρώσεις μολύβδου μέχρι και 1.000 μM με ποσοστά επιβίωσης κυμαινόμενα από 47 έως 73 % επί του συνόλου. Ιδιαίτερο ενδιαφέ-

ξαν μία υψηλότερη ανθεκτικότητα στα συγκεκριμένα βαρέα μέταλλα σε σύγκριση με τους μύκητες, παρόλο που η μέση συγκέντρωσή τους ήταν πολύ χαμηλότερη (179 + 104 CFU/ m^3) αυτής των μυκήτων (632 + 856 CFU/ m^3) στον αέρα κατά την διάρκεια των μετρήσεων [10-11].

Ανθεκτικότητα αερομεταφερόμενων μικροβίων ταυτόχρονα σε βαρέα μέταλλα και αντιβιοτικά

Η ανθεκτικότητα των αερομεταφερόμενων μικροβίων ταυτόχρονα σε βαρέα μέ-



Διάγραμμα 3: Ποσοστό ανθεκτικότητας ζώντων αερομεταφερόμενων μικροοργανισμών σε βαρέα μέταλλα στον ατμοσφαιρικό αέρα (A. Hg^{2+} προστέθηκε ως χλωριούχος υδράργυρος; B. Pb^{2+} προστέθηκε ως χλωριούχος μόλυβδος). Τιμές υψηλότερες του 100 % δείχνουν ανάπτυξη υψηλότερη του μάρτυρα, π.χ. 120 % δείχνει αύξηση 20 % σε σχέση με την μέση τιμή του μάρτυρα (100 %) [10-11].

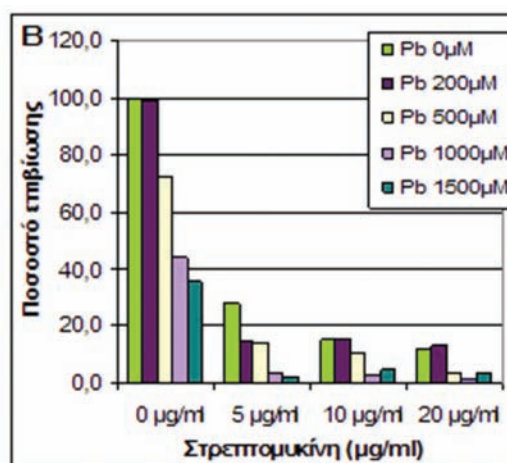
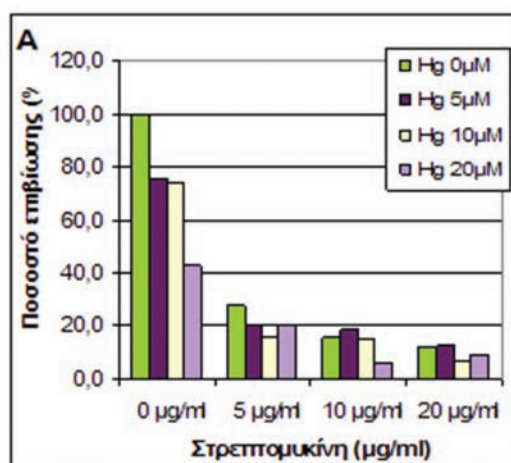
ρον είχε η διαπίστωση, ότι η προσθήκη χαμηλών συγκεντρώσεων μολύβδου μέχρι 200 μM , ευνοούσε την ανάπτυξη τους. Αντίθετα, η τοξικότητα του υδραργύρου ήταν υψηλότερη αυτής του μόλυβδου. Αν και το 60% των ζώντων, αερομεταφερόμενων μικροβίων ήταν ανθεκτικά σε χαμηλές συγκεντρώσεις υδραργύρου (5-10 μM), μόνο ένα ποσοστό της τάξης του 1 έως 5% μπορούσε να επιβιώσει σε συγκεντρώσεις υδραργύρου 100 μM . Συνολικά, τα αερομεταφερόμενα ετερότροφα βακτήρια έδει-

ταίη και αντιβιοτικά στην ατμόσφαιρα και σε εσωτερικούς εργασιακούς χώρους, ήταν το επόμενο αντικείμενο έρευνας. Ως βαρέα μέταλλα, επιλέχθηκαν ο μόλυβδος και ο υδράργυρος, ενώ ως αντιβιοτικό για τα βακτήρια η στρεπτομυκίνη και ως μυκητοκτόνο το κυκλοεξιμίδιο για τους μύκητες. Τα σημαντικότερα αποτελέσματα αυτής της εργασίας, έδειξαν ότι ένα ποσοστό κυμαινόμενο από 7-11% των ετερότροφων βακτηρίων ήταν ανθεκτικό ταυτόχρονα σε συγκεντρώσεις στρεπτομυκίνης (20 $\mu\text{g}/\text{mL}$) και υδραρ-

γύρου (20 μM), ενώ το ποσοστό επιβίωσης στα αερομεταφερόμενα βακτήρια σε στρεπτομυκίνη (20 $\mu\text{g}/\text{mL}$) και μόλυβδο (1.500 μM) κυμαινόταν από 1,2 έως 3,4 % (διαγραμμα4). Παρόλο που ανάλογη συμπεριφορά έδειξαν και οι αερομεταφερόμενοι μύκητες στο συνδυασμό κυκλοεξαμιδίου (20 $\mu\text{g}/\text{mL}$) και υδραργύρου (20 μM), τα ποσοστά επιβίωσης αυτών στο συνδυασμό κυκλοεξαμιδίου (20 $\mu\text{g}/\text{mL}$) και μολύβδου (1.500 μM) ήταν υψηλότερα (13-19 %) [12].

