

# ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ



ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ



ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ Τ.Ε  
ΤΟΜΕΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ & ΒΙΟΧΗΜΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ

---



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*"Μελέτη της ανθεκτικότητας σε αντιβιοτικά και βαρέα μέταλλα  
αερομεταφερόμενων μικροοργανισμών "*

Νικηφόρου Όλγα  
Κύκνα Αναστασία

*Επιβλέπουσα καθηγήτρια*  
**Αναπλ. Καθ. ΕΛΕΥΘΕΡΙΑ ΚΑΤΣΙΒΕΛΑ**

**ΧΑΝΙΑ 2013**

*Μελέτη της ανθεκτικότητας σε αντιβιοτικά  
και βαρέα μέταλλα αερομεταφερόμενων μικροοργανισμών*

*Νικηφόρου Όλγα  
Κύκνα Αναστασία*

*«Το μέλλον ανήκει σε αυτούς που πιστεύουν στην ομορφιά των ονείρων τους.»*

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Η ολοκλήρωση της πτυχιακής υλοποιήθηκε με την υποστήριξη ενός αριθμού ανθρώπων, στους οποίους θα θέλαμε να εκφράσουμε τις θερμότερες ευχαριστίες μας.

Πρώτα απ'όλους θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την καθηγήτριά μας, Κατσίβελα Ελευθερία, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια του Τμήματος Μηχανικών Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος Τ.Ε. του Τ.Ε.Ι Κρήτης της Σχολής Εφαρμοσμένων Επιστημών, για την εμπιστοσύνη, την καθοδήγηση και την υποστήριξη της καθ'όλη τη διεκπεραίωση της παρούσας πτυχιακής.

Τον Αναπληρωτή Καθηγητή Λαζαρίδη Μιχάλη, υπεύθυνο του Εργαστηρίου Ατμοσφαιρικών Αιωρούμενων Σωματιδίων του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης, για την παραχώρηση των οργάνων μέτρησης.

Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε μέσα από την καρδιά μας, τους γονείς μας για την κατανόηση που έδειξαν όλον αυτόν τον καιρό.

## **ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ**

*Αναπλ. Καθ. Ελευθερία Κατσίβελα  
Καθ. Εφαρμογών Δημήτριος Καλδέρης  
MSc Ηλίας Κοπανάκης*

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας πτυχιακής εργασίας ήταν η μελέτη της ανθεκτικότητας των αερομεταφερόμενων μικροοργανισμών (ετερότροφα βακτήρια, μύκητες) σε βαρέα μέταλλα (ανόργανος μόλυβδος, υδράργυρος), σε αντιβιοτικά (στρεπτομυκίνη, κυκλοεξιμίδιο) καθώς επίσης και στον συνδυασμό αυτών. Παράλληλα εξετάστηκαν και κάποιες μετεωρολογικές παράμετροι (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ταχύτητα ανέμου στο σημείο δειγματοληψίας, ροή του αέρα σε κλειστό χώρο) όπως και τα εισπνεύσιμα  $PM_{10}$  αιωρούμενα σωματίδια με σκοπό την πιθανή συσχέτιση αυτών και των μικροοργανισμών.

Οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν από 30/11/2010 έως 17/05/2011 και από ώρα 09:30 – 14:00 στον εξωτερικό προαύλιο χώρο στη Σχολή Εφαρμοσμένων Επιστημών του Τ.Ε.Ι Κρήτης στη περιοχή της Χαλέπας της πόλης των Χανίων και από 14:15 – 17:45 στον εσωτερικό χώρο της βιβλιοθήκης του Ιδρύματος. Η εργασία πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Περιβαλλοντικής Χημείας και Βιοχημικών Διεργασιών του Τομέα Περιβαλλοντικής Τεχνολογίας του Τμήματος Μηχανικών Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος Τ.Ε. του Τ.Ε.Ι Κρήτης στη Σχολή Εφαρμοσμένων Επιστημών.

Η μικροβιακή αντοχή στην τοξικότητα των βαρέων μετάλλων μελετήθηκε στον χλωριούχο υδράργυρο ( $HgCl_2$ ) και στον χλωριούχο μόλυβδο ( $PbCl_2$ ) σε συγκεντρώσεις από 5 $\mu M$  έως 20 $\mu M$  και από 200 $\mu M$  έως 1.500 $\mu M$  αντίστοιχα.

Επίσης μελετήθηκε η αντοχή τους σε αντιβιοτικά και μυκητοκτόνα χρησιμοποιώντας στρεπτομυκίνη για τα ετερότροφα βακτήρια και κυκλοεξιμίδιο για τους μύκητες σε συγκεντρώσεις από 5 έως 20  $\mu g/ml$ .

Προσδιορίστηκαν επίσης τα αναπνεύσιμα αιωρούμενα σωματίδια  $PM_{10}$  καθώς επίσης και κάποιες μετεωρολογικές συνθήκες. Οι μέσες τιμές των μετεωρολογικών παραμέτρων κατά την περίοδο των δειγματοληψιών στον εξωτερικό προαύλιο χώρο, είχαν ως εξής: θερμοκρασία περιβάλλοντος:  $21,5 \pm 5,46$  °C, σχετική υγρασία:  $51,54 \pm 7,41\%$ , ταχύτητα ανέμου στο σημείο δειγματοληψίας:  $0,26 \pm 0,29$  m/sec και  $PM_{10}$ :  $64 \pm 33$   $\mu g/m^3$ . Στον εσωτερικό χώρο της βιβλιοθήκης του Ιδρύματος η θερμοκρασία περιβάλλοντος ήταν:  $22,78 \pm 1,95$  °C, η σχετική υγρασία:  $51,67 \pm 4,62\%$ , η ταχύτητα ανέμου στο σημείο δειγματοληψίας:  $0,035 \pm 0,055$  και τα  $PM_{10}$ :  $46 \pm 22$   $\mu g/m^3$ .

Παρατηρήθηκαν διαφορές μεταξύ των συγκεντρώσεων των ετερότροφων βακτηρίων και των μυκήτων σε σχέση με το εσωτερικό και το εξωτερικό περιβάλλον, της αντοχής τους στα βαρέα μέταλλα καθώς επίσης και της αντίστασής τους στα αντιβιοτικά.

Η μέση συγκέντρωση των ετερότροφων βακτηρίων στο εσωτερικό περιβάλλον ήταν υψηλότερη ( $433 \pm 595$  cfu/ $m^3$ ) σε σχέση με την μέση συγκέντρωση των μυκήτων ( $124 \pm 110$  cfu/ $m^3$ ). Αντίθετα στο εξωτερικό περιβάλλον η μέση συγκέντρωση των μυκήτων ήταν μεγαλύτερη ( $536 \pm 764$  cfu/ $m^3$ ) σε σχέση με την μέση συγκέντρωση των ετερότροφων βακτηρίων ( $214 \pm 208$  cfu/ $m^3$ ).

Συγκρίνοντας τις ικανότητες των δύο διαφορετικών ταξινομικών ομάδων όσον αφορά τα βαρέα μέταλλα, διαφάνηκε ότι οι μύκητες παρουσιάζουν μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στον μόλυβδο σε σύγκριση με τα ετερότροφα βακτήρια που συγκριτικά παρουσιάζουν μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στον υδράργυρο. Το ποσοστό επιβίωσης σε θρεπτικό υπόστρωμα με 20  $\mu M$   $HgCl_2$  στα ετερότροφα βακτήρια ήταν  $41,3 \pm 79,6\%$  στο εξωτερικό και  $83,2 \pm 59,5\%$  στο εσωτερικό περιβάλλον, ενώ στους μύκητες ήταν  $27,6 \pm 10,2\%$  και  $50,5 \pm 16,3\%$  αντίστοιχα. Το ποσοστό επιβίωσης σε θρεπτικό υπόστρωμα με 1.500  $\mu M$   $PbCl_2$  στα ετερότροφα βακτήρια ήταν  $31,6 \pm 33\%$  στο εξωτερικό και  $32,3 \pm 16,4\%$  στο εσωτερικό περιβάλλον, ενώ στους μύκητες ήταν  $92,5 \pm 26,5\%$  και  $105,3 \pm 46,6\%$  αντίστοιχα.

Όσον αφορά την ανθεκτικότητά τους στις αντιβιοτικές ουσίες (στρεπτομυκίνη για τα ετερότροφα βακτήρια και κυκλοεξιμίδιο για τους μύκητες), τα ετερότροφα βακτήρια έδειξαν μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στον εσωτερικό χώρο της βιβλιοθήκης του Ιδρύματος απ' ότι

στον εξωτερικό προαύλιο χώρο, πιθανόν λόγω της υψηλότερης συγκέντρωσής τους, ενώ οι μύκητες έδειξαν μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στον εξωτερικό προαύλιο χώρο του Ιδρύματος σε σχέση με την ανθεκτικότητά τους στον εσωτερικό χώρο της βιβλιοθήκης πιθανόν λόγω της υψηλής τους συγκέντρωσης. Συγκεκριμένα η ανθεκτικότητα για τα ετερότροφα βακτήρια σε 20 µg/ml στρεπτομυκίνης ήταν  $12,1 \pm 7,8\%$  στο εξωτερικό και  $24 \pm 19,5\%$  στο εσωτερικό περιβάλλον, ενώ η ανθεκτικότητα για τους μύκητες σε 20 µg/ml κυκλοεξιμίδιο ήταν  $26,3 \pm 53,2\%$  στο εξωτερικό και  $17,5 \pm 14,6\%$  στο εσωτερικό περιβάλλον.

Ο συνδυασμός της προσθήκης ταυτόχρονα βαρέων μετάλλων και αντιβιοτικών ουσιών στα θρεπτικά υποστρώματα των αερομεταφερόμενων μικροβίων έδειξε, ότι ένα μέρος της φυσικής ή/και της δυνητικά παθογόνου αερομεταφερόμενης μικροβιακής κοινότητας παρουσίασε ανθεκτικότητα, τόσο σε δείγματα από τον ατμοσφαιρικό αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος, όσο και του εσωτερικού περιβάλλοντος. Πιο συγκεκριμένα για τα ετερότροφα βακτήρια, το ποσοστό επιβίωσής τους σε θρεπτικό υπόστρωμα με 20 µM HgCl<sub>2</sub> και 20 µg/ml στρεπτομυκίνης ήταν  $4,7 \pm 5,9\%$  στο εξωτερικό και  $32,1 \pm 16,6\%$  στο εσωτερικό περιβάλλον, ενώ το ποσοστό επιβίωσης σε θρεπτικό υπόστρωμα με 1.500 µM PbCl<sub>2</sub> και 20 µg/ml στρεπτομυκίνης ήταν  $2,1 \pm 1,4\%$  στο εξωτερικό και  $3,9 \pm 6,3\%$  στο εσωτερικό περιβάλλον. Όσον αφορά τους μύκητες, το ποσοστό επιβίωσής τους σε θρεπτικό υπόστρωμα με 20 µM HgCl<sub>2</sub> και 20 µg/ml κυκλοεξιμίδιο ήταν  $8 \pm 5,9\%$  στο εξωτερικό και  $4,3 \pm 0,9\%$  στο εσωτερικό περιβάλλον, ενώ το ποσοστό επιβίωσης σε θρεπτικό υπόστρωμα με 1.500 µM PbCl<sub>2</sub> και 20 µg/ml κυκλοεξιμίδιο ήταν  $29,8 \pm 22,2\%$  στο εξωτερικό και  $11,2 \pm 9,7\%$  στο εσωτερικό περιβάλλον.

Οι μετρηθείσες συχνά αυξομειώσεις στις συγκεντρώσεις του αερομεταφερόμενου μικροβιακού φορτίου αλλά και στα ποσοστά επιβίωσης τους σε βαρέα μέταλλα και αντιβιοτικά, οι οποίες παρατηρήθηκαν σε επαναλαμβανόμενες μετρήσεις σε διαφορετικές ημερομηνίες δειγματοληψίας, αξιολογούνται ως αναμενόμενες και οφείλονται στη διαφορετική σύσταση και προέλευση του αερομεταφερόμενου αέρα και της περιεχόμενης σε αυτόν μικροβιακής κοινότητας. Οι μέσες τιμές των συγκεντρώσεων των μετρηθέντων παραμέτρων στο σύνολο των δειγματοληψιών οδηγούν στα προαναφερθέντα αποτελέσματα.

## ABSTRACT

The growth and persistence of natural, airborne, viable microbes (heterotrophic bacteria and mesophilic fungi) was studied indoors/outdoors in the presence of drugs (streptomycin or cycloheximide) and heavy metals (mercury or lead). Simultaneously, meteorological parameters (temperature, relative humidity, wind speed at the sampling area, air flowrate indoors) as well as the concentration of the inhalable PM<sub>10</sub> particulate matter were examined. Duplicates of air samples were collected during each campaign (15 campaigns in total) in a suburban, residential site of the coastal Mediterranean city of Chania (Crete, Greece). The sampling period lasted from December 2010 to June 2011 from 9:30 a.m. to 2:00 p.m. and was located at the courtyard (outdoors) of the Department of Environmental and Natural Resources Engineering of the Technological Educational Institute of Crete, and from 2:15 am to 5:45 pm at the Department's library (indoors)

The microbial resistance to heavy metal toxicity was studied using, separately, lead chloride or mercury chloride in concentrations varying from 200 to 1,500 μM and from 5 to 20 μM per growth medium, respectively. On the other hand, antibiotic and fungicide resistance was studied using, separately, Streptomycin or Cycloheximide in concentrations from 5 to 20 μg per mL of growth medium.

Respirable PM<sub>10</sub> mass concentration and meteorological conditions were determined using portable monitors. The mean values of the ambient meteorological conditions during the measurement period were as follows: Temperature: 21,5 ± 5.4 °C; relative humidity: 51,54 ± 7,41 %; local wind speed: 0.26 ± 0.29 m/s; PM<sub>10</sub>: 64 ± 33 μg/m<sup>3</sup>. In parallel, the mean values of the meteorological conditions indoors (library; 384 m<sup>3</sup>) were as follows: Temperature: 22.78 ± 1.95 °C; relative humidity: 51,67 ± 4.62 %; local wind speed: 0.04 ± 0.06 m/s; PM<sub>10</sub>: 46 ± 22 μg/m<sup>3</sup>.

Differences between heterotrophic bacteria and fungi were observed in relation to their abundance indoors/outdoors, heavy metal tolerance and drug resistance. Although, heterotrophic bacteria (433 ± 595 CFU/m<sup>3</sup>) were more abundant than fungi (124 ± 110 CFU/m<sup>3</sup>) indoors, airborne fungi showed significant higher concentrations (536 ± 764 CFU/m<sup>3</sup>) than the airborne heterotrophic bacteria (214 ± 208 CFU/m<sup>3</sup>) outdoors.

The highest heavy metal resistance was measured for lead in both taxonomic groups of microbes. However, heterotrophic bacteria were more tolerant to mercury (bacterial resistance to 20 μM Hg+2: 83,2 ± 59,5% indoors and 41,3 ± 79,6% outdoors) than fungi (50,5 ± 16,3% and 27,6 ± 10,2%, respectively). In contrast, fungi were determined to be more tolerant to lead concentrations (fungal resistance to 1,500 μM Pb+2: 105,3 ± 46,6% indoors and 92,5 ± 26,5% outdoors) in comparison to heterotrophic bacteria (32,3 ± 16,4% and 31,6 ± 33%, respectively).

A higher antibiotic tolerance was observed for the heterotrophic bacteria indoors (bacterial resistance to 20 μg/ml streptomycin: 12,1 ± 7,8% outdoors and 24 ± 19,5% indoors), whereas fungi possessed higher resistance outdoors (fungi resistance to 20 μg/ml cycloheximide: 26,3 ± 53,2% outdoors and 17,5 ± 14,6% indoors). This result is, probably, related to the observation that airborne fungi showed significant higher concentrations outdoors and heterotrophic bacteria showed higher concentration indoors.

A high percentage of drug and heavy metal tolerance, in the airborne, cultivable microbial community was obtained both indoors and outdoors. A percentage of 32,1 ± 16,6% indoors and 4,7 ± 5,9% outdoors of the heterotrophic bacteria were resistant, simultaneously, to 20 μM Hg+2 and 20 μg/mL streptomycin, while their resistance to 1,500 μM PbCl<sub>2</sub> και 20 μg/ml was 3,9 ± 6,3% indoors and 2,1 ± 1,4% outdoors. In addition, 4,3 ± 0,9% indoors and 8 ± 5,9% outdoors of the mesophilic fungi were resistant, simultaneously, to 20 μM Pb+2 and 20 μg/mL cycloheximide, while their resistance to 1,500 μM PbCl<sub>2</sub> και 20 μg/ml was 11,2 ± 9,7% indoors and 29,8 ± 22,2% outdoors.

The frequent fluctuations in concentrations of the airborne microbial load and in their antibiotic and heavy metal tolerance, which were observed in repeated measurements at different sampling dates, were evaluated as expected, due to differences in air composition because of its origin and airborne microbial community that was contained in it. The mean values of the measured parameters, lead to the above results.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	11
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ.....	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΑΝΤΙΒΙΟΤΙΚΑ	
2.1 Ιστορική αναδρομή.....	15
2.1.1 Μόλυνση.....	16
2.1.2 Λοίμωξη.....	16
2.1.3 Ανοσοποιητικό σύστημα.....	16
2.1.4 Μικροβιολογία.....	16
2.1.5 Παθογόνοι μικροοργανισμοί.....	17
2.2 Αντιβιοτικά.....	17
2.2.1 Κυριότερες ομάδες αντιβιοτικών.....	18
2.2.1.1 Πενικιλίνη.....	19
2.2.1.2 Στρεπτομυκίνη.....	21
2.2.1.3 Κυκλοεξιμίδιο.....	23
2.3 Μηχανισμοί αντοχής στα αντιβιοτικά.....	23
2.3.1 Παρενέργειες αντιβιοτικών.....	24
2.4 Αντιβιοτικά στη γεωργία, την κτηνοτροφία και τις ιχθυοκαλλιέργειες.....	25
2.5 Ενδονοσοκομειακές λοιμώξεις.....	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ	
3.1 Γενικά.....	28
3.1.1 Πηγές ρύπανσης βαρέων μετάλλων.....	29
3.1.1.1 Φυσικές πηγές βαρέων μετάλλων.....	29
3.1.1.2 Ανθρωπογενείς πηγές βαρέων μετάλλων.....	29
3.2 Τοξικότητα βαρέων μετάλλων.....	30
3.3 Βαρέα μέταλλα.....	31
3.3.1 Υδράργυρος.....	31
3.3.1.1 Γενικές χημικές ιδιότητες των ενώσεων του Hg.....	31
3.3.1.2 Επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου και στο οικοσύστημα από τον Υδράργυρο.....	33
3.3.1.2.1 Πηγές υδραργύρου μέσα στο σπίτι μας.....	33
3.3.1.2.2 Διάχυση Υδραργύρου στην ατμόσφαιρα και στον ανθρώπινο οργανισμό.....	34
3.3.1.2.3 Ανθρώπινα δικαιώματα «εναντίον» Υδραργύρου...	34
3.3.1.2.4 Ο κύκλος του Υδραργύρου.....	35
3.3.2 Μόλυβδος.....	36
3.3.2.1 Γενικές χημικές ιδιότητες των ενώσεων του Pb.....	37
3.3.2.2 Χρήσεις Μολύβδου.....	38
3.3.2.3 Τοξικότητα του Μολύβδου.....	38
3.3.2.3.1 Μόλυβδος και μεταβολισμός.....	39
3.3.3 Κάδμιο.....	40
3.3.4 Αρσενικό.....	40
3.3.5 Χρόμιο.....	41
3.3.6 Νικέλιο.....	42



3.3.7 Χαλκός.....	42
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΑΕΡΟΜΕΤΑΦΕΡΟΜΕΝΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ</b>	
4.1 Γενικά.....	44
4.2 Πηγές εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων.....	44
4.3 Ιδιότητες των αιωρούμενων σωματιδίων.....	45
4.4 Διαχωρισμός των αιωρούμενων σωματιδίων με βάση την διάμετρό τους.....	46
4.4.1 Αιωρούμενα σωματίδια διαμέτρου μικρότερης των 2,5 μm (PM <sub>2.5</sub> ).....	46
4.4.2 Αιωρούμενα σωματίδια διαμέτρου μεταξύ 2,5 – 10 μm (PM <sub>2.5-10</sub> ).....	47
4.5 Διαχωρισμός των αιωρούμενων σωματιδίων με βάση την διεισδυτικότητα στο ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα.....	47
4.5.1 Εισπνεύσιμα σωματίδια.....	47
4.5.2 Θωρακικά σωματίδια.....	47
4.5.3 Αναπνεύσιμα σωματίδια.....	47
4.6 Χρόνος παραμονής των σωματιδίων στην ατμόσφαιρα.....	48
4.7 Επιπτώσεις των αερομεταφερόμενων αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα.....	48
4.7.1 Μείωση της ορατότητας.....	48
4.7.2 Επίδραση των αιωρούμενων σωματιδίων στην ενεργειακή πίεση της γης.....	48
4.7.3 Τα σωματίδια ως πυρήνες συμπύκνωσης των νεφών.....	49
4.8 Επιπτώσεις των αερομεταφερόμενων αιωρούμενων σωματιδίων στην ανθρώπινη υγεία.....	49
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΑΕΡΟΜΕΤΑΦΕΡΟΜΕΝΟΙ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ</b>	
5.1 Βιολογικής προέλευσης σωματίδια.....	51
5.2 Πηγές των βιοαεροζόλ.....	51
5.3 Ταξινόμηση μικροοργανισμών.....	52
5.4 Βακτήρια.....	52
5.4.1 Ταξινόμηση των βακτηρίων.....	53
5.4.2 Μορφολογία, μέγεθος και πολλαπλασιασμός των βακτηρίων.....	53
5.4.3 Ανάπτυξη και μεταβολισμός των βακτηρίων.....	53
5.5 Μύκητες.....	54
5.5.1 Ταξινόμηση των μυκήτων.....	54
5.5.2 Μορφολογία και πολλαπλασιασμός των μυκήτων.....	55
5.5.3 Ανάπτυξη και μεταβολισμός των μυκήτων.....	55
5.5.3.1 Υγρασία.....	56
5.5.3.2 Θερμοκρασία.....	56
5.5.3.3 Φως.....	56
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ</b>	
6.1 Περιγραφή των δειματοληψιών.....	57
6.2 Όργανα που χρησιμοποιήθηκαν κατά τις δειματοληψίες.....	60
6.3 Θρεπτικά υποστρώματα και καλλιέργεια μικροοργανισμών.....	60
6.3.1 Παρασκευή θρεπτικών υποστρωμάτων.....	61
6.3.2 Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων και αντιβιοτικών που χρησιμοποιήθηκαν.....	62
6.3.3 Μέθοδος δειματοληψιών.....	62

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

7.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων.....	64
7.7.1 1 <sup>η</sup> Δειγματοληψία (30/11/2010).....	64
7.7.2 2 <sup>η</sup> Δειγματοληψία (07/12/2010 & 08/12/2010).....	66
7.7.3 3 <sup>η</sup> Δειγματοληψία (14/12/2010).....	68
7.7.4 4 <sup>η</sup> Δειγματοληψία (09/03/2011 ).....	70
7.7.5 5 <sup>η</sup> Δειγματοληψία (15/03/2011 ).....	71
7.7.6 6 <sup>η</sup> Δειγματοληψία (22/03/2011).....	74
7.7.7 7 <sup>η</sup> Δειγματοληψία (28/03/2011).....	76
7.7.8 8 <sup>η</sup> Δειγματοληψία (05/04/2011).....	78
7.7.9 9 <sup>η</sup> Δειγματοληψία (13/04/2011).....	80
7.7.10 10 <sup>η</sup> Δειγματοληψία (04/05/2011).....	82
7.7.11 11 <sup>η</sup> Δειγματοληψία (10/05/2011).....	84
7.7.12 12 <sup>η</sup> Δειγματοληψία (17/05/2011).....	85

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

8.1 Γενικά.....	88
8.2 Η ποιότητα του αέρα στον εξωτερικό και εσωτερικό χώρο.....	90
8.3 Ανθεκτικότητα σε αντιβιοτικές ουσίες.....	91
8.4 Ανθεκτικότητα σε βαρέα μέταλλα.....	92
8.5 Ανθεκτικότητα σε συνδυασμό βαρέων μετάλλων και αντιβιοτικών.....	93

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	97
-------------------	----

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	102
----------------	-----

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στόχος της παρούσας πτυχιακής εργασίας ήταν η μελέτη της ανθεκτικότητας των αερομεταφερόμενων μικροοργανισμών σε βαρέα μέταλλα (ανόργανος μόλυβδος, υδράργυρος), σε αντιβιοτικά (στρεπτομυκίνη, κυκλοεξιμίδιο) καθώς επίσης και στον συνδυασμό αυτών. Οι αερομεταφερόμενοι μικροοργανισμοί που εξεταστήκαν ήταν τα ετερότροφα βακτήρια και οι μύκητες. Παράλληλα εξετάστηκαν και κάποιες μετεωρολογικές παράμετροι (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ταχύτητα ανέμου στο σημείο δειγματοληψίας, ροή του αέρα σε κλειστό χώρο) όπως και τα εισπνεύσιμα PM<sub>10</sub> αιωρούμενα σωματίδια με σκοπό την πιθανή συσχέτιση αυτών και των μικροοργανισμών.

Οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν από 30/11/2010 έως 17/05/2011 και από ώρα 09:30 – 14:00 στον εξωτερικό προαύλιο χώρο στη Σχολή Εφαρμοσμένων Επιστημών του Τ.Ε.Ι Κρήτης στη περιοχή της Χαλέπας της πόλης των Χανίων και από 14:15 – 17:45 στον εσωτερικό χώρο της βιβλιοθήκης του Ιδρύματος. Η εργασία πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Περιβαλλοντικής Χημείας και Βιοχημικών Διεργασιών του Τομέα Περιβαλλοντικής Τεχνολογίας του Τμήματος Μηχανικών Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος Τ.Ε. του Τ.Ε.Ι Κρήτης στη Σχολή Εφαρμοσμένων Επιστημών.

Το 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο αποτελεί μια εισαγωγή στην ατμοσφαιρική ρύπανση, στους ορισμούς των αντιβιοτικών, των βαρέων μετάλλων καθώς επίσης και στο τι εννοούμε λέγοντας μικροοργανισμοί ή μικρόβια.

Το 2<sup>ο</sup> κεφαλαίο αναφέρεται εκτενώς στα αντιβιοτικά. Εξηγούνται κάποιοι χρήσιμοι ορισμοί όπως η μόλυνση, η λοίμωξη κ.α. Αναφέρονται οι κυριότερες ομάδες αντιβιοτικών, οι μηχανισμοί ανθεκτικότητας που αναπτύσσουν οι οργανισμοί στα αντιβιοτικά, οι αρνητικές επιπτώσεις από την υπέρμετρη χρήση τους στην κτηνοτροφία, την γεωργία και τις ιχθυοκαλλιέργειες καθώς επίσης και η επικινδυνότητα των ενδονοσοκομειακών λοιμώξεων.

Το 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο αναφέρεται στα βαρέα μέταλλα. Τι ονομάζουμε βαρέα μέταλλα, οι επιπτώσεις στην υγεία από την τοξικότητά τους και ποια είναι τα τοξικότερα μέταλλα, με πιο εκτενή αναφορά στον ανόργανο μόλυβδο και στον υδράργυρο.

Το 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο αναφέρεται στα αερομεταφερόμενα αιωρούμενα σωματίδια. Εξηγείται τι ονομάζουμε με τον όρο αιωρούμενα σωματίδια, ποιες είναι οι πηγές εκπομπής τους, οι ιδιότητές τους, η κατηγοριοποίησή τους με βάση το μέγεθός τους και οι επιπτώσεις τους τόσο στην ατμόσφαιρα όσο και στην ανθρώπινη υγεία.

Το 5<sup>ο</sup> κεφάλαιο αναφέρεται στους αερομεταφερόμενους μικροοργανισμούς. Τι ονομάζουμε βιοαεροζόλ, ποιες είναι οι πηγές εκπομπής τους και ποια η ταξινόμησή τους. Ειδικότερη αναφορά γίνεται στα βακτήρια και στους μύκητες. Ποια είναι η ταξινόμησή τους, η μορφολογία τους, ο πολλαπλασιασμός τους, η ανάπτυξη και ο μεταβολισμός τους.

Το 6<sup>ο</sup> κεφάλαιο αναφέρεται στο πειραματικό μέρος της πτυχιακής. Περιγράφονται οι χώροι της δειγματοληψίας, τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν, η δημιουργία των θρεπτικών υποστρωμάτων για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών, οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων και των αντιβιοτικών που χρησιμοποιήθηκαν καθώς επίσης και η μέθοδος των δειγματοληψιών.

Το 7<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζει τα αποτελέσματα των δειγματοληψιών. Με διαγράμματα, φαίνεται η ανθεκτικότητα των μικροοργανισμών σε βαρέα μέταλλα, σε αντιβιοτικά και στον συνδυασμό αυτών.

Τέλος το 8<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζει τα συμπεράσματα της πτυχιακής εργασίας.

**ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ**

EAC	European Aerosol Conference
DNA	Deoxyribonucleic acid - δε(σ)οξυριβο(ζο)νουκλεϊ(νι)κό οξύ
RNA	Ribonucleic Acid - ριβοζονουκλεϊκό οξύ
PAS	Παρα-αμινο-σαλικυλικό οξύ
PP	Νικοτινικό οξύ
ΜΕΘ	Μονάδες Εντατικής Θεραπείας
ΥΑΧΣ	Υπερανθεκτικός Χρυσίζον Σταφυλόκοκκος
HRW	Human Rights Watch – Παρατηρητήριο Ανθρωπίνων Δικαιωμάτων
ACGIH	American Conference of Governmental Industrial Hygienists – Αμερικανική Συνδιάσκεψη Κρατικών Υγιεινολόγων της Εργασίας
SPM	Suspended Particulate Matter – Αιωρούμενα Σωματίδια
TSP	Total Suspended Particulates – Ολικά Αιωρούμενα Σωματίδια
PM	Particulate Matter
CFU	Colony Forming Unit- Μονάδα Σχηματισμού Αποικίας
TSB	Θρεπτικό υπόστρωμα Tryptone Soy Broth της εταιρείας LAMB
MEB	Θρεπτικό υπόστρωμα Malt extract Broth της εταιρείας LAMB
Cyclo	Κυκλοεξιμίδιο
Strep	Στρεπτομυκίνη

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1**

### **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Τον τελευταίο αιώνα, η ανάπτυξη της εκβιομηχάνισης, η αύξηση του πληθυσμού και η άνοδος του βιοτικού επιπέδου στις αναπτυσσόμενες χώρες, συνοδεύεται από αυξανόμενα επίπεδα ρύπανσης του αέρα. Ενώ η ρύπανση του αέρα θεωρήθηκε ότι αποτελεί κυρίως τοπικό πρόβλημα, που επικεντρώνεται σε αστικές ή βιομηχανικές κυρίως περιοχές, τώρα γνωρίζουμε ότι το πρόβλημα είναι πολύ σύνθετο και περιλαμβάνει τοπικές, περιφερειακές ακόμη και παγκοσμίου επιπέδου συνιστώσες. Η ρύπανση του αέρα δε σέβεται τα κρατικά σύνορα. Ενώ τα προβλήματα της τοπικής ρύπανσης του αέρα υφίστανται ακόμη, παρουσιάζονται επίσης και διηπειρωτικά, όπως η όξινη βροχή ή η αερομεταφερόμενη ραδιενεργή σωματιδιακή ύλη. Σε παγκόσμιο επίπεδο η μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος και η αλλαγή στο παγκόσμιο κλίμα αποτέλεσαν θέματα ευρείας δημοσιότητας. Η ρύπανση του αέρα γενικά μπορεί να θεωρείται σοβαρό και αναπτυσσόμενο πρόβλημα σε κάθε σημείο του πλανήτη [1].

Γενικά ατμόσφαιρα αποκαλείται το αεριώδες περίβλημα που μπορεί να περιβάλλει κάποιο ουράνιο σώμα. Ειδικότερα όμως στην Μετεωρολογία χαρακτηρίζεται αυτό που περιβάλλει τη Γη, το οποίο συγκρατείται λόγω της βαρύτητάς της και φθάνει πρακτικά σε ύψος 3.500 χιλιομέτρα. Στην ατμόσφαιρα της Γης οφείλεται η ύπαρξη ζωής, εφόσον σε αυτήν οφείλονται η απορρόφηση μεγάλου τμήματος της υπεριώδους ακτινοβολίας και η μείωση της διαφοράς των ακραίων θερμοκρασιών που θα υπήρχαν μεταξύ ημέρας και νύχτας χωρίς αυτήν. Ο ατμοσφαιρικός αέρας αποτελεί μίγμα πολλών αερίων, με το μεγαλύτερο ποσοστό σε όγκο να κατέχει το άζωτο (78%) και το οξυγόνο (21%). Εκτός αυτών, υπάρχει το αργό, το διοξείδιο του άνθρακα, ευγενή αέρια, ίχνη υδρογόνου, όζοντος κ.α. Στην ατμόσφαιρα επίσης αιωρούνται σχεδόν πάντοτε και στέρεα ή υγρά σωματίδια όπως μόρια κονιορτού, καπνού, άλατος (θαλασσινά σταγονίδια κ.α.) καθώς και μεγάλη επίσης ποσότητα υδρατμών που προέρχεται από την εξάτμιση των επιφανειακών υδάτων (θαλασσών, λιμνών κλπ). Το ποσό των υδρατμών αυτών μεταβάλλεται συνεχώς, αφού αυξάνει με την εξάτμιση και ελαττώνεται με τη πτώση ή εναπόθεση ως βροχή ή άλλων μορφών υετού στην επιφάνεια της Γης [2].

Ως βιοαεροζόλ (bioaerosols) ονομάζουμε εκείνα τα αερομεταφερόμενα σωματίδια στα οποία ζουν μικροοργανισμοί ή προέρχονται από ζωντανούς μικροοργανισμούς. Τα βιοαεροζόλ μπορούν να περιλαμβάνουν μικροβιακά κύτταρα (μικροοργανισμούς), τις αναπαραγωγικές μονάδες τους και τους παραγόμενους μεταβολίτες, που είναι πτητικοί ή αρκετά μικροί, ώστε να επιτυγχάνεται επαρκώς η αέρια διασπορά τους. Οι κατηγορίες των βιοαεροζόλ μπορούν να περιλαμβάνουν ιούς, βακτήρια, μύκητες, γύρη, άλγη, πρωτόζωα, τμήματα ζώντων ή νεκρών οργανισμών ( φυτών, ζώων, ανθρώπων) ή/και προϊόντα του μεταβολισμού τους [47].

Ως μικροοργανισμοί ή μικρόβια νοούνται εκείνοι οι οργανισμοί από τους οποίους οι περισσότεροι είναι μονοκύτταροι, αόρατοι με γυμνό οφθαλμό και ορατοί μόνον με μικροσκόπιο. Συμβατικά οι μικροοργανισμοί διαίρονται σε πέντε ομάδες:

- Ιοί
- Βακτήρια
- Μύκητες
- Φύκη

#### ▪ Πρωτόζωα

Οι ιοί δεν έχουν κυτταρική δομή και δε θεωρούνται ζώντες οργανισμοί, γιατί δεν διαθέτουν την ικανότητα να αυτοδιπλασιάζονται, να αυτοεπιδιορθώνονται ή να διατηρούνται σε κατάσταση ελάχιστης εντροπίας. Πολλαπλασιάζονται ζώντας παρασιτικά μέσα σε κύτταρα. Τα βακτηριακά κύτταρα διαθέτουν κυτταρικές δομές, ενώ δεν έχουν διαφοροποιημένο πυρήνα και ονομάζονται προκαρυωτικά. Οι μύκητες, τα φύκη και τα πρωτόζωα έχουν διαφοροποιημένους πυρήνες με πυρηνικές μεμβράνες, για αυτό ονομάζονται ευκαρυωτικοί μικροοργανισμοί. Οι ευκαρυωτικοί μικροοργανισμοί μοιάζουν βιοχημικά με τους ανώτερους οργανισμούς [5].

Ως *αντιβιοτικό* χαρακτηρίζεται οποιαδήποτε χημική ένωση που εμποδίζει ή καταργεί την αύξηση των μικροοργανισμών, όπως τα βακτήρια, οι μύκητες ή τα πρωτόζωα. Ο όρος αναφέρθηκε αρχικά σε οποιοδήποτε μέσο με βιολογική δράση ενάντια στους μικροοργανισμούς, εντούτοις σήμερα χρησιμοποιείται για την περιγραφή ουσιών με αντιβακτηριακή, αντιμυκητική ή αντιπαρασιτική δράση. Οι πρώτες αντιβιοτικές ενώσεις που χρησιμοποιήθηκαν στη σύγχρονη ιατρική παρήχθησαν και απομονώθηκαν από ζωντανούς οργανισμούς, όπως η κατηγορία των αντιβιοτικών πενικιλίνης που παρήχθη από τους μύκητες γένους *Penicillium* ή στρεπτομυκίνη από τα βακτήρια του γένους *Streptomyces*. Με τις προόδους στην οργανική χημεία πολλά αντιβιοτικά τώρα επίσης λαμβάνονται με χημική σύνθεση, όπως τα φάρμακα Σουλφοναμίδες. Πολλά αντιβιοτικά είναι σχετικά μικρά μόρια με μικρό μοριακό βάρος. Η στρυχνίνη και το αρσενικό που χρησιμοποιούνταν τα παλαιότερα χρόνια πριν την ανακάλυψη και εξέλιξη των αντιβιοτικών, είχαν υψηλή τοξικότητα ενάντια στα θηλαστικά και τον άνθρωπο. Αντίθετα τα αντιβιοτικά έχουν λιγότερες παρενέργειες και υψηλότερη αποτελεσματικότητα [3].

Ως *βαρέα μέταλλα* ορίζουμε τα μέταλλα εκείνα που έχουν ειδικό βάρος μεγαλύτερο από αυτό του σιδήρου και είναι τοξικά σε χαμηλές συγκεντρώσεις. Τα βαρέα μέταλλα τα ανευρίσκουμε στη φύση είτε διαλυμένα ως ιόντα στο νερό, είτε ως μεταλλεύματα στα ορυκτά, είτε ακόμα προσκολλημένα σε μόρια του αέρα. Τα βαρέα μέταλλα εισχωρούν στον υδροφόρο ορίζοντα από τα νερά της βροχής ή τα ανεπεξέργαστα απόβλητα βιομηχανιών, ρυπαίνοντας έτσι τα καλλιεργούμενα φυτά, αλλά και τα ζώα που τρέφονται με ρυπασμένο χορτάρι. Με αυτόν τον τρόπο εισέρχονται στον οργανισμό μας μέσω της τροφικής αλυσίδας. Τα βαρέα μέταλλα σε γενικές γραμμές δεν αποβάλλονται πλήρως από τον οργανισμό, όση αποτοξίνωση και να κάνει κάποιος, και θεωρούνται μια από τις αιτίες για πολλές χρόνιες ασθένειες όπως πονοκέφαλοι, σκλήρυνση κατά πλάκας, αλζχάιμερ, καρκίνος κ.α. Είναι λοιπόν πολύ δύσκολο στην σημερινή εποχή να αποφύγει κανείς την επαφή/έκθεση σε οποιαδήποτε από τα πολλά επιβλαβή βαρέα μέταλλα που έχουν επικρατήσει σε μεγάλες ποσότητες στο περιβάλλον. Θα μπορούσε ωστόσο να λάβει κάποια μέτρα προκειμένου να κατανοήσει καλύτερα αυτήν την απειλή και να θέσει σε δράση διάφορες πολιτικές αποφυγής και επεξεργασίας, προκειμένου να μειωθεί η αρνητική επίδραση που οι συγκεκριμένοι παράγοντες φαίνεται να έχουν στην ανθρώπινη υγεία [4].

Στην παρούσα εργασία μελετήσαμε την ανθεκτικότητα των αερομεταφερόμενων μικροοργανισμών (ετερότροφων βακτηρίων και μυκήτων) της ατμόσφαιρας σε βαρέα μέταλλα και αντιβιοτικά, στον εξωτερικό χώρο και στο εσωτερικό περιβάλλον κατά την περίοδο Νοέμβριος 2010 – Ιούνιος 2011 σε μια παραθαλάσσια περιοχή με μεσογειακό κλίμα, στα Χανιά. Μέρος των αποτελεσμάτων της εργασίας έχει δημοσιευθεί στο διεθνές συνέδριο «E-Proceedings of the European Aerosol Conference 2012 (EAC 2012)» [6].

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΑΝΤΙΒΙΟΤΙΚΑ

#### 2.1 Ιστορική αναδρομή

Ο όρος «αντιβιοτικό» που έχει επικρατήσει μέχρι σήμερα, αφορά σε φυσικά παραγόμενες ουσίες διαφόρων μικροοργανισμών (βακτηρίων, μυκήτων), οι οποίες έχουν τη δυνατότητα να αναστέλλουν την ανάπτυξη άλλων μικροοργανισμών και να καταστρέφουν τα κύτταρά τους (αντι-βιοτικά). Με την παραγωγή ημισυνθετικών παραγώγων ο όρος αντιβιοτικά έχει αντικατασταθεί με τον περιεκτικότερο όρο «αντιμικροβιακά» που περιλαμβάνει φυσικές, ημισυνθετικές ή συνθετικές ουσίες ικανές να αναστέλλουν τον πολλαπλασιασμό των μικροβίων με αποτέλεσμα να τα οδηγούν στην απόπτωση. Από συνήθεια όμως χρησιμοποιείται ο όρος αντιβιοτικά για όλες τις αντιμικροβιακές ουσίες και η τακτική αυτή θα τηρηθεί και στην παρούσα εργασία.

Το πρώτο αντιβιοτικό, η πενικιλίνη, ανακαλύφθηκε το 1929 από το Sir Alexander Fleming, ο οποίος παρατήρησε την παρεμπόδιση της ανάπτυξης σταφυλόκοκκων σε μια καλλιέργεια βακτηρίων σε στερεό θρεπτικό υπόστρωμα από τον μύκητα *Penicillium*.

Ο Β' Παγκόσμιος Πόλεμος και οι αναπόφευκτες βακτηριακές μολύνσεις που εμφανίστηκαν στις πληγές των τραυματισμένων στρατιωτών ήταν μια σημαντική ώθηση για να μελετηθεί η χημειοθεραπευτική αξία της πενικιλίνης. Η πενικιλίνη διατέθηκε για την θεραπεία των βακτηριακών μολύνσεων, ειδικά εκείνων που προκλήθηκαν από σταφυλόκοκκους και στρεπτόκοκκους. Η πενικιλίνη είχε την απίστευτη ικανότητα να σκοτώνει παθογόνα βακτήρια χωρίς να προκαλεί βλάβη στους ασθενείς. Αυτό φέρνει στο φως τη θεμελιώδη αρχή της αντιμικροβιακής χημειοθεραπείας που είναι η εκλεκτική τοξικότητα. Τονίζεται επί τη ευκαιρία ότι τα αντιβιοτικά δεν είναι δραστικά στους ιούς, διότι προϋπόθεση για την δράση τους είναι η ικανότητα του παθογόνου μικροοργανισμού να έχει δικό του μεταβολισμό, ενώ οι ιοί αποτελούν παράσιτα του ανθρώπινου και άλλων κυττάρων. Η ανθεκτικότητα στην πενικιλίνη από ορισμένα είδη σταφυλόκοκκων εντοπίστηκε σχεδόν αμέσως μετά από την εισαγωγή του φαρμάκου. Ανθεκτικότητα στην πενικιλίνη εμφανίζεται σήμερα στο 80% όλων των ειδών του *Staphylococcus aureus*. Ευχάριστη έκπληξη αποτελεί το γεγονός ότι ο στρεπτόκοκκος *pyogenes* δεν ανέπτυξε ποτέ πλήρη ανθεκτικότητα στην πενικιλίνη και παραμένει ένα αντιβιοτικό επιλογής για πολλούς τύπους μολύνσεων από στρεπτόκοκκους.

Στο τέλος της δεκαετίας του 40 και στην αρχή της δεκαετίας του 50 ανακαλύφθηκαν και άρχισε η χρήση της στρεπτομυκίνης και της τετρακυκλίνης, έτσι η εποχή της αντιβιοτικής χημειοθεραπείας μπήκε για τα καλά στην κλινική ιατρική. Αυτά τα αντιβιοτικά ήταν αποτελεσματικά ενάντια σε μια σειρά παθογόνων βακτηρίων συμπεριλαμβανομένου και του βακίλου της φυματίωσης.

Όμως το 1953, κατά τη διάρκεια ενός ξεσπάσματος *Shigella* στην Ιαπωνία, απομονώθηκε ένα είδος του βακίλου της δυσεντερίας που ήταν ανθεκτικό σε πολλαπλά φάρμακα, προβάλλοντας ανθεκτικότητα στην τετρακυκλίνη, στην στρεπτομυκίνη και στις σουλφοναμίδες. Υπήρξε πλέον πληθώρα ενδείξεων ότι τα βακτήρια μπορούσαν να ανταλλάξουν μεταξύ τους γονίδια ανθεκτικά σε πολλαπλά φάρμακα τόσο μεταξύ βακτηρίων του ίδιου είδους όσο και μεταξύ διαφορετικών ειδών. Σήμερα για παράδειγμα απειλείται η ανθρωπότητα από το πιθανό ξέσπασμα μιας μεταδοτικής ασθένειας που οφείλεται σε κάποια είδη μετάλλαξης του βακτηρίου *Mycobacterium tuberculosis*, που δυστυχώς είναι ανθεκτικά στα χρησιμοποιούμενα μέχρι σήμερα αντιβιοτικά.

Την δεκαετία του 1970 υπήρξε για πρώτη φορά επιστημονικό ενδιαφέρον αναφορικά με την παρουσία φαρμακευτικών ουσιών στο περιβάλλον και συγκεκριμένα ορμονών. Την

δεκαετία του 1980 το ενδιαφέρον για το θέμα των ορμονών πέρασε σε δεύτερη μοίρα και υπήρξε έντονη ερευνητική δραστηριότητα που αφορούσε την παρουσία στο περιβάλλον ουσιών όπως τα βαρέα μέταλλα, οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες, οι χλωριωμένες διοξίνες, τα εντομοκτόνα και τα απορρυπαντικά. Από τα μέσα της δεκαετίας του 1990 προστέθηκαν στις ερευνητικές λίστες και άλλες ουσίες, όπως τα αναλγητικά, τα αντιρευματικά και τα αντιβιοτικά.

Πολλοί πιστεύουν πως από όλους τους αποκαλούμενους ‘αναδυόμενους ρυπαντές’, τα αντιβιοτικά είναι το μεγαλύτερο πρόβλημα. Αναμφίβολα η ανακάλυψη και η χρήση των αντιβιοτικών και των διαδικασιών ανοσοποίησης ενάντια στις μολυσματικές ασθένειες ήταν δύο εξελίξεις στον τομέα της μικροβιολογίας που έχουν συμβάλει στην επέκταση κατά περίπου 20 έτη στο μέσο όρο ζωής των ανθρώπων. Όμως είναι προφανές ότι εάν ένα παθογόνο βακτήριο είναι σε θέση να αναπτύξει ή να αποκτήσει ανθεκτικότητα σε ένα αντιβιοτικό, τότε το αντιβιοτικό καταλήγει άχρηστο για την θεραπεία της μολυσματικής ασθένειας που προκαλείται από εκείνο το παθογόνο [7].

### 2.1.1 Μόλυνση

Ως *μόλυνση* χαρακτηρίζεται η οποιαδήποτε παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών είτε σε αντικείμενα κοινής χρήσης είτε ειδικότερα στην επιφάνεια ενός ζωντανού οργανισμού ή και στην είσδυσή τους εντός αυτού. Είναι το πρώτο στάδιο του κύκλου μιας ασθένειας και έπεται της επώασης. Για να γίνει μια μόλυνση, σημαίνει ότι ο μικροοργανισμός έχει καταφέρει να ξεπεράσει τους μηχανισμούς εξωτερικής άμυνας του οργανισμού, δηλαδή το δέρμα του, τις κοιλότητες και τις εξωτερικές εκκρίσεις του. Ο οργανισμός μόλις εντοπίσει μια μόλυνση δραστηριοποιεί το ανοσοποιητικό του σύστημα και παράγει αντισώματα. Η μόλυνση πρέπει να διακρίνεται από τον όρο λοίμωξη που συνδέεται αποκλειστικά με φλεγμονή [8].

### 2.1.2 Λοίμωξη

*Λοίμωξη* σημαίνει ότι ένας αριθμός παθογόνων μικροβίων βρίσκεται σε ένα σημείο του οργανισμού όπου φυσιολογικά δεν υπάρχουν και άμεσα ή έμμεσα και μέσω της τοξικότητάς τους προκαλούν αντίδραση φλεγμονής που συνοδεύεται και από την κλινική εικόνα της εκάστοτε λοίμωξης. Ο όρος λοίμωξη προϋποθέτει υποχρεωτικά την παρουσία μικροβίων με αιτιολογική σχέση την φλεγμονή. Μπορεί να προκληθεί από οποιονδήποτε κατηγορία μικροοργανισμών (βακτήρια, μύκητες, ιούς, πρωτόζωα) [9].

### 2.1.3 Ανοσοποιητικό σύστημα

*Ανοσοποιητικό σύστημα* είναι ένα σύστημα οργάνων υπεύθυνο για την άμυνα του οργανισμού. Οι μηχανισμοί άμυνας του οργανισμού χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Στους μη ειδικούς μηχανισμούς και στους ειδικούς μηχανισμούς. Στους μη ειδικούς μηχανισμούς έχουμε την βασική αντίδραση του οργανισμού σε κάθε είδους λοίμωξη. Ο ειδικός μηχανισμός χαρακτηρίζεται από την μνήμη και δυνατότητα αναγνώρισης των αβλαβών κυττάρων από τα κατεστραμμένα ή μεταλλαγμένα κύτταρα [10].

### 2.1.4 Μικροβιολογία

Η *Μικροβιολογία* είναι επιμέρους κλάδος της επιστήμης της Βιολογίας και μία από τις αναγνωρισμένες ειδικότητες της Ιατρικής, που ασχολείται με τη μελέτη των μικροοργανισμών, οι οποίοι μπορεί να είναι είτε μονοκύτταροι είτε μικροσκοπικοί πολυκύτταροι οργανισμοί. Τα κύτταρα μπορεί να είναι ευκαρυωτικά (με πυρήνα) όπως οι



μύκητες, τα άλγη και τα πρωτόζωα, ή προκαρυωτικά (χωρίς σχηματισμένο πυρήνα) όπως τα βακτήρια και τα αρχαιοβακτήρια. Αντικείμενο της μικροβιολογίας είναι επίσης και οι κυτταρικοί ιοί. Η Μικροβιολογία ασχολείται με τις ιδιότητες των πέντε μεγάλων ομάδων μικροβίων. Ως ιατρική ειδικότητα είναι βασικά εργαστηριακή. Η ονομασία της ετυμολογείται από τις λέξεις μικρός, βίος + λόγος. Παρότι έχουν περάσει πάνω από τριακόσια έτη από την ανακάλυψη των μικροβίων, μόνο το περίπου 1% του συνόλου των μικροβίων έχει μελετηθεί διεξοδικά. Κατά συνέπεια ο τομέας της μικροβιολογίας είναι ακόμα σε πρώιμο στάδιο σε σχέση με άλλους τομείς της επιστήμης [11].

### 2.1.5 Παθογόνοι μικροοργανισμοί

*Παθογόνοι μικροοργανισμοί.* Οι παθογόνοι μικροοργανισμοί διακρίνονται σε ευκαρυωτικούς, προκαρυωτικούς και ιούς. Στους ευκαρυωτικούς ανήκουν τα πρωτόζωα και οι μύκητες ενώ στους προκαρυωτικούς τα βακτήρια. Οι ιοί διακρίνονται στους DNA ιούς και στους RNA ιούς. Τα ευκαρυωτικά κύτταρα έχουν σχηματισμένο πυρήνα, στον οποίο περικλείεται το γενετικό τους υλικό. Τα προκαρυωτικά κύτταρα δεν έχουν πυρήνα και το γενετικό τους υλικό βρίσκεται μέσα στο κυτταρόπλασμα, στην πυρηνική περιοχή. Οι ιοί είναι ακυτταρικές μορφές ζωής.

Οι τρόποι μετάδοσης των παθογόνων μικροοργανισμών είναι [12]:

- οι τροφές
- το νερό
- η επαφή με μολυσμένα ζώα
- η επαφή με μολυσμένα άτομα
- η επαφή με αντικείμενα από μολυσμένα άτομα
- εισπνοή μολυσμένου αέρα

Οι μικροοργανισμοί που προκαλούν ασθένειες όπως αναφέραμε παραπάνω, ονομάζονται παθογόνοι. Είναι υπεύθυνοι για ασθένειες, όπως η πανούκλα, η φυματίωση και η μυκητίαση. Υπάρχουν όμως και μικροοργανισμοί, οι οποίοι δεν είναι παθογόνοι. Αντιθέτως είναι χρήσιμοι στο περιβάλλον και στον άνθρωπο. Οι μικροοργανισμοί αυτοί είναι χρήσιμοι στην παραγωγή τροφίμων και ποτών και στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων, στην παραγωγή προϊόντων υψηλής προστιθέμενης αξίας κ.α.. Επίσης βοηθούν στην χώνευση των τροφών στο πεπτικό σύστημα των ανθρώπων και των ζώων, όπως και στην ανακύκλωση των στοιχείων του φλοιού της γης [11].

## 2.2 Αντιβιοτικά

Αρχικά ως αντιβιοτικά ορίστηκαν τα χημειοθεραπευτικά φάρμακα που παράγονται με βιοσυνθετική μέθοδο (καλλιέργειες μικροοργανισμών). Επειδή ο τομέας παραγωγής απέκτησε μεγάλη ευρύτητα, επικράτησε να ονομάζονται αντιβιοτικά οι βιοσυνθετικώς παραγόμενες αντιμικροβιακές ουσίες. Στην πράξη όμως, δεν πρέπει να ταυτίζονται οι όροι αντιμικροβιακά και αντιβιοτικά. «Ως αντιβιοτικό χαρακτηρίζεται οποιαδήποτε χημική ένωση που εμποδίζει ή καταργεί την αύξηση μικροοργανισμών, όπως βακτήρια, μύκητες ή πρωτόζωα».

Ο ορισμός αυτός είναι ανακριβής. Ο όρος αναφέρθηκε αρχικά σε οποιοδήποτε μέσο με βιολογική δράση ενάντια στους μικροοργανισμούς, εντούτοις σήμερα χρησιμοποιείται για την περιγραφή ουσιών με αντιβακτηριακή, αντιμυκητική ή αντιπαρασιτική δράση. Οι πρώτες αντιβιοτικές ενώσεις που χρησιμοποιήθηκαν στη σύγχρονη ιατρική παρήχθησαν και απομονώθηκαν από ζωντανούς



οργανισμούς, όπως η κατηγορία των αντιβιοτικών πενικιλίνης που παρήχθη από τους μύκητες γένους *Penicillium* ή στρεπτομυκίνη από τα βακτήρια του γένους *Streptomyces*.

Τα περισσότερα αντιβακτηριακά αντιβιοτικά δεν αναπτύσσουν τη δραστηριότητά τους ενάντια στους ιούς, τους μύκητες ή άλλα βακτήρια. Τα αντιβακτηριακά αντιβιοτικά μπορούν να ταξινομηθούν με βάση την εστίαση της δράσης τους σε αντιβιοτικά στενού φάσματος, που στοχεύουν σε ιδιαίτερους τύπους βακτηρίων, και σε αντιβιοτικά ευρέους φάσματος που έχουν επιπτώσεις σε ένα ευρύ φάσμα βακτηρίων. Μερικά αντιβακτηριακά αντιβιοτικά καταστρέφουν τα βακτήρια (βακτηριοκτόνα), καταστρέφοντας συγκεκριμένα τμήματά τους όπως η μεμβράνη και το κυτταρικό τους τοίχωμα ή επιδρώντας στον μεταβολισμό τους, ενώ άλλα αποτρέπουν τα βακτήρια από τον πολλαπλασιασμό (βακτηριοστατικά) [13].

### 2.2.1 Κυριότερες ομάδες αντιβιοτικών

Τα περισσότερα αντιβιοτικά, σε κυτταρικό επίπεδο, δρουν με έναν ή και περισσότερους από τους ακόλουθους μηχανισμούς :

- αναστολή της σύνθεσης του κυτταρικού τοιχώματος
- αλλαγή στη διαπερατότητα της κυτταροπλαστικής μεμβράνης
- αναστολή της πρωτεϊνοσύνθεσης και
- αναστολή της σύνθεσης των νουκλεϊκών οξέων

Οι κυριότερες ομάδες αντιβιοτικών είναι :

- β – λακτάμες
- Τετρακυκλίνες
- Μακρολίδες
- Αμινογλυκοσίδες
- Κινολόνες
- Γλυκοπεπίδια
- Λινκοζαμίδες
- Σουλφοναμίδες

#### β – λακτάμες:

Η ομάδα αυτή περιλαμβάνει ουσίες οι οποίες περιέχουν στο μόριό τους τον πυρήνα της β – λακτάμης. Είναι μια από τις σημαντικότερες ομάδες αντιβιοτικών, τόσο από ιστορική όσο και από ιατρική άποψη. Στα αντιβιοτικά της β-λακτάμης ανήκουν οι πενικιλίνες, οι κεφαλοσπορίνες και οι σεφαμυκίνες που είναι όλες χρήσιμα αντιβιοτικά στην ιατρική. Οι πενικιλίνες και οι κεφαλοσπορίνες συνιστούν πάνω από το 50% του συνόλου των αντιβιοτικών που παράγονται και χρησιμοποιούνται παγκοσμίως [7].

#### Τετρακυκλίνες:

Οι τετρακυκλίνες θεωρούνται ως τα πρώτα αντιβιοτικά ευρέους φάσματος αν και σήμερα η χρήση τους είναι περιορισμένη για λοιμώξεις από συνήθη βακτήρια λόγω ανάπτυξης αντοχής.

Οι τετρακυκλίνες και τα αντιβιοτικά β – λακτάμης είναι οι δυο σημαντικότερες ομάδες αντιβιοτικών ουσιών στη θεραπευτική ιατρική. Οι τετρακυκλίνες χρησιμοποιούνται ευρέως και στην κτηνιατρική, σε ορισμένες μάλιστα χώρες χρησιμοποιούνται ως πρόσθετα διατροφής στα ορνιθοτροφεία και στα χοιροτροφεία. Η εκτεταμένη χρήση κλινικά σημαντικών αντιβιοτικών σε μη ιατρικές εφαρμογές είχε ως συνέπεια την ανάπτυξη πολλών στελεχών που εμφανίζουν αντοχή στα εν λόγω αντιβιοτικά. Έτσι η χρήση τους σήμερα αποθαρρύνεται σε τέτοιες εφαρμογές [7].

### Μακρολίδες:

Οι μακρολίδες ανήκουν στα βακτηριοστατικά φάρμακα, έχουν ευρύ αντιμικροβιακό φάσμα αναστέλλοντας την πρωτεϊνοσύνθεση των βακτηρίων αφού εμποδίζουν την μεταφορά ή και την μετάθεση των πεπτιδίων. Το γνωστότερο μακρολιδικό αντιβιοτικό είναι η ερυθρομυκίνη [7].

### Αμινογλυκοσίδες:

Τα αντιβιοτικά αυτά είναι βακτηριοκτόνα για τα αερόβια βακτήρια και ορισμένα από αυτά έχουν και αντιφυματική δράση. Οι αμινογλυκοσίδες περιέχουν αμινοσάκχαρα που συνδέονται μεταξύ τους με γλυκοσιτικό δεσμό. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν χρήσιμα αντιβιοτικά, μεταξύ των οποίων η στρεπτομυκίνη και οι συγγενικές με αυτήν καναμυκίνη, γενταμυκίνη και νεομυκίνη [7].

### Κινολόνες :

Οι κινολόνες είναι συνθετικά αντιβιοτικά που δρουν στις λοιμώξεις του ουροποιητικού συστήματος. Τα νεότερα μέλη της ομάδας είναι πολύ δραστικά σε συστηματικές λοιμώξεις [7].

### Γλυκοπεπτίδια:

Πρόκειται για μια μεγάλη ομάδα ουσιών που παράγονται από ακτινομύκητες και αποτελούνται από μεγάλα κυκλικά μόρια με αμινοξέα ενωμένα με σάκχαρα. Ανήκουν στα βακτηριοκτόνα και δρουν αναστέλλοντας τη βιοσύνθεση του πεπτιδογλυκανίου του κυτταρικού τοιχώματος των βακτηρίων [7].

### Λινοζαμίδες:

Πρόκειται για αντιβιοτικά που αναστέλλουν την πρωτεϊνοσύνθεση παρεμβαίνοντας στη μεταφορά των πεπτιδίων [7].

### Σουλφοναμίδες:

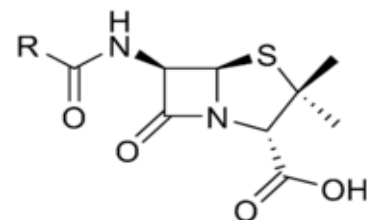
Πρόκειται για βακτηριοστατικά αντιβιοτικά του φυλλικού οξέος των μικροβίων [7].

Στη συνέχεια θα γίνει αναφορά στην πενικιλίνη, η οποία αποτελεί το πρώτο αντιβιοτικό που ανακαλύφθηκε και εδραίωσε τη χρήση των αντιβιοτικών φαρμάκων στην Ιατρική, καθώς και στα δύο αντιμικροβιακά φάρμακα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, την στρεπτομυκίνη (αντιβιοτικό) και το κυκλοεξιμίδιο (αντιμυκητιακό φάρμακο).

#### 2.2.1.1 Πενικιλίνη

Η πενικιλίνη είναι αντιβιοτικό που λαμβάνεται από καλλιέργειες μερικών ειδών ευρωτομυκήτων. Οι αντιμικροβιακές ιδιότητες των καλλιεργειών των ευρωτομυκήτων ήταν γνωστές από τα παλιότερα χρόνια. Πρώτος ο Άγγλος ερευνητής Αλεξάντερ Φλέμινγκ το 1929 απομόνωσε από την πράσινη μούχλα μια ουσία που ανέστελλε τη δραστηριότητα μερικών βακτηρίων και την ονόμασε πενικιλίνη.

Το 1943 η πενικιλίνη παρασκευάστηκε σε βιομηχανική κλίμακα. Διάφορα είδη πενικιλίνης σχηματίζονται κατά την καλλιέργεια διαφόρων ειδών μυκήτων όπως των ειδών *Penicillium notatum*, *Penicillium dirysogenum*. Το σκεύασμα που χρησιμοποιείται στην ιατρική είναι μείγμα διαφόρων ειδών πενικιλίνης με τη μορφή αλάτων νατρίου και



ασβεστίου. Η πενικιλίνη έχει τη μορφή λευκής σκόνης ή κίτρινης άμορφης μάζας και είναι ευδιάλυτη στο νερό.

Η πενικιλίνη είναι ένα από τα ισχυρότερα σύγχρονα θεραπευτικά μέσα. Χρησιμοποιείται για τη θεραπεία της πνευμονίας, σηπτικών ή πυωδών ασθενειών, διαφόρων μορφών κυνάγχης, διφθερίτιδας, οστρακιάς, βλεννόρροιας, σύφιλης κ.ά. Ανθεκτικά στην πενικιλίνη είναι τα βακτήρια του τύφου, των παρατύφων, της δυσεντερίας, της φυματίωσης, τα αίτια της πανώλης και ορισμένοι ακόμη μικροοργανισμοί [14].

### Πριν την ανακάλυψη της πενικιλίνης

Κατά τον Μεσοπόλεμο, ο Φλέμινγκ ερευνήσε για αντιβακτηριακούς παράγοντες, έχοντας ζήσει πολλούς θανάτους στρατιωτών από σηψαιμία από πληγές που μολύνθηκαν. Δυστυχώς η χρήση αντισηπτικών εξουδετέρωνε το ανοσοποιητικό σύστημα των ασθενών αποτελεσματικότερα απ'ότι τα εισβάλλοντα βακτήρια. Σε ένα άρθρο που υπέβαλε στο ιατρικό περιοδικό *The Lancet* κατά τον Α΄ Παγκόσμιο Πόλεμο, ο Φλέμινγκ περιέγραψε ένα έξυπνο πείραμα που μπόρεσε να πραγματοποιήσει χάρη στις δικές του υαλουργικές γνώσεις. Εξηγούσε στο άρθρο αυτό γιατί τα αντισηπτικά σκότωναν στην πραγματικότητα περισσότερους στρατιώτες απ'ότι οι ίδιες οι μολύνσεις στον πόλεμο. Τα αντισηπτικά επέφεραν τον θάνατο των μικροβίων στην επιφάνεια, αλλά τα βαθιά τραύματα έτειναν να προφυλάσσουν τα αναερόβια βακτήρια από την αντισηπτική ουσία. Αντίθετα ενώ τα αντισηπτικά φαινόταν ότι εξουδετέρωναν ευεργετικές ουσίες που προστάτευαν τους ασθενείς σε αυτές τις περιπτώσεις. Ο Σερ Άλμροθ Ράιτ υπεστήριξε ισχυρώς τα ευρήματα του Φλέμινγκ, αλλά παρόλα αυτά οι περισσότεροι στρατιωτικοί ιατροί κατά τη διάρκεια του Α΄ Παγκοσμίου Πολέμου συνέχισαν να χρησιμοποιούν αντισηπτικά, ακόμα και όταν αυτό χειροτέρεψε εμφανώς την κατάσταση των ασθενών [15].

### Μια τυχαία ανακάλυψη

Το 1928 ο Φλέμινγκ ερευνούσε τις ιδιότητες των σταφυλόκοκκων. Είχε ήδη κάποια φήμη από τις προηγούμενες έρευνές του, ως ευφυούς ερευνητή αλλά και απρόσεκτου τεχνικού εργαστηρίου: συχνά ξεχνούσε τις καλλιέργειες μικροβίων, πάνω στις οποίες εργαζόταν και γενικώς το εργαστήριό του ήταν συνήθως πολύ ακατάστατο. Αφού επέστρεψε από διακοπές, ο Φλέμινγκ πρόσεξε ότι πολλά από τα δισκία μικροβιακών καλλιεργειών είχαν μολυνθεί από ένα μύκητα (κοινώς: είχαν μουχλιάσει) και τα έριξε σε δοχείο με απορρυπαντικό. Αλλά στη συνέχεια χρειάστηκε να δείξει σε έναν επισκέπτη τι ερευνούσε, κι έτσι ανέσυρε κάποια από τα δισκία που δεν είχαν βυθισθεί στο απορρυπαντικό. Τότε πρόσεξε μία ζώνη γύρω από τη μούχλα που ήταν ελεύθερη (φαινομενικά τουλάχιστον) από βακτήρια. Αυτό θα πρέπει να συνέβαινε αν η μούχλα παρήγαγε κάποια βακτηριοκτόνο ουσία. Ο Φλέμινγκ απομόνωσε ένα δείγμα από τη μούχλα, το ταυτοποίησε σωστά ως μύκητα του γένους πενικίλλιο και για τον λόγο αυτό ονόμασε τη νέα ουσία πενικιλίνη.

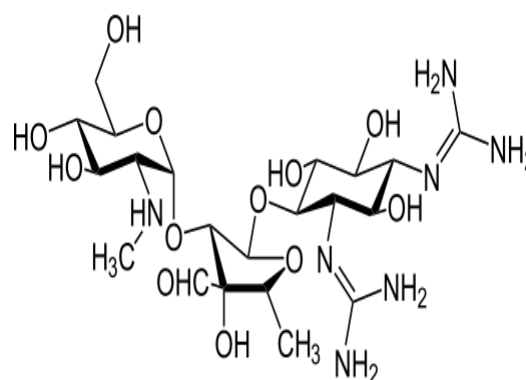
Ο Φλέμινγκ δημοσίευσε την ανακάλυψή του το 1929 στο Βρετανικό Περιοδικό Πειραματικής Παθολογίας (*British Journal of Experimental Pathology*), χωρίς να προκαλέσει ιδιαίτερη προσοχή. Ο Φλέμινγκ συνέχισε τις έρευνές του, αλλά συνειδητοποίησε ότι η καλλιέργεια της πενικιλίνης ήταν αρκετά δύσκολη και ότι στη συνέχεια ήταν ακόμα δυσκολότερο να απομονώσει την αντιβιοτική ουσία από τη μούχλα. Η προσωπική του εντύπωση ήταν ότι εξαιτίας του προβλήματος της παραγωγής της σε μεγάλη ποσότητα και της βραδείας δράσεως της, η πενικιλίνη δεν θα ήταν σημαντική στην καταπολέμηση των μολύνσεων. Ο Φλέμινγκ ήταν επίσης πεπεισμένος ότι η πενικιλίνη δεν θα παρέμενε αρκετά μέσα στο ανθρώπινο σώμα (*in vivo*) ώστε να σκοτώσει σε αποτελεσματικό βαθμό μικρόβια. Πολλές κλινικές δοκιμές της δεν έδωσαν σαφή αποτελέσματα, ίσως επειδή τη

χρησιμοποιούσαν ως επιφανειακό αντισηπτικό. Κατά τη δεκαετία του 1930 οι δοκιμές του Φλέμινγκ έδωσαν σε κάποιες περιπτώσεις πιο ενθαρρυντικά αποτελέσματα — ο Keith Bernard Rogers, συνεργάτης του Φλέμινγκ, θεραπεύθηκε με πενικιλίνη κατά τη διάρκεια των ερευνών τους — και συνέχισε ως το 1940 να προσπαθεί να κινηθεί το ενδιαφέρον κάποιου χημικού αρκετά ικανού ώστε να παραγάγει χρησιμοποιήσιμη ποσότητα καθαρής πενικιλίνης.

Ωστόσο, ο Φλέμινγκ εγκατέλειψε τις έρευνες σχετικά με την πενικιλίνη, λίγο πριν οι Φλόρεϊ και Τσέιν αναλάβουν την έρευνα και τη μαζική παραγωγή της με κονδύλια της αμερικανικής και της βρετανικής κυβέρνησης. Η έναρξη της μαζικής παραγωγής έγινε μετά τον Βομβαρδισμό του Περγλ Χάρμπορ, ενώ κατά την Απόβαση της Νορμανδίας είχαν παρασκευάσει αρκετή πενικιλίνη για τις ανάγκες όλων των τραυματιών των συμμαχικών δυνάμεων [15].

### 2.2.1.2 Στρεπτομυκίνη

Η στρεπτομυκίνη είναι η πρώτη αμινογλυκοσίδη. Παράγεται από τον μεταβολισμό του ακτινοβακτηρίου *Streptomyces griseus*. Απομονώθηκε το 1943 από τον Σέλμαν Βάκσμαν. Η στρεπτομυκίνη δρα παρεμποδίζοντας την σύνθεση των πρωτεϊνών και καταστρέφοντας την κυτταρική μεμβράνη των ευαίσθητων μικροοργανισμών. Όταν χορηγείται μέσω της περνευτικής οδού ή με ενδομυκική ένεση απορροφάται εύκολα, ενώ δεν απορροφάται όταν χορηγείται από το στόμα. Η μεγάλη σημασία της



στρεπτομυκίνης βρίσκεται στην εξαιρετική βακτηριοστατική και βακτηριοκτόνα δράση της κατά του είδους *Mycobacterium tuberculosis*, γνωστό και ως βάκιλος του Κοχ, που προκαλεί την φυματίωση. Υπήρξε άλλωστε το πρώτο αντιβιοτικό που χρησιμοποιήθηκε για την θεραπεία της φυματίωσης. Αξίζει να σημειώσουμε πως πριν την ανακάλυψή της, ο συντελεστής της θνησιμότητας από φυματιώδη μηνιγγίτιδα ήταν 100% και η θνησιμότητα από φυματίωση γενικά το 1900 ήταν 40,3%. Το 1947 η θνησιμότητα αυτή έπεσε στο 0,6%.

Η τοξικότητα της στρεπτομυκίνης που εμφανίζεται ύστερα από μεγάλες δόσεις, εκδηλώνεται ως υπερευαισθησία, νευρολογικές διαταραχές της ακοής καθώς και ως νεφροτοξικότητα, ιδιαίτερα σε άτομα που έχουν νεφρική νόσο ενώ λιγότερο συχνές είναι οι αλλεργικές αντιδράσεις, η ναυτία, οι εμετοί και η αύξηση των ηπατικών ενζύμων. Η στρεπτομυκίνη είναι περισσότερο τοξική από την πενικιλίνη. Η τοξικότητά της όμως ελαττώνεται με την αναγωγή της αλδευδικής ομάδας που περιέχει, σε αλκαλική. Στο εμπόριο υπάρχει σαν θειικό ή υδροχλωρικό άλας. Στην πρώτη περίπτωση είναι σκόνη λευκή, ενώ στην δεύτερη υποκίτρινη [16].

### Η ανακάλυψη της στρεπτομυκίνης

Όπως ήδη έχουμε αναφέρει η στρεπτομυκίνη ανακαλύφθηκε το 1943 από τον Σέλμαν Βάκσμαν. Ο Βάκσμαν γεννήθηκε στη Ρωσία το 1888, μετανάστευσε στις Ηνωμένες Πολιτείες το 1910 και μετά από 6 χρόνια έγινε Αμερικανός πολίτης.

Όταν το 1952 οι εφημερίδες όλου του κόσμου μιλούσαν γι' αυτόν ως τον «νικητή της φυματίωσης», ο επιστήμονας με την παροιμιώδη σεμνότητα, έκοψε το στόμφο πολλών δημοσιογράφων δηλώνοντας τα εξής : « Το να αποδίδεται μόνο σε μένα η τιμή της νίκης την οποία η ιατρική επιστήμη κέρδισε στον αγώνα κατά της φυματίωσης, θα ήταν σαν να έσβηνε από την ιστορία της ιατρικής 60 χρόνια προσπαθειών και λαμπρών προόδων. Τα ονόματα του Παστέρ, του Κοχ και του Έρlich αποτελούν πάντοτε την αφετηρία κάθε σοβαρής

έρευνας». Η συμβολή όμως του Βάκσμαν στον αγώνα αυτόν είναι αναμφισβήτητη. Αυτός έθεσε στη διάθεση της ιατρικής το πρώτο πραγματικά αποτελεσματικό φάρμακο κατά του βακίλου του Κοχ, την στρεπτομυκίνη (*Streptomycin*).

Ερευνητής της ζωής. Αυτό υπήρξε ο Σέλμαν Βάκσμαν, ένας ανιδιοτελής ερευνητής που παραιτήθηκε από τα εκατομμύρια των δολαρίων που θα του επέφεραν οι ανακαλύψεις του, από μια ανυπολόγιστη περιουσία, που προτίμησε να την διαθέσει για την ίδρυση και την επιχορήγηση κέντρων μελέτης της χημειοθεραπείας, της φυματίωσης και των άλλων νόσων που δεν μπορούσε ακόμα ο άνθρωπος να καταικήσει.

Αν η πενικιλίνη είναι καρπός της οξύτατης, αλλά και τυχαίας παρατήρησης του Φλέμινγκ και της επιμονής του χημικού Μπόρις Τσέιν, η στρεπτομυκίνη και πολλά άλλα γνωστά σήμερα αντιβιοτικά, είναι στενά συνδεδεμένα με το όνομα του Βάκσμαν. Ο φυσιολόγος και μικροβιολόγος αυτός ήθελε να διαπιστώσει πώς τα φυτά κατορθώνουν να αμύνονται κατά των μικροβίων. Μελετώντας τους ευρωμύκητες, κατόρθωσε να βρει την αντιμικροβιακή δύναμη καθενός, ώσπου τον Σεπτέμβριο του 1942, καθώς εργαζόταν στο εργαστήριο Μικροβιολογίας του Σταθμού Πειραματικής Γεωπονικής του New Jersey, κατόρθωσε να βγάλει από έναν αερόβιο ακτινομύκητα, «το στρεπτομύκητα τον φαιό» (*Streptomyces griseus*), μια υδατοδιαλυτή ουσία με σαφή αντιμικροβιακή δράση. Ο στρεπτομύκητας αυτός ήταν μια μούχλα γνωστή ήδη στον Βάκσμαν, που την είχε απομονώσει στο αμερικανικό έδαφος το 1916. Από το 1924 ο Αντρέ Γκράτια είχε αντιληφθεί την ικανότητα αυτής της μούχλας να σκοτώνει ορισμένα μικρόβια. Όμως ο Βάκσμαν είναι ο άνθρωπος που, το 1942, θα διαπιστώσει πως η στρεπτομυκίνη δρα και κατά του βακίλου του Κοχ.

Στις αρχές, που οι ποσότητες του νέου φαρμάκου ήταν περιορισμένες, το διέθεταν μόνο σε αρρώστους που βρίσκονταν σε άμεσο κίνδυνο, σε πάσχοντες από φυματίωση και φυματιώδη μηνιγγίτιδα. Όμως την εφορία των πρώτων ετών ακολούθησε μια κατάσταση αβεβαιότητας. Ο βάκιλος του Κοχ φαινόταν σε ορισμένες περιπτώσεις να αντιστέκεται στην στρεπτομυκίνη. Τότε όμως σε κάποιο σουηδικό εργαστήριο ο Λέμαν απέδειξε πως το PAS (παρα-αμινο-σαλικυλικό οξύ), που δεν ήταν τόσο αποτελεσματικό όταν χρησιμοποιείτο μόνο του, αποκτούσε εξαιρετική ισχύ αν δινόταν σε συνδυασμό με τη στρεπτομυκίνη. Όμως μια νέα απογοήτευση παρουσιάστηκε όταν σημειώθηκαν νέες περιπτώσεις βακίλων του Κοχ που ήταν ανθεκτικοί όχι μόνο στη στρεπτομυκίνη αλλά και στο PAS. Λίγο αργότερα, ένα νέο προϊόν, το «ριμιφόν» φέρνει μια νέα οριστική πρόοδο. Κανένας επιστήμονας δεν μπορεί σήμερα να διεκδικήσει την τιμή της ανακάλυψης του φαρμάκου αυτού. Πολλοί είχαν επισημάνει την ευεργετική δράση της βιταμίνης PP (νικοτινικού οξέος) στη θεραπεία της φυματίωσης και το ριμιφόν δεν είναι τίποτα άλλο από το ακαθάριστο ίζημα (κατακάθι) των πρώτων δειγμάτων του νικοτινικού οξέος. Το λάθος των ερευνητών ήταν ότι καθάριζαν τα προϊόντα που χρησιμοποιούσαν. Φαίνεται πως οι ερευνητές βρίσκονταν πάρα πολύ κοντά στην ανακάλυψη του φαρμάκου αυτού και πιθανώς θα το είχαν βρει αν δεν είχαν διακοπεί οι έρευνές τους, λόγω των γεγονότων που εξάρθρωσαν τη Γερμανία το 1944-45. Οι πολύτιμες ανακοινώσεις των επιστημόνων έπεσαν στα χέρια των συμμάχων, που ξανάρχισαν τις έρευνες αυτές και τις έφεραν σε αίσιο τέρμα, ταυτόχρονα στην Ευρώπη και την Αμερική. Το βραβείο Νόμπελ της Φυσιολογίας και της Ιατρικής καθιερώνει, το 1952, τη φήμη του Σέλμαν Βάκσμαν, του διδάκτορα της γεωπονικής, που κατόρθωσε να βρει στη γη τη σωτηρία για εκατομμύρια ανθρώπους [17].

### 2.2.1.3 Κυκλοεξιμίδιο

Το κυκλοεξιμίδιο είναι ένας ανασταλτικός παράγοντας της πρωτεϊνικής βιοσύνθεσης στους ευκαρυωτικούς οργανισμούς. Λόγω των σημαντικών τοξικών παρενεργειών, συμπεριλαμβανομένων της ζημιάς του DNA, της τερατογένεσης και άλλων αναπαραγωγικών δυσλειτουργιών, το κυκλοεξιμίδιο χρησιμοποιείται γενικά μόνο σε *in vitro*<sup>1</sup> ερευνητικές εφαρμογές και δεν είναι κατάλληλο για ανθρώπινη χρήση ως θεραπευτική αντιβιοτική ένωση. Αν και έχει χρησιμοποιηθεί ως μυκητοκτόνο στις γεωργικές εφαρμογές, αυτή η εφαρμογή μειώνεται δεδομένου ότι οι κίνδυνοι στην υγεία έχουν γίνει καλύτερα κατανοητοί [18].