Τα προαναφερόμενα αποτελέσματα, μπορούν να εξηγηθούν με την μεταφορά

τις ικανότητες ανήκουν στους μελλιοντικούς στόχους του εργαστηρίου. Επίσης, η μελέτη της δυνατότητας χρήσης τους σε πιθανές βιοτεχνολογικές εφαρμογές βιοεξυγίανσης αερίων εκπομπών είναι ένας πολυά υποσχόμενος μελλιοντικός στόχος.



Διάγραμμα 4: Ποσοστό ανθεκτικότητας ζώντων αερομεταφερόμενων ετερότροφων βακτηρίων ταυτόχρονα σε στρεπτομυκίνη και βαρέα μέταλλα στον ατμοσφαιρικό αέρα (A. Hg²⁺ προστέθηκε ως χλωριούχος υδράργυρος; B. Pb²⁺ προστέθηκε ως χλωριούχος μόλυβδος) [12].

γενετικής πληροφορίας ανθεκτικότητας ταυτόχρονα σε αντιβιοτικά και βαρέα μέταλλα, λόγω της επιλεκτικής πίεσης ανάμεσα σε αερομεταφερόμενα μικρόβια, η οποία προέρχεται τόσο από την ρύπανση του αέρα με τα συγκεκριμένα βαρέα μέταλλα όσο και με την υπέρμετρη χρήση αντιβιοτικών [12].

Η απομόνωση, ταυτοποίηση και χαρακτηρισμός αερομεταφερόμενων μικροβίων με ιδιαίτερες ικανότητες καθώς και η ανίχνευση των γονιδίων που ελέγχουν αυτές



Βιβλιογραφία

1. Ε. Κατσιβελα, 2008, Κεφάλαιο 3 «Βιοαεροζόλη». στο βιβλίο Μ. Λαζαρίδης «Ποιότητα Αέρα σε Εσωτερικούς Χώρους», Εκδόσεις Τζιοβας, Θεσσαλονίκη, ISBN. 978-960-418-151-3, σελ. 121-136.
2. Πτυχιακή εργασία Λουίζας Ραϊση. Τίτλος: Συσχέτιση μικροβιακού φορτίου και αιωρούμενων σωματιδίων σε αέρια δείγματα αστικού περιβάλλοντος. Τμήμα Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Τ.Ε.Ι. Κρήτης, 2009.
3. L. Raisi, M. Lazaridis, and E. Katsivela. 2010. Relationship between Airborne Microbial and Particulate Matter Concentrations in the Ambient Air at a Mediterranean Site. *Global Nest Journal* 12 (1), 84-91.
4. Πτυχιακή εργασία Στυλιανής Καρρά. Τίτλος: Προσδιορισμός μικροβιακού φορτίου σε αεροζόλη σε μονάδα επεξεργασίας υγρών αστικών αποβλήτων. Τμήμα Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Τ.Ε.Ι. Κρήτης, 2006.
5. S. Karra and E. Katsivela. 2007. Microorganisms in Bioaerosol Emissions from Wastewater Treatment Plants during Summer at a Mediterranean Site. *Water Research*, 41, 1355-1365.
6. Πτυχιακή εργασία Ανδριανής Μαραγκού και Βασιλικής Κοντομήτρου. Τίτλος: Προσδιορισμός αερομεταφερόμενου μικροβιακού φορτίου σε κλιματιζόμενους χώρους. Τμήμα Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Τ.Ε.Ι. Κρήτης (2009).
7. V. Kontomitrou, A. Maragkou, M. Lazaridis, M. Vrachopoulos, and E. Katsivela. 2008. Airborne Microbial Concentrations and PM10 Levels in Air Conditioned Offices. E-Proceedings of the European Aerosol Conference 2008 (EAC 2008), Thessaloniki, Greece, Abstract T02A113P.
8. Πτυχιακή εργασία Νικόλαου Πατρίκη. Τίτλος: Ανθεκτικότητα σε αντιβιοτικά αερομεταφερόμενου μικροβιακού φορτίου. Τμήμα Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Τ.Ε.Ι. Κρήτης (σε εξέλιξη).
9. N. Patrikis, M. Lazaridis, and E. Katsivela. 2009. Antibiotic-Resistant Airborne Microbial Concentrations and Particulate Matter Indoor / Outdoor Levels. In e-Proceedings of the 11th International Conference on Environmental Science and Technology (CEST2009), Chania, Crete, Greece, September 3rd - 5th, 2009, 725-729.
10. Πτυχιακή εργασία Σπύρου Μόσιου και Ιωάννη Μπέη. Τίτλος: Ανθεκτικότητα αερομεταφερόμενου μικροβιακού φορτίου σε υδράργυρο και μόλυβδο. Τμήμα Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Τ.Ε.Ι. Κρήτης (σε εξέλιξη).
11. S. Mosios, I. Beis, M. Lazaridis, and E. Katsivela. 2011. Airborne microbes and heavy metal toxicity. In e-Proceedings of the 5th European Bioremediation Conference, July 4-7, 2011, Chania, Crete, Greece.
12. Πτυχιακή εργασία Όλγας Νικηφόρου και Αναστασίας Κύκνα. Τίτλος: Ανθεκτικότητα αερομεταφερόμενου μικροβιακού φορτίου σε αντιβιοτικά και βαρέα μέταλλα. Τμήμα Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Τ.Ε.Ι. Κρήτης (σε εξέλιξη).