### 2.3 Μηχανισμοί αντοχής στα αντιβιοτικά

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα αντιβιοτικά έχουν ταξινομηθεί ως βακτηριοκτόνα που σκοτώνουν τα μικρόβια ή ως βακτηριοστατικά που εμποδίζουν την ανάπτυξη βακτηριδίων. Αυτές οι ταξινομήσεις βασίζονται σε εργαστηριακές συμπεριφορές των αντιβιοτικών, όμως στην πράξη, και οι δύο από αυτές τις ομάδες είναι σε θέση να θεραπεύσουν μια βακτηριακή μόλυνση *in vitro*<sup>1</sup>. Η δράση των αντιβιοτικών μπορεί να εξαρτάται από τη συγκέντρωση αυτών στους ιστούς και η χαρακτηριστική αντιμικροβιακή δράση να αυξάνει προοδευτικά με αυξανόμενο επίπεδο συγκεντρώσεων του αντιβιοτικού στον ιστό. Μπορεί επίσης η δράση του αντιβιοτικού να είναι χρονικά εξαρτώμενη και να μην εξαρτάται από την αύξηση της συγκέντρωσης του αντιβιοτικού.

Από το 1928 όταν ο Φλέμινγκ ανακάλυψε τυχαία την πενικιλίνη και την απομόνωσε, ξεκίνησε μια νέα εποχή στην Ιατρική, η εποχή των αντιβιοτικών. Ο Φλέμινγκ ανακάλυψε από πολύ νωρίς ότι τα βακτήρια ανέπτυσαν αντοχή στα αντιβιοτικά οπότε η δόση της πενικιλίνης ήταν πολύ μικρή ή η χρήση της ήταν χρονικά περιορισμένη. Ο Φλέμινγκ συνιστούσε προσοχή στη χρήση της πενικιλίνης όταν έδινε διαλέξεις σε πολλές χώρες της Γης. Προειδοποιούσε να μην χρησιμοποιείται το αντιβιοτικό παρά μόνο όταν υπήρχε ορθά διαγνωσμένη αιτία και όταν χρησιμοποιείται να μην χορηγείται σε αρκετή ποσότητα και επί χρονικό διάστημα, γιατί αλλιώς δίνεται η ευκαιρία στα βακτήρια να αναπτύξουν ανθεκτικά στελέχη ως προς το συγκεκριμένο φάρμακο [15].

Από την ανακάλυψη της πενικιλίνης ως την «εκρηκτική» παραγωγή νέων αντιμικροβιακών ουσιών μεταξύ 1950 – 1990, η ζωή της ανθρωπότητας άλλαξε σημαντικά. Με τα αντιβιοτικά κατέστη δυνατή η αντιμετώπιση θανατηφόρων μικροβιακών λοιμώξεων. Η ουσιαστική διαφορά τους από τα υπόλοιπα φάρμακα είναι ότι διακόπτονται με την ολοκλήρωση της θεραπείας της λοίμωξης, ώστε να επιτευχθεί εκρίζωσή της και όχι με την ύφεση των συμπτωμάτων όπως γίνεται με τα παυσίπονα. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1990, η φυματίωση επανεμφανίστηκε ως μια από τις βασικότερες αιτίες θνησιμότητας παγκοσμίως, ενώ επί του παρόντος είναι υπεύθυνη για περίπου 1,5 εκατομμύριο θανάτους ετησίως. Ιδιαίτερα σοβαρή είναι η κατάσταση σε φτωχές χώρες, όπου η εξάπλωση της ασθένειας συνδέεται στενά με την επιδημία του AIDS [19].

1. Η λατινική έκφραση *in vitro* (που σημαίνει μέσα στο γυαλί - σε δοκιμαστικό σωλήνα), είναι επιστημονικός όρος της Βιολογίας που αναφέρεται κυρίως στην τεχνική της πραγματοποίησης ενός δεδομένου πειράματος σε δοκιμαστικό σωλήνα ή γενικότερα για πειράματα που πραγματοποιούνται σε αυστηρά ελεγχόμενες συνθήκες έξω από τους ζωντανούς οργανισμούς.



«Ότι δε σε σκοτώνει σε κάνει πιο δυνατό». Δυστυχώς η φράση αυτή ισχύει και για τα μικρόβια, τα οποία γίνονται όλο και πιο ανθεκτικά στα αντιβιοτικά σε βαθμό τέτοιο που πολλά από αυτά έχουν καταλήξει να είναι αναποτελεσματικά. Μπροστά στον κίνδυνο να μείνει η Ιατρική ουσιαστικά άοπλη στη μάχη κατά των λοιμώξεων, έχουν αναληφθεί σημαντικές πρωτοβουλίες σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Στην αύξηση της αντοχής έρχεται να προστεθεί η έλλειψη νέων δραστικών αντιβιοτικών, ώστε σήμερα να

αντιμετωπίζουμε το φαινόμενο του «τέλους των αντιβιοτικών». Ο άνθρωπος βρίσκεται μπροστά στον κίνδυνο να επιστρέψει στην «προ των αντιβιοτικών εποχή», όταν απλές λοιμώξεις, όπως μια ουρολοίμωξη, μπορούσαν να οδηγήσουν στον θάνατο από σήψη. Είναι χαρακτηριστικό ότι οι χώρες με τη μεγαλύτερη κατανάλωση αντιβιοτικών, χαρακτηρίζονται και από τα υψηλότερα ποσοστά αντοχής των μικροβίων στα αντιβιοτικά, ενώ όπου έχει καταβληθεί επιτυχημένη προσπάθεια για την μείωση της κατανάλωσης των αντιβιοτικών (π.χ. Βέλγιο, Γαλλία), αυτή συνοδεύτηκε και από την αντίστοιχη μείωση των ποσοστών αντοχής. Η χώρα μας διατηρεί ένα θλιβερό προνόμιο, αφού κρατάει τα σκήπτρα στην Ευρώπη στην κατανάλωση αντιβιοτικών και στην αντοχή των μικροβίων τόσο σε νοσοκομειακό επίπεδο όσο και στην κοινότητα. Έχει αποδειχθεί ότι το 75% της ελληνικής κατανάλωσης αντιβιοτικών στην κοινότητα αφορά σε λοιμώξεις του αναπνευστικού, για τις οποίες είναι γνωστό ότι σε ποσοστό μεγαλύτερο από το 70% των περιπτώσεων οφείλονται σε ιούς, έναντι των οποίων τα αντιβιοτικά δεν είναι δραστικά. Είναι γεγονός ότι η διατήρηση ενός αγαθού όπως τα αντιβιοτικά που τα τελευταία 60 χρόνια σώζουν ανθρώπινες ζωές και εξακολουθούν να σώζουν ζωές, είναι υπόθεση όλων μας. Τα αντιβιοτικά, πρέπει να γίνει κοινή συνείδηση όλων μας, δεν είναι αθώα σκευάσματα. Η αλόγιστη χρήση τους συνοδεύεται από σοβαρές παρενέργειες, ενώ οδηγεί στην αχρήστευση πολύτιμων φαρμάκων. Σκεπτόμενοι λοιπόν ότι δεν προβλέπεται στο εγγύς μέλλον να κυκλοφορήσουν νέα αντιβιοτικά δραστικά στα ανθεκτικά μικρόβια, πρέπει να τονιστεί η ανάγκη της ελπίδας που μπορεί να γίνει πραγματικότητα, ότι δηλαδή τα αντιβιοτικά είναι δυνατόν να ξαναγίνουν δραστικά έναντι των μικροβίων όταν σταματήσει η άσκοπη κατανάλωσή τους [20].

### 2.3.1 Παρενέργειες αντιβιοτικών

Οι πιθανές παρενέργειες από την χρήση των αντιβιοτικών είναι ποικίλες και εξαρτώνται από τα χρησιμοποιούμενα αντιβιοτικά και τους μικροβιακούς οργανισμούς που στοχεύουν. Τα δυσμενή αποτελέσματα μπορούν να κυμανθούν από τον πυρετό και την ναυτία ως τις σημαντικές αλλεργικές αντιδράσεις, που στην πιο αθώα τους μορφή εκδηλώνονται με κάποιο δερματικό εξάνθημα και φαγούρα και στην πιο σοβαρή με αλλεργικό αναφυλακτικό σοκ που μπορεί να είναι και θανατηφόρο. Άλλες παρενέργειες είναι οι βλάβες των νεφρών, του συκωτιού, του αίματος και των νεύρων. Επίσης μια σχετιζόμενη με τα αντιβιοτικά καταστροφή του αυτόχθονου πληθυσμού των βακτηρίων που κανονικά υπάρχουν ως συστατικά της κανονικής κολπικής χλωρίδας, μπορεί να εμφανιστεί και μπορεί να οδηγήσει σε υπεραύξηση των μυκήτων στη περιοχή. Μια άλλη σχετιζόμενη με την χρήση αντιβιοτικών παρενέργεια, είναι η μείωση ή/και καταστροφή του αυτόχθονου πληθυσμού προβιοτικών βακτηρίων που κανονικά συνυπάρχουν στο ανθρώπινο έντερο και βοηθούν στην πέψη των τροφών.



## 2.4 Αντιβιοτικά στην γεωργία, την κτηνοτροφία και τις ιχθυοκαλλιέργειες

Η εμφάνιση παθογόνων μικροοργανισμών με ανθεκτικότητα στα αντιβιοτικά τόσο στην κτηνιατρική όσο και στην εκτροφή ζώων είναι παρόμοια με εκείνη στην περίπτωση των ανθρώπων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι μεγάλες ποσότητες αντιβιοτικών χορηγούνται ετησίως όχι μόνο για την θεραπεία ανθρώπων και ζώων για ασθένειες και μολύνσεις, αλλά και ως τακτικά συμπληρώματα διατροφής για την πρόληψη λοιμώξεων. Τα αντιβιοτικά χρησιμοποιούνται επίσης συχνά σε υπο-θεραπευτικά επίπεδα στην κτηνοτροφία, για την πρόληψη ασθενειών και την αύξηση της παραγωγής.



Η ιστορία της γεωργίας πάει πίσω αρκετές χιλιάδες χρόνια και η ανάπτυξη της οδηγήθηκε και καθορίστηκε σε μεγάλο βαθμό από τις κλιματικές διαφορές, τους πολιτισμούς και την υφιστάμενη σε αυτές τεχνολογία. Η σύγχρονη αγρονομία και η ανάπτυξη υβριδίων, η χρήση ζιζανιοκτόνων, παρασιτοκτόνων, λιπασμάτων και άλλων τεχνολογικών βελτιώσεων έχει αυξήσει ποσοτικά την παραγωγή προϊόντων από την γεωργική καλλιέργεια, αλλά ταυτόχρονα προκάλεσε ευρεία οικολογική βλάβη στο περιβάλλον και είχε αρνητικά αποτελέσματα στην ανθρώπινη υγεία [21].

Η εντατική κτηνοτροφία, αύξησε την παραγωγή κρέατος, αλλά δημιούργησε προβλήματα σχετικά με την σκληρή συμπεριφορά κατά των ζώων, βλάβες στην ανθρώπινη υγεία από την κατάχρηση αντιβιοτικών, αυξητικών ορμονών και άλλων χημικών ουσιών από τη βιομηχανία παραγωγής προϊόντων κρέατος. Εδώ και 50 περίπου χρόνια οι μικροβιολόγοι προειδοποιούν ότι η χρήση αντιβιοτικών για την πάχυνση ζώων είναι πολύ επικίνδυνη επιλογή. Η πρακτική αυτή απειλεί την ανθρώπινη υγεία μετατρέποντας τις φάρμες σε χώρους αναπαραγωγής όλο και πιο ανθεκτικών στα αντιβιοτικά στελεχών των παθογόνων μικροοργανισμών. Σε πολλές χώρες τα αντιβιοτικά χρησιμοποιούνται είτε σε κανονικές (θεραπευτικές) δόσεις για την ίαση άρρωστων ζώων είτε σε χαμηλές δόσεις για την πάχυνση των κρεατοπαραγωγών ζώων και την αποφυγή των ασθενειών τους. Όμως ακόμη και η θεραπευτική χρήση των αντιβιοτικών στη ζωοπαραγωγή μπορεί να οδηγήσει ακούσια στη διάδοση ανθεκτικών βακτηρίων. Τα αντιβιοτικά είναι αρκετά για να σκοτώσουν μερικά, αλλά όχι όλα τα βακτήρια. Τα μικρόβια που επιζούν είναι συνήθως εκείνα που συμβαίνει να έχουν γενετικές μεταλλάξεις που τους παρέχουν αντοχή στα χρησιμοποιούμενα αντιβιοτικά. Αυτά τα μικρόβια μπορούν χωρίς ανταγωνισμό να αναπαραχθούν και να ανταλλάξουν γονίδια με άλλα μικρόβια που επίσης παρουσιάζουν ανθεκτικότητα. Το ίδιο συμβαίνει και στις ιχθυοκαλλιέργειες. Επειδή τα βακτήρια βρίσκονται πρακτικά παντού, τα ανθεκτικά παθογόνα στελέχη που αναπτύσσονται στα ζώα προσβάλλουν τελικά τον άνθρωπο και μπορούν να εξαπλωθούν γρήγορα, προκαλώντας μέχρι και επιδημίες [22]

Η ρύπανση των υδρόβιων συστημάτων επίσης με αντιβιοτικά θα μπορούσε να διαταράξει τη μικροβιακή οικολογία, να αυξήσει τον πολλαπλασιασμό των ανθεκτικών στα αντιβιοτικά παθογόνων βακτηρίων, που θα μπορούσαν να αποτελέσουν απειλή για την ανθρώπινη υγεία.

## 2.5 Ενδονοσοκομειακές λοιμώξεις

Νοσοκομειακή χαρακτηρίζεται μια λοίμωξη, όταν συμβαίνει 48 – 72 ώρες μετά από την εισαγωγή του ασθενούς στο νοσοκομείο ή και 5 μέρες μετά την έκδοση του εξιτηρίου. Ο περίπλοκος αυτός ορισμός έχει ως σκοπό να αποκλείσει λοιμώξεις που αποτέλεσαν αιτία εισαγωγής του ασθενούς στο νοσοκομείο, αλλά και λοιμώξεις που ήταν σε στάδιο επώασης κατά την εισαγωγή. Οι λοιμώξεις που δεν πληρούν τα κριτήρια του ορισμού χαρακτηρίζονται εξωνοσοκομειακές.

Ο λόγος της διάκρισης σε ενδονοσοκομειακές και εξωνοσοκομειακές λοιμώξεις είναι το διαφορετικό φάσμα που ευθύνονται για τις λοιμώξεις κάθε κατηγορίας. Οι μικροοργανισμοί που προκαλούν εξωνοσοκομειακές λοιμώξεις παρουσιάζουν ευαισθησία στα υπάρχοντα αντιβιοτικά. Αντίθετα, μέσα στα νοσοκομεία, η κατάχρηση των αντιβιοτικών έχει δημιουργήσει ανθεκτικά στελέχη μικροβίων που προκαλούν δυσίατες λοιμώξεις. Τα στελέχη αυτά έχουν την ικανότητα να μεταδίδονται από ασθενή σε ασθενή. Στις περιπτώσεις αυτές, η αγωγή με αντιβιοτικά αποτυγχάνει, με αποτέλεσμα αυξημένη νοσηρότητα και θνησιμότητα. Στις Μονάδες Εντατικής Θεραπείας (ΜΕΘ) οι νοσοκομειακές λοιμώξεις συγκαταλέγονται στα κύρια αίτια θανάτου.



Τα κυριότερα είδη νοσοκομειακών λοιμώξεων είναι :

- Η νοσοκομειακή πνευμονία, που παρατηρείται κυρίως σε κατακεκλιμένους ασθενείς. Βασικοί προδιαθεσικοί παράγοντες είναι η μηχανική υποστήριξη της αναπνοής, η τραχειοστομία, η ανεπαρκής κινητοποίηση του ασθενούς, η ελλιπής παροχέτευση των βρογχικών εκκρίσεων και τα χρόνια εξαντλητικά νοσήματα.
- Οι ουρολοιμώξεις, που οφείλονται στην παρουσία καθετήρα.
- Η σηψαιμία, που σχετίζεται κυρίως με την παρουσία περιφερικού ή κεντρικού καθετήρα, που ως ξένο σώμα ευνοεί την εγκατάσταση και τον πολλαπλασιασμό των μικροοργανισμών.
- Οι λοιμώξεις των χειρουργικών τραυμάτων και εγκαυμάτων.

Τα μικρόβια που προκαλούν τις κυριότερες νοσοκομειακές λοιμώξεις είναι η ψευδομονάδα (*Pseudomonas*), το *Acinetobacter* και ο σταφυλόκοκκος (*Staphylococcus*). Ενδεικτικά αναφέρουμε πως τα ποσοστά αντοχής της *Pseudomonas* αυξήθηκαν από 6% το 1996 στο 30% το 2006 σε Παθολογικές και Χειρουργικές Κλινικές και από 30% στο 70% στις ΜΕΘ, ενώ η αντοχή στο *Acinetobacter* πλησιάζει το 100% στις ΜΕΘ [23].

Ανθεκτικότητα Σταφυλόκοκκου μέσα στα νοσοκομεία

Μέσα στα νοσοκομεία παντού στον κόσμο, έχουν αναπτυχθεί περιπτώσεις Υπερανθεκτικού Χρυσίζοντα Σταφυλόκοκκου (ΥΑΧΣ). Τα στελέχη που απέκτησαν την ανθεκτικότητα φαίνεται ότι έχουν δημιουργήσει γονίδια που τους επιτρέπουν να αντιστέκονται στα αντιβιοτικά. Τα γονίδια αυτά μεταφέρονται μεταξύ των βακτηρίων και παράλληλα με μεταλλάξεις ορισμένα στελέχη αποκτούν την ικανότητα να εξουδετερώνουν τα αντιβιοτικά. Έχουν την δυνατότητα να προκαλούν μολύνσεις σε υγιείς ανθρώπους, οι οποίες αντιμετωπίζονται με αντιβιοτικά εάν δεν υπάρχουν προβλήματα αντίστασης. Το πρόβλημα των ενδονοσοκομειακών λοιμώξεων με ΥΑΧΣ απειλεί ασθενείς που νοσηλεύονται σε νοσοκομεία, κλινικές ακόμη και γηροκομεία. Οι ασθενείς με μειωμένη άμυνα του οργανισμού όπως οι καρκινοπαθείς, οι λευχαιμικοί, οι ηλικιωμένοι, οι ασθενείς με AIDS, τα παιδιά, οι ασθενείς που πάσχουν από την νόσο του Αλτσχάιμερ, οι χειρουργημένοι,

κινδυνεύουν περισσότερο από τον ΥΑΧΣ όταν νοσηλεύονται σε νοσοκομειακά ιδρύματα. Οι συνθήκες που επικρατούν μέσα στα νοσοκομεία ευνοούν την ανάπτυξη και μετάδοση του ΥΑΧΣ. Αρχικά υπάρχει ένας πολύ μεγάλος αριθμός ασθενών, γιατρών και νοσηλευτών με αποτέλεσμα παρά τα μέτρα που λαμβάνονται, τα μικρόβια να μεταφέρονται με τα χέρια από τον έναν ασθενή στον άλλον. Οι πολλαπλές αντιβιώσεις που δίνονται, η μεγάλη ποικιλία μικροβίων που υπάρχουν μέσα στα νοσοκομεία, ο μεγάλος αριθμός σοβαρά πασχόντων και εξασθενημένων ασθενών, είναι μεταξύ των παραγόντων που έχουν οδηγήσει στο απειλητικό για πολλούς και μοιραίο για όλους, πρόβλημα του ΥΑΧΣ. Οι λοιμώξεις των ασθενών με ΥΑΧΣ είναι δύσκολες να θεραπευτούν. Ένα σημαντικό ποσοστό των ασθενών δυστυχώς πεθαίνει [24].

Ο δείκτης θνησιμότητας των νοσοκομειακών λοιμώξεων κυμαίνεται ανάλογα με το είδος της λοίμωξης. Για παράδειγμα μπορεί να φτάσει το 75% για μορφές νοσοκομειακής πνευμονίας ή το 25% για σηψαιμία. Βλέπουμε λοιπόν πως οι νοσοκομειακές λοιμώξεις λόγω της υψηλής θνητότητας συνιστούν ένα πολύ σημαντικό πρόβλημα δημόσιας υγείας.

Στην Ελλάδα, σύμφωνα με στοιχεία του Κέντρου Ελέγχου & Πρόληψης Νοσημάτων (ΚΕΕΛΠΝΟ), καταγράφεται τουλάχιστον ένα περιστατικό λοίμωξης ανά 500 ημέρες νοσηλείας. Οι περισσότερες λοιμώξεις εντοπίζονται στις ΜΕΘ (55%) όπου η θνητότητα των λοιμώξεων ανέρχεται σε ποσοστό 43,6%. Ακολουθούν οι κλινικές του Παθολογικού τομέα και του Χειρουργικού. Οι πνευμονίες είναι οι συχνότερες λοιμώξεις σε ποσοστό 30%. Η μέση θνητότητα εξαιτίας των λοιμώξεων ανέρχεται σε ποσοστό 35%.

Τα μέτρα πρόληψης απέναντι στις ενδονοσοκομειακές λοιμώξεις είναι κυρίως το πλύσιμο των χεριών πριν και μετά από την εξέταση ή οποιαδήποτε επαφή με ασθενή. Η χορήγηση των αντιβιοτικών πρέπει να γίνεται με αυστηρά κριτήρια και μόνο όταν ο ασθενής έχει λοίμωξη με βακτηριακό χαρακτήρα. Μέσα στα νοσοκομεία πρέπει να λειτουργούν επιτροπές ελέγχου των λοιμώξεων για να εντοπίζονται έγκαιρα περιπτώσεις ενδονοσοκομειακών λοιμώξεων. Επίσης μπορούν να παρακολουθούν και να καθοδηγούν το προσωπικό για θέματα καθαριότητας, αντισηψίας και αντιβίωσης [23].

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

### 3.1 Γενικά

Ο οργανισμός μας χρειάζεται καθημερινά μεταλλικά ιχνοστοιχεία για να μπορέσει να εκτελέσει το σύνολο των διεργασιών που απαιτούνται για την πέψη, την αναπνοή, τον μεταβολισμό, την αποτοξίνωση, την αποκατάσταση των βλαβών και μεταλλάξεων κ.ά. Μερικά από τα μεταλλικά αυτά ιχνοστοιχεία είναι ο σίδηρος, ο ψευδάργυρος, το μαγνήσιο και άλλα μέταλλα που συνδέονται στα ενεργά κέντρα των ενζύμων. Τα ιχνοστοιχεία αυτά είναι απολύτως απαραίτητα και ο άνθρωπος μπορεί να τα πάρει κυρίως μέσω της διατροφής.



Πέρα όμως από τα απαραίτητα αυτά ιχνοστοιχεία, στη φύση υπάρχουν και άλλα μεταλλικά στοιχεία, τα οποία ο οργανισμός δεν χρησιμοποιεί ή/και είναι τοξικά γι' αυτόν. Τα μέταλλα αυτά, όταν βιοσυσσωρεύονται<sup>1</sup> στον οργανισμό μας δε μένουν αδρανή, αλλά μπορούν να επηρεάσουν τις αντιδράσεις που συμμετέχουν και να αντικαταστήσουν τα ωφέλιμα ιχνοστοιχεία στα ενεργά κέντρα των ενζύμων, προκαλώντας σειρά από ανεπιθύμητες επιδράσεις. Τα μέταλλα που έχουν ειδικό βάρος μεγαλύτερο του σιδήρου αναφέρονται ως *βαρέα μέταλλα*. Στην κατηγορία των βαρέων μετάλλων ανήκουν όλα τα μέταλλα με ατομικό αριθμό 21 έως 84, όπως ο μόλυβδος (Pb), ο υδράργυρος (Hg), το κάδμιο (Cd), ο χαλκός (Cu), το χρώμιο (Cr) κ.ά. Η κυριότερη ιδιότητα που τα κάνει επικίνδυνα είναι ότι δομικά μοιάζουν με τα απαραίτητα ιχνοστοιχεία και έτσι ο οργανισμός δεν μπορεί να τα ξεχωρίσει απόλυτα με αποτέλεσμα να τα δεσμεύει και να τα κατακρατεί στους διάφορους ιστούς προκαλώντας συσσώρευση και τοξικότητα.

Όπως αναφέρθηκε τα βαρέα μέταλλα είναι επικίνδυνα επειδή τείνουν να βιοσυσσωρεύονται. Βιοσυσσώρευση σημαίνει αύξηση στη συγκέντρωση μιας χημικής ουσίας σε έναν βιολογικό οργανισμό με την πάροδο του χρόνου, συγκρινόμενη με τη συγκέντρωση της χημικής ουσίας στο περιβάλλον. Οι ενώσεις συσσωρεύονται στα έμβια όντα οποτεδήποτε λαμβάνονται και αποθηκεύονται γρηγορότερα από ότι διασπώνται (μεταβολίζονται) ή εκκρίνονται [27].

<sup>1</sup> **Βιοσυσσώρευση** (bioaccumulation) είναι η συσσώρευση μιας ουσίας, όπως μιας τοξικής χημικής ένωσης, σε διάφορους ιστούς ενός ζώντος οργανισμού. Βιοσυσσώρευση πραγματοποιείται σε έναν οργανισμό, εάν η ταχύτητα πρόσληψης μιας ουσίας είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα απέκκρισης ή τον μεταβολικό μετασχηματισμό της ουσίας.

### 3.1.1 Πηγές ρύπανσης βαρέων μετάλλων



Τα τελευταία χρόνια η σύγχρονη βιομηχανική ανάπτυξη οδήγησε στο σχηματισμό επικίνδυνων χημικών ουσιών που ελευθερώθηκαν στο περιβάλλον λόγω άγνοιας ή ανευθυνότητας. Οι ουσίες αυτές είναι γνωστές με τον όρο χημικοί ρυπαντές και αποτελούν αντικείμενο πολλών επιστημονικών ερευνών, αφού μέσω του εδάφους και του αέρα περνάνε στα φυτά και στα ζώα και ακολούθως στην τροφική αλυσίδα. Σε αυτή τη κατηγορία ανήκουν και τα βαρέα μέταλλα.

Τα βαρέα μέταλλα εισχωρούν στον υδροφόρο ορίζοντα από τα νερά της βροχής ή τα ανεπεξέργαστα απόβλητα βιομηχανιών, βιοσυσσωρευόμενα έτσι στα καλλιεργούμενα φυτά, αλλά και στα ζώα που τρέφονται με ρυπασμένο χορτάρι. Με αυτόν τον τρόπο εισέρχονται στον οργανισμό μας μέσω της διατροφής. Είναι λοιπόν πολύ δύσκολο στην σημερινή εποχή να αποφύγει κανείς την επαφή/έκθεση σε οποιαδήποτε από τα πολλά επιβλαβή βαρέα μέταλλα που έχουν βιοσυσσωρευτεί σε μεγάλες ποσότητες στο περιβάλλον [4].

Φαίνεται ότι στις μέρες μας, όπου υπάρχει έξαρση της βιομηχανικής ανάπτυξης, το πρόβλημα των χημικών ρυπαντών στην τροφική αλυσίδα είναι τεράστιο και απαιτεί εξεύρεση λύσεων. Η επίλυση του προβλήματος απαιτεί αφενός την κινητοποίηση του κρατικού μηχανισμού με την συχνή διεξαγωγή ελέγχων σε βιομηχανίες και αφετέρου τη συνειδητοποίηση των βιομηχανιών, οι οποίες πρέπει να εφαρμόζουν συστήματα, επωφελούς για το περιβάλλον, επεξεργασίας των αποβλήτων τους και να ελατώσουν την χρήση ουσιών που δύναται να παράγουν διοξίνες, βαρέα μέταλλα και άλλους τοξικούς ρύπους. Επίσης ο κρατικός μηχανισμός πρέπει να απαγορεύσει την καλλιέργεια εδαφών και τη βοσκή ζώων κοντά σε βιομηχανικές περιοχές, ενώ επιβάλλεται να καταρτίσει προγράμματα ενημέρωσης των καταναλωτών για το συγκεκριμένο πρόβλημα [28].

Οι πηγές ρύπανσης από τα βαρέα μέταλλα διακρίνονται σε φυσικές και ανθρωπογενείς.

#### 3.1.1.1 Φυσικές πηγές βαρέων μετάλλων

Φυσικές διεργασίες είναι η αποσάθρωση και η διάβρωση των πετρωμάτων και του εδάφους κατά τις οποίες απελευθερώνονται συχνά βαρέα μέταλλα στα υδάτινα οικοσυστήματα και στον αέρα. Άλλες μη σημειακές συνεισφορές προέρχονται από τη σήψη των φυτών και τα κατάλοιπα των ζώων, την ατμοσφαιρική εναπόθεση των αερομεταφερόμενων σωματιδίων από την ηφαιστειακή δραστηριότητα, τη διάβρωση που προκαλεί ο αέρας, τον καπνό της δασικής πυρκαγιάς, τα εκκρίματα των φυτών κλπ. Λόγω των φυσικών πηγών, τα φυσικά επιφανειακά νερά περιέχουν πάντοτε ίχνη μετάλλων [29].

#### 3.1.1.2 Ανθρωπογενείς πηγές βαρέων μετάλλων

Οι επιφανειακές απορροές από μεταλλεία και μεταλλευτικές δραστηριότητες περιέχουν υψηλά επίπεδα μετάλλων, όπως ο σίδηρος, το μαγγάνιο, ο ψευδάργυρος, ο χαλκός, το νικέλιο, το κοβάλτιο και άλλα.

Η καύση των φυσικών καυσίμων ρυπαίνει επίσης την ατμόσφαιρα σε σύμπλοκα μετάλλων που στη συνέχεια εναποτίθενται στην επιφάνεια του εδάφους.

Οι απορροές με τα νερά των βροχών σε αστικές περιοχές περιέχουν συχνά μέταλλα από τους δρόμους και την ατμοσφαιρική σκόνη.

Οι γεωργικές δραστηριότητες με την χρήση λιπασμάτων υψηλών συγκεντρώσεων σε μέταλλα, φυτοφαρμάκων, ξηρών ουσιών, συντηρητικών, μπορούν να οδηγήσουν σε αύξηση των συγκεντρώσεών τους σε υδάτινα οικοσυστήματα μέσω της απορροής.

Αγροτικά απόβλητα όπως τα απορρίμματα χοίρων και πουλερικών, οι κοπριές και τα λύματα αλλά κυρίως η αποτέφρωση αστικών και μη αποβλήτων οδηγούν στην ρύπανση των επιφανειακών υδάτων με βαρέα μέταλλα.

Στα απόβλητα των αποχετεύσεων περιέχονται μέταλλα από αστικά απόβλητα, διαβρώσεις των υδροσωλήνων και καταναλωτικά προϊόντα.

Βιομηχανικά απόβλητα και λυματολάσπη από πολλούς τομείς της βιομηχανικής δραστηριότητας που σχετίζονται με τη χρήση μετάλλων (μεταλλουργίας και κατασκευής μεταλλικών αντικειμένων, ηλεκτρονικών, χρωμάτων και χρωστικών, υφασμάτων, χάρτου κ.ά.) αυξάνουν το φορτίο των μετάλλων σε υδάτινα οικοσυστήματα [29].

### 3.2 Τοξικότητα βαρέων μετάλλων

Για την διαβίωσή τους, η πλειοψηφία των οργανισμών χρειάζονται ίχνη βαρέων μετάλλων, όπως ο χαλκός, το μαγγάνιο, ο σίδηρος, ο ψευδάργυρος, το τρισθενές χρώμιο, το σελήνιο. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, τα περισσότερα από τα ιχνοστοιχεία είναι συστατικά ενζύμων και άλλων πρωτεϊνών που είναι σημαντικά για τις μεταβολικές διαδικασίες. Οι συγκεντρώσεις των απαραίτητων ιχνομετάλλων στους οργανισμούς είναι συνήθως ομοιοστατικά ελεγχόμενες έτσι ώστε η λήψη από το περιβάλλον να ρυθμίζεται ανάλογα με τη θρεπτική απαίτηση. Τα αποτελέσματα στους οργανισμούς είναι προφανή, όταν ο μηχανισμός πρόσληψης παραβιάζεται είτε ως αποτέλεσμα της ανεπάρκειας πηγών είτε λόγω υπερβολικού φορτίου μετάλλου. Οι οργανισμοί είναι σε θέση να ανεχτούν τις μικρές διακυμάνσεις στη συγκέντρωση των πιο πολλών ιχνομετάλλων, ενώ επίσης πολλοί οργανισμοί είναι σε θέση να ρυθμίσουν τις συγκεντρώσεις μετάλλων στους ιστούς τους [29].

Είναι ολοφάνερο πως η καταστροφή που συντελείται στο φυσικό περιβάλλον, η κακή διατροφή και η κακή ποιότητα νερού που πίνουμε, ο αέρας που αναπνέουμε και η γενικότερη επιβάρυνση λόγω της ρύπανσης, ευθύνονται σε σημαντικό βαθμό για την επιδείνωση της υγείας μας. Πολλές χρόνιες ασθένειες που δύσκολα αντιμετωπίζονται θεωρούνται επιπτώσεις των περιβαλλοντικών ρύπων, της κακής διατροφής και άλλων τοξικών παραγόντων. Αν προσθέσουμε και την επιβάρυνση από χημικά φάρμακα, από εθιστικές ουσίες όπως το τσιγάρο, ο καφές και τα συντηρητικά τροφίμων, γίνεται ολοφάνερο πως η αποτοξίνωση από όλους τους παραπάνω παράγοντες είναι επιτακτική ανάγκη. Αυτό όμως γίνεται δύσκολα σήμερα λόγω του ότι η επιβάρυνση είναι μεγάλη, πολύπλοκη και πολύπλευρη.

Πολλά βαρέα μέταλλα δεν αποβάλλονται από τα κύτταρα των οργανισμών και κατά συνέπεια συσσωρεύονται και μάλιστα εκλεκτικά σε ορισμένους ιστούς (συκώτι, νεφρά) εμφανίζοντας έτσι υψηλές συγκεντρώσεις. Οι κυριότερες δράσεις τους είναι και καρκινογόνες. Η καρκινογόνος δράση των μετάλλων έχει μελετηθεί με μεγάλο αριθμό τοξικολογικών ερευνών και έχει βρεθεί, ότι ο μηχανισμός της άμεσης προσθήκης σε κυτταρικό DNA (που προκαλεί μεταλλάξεις) είναι δευτερεύουσας σημασίας σε σχέση με τη δράση μέσω οξειδωτικών βλαβών στο DNA που προκαλούνται από την παραγωγή ελευθέρων ριζών.

Η *τοξικότητα* μπορεί να εκφραστεί ως νευροφυσιολογικές διαταραχές, γενετικές αλλοιώσεις των κυττάρων (μεταλλάξεις), επιδράσεις στην ενζυμική και ορμονική δραστηριότητα, στις βασικές λειτουργίες του οργανισμού, στην αναπαραγωγή, στην τερατογένεση και καρκινογένεση. Η σειρά τοξικότητας για τα πιο γνωστά βαρέα μέταλλα,

ξεκινώντας από το περισσότερο τοξικό για τον άνθρωπο, είναι η εξής: Hg > Cu > Zn > Ni > Pb > Cd > As > Cr > Sn > Fe > Mn [25].

Σε μελέτη στο περιοδικό *Biological Trace Element Research*, ερευνητές από το Πανεπιστήμιο της Αριζόνα αναφέρουν ότι τα παιδιά που διαγιγνώσκονται στο φάσμα του αυτισμού έχουν πολύ υψηλότερα επίπεδα αρκετών τοξικών μετάλλων στο αίμα και στα ούρα τους, σε σύγκριση με μη διαγνωσμένα παιδιά. Τα αποτελέσματα ήταν στατιστικά σημαντικά καθώς αφορούσαν υψηλό αριθμό παιδιών. Η ομάδα των παιδιών στο φάσμα είχαν πολύ πιο αυξημένα επίπεδα μολύβδου στο αίμα (41%) και στα ούρα (74%), θάλλιο (77%), κασσίτερο (115%) και βολφράμιο (44%). Επίσης βρέθηκε ότι το 38 έως 47% των συμπτωμάτων σχετίζεται με τα επίπεδα διαφόρων μετάλλων, με κυριότερα το κάδμιο και τον υδράργυρο. Η αφαίρεση των μετάλλων έδειξε σημαντική βελτίωση σε πολλές πτυχές της συμπτωματολογίας και κυρίως στα παιδιά που είχαν τη μεγαλύτερη συσσώρευση [55].

### 3.3 Βαρέα μέταλλα

#### 3.3.1 Υδράργυρος

Το χημικό στοιχείο Υδράργυρος είναι ένα μέταλλο με ατομικό αριθμό 80 και με σύμβολο το Hg. Είναι το μοναδικό μέταλλο που απαντάται σε υγρή κατάσταση. Είναι μέταλλο γνωστό από την αρχαιότητα. Ποσότητες του έχουν βρεθεί σε Αιγυπτιακούς τάφους του 1.500 π.Χ. Από τον Αριστοτέλη (350 π.Χ.) αναφέρεται ως «χυτός άργυρος» και από τον Διοσκουρίδη (50 μ.Χ) ονομάστηκε Υδράργυρος.



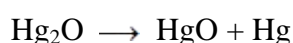
Ο υδράργυρος είναι ένα βαρύ, αργυρόλευκο μέταλλο. Σε σύγκριση με άλλα μέταλλα είναι σχετικά καλός αγωγός της θερμότητας και αρκετά καλός αγωγός του ηλεκτρισμού. Ανήκει στα στοιχεία μετάπτωσης στον περιοδικό πίνακα [35].

Ο υδράργυρος είναι μια ένωση που μπορεί να βρεθεί φυσικά στο περιβάλλον. Μπορεί να βρεθεί σε μεταλλική μορφή (στοιχειακός υδράργυρος), ως άλατα υδραργύρου (ανόργανος υδράργυρος) ή ως οργανικές ενώσεις υδραργύρου (μεθυλουδράργυρος). Δεν είναι φυσικής προέλευσης στα τρόφιμα, αλλά μπορεί να ανιχνευτεί στα τρόφιμα λόγω του ότι μπορεί να βιοσυσσωρευτεί μέσω της τροφικής αλυσίδας από τους μικρότερους οργανισμούς που καταναλώνονται από τους ανθρώπους, παραδείγματος χάριν μέσω των ψαριών. Το κρέας επίσης μπορεί να περιέχει ιδιαίτερα σημαντικές ποσότητες υδραργύρου, ειδικά αν προέρχεται από εκτροφή με κατανάλωση ρυπασμένων ζωοτροφών. Ο υδράργυρος δεν βρίσκεται συνήθως στα φυτικά προϊόντα, αλλά μπορεί να εισαχθεί στον ανθρώπινο οργανισμό μέσω των λαχανικών και άλλων καλλιεργήσιμων προϊόντων, όταν εφαρμόζονται στη γεωργία ψεκασμοί με υδράργυρο [36].

##### 3.3.1.1 Γενικές χημικές ιδιότητες των ενώσεων του Hg

###### Οξειδωτικές καταστάσεις

- Σταθερές οξειδωτικές καταστάσεις του Hg σε υδατικά διαλύματα είναι η Hg(I) και η Hg(II), αν και ορισμένες ενώσεις (π.χ. οξείδια, θειούχα άλατα) του Hg(I) δεν είναι σταθερά, υφιστάμενα αυτοοξειδοαναγωγή προς την αντίστοιχη ένωση του Hg(II) και Hg(0), π.χ.



- Στην οξειδωτική κατάσταση Hg(I), ο Hg βρίσκεται σε διμερή μορφή  $\text{Hg}_2^{2+}$ , που είναι αποτέλεσμα συνένωσης μέσω κοινού ζεύγους ηλεκτρονίου δύο κατιοντικών ριζών  $(\text{Hg}')^+ + (\text{Hg}')^+ \rightleftharpoons (\text{Hg}:\text{Hg})^{2+}$
- Η χαρακτηριστική διαφορά μεταξύ των Hg(I) και Hg(II) βρίσκεται στη διαλυτότητα των χλωριούχων αλάτων τους. Ο Hg(I) σχηματίζει δυσδιάλυτο  $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$  και για τον λόγο αυτό ο Hg(I) περιλαμβάνεται στην Ιη ομάδα κατιόντων μαζί με τα ιόντα  $\text{Ag}^+$  και  $\text{Pb}^{2+}$ , που επίσης σχηματίζουν δυσδιάλυτα χλωριούχα άλατα. Ο Hg(II) σχηματίζει διαλυτό  $\text{HgCl}_2$  και για τον λόγο αυτό περιλαμβάνεται (σαν να πρόκειται για διαφορετικό μέταλλο) στην ΙΙ-η ομάδα κατιόντων.

### Διαλυτοποίηση του μετάλλου

- Ο Hg διαλυτοποιείται μόνο σε οξειδωτικά οξέα ( $\text{HNO}_3$ , πυκνό-θερμό  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), π.χ.  
Σε αραιό  $\text{HNO}_3$ :  $3\text{Hg} + 2\text{NO}_3^- + 8\text{H}^+ \rightarrow 3\text{Hg}^{2+} + 2\text{NO}\uparrow + 4\text{H}_2\text{O}$   
Σε πυκνό  $\text{HNO}_3$ :  $\text{Hg} + 2\text{NO}_3^- + 4\text{H}^+ \rightarrow \text{Hg}^{2+} + 2\text{NO}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$   
Σε πυκνό  $\text{H}_2\text{SO}_4$ :  $\text{Hg} + 3\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Hg}^{2+} + 2\text{HSO}_4^- + \text{SO}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$
- Επίσης, διαλυτοποιείται σε HI με έκλυση  $\text{H}_2$  και αυτό οφείλεται στο σχηματισμό του εξαιρετικά σταθερού ιωδισυμπλόκου:  
 $\text{Hg} + 4\text{I}^- + 2\text{H}^+ \rightarrow [\text{HgI}_4]^{2-} + \text{H}_2\uparrow$
- Ο Hg δεν προσβάλλεται από διαλύματα ισχυρών βάσεων.

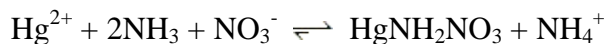
### Σταθερότητα των διαλυμάτων του

- Τα ιόντα  $\text{Hg}_2^{2+}$  και  $\text{Hg}^{2+}$  υδρολύονται εύκολα και για να παραμείνουν τα διαλύματά τους διαυγή και απαλλαγμένα από δυσδιάλυτα βασικά άλατα, απαιτούν την παρουσία περίσσειας ισχυρού οξέος, π.χ. τα διαλύματα  $\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2$  και  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ , απαιτούν σημαντική περίσσεια  $\text{HNO}_3$ , ανάλογα με τη συγκέντρωσή τους.
- Τα διαλύματα του  $\text{HgCl}_2$  δεν υδρολύονται εύκολα επειδή ο Hg(II) βρίσκεται σχεδόν αποκλειστικά στην αδιάστατη μορφή  $[\text{HgCl}_2]$  και τα ελεύθερα ιόντα  $\text{Hg}^{2+}$  είναι ελάχιστα, δηλ. ο  $\text{HgCl}_2$  συμπεριφέρεται ουσιαστικά ως ομοιοπολική ένωση.
- Σε αλκαλικά διαλύματα σχηματίζονται ασταθή υδροξείδια, τα οποία διασπώνται αμέσως προς  $\text{HgO}$  σύμφωνα με τις αντιδράσεις:  
 $\text{Hg(I): Hg}_2^{2+} + 2\text{OH}^- \rightleftharpoons 2\text{Hg}_2(\text{OH})_2$   
 $\text{Hg}_2(\text{OH})_2 \rightleftharpoons \text{Hg}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$   
 $\text{Hg}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Hg} + \text{HgO}$   
 $\text{Hg(II): Hg}^{2+} + 2\text{OH}^- \rightleftharpoons \text{Hg}(\text{OH})_2$   
 $\text{Hg}(\text{OH})_2 \rightleftharpoons \text{HgO} + \text{H}_2\text{O}$



### Σχηματισμός συμπλόκων ιόντων

- Ο Hg(II) δεν σχηματίζει σύμπλοκα με την NH<sub>3</sub>, αλλά δυσδιάλυτες λευκές αμιδο-ενώσεις, π.χ.:



- Ο Hg(II) σχηματίζει σειρά πολύ σταθερών συμπλόκων με τα αλογονοϊόντα και με τα κυανιούχα ιόντα : [HgX<sub>2</sub>]<sup>0</sup>, [HgX<sub>3</sub>]<sup>-</sup>, [HgX<sub>4</sub>]<sup>2-</sup> (X: ιόντα Cl<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, I<sup>-</sup>, CN<sup>-</sup>) [37].

### 3.3.1.2 Επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου και στο οικοσύστημα από τον Υδράργυρο

Από τότε που οι γιατροί χορηγούσαν υδράργυρο ως θεραπεία της σύφιλης κι ο Παράκελσος τον θεωρούσε ως ουσία της ψυχής, έχουν περάσει μερικοί αιώνες. Ευτυχώς η γνώση που έχει συσσωρευτεί είναι τεράστια και ο υδράργυρος τοποθετήθηκε εκεί που του αξίζει. Του τοξικότερου μετάλλου.

Ο υδράργυρος αποτελεί παγκόσμια μάζιγα. Βρίσκεται παντού ρυπαίνοντας το περιβάλλον και διαλύοντας τον κοινωνικό ιστό. Με τις νευροτοξικές του ιδιότητες μπορεί πανεύκολα να αποσαρθρώσει το μεγαλύτερο πλεονέκτημα και όπλο του ανθρώπου, την νοημοσύνη του. Επίσης η έκθεση σε υδράργυρο προκαλεί μείωση διανοητικών και ψυχικών ικανοτήτων. Συγκεκριμένα, επηρεάζει τον εγκέφαλο, τη σπονδυλική στήλη, τα νεφρά και το συκώτι. Επηρεάζει δυσμενώς τις αισθήσεις. Την όραση, την αφή, και την γεύση και προκαλεί προβλήματα στην κίνηση. Έχει παρατηρηθεί ότι μπορεί να προκαλέσει μυρμηγκιασμα στα δάχτυλα, μούδιασμα γύρω από το στόμα, ενώ μακροχρόνια έκθεση μπορεί να οδηγήσει σε συμπτώματα που σταδιακά γίνονται χειρότερα οδηγώντας σε αλλαγή προσωπικότητας, σε λήθαργο, σε κώμα και σε θάνατο. Τα παιδιά είναι πολύ περισσότερο ευαίσθητα από τους ενήλικες στη δηλητηρίαση από υδράργυρο και είναι πιθανό να υπάρξουν σοβαρές παρενέργειες από την έκθεση σε ατμούς υδραργύρου. Σε έγκυες γυναίκες, ο υδράργυρος μπορεί να περάσει μέσω του πλακούντα, όπου επηρεάζει την εμβρυική ανάπτυξη, εμποδίζοντας το μυαλό και το νευρικό σύστημα από τη φυσιολογική ανάπτυξη. Παιδιά που έχουν επηρεαστεί εμφανίζουν χαμηλότερη ευφυΐα και εξασθενημένη ακοή. Οι λεκτικές και κινητικές ικανότητές τους μπορεί να επιβραδυνθούν. Μια μελέτη στο περιοδικό *Biological Trace Element Research* αναφέρει ότι τα πιο κοινά μέταλλα που ανευρίσκονται στους ιστούς παιδιών που έχουν διαγνωστεί στο φάσμα του αυτισμού είναι το κάδμιο και ο υδράργυρος και σχετίζονται με το 38-47 % των συμπτωμάτων. Είναι γνωστό ότι ο υδράργυρος έχει την ικανότητα να δηλητηριάζει κάθε μορφή ζωής. Πολλές κατηγορίες ζώων, ιδιαίτερα τα ψάρια, παρουσιάζουν ήδη παρενέργειες από δηλητηρίαση με υδράργυρο. Η ρύπανση είναι τόσο μεγάλης έκτασης, που σε πολλές χώρες οι κάτοικοι προειδοποιούνται να μην τρώνε συγκεκριμένα είδη ψαριών που αλιεύονται σε συγκεκριμένες θάλασσες, λίμνες ή ποταμούς [38].

#### 3.3.1.2.1 Πηγές υδραργύρου μέσα στο σπίτι μας

Υπάρχουν πολλά προϊόντα καθημερινής χρήσης που περιέχουν υδράργυρο. Μπορεί να μην εμπεριέχουν ρίσκο για την υγεία αν χρησιμοποιηθούν μέχρι ενός σημείου και στην συνέχεια εξουδετερωθούν.

Μερικά προϊόντα που μπορεί να περιέχουν υδράργυρο είναι [39] :

- Τα θερμόμετρα υδραργύρου
- Θερμοστάτες

- Λάμπες φθορισμού, ατμών υδραργύρου και ηλεκτρονικές
- Μπαταρίες
- Διακόπτες ή αναμεταδότες.

### 3.3.1.2.2 Διάχυση υδραργύρου στην ατμόσφαιρα και στον ανθρώπινο οργανισμό

Όπως ήδη αναφέρθηκε παραπάνω, η κατανάλωση ψαριών είναι η πιο σημαντική πηγή πρόσληψης υδραργύρου για τον άνθρωπο, παρόλο που τα φυτά και τα ζώα επίσης βιοσυσσωρεύουν υδράργυρο λόγω του εμπλουτισμού υδραργύρου στο έδαφος, στο νερό και στην ατμόσφαιρα γενικά.

Η έκθεση σε υδράργυρο μπορεί να προκύψει επίσης με έναν από τους παρακάτω τρόπους:

1. Την αναπνοή ρυπασμένου αέρα.
2. Την κατανάλωση τροφίμων που περιέχουν υπολείμματα υδραργύρου από την επεξεργασία τους, όπως π.χ. μπορεί να συμβεί από την χρήση της γλυκαντικής ουσίας καλαμποκιού με υψηλή περιεκτικότητα φρουκτόζης, που περιέχει υπολείμματα υδραργύρου.
3. Την έκθεση σε ατμούς υδραργύρου, όπως για παράδειγμα κατά την παρασκευή οδοντιατρικών αμαλγαμάτων.
4. Από την ακατάλληλη χρήση ή διάθεση του υδραργύρου που περιέχεται σε αντικείμενα ή όργανα όπως είναι οι ηλεκτρικοί λαμπτήρες φθορισμού.

Κάποιες από τις δραστηριότητες του ανθρώπου μπορούν επίσης να αποτελέσουν πηγή ρύπανσης με τον υδράργυρο, όπως τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με καύση γαιανθράκων, τα οποία εκπέμπουν περίπου το ήμισυ της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από υδράργυρο.

Υπολογίζεται ότι περίπου τα 2/3 της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από υδράργυρο προέρχεται από καύση, κυρίως του άνθρακα. Άλλες πηγές υδραργύρου είναι οι μεταλλουργικές δραστηριότητες όπως η παραγωγή χρυσού, η παραγωγή των μη σιδηρούχων μετάλλων, η παραγωγή τσιμέντου, η διάθεση των αποβλήτων τους, η παραγωγή καυστικής σόδας, η παραγωγή χυτοσιδήρου και χάλυβα, η παραγωγή υδραργύρου κυρίως για τις ηλεκτρικές στήλες καθώς και η καύση της βιομάζας και άλλων ορυκτών καυσίμων [40].

### 3.3.1.2.3 Ανθρώπινα δικαιώματα «εναντίον» υδραργύρου

Το Παρατηρητήριο Ανθρωπίνων Δικαιωμάτων (HRW) εκτιμά ότι περίπου 13 εκατομμύρια άτομα την ημέρα εκτίθενται σε απαγορευτικές, για τον ανθρώπινο οργανισμό, ποσότητες υδραργύρου σε πολλά ορυχεία (κυρίως χρυσού) στις αναπτυσσόμενες χώρες Αφρικής και Ασίας. Ιδιαίτερα ευάλωτα στις βλαβερές επιπτώσεις των βαρέων μετάλλων είναι τα παιδιά, που συχνά εργάζονται στα ορυχεία.

Σχεδόν οι μισές από τις παγκόσμιες εκπομπές υδραργύρου προέρχονται από την Ασία. Εκτός από τα ορυχεία και οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι συνήθως ανεπαρκώς εξοπλισμένοι με αντιρρυπαντικές τεχνολογίες. Τα τελευταία 100 χρόνια οι ποσότητες υδραργύρου που προέρχονται από ανθρώπινες δραστηριότητες διπλασιάστηκαν όσον αφορά την περιεκτικότητά τους στους υδάτινους πόρους παγκοσμίως.

Τα Ηνωμένα Έθνη προειδοποιούν ότι ο υδράργυρος θέτει σε κίνδυνο εκατομμύρια ανθρώπους σε Αφρική και Ασία. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θεσπιστεί νομοθεσία (ΕΕ1102/2008) απαγόρευσης όλων των εξαγωγών υδραργύρου και ασφαλούς αποθήκευσης όλων των αποθεμάτων μέχρι 15/03/2011 [41].

### 3.3.1.2.4 Ο κύκλος του Υδραργύρου

Μέσω των φυσικών και των ανθρωπογενών πηγών ο υδράργυρος εισέρχεται στο περιβάλλον, όπου συμμετέχει σε μια σειρά πολύπλοκων βιογεωχημικών διεργασιών, που ρυθμίζουν την κατανομή του στοιχείου μεταξύ των διαφορετικών ανόργανων – οργανικών, αδιάλυτων – διαλυτών μορφών του.

Στην ατμόσφαιρα, ο υδράργυρος εισέρχεται υπό στοιχειακή μορφή, που είναι και η επικρατούσα στον αέρα μορφή του, με ποσοστό που φτάνει το 95%, καθώς και σε ανόργανη ή σωματιδιακή μορφή. Η χημική μορφή παίζει ρόλο παίζει καθοριστικό ρόλο στην περαιτέρω «κίνηση» του υδραργύρου.

Η ανόργανη και η σωματιδιακή μορφή είναι περισσότερο υδατοδιαλυτές με αποτέλεσμα να παραμένουν στην ατμόσφαιρα για μικρό χρονικό διάστημα (ημέρες ή βδομάδες) και να αποτίθενται συνήθως σχετικά κοντά στην περιοχή εκπομπής τους. Μέσω της υγρής (βροχόπτωση, χιόνι) και ξηρής απόθεσης, ο υδράργυρος καταλήγει είτε απευθείας στην επιφάνεια της θάλασσας είτε στα εδαφικά και υδατικά οικοσυστήματα, όπου και πάλι αργά η γρήγορα καταλήγει στη θάλασσα μεταφερόμενος μέσω των ποταμών, της απόπλυσης του εδάφους, των υπόγειων υδάτων και της παράκτιας διάβρωσης.

Αντίθετα η στοιχειακή μορφή υδραργύρου παραμένει για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα στην ατμόσφαιρα (περίπου μισό με ένα χρόνο) πριν εισέλθει στα υπόλοιπα στάδια του κύκλου και διασπείρεται σε μεγάλες αποστάσεις. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η παρουσία υδραργύρου στην Αρκτική, σε μια περιοχή στην οποία σε θα περίμενε κανείς να υπάρχει τέτοιο πρόβλημα ρύπανσης.

Η συμβολή των ποταμών στην επιβάρυνση των θαλασσών (αλλά και των υδάτινων μαζών γενικότερα) με υδράργυρο θεωρείται καθοριστική και εξαρτάται τόσο από την παρουσία αποθέσεων στη λεκάνη απορροής, όσο και από τη διέλευση του ποταμού από αστικά ή βιομηχανικά κέντρα. Οι εκβολές δρουν ως φίλτρα του διερχόμενου νερού παγιδεύοντας μέρος του υδραργύρου μέσω της προσρόφησης αυτού στη σωματιδιακή ύλη, η οποία στη συνέχεια καθιζάνει στον πυθμένα. Από τη στιγμή που θα φτάσει ο υδράργυρος στη θάλασσα, η μετέπειτα τύχη του εξαρτάται από μια σειρά διεργασιών όπως η διάλυση, η διασπορά, η καταβύθιση, η προσρόφηση και η απορρόφηση.

Η διάλυση και η διασπορά είναι φυσικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα όταν τα βαρέα μέταλλα εισέρχονται στο θαλασινό νερό και διαλύονται σε αυτό, ενώ ταυτόχρονα, λόγω των ρευμάτων και της διάχυσης, μεταφέρονται σε μεγάλες αποστάσεις. Σε σημαντικό ποσοστό, ο υδράργυρος, προσροφάται στη σωματιδιακή ύλη, καθιζάνει και εναποτίθεται στο ιζημα. Με την πάροδο του χρόνου υφίσταται ανάμιξη ή απαναιώρηση του ιζήματος από τα ρεύματα και τους οργανισμούς, μερική αποδόμηση της οργανικής ύλης που περιέχει από τους μικροοργανισμούς, διάλυση και απανακαθίξή του.

Η σημαντικότερη, από τοξικολογική άποψη, διεργασία που λαμβάνει χώρα στους υδάτινους αποδέκτες είναι η μεθυλίωση και η αντίστροφη διαδικασία, η απομεθυλίωση. Υπό ανοξικές συνθήκες ως επί το πλείστον (δηλ. υπό συνθήκες έλλειψης οξυγόνου), συγκεκριμένα είδη βακτηρίων που βρίσκονται κυρίως στο έδαφος και στα θαλάσσια – ποτάμια – λιμναία ιζήματα αναλαμβάνουν την μετατροπή του ανόργανου υδραργύρου σε μεθυλοϋδράργυρο, μια ιδιαίτερος τοξική ένωση, όντας λιποδιαλυτή έχει την ικανότητα να διαπερνά τις βιολογικές μεμβράνες και να συσσωρεύεται στα κύτταρα συμπλεκόμενο με



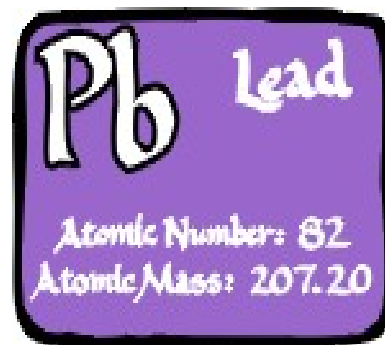
απαραίτητες πρωτεΐνες, ένζυμα και νουκλεϊνικά οξέα. Πολλοί είναι οι παράγοντες που επηρεάζουν την μεθυλίωση: η διαθεσιμότητα ανόργανου υδραργύρου, η συγκέντρωση του οξυγόνου, το pH, το δυναμικό οξειδοαναγωγής, η παρουσία θεικών και θειούχων αλάτων, ο τύπος και η συγκέντρωση των ανόργανων και οργανικών συμπλοκοποιητών, η αλκαλικότητα, η οργανική ύλη και φυσικά η ύπαρξη της κατάλληλης μικροβιακής κοινότητας.

Εκτός από τη βιοσυσσώρευση, οι ποσότητες των τοξικών μορφών του υδραργύρου υπόκεινται σε βιομεγέθυνση<sup>1</sup> καθώς διέρχονται μέσω της τροφικής αλυσίδας, με αποτέλεσμα οι ανώτεροι θηρευτές, μεταξύ των οποίων και ο άνθρωπος, να λαμβάνουν σημαντικά αυξημένες συγκεντρώσεις υδραργύρου.

Όπως είναι αναμενόμενο, όσο ψηλότερα βρίσκεται ένα ψάρι στην τροφική αλυσίδα τόσο μεγαλύτερη συγκέντρωση υδραργύρου αναμένεται να έχει. Χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων ψαριών είναι ο τόνος, ο ξιφίας και ο καρχαρίας. Επίσης, οι ποσότητες υδραργύρου αυξάνονται με την ηλικία λόγω της βιοσυσσώρευσης. Αυτό συμβαίνει, γιατί καθώς τα ψάρια διέρχονται από τα διάφορα στάδια του κύκλου της ζωής τους, αλλάζει η ποιοτική και ποσοτική σύνθεση στις διατροφές τους, ενώ ταυτόχρονα συνεχίζουν να δέχονται μεγαλύτερες ποσότητες υδραργύρου από αυτές που μπορεί ο οργανισμός τους να αποβάλει. Όμως η τροφή δεν είναι η μόνη πηγή υδραργύρου για τα ψάρια, αφού επιπλέον ποσότητες εισέρχονται στο σώμα τους λόγω της ροής του νερού διαμέσου των βραγχίων κατά την κολύμβηση [28].

### 3.3.2 Μόλυβδος

Το χημικό στοιχείο Μόλυβδος είναι ένα μέταλλο με ατομικό αριθμό 82. Το χημικό του σύμβολο είναι Pb. Ο μόλυβδος είναι ένα από τα αρχαιότερα μέταλλα, και χρησιμοποιήθηκε από τον άνθρωπο πριν από 6.000 χρόνια. Οι αρχαίοι Αιγύπτιοι, οι Ισραηλίτες, οι Ρωμαίοι, χρησιμοποιούσαν τον μόλυβδο για την κατασκευή δοχείων και άλλων αντικειμένων. Οι αρχαίοι μας πρόγονοι θα πρέπει να γνώριζαν εν μέρει τις τοξικές ιδιότητες του μετάλλου. Ο Ιπποκράτης περιγράφει χαρακτηριστικό κοιλιακό κωλικό σε εργάτη μεταλλείου και ο Νίκανδος, τον 2<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ., παρατήρησε τη σχέση μεταξύ της έκθεσης στο μέταλλο και της παρουσίας ωχρότητας, δυσκοιλιότητας, κωλικών και παράλυσης. Κατά τον 18<sup>ο</sup> αιώνα ο μόλυβδος χρησιμοποιήθηκε και ως φάρμακο. Στη Γαλλία χρησιμοποιούνταν ενώσεις του μολύβδου με κρασί, ως φάρμακο για εξωτερική χρήση, άλλοι δε χρησιμοποιούσαν τον μόλυβδο και εσωτερικά για τη θεραπεία της επιληψίας. Όταν κόβεται έχει κυανόλευκο χρώμα, αλλά εξασθενεί σε γκρι στο αέρα και σε γυαλιστερό ασημί όταν βρίσκεται σε υγρό. Ο μόλυβδος εξάγεται από τον γαληνίτη και είναι το 5<sup>ο</sup> πιο κοινό χρησιμοποιούμενο μέταλλο[42].



<sup>2</sup> **Βιομεγέθυνση** (biomagnification) είναι η αυξανόμενη συγκέντρωση μιας ουσίας, όπως μιας τοξικής χημικής ένωσης, στους ιστούς οργανισμών ευρισκόμενων σε διαδοχικά αυξανόμενα επίπεδα της τροφικής αλυσίδας.

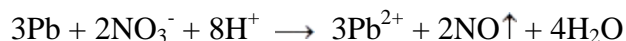
### 3.3.2.1 Γενικές χημικές ιδιότητες των ενώσεων του Pb

#### Οξειδωτικές καταστάσεις

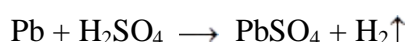
- Η μόνη σταθερή οξειδωτική κατάσταση του Pb σε υδατικά διαλύματα είναι αυτή του δισθενούς ιόντος Pb(II).
- Επίσης υπάρχει και η οξειδωτική κατάσταση Pb(IV), που δεν παρέχει άλατα σταθερά σε υδατικά διαλύματα. Τυπική ένωση του Pb(IV) είναι το PbO<sub>2</sub> (ισχυρό οξειδωτικό αντιδραστήριο), όπως και ο Pb(CH<sub>3</sub>COO)<sub>4</sub>, που μπορεί να διαλυθεί σε άνυδρο CH<sub>3</sub>COOH χωρίς να διασπαστεί και χρησιμοποιείται ως ισχυρό οξειδωτικό στην οργανική σύνθεση.

#### Διαλυτοποίηση του μετάλλου

- Ο Pb προσβάλλεται από όλα τα οξέα, αλλά επειδή πολλά από τα άλατά του είναι δυσδιάλυτα στο νερό ή στην περίσσεια του οξέος, καλύπτεται από στρώμα αδιάλυτου άλατος που τον προστατεύει από περαιτέρω προσβολή. Ο Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> είναι διαλυτός στο νερό, αλλά επειδή είναι ένα από τα λιγότερο διαλυτά νιτρικά άλατα δεν διαλύεται σε πυκνό νιτρικό οξύ και για το λόγο αυτό ο Pb διαλύεται ευκολότερα σε αραιό HNO<sub>3</sub>:



- Το αραιό H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> προσβάλλει μόνο επιφανειακά το Pb, επειδή σχηματίζεται προστατευτικό στρώμα αδιάλυτου PbSO<sub>4</sub>:



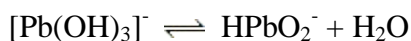
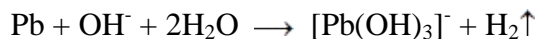
ενώ το πυκνό-θερμό H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> τον διαλύει επειδή σχηματίζεται το διαλυτό όξινο θειικό άλας:



- Το αραιό HCl δεν προσβάλλει το Pb, λόγω του δυσδιάλυτου PbCl<sub>2</sub>, ενώ το πυκνό-θερμό HCl διαλυτοποιεί τον Pb επειδή σχηματίζεται διαλυτό χλωρισύμπλοκο:

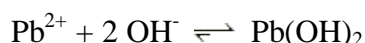


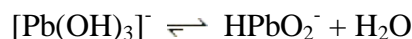
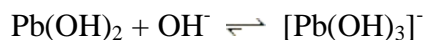
- Ο Pb διαλύεται και σε πυκνά διαλύματα ισχυρών βάσεων με έκλυση υδρογόνου σχηματίζοντας υδροξυσύμπλοκα, όπως [Pb(OH)<sub>4</sub>]<sup>2-</sup> και [Pb(OH)<sub>3</sub>]<sup>-</sup>, που βρίσκονται σε ισορροπία με αφυδατωμένες μορφές τους (μολυβδώδη ανιόντα):



#### Σταθερότητα των διαλυμάτων του

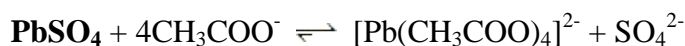
Τα ιόντα Pb<sup>2+</sup> δεν υδρολύονται εύκολα και τα διαλύματά τους παραμένουν διαυγή κατά την αραιώση, ωστόσο είναι απαραίτητη η οξίνιση των διαλυμάτων τους για να περιοριστεί η έστω και σε μικρό βαθμό υδρόλυσή τους. Σε αλκαλικά διαλύματα σχηματίζεται δυσδιάλυτο Pb(OH)<sub>2</sub>, το οποίο, ως επαμφοτερίζον υδροξείδιο, διαλύεται σε περίσσεια βάσης σχηματίζοντας υδροξυσύμπλοκα, που βρίσκονται σε ισορροπία αφυδατωμένες μορφές τους (μολυβδώδη ανιόντα).





### Σχηματισμός συμπλόκων ιόντων

- Pb(II) δεν σχηματίζει σύμπλοκα με την NH<sub>3</sub> και τα ιόντα CN<sup>-</sup> (χαρακτηριστική διαφορά από τα ιόντα Cu(II) και Cd(II)), αντίθετα σχηματίζει αρκετά σταθερά σύμπλοκα με οξικά ιόντα, CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>, όπως και με άλλα ανιόντα οργανικών οξέων (τρυγικών, κινικών, κ.λπ.), γεγονός που επιτρέπει τη διαλυτοποίηση δυσδιάλυτων αλάτων του, όπως του PbSO<sub>4</sub>, με πυκνό διάλυμα CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub>.



- Ο Pb(II) σχηματίζει σειρά σταθερών συμπλόκων με τα αλογονοϊόντα, π.χ. [PbX]<sup>+</sup>, [PbX<sub>2</sub>]<sup>0</sup>, [PbX<sub>3</sub>]<sup>-</sup>, [PbX<sub>4</sub>]<sup>2-</sup> (όπου X: ιόντα Cl<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, I<sup>-</sup>) [43].

### 3.3.2.2 Χρήσεις Μολύβδου

Ο μόλυβδος είναι ιχνοστοιχείο και βρίσκεται στη φυσική σύσταση του εδάφους και του νερού. Ο μεταλλικός μόλυβδος δεν διαλύεται στο νερό αλλά μπορεί να σχηματίσει ενώσεις ως Pb<sup>2+</sup>. Ο σχηματισμός των ενώσεων του μολύβδου εξαρτάται από την οξύτητα και τη θερμοκρασία του νερού. Είναι από τα πιο παλιά χρησιμοποιούμενα μέταλλα και λόγω της ευρύτατης χρήσης του είναι ευρέως διασκορπισμένο στο περιβάλλον. Είναι ένα πολύ μαλακό μέταλλο και χρησιμοποιήθηκε στους σωλήνες, τους αγωγούς και τα συγκολλητικά υλικά για πολλά έτη. Εκατομμύρια σπιτιών που χτίστηκαν πριν το 1940 ακόμα περιέχουν μόλυβδο (π.χ. στις χρωματικές επιφάνειες), οδηγώντας στη χρόνια έκθεση σε μόλυβδο κυρίως από τη διάβρωση, το ξεφλούδισμα και την αερομεταφερόμενη αιωρούμενη σκόνη [29].

Ο μόλυβδος όντας ένα μαλακό μέταλλο γνώρισε πολλές εφαρμογές από τους αρχαίους χρόνους. Έχει χρησιμοποιηθεί στη μεταλλουργία, στις υγρές και ξηρές μπαταρίες, στις βαφές, στην τυπογραφία, στα βερνίκια, στην υαλουργία, στην αγγειοπλαστική, στις επιμεταλλώσεις στα κουτιά κονσερβών, στα μαγειρικά σκεύη, στην κατασκευή καλλυντικών, στα εντομοκτόνα, στα φυτοφάρμακα, στην επικάλυψη καλωδίων, στα βλήματα πυροβόλων όπλων, στη μη αμόλυβδη βενζίνη, στους σωλήνες παροχής, στα οικοδομικά υλικά, στις ύλες συγκολλήσεως, ως ιατρική προστασία στην ακτινοβολία κ.ά.[29]. Η χρησιμοποίηση του μολύβδου σήμερα στην παρασκευή χρωμάτων έχει μειωθεί σημαντικά μετά την εμφάνιση των χρωμάτων που έχουν ως βάση το latex. Το ερυθρό όμως του μολύβδου παραμένει αναντικατάστατο ειδικά ως προστατευτικό της επιφάνειας των μετάλλων από τη σκουριά. Η χρήση του μολύβδου ως πρόσθετο της βενζίνης, σήμερα, εγκαταλείπεται προοδευτικά επειδή προκαλεί σοβαρή ρύπανση του περιβάλλοντος [42].

### 3.3.2.3 Τοξικότητα του Μολύβδου

Οι ενώσεις του μολύβδου είναι τοξικές και έχουν την τάση βιοσυσσώρευσης στον οργανισμό. Παγκοσμίως παράγονται περίπου 3,5 εκατομμύρια τόνοι μολύβδου τον χρόνο (στοιχεία 2007). Κυριότερες παραγωγικοί χώρες είναι η Κίνα, η Αυστραλία, οι ΗΠΑ και το Περού.

Τα αυξανόμενα ποσά μολύβδου στον αέρα που οφείλονται στην ατμοσφαιρική ρύπανση, προκαλούνται με την καύση των καυσίμων και την κυκλοφορία των αυτοκινήτων, τη χρήση

των βαφών και τις γεωργικές δραστηριότητες. Οι πηγές του μολύβδου στα φυσικά νερά περιλαμβάνουν επίσης τις εναποθέσεις σκόνης μολύβδου από την ατμόσφαιρα, υγρά απόβλητα από τις βιομηχανίες, αστικές απορροές και εκροές από μεταλλεία. Σήμερα, οι μεγαλύτερες ποσότητες μολύβδου παράγονται από την ανακύκλωση του μολύβδου (π.χ. μπαταριών) παρά από τα μεταλλεύματα. Η μέση τιμή σε μεγάλους ποταμούς παγκοσμίως είναι 0,079 μg/L, ενώ οι συγκεντρώσεις που έχουν ανιχνευθεί είναι μέχρι και 30 μg/L. Το μέγιστο επιτρεπτό όριο στα πόσιμα νερά είναι 10 μg/L σύμφωνα με την Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας και 50 μg/L για την Ευρωπαϊκή Ένωση. Η ανώτατη επιτρεπτή τιμή στον αέρα είναι 5 μg/m<sup>3</sup> [29].

Ο μόλυβδος είναι ένα από τα βαρέα μέταλλα που έχουν πολύ καταστρεπτικά αποτελέσματα στην ανθρώπινη υγεία. Εφόσον εκτεθεί στην φύση και έρθει σε επαφή με τον άνθρωπο, μπορεί να προκαλέσει βλάβες σε νεφρά, στο συκώτι, στο αίμα, δερματίτιδες και αλλεργίες, βλάβη στους πνεύμονες και μόνιμα αναπνευστικά προβλήματα και καρκινογενέσεις. Γι'αυτό τα υλικά τα οποία περιέχουν μόλυβδο, όπως οι ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές, επιβάλλεται να ανακυκλώνονται [44].

Μπορεί να εισαχθεί στο ανθρώπινο σώμα μέσω της λήψης των τροφίμων (65%), του νερού (20%) και του αέρα (15%). Τρόφιμα όπως τα φρούτα, τα λαχανικά, τα κρέατα, τα σιτηρά, τα θαλασσινά, τα μη αλκοολούχα ποτά και το κρασί μπορούν να περιέχουν σημαντικές συγκεντρώσεις μολύβδου. Ο καπνός των τσιγάρων περιέχει, επίσης, μικρή ποσότητα μολύβδου. Ο μόλυβδος μπορεί να εισχωρήσει στο (πόσιμο) νερό μέσω της διάβρωσης των σωλήνων. Αυτό είναι πιθανότερο να συμβεί όταν το νερό είναι ελαφρώς όξινο. Γι'αυτό τα δημόσια συστήματα κατεργασίας νερού απαιτείται τώρα να διαθέτουν ρυθμιστές του pH του νερού που εξυπηρετεί σκοπούς κατανάλωσης. Απ' ότι είναι γνωστό, ο μόλυβδος δεν εκπληρώνει καμία ουσιαστική λειτουργία στο ανθρώπινο σώμα, μπορεί μόνο να προκαλέσει βλάβη μετά από τη λήψη του μέσω των τροφίμων, του αέρα ή του νερού. Υπάρχουν στοιχεία, τα οποία υποδεικνύουν ότι ο μόλυβδος μπορεί να προκαλέσει οξυθυμία, κούραση, δυσκολία στην επεξεργασία πληροφοριών, προβλήματα μνήμης, μείωση των χρόνων αίσθησης και μηχανικής αντίδρασης, βλάβη στην διαδικασία λήψης αποφάσεων καθώς και μειωμένη ικανότητα συγκέντρωσης. Σε συγκεντρώσεις μολύβδου στο αίμα περί των 800 – 1.000 mg/mL, προκύπτει ιδιαίτερα σοβαρή εγκεφαλοπάθεια. Ο μόλυβδος μπορεί να περάσει σε ένα έμβρυο μέσω του πλακούντα της μητέρας. Λόγω αυτού μπορεί να προκαλέσει σοβαρή βλάβη στο νευρικό σύστημα και τον εγκέφαλο των αγέννητων παιδιών. Παρά ταύτα, η τοξικότητα μολύβδου από τα τρόφιμα είναι πολύ σπάνια και σχεδόν πάντα προκαλείται εξαιτίας της περιβαλλοντικής ρύπανσης [45].

### 3.3.2.3.1 Μόλυβδος και μεταβολισμός

Ο ανόργανος μόλυβδος απορροφάται από το έντερο κατά ένα ποσοστό περίπου 10% και η απορρόφησή του εξαρτάται από την παρουσία άλλων μετάλλων στο έντερο, όπως είναι το ασβέστιο και ο σίδηρος. Η απορρόφησή του από τον πνεύμονα είναι μεγαλύτερη και εξαρτάται από τη μορφή των χημικών ενώσεων του και το μέγεθος των σωματιδίων. Οι οργανικές ενώσεις του μολύβδου απορροφώνται από το δέρμα.

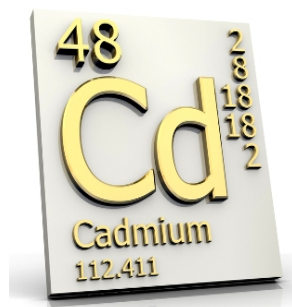
Ο μόλυβδος στον οργανισμό του ανθρώπου μετά την απορρόφησή του ανευρίσκεται σε τρία μέρη «δεξαμενές»:

1. Στο αίμα και τους μαλακούς ιστούς, όπου γίνεται ταχεία ανταλλαγή του.
2. Στο δέρμα και τους μύες, όπου η ανταλλαγή γίνεται με μέση ταχύτητα.
3. Στον σκελετό, όπου είναι περισσότερο σταθερός και ανευρίσκεται σε ποσοστό 90%.

Η αποβολή του μολύβδου από τον οργανισμό γίνεται από τα νεφρά, τη χολή και τον ιδρώτα. Η προσβολή των νεφρών από τον μόλυβδο χαρακτηρίζεται από καταστροφή των εγγύς εσπειραμένων σωληναρίων με σχηματισμό ενδοκυτταρικών σωματίων στα επιθηλιακά κύτταρα των σωληναρίων. Η δυσλειτουργία των σωληναρίων είναι αναστρέψιμη σε μικρού βαθμού έκθεση, ενώ η παρατεταμένη έκθεση μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την νεφρική ανεπάρκεια. Έχει αναφερθεί συσχέτιση των βιοχημικών ανωμαλιών στη σύνθεση της αίμης και των δοκιμασιών της νεφρικής λειτουργίας αλλά δεν διαπιστώθηκε σχέση δόσης – αποτελέσματος. Οι μελέτες που έγιναν για να επικυρώσουν τις κλινικές παρατηρήσεις, ότι οι εκτεθειμένοι στον μόλυβδο παρουσιάζουν υψηλή αρτηριακή πίεση, δεν απέδειξαν τη σχέση αυτή. Πάντως μια μελέτη θνησιμότητας έδειξε ότι αυξημένη θνησιμότητα από αρτηριακή υπέρταση συνοδευμένη από ουραιμία και νεφροσκλήρυνση παρατηρήθηκε σε εργάτες χυτηρίων και μπαταριών.

Αυξημένες ποσότητες μολύβδου στον οργανισμό προσβάλλουν επίσης τόσο το κεντρικό όσο και το περιφερικό νευρικό σύστημα. Στις σοβαρές περιπτώσεις δηλητηρίασης κυριαρχούν οι βαριές εκδηλώσεις από το Κεντρικό Νευρικό Σύστημα και περιλαμβάνουν σπασμούς, παραλήρημα και κώμα. Στις ελαφρότερες περιπτώσεις τα συμπτώματα είναι πονοκέφαλοι, ζάλη, διαταραχές του ύπνου, της μνήμης και ευερεθιστότητα. Τα νευρολογικά ευρήματα στη δηλητηρίαση από μόλυβδο μπορεί να κυμαίνονται από πολύ ελαφρά μέχρι βαριά εγκεφαλοπάθεια. Η οξεία εγκεφαλοπάθεια είναι δυνατόν να παρατηρηθεί ακόμη και σε παιδιά και απαιτείται προσοχή κατά τη διαφορική διάγνωση από άλλες εγκεφαλοπάθειες. Ο πιθανός μηχανισμός που προκαλεί τις διαταραχές από το Κεντρικό Νευρικό Σύστημα είναι η παρέμβαση στους νευρομεταβιβαστές, σε ουσιώδη κέντρα στον εγκέφαλο, καθώς και στη λειτουργία των ενζύμων. Τα παιδιά είναι πιο ευαίσθητα από τους μεγάλους ειδικά όσον αφορά το κεντρικό Νευρικό Σύστημα, γι' αυτό τον λόγο η δηλητηρίαση από μόλυβδο θεωρείται ως σοβαρή αιτία των διαταραχών της συμπεριφοράς του παιδιού [42].

### 3.3.3 Κάδμιο



Το κάδμιο είναι χημικό στοιχείο του περιοδικού πίνακα, με σύμβολο Cd, ατομικό αριθμό 48 και σημείο τήξης τους 320 °C περίπου. Είναι ένα σχετικά σπάνιο, μαλακό, ελαφρώς γαλάζιο, τοξικό μέταλλο. Ανακαλύφθηκε το 1817 σε σκόνη ψευδαργύρου. Απαντάται σε ορυκτά του ψευδάργυρου και σε αναλογία 1 προς 400 μέρη ψευδαργύρου από τα οποία λαμβάνεται με κλασματική απόσταξη. Στη συνέχεια με χημική κατεργασία και τελική αναγωγή σχηματίζεται το οξείδιο του καδμίου (CdO). Κυριότερη παραγωγός χώρα καδμίου είναι οι ΗΠΑ. Χρησιμοποιείται ευρύτατα σε κράματα, στις μπαταρίες κ.α. [31].

### 3.3.4 Αρσενικό

Το αρσενικό με σύμβολο As και ατομικό αριθμό 33 αναφέρεται στην ιστορία κυρίως από τις ενώσεις του και ιδιαίτερα τις θειούχες, για τις οποίες γίνεται μνεία κατά τον 4<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ. Υπολογίζεται πως η περιεκτικότητά του στο φλοιό της Γης φθάνει περίπου τα 5gr ανά τόνο, ενώ η περιεκτικότητά του γενικά στη φύση φθάνει τα 4 άτομα ανά 1 εκατομμύριο ατόμων Πυριτίου. Πολύ μικρό ποσοστό του βρίσκεται σε καθαρή φυσική κατάσταση (αυτοφύες). Το μεγαλύτερο μέρος του είναι ενωμένο με διάφορα ορυκτά κυρίως θειούχα,



αρσενικούχα ή προσμίξεις και των δύο προηγούμενων που αποτελούν τα λεγόμενα αρσενικά.

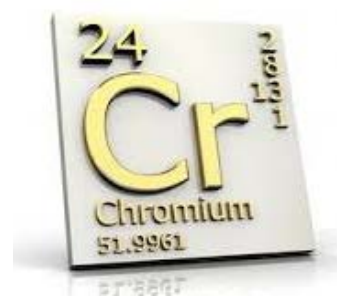


Το αρσενικό παράγεται κυρίως από τον αρσενοπυρίτη που όταν θερμανθεί περίπου στους 670 °C, σε απουσία του αέρα σχηματίζει το μεταλλικό αρσενικό. Γενικά το αρσενικό τόσο στον αρσενοπυρίτη όσο και σε προσμίξεις του με άλλα ορυκτά, όταν θερμανθούν στον αέρα, ενώνεται εύκολα με το οξυγόνο δημιουργώντας το οξείδιο  $As_4O_6$  γνωστό και ως «λευκό αρσενικό». Σε παγκόσμια κλίμακα η κατανάλωση του μεταλλικού αρσενικού είναι σχετικά μικρή, περίπου 500 τόνοι ετησίως. Λόγω των ιδιοτήτων του χρησιμοποιείται σε κράμα 1% στην παραγωγή μολύβδινων σφαιρών, 3% σε μολύβδινους τριβείς καθώς και σε μπαταρίες και περικαλύμματα καλωδίων. Σε αντίθεση όμως του περιορισμένου μεταλλικού αρσενικού, σε χιλιάδες τόνους, καταναλώνονται ετησίως σε μορφές πλείστων χημικών ενώσεών του, και ιδίως στη γεωργία, ως εντομοκτόνα, ζιζανιοκτόνα, ξηραντικά αλλά και απολυμαντικά προϊόντα.

Το αρσενικό στη ελεύθερη κατάσταση είναι γκρίζο στερεό, εύθραυστο με χαμηλή θερμική και χημική αγωγιμότητα. Εξαχνώνεται στους 613 °C. Ο ατμός του αποτελείται από μόρια  $As_4$  που διατηρούνται μέχρι τους 800 °C, πέραν των οποίων αποσυντίθεται σε  $As_2$ , ενώ η αποσύνθεσή του ολοκληρώνεται στους 1700 °C. Το αρσενικό ενώ στον ξηρό αέρα παραμένει σταθερό, στον υγρό καλύπτεται από ένα μαύρο οξείδιο. Το ελεύθερο στοιχείο του δεν επηρεάζεται από το νερό ή τις βάσεις, πλην όμως μπορεί να οξειδωθεί από το νιτρικό οξύ. Τέλος το αρσενικό μπορεί να ενωθεί με πολλά μέταλλα σχηματίζοντας αρσενικούχες ενώσεις [30].

### 3.3.5 Χρώμιο

Το χρώμιο είναι χημικό στοιχείο με σύμβολο Cr και ατομικό αριθμό 24. Είναι αργυρόλευκο, γυαλιστερό και σκληρό μέταλλο με υψηλό σημείο τήξης. Το όνομα του προέρχεται από την ελληνική λέξη «χρώμα» επειδή έχει πολλές έγχρωμες ενώσεις. Το χρώμιο δεν απαντάται ελεύθερο στη φύση. Εξάγεται από τα ορυκτά του, κυριότερο από τα οποία είναι ο χρωμίτης. Ενώσεις του χρωμίου βρίσκονται στο περιβάλλον εξαιτίας του εμποτισμού πετρωμάτων με υδατικά διαλύματα αποβλήτων που περιέχουν χρώμιο. Η συγκέντρωση του στο χρώμα κυμαίνεται από 1 έως 3.000 mg/kg, στο θαλασσίνο νερό από 5 έως 800 μg/L και στα ποτάμια και τις λίμνες από 26 μg/L έως 5,2 mg/L. Το χρώμιο είναι λαμπερό, σκληρό μέταλλο που όταν γυαλίζεται, δίνει μια όμορφη μεταλλική λάμψη. Γι' αυτό η βιομηχανία το χρησιμοποιεί για την παρασκευή εντυπωσιακών μεταλλικών αντικειμένων. Οι ενώσεις του είναι συνήθως τοξικές. Το χρώμιο επίσης είναι αξιοσημείωτο για τις μαγνητικές του ιδιότητες. Είναι το μόνο στερεό στοιχείο που μπορεί όταν βρίσκεται στη φύση σαν στοιχείο και όχι σε ενώσεις να μην έλκεται μαγνητικά σε θερμοκρασία δωματίου ή και χαμηλότερη. Πάνω όμως από τους 38°C έρχεται σε παραμαγνητική κατάσταση. Το τρισθενές χρώμιο  $Cr^{3+}$  απαιτείται σε ελάχιστες ποσότητες για το μεταβολισμό των λιπιδίων στους ανθρώπους και η απώλεια του μπορεί να προκαλέσει αρρώστια ονομαζόμενη «απώλεια χρωμίου». Αντίθετα το εξασθενές χρώμιο  $Cr^{6+}$  είναι πολύ τοξικό και μπορεί να προκαλέσει μεταλλάξεις και καρκινογένεση. Μερικές από τις φυσικές πηγές χρωμίου είναι το θυμάρι, το σιτάρι, η μαγιά της μύρας, τα λαχανικά, τα φρούτα, το κρέας, τα γαλακτοκομικά προϊόντα και τα δημητριακά [32].



### 3.3.6 Νικέλιο



Το χημικό στοιχείο Νικέλιο είναι μέταλλο με ατομικό αριθμό 28 και χημικό σύμβολο Ni. Το νικέλιο είναι αργυρόλευκο, σκληρό όπως ο σίδηρος ή και σκληρότερο. Επίσης είναι ελατό, και αμετάβλητο στον αέρα ως συμπαγές.

Το Νικέλιο απαντάται ως μεταλλικό στοιχείο μαζί με τον σίδηρο στους μετεωρίτες.

Εκτός της χρήσης του ως καταλύτη σε μικρές ποσότητες, σε μεγαλύτερες ποσότητες χρησιμοποιείται κυρίως σε κράματα με το χάλυβα για την αύξηση της σκληρότητας και της ανθεκτικότητας του. Έτσι, από αυτό παρασκευάζονται πυροσωλήνες (πυροβόλων όπλων) και θωρακίσεις αρμάτων μάχης. Χαρακτηριστική επίσης είναι και η επινικέλωση διαφόρων υλικών κυρίως οικιακής χρήσης για προστασία από τη διάβρωση. Άλλες χρήσεις του είναι στη κατασκευή διαφόρων εργαλείων, αντικειμένων πολυτελείας, χημικών οργάνων, εξαρτημάτων ραδιόφωνων και ηλεκτρονικών συσκευών, ασυρμάτων, στην Χημεία ως καταλύτης και τέλος, στην παραγωγή ειδικών κραμάτων νικελίου. Χρησιμοποιείται επίσης για την ασφαλή μεταφορά υδρογόνου, ιδιαίτερα σε οχήματα που χρησιμοποιούν το υδρογόνο ως καύσιμο [34].

### 3.3.7 Χαλκός



Το χημικό στοιχείο Χαλκός είναι μέταλλο με ατομικό αριθμό 29. Το σύμβολό του είναι το Cu. Έχει κοκκινωπό χρώμα και είναι όλκιμος και ελατός.

Σύμφωνα με τους αρχαιολόγους ο χαλκός είναι το πρώτο από τα μέταλλα που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος για την κατασκευή σκευών, εργαλείων και όπλων. Εκτιμάται ότι ο χαλκός έγινε γνωστός περίπου το 9.000 π.Χ. πιθανόν επειδή απαντάται αυτοφυής και δεν απαιτεί μεταλλουργική διαδικασία για την παρασκευή του σε καθαρή μορφή. Ωστόσο σήμερα τα κοιτάσματα αυτοφυούς χαλκού είναι είτε περιορισμένα είτε μη οικονομικά εκμεταλλεύσιμα.

Είναι μέταλλο με χαρακτηριστικό χρώμα και χαρακτηριστική μεταλλική λάμψη. Είναι πολύ καλός αγωγός της θερμότητας και του ηλεκτρισμού.

Στον ατμοσφαιρικό αέρα καλύπτεται αρχικά από το οξειδίο του, το οποίο, με το διοξείδιο του άνθρακα μετατρέπεται σε ανθρακικό χαλκό, προσδίδοντας του πρασινωπό χρώμα.

Είναι απαραίτητο ιχνοστοιχείο, τόσο στα ζώα όσο και στα φυτά. Στα ανώτερα ζώα έχει διαπιστωθεί ότι η παρουσία χαλκού διευκολύνει την απορρόφηση σιδήρου από τον οργανισμό. Η υπερβολική απόθεση χαλκού στους ιστούς προκαλεί την Νόσο του Wilson, ενώ χρόνια έλλειψη χαλκού προκαλεί δυσλειτουργία στην σύνθεση δοπαμίνης με συνέπεια την εμφάνιση κατάθλιξης, δυσλειτουργία στην σύνθεση μελανίνης από τα δερματικά κύτταρα καθώς και δυσλειτουργίες στον μεταβολισμό των λιπών και των τριγλυκεριδίων.

Η βιομηχανία ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών ειδών κάνει ευρεία χρήση χαλκού, από τον οποίο κατασκευάζει πάσης φύσεως αγωγούς (καλώδια), ηλεκτρονικά εξαρτήματα, όπως πλάκες τυπωμένων κυκλωμάτων, πηνία, ηλεκτρομαγνήτες πάσης φύσεως για ηλεκτροκινητήρες, γεννήτριες κλπ. Οι μπαταρίες αυτοκινήτων επίσης χρησιμοποιούν χαλκό σε κάθε ηλεκτροχημικό στοιχείο.

Ο χαλκός είναι απαραίτητο για τον ανθρώπινο οργανισμό ιχνοστοιχείο. Ο χαλκός έχει την δυνατότητα να παίρνει και να δίνει εύκολα ηλεκτρόνια και αυτό εξηγεί και το σημαντικό

ρόλο του στις αντιδράσεις οξειδωσης- αναγωγής και τη δέσμευση των ελεύθερων ριζών. Βρίσκεται στο κρέας, στα καρύδια, τα οστρακόδερμα, τα λαχανικά και στους σπόρους.

Ο χαλκός είναι βιοστατικό στοιχείο, δηλαδή παρεμποδίζει την ανάπτυξη μικροοργανισμών στην επιφάνεια του. Λόγω αυτής της ιδιότητας, χρησιμοποιείται για την κατασκευή βιοστατικών ινών, για πόμολα θυρών και φίλτρων σε κλιματιστικά, ιδιαίτερα σε νοσοκομειακές εγκαταστάσεις.

Παλαιότερα, αλλά και σήμερα κάποιες φορές για λόγους αισθητικής, κατασκευάζονταν σφυρήλατα και άλλα μαγειρικά σκευή από χαλκό. Η χρήση τους έχει εγκαταλειφθεί λόγω του ότι προκαλούσαν δηλητηριάσεις από το οξείδιο που δημιουργείται κατά το μαγείρεμα. Για τον λόγο αυτό η χρήση του χαλκού για μαγειρικά σκευή είναι σπάνια, αλλά χρησιμοποιείται εκτεταμένα υπό μορφή κράματος, για την κατασκευή των σωληνώσεων, στρόφιγγων, βρυσών κ.λ.π. στα δίκτυα υδροδότησης πόσιμου νερού.

Κυριότερα κράματά του είναι ο ορείχαλκος και ο μπρούντζος, που χρησιμοποιούνται σε ποικίλες κατασκευές, όπως εργαλεία, κατασκευή όπλων, δημιουργία αγαλμάτων, διακοσμητικών σκευών, οργάνων μέτρησης και μουσικών οργάνων [33].

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**

### **ΑΕΡΟΜΕΤΑΦΕΡΟΜΕΝΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ**

#### **4.1 Γενικά**

Ως *αιωρούμενα σωματίδια* (Suspended Particulate Matter , SPM) χαρακτηρίζουμε κάθε σώμα, στερεό ή υγρό, που βρίσκεται σε διασπορά και έχει διάμετρο μεγαλύτερη από περίπου 0,0001  $\mu\text{m}$  (0,1 mm) και μικρότερη από 1  $\mu\text{m}$ .

Τα σωματίδια είναι συνδυασμοί πολλών μορίων, μερικές φορές παρόμοιων και άλλες φορές διαφορετικών μεταξύ τους. Περιλαμβάνουν ιόντα, συμπλέγματα μορίων, κρυστάλλους πάγου, σκόνη, σωματίδια καπνού, σταγόνες βροχής, γύρης κ.α. Το μέγεθός τους και η σύστασή τους μπορεί να μεταβληθεί στον αέρα με αρκετές διαφορετικές διαδικασίες. Μερικά από αυτά τα σωματίδια λειτουργούν σαν πυρήνες, στους οποίους συμπυκνώνονται ατμοί. Μερικά σωματίδια αντιδρούν χημικά με αέρια της ατμόσφαιρας ή ατμούς και σχηματίζουν διάφορες συνθέσεις.

Όταν δυο σωματίδια συγκρούονται στον αέρα, τείνουν να συγκολληθούν εξαιτίας ελκτικών δυνάμεων δημιουργώντας έτσι σταδιακά όλο και μεγαλύτερα συσσωματώματα. Όσο μεγαλύτερο γίνεται το σωματίδιο, τόσο μεγαλώνει το βάρος του κι επομένως οι πιθανότητες του για βαρυτική εναπόθεση στο έδαφος αυξάνονται. Η διαδικασία κατά την οποία ένα σωματίδιο της ατμόσφαιρας επικάθεται στη Γη, λέγεται εναπόθεση (υγρή ή ξηρή). Η διεργασία κατά την οποία η σωματιδιακή ύλη παρασύρεται από τις νιφάδες του χιονιού, τη βροχή, το χαλάζι ή την ομίχλη, είναι συνηθισμένη μορφή συσσωμάτωσης και εναπόθεσης (υγρή). Μερικά σωματίδια εγκαταλείπουν τον αέρα κατόπιν σύγκρουσης και επακόλουθης συγκράτησης σε στέρεες επιφάνειες, όπως των φυτών και του εδάφους (ξηρή).

Η ύπαρξη σωματιδίων ύλης στην ατμόσφαιρα είναι ένα δυναμικό φαινόμενο με συνεχείς εκτινάξεις από πηγές μικροσωματιδίων, δημιουργία συσσωμάτων στον αέρα από συμπύκνωση ατμών επάνω τους ή χημικές αντιδράσεις μεταξύ αυτών με αέρια και ατμούς και απομάκρυνσή τους από τον αέρα με συσσωματώσεις, ξηρές ή υγρές εναποθέσεις και συγκρούσεις.

Εξαιτίας της συστηματικής αυτοκάθαρσης της ατμόσφαιρας από την σωματιδιακή ύλη μέσω των μηχανισμών εναπόθεσης, μπορούμε να υποθέσουμε ότι τα επίπεδα σωματιδιακής ύλης σε απομακρυσμένα σημεία (π.χ. στους ωκεανούς, στους πόλους ή στις βουνοκορφές), πλησιάζουν αυτές που θεωρούμε ιδανικές συγκεντρώσεις. Το πρόβλημα λοιπόν με τα αερομεταφερόμενα αιωρούμενα σωματίδια σημειώνεται κυρίως στα μεγάλα αστικά κέντρα [46].

#### **4.2 Πηγές εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων**

Τα σωματίδια ανέρχονται στην ατμόσφαιρα από φυσικές δραστηριότητες όπως είναι η αερομεταφερόμενη σκόνη, η εξάτμιση των θαλασσών, τα ηφαίστεια και από ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως είναι η καύση των καυσίμων, οι βιομηχανικές δραστηριότητες κ.ά. Εκπέμπονται ως σωματίδια, τα οποία ονομάζονται πρωτογενείς ρύποι ή σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα από τη διαδικασία μετατροπής αερίων και σωματιδίων που σε αυτή τη περίπτωση ονομάζονται δευτερογενείς ρύποι.

Στη συνέχεια αναφέρονται οι κυριότερες πηγές εκπομπής των πρωτογενών και δευτερογενών αιωρούμενων σωματιδίων.

##### **Πρωτογενή σωματίδια :**

###### Φυσικές πηγές εκπομπής :

- ◆ Η αερομεταφερόμενη σκόνη της ερήμου και γενικότερα του εδάφους

- Οι ηφαιστειακές δραστηριότητες
- Η διάβρωση του εδάφους
- Οι πυρκαγιές
- Η εξάτμιση των θαλασσών και των ωκεανών
- Τα υπολείμματα φυτών

Ανθρωπογενείς πηγές εκπομπής:

- Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- Η βιομηχανία
- Η οικιακή θέρμανση
- Η κυκλοφορία των αυτοκινήτων
- Η καύση σκουπιδιών
- Η γεωργία

Οι κυριότερες κατηγορίες δευτερογενών σωματιδίων είναι οι ακόλουθες [46] :

- Θεικά άλατα:  
Σχηματίζονται από χημικές αντιδράσεις πρόδρομων αερίων ανθρωπογενών πηγών, όπως  $\text{SO}_2$ , και από τα ηφαίστεια, όπως  $(\text{CH}_3)\text{S}$ .
- Νιτρικά άλατα:  
Σχηματίζονται από χημικές αντιδράσεις πρόδρομων αερίων  $\text{NO}_x$  και  $\text{NH}_3$ .
- Δευτερογενή οργανικά αεροζόλ:  
Σχηματίζονται από τη φωτοχημική οξείδωση πτητικών οργανικών ενώσεων.

### 4.3 Ιδιότητες των αιωρούμενων σωματιδίων

➤ Μέγεθος (διάμετρος, d)

Το μέγεθος κυμαίνεται από μια διάμετρο περίπου 0,1 mm (περίπου το μέγεθος ενός μορίου) έως 100 μm. Το μέγεθος έχει μεγάλη σημασία γιατί συνδέεται με την ταχύτητα κατακρήμνισης. Τα μικρότερα σωματίδια μένουν σε αιώρηση στην ατμόσφαιρα ανάλογα με το μέγεθός τους συνεχόμενα ή συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα. Οποσδήποτε υπάρχουν και άλλοι παράγοντες, ατμοσφαιρικοί κυρίως, που καθορίζουν το χρόνο όπου θα παραμείνουν σε αιώρηση. Ενδεικτικά μπορούν να αναφερθούν οι ακόλουθες τιμές : σωματίδιο  $d = 0.1 \mu\text{m}$  καθιζάνει με ταχύτητα  $8 * 10^{-5} \text{ cm/sec}$ , ενώ  $d = 1.000 \mu\text{m}$  με ταχύτητα 390 cm/sec. Δηλαδή, όταν η διάμετρος αυξάνει κατά 10.000 φορές η ταχύτητα καθιζήσεως αυξάνει κατά 4 εκατομμύρια φορές.

➤ Σχήμα σωματιδίου

Τα υγρά σταγονίδια και μερικά σωματίδια που σχηματίζονται μέσω της συμπύκνωσης ατμών είναι ελλειψοειδή – σφαιρικά, τα σωματίδια που σχηματίζονται μέσω της θραύσης έχουν ακανόνιστο σχήμα και κάποια κρυσταλλικά σωματίδια, όπως τα σωματίδια του κυβικού θαλασσινού αλατιού, παρουσιάζουν κανονικά γεωμετρικά σχήματα.

Στη θεωρητική περιγραφή των ιδιοτήτων των σωματιδίων, το σφαιρικό σχήμα συνήθως θεωρείται αληθές. Στην εφαρμογή αυτών των θεωριών στα μη σφαιρικά σωματίδια χρησιμοποιούνται παράγοντες διόρθωσης ή ισοδύναμες αεροδυναμικές

διάμετροι για να εκτιμηθούν οι ιδιότητές τους. Η ισοδύναμη αεροδυναμική διάμετρος είναι η διάμετρος ενός μη σφαιρικού σωματιδίου εάν:

1. ήταν σφαιρικό σωματίδιο
2. είχε πυκνότητα ίση με  $1\text{gr/cm}^3$
3. είχε την ίδια ταχύτητα πτώσης με το εξεταζόμενο σωματίδιο

➤ **Ικανότητα συγκρατήσεως άλλων ουσιών – εμβαδόν επιφάνειας**

Η ικανότητα αυτή είναι συνάρτηση του εμβαδού της επιφάνειας των σωματιδίων. Όταν ένα μόριο μιας ουσίας συγκρουστεί με ένα σωματίδιο τότε μπορεί να συμβεί η απλή απόκρουση ή συγκράτηση του σωματιδίου από το μόριο. Η συγκράτηση μπορεί να οφείλεται σε προσρόφηση, απορρόφηση ή χημική αντίδραση. Ο τρόπος συγκράτησης έχει σημασία γιατί καθορίζει κατά μεγάλο μέρος τη φύση των επιδράσεων που έχουν τα σωματίδια επί της υγείας του ανθρώπου.

➤ **Χημική σύσταση**

Ένα ατμοσφαιρικό αιωρούμενο σωματίδιο μπορεί να περιέχει χημικές ενώσεις ποικίλων προελεύσεων, οι οποίες ενδέχεται να έχουν σχηματιστεί από την μίξη διαφορετικών αέριων χημικών συστατικών ή από τη συσσωμάτωση ανόμοιων σωματιδίων. Τα ατμοσφαιρικά αιωρούμενα σωματίδια είναι, κατά συνέπεια, μια μίξη από άλλα μίγματα. Βρίσκονται στην ατμόσφαιρα σε στερεή και υγρή μορφή ή σε μια ενδιάμεση κατάσταση, όπου ένας στέρεος πυρήνας περιβάλλεται από υγρό περίβλημα. Περιέχουν ανόργανα ιόντα, ενώσεις μετάλλων, στοιχειακό άνθρακα, οργανικές ενώσεις και ανόργανες χημικές ενώσεις από το έδαφος. Κάποια σωματίδια είναι υγροσκοπικά και εμπεριέχουν δεσμό σωματιδίων με  $\text{H}_2\text{O}$ . Επίσης τα οργανικά σωματίδια αποτελούνται από εκατοντάδες ενώσεις, με αποτέλεσμα η μελέτη τους να καθίσταται ιδιαίτερα περίπλοκη.

➤ **Πυκνότητα**

Η πυκνότητα ενός σωματιδίου περιγράφει τη μάζα ανά μονάδα όγκου του σωματιδίου. Η πυκνότητα των σταγονιδίων ή των σωματιδίων από συνθλιμμένο υλικό, θα είναι η ίδια με το μητρικό υλικό. Τα συσσωρευμένα σωματίδια ποικίλης προέλευσης, συμπεριλαμβανομένων κάποιων σωματιδίων καπνού και αναθυμιάσεων, έχουν πυκνότητες μικρότερες από το μητρικό υλικό τους, λόγω του κενού διαστήματος στη συσσωρευμένη δομή τους [46].

#### 4.4 Διαχωρισμός των αιωρούμενων σωματιδίων με βάση την διάμετρό τους

Όταν αναφερόμαστε στο σύνολο των αιωρούμενων σωματιδίων, αναφερόμαστε στα ολικά αιωρούμενα σωματίδια (TSP, Total Suspended Particles). Τα ολικά αιωρούμενα σωματίδια ποικίλουν σε μέγεθος από  $0,01\ \mu\text{m}$  έως και μερικές εκατοντάδες μικρόμετρα και χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τα λεπτόκοκκα (fine particles) και τα χοντρόκοκκα (coarse particles).

##### **4.4.1 Αιωρούμενα σωματίδια διαμέτρου μικρότερης των $2,5\ \mu\text{m}$ ( $\text{PM}_{2,5}$ )**

Τα αιωρούμενα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη των  $2,5\ \mu\text{m}$  ανήκουν στα λεπτόκοκκα σωματίδια και εισέρχονται στο αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου μέχρι τις κυψελίδες των πνευμόνων της αναπνοής (αναπνεύσιμα). Είναι σωματίδια με αρχική διάμετρο  $0,05\ \mu\text{m}$  όπου μετά από συμπύκνωση, μεταφορά, καύση ή διαδοχικές συσσωρεύσεις, δημιούργησαν το τελικό τους μέγεθος. Αναφέρονται ως πολύ λεπτόκοκκα σωματίδια ή πυρήνες σωματιδίων, εκείνα με διάμετρο μικρότερη από  $1\ \mu\text{m}$ . Τα σωματίδια αυτά έχουν την τάση να συσσωρεύονται περαιτέρω, σχηματίζοντας τα χαρακτηριζόμενα ως συσσωρευμένα

σωματίδια, διαμέτρου γύρω στα 0,5 μm και τα οποία είναι σχετικά σταθερά στον αέρα. Τα PM<sub>2.5</sub> προκύπτουν από πολλές, διαφορετικές πηγές, όπως από τα καυσαέρια των αυτοκινήτων, από διάφορες βιομηχανικές εγκαταστάσεις, από εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας καθώς επίσης και από οικιακές εστίες φωτιάς, τζάκια, φούρνους κ.α., επομένως η σύσταση τους ποικίλλει [46].

#### **4.4.2 Αιωρούμενα σωματίδια διαμέτρου μεταξύ 2,5 – 10 μm (PM<sub>2.5-10</sub>)**

Τα αιωρούμενα σωματίδια με διάμετρο μεταξύ των 2,5 και 10 μm χαρακτηρίζονται ως *χονδρόκοκκα σωματίδια* και ανήκουν στην κατηγορία των εισπνεύσιμων σωματιδίων. Τα σωματίδια αυτά έχουν διάφορες πηγές προέλευσης όπως η μεταφερόμενη σκόνη από τον άνεμο, από οχήματα τα οποία κινούνται σε δρόμους, από μηχανήματα βιομηχανιών κ.α. Σχηματίζονται υπό την επίδραση κυρίως μηχανικών δυνάμεων, όπως η τριβή και η σύνθλιψη. Σωματίδια σκόνης ή χόματος προέρχονται από την κίνηση του ανέμου ή από άλλες μηχανικές δράσεις. Επίσης γύρη και σπόρια από τα φυτά απαντώνται ως μέρη των χονδρόκοκκων σωματιδίων. Τα PM<sub>10</sub> επομένως αποτελούνται κυρίως από λεπτομερώς διαχωρισμένη ανόργανη ύλη – ορυκτά, όπως οξειδία του αργιλίου, πυρίτιο, σίδηρο και κάλιο[46].

#### **4.5 Διαχωρισμός των αιωρούμενων σωματιδίων με βάση την διεισδυτικότητα στο ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα**

Τα αιωρούμενα σωματίδια εκτός από τον διαχωρισμό βάση της διαμέτρου τους, διαχωρίζονται και βάση της ικανότητάς τους να διεισδύουν στο ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα. Η ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων και την εμφάνιση νόσων στον άνθρωπο, οδήγησε στην δημιουργία τριών υποκατηγοριών των εισπνεύσιμων αιωρούμενων σωματιδίων ώστε να περιγραφεί η συμπεριφορά τους στον ανθρώπινο οργανισμό.

##### **4.5.1 Εισπνεύσιμα σωματίδια**

Ως *εισπνεύσιμα σωματίδια* ορίζονται εκείνα, τα οποία μπορούν να εισέλθουν είτε από τη μύτη είτε από το στόμα στο ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα. Η ικανότητα των αερομεταφερόμενων σωματιδίων, δεδομένου του μεγέθους τους, να εισέλθουν στη μύτη ή το στόμα εξαρτάται από την κατεύθυνση και το μέγεθος του περιβάλλοντος ανέμου. Το εισπνεύσιμο κλάσμα (PM<sub>10</sub>) αναφέρεται σε σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη ή ίση των 10 μm [52].

##### **4.5.2 Θωρακικά σωματίδια**

Ως *θωρακικά σωματίδια* θεωρούνται τα σωματίδια που καταφέρνουν να διαπερνούν το ανώτερο τμήμα της αναπνευστικής οδού φτάνοντας στον θώρακα. Συνήθως με τον όρο αυτό αναφερόμαστε σε σωματίδια με μέγεθος μικρότερο από 7,5 μm [47].

##### **4.5.3 Αναπνεύσιμα σωματίδια**

Ως *αναπνεύσιμα σωματίδια* αναφέρονται αυτά που έχουν διάμετρο περίπου 2,5 μm (PM<sub>2.5</sub>) και λόγω του γεγονότος ότι καταφέρνουν και διεισδύουν έως τις κυψελίδες των πνευμόνων είναι τα πιο σημαντικά από άποψη επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία [47].

#### 4.6 Χρόνος παραμονής των σωματιδίων στην ατμόσφαιρα

Ο χρόνος παραμονής των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα δεν εξαρτάται μόνο από το μέγεθος των σωματιδίων. Άμεσο ρόλο παίζουν και άλλες παράμετροι, όπως η κατακόρυφη κατανομή των υδρατμών στην ατμόσφαιρα και η κατακόρυφη κατανομή άλλων συστατικών του ατμοσφαιρικού αέρα, τα οποία είναι χημικά δραστικά και επηρεάζουν την εξέλιξη της σύστασης και του μεγέθους των ατμοσφαιρικών σωματιδίων.

Επειδή είναι σπάνιο τα σωματίδια να παρουσιάζουν ομοιομορφία ως προς το μέγεθός τους, σε κάθε πρόβλημα μελέτης τους, θα πρέπει να προσδιορίζεται η συνάρτηση κατανομής του μελετώμενου πληθυσμού των σωματιδίων ως προς το μέγεθός τους.

Όπως ήδη έχει αναφερθεί η αεροδυναμική διάμετρος ενός σωματιδίου είναι αυτή που αντιστοιχεί σε σφαιρικό σωματίδιο, μοναδιαίας πυκνότητας, του οποίου η τελική ταχύτητα κατακρήμνισης έχει την ίδια τιμή με αυτή της ταχύτητας του πραγματικού σωματιδίου. Έχει παρατηρηθεί λοιπόν πως για μικρά σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο, η οποία κυμαίνεται μεταξύ 0,01 και 1  $\mu\text{m}$ , ο χρόνος παραμονής τους είναι περίπου ίσος με μια εβδομάδα στην κατώτερη ατμόσφαιρα και φθάνει τα δύο χρόνια στη στρατόσφαιρα. Τα σωματίδια μπορούν να μεταφέρονται μέσω της ατμόσφαιρας σε μεγάλες αποστάσεις από τις πηγές εκπομπής τους. Για το λόγο αυτό μπορούν να επηρεάζουν τους βιογεωχημικούς κύκλους των στοιχείων στη φύση.

Τα χονδρόκοκκα σωματίδια απομακρύνονται από την ατμόσφαιρα μέσω της ίζηματοπόθεσης και της κατακρήμνισης, ενώ υπολογίζεται ότι οι χρόνοι παραμονής των σωματιδίων με διάμετρο μεγαλύτερη των 20  $\mu\text{m}$  είναι μερικές ώρες και των σωματιδίων με διάμετρο 2 – 3  $\mu\text{m}$  κυμαίνονται από 2 έως 4 μέρες [46].

#### 4.7 Επιπτώσεις των αερομεταφερόμενων αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα

##### 4.7.1 Μείωση της ορατότητας

Τα αιωρούμενα σωματίδια με διάμετρο 0,1 – 1,5  $\mu\text{m}$  έχουν την ικανότητα να σκεδάζουν το ορατό φως. Με τον όρο *σκέδαση* ή *σκέδαση του φωτός* εννοούμε τον διασκορπισμό των φωτεινών ακτινών που ακολουθεί όταν προσπέσουν σε μικροσκοπικά σωματίδια, έτσι ώστε να διαχέονται στο χώρο χωρίς να φαίνονται αυτές. Η οπτική αντίληψη του γεγονότος αυτού ονομάζεται φαινόμενα σκέδασης. Η σκέδαση είναι προϊόν πολλαπλής ανάκλασης. Οι ηλιακές ακτίνες, όταν φτάνουν στην ατμόσφαιρα της Γης, πέφτουν πάνω στα σωματίδια της σκόνης ή στα σταγονίδια του νερού που αιωρούνται, τα οποία τις διασκορπίζουν με πολλές ανακλάσεις που δημιουργούν [54]. Έχουν παρατηρηθεί δυο τύποι σκέδασης, η σκέδαση «Μει» και η σκέδαση «Rayleigh». Η σκέδαση Rayleigh είναι ο τύπος της σκέδασης που εμφανίζεται αρχικά ως αποτέλεσμα των αέριων μορίων, περιορίζοντας την οριζόντια ορατότητα. Στη σκέδαση Μει εάν το μήκος κύματος του φωτός είναι περίπου ίσο με το μέγεθος του σωματιδίου, το φως μπορεί να σκεδαστεί προς όλες τις κατευθύνσεις, συμπεριλαμβανομένης και της οπισθοσκέδασης. Επιπλέον να σωματίδια που περιέχουν άνθρακα, όπως η αιθάλη ή τα σωματίδια του καπνού, απορροφούν ορατό φως. Εάν τα σωματίδια δεν απορροφήσουν το φως, τότε ένα μέρος αυτού μπορεί να τα διαπεράσει [47].

##### 4.7.2 Επίδραση των αιωρούμενων σωματιδίων στην ενεργειακή πίεση της γης

Για να κατανοήσουμε τον ρόλο που παίζουν τα σωματίδια όσον αφορά την *ενεργειακή πίεση* της γης, θα πρέπει πρώτα να εξηγήσουμε τους όρους ενεργειακή και πίεση. Ο όρος «ενεργειακή» χρησιμοποιείται γιατί τα σωματίδια επιδρούν στο ενεργειακό ισοζύγιο της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας και της εξερχόμενης υπέρυθρης ακτινοβολίας στην



ατμόσφαιρα της γης. Ο όρος «πίεση» χρησιμοποιείται για να υποδηλώσει ότι το ενεργειακό ισοζύγιο της γης ωθείται να παρεκκλίνει από τη φυσιολογική του κατάσταση.

Η ενεργειακή πίεση διακρίνεται σε άμεση και έμμεση. Άμεση ονομάζεται όταν προέρχεται από την οπισθοσκέδαση και την απορρόφηση της ακτινοβολίας μέσω των ίδιων των σωματιδίων. Έμμεση ονομάζεται όταν προκύπτει από την επίδραση των σωματιδίων στην ορατότητα, την ποσότητα και το χρόνο ζωής των σύννεφων. Επίσης διακρίνεται σε θετική και αρνητική ενεργειακή πίεση. Θετική πίεση έχουμε όταν δημιουργείται ένα ζεστό δίχτυ στην επιφάνεια της γης, ενώ αρνητική όταν έχουμε ένα δροσερό δίχτυ. Το μέγεθος των ενεργειακών επιδράσεων των αιωρούμενων σωματιδίων, εξαρτάται από τη σύνθεσή τους, τα μεγέθη και τις κατανομές των μεγεθών τους, τις συγκεντρώσεις, τις ιδιότητες της επιφάνειας, τις πυκνότητες και τους δείκτες διάθλασης [47].

#### 4.7.3 Τα σωματίδια ως πυρήνες συμπύκνωσης των νεφών

Τα σωματίδια που επιτρέπουν να σχηματιστούν τα σύννεφα, ονομάζονται *πυρήνες συμπύκνωσης των νεφών*. Αυτά τα σωματίδια έχουν διαφορετική χημική σύσταση, η οποία εξαρτάται από τις πηγές προέλευσης τους. Μπορεί να έχουν φυσικές πηγές εκπομπής, όπως οι έρημοι, οι ωκεανοί, τα ηφαίστεια ή από ανθρώπινες δραστηριότητες. Τα σύννεφα περιέχουν επίσης αέρια, τα οποία μπορούν να αλλάξουν τη χημική σύσταση των σταγονιδίων.

Οι διαδικασίες που παίρνουν μέρος μέσα στα σταγονίδια των νεφών είναι:

- Η αλλαγή της σύνθεσης και του μεγέθους του σωματιδίου συμπύκνωσης των νεφών μετά την εξάτμιση του σταγονιδίου.
- Η διάλυση του διαλυτού μέρους του σωματιδίου.
- Χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν μέρος μέσα στο σταγονίδιο του νερού.
- Η αμοιβαία μεταφορά μεταξύ των ατμοσφαιρικών αερίων και της υγρής φάσης των σταγονιδίων.
- Η χημική σύνθεση των πυρήνων συμπύκνωσης νεφών, η αρχική χημική σύνθεση των σταγονιδίων ενός νέφους, καθώς το διαλυτό μέρος του διαλύεται στο συμπυκνωμένο νερό.

Τα λιγότερο διαλυτά στο νερό σωματίδια, για παράδειγμα η σκόνη του εδάφους, η γύρη και τα σωματίδια που προέρχονται από την καύση της βιομάζας, παραμένουν στο περιβάλλοντα αέρα και κατά την βροχόπτωση συμπαρασύρονται με τα σταγονίδια της βροχής και εναποτίθενται στην επιφάνεια της γης. Τα περισσότερα σύννεφα δεν οδηγούν σε βροχή και απλά εξατμίζονται. Σαν αποτέλεσμα των χημικών αντιδράσεων που πραγματοποιούνται μέσα στο σύννεφο, τα σωματίδια τα οποία παραμένουν μετά την εξάτμιση του νερού, έχουν διαφορετική χημική σύνθεση σε σχέση με αυτά που εισήχθησαν από την πρώτη στιγμή στο σύννεφο. Μερικά χημικά στοιχεία επιστρέφουν στην αέρια φάση και κινούνται μακριά από το σταγονίδιο. Άλλα, αφού έχουν καλυφθεί, παραμένουν και συσχετίζονται με την υγρή φάση, εκτός και αν πραγματοποιηθεί ολική εξάτμιση [47].

#### 4.8 Επιπτώσεις των αερομεταφερόμενων αιωρούμενων σωματιδίων στην ανθρώπινη υγεία

Ένας ενήλικας αναπνέει 10.000 έως 20.000 λίτρα αέρα περίπου κάθε μέρα. Αυτό σημαίνει πως η ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα που αναπνέει διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην υγεία του και στη ποιότητα της ζωής του, ειδικά για αυτούς που ζουν στα αστικά κέντρα. Παγκοσμίως η ατμοσφαιρική ρύπανση θεωρείται υπεύθυνη για μεγάλο αριθμό θανάτων, αλλά και ασθενειών του αναπνευστικού και καρδιαγγειακού συστήματος.

Τα αιωρούμενα σωματίδια που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα και είναι εισπνεύσιμοι μεγέθους (PM<sub>10</sub>) δυστυχώς εισπνέονται και κατακρατούνται από το ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα. Η ικανότητα του αναπνευστικού συστήματος να προστατεύεται από τη σωματιδιακή ύλη, καθορίζεται κυρίως από το μέγεθος των σωματιδίων. Όσο πιο μικρά είναι τα σωματίδια, τόσο πιο πολύ αυξάνεται η πιθανότητα εισχώρησής τους στην αναπνευστική περιοχή των πνευμόνων, όπου εναποτίθενται κυρίως στις κυψελίδες των πνευμόνων εάν δεν είναι διαλυτά και με τη πάροδο του χρόνου επιφέρουν σοβαρές βλάβες των ανθρώπων. Τα υδατοδιαλυτά σωματίδια διαλύονται στο υγρό των πνευμόνων και εισέρχονται στη κυκλοφορία του αίματος. Σωματίδια έως περίπου 10 μm κατακρατούνται από τη μύτη, ενώ αυτά κάτω των 7,5 μm συνήθως εναποθέτονται στην τραχεία των πνευμόνων. Όσον αφορά στην τοξικότητα των σωματιδίων είναι απαραίτητη η γνώση του μεγέθους, της χημικής σύνθεσής τους αλλά και της συγκέντρωσής τους.

Η έκθεσή μας σε αιωρούμενα σωματίδια μπορεί να έχει πολλές διαφορετικές επιπτώσεις στην υγεία. Για παράδειγμα, πολυάριθμες μελέτες συνδέουν τα επίπεδα των σωματιδίων με τις αυξημένες εισαγωγές στο νοσοκομείο, τις επισκέψεις στην αίθουσα των επειγόντων περιστατικών, ακόμα και με θανάτους που προέρχονται από τις ασθένειες της καρδιάς και των πνευμόνων. Οι βραχυπρόθεσμες και οι μακροπρόθεσμες σωματιδιακές εκθέσεις έχουν συνδεθεί με προβλήματα υγείας. Οι μακροπρόθεσμες εκθέσεις, στις οποίες υποβάλλονται οι άνθρωποι που ζουν για πολλά χρόνια σε περιοχές με υψηλά επίπεδα σωματιδίων, έχουν συσχετιστεί με προβλήματα όπως η μειωμένη λειτουργία των πνευμόνων και η ανάπτυξη χρόνιας βρογχίτιδας. Οι βραχυπρόθεσμες εκθέσεις σε σωματίδια, εκθέσεις που λαμβάνουν χώρα για κάποιες ώρες ή μέρες, μπορούν να επιδεινώσουν την ασθένεια των πνευμόνων, προκαλώντας άσθμα και οξεία βρογχίτιδα και μπορούν να αυξήσουν την ευαισθησία σε αναπνευστικές μολύνσεις. Σε κόσμο με καρδιακές ασθένειες, οι βραχυπρόθεσμες εκθέσεις έχουν συνδεθεί με καρδιακά επεισόδια και αρρυθμίες. Όλα αυτά συμπεραίνονται από την ανάλυση παρατηρήσεων σχετικών με εισαγωγές σε νοσοκομεία σε περιόδους επεισοδίων ρύπανσης. Το μέγεθός τους επιδρά στο βαθμό που μεταβάλλεται η διεισδυτική τους ικανότητα στους πνεύμονες και ο χρόνος παραμονής τους σε μια περιοχή των πνευμόνων. Στις τοξικολογικές μελέτες που έχουν γίνει τα σωματίδια διακρίνονται σε σωματίδια οξέων, μετάλλων, βιοαεροζόλ, σωματίδια πολύ μικρών διαστάσεων και σε άλλα αιωρούμενα σωματίδια (σκόνη, τέφρα). Ενδεικτικά αποτελέσματα των μελετών αυτών είναι πως τα σωματίδια οξέων σε μικρές συγκεντρώσεις επηρεάζουν τον μηχανισμό απομάκρυνσης στη βλέννα, ενώ τα πολύ μικρά σωματίδια προκαλούν βήχα, δύσπνοια, πνευμονικό οίδημα και φλεγμονές.

Από επιδημιολογικές μελέτες και από ελάχιστα πειράματα που έχουν πραγματοποιηθεί έχουν εντοπιστεί κάποιοι πιθανοί μηχανισμοί, με τους οποίους τα σωματίδια προκαλούν τοξικές αντιδράσεις στον οργανισμό. Ένας τρόπος είναι η εξασθένηση των φυσικών λειτουργιών του ατόμου με αποτέλεσμα δυσλειτουργίες στο νευρικό σύστημα, στη δεξιά κοιλία της καρδιάς και στην κυκλοφορία του αίματος στους πνεύμονες. Ακόμα έχει βρεθεί πως προκαλούν οξειδωτικό στρες, οίδημα, φλεγμονές στους πνεύμονες, ανοσοτοξικότητα, αύξηση της πυκνότητας του πλάσματος και θρόμβωση του αίματος καθώς και υποτοξικό στρες λόγω της μικρής διάχυσης των αερίων.

Επίσης υπάρχουν συγκεκριμένες ασθένειες, οι οποίες προξενούνται από την ανθρώπινη έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις συγκεκριμένης κατηγορίας εισπνεύσιμων σωματιδίων. Ένα παράδειγμα είναι η αμιάντωση, η οποία προκαλείται από την έκθεση του ανθρώπου σε υψηλές συγκεντρώσεις σωματιδίων αμιάντου (ίνες αμιάντου) [47].

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5**

### **ΑΕΡΟΜΕΤΑΦΕΡΟΜΕΝΟΙ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ**

#### **5.1 Βιολογικής προέλευσης σωματίδια**

Τα 4/5 του χρονικού διαστήματος από την εμφάνιση της ζωής μέχρι σήμερα, υπήρχαν μόνο οι μικροοργανισμοί στη Γη. Σε αυτό το μεγάλο διάστημα αναπτύχθηκε τεράστια ποικιλία βακτηρίων, μυκήτων, ιών και μικρών φυκών. Χωρίς τους μικροοργανισμούς δεν θα υπήρχε και δεν θα υπάρχει ζωή στον πλανήτη μας. Στις περισσότερες περιπτώσεις οι μικροοργανισμοί είναι απαραίτητοι συνεργάτες των υπόλοιπων μορφών ζωής. Σε ορισμένες περιπτώσεις όμως είναι ανταγωνιστές.

Τα βιολογικής προέλευσης σωματίδια ή αλλιώς *βιοαεροζόλ (bioaerosols)* είναι εκείνα τα αερομεταφερόμενα σωματίδια, στα οποία ζουν μικροοργανισμοί ή προέρχονται από ζωντανούς οργανισμούς. Τα βιοαεροζόλ μπορούν να περιλαμβάνουν μικροβιακά κύτταρα (μικροοργανισμούς), τις αναπαραγωγικές μονάδες τους και τους παραγόμενους μεταβολίτες, που είναι πτητικοί ή αρκετά μικροί, ώστε να επιτυγχάνεται επαρκώς η αέρια διασπορά τους. Οι κατηγορίες των βιοαεροζόλ μπορούν να περιλαμβάνουν ιούς, βακτήρια, μύκητες, γύρη, άλγη, πρωτόζωα, τμήματα ζώντων ή νεκρών οργανισμών (φυτών, ζώων, ανθρώπων) ή/και προϊόντα του μεταβολισμού τους. Οι μικροοργανισμοί είναι ένα φυσιολογικό και θεμελιώδες συστατικό των εδαφικών, υδάτινων και ατμοσφαιρικών οικοσυστημάτων της γης. Επίσης, αυτοί και τα υποπροϊόντα τους είναι μέρος της βιόσφαιρας των ανθρώπων και ευρέως διαδεδομένοι στον περιβάλλοντα αέρα. Τα βακτήρια και οι μύκητες συμβάλλουν στην ανακύκλωση των χημικών στοιχείων του φλοιού της Γης, διασπώντας για παράδειγμα συμπλέγματα μορίων που βρίσκονται σε νεκρά οργανικά υλικά από ζώα και φυτά, ή μετατρέποντας ορυκτά και άνθρακα σε απλούστερες ενώσεις, όπως διοξείδιο του άνθρακα, νιτρικά άλατα, μεθάνιο, αμμωνία κ.ά.

Τα βιοαεροζόλ είναι ευρέως διαδεδομένα στη φύση και μπορούν να τροποποιηθούν από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Όλοι οι ζώντες οργανισμοί είναι εκτεθειμένοι επανειλημμένα για μεγάλο χρονικό διάστημα, σε μια ευρεία ποικιλία τέτοιων βιογενών σωματιδίων. Η American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH, (Αμερικανική Συνδιάσκεψη Κρατικών Υγιεινολόγων της Εργασίας) χρησιμοποιεί τον όρο *βιολογικώς παραγόμενοι αερομεταφερόμενοι ρύποι (biologically derived airborne contaminants)* για να περιγράψει τα βιοαεροζόλ, τα αέρια και τους ατμούς που παράγονται από ζωντανούς οργανισμούς ή που περιέχουν ζωντανούς οργανισμούς. Τα υλικά, που παράγονται βιολογικά, είναι φυσικά συστατικά των εσωτερικών και εξωτερικών περιβαλλόντων χώρων, αλλά κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, κάποια μπορούν να θεωρηθούν ως μολυσματικά υλικά, όταν βρεθούν σε υψηλές συγκεντρώσεις στο εσωτερικό περιβάλλον [47].

#### **5.2 Πηγές των βιοαεροζόλ**

Η κύρια πηγή εκπομπής των βιοαεροζόλ είναι η μικροβιακή αποσύνθεση των οργανικών υλικών σε όλες τις διαδικασίες που πραγματοποιούνται στη φύση. Επιπροσθέτως υψηλές συγκεντρώσεις βιοαεροζόλ σχετίζονται με ανθρώπινες δραστηριότητες.

Μερικές από τις δραστηριότητες, οι οποίες σχετίζονται με τις πηγές εκπομπής των βιοαεροζόλ είναι [47]:

- Δραστηριότητες διαχείρισης και τελικής διάθεσης απορριμμάτων και αποβλήτων
  - Βιολογική επεξεργασία των απορριμμάτων
  - Υγειονομική ταφή απορριμμάτων
  - Μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων
- Γεωργία και κτηνοτροφία
  - Φυτική και ζωική παραγωγή
- Παραγωγή τροφίμων
- Άλλες δραστηριότητες
  - Χάρτινη και ξύλινη επεξεργασία
  - Εγκαταστάσεις δενδροκηποκομίας
  - Εγκαταστάσεις ψύξης

### 5.3 Ταξινόμηση μικροοργανισμών

Πριν από την ανακάλυψη των μικροβίων, όλοι οι οργανισμοί κατατάσσονταν είτε στο βασίλειο των ζώων είτε στο βασίλειο των φυτών. Στα τέλη του 17<sup>ου</sup> αιώνα, όταν ανακαλύφθηκαν οι μικροοργανισμοί, χρειάστηκε να επινοηθεί ένα νέο σύστημα ταξινόμησης που θα μπορούσε να καλύψει τη νέα αυτή κατηγορία οργανισμών που έφεραν ενδιάμεσα χαρακτηριστικά, τόσο ζώων όσο και φυτών.

Το 1978 ο Carl Woese επινόησε ένα σύστημα ταξινόμησης που βασίζεται στην κυτταρική οργάνωση των οργανισμών. Με βάση το σύστημα αυτό οι οργανισμοί κατατάσσονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, των προκαρυωτικών και των ευκαρυωτικών οργανισμών.

Πιο συγκεκριμένα οι κατηγορίες έχουν ως εξής [48]:

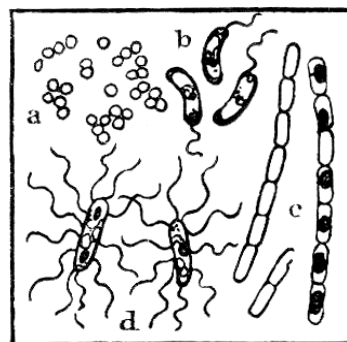
- Προκαρυωτικά, που περιλαμβάνουν:
  - I. Βακτήρια
  - II. Αρχαία
- Ευκαρυωτικά, που περιλαμβάνουν :
  - I. Πρώτιστα (βλεννομύκητες, πρωτόζωα, φύκη)
  - II. Μύκητες (μονοκυτταρικές ζύμες, πολυκυτταρικοί μούχλες και μανιτάρια)
  - III. Φυτά (βρύα, φτέρες, γυμνόσπερμα, αγγειόσπερμα)
  - IV. Ζώα (σπόγγιοι, σκώλικες, έντομα, σπονδυλωτά)

### 5.4 Βακτήρια

Τα *βακτήρια* είναι μικροσκοπικοί μονοκύτταροι προκαρυωτικοί οργανισμοί που συναντώνται σε κάθε είδους βίοτοπο και σε πολύ μεγάλους αριθμούς όπως σε δισεκατομμύρια ανά γραμμάριο γόνιμου κηποχώματος ή σε εκατομμύρια σε μια σταγόνα σάλιου.

Το όνομα βακτήρια που έχει καταστεί διεθνής όρος, προέρχεται από την αρχαία ελληνική λέξη 'βακτηρία' ('ράβδος, μπαστούνι') λόγω του σχήματος που είχαν οι πρώτοι εξ αυτών παρατηρηθέντες μικροοργανισμοί.

Παρά τη συγκριτικά απλή δομή τους είναι μια



εξαιρετικά επιτυχημένη μορφή ζωής με πολλά είδη και μορφές στους πλέον διαφορετικούς χώρους ζωής [49].

#### 5.4.1 Ταξινόμηση των βακτηρίων

Τα βακτήρια σχηματίζουν ένα βασίλειο από χιλιάδες γνωστά, ζωντανά είδη. Ταξινομούνται βάσει της ανάλυσης του γονιδιώματός τους, της διαφοράς στο κυτταρικό τοίχωμα, του σχήματος του κυττάρου, της απαίτησης σε οξυγόνο, της παραγωγής ενδοσπορίων, του υποστρώματος που αναπτύσσονται, της παραγωγής μεταβολιτών και της δυνατότητας να προκαλούν ασθένειες. Τα περισσότερα βακτήρια, που απομονώνονται από τον αέρα, είναι ετερότροφα και χρησιμοποιούν μη ζωντανό οργανικό υλικό, π.χ. γλυκόζη. Μερικά είναι αυτότροφα και μπορούν να συνθέσουν οργανικές ενώσεις από ανόργανα συστατικά. Άλλα βακτήρια πάλι είναι υποχρεωτικά παράσιτα, απαιτώντας ζωντανούς «ξενιστές» για τους οποίους είναι παθογόνοι. Κάποια σαπροφυτικά βακτήρια είναι δυνητικά παθογόνα και παρασιτούν, εισβάλλοντας σε ζωντανούς ξενιστές μόνο υπό ασυνήθιστες συνθήκες, οι οποίες επικρατούν όταν το ανοσοποιητικό σύστημα του ξενιστή δεν λειτουργεί καλά [47].

#### 5.4.2 Μορφολογία, μέγεθος και πολλαπλασιασμός των βακτηρίων

Τα περισσότερα βακτήρια παίρνουν την μορφή πολύ μικρών σφαιρών (κόκκοι), ίσιων ή κυρτών ράβδων (βάκιλοι), ελικοειδών ράβδων (σπειρίλλια) ή περιπλεγμένων ινών (ακτινομύκητες, ακτινοβακτήρια).

Οι διαστάσεις των βακτηρίων μετρούνται σε μικρόμετρα (μm), κατά συνέπεια είναι ορατά μόνο με μικροσκόπιο. Πρόκειται για τους μικρότερους μονοκύτταρους οργανισμούς μεταξύ των έμβιων όντων της φύσης, μετά από τους ιούς, οι οποίοι όμως διαφέρουν γιατί είναι παρασιτικές ακύτταρες οντότητες. Τα βακτήρια είναι μονοκύτταρικά και αναπαράγονται με απλή διαίρεση του κυττάρου. Πολλαπλασιάζονται αφυλετικά μέσω διχοτόμησης. Αφού το DNA των χρωμοσωμάτων διπλασιαστεί, το κύτταρο δημιουργεί ένα εγκάρσιο τοίχωμα και διαιρείται στα δύο θυγατρικά κύτταρα. Μετά τη διαίρεση, τα βακτηριακά κύτταρα μπορούν να παραμείνουν ομαδοποιημένα σε ζευγάρι, τετράδες ή αλυσίδες. Μερικά βακτήρια παράγουν ενδοσπόρια, τα οποία είναι εξαιρετικά ανθεκτικά στις περιβαλλοντικές πιέσεις. Ένα βακτηριακό ενδοσπόριο είναι μια λανθάνουσα δομή, ικανή να επιβιώσει σε δύσκολες καταστάσεις για μεγάλες περιόδους (π.χ. 100 χρόνια). Βακτηριακά σπόρια μπορούν να γίνουν αερομεταφερόμενα, όταν απελευθερωθούν από το κύτταρο [47].

#### 5.4.3 Ανάπτυξη και μεταβολισμός των βακτηρίων

Τα βακτήρια έχουν προσαρμοστεί σε ένα μεγάλο εύρος οικοσυστημάτων, ακόμη και με ακραία θερμοκρασία, οξύτητα και οξυγόνο. Μεταβολίζουν οργανικά μείγματα με την παρουσία (αερόβια) ή μη (αναερόβια) του οξυγόνου. Στην δεύτερη περίπτωση ο δέκτης ηλεκτρονίων είναι άλλη ένωση ή στοιχείο εκτός του οξυγόνου, π.χ. θειικά και νιτρικά ανιόντα, τρισθενής σίδηρος κ.ά. Τέλος, προαιρετικά αναερόβια ονομάζονται τα βακτήρια που μεταβολίζουν είτε παρουσία οξυγόνου είτε άλλου ιόντος ή στοιχείου, ανάλογα με τις συνθήκες που θα βρεθεί ο μικροοργανισμός.

Απαντώνται σε οποιοδήποτε περιβάλλον, από τους πάγους των πολικών περιοχών μέχρι τις ερήμους των τροπικών περιοχών και από τις κορυφές των υψηλότερων βουνών μέχρι τα βάθη των ωκεανών. Εντοπίζονται πάνω στα σώματα ζώων και φυτών καθώς και στο έδαφος. Τα περισσότερα βακτήρια χαρακτηρίζονται ενεργά όταν η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι μεγαλύτερη των +5 °C ή λίγο χαμηλότερα. Το βέλτιστο όριο δραστηριότητας των δυνητικά

παθογόνων είναι η θερμοκρασία των +37 °C. Πέραν των +70 °C πεθαίνουν ή καθίστανται ανενεργά. Σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες παρατηρείται μια μορφή χειμερίας νάρκης.

Βάση της προτίμησής τους στη θερμοκρασία τα βακτήρια είναι χωρισμένα στις εξής κατηγορίες [47,49] :

- ❖ Τα *ψυχρόφιλα*, που έχουν εύρος θερμοκρασιών από 0 °C έως 10 °C.
- ❖ Τα *μεσόφιλα*, που αναπτύσσονται σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος από 18 °C έως 30 °C. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τα αυτόχθονα περιβαλλοντικά βακτήρια με βέλτιστη θερμοκρασία ανάπτυξής τους 22 °C και τα αλλόχθονα μεσόφιλα βακτήρια, τα οποία αναπτύσσονται σε θερμοκρασίες από 35 °C έως 44 °C, πολλά εκ των οποίων είναι παθογόνα.
- ❖ Τα *θερμόφιλα* βακτήρια με εύρος θερμοκρασιών από 50 °C έως 55 °C. Απαντώνται σε πολύ ζεστό περιβάλλον (π.χ. σε σωρούς κομποστοποίησης)

## 5.5 Μύκητες

Οι *μύκητες* αποτελούν ένα ξεχωριστό βασίλειο από τα πέντε των έμβιων όντων που περιλαμβάνει μονοκύτταρους ή πολυκύτταρους ευκαρυωτικούς οργανισμούς. Οι μύκητες εμφανίζουν τεράστια ποικιλία και υπάρχουν παντού. Οι περισσότεροι ανευρίσκονται στο έδαφος και τα φυτά και διατρέφονται από οργανικά συστατικά ζώντων ή νεκρών οργανισμών γι' αυτό και θεωρούνται το «βιολογικό εργαστήριο αποδόμησης των οργανικών ουσιών». Τα διάφορα είδη μυκήτων ποικίλλουν από τους χρήσιμους για τον άνθρωπο ζυμομύκητες έως τους παθογόνους μικρομύκητες αλλά και τα γνωστά εδώδιμα μανιτάρια. Από τα 50.000 – 250.000 είδη μυκήτων που έχουν περιγραφεί, λιγότερα από 300 έχουν συσχετιστεί με νόσο στον άνθρωπο [50].



### 5.5.1 Ταξινόμηση των μυκήτων

Η ταξινόμηση των μυκήτων είναι ακόμη και σήμερα ιδιαίτερα δύσκολη και πολύπλοκη. Η απλούστερη ταξινόμησή τους βασίζεται στην παρατήρηση της μορφολογίας τους. Η ταξινόμηση αυτή συντέλεσε στο παρελθόν στην ομαδοποίηση γενετικά μη συγγενών ειδών. Σαν παράδειγμα, ο όρος «μούχλα» έχει χρησιμοποιηθεί γενικά για κάθε ορατή μυκητιακή ανάπτυξη. Μια μούχλα μπορεί να ανήκει σε μια από τις τρεις διαφορετικές κλάσεις των μυκήτων. «Περονόσπορος» είναι ένας όρος που μπορεί να χρησιμοποιεί ένας κοινός άνθρωπος για να περιγράψει τους μύκητες που εμφανίζονται στα υφάσματα, στα παράθυρα ή στα πλακάκια του μπάνιου. Οι μυκητολόγοι χρησιμοποιούν αυτόν τον όρο για να αναφερθούν σε συγκεκριμένο μύκητα που προκαλεί ασθένειες στα φυτά. Ο όρος «ζύμη» αναφέρεται σε μύκητα ο οποίος, τουλάχιστον στην καλλιέργεια, είναι μονοκύτταρος. Οι ζύμες περιλαμβάνουν μύκητες από τρεις διαφορετικές κλάσεις. Η φυλετική αναπαραγωγή είναι το σταθερότερο χαρακτηριστικό στα περισσότερα συστήματα βιολογικής ταξινόμησης και οι μύκητες χωρίζονται στις παρακάτω κλάσεις : τους ζυγομύκητες, τους ασκομύκητες και τους βασιδιομύκητες, τους φυκομύκητες, τους δευτερομύκητες και τους κυτταρομυξομύκητες.

Οι ζυγομύκητες (*zygomycetes*) έχουν σαν χαρακτηριστικό γνώρισμα την παραγωγή ζυγοσπορίων, πολλά είδη εκ των οποίων χρησιμοποιούνται στη βιομηχανική προϊόντων (π.χ. ένζυμα, οργανικά οξέα, αμινοξέα κ.α.).

Οι ασκομύκητες (*ascomycetes*) ανήκουν στους ανώτερους μύκητες και αναπαράγονται με τη δημιουργία ασκοσπορίων, όπως οι ζυμομύκητες. Σε αυτή τη κλάση ανήκουν και οι ζύμες. Το μεγαλύτερο ποσοστό ζυμώσεων που πραγματοποιούνται σε βιομηχανική κλίμακα είναι με τους ασκομύκητες.

Οι βασιδιομύκητες (*basidiomycetes*) παράγουν τα βασιδιοσπόρια επάνω στα βασίδια, τα οποία είναι βασικές αναπαραγωγικές δομές. Τα μανιτάρια που χρησιμοποιούνται στη διατροφή του ανθρώπου ανήκουν σε αυτή τη κλάση.

Οι φυκομύκητες (*phycomycetes*) είναι υδρόβιοι και μοιάζουν με φύκη, δεν έχουν όμως την δυνατότητα φωτοσύνθεσης.

Οι δευτερομύκητες (*deuteromycetes*) αναπαράγονται μόνο με τα κονίδια που είναι αφυλετικά σπόρια.

Τέλος οι κυτταρομυξομύκητες (*cellular slime molds*) είναι μονοκύτταροι μονοπύρηντοι, απλοειδείς μικροοργανισμοί χωρίς κυτταρικό τοίχωμα. Σε αυτή την ομάδα ανήκουν και οι μυξομύκητες [47].

### 5.5.2 Μορφολογία και πολλαπλασιασμός των μυκήτων

Οι μύκητες μπορεί να είναι μονοκύτταροι ή πολυκύτταροι χωρίς διαφοροποίηση. Οι μύκητες έχουν πολύπλοκους κύκλους ζωής, οι οποίοι περιλαμβάνουν και φυλετικά και αφυλετικά στάδια. Τα σπόρια, τα οποία παράγουν, είναι συχνά μικρά, ελαφριά και εύκολα μεταφερόμενα με τον αέρα και μπορούν να παραχθούν κατά τη διάρκεια του ενός ή του άλλου σταδίου. Τα φυλετικά σπόρια παράγονται ακολουθώντας ή την συγχώνευση δυο συμβατών πυρήνων ή την κυτταρική διαίρεση που οδηγεί σε τέσσερις θυγατρικούς πυρήνες. Τα αφυλετικά σπόρια παράγονται μέσω της μίτωσης χωρίς την συγχώνευση πυρήνων. Ονομάζονται σποριαγγειοσπόρια εάν σχηματίζονται και παραμένουν μέσα στα σποριαγγεία και κονίδια εάν σχηματίζονται εξωτερικά του κυττάρου που παράγει σπόρια.

Οι ζυμομύκητες είναι μονοκύτταροι μύκητες, που αναπαράγονται κυρίως μέσω εκβλάστησης, σπάνια μέσω διχοτόμησης ή αμφιγονικά. Όταν καλλιεργούνται σχηματίζουν αποικίες παρόμοιες με εκείνες των βακτηρίων. Ο πλέον δημοφιλής ζυμομύκητας είναι ο *Saccharomyces cerevisiae*, η γνωστή σε όλους μας μαγιά, που χρησιμοποιείται ευρέως για την παραγωγή αλκοολούχων ποτών (αναερόβια ζύμωση) ή για την παρασκευή ψωμιού (αερόβια ζύμωση). Οι ευρωτομύκητες είναι πολυκύτταροι μύκητες που σχηματίζουν μικροσκοπικές υφές. Η αποικία είναι μια ορατή μάζα από περιπλεγμένες υφές που σχηματίζουν το μυκήλιο. Οι αποικίες των μυκήτων μπορεί να έχουν μια εμφάνιση μαλακή, βελούδινη, κοκκώδη και μπορεί να είναι άσπρες, γκρι, καφέ, μαύρες, κίτρινες, πρασινωπές κ.ά. Οι μυκηλιακοί μύκητες που αναπτύσσονται σε υγρό και σκοτεινό περιβάλλον, κυρίως στο εσωτερικό περιβάλλον, ονομάζονται στην καθομιλουμένη και μούχλες [47].

### 5.5.3 Ανάπτυξη και μεταβολισμός των μυκήτων

Όλοι οι μύκητες είναι ετερότροφοι, πράγμα που σημαίνει ότι πρέπει να έχουν εξωτερικές πηγές άνθρακα και ενέργειας. Οι εξωτερικές πηγές ενέργειας μπορεί να είναι απλά ζάχαρα ή άμυλο ή περισσότερο πολύπλοκες ουσίες που περιέχουν άνθρακα. Οι μύκητες απελευθερώνουν ένζυμα για να διασπάσουν αυτές τις πολύπλοκες οργανικές ουσίες και να τις μετατρέψουν σε γλυκόζη, την οποία μετά θα μεταβολίσουν. Η διαθεσιμότητα επαρκούς υγρασίας έχει σημασία σε αυτή τη διαδικασία.

Οι μύκητες μπορεί να είναι όμως και σαπροφυτικοί, δηλαδή να χρησιμοποιούν μη ζωντανό οργανικό υλικό, παρασιτικοί, δηλαδή επιβιώνουν αρχικά σαν σαπροφυτικοί και εισβάλλουν σε ζωντανούς ιστούς μόνο όταν είναι διαθέσιμοι οι κατάλληλοι ξενιστές ή και τα δύο ή ακόμη και συμβιωτικοί, όπου η ανάπτυξή τους είναι σε στενή σχέση με έναν άλλον ζωντανό οργανισμό και ωφελεί και τους δύο.

Κατά τη διαδικασία της αποδόμησης των υποστρωμάτων για την απελευθέρωση της ενέργειας που περιέχεται στους υδρογονάνθρακες τους, οι μύκητες παράγουν πολλά μεταβολικά προϊόντα. Οι κύριοι μεταβολίτες είναι το διοξείδιο του άνθρακα και το νερό. Υπό κάποιες συνθήκες, μερικοί μύκητες μπορούν να παράγουν αιθανόλη ή άλλες πτητικές οργανικές ενώσεις.

Οι κύριοι περιβαλλοντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την μυκητιακή επιβίωση και ανάπτυξη είναι το νερό, η θερμοκρασία, το φως, το είδος και η συγκέντρωση των θρεπτικών συστατικών [47].

### 5.5.3.1 Υγρασία

Η διαθεσιμότητα του νερού είναι ένας από τους πιο κρίσιμους παράγοντες που ελέγχουν την ανάπτυξη των μυκήτων. Οι μυκητολόγοι ορίζουν τη διαθεσιμότητα του νερού με τον όρο της ενεργότητας του νερού, η οποία είναι η ποσότητα του νερού που βρίσκεται εντός ενός υποστρώματος και μπορεί να χρησιμοποιήσει ένας οργανισμός για να αναπτυχθεί [47].

### 5.5.3.2 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία επηρεάζει την ανάπτυξη των μυκήτων, άμεσα αλλά και μέσω της ρύθμισης της ενεργότητας του νερού. Η θερμοκρασία ελέγχει το ρυθμό, με τον οποίο οι βιοχημικές αντιδράσεις οδηγούν στο να επιτευχθεί η ανάπτυξη. Οι περισσότεροι οργανισμοί έχουν ελάχιστη, μέγιστη και βέλτιστη θερμοκρασιακή κλίμακα για ανάπτυξη. Οι μύκητες διαίρουνται σε τέσσερις κατηγορίες ανάλογα με την ανθεκτικότητα στη θερμοκρασία [47]:

- Οι *μεσόφιλοι* μύκητες με βέλτιστη θερμοκρασία μεταξύ 15 °C και 30 °C. Οι περισσότεροι μύκητες ανήκουν σε αυτή την κατηγορία.
- Οι *ψυχρόφιλοι* μπορούν να αναπτυχθούν σε θερμοκρασίες υπό του 0 °C, ενώ ο ρυθμός ανάπτυξης τους επιβραδύνεται πάνω από τους 17 °C.
- Οι *ψυχροανεκτικοί* μύκητες έχουν ελάχιστη θερμοκρασία τους 15 °C, ενώ μπορούν να αναπτυχθούν εξίσου καλά και σε θερμοκρασίες άνω των 20 °C.
- Οι *θερμόφιλοι* συνήθως δεν μπορούν να αναπτυχθούν σε θερμοκρασίες κάτω των 20 °C και ο ρυθμός ανάπτυξής τους είναι ιδανικός ανάμεσα στους 35 °C και 50 °C.

Υπάρχουν ενδείξεις ότι οι μύκητες μπορούν να προσαρμοστούν στις θερμοκρασίες.

### 5.5.3.3 Φως

Το φως επηρεάζει το σχηματισμό των σποριών των μυκήτων, πολύ περισσότερο από την μυκηλιακή ανάπτυξη. Πολλοί μύκητες απαιτούν κάποια έκθεση στον ήλιο για να προκαλέσουν την παραγωγή σποριών. Γενικά, οι μύκητες που παράγουν σπόρια στο σκοτάδι είναι ανθεκτικά στην υπεριώδη ακτινοβολία – ένα βασικό χαρακτηριστικό γιατί τα σπόρια τους ταξιθεύουν στον εξωτερικό αέρα κατά τη διάρκεια της ημέρας [47].



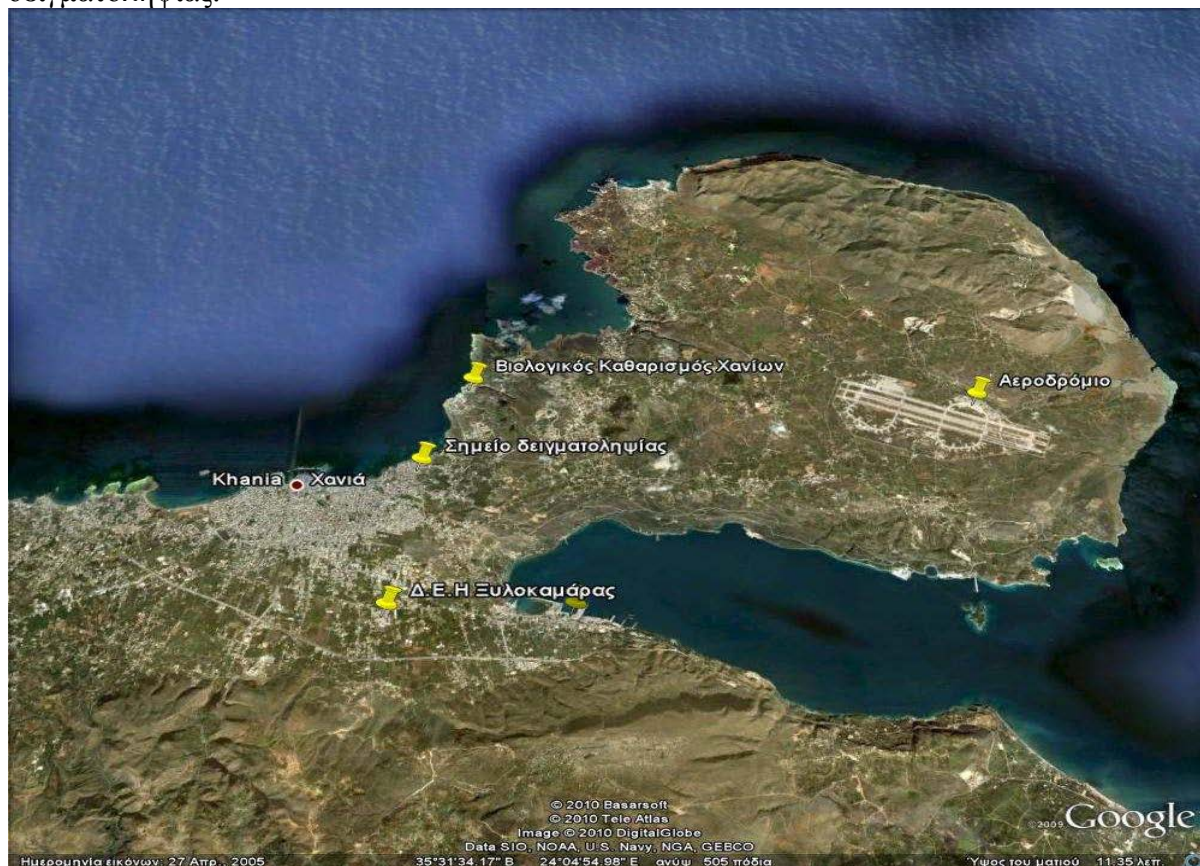
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

#### 6.1 Περιγραφή των δειγματοληψιών

Σκοπός των δειγματοληψιών που πραγματοποιήθηκαν ήταν ο προσδιορισμός της ανθεκτικότητας του αερομεταφερόμενου μικροβιακού φορτίου, σε αντιβιοτικά ή/και σε βαρέα μέταλλα στην ατμόσφαιρα (εξωτερικό φυσικό περιβάλλον) και στον αέρα εσωτερικών χώρων διαβίωσης (εσωτερικό περιβάλλον).

Οι δειγματοληψίες έλαβαν μέρος τόσο στον προαύλιο χώρο στη Σχολή Εφαρμοσμένων Επιστημών του Τ.Ε.Ι Κρήτης όσο και στον εσωτερικό χώρο της βιβλιοθήκης του Ιδρύματος, το οποίο βρίσκεται στην περιοχή της Χαλέπας της πόλης των Χανίων. Σε απόσταση 4,39 Km από το Τ.Ε.Ι και σε ΝΑ διεύθυνση βρίσκεται το λιμάνι της Σούδας, ενώ το εργοστάσιο της ΔΕΗ στην Ξυλοκαμάρα βρίσκεται σε απόσταση 3 Km και σε διεύθυνση Δ – ΝΔ. Οι εγκαταστάσεις του βιολογικού καθαρισμού Χανίων, οι οποίες απέχουν 2 Km σε ΒΑ διεύθυνση, η μικρή απόσταση του Τ.Ε.Ι. από την θάλασσα (300 m), η αυτοκίνηση από το κέντρο της πόλης (περίπου 3 Km) και το κατά καιρούς αερομεταφερόμενο νέφος της Σαχάρας σε ορισμένες δειγματοληψίες, αποτελούν πιθανές πηγές αερομεταφερόμενου ρυπαντικού φορτίου. Στην εικόνα 6.1 απεικονίζεται η γεωγραφική θέση του σημείου δειγματοληψίας.



Εικόνα 6.1. Γεωγραφική θέση του σημείου δειγματοληψίας στην πόλη των Χανίων, όπως απεικονίζεται με το πρόγραμμα Google Earth. (Keyhole Inc.)

Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 12 διπλές δειγματοληψίες, από τον Νοέμβριο του 2010 έως τον Μάιο του 2011, κατά το χρονικό διάστημα από 9:30 π.μ. έως 17:00 μ.μ. Όλες οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν στον προαύλιο χώρο και στην βιβλιοθήκη της Σχολής Εφαρμοσμένων Επιστημών του Τ.Ε.Ι Κρήτης. Ο εσωτερικός χώρος της βιβλιοθήκης όπου πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις έχει εμβαδόν 140 m<sup>2</sup> (~700 m<sup>3</sup> όγκο αέρα) και συνδέεται με το αναγνωστήριο μέσω μιας πόρτας διαστάσεων 200 cm x 250 cm. Το σημείο δειγματοληψίας στο εσωτερικό περιβάλλον ήταν μεταξύ της κεντρικής εισόδου της βιβλιοθήκης και του αναγνωστηρίου. Ο χώρος αυτός αεριζόταν με φυσικό τρόπο μέσω ενός παραθύρου διαστάσεων 80 cm x 130 cm κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Ο χώρος θερμαινόταν κατά τους χειμερινούς μήνες με την χρήση μιας ανεξάρτητης μονάδας κλιματιστικού.

Καθ' όλη τη διάρκεια των δειγματοληψιών πραγματοποιούνταν συλλογή αέριου δείγματος για τον προσδιορισμό των ετερότροφων βακτηρίων και των μυκήτων της ατμόσφαιρας, καθώς επίσης και για τον έλεγχο της αντοχής αυτών σε βαρέα μέταλλα και αντιβιοτικά. Η μονάδα μέτρησης των ετερότροφων βακτηρίων και των μυκήτων που χρησιμοποιήθηκε είναι ο αριθμός των αποικιών ανά κυβικό μέτρο αέρα (Colony Forming Units/m<sup>3</sup>) (CFU/m<sup>3</sup>).

Παράλληλα πραγματοποιούνταν μέτρηση περιβαλλοντικών παραμέτρων, της ταχύτητας του ανέμου υ σε m/sec, της θερμοκρασίας T σε °C και της σχετικής υγρασίας RH σε %, καθώς επίσης και του εισπνεύσιμου κλάσματος των αιωρούμενων σωματιδίων της ατμόσφαιρας PM<sub>10</sub> σε μg/m<sup>3</sup>. Οι μετρήσεις των παραπάνω παραμέτρων πραγματοποιούνταν στην αρχή και στο τέλος της δειγματοληψίας των ετερότροφων βακτηρίων και της δειγματοληψίας των μυκήτων, τόσο στο εξωτερικό περιβάλλον, όσο και στον εσωτερικό χώρο της βιβλιοθήκης. Τέλος, στις δειγματοληψίες του εσωτερικού χώρου της βιβλιοθήκης όταν υπήρχε ροή αέρα, μέσω του παραθύρου και της πόρτας του αναγνωστηρίου, λαμβανόταν μέτρηση της παροχής του αέρα (flowrate) σε m<sup>3</sup>/h.

**Πίνακας 6.1** Παρουσίαση των δειγματοληψιών ανά ημερομηνία, των μετεωρολογικών συνθηκών, των παραμέτρων που προσδιορίστηκαν και των τυχών ιδιαιτεροτήτων που υπήρχαν.

Ημερομηνία & Ώρα		Μετεωρολογικές Συνθήκες (Θερμοκρασία, Σχετική υγρασία, ταχύτητα ανέμου)	Ιδιαιτερότητες	Προσδιορισθείσες παράμετροι
30/11/2010 10:45- 13:26	Εξωτερικό περιβάλλον	23,5 °C, 63,2 %, 0,07 m/sec	Νέφος Σαχάρας	Ετερ. Βακτήρια, Μύκητες, T, RH, Uav., PM <sub>10</sub>
30/11/2010 14:19 – 15:51	Εσωτερικό περιβάλλον	23,8 °C, 53,6 %, 0,04 m/sec		
7/12/2010 11:00 - 13:38	Εξωτερικό περιβάλλον	20,8 °C, 55,5%, 0,18 m/sec	Οικοδομικές εργασίες στον χώρο	Ετερ. Βακτήρια, Μύκητες, T, RH, Uav., PM <sub>10</sub>
8/12/2010 11:53 - 13:58	Εσωτερικό περιβάλλον	22,2 °C, 56%, 0,06 m/sec		Ετερ. Βακτήρια, Μύκητες, T, RH, Uav., PM <sub>10</sub>
14/12/2010 10:28 – 11:27	Εξωτερικό περιβάλλον	17,2 °C, 47%, 0,08 m/sec	Βροχή την προηγούμενη μέρα	Ετερ. Βακτήρια, Μύκητες, T, RH, Uav., PM <sub>10</sub>
14/12/2010 13:01 – 16:23	Εσωτερικό περιβάλλον	21,6 °C, 43,5%, 0,01 m/sec		

Ημερομηνία & Ώρα		Μετεωρολογικές Συνθήκες (Θερμοκρασία, Σχετική υγρασία, ταχύτητα ανέμου)	Ιδιαιτερότητες	Προσδιορισθείσες παράμετροι
9/3/2011 10:23 – 12:25	Εξωτερικό περιβάλλον	9,5 °C, 46,3%, 1,17 m/sec	Σκιά / Κρύο	Ετερ. Βακτήρια, Μύκητες, T, RH, Uav., PM <sub>10</sub>
9/3/2011 12:53 – 15:28	Εσωτερικό περιβάλλον	22 °C , 47% , 0 m/sec		
15/3/2011 09:44 – 11:46	Εξωτερικό περιβάλλον	20,9 °C , 52,4%, 0,23 m/sec	Σκιά	Ετερ. Βακτήρια, Μύκητες, T, RH, Uav., PM <sub>10</sub>
15/3/2011 12:05 – 14:58	Εσωτερικό περιβάλλον	22,2 °C, 51%, 0,02 m/sec		
22/3/2011 09:41 – 11:40	Εξωτερικό περιβάλλον	12,6 °C , 58,2%, 0,42 m/sec	Σκιά / Κρύο	Ετερ. Βακτήρια, Μύκητες, T, RH, Uav., PM <sub>10</sub>
22/3/2011 13:01 - 15:10	Εσωτερικό περιβάλλον	18,5 °C , 55,3%, 0 m/sec		
28/3/2011 09:30 – 11:51	Εξωτερικό περιβάλλον	24,7 °C , 40,2%, 0,15 m/sec	Ήλιος	Ετερ. Βακτήρια, Μύκητες, T, RH, Uav., PM <sub>10</sub>
28/3/2011 12:33 - 15:50	Εσωτερικό περιβάλλον	21,1 °C , 48,5%, 0,08 m/sec		
5/4/2011 09:31 – 12:40	Εξωτερικό περιβάλλον	25 °C , 47%, 0,17 m/sec	Ήλιος	Ετερ. Βακτήρια, Μύκητες, T, RH, Uav., PM <sub>10</sub>
5/4/2011 13:46 – 17:40	Εσωτερικό περιβάλλον	21,8 °C , 52,8%, 0 m/sec		
13/4/2011 09:40 – 12:24	Εξωτερικό περιβάλλον	22,2 °C , 47,8% , 0,33 m/sec	Σκιά	Ετερ. Βακτήρια, Μύκητες, T, RH, Uav., PM <sub>10</sub>
13/4/2011 12:52 - 16:15	Εσωτερικό περιβάλλον	23,2 °C , 44,9 % , 0,02 m/sec		
4/5/2011 09:24 – 11:26	Εξωτερικό περιβάλλον	25,2 °C, 46,7%, 0,29 m/sec	Σκιά	Ετερ. Βακτήρια, Μύκητες, T, RH, Uav., PM <sub>10</sub>
4/5/2011 12:19 - 14:50	Εσωτερικό περιβάλλον	23,2 °C, 54,6%, 0 m/sec		
10/5/2011 09:34 – 12:52	Εξωτερικό περιβάλλον	19,3 °C, 58%, 0,21 m/sec	Σκιά	Ετερ. Βακτήρια, Μύκητες, T, RH, Uav., PM <sub>10</sub>
10/5/2011 13:22 - 16:35	Εσωτερικό περιβάλλον	21,4 °C, 50,7%, 0 m/sec		
17/5/2011 09:30 – 12:11	Εξωτερικό περιβάλλον	26,1 °C , 46,4%, 0,11 m/sec	Νέφος Σαχάρας	Ετερ. Βακτήρια, Μύκητες, T, RH, Uav., PM <sub>10</sub>
17/5/2011 12:29 – 17:26	Εσωτερικό περιβάλλον	23,4 °C, 51,4%, 0,19 m/sec		

## 6.2 Όργανα που χρησιμοποιήθηκαν κατά τις δειγματοληψίες



**Εικόνα 6.2** Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν κατά τις δειγματοληψίες. Από αριστερά προς τα δεξιά: 1) MAS 100 (Merck, Γερμανίας), 2) VelociCalc (TSI) και 3) Dust – Track (TSI).

Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε για την συλλογή του μικροβιακού φορτίου του αέρα ήταν ο δειγματολήπτης MAS 100 (Merck, Γερμανίας). Ο MAS 100 είναι ένα μικροβιακό σύστημα παρακολούθησης του αέρα, υψηλής απόδοσης. Η αναρρόφηση του αέρα γίνεται μέσα από ένα διάτρητο καπάκι και στην συνέχεια προσκρούει σε ένα πρότυπο τρυβλίο Petri 90 mm. Οι μικροοργανισμοί παγιδεύονται και έπειτα από κατάλληλη περίοδο επώασης, σχηματίζονται οι αποικίες. Το σύστημα χρησιμοποιεί μια σταθερή αναρρόφηση όγκου αέρα κατά τη διάρκεια συλλογής των δειγμάτων της τάξεως των 100 L/min [51].

Για την μέτρηση της θερμοκρασίας, της υγρασίας, της ταχύτητας του αέρα και της παροχής του αέρα χρησιμοποιήθηκε το όργανο VelociCalc 8346 (TSI). Με την ένδειξη Temperature μετράται η θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου ( $^{\circ}\text{C}$ ), με την ένδειξη Humidity μετράται η σχετική υγρασία επί τοις εκατό (%), με την ένδειξη Velocity μετράται η ταχύτητα του ανέμου σε m/sec και με την ένδειξη Flowrate μετράται η παροχή αέρα σε  $\text{m}^3/\text{h}$  [52].

Ο Dust – Track 8520 (TSI) είναι ένα όργανο μέτρησης των εισπνέσιμων αιωρούμενων σωματιδίων της ατμόσφαιρας. Αλλάζοντας τις ειδικές κεφαλές υπάρχει δυνατότητα μέτρησης της συγκέντρωσης μάζας των  $\text{PM}_{10}$ , των  $\text{PM}_{2.5}$  και των  $\text{PM}_{10}$  σωματιδίων σε μονάδες  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Τα μετεωρολογικά δεδομένα της μέσης ημερήσιας τιμής της ταχύτητας του ανέμου και της κατεύθυνσης του ανέμου ελήφθησαν από τον μετεωρολογικό σταθμό του Πολυτεχνείου Κρήτης στα Χανιά από την ηλεκτρονική διεύθυνση: <http://penteli.meteo.gr/stations/chania/>

## 6.3 Θρεπτικά υποστρώματα και καλλιέργεια μικροοργανισμών

Για τη συλλογή των αερίων δειγμάτων και την επιμέρους ανάλυση του μικροβιακού φορτίου τους, ήταν απαραίτητη η χρήση τρυβλίων, τα οποία εμπεριείχαν θρεπτικό υπόστρωμα κατάλληλα παρασκευασμένο για την ανάπτυξη των ετερότροφων βακτηρίων και των μυκήτων. Η καλλιέργεια τους γινόταν σε ελεγχόμενες θερμοκρασίες ανάλογα την κατηγορία των μικροοργανισμών.

Ως μικροβιολογικό θρεπτικό υπόστρωμα, καλείται κάθε στερεό ή υγρό μέσο, το οποίο μπορεί να καλύψει τις θρεπτικές ανάγκες ενός μικροβιακού κυττάρου. Περιέχει απαραίτητα:

νερό, πηγή άνθρακα, πηγή ενέργειας, πηγή αζώτου και πηγή αλάτων. Στους ετερότροφους μικροοργανισμούς η πηγή άνθρακα και η πηγή ενέργειας εξυπηρετείται από την ίδια χημική ουσία [53].

Το *τρυβλίο* Πέτρι (Petri) ή (Πετρί) (εικόνα 6.3) είναι ένα ρηχό γυάλινο ή πλαστικό κυλινδρικό πιάτο που χρησιμοποιείται από τους βιολόγους για την καλλιέργεια μικροοργανισμών. Οφείλει το όνομά του στον Γερμανό βακτηριολόγο Julius Richard Petri, ο οποίος πραγματοποίησε αυτή την εφεύρεση όταν εργαζόταν ως βοηθός του Ρόμπερτ Κοχ. Στα τρυβλία Πετρί τοποθετείται στέρεο θρεπτικό υλικό, στο οποίο μπορούν να αναπτυχθούν τα κύτταρα που θα καλλιεργηθούν. Σαν βάση του θρεπτικού υλικού τοποθετείται υγρό άγαρ, που στα εβραϊκά σημαίνει ψυχή, το οποίο στην συνέχεια στερεοποιείται. Τα δισκία τοποθετούνται σε ειδικούς θαλάμους επώασης και πάνω τους σχηματίζονται αποικίες μικροοργανισμών με μορφή κηλίδων πάνω στο λείο θρεπτικό υλικό [54].



Εικόνα 6.3 Τρυβλίο Petri

### 6.3.1 Παρασκευή θρεπτικών υποστρωμάτων

Τα συστατικά, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή των θρεπτικών υποστρωμάτων, ανάλογα με τις ανάγκες της κάθε δειγματοληψίας, είναι τα ακόλουθα:

- Tryptone Soy Broth ( TSB)
- Malt Extract Broth ( MEB)
- Agar
- Υδράργυρος υπό μορφή  $HgCl_2$
- Μόλυβδος υπό μορφή  $PbCl_2$
- Στρεπτομυκίνη
- Κυκλοεξιμίδιο

#### Συγκεκριμένα:

Για τον προσδιορισμό των ετερότροφων βακτηρίων χρησιμοποιήθηκε Tryptone Soy Broth, από το οποίο προστέθηκαν 3 gr σε 100 ml απιονισμένου νερού και αφού διαλύθηκαν καλά προστέθηκε 1,5 gr Agar.

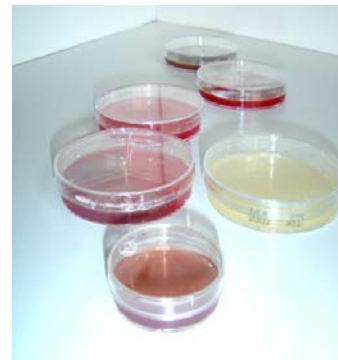
Για τον προσδιορισμό των μυκήτων χρησιμοποιήθηκε Malt Extract Broth, από το οποίο προστέθηκαν 2 gr σε 100 ml απιονισμένου νερού και αφού διαλύθηκαν καλά προστέθηκε 1,5 gr Agar.

Ξεκινώντας την διαδικασία παρασκευής των τρυβλίων αρχικά παίρναμε αριθμό φιαλών ίδιο με τον αριθμό των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων, των αντιβιοτικών και των συνδυασμό αυτών που θα εξετάζαμε σε κάθε δειγματοληψία, τόσο για τα ετερότροφα βακτήρια όσο και για τους μύκητες.

Στη συνέχεια παρασκευάζαμε τα θρεπτικά υποστρώματα στις φιάλες σύμφωνα με την διαδικασία που εξηγήθηκε παραπάνω.

Κατόπιν οι φιάλες με τα θρεπτικά υποστρώματα τοποθετούνταν στον κλίβανο αποστείρωσης, σε θερμοκρασία 121 °C και πίεση 1,2 bar για 15 λεπτά. Ο κλίβανος ανοιγόταν όταν η πίεσή του είχε φτάσει στο μηδέν.

Όταν η θερμοκρασία των φιαλών με τα θρεπτικά υποστρώματα ήταν περίπου 50 °C, προσθέτονταν σε αυτές οι κατάλληλες ποσότητες βαρέων μετάλλων και αντιβιοτικών, στον θάλαμο κάθετης νηματικής ροής σε αποστειρωμένο περιβάλλον, αναδεύονταν πολύ καλά και στη συνέχεια περιχύνονταν στα τρυβλία κάποια ml θρεπτικών υποστρωμάτων. Οι προστιθέμενες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων και αντιβιοτικών είχαν προηγουμένως αποστειρωθεί μετά από διήθηση σε αποστειρωμένα φίλτρα διαμέτρου πόρων 0,2 μm.



Εικόνα 6.4 Τρυβλία Petri

### 6.3.2 Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων και αντιβιοτικών που χρησιμοποιήθηκαν

- ✚ Η ανθεκτικότητα σε μόλυβδο ελέγχθηκε σε συγκεντρώσεις 200μM, 500μM, 1.000μM ή 1.500 μM PbCl<sub>2</sub> ανά θρεπτικό υπόστρωμα
- ✚ Η ανθεκτικότητα σε υδράργυρο ελέγχθηκε σε συγκεντρώσεις 5μM, 10μM ή 20μM HgCl<sub>2</sub> ανά θρεπτικό υπόστρωμα
- ✚ Η ανθεκτικότητα των βακτηρίων σε στρεπτομυκίνη ελέγχθηκε σε συγκεντρώσεις 5 μg/ml , 10 μg/ml ή 20μg/ml θρεπτικού υποστρώματος Tryptone Soy Agar.
- ✚ Η ανθεκτικότητα των μυκήτων σε κυκλοεξιμίδιο ελέγχθηκε σε συγκεντρώσεις 5 μg/ml , 10 μg/ml ή 20μg/ml θρεπτικού υποστρώματος Malt Extract Agar.

### 6.3.3 Μέθοδος δειγματοληψιών

Η μέθοδος που ακολουθούνταν για την λήψη των δειγμάτων μας, αποτελούνταν από τις ακόλουθες διαδικασίες. Αρχικά χρησιμοποιούσαμε δύο δείγματα ως μάρτυρες. Τα δείγματα αυτά περιείχαν μόνο τα θρεπτικά συστατικά για τα ετερότροφα βακτήρια και τους μύκητες χωρίς την παρουσία βαρέων μετάλλων και αντιβιοτικών. Αφού συλλέγονταν πρώτα τα δείγματα των μαρτύρων, στη συνέχεια συλλέγονταν δείγματα στα τρυβλία που περιείχαν τα θρεπτικά συστατικά μαζί με βαρέα μέταλλα, με αντιβιοτικά καθώς και συνδυασμό αυτών, σε καθορισμένες συγκεντρώσεις, τις οποίες ορίζαμε πριν από κάθε δειγματοληψία. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβανόταν για κάθε δειγματοληψία αρχικά στον εξωτερικό προαύλιο χώρο της Σχολής Εφαρμοσμένων Επιστημών του Τ.Ε.Ι Κρήτης και στη συνέχεια στον εσωτερικό χώρο της βιβλιοθήκης του Ιδρύματος. Παράλληλα γινόταν καταγραφή της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, της σχετικής υγρασίας, της ταχύτητας του ανέμου και των εισπνεύσιμων PM<sub>10</sub> αιωρούμενων σωματιδίων της ατμόσφαιρας.

Τέλος, εφόσον είχαμε ολοκληρώσει την συλλογή των δειγμάτων, τοποθετούσαμε τα τρυβλία σε επωαστικούς θαλάμους ώστε να αναπτυχθούν οι μικροοργανισμοί. Τα ετερότροφα βακτήρια τοποθετούνταν στους 37 °C για 48 ώρες και η καταμέτρηση των αποικιών τους πραγματοποιούνταν μετά από 24 και 48 ώρες. Οι μύκητες τοποθετούνταν στους 20 °C για 72 ώρες και η καταμέτρηση των αποικιών τους πραγματοποιούνταν μετά από 48 και 72 ώρες.

Για την επίτευξη αντιπροσωπευτικότερων αποτελεσμάτων, πραγματοποιούνταν διπλές μετρήσεις για κάθε μία από τις συγκεντρώσεις των δειγμάτων. Κατά την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και τον υπολογισμό του ποσοστού επιβίωσης του κάθε δείγματος, σαν σημείο αναφοράς χρησιμοποιούταν σε κάθε δειγματοληψία το αντίστοιχο δείγμα-μάρτυρας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### 7.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δειγματοληψιών που πραγματοποιήθηκαν ανά εβδομάδα.

#### 7.7.1 1<sup>η</sup> Δειγματοληψία

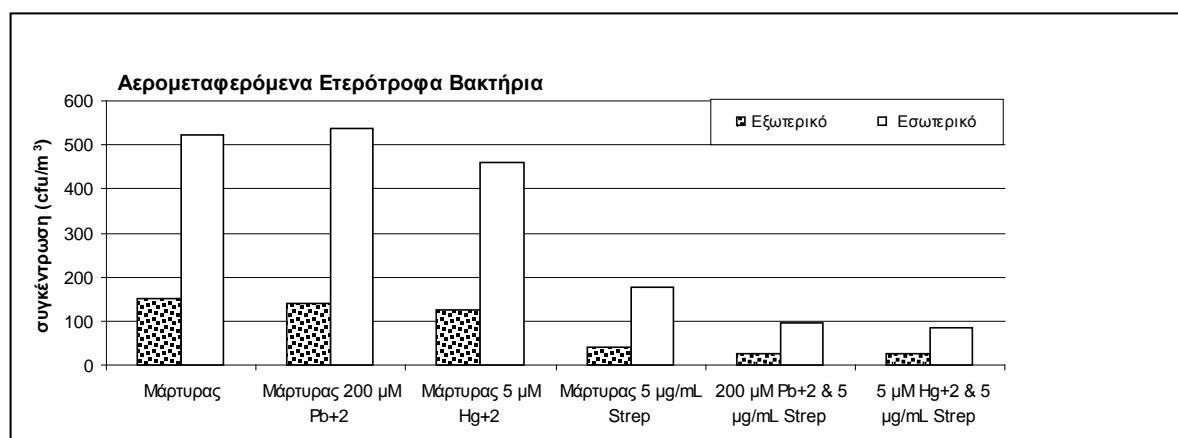
Η 1<sup>η</sup> δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στις 30/11/2010 και ώρα 10:45 πμ έως 13:26 μμ στον εξωτερικό χώρο της Σχολής Εφαρμοσμένων Επιστημών του Τ.Ε.Ι Κρήτης και από ώρα 14:19 μμ έως 15:51 μμ στον εσωτερικό χώρο της βιβλιοθήκης του Ιδρύματος. Κατά την δειγματοληψία στον εξωτερικό χώρο, η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος ήταν 23,2 °C, η μέση σχετική υγρασία 63%, η μέση ταχύτητα ανέμου στο σημείο δειγματοληψίας 0,11 m/sec, ενώ η μέση ημερήσια ταχύτητα ανέμου ήταν 5,4 m/sec και η κύρια διεύθυνση ανέμου κατά την διάρκεια της δειγματοληψίας ήταν Δ. Η μέση τιμή των PM<sub>10</sub> σωματιδίων ήταν 138 μg/m<sup>3</sup>. Στον εσωτερικό χώρο η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος ήταν 23,9 °C, η μέση σχετική υγρασία ήταν 54,1%, η μέση ταχύτητα ανέμου 0,04 m/sec και η ροή αέρα από την πόρτα ήταν 3,76 m<sup>3</sup>/h και από το παράθυρο ήταν 3,05 m<sup>3</sup>/h. Η μέση τιμή των PM<sub>10</sub> σωματιδίων ήταν 91 μg/m<sup>3</sup>. Οι όγκοι των αερίων δειγμάτων που συλλέχθηκαν κυμαίνονταν από 100 L έως 2.000 L ανάλογα με το δείγμα.

Στη συγκεκριμένη δειγματοληψία μελετήθηκε η ανθεκτικότητα του αερομεταφερόμενου μικροβιακού φορτίου στις ακόλουθες συγκεντρώσεις:

Ετερότροφα βακτήρια: 200 μM Pb<sup>+2</sup>, 5μM Hg<sup>+2</sup>, 5μg/mL streptomycin

Μύκητες: 200 μM Pb<sup>+2</sup>, 5μM Hg<sup>+2</sup>, 5μg/ mL cycloheximide, 5μg/mL streptomycin

Στα διαγράμματα 7.1.(α) και 7.1.(β) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων των ετερότροφων βακτηρίων και των μυκήτων αντίστοιχα.



Διάγραμμα 7.1.(α). Συγκεντρώσεις αερομεταφερόμενων ετερότροφων βακτηρίων στο εξωτερικό και εσωτερικό περιβάλλον κατά την 30-11-2010 και ανθεκτικότητα αυτών σε 200 μM Pb<sup>+2</sup>, 5 μM Hg<sup>+2</sup> και 5 μg/mL στρεπτομυκίνη (Strep).

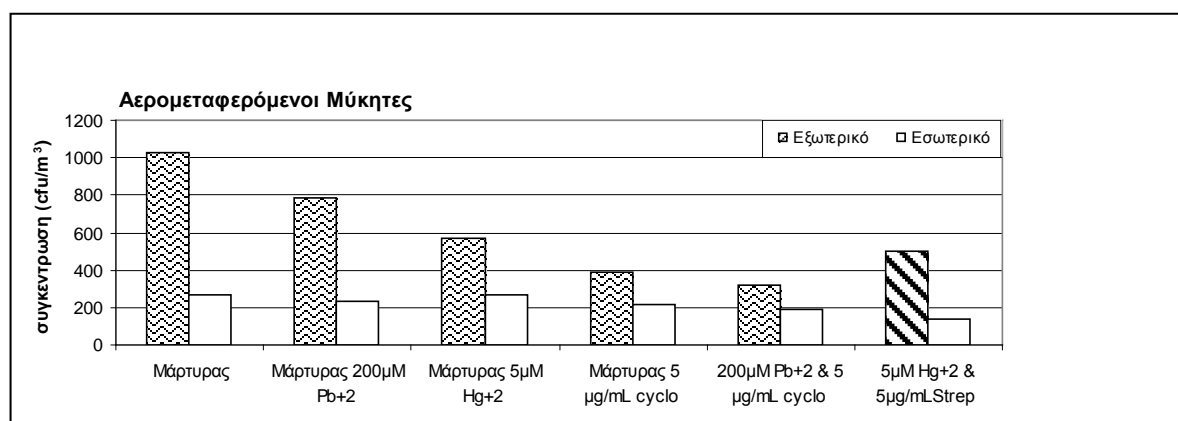
Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 7.1.(α), η μέση συγκέντρωση των αερομεταφερόμενων ετερότροφων βακτηρίων στο εσωτερικό περιβάλλον (521 cfu/m<sup>3</sup>) ήταν υψηλότερη της αντίστοιχης στο εξωτερικό περιβάλλον (151 cfu/m<sup>3</sup>). Σχετικά με την ανθεκτικότητα των



αερομεταφερόμενων βακτηρίων παρατηρήθηκε μια φθίνουσα ανοχή αυτών σε συγκεντρώσεις 200  $\mu\text{M Pb}^{+2}$ , 5  $\mu\text{M Hg}^{+2}$  και 5  $\mu\text{g/mL}$  στρεπτομυκίνης και στον συνδυασμό αυτών. Όσον αφορά την ανάπτυξη αυτών σε θρεπτικό υπόστρωμα με 200  $\mu\text{M Pb}^{+2}$ , δεν παρατηρήθηκε κάποια παρεμπόδιση αυτής στο εσωτερικό περιβάλλον και μόνο ο συνδυασμός 200  $\mu\text{M Pb}^{+2}$  και 5  $\mu\text{g/mL}$  στρεπτομυκίνης οδήγησε σε ποσοστό επιβίωσης 18%.

Πιο συγκεκριμένα όσον αφορά τα ποσοστά επιβίωσης αυτών παρατηρήθηκαν τα ακόλουθα :

- ❖ επιβίωση σε 200  $\mu\text{M Pb}^{+2}$  : 93,4% στο εξωτερικό και 102,9% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ επιβίωση σε 5  $\mu\text{M Hg}^{+2}$  : 83,4% στο εξωτερικό και 88,3% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ επιβίωση σε 5  $\mu\text{g/mL}$  στρεπτομυκίνης : 27,8% στο εξωτερικό και 33,9% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ επιβίωση στον συνδυασμό 200  $\mu\text{M Pb}^{+2}$  και 5  $\mu\text{g/mL}$  στρεπτομυκίνης: 17,9% στο εξωτερικό και 18% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ επιβίωση στον συνδυασμό σε 5  $\mu\text{M Hg}^{+2}$  και 5  $\mu\text{g/mL}$  στρεπτομυκίνης: 17,2% στο εξωτερικό και 16,3% στο εσωτερικό περιβάλλον.



Διάγραμμα 7.1.(β). Συγκεντρώσεις αερομεταφερόμενων μυκήτων στο εξωτερικό και εσωτερικό περιβάλλον κατά την 30-11-2010 και ανθεκτικότητα αυτών σε 200  $\mu\text{M Pb}^{+2}$ , 5  $\mu\text{M Hg}^{+2}$  και 5  $\mu\text{M}$  κυκλοεξιμίδιο (Cyclo).

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 7.1.(β), η συγκέντρωση των μυκήτων στο εξωτερικό περιβάλλον ( $1.030 \text{ cfu/m}^3$ ) ήταν πολύ υψηλότερη αυτής του εσωτερικού περιβάλλοντος ( $265 \text{ cfu/m}^3$ ). Η αυξημένη συγκέντρωση των μυκήτων του εξωτερικού περιβάλλοντος πιθανότατα να συνδέεται και με την υψηλή συγκέντρωση των  $\text{PM}_{10}$  σωματιδίων ( $138 \mu\text{g/m}^3$ ). Κατά την συγκεκριμένη ημερομηνία και ώρα η συγκέντρωση των  $\text{PM}_{10}$  σωματιδίων ήταν 2,76 φορές υψηλότερη της ανώτατης επιτρεπτής ημερήσιας τιμής ( $50 \mu\text{g/m}^3$ ) και 3,45 φορές υψηλότερη της ανώτατης ετήσιας επιτρεπτής τιμής ( $40 \mu\text{g/m}^3$ ). Όπως παρουσιάζεται και στο διάγραμμα 7.1.(β), λόγω πειραματικού σφάλματος, εξετάστηκε η επιβίωση των αερομεταφερόμενων μυκήτων σε θρεπτικό υπόστρωμα με 5  $\mu\text{M Hg}^{+2}$  και 5  $\mu\text{g/mL}$  στρεπτομυκίνης αντί 5  $\mu\text{M}$  κυκλοεξιμίδιο. Σε αυτή την περίπτωση η επιβίωση ήταν 48,3% για το εξωτερικό και 53,2% για το εσωτερικό περιβάλλον. Όσον αφορά την ανάπτυξη αυτών σε θρεπτικό υπόστρωμα με 5  $\mu\text{M Hg}^{+2}$ , δεν παρατηρήθηκε κάποια παρεμπόδιση αυτής με ποσοστό επιβίωσης 100,3%.

Πιο συγκεκριμένα όσον αφορά την ανθεκτικότητα των αερομεταφερόμενων μυκήτων τα ποσοστά επιβίωσης παρατηρήθηκαν ως εξής:

- ❖ επιβίωση σε 200  $\mu\text{M Pb}^{+2}$ : 76,3% στο εξωτερικό και 86,4% στο εσωτερικό περιβάλλον.

- ❖ επιβίωση σε 5  $\mu\text{M Hg}^{+2}$ : 55% στο εξωτερικό και 100,3% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ επιβίωση σε 5  $\mu\text{g/mL}$  κυκλοεξιμίδιο: 37,6% στο εξωτερικό και 81,5% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ επιβίωση στον συνδυασμό 200  $\mu\text{M Pb}^{+2}$  και 5  $\mu\text{g/mL}$  κυκλοεξιμίδιο: 31,5% στο εξωτερικό και 73,2% στο εσωτερικό περιβάλλον.

### 7.7.2 2<sup>η</sup> Δειγματοληψία

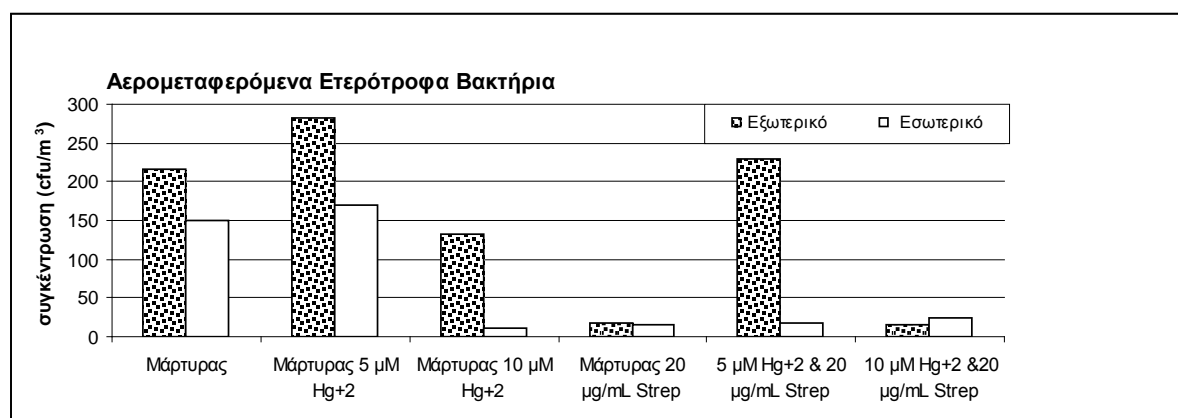
Η 2<sup>η</sup> δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στις 07/12/2010 και ώρα 11:00 πμ έως 13:38 μμ στον εξωτερικό χώρο της Σχολής Εφαρμοσμένων Επιστημών του Τ.Ε.Ι Κρήτης, ενώ στον εσωτερικό χώρο της βιβλιοθήκης του Ιδρύματος η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στις 08/12/2010 και ώρα 11:53 πμ έως 13:58 μμ. Κατά την δειγματοληψία στον εξωτερικό χώρο, η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος ήταν 20,8 °C, η μέση σχετική υγρασία 55,5%, η μέση ταχύτητα ανέμου στο σημείο δειγματοληψίας 0,18 m/sec, ενώ, η μέση ημερήσια ταχύτητα ανέμου ήταν 12 m/sec και η κύρια διεύθυνση ανέμου κατά την διάρκεια της δειγματοληψίας ήταν ΔΝΔ. Η μέση τιμή των PM<sub>10</sub> σωματιδίων ήταν 31  $\mu\text{g/m}^3$ . Στον εσωτερικό χώρο η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος ήταν 22 °C, η μέση σχετική υγρασία ήταν 56,5%, η μέση ταχύτητα ανέμου 0,06 m/sec και η ροή αέρα από την πόρτα ήταν 2,96  $\text{m}^3/\text{h}$  ενώ το παράθυρο ήταν κλειστό. Η μέση τιμή των PM<sub>10</sub> σωματιδίων ήταν 20  $\mu\text{g/m}^3$ . Οι όγκοι των αερίων δειγμάτων που συλλέχθηκαν κυμαίνονταν από 100 L έως 2.000 L ανάλογα με το δείγμα.

Στη συγκεκριμένη δειγματοληψία μελετήθηκε η ανθεκτικότητα του αερομεταφερόμενου μικροβιακού φορτίου στις ακόλουθες συγκεντρώσεις:

Ετερότροφα βακτήρια: 5 $\mu\text{M Hg}^{+2}$ , 10 $\mu\text{M Hg}^{+2}$ , 20  $\mu\text{g/mL streptomycin}$

Μύκητες: 5 $\mu\text{M Hg}^{+2}$ , 10 $\mu\text{M Hg}^{+2}$ , 10  $\mu\text{g/mL cycloheximide}$

Στα διαγράμματα 7.2.(α) και 7.2.(β) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων των ετερότροφων βακτηρίων και των μυκήτων αντίστοιχα.



Διάγραμμα 7.2.(α). Συγκεντρώσεις αερομεταφερόμενων ετερότροφων βακτηρίων στο εξωτερικό και εσωτερικό περιβάλλον κατά την 07-12-2010 και την 08-12-2010 αντίστοιχα και ανθεκτικότητα αυτών σε 5 $\mu\text{M Hg}^{+2}$ , 10 $\mu\text{M Hg}^{+2}$  και 20  $\mu\text{g/mL}$  στρεπτομυκίνη (Strep).

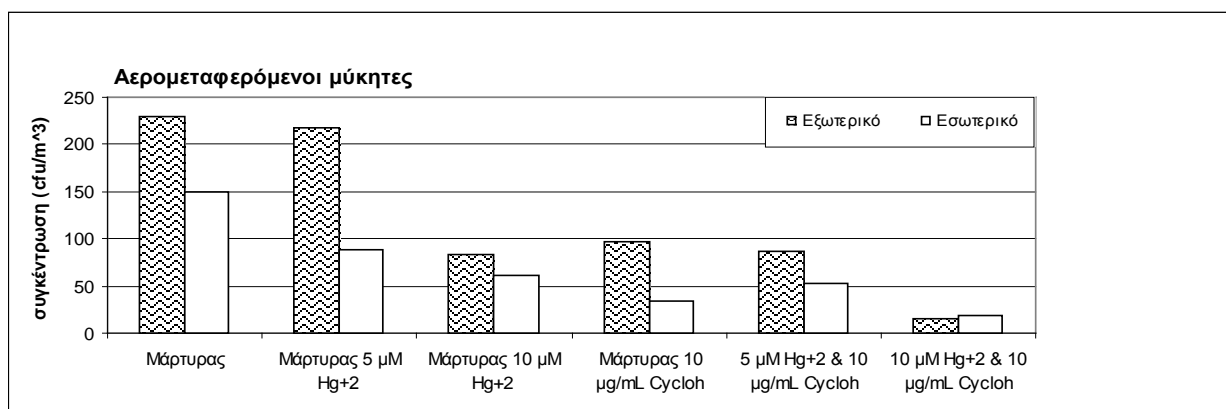
Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 7.2.(α), η μέση συγκέντρωση των αερομεταφερόμενων ετερότροφων βακτηρίων στο εσωτερικό περιβάλλον (150  $\text{cfu/m}^3$ ) ήταν χαμηλότερη της αντίστοιχης στο εξωτερικό περιβάλλον (216  $\text{cfu/m}^3$ ). Η παρατηρούμενη αντιστροφή της συσχέτισης της μέσης συγκέντρωσης των ετερότροφων βακτηρίων εσωτερικού/εξωτερικού περιβάλλοντος μπορεί να οφείλεται στις διαφορετικές ημερομηνίες μέτρησης (07 και 08/12/2010). Όσον αφορά την ανάπτυξη αυτών σε θρεπτικό υπόστρωμα με 5 $\mu\text{M Hg}^{+2}$  δεν

παρατηρήθηκε κάποια παρεμπόδιση αυτής καθώς επίσης και στον συνδυασμό 5μM Hg<sup>+2</sup> με 20 μg/mL στρεπτομυκίνης στο εξωτερικό περιβάλλον. Εξετάζοντας όμως τις συγκεντρώσεις 10μM Hg<sup>+2</sup>, 20 μg/mL στρεπτομυκίνης καθώς επίσης και τον συνδυασμό αυτών παρατηρούμε πως το ποσοστό επιβίωσης μειώνεται.

Στο εσωτερικό περιβάλλον παρατηρούμε κάτι αντίστοιχο με αυτό του εξωτερικού περιβάλλοντος μόνο στην συγκέντρωση 5μM Hg<sup>+2</sup>. Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις υπάρχει μείωση του ποσοστού επιβίωσης.

Πιο συγκεκριμένα όσον αφορά τα ποσοστά επιβίωσης των ετερότροφων βακτηρίων παρατηρήθηκαν τα ακόλουθα :

- ❖ Επιβίωση σε 5μM Hg<sup>+2</sup>: 130,6% στο εξωτερικό και 112,3% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 10μM Hg<sup>+2</sup>: 61,6% στο εξωτερικό και 6,7% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 20 μg/ml στρεπτομυκίνης: 7,6% στο εξωτερικό και 10% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε συνδυασμό 5μM Hg<sup>+2</sup> και 20 μg/ml στρεπτομυκίνης: 106% στο εξωτερικό και 11,3% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε συνδυασμό 10μM Hg<sup>+2</sup> και 20 μg/ml στρεπτομυκίνης: 6,9% στο εξωτερικό και 16,3% στο εσωτερικό περιβάλλον.



Διάγραμμα 7.2.(β). Συγκεντρώσεις αερομεταφερόμενων μυκήτων στο εξωτερικό και εσωτερικό περιβάλλον κατά την 07-12-2010 και την 08-12-2010 αντίστοιχα και ανθεκτικότητα αυτών σε 5μM Hg<sup>+2</sup>, 10μM Hg<sup>+2</sup>, 10 μg/ml κυκλοεξιμίδιο (CycloH).

Όπως βλέπουμε στο διάγραμμα 7.2.(β) η μέση συγκέντρωση των αερομεταφερόμενων μυκήτων στο εξωτερικό περιβάλλον (230 cfu/m<sup>3</sup>) ήταν υψηλότερη από αυτή στο εσωτερικό περιβάλλον (150 cfu/m<sup>3</sup>). Όσον αφορά την εξέταση της ανθεκτικότητάς τους σε θρεπτικά υποστρώματα 5μM Hg<sup>+2</sup>, 10μM Hg<sup>+2</sup> και 10 μg/ml κυκλοεξιμίδιο καθώς και στον συνδυασμό αυτών παρατηρούμε πως αυτή μειώνεται σταδιακά με μεγαλύτερη μείωση του ποσοστού στον συνδυασμό 10μM Hg<sup>+2</sup> και 10 μg/ml κυκλοεξιμίδιο τόσο στο εξωτερικό όσο και στο εσωτερικό περιβάλλον.

Πιο συγκεκριμένα όσον αφορά τα ποσοστά επιβίωσης των αερομεταφερόμενων μυκήτων παρατηρήθηκαν τα ακόλουθα:

- ❖ Επιβίωση σε 5μM Hg<sup>+2</sup> 94,8% στο εξωτερικό και 58,3% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 10μM Hg<sup>+2</sup> 36,5% στο εξωτερικό και 41,3% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 10 μg/ml κυκλοεξιμίδιο 42,2% στο εξωτερικό και 22,7% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε συνδυασμό 5μM Hg<sup>+2</sup> και 10 μg/ml κυκλοεξιμίδιο 37,4% στο εξωτερικό και 34,3% στο εσωτερικό περιβάλλον και τέλος

- ❖ Επιβίωση σε συνδυασμό 10μM Hg<sup>+2</sup> και 10 μg/ml κυκλοεξιμίδιο 7% στο εξωτερικό και 11,8% στο εσωτερικό περιβάλλον.

### 7.7.3 3<sup>η</sup> Δειγματοληψία

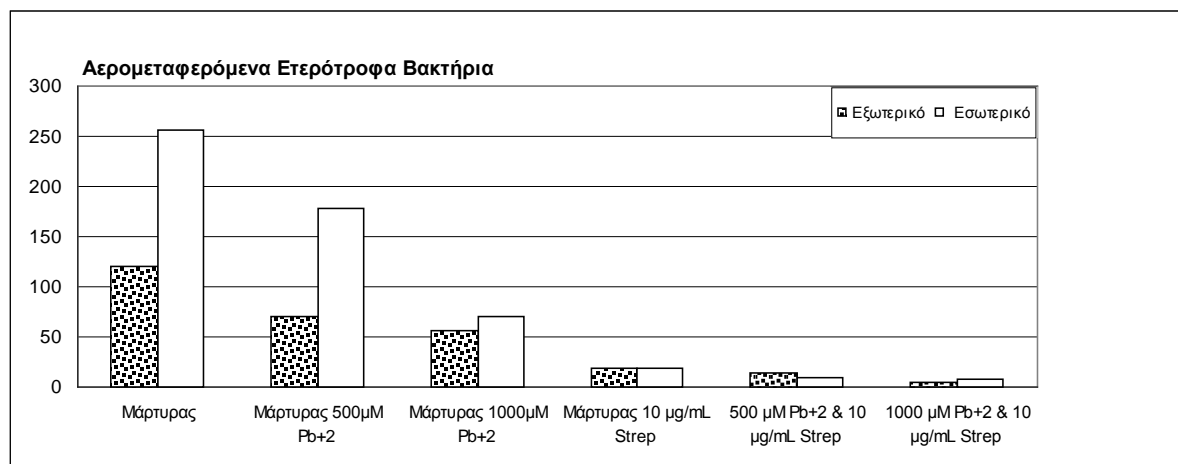
Η 3<sup>η</sup> δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στις 14/12/2010 και ώρα 10:28 πμ έως 12:25 μμ στον εξωτερικό χώρο της Σχολής Εφαρμοσμένων Επιστημών του Τ.Ε.Ι Κρήτης και από ώρα 13:01 μμ έως 16:23 μμ στον εσωτερικό χώρο της βιβλιοθήκης του Ιδρύματος. Κατά την δειγματοληψία στο εξωτερικό χώρο η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος ήταν 17,2 °C, η μέση σχετική υγρασία 47%, η μέση ταχύτητα ανέμου στο σημείο δειγματοληψίας 0,08 m/sec, ενώ η μέση ημερήσια ταχύτητα ανέμου ήταν 8,7 m/sec και η κύρια διεύθυνση ανέμου κατά την διάρκεια της δειγματοληψίας ήταν ΝΔ. Η μέση τιμή των PM<sub>10</sub> σωματιδίων ήταν 54 μg/m<sup>3</sup>. Στον εσωτερικό χώρο η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος ήταν 21,6 °C, η μέση σχετική υγρασία ήταν 43,5%, η μέση ταχύτητα ανέμου 0,01 m/sec και η ροή αέρα από την εσωτερική πόρτα ήταν 1,4 m<sup>3</sup>/h και από το παράθυρο 104,5 m<sup>3</sup>/h. Η μέση τιμή των PM<sub>10</sub> σωματιδίων ήταν 39 μg/m<sup>3</sup>. Οι όγκοι των αερίων δειγμάτων που συλλέχθηκαν κυμαίνονταν από 100 L έως 2.000 L ανάλογα με το δείγμα.

Στη συγκεκριμένη δειγματοληψία μελετήθηκε η ανθεκτικότητα του αερομεταφερόμενου μικροβιακού φορτίου στις ακόλουθες συγκεντρώσεις:

Ετερότροφα βακτήρια: **500μM Pb<sup>+2</sup>, 1.000 μM Pb<sup>+2</sup>, 10μg/ml streptomycin**

Μύκητες : **500μM Pb<sup>+2</sup>, 1.000 μM Pb<sup>+2</sup>, 10μg/ml cycloheximide**

Στα διαγράμματα 7.3.(α) και 7.3.(β) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων των ετερότροφων βακτηρίων και των μυκήτων αντίστοιχα.

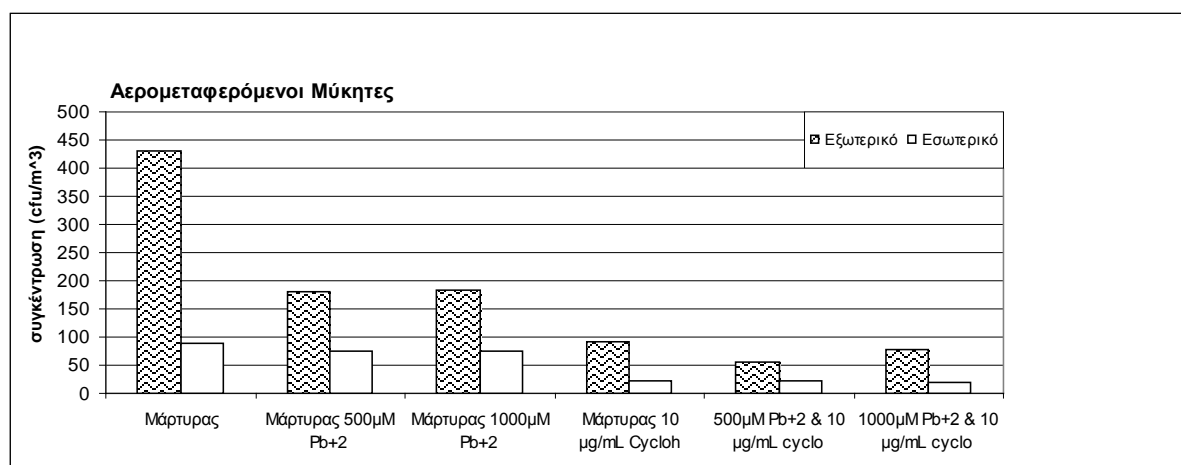


Διάγραμμα 7.3.(α). Συγκεντρώσεις αερομεταφερόμενων ετερότροφων βακτηρίων στο εξωτερικό και εσωτερικό περιβάλλον κατά την 14/12/2010 και ανθεκτικότητα αυτών σε 500μM Pb<sup>+2</sup>, 1000 μM Pb<sup>+2</sup> και 10μg/ml στρεπτομυκίνη (Strep).

Όπως φαίνεται από το διάγραμμα 7.3.(α) η μέση συγκέντρωση των αερομεταφερόμενων ετερότροφων βακτηρίων στο εξωτερικό (121 cfu/m<sup>3</sup>) ήταν σχεδόν η μισή από την μέση συγκέντρωση αυτών στο εσωτερικό περιβάλλον (257 cfu/m<sup>3</sup>). Όσον αφορά την ανάπτυξη αυτών σε θρεπτικά υποστρώματα με αυξανόμενη συγκέντρωση Pb<sup>+2</sup> και στρεπτομυκίνης και του συνδυασμού τους, δηλαδή με 500μM Pb<sup>+2</sup>, με 1.000 μM Pb<sup>+2</sup>, με 10μg/ml στρεπτομυκίνη καθώς επίσης και στο συνδυασμό 500μM Pb<sup>+2</sup> με 10μg/ml στρεπτομυκίνη και στον συνδυασμό 1.000 μM Pb<sup>+2</sup> με 10μg/ml στρεπτομυκίνη, η ανθεκτικότητα των ετερότροφων βακτηρίων ήταν φθίνουσα.

Πιο συγκεκριμένα όσον αφορά τα ποσοστά επιβίωσης των ετερότροφων βακτηρίων παρατηρήθηκαν τα ακόλουθα :

- ❖ Επιβίωση σε 500μM Pb<sup>+2</sup>: 57,9% στο εξωτερικό και 69,3% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 1.000 μM Pb<sup>+2</sup>: 46,3% στο εξωτερικό και 27,6% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 10μg/ml στρεπτομυκίνη: 15,7% στο εξωτερικό και 7,4% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε συνδυασμό 500μM Pb<sup>+2</sup> με 10μg/ml στρεπτομυκίνη: 11,2% στο εξωτερικό και 3,5% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε συνδυασμό 1.000μM Pb<sup>+2</sup> με 10μg/ml στρεπτομυκίνη: 2,9% στο εξωτερικό και 3,1% στο εσωτερικό περιβάλλον.



Διάγραμμα 7.3.(β). Συγκεντρώσεις των αερομεταφερόμενων μυκήτων στο εξωτερικό και εσωτερικό περιβάλλον κατά την 14/12/2010 και ανθεκτικότητα αυτών σε 500μM Pb<sup>+2</sup>, 1.000 μM Pb<sup>+2</sup> και 10μg/ml κυκλοεξιμίδιο (Cyclo).

Όπως μπορούμε να διακρίνουμε από το διάγραμμα 7.3.(β) η μέση συγκέντρωση των αερομεταφερόμενων μυκήτων στο εξωτερικό (430 cfu/m<sup>3</sup>) ήταν σχεδόν 5 φορές μεγαλύτερη από αυτήν στο εσωτερικό περιβάλλον (90 cfu/m<sup>3</sup>). Η ύπαρξη τόσο πολλών μυκήτων στο εξωτερικό περιβάλλον μπορεί να συσχετίζεται με την βροχόπτωση της προηγούμενης ημέρας. Όσον αφορά την ανάπτυξή τους σε θρεπτικό υπόστρωμα με 500μM Pb<sup>+2</sup> όσο και σε θρεπτικό υπόστρωμα με 1.000 μM Pb<sup>+2</sup> παρατηρούμε πως η ανθεκτικότητά τους μειώνεται στον ίδιο βαθμό. Σε θρεπτικό υπόστρωμα με 10μg/ml κυκλοεξιμίδιο καθώς επίσης και στον συνδυασμό 10μg/ml κυκλοεξιμίδιο με 500μM Pb<sup>+2</sup> και στον συνδυασμό 10μg/ml κυκλοεξιμίδιο με 1.000 μM Pb<sup>+2</sup> βλέπουμε όπως αναμενόταν μείωση στην αντοχής τους.

Πιο συγκεκριμένα όσον αφορά τα ποσοστά επιβίωσης των αερομεταφερόμενων μυκήτων παρατηρήθηκαν τα ακόλουθα:

- ❖ Επιβίωση σε 500μM Pb<sup>+2</sup>: 41,9% στο εξωτερικό και 84,4% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 1.000 μM Pb<sup>+2</sup>: 42,6% στο εξωτερικό και 84,4% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 10μg/ml κυκλοεξιμίδιο: 21,6% στο εξωτερικό και 24,4% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε συνδυασμό 500μM Pb<sup>+2</sup> με 10μg/ml κυκλοεξιμίδιο: 12,8% στο εξωτερικό και 25,6% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε συνδυασμό 1.000μM Pb<sup>+2</sup> με 10μg/ml κυκλοεξιμίδιο: 17,8% στο εξωτερικό και 21,1% στο εσωτερικό περιβάλλον.

#### 7.7.4 4<sup>η</sup> Δειγματοληψία

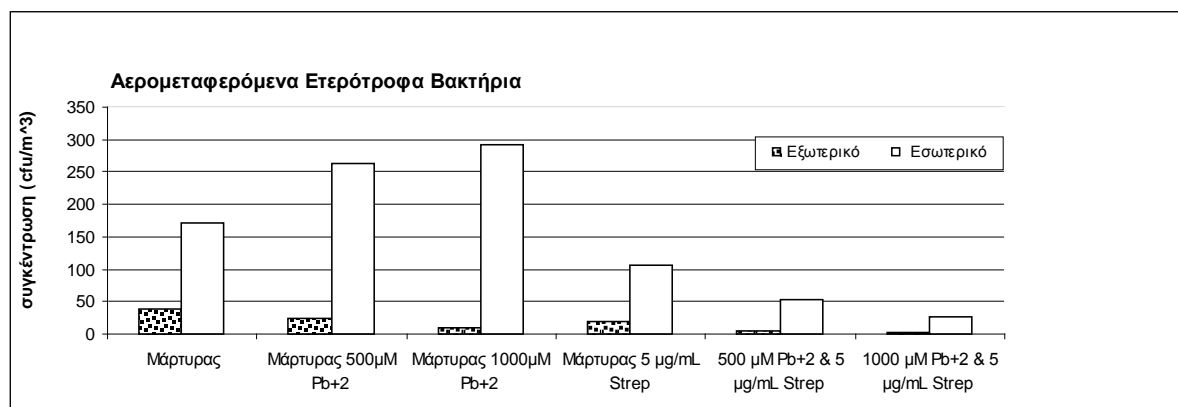
Η 4<sup>η</sup> δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στις 09/03/2011 και ώρα 10:23 πμ έως 12:25 μμ στον εξωτερικό χώρο της Σχολής Εφαρμοσμένων Επιστημών του Τ.Ε.Ι Κρήτης και από ώρα 12:53 μμ έως 15:28 μμ στον εσωτερικό χώρο της βιβλιοθήκης του Ιδρύματος. Κατά την δειγματοληψία στο εξωτερικό χώρο η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος ήταν 9,5 °C, η μέση σχετική υγρασία 46,3%, η μέση ταχύτητα ανέμου στο σημείο δειγματοληψίας 1,17 m/sec, ενώ η μέση ημερήσια ταχύτητα ανέμου ήταν 19,9 m/sec και η κύρια διεύθυνση ανέμου στο σημείο δειγματοληψίας ήταν ΒΔ. Η μέση τιμή των PM<sub>10</sub> σωματιδίων ήταν 23 μg/m<sup>3</sup>. Στον εσωτερικό χώρο η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος ήταν 22 °C, η μέση σχετική υγρασία ήταν 47%, η μέση ταχύτητα ανέμου 0 m/sec, ενώ μέτρηση στην ροή αέρα δεν πραγματοποιήθηκε. Η μέση τιμή των PM<sub>10</sub> σωματιδίων ήταν 22 μg/m<sup>3</sup>. Οι όγκοι των αερίων δειγμάτων που συλλέχθηκαν κυμαίνονταν από 100 L έως 2.000 L ανάλογα με το δείγμα.

Στη συγκεκριμένη δειγματοληψία μελετήθηκε η ανθεκτικότητα του αερομεταφερόμενου μικροβιακού φορτίου στις ακόλουθες συγκεντρώσεις:

Ετερότροφα βακτήρια: **500μM Pb<sup>+2</sup>**, **1.000 μM Pb<sup>+2</sup>**, **5μg/ml streptomycin**

Μύκητες : **500μM Pb<sup>+2</sup>**, **1.000 μM Pb<sup>+2</sup>**, **20μg/ml cycloheximide**

Στα διαγράμματα 7.4.(α) και 7.4.(β) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων των ετερότροφων βακτηρίων και των μυκήτων αντίστοιχα.

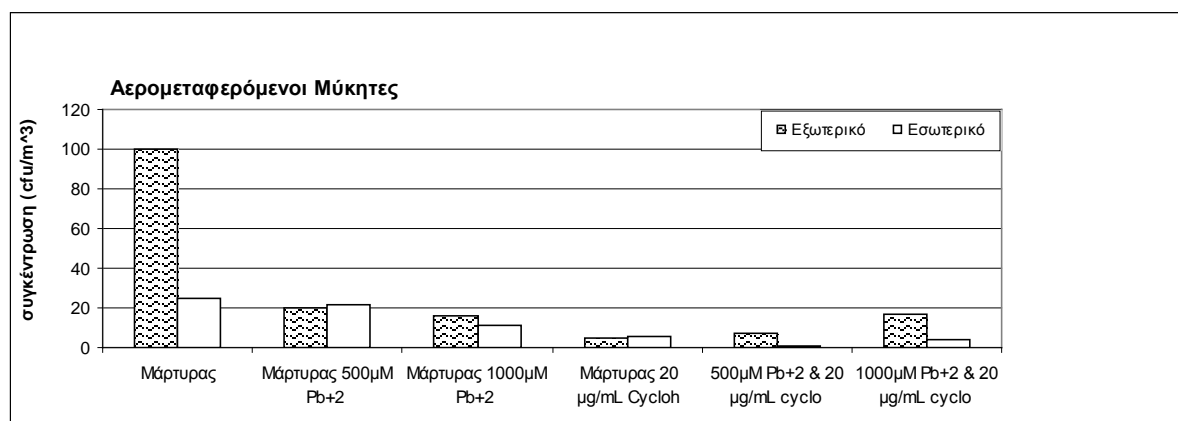


Διάγραμμα 7.4.(α). Συγκεντρώσεις αερομεταφερόμενων ετερότροφων βακτηρίων στο εξωτερικό και εσωτερικό περιβάλλον κατά την 09/03/2011 και ανθεκτικότητα αυτών σε 500μM Pb<sup>+2</sup>, 1.000 μM Pb<sup>+2</sup> και 5μg/ml στρεπτομυκίνη (Strep).

Όπως φαίνεται από το διάγραμμα 7.4(α), η μέση συγκέντρωση των αερομεταφερόμενων ετερότροφων βακτηρίων στο εξωτερικό (39 cfu/m<sup>3</sup>) ήταν μικρότερη από την μέση συγκέντρωση αυτών στο εσωτερικό περιβάλλον (171 cfu/m<sup>3</sup>). Μελετώντας την ανθεκτικότητά τους σε θρεπτικό υπόστρωμα με 500μM Pb<sup>+2</sup> καθώς και σε θρεπτικό υπόστρωμα με 1.000 μM Pb<sup>+2</sup> βλέπουμε πως ενώ στο εξωτερικό περιβάλλον αυτή μειωνόταν όσο μεγαλύτερη ήταν η συγκέντρωση του Pb<sup>+2</sup>, στο εσωτερικό περιβάλλον συνέβη το ακριβώς αντίθετο. Όσο αυξανόταν η συγκέντρωση Pb<sup>+2</sup> τόσο αυξανόταν και η ανάπτυξη των ετερότροφων βακτηρίων. Σε ότι αφορά το θρεπτικό υπόστρωμα με 5 μg/mL στρεπτομυκίνη βλέπουμε πως η ανοχή τους μειώθηκε αισθητά τόσο στο εξωτερικό όσο και στο εσωτερικό περιβάλλον. Η μείωση αυτή έγινε ακόμα μεγαλύτερη και στον συνδυασμό 500μM Pb<sup>+2</sup> με 5 μg/mL στρεπτομυκίνη σε ποσοστό 9% στο εξωτερικό περιβάλλον καθώς επίσης και στον συνδυασμό 1.000μM Pb<sup>+2</sup> με 5 μg/mL στρεπτομυκίνη σε ποσοστό 15,6% στο εσωτερικό περιβάλλον.

Πιο συγκεκριμένα όσον αφορά τα ποσοστά επιβίωσης των ετερότροφων βακτηρίων παρατηρήθηκαν τα ακόλουθα :

- ❖ Επιβίωση σε 500μM Pb<sup>+2</sup>: 61,5% στο εξωτερικό και 154,4% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 1.000μM Pb<sup>+2</sup>: 25,6% στο εξωτερικό και 170,2% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 5 μg/mL στρεπτομυκίνη: 51,3% στο εξωτερικό και 62% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 500μM Pb<sup>+2</sup> με 5 μg/mL στρεπτομυκίνη: 9% στο εξωτερικό και 31,3% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 1.000μM Pb<sup>+2</sup> με 5 μg/mL στρεπτομυκίνη: 3,8% στο εξωτερικό και 15,6% στο εσωτερικό περιβάλλον.



Διάγραμμα 7.4.(β). Συγκεντρώσεις των αερομεταφερόμενων μυκήτων στο εξωτερικό και εσωτερικό περιβάλλον κατά την 09/03/2011 και ανθεκτικότητα αυτών σε 500μM Pb<sup>+2</sup>, 1.000 μM Pb<sup>+2</sup> και 20μg/ml κυκλοεξιμίδιο (CycloH).

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 7.4.(β), η συγκέντρωση των μυκήτων στο εξωτερικό περιβάλλον (100 cfu/m<sup>3</sup>) ήταν υψηλότερη αυτής του εσωτερικού περιβάλλοντος (25 cfu/m<sup>3</sup>). Όσον αφορά την ανθεκτικότητά τους σε θρεπτικά υποστρώματα με 500μM Pb<sup>+2</sup>, με 1.000μM Pb<sup>+2</sup>, με 20μg/ml κυκλοεξιμίδιο καθώς και στον συνδυασμό αυτών, παρατηρούμε πως αυτή μειώθηκε τόσο στο εξωτερικό όσο και στο εσωτερικό περιβάλλον.

Πιο συγκεκριμένα όσον αφορά τα ποσοστά επιβίωσης των αερομεταφερόμενων μυκήτων παρατηρήθηκαν τα ακόλουθα:

- ❖ Επιβίωση σε 500μM Pb<sup>+2</sup>: 20,0% στο εξωτερικό και 88,0% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 1.000μM Pb<sup>+2</sup>: 16% στο εξωτερικό και 44% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 20μg/ml κυκλοεξιμίδιο: 5% στο εξωτερικό και 24% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε συνδυασμό 500μM Pb<sup>+2</sup> με 20μg/ml κυκλοεξιμίδιο: 7% στο εξωτερικό και 4% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε συνδυασμό 1.000μM Pb<sup>+2</sup> με 20μg/ml κυκλοεξιμίδιο: 17% στο εξωτερικό και 16% στο εσωτερικό περιβάλλον.

### 7.7.5 5<sup>η</sup> Δειγματοληψία

Η 5<sup>η</sup> δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στις 15/03/2011 και ώρα 09:44 πμ έως 11:46 πμ στον εξωτερικό χώρο της Σχολής Εφαρμοσμένων Επιστημών του Τ.Ε.Ι Κρήτης και από ώρα 12:05 μμ έως 14:58 μμ στον εσωτερικό χώρο της βιβλιοθήκης του Ιδρύματος. Κατά την δειγματοληψία στο εξωτερικό χώρο η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος ήταν 20,9 °C, η

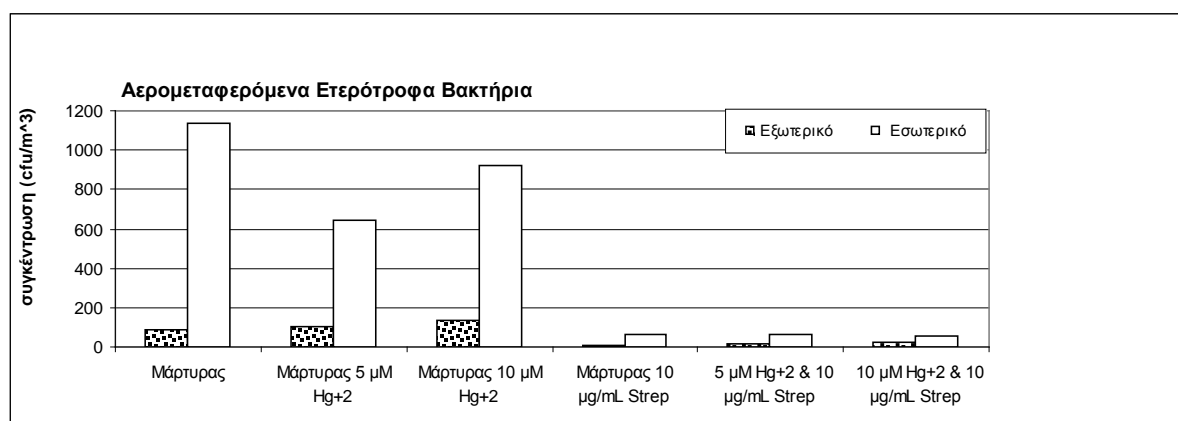
μέση σχετική υγρασία 52,4%, η μέση ταχύτητα ανέμου στο σημείο δειγματοληψίας 0,23 m/sec, ενώ η μέση ημερήσια ταχύτητα ανέμου ήταν 4,6 m/sec και η κύρια διεύθυνση ανέμου στο σημείο δειγματοληψίας ήταν ΒΔ. Η μέση τιμή των PM<sub>10</sub> σωματιδίων ήταν 64 µg/m<sup>3</sup>. Στον εσωτερικό χώρο η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος ήταν 22,2 °C, η μέση σχετική υγρασία ήταν 51%, η μέση ταχύτητα ανέμου 0,02 m/sec και η ροή αέρα από την εσωτερική πόρτα ήταν 2,83 m<sup>3</sup>/h και από το παράθυρο 11,7 m<sup>3</sup>/h. Η μέση τιμή των PM<sub>10</sub> σωματιδίων ήταν 48 µg/m<sup>3</sup>. Οι όγκοι των αερίων δειγμάτων που συλλέχθηκαν κυμαίνονταν από 100 L έως 2.000 L ανάλογα με το δείγμα.

Στη συγκεκριμένη δειγματοληψία μελετήθηκε η ανθεκτικότητα του αερομεταφερόμενου μικροβιακού φορτίου στις ακόλουθες συγκεντρώσεις:

Ετερότροφα βακτήρια: **5µM Hg<sup>+2</sup>, 10µM Hg<sup>+2</sup>, 10 µg/ml streptomycin**

Μυκήτες: **5µM Hg<sup>+2</sup>, 10µM Hg<sup>+2</sup>, 5 µg/ml cycloheximide**

Στα διαγράμματα 7.5.(α) και 7.5.(β) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων των ετερότροφων βακτηρίων και των μυκήτων αντίστοιχα.



Διάγραμμα 7.5.(α). Συγκεντρώσεις αερομεταφερόμενων ετερότροφων βακτηρίων στο εξωτερικό και εσωτερικό περιβάλλον κατά την 15/03/2011 και ανθεκτικότητα αυτών σε 5µM Hg<sup>+2</sup>, 10µM Hg<sup>+2</sup> και 10 µg/mL στρεπτομυκίνη (Strep).

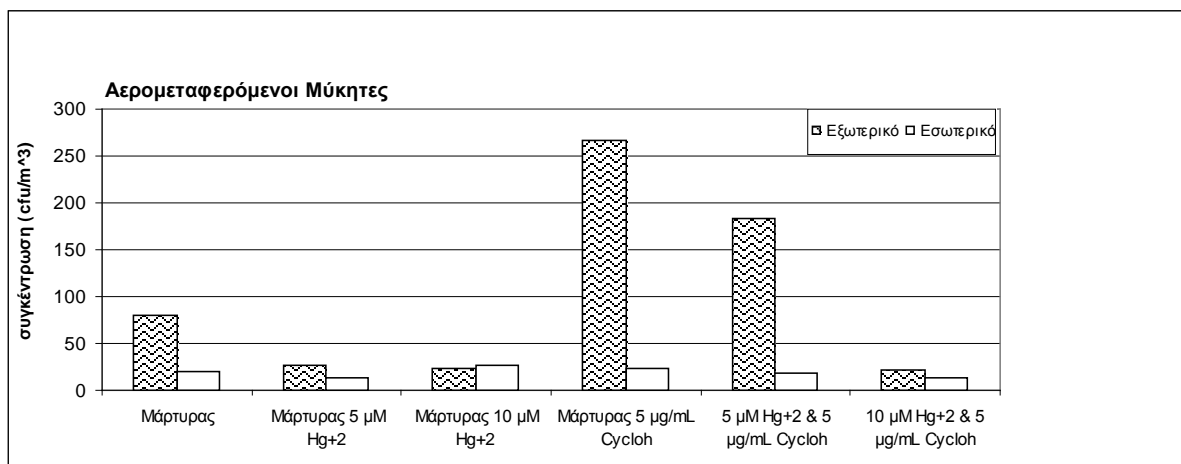
Όπως φαίνεται από το διάγραμμα 7.5.(α) η μέση συγκέντρωση των αερομεταφερόμενων ετερότροφων βακτηρίων στο εσωτερικό ήταν ιδιαίτερα αυξημένη (1.140 cfu/m<sup>3</sup>) σε σχέση με την μέση συγκέντρωσή τους στο εξωτερικό περιβάλλον (86 cfu/m<sup>3</sup>). Σε θρεπτικά υποστρώματα των 5µM Hg<sup>+2</sup> και 10µM Hg<sup>+2</sup> βλέπουμε πως ενώ στο εσωτερικό περιβάλλον η ανθεκτικότητά τους μειώθηκε, στο εξωτερικό περιβάλλον δεν επηρεάστηκε αρνητικά, αντίθετα αυνοήθηκε με ποσοστά επιβίωσης 116,3% και 153,5% αντίστοιχα. Σε θρεπτικό υπόστρωμα με 10 µg/mL στρεπτομυκίνη καθώς και στον συνδυασμό αυτής με 5µM Hg<sup>+2</sup> και με 10µM Hg<sup>+2</sup> παρατηρούμε πως το ποσοστό επιβίωσης μειώνεται τόσο στο εξωτερικό όσο και στο εσωτερικό περιβάλλον.

Πιο συγκεκριμένα όσον αφορά τα ποσοστά επιβίωσης των ετερότροφων βακτηρίων παρατηρήθηκαν τα ακόλουθα :

- ❖ Επιβίωση σε 5µM Hg<sup>+2</sup>: 116,3% στο εξωτερικό και 56,4% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 10µM Hg<sup>+2</sup>: 153,5% στο εξωτερικό και 81% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 10 µg/mL στρεπτομυκίνη: 12,2% στο εξωτερικό και 5,7% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 5µM Hg<sup>+2</sup> με 10 µg/mL στρεπτομυκίνη: 18,6% στο εξωτερικό και 5,3% στο εσωτερικό περιβάλλον.



- ❖ Επιβίωση σε  $10\mu\text{M Hg}^{+2}$  με  $10\ \mu\text{g}/\text{mL}$  στρεπτομυκίνη: 22,4% στο εξωτερικό και 4,8% στο εσωτερικό περιβάλλον.



Διάγραμμα 7.5.(β). Συγκεντρώσεις αερομεταφερόμενων μυκήτων στο εξωτερικό και εσωτερικό περιβάλλον κατά την 15/03/2011 και ανθεκτικότητα αυτών σε  $5\mu\text{M Hg}^{+2}$ ,  $10\mu\text{M Hg}^{+2}$  και  $5\ \mu\text{g}/\text{mL}$  κυκλοεξιμίδιο (Cyclohex).

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 7.5.(β), η συγκέντρωση των μυκήτων στο εξωτερικό περιβάλλον ( $80\ \text{cfu}/\text{m}^3$ ) ήταν υψηλότερη αυτής του εσωτερικού περιβάλλοντος ( $20\ \text{cfu}/\text{m}^3$ ). Μελετώντας το εσωτερικό περιβάλλον της βιβλιοθήκης του Ιδρύματος παρατηρούμε πως τα ποσοστά επιβίωσης δεν επηρεάστηκαν σε μεγάλο βαθμό από την ύπαρξη  $\text{HgCl}_2$ , ενώ στην περίπτωση του θρεπτικού υποστρώματος με  $10\mu\text{M Hg}^{+2}$  και του θρεπτικού υποστρώματος με  $5\ \mu\text{g}/\text{mL}$  κυκλοεξιμίδιο υπήρξε και μια μικρή αύξηση της ανθεκτικότητας σε ποσοστά 130% και 120% αντίστοιχα. Στο εξωτερικό περιβάλλον βλέπουμε πως στο θρεπτικό υπόστρωμα με  $5\ \mu\text{g}/\text{mL}$  κυκλοεξιμίδιο η ανθεκτικότητα της αντοχής των αερομεταφερόμενων μυκήτων τριπλασιάστηκε (ποσοστό 332,5%). Το ίδιο παρατηρήθηκε και στο θρεπτικό υπόστρωμα με  $5\mu\text{M Hg}^{+2}$  και  $5\ \mu\text{g}/\text{mL}$  κυκλοεξιμίδιο, όπου η ανθεκτικότητά τους αυξήθηκε κατά 2,3 φορές.

Πιο συγκεκριμένα όσον αφορά τα ποσοστά επιβίωσης των αερομεταφερόμενων μυκήτων παρατηρήθηκαν τα ακόλουθα:

- ❖ Επιβίωση σε  $5\mu\text{M Hg}^{+2}$ : 32,5% στο εξωτερικό και 70% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε  $10\mu\text{M Hg}^{+2}$ : 28,8% στο εξωτερικό και 130% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε  $5\ \mu\text{g}/\text{mL}$  κυκλοεξιμίδιο: 332,5% στο εξωτερικό και 120% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε  $5\mu\text{M Hg}^{+2}$  με  $5\ \mu\text{g}/\text{mL}$  κυκλοεξιμίδιο: 230% στο εξωτερικό και 87,5% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε  $10\mu\text{M Hg}^{+2}$  με  $5\ \mu\text{g}/\text{mL}$  κυκλοεξιμίδιο: 26,3% στο εξωτερικό και 63,8% στο εσωτερικό περιβάλλον.

Τα προαναφερόμενα αποτελέσματα δείχνουν μια τελείως διαφορετική συμπεριφορά της αερομεταφερόμενης μικροβιακής κοινότητας στο εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει τη διαφορετική της σύσταση. Ενώ τα αερομεταφερόμενα ετερότροφα βακτήρια κατά τη συγκεκριμένη δειγματοληψία είναι ιδιαίτερα ανθεκτικά στις συγκεντρώσεις του υδραργύρου, οι αερομεταφερόμενοι μύκητες είναι ιδιαίτερα ανθεκτικοί στο κυκλοεξιμίδιο.

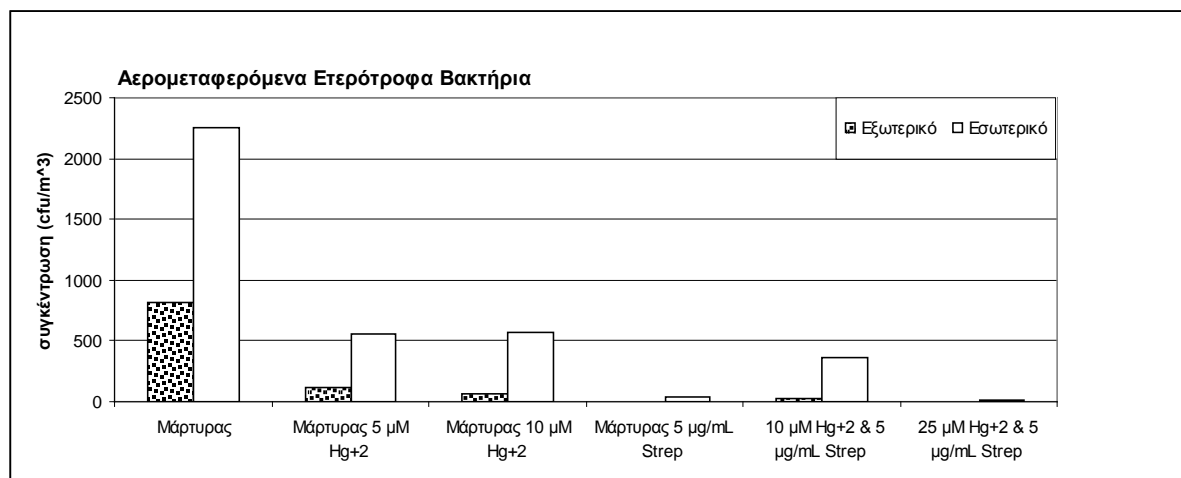
### 7.7.6 6<sup>η</sup> Δειγματοληψία

Η 6<sup>η</sup> δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στις 22/03/2011 και ώρα 09:41 πμ έως 11:40 πμ στον εξωτερικό χώρο της Σχολής Εφαρμοσμένων Επιστημών του Τ.Ε.Ι Κρήτης και από ώρα 13:01 μμ έως 15:10 μμ στον εσωτερικό χώρο της βιβλιοθήκης του Ιδρύματος. Κατά την δειγματοληψία στο εξωτερικό χώρο η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος ήταν 12,6 °C, η μέση σχετική υγρασία 58,2%, η μέση ταχύτητα ανέμου στο σημείο δειγματοληψίας 0,42 m/sec, ενώ η μέση ημερήσια ταχύτητα ανέμου ήταν 16,6 m/sec και η κύρια διεύθυνση ανέμου στο σημείο δειγματοληψίας ήταν Β. Η μέση τιμή των PM<sub>10</sub> σωματιδίων ήταν 58 μg/m<sup>3</sup>. Στον εσωτερικό χώρο η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος ήταν 18,5 °C, η μέση σχετική υγρασία ήταν 55,3%, η μέση ταχύτητα ανέμου 0 m/sec, ενώ μέτρηση στην ροή αέρα δεν πραγματοποιήθηκε. Η μέση τιμή των PM<sub>10</sub> σωματιδίων ήταν 70 μg/m<sup>3</sup>. Οι όγκοι των αερίων δειγμάτων που συλλέχθηκαν κυμαίνονταν από 100 L έως 2.000 L ανάλογα με το δείγμα.

Στη συγκεκριμένη δειγματοληψία μελετήθηκε η ανθεκτικότητα του αερομεταφερόμενου μικροβιακού φορτίου στις ακόλουθες συγκεντρώσεις:

Ετερότροφα βακτήρια: **5μM Hg<sup>+2</sup>, 10μM Hg<sup>+2</sup>, 25μM Hg<sup>+2</sup>, 5 μg/ml streptomycin**  
Μύκητες: **5μM Hg<sup>+2</sup>, 10μM Hg<sup>+2</sup>, 5 μg/ml cycloheximide**

Στα διαγράμματα 7.6.(α) και 7.6.(β) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων των ετερότροφων βακτηρίων και των μυκήτων αντίστοιχα.



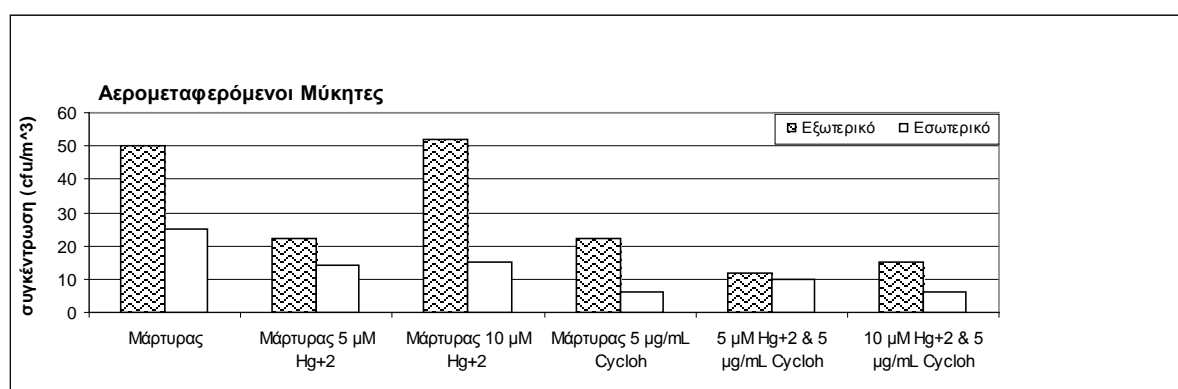
Διάγραμμα 7.6.(α). Συγκεντρώσεις αερομεταφερόμενων ετερότροφων βακτηρίων στο εξωτερικό και εσωτερικό περιβάλλον κατά την 22/03/2011 και ανθεκτικότητα αυτών σε 5μM Hg<sup>+2</sup>, 10μM Hg<sup>+2</sup> και 5 μg/mL στρεπτομυκίνη (Strep).

Παρατηρώντας αρχικά την μέση συγκέντρωση των αερομεταφερόμενων ετερότροφων βακτηρίων στο εσωτερικό περιβάλλον (2.260 cfu/m<sup>3</sup>) σε σχέση με το εξωτερικό περιβάλλον (822 cfu/m<sup>3</sup>) βλέπουμε μια μεγάλη διαφορά μεταξύ των τιμών. Αυτό οφείλεται στο ότι κατά την καταμέτρηση των αποικιών στα τριβλία του μάρτυρα του εσωτερικού περιβάλλοντος υπήρχε εμφανής επιμόλυνση με αποτέλεσμα αυτό να αυξήσει την ανάπτυξη των ετερότροφων βακτηρίων. Σε θρεπτικό υπόστρωμα με 5μM Hg<sup>+2</sup> καθώς επίσης και σε θρεπτικό υπόστρωμα με 10μM Hg<sup>+2</sup>, η ανθεκτικότητά τους μειώνεται περίπου κατά 75% και στις δύο περιπτώσεις στο εσωτερικό περιβάλλον, ενώ παρατηρούμε πως στο θρεπτικό υπόστρωμα με 5 μg/mL στρεπτομυκίνη τα αερομεταφερόμενα βακτήρια δεν αναπτύχθηκαν σχεδόν καθόλου τόσο στο εξωτερικό όσο και στο εσωτερικό περιβάλλον. Κατά την παρασκευή των θρεπτικών υποστρωμάτων αντί για 5μM Hg<sup>+2</sup> με 5 μg/mL στρεπτομυκίνη,

παρασκευάστηκε θρεπτικό υπόστρωμα με  $25\mu\text{M Hg}^{+2}$  και  $5\text{ }\mu\text{g/mL}$  στρεπτομυκίνη γι'αυτό και η ανάπτυξη των θρεπτικών υποστρωμάτων ήταν μηδενική.

Πιο συγκεκριμένα όσον αφορά τα ποσοστά επιβίωσης των ετερότροφων βακτηρίων παρατηρήθηκαν τα ακόλουθα :

- ❖ Επιβίωση σε  $5\mu\text{M Hg}^{+2}$ : 13,9% στο εξωτερικό και 24,9% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε  $10\mu\text{M Hg}^{+2}$ : 7,9% στο εξωτερικό και 25,2% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε  $5\text{ }\mu\text{g/mL}$  στρεπτομυκίνη: 0,3% στο εξωτερικό και 1,5% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε  $10\mu\text{M Hg}^{+2}$  με  $5\text{ }\mu\text{g/mL}$  στρεπτομυκίνη: 3,1% στο εξωτερικό και 16% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε  $25\mu\text{M Hg}^{+2}$  με  $5\text{ }\mu\text{g/mL}$  στρεπτομυκίνη: 0,2% στο εξωτερικό και 0,5% στο εσωτερικό περιβάλλον.



Διάγραμμα 7.6.(β). Συγκεντρώσεις αερομεταφερόμενων μυκήτων στο εξωτερικό και εσωτερικό περιβάλλον κατά την 22/03/2011 και ανθεκτικότητα αυτών σε  $5\mu\text{M Hg}^{+2}$ ,  $10\mu\text{M Hg}^{+2}$  και  $5\text{ }\mu\text{g/ml}$  κυκλοεξιμίδιο (Cyclohex).

Λόγω των παράδοξων αποτελεσμάτων σε κάποιες συγκεντρώσεις στην 5<sup>η</sup> δειγματοληψία, επαναλήφθηκαν σε αυτήν οι ίδιες μετρήσεις στους αερομεταφερόμενους μύκητες. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 7.6.(β) η συγκέντρωση των μυκήτων στο εξωτερικό περιβάλλον ( $50\text{ cfu/m}^3$ ) ήταν η διπλάσια αυτής του εσωτερικού περιβάλλοντος ( $25\text{ cfu/m}^3$ ). Η συμπεριφορά τους στα βαρέα μέταλλα και στο μυκητοκτόνο σε αυτήν την δειγματοληψία ήταν η αναμενόμενη τόσο στο εσωτερικό όσο και στο εξωτερικό περιβάλλον, με τα ποσοστά επιβίωσής τους να μειώνονται με αυξανόμενη συγκέντρωση μυκητοκτόνου και τοξικής ουσίας. Μόνο στην περίπτωση του θρεπτικού υποστρώματος με  $10\mu\text{M Hg}^{+2}$  παρατηρούμε πως στο εξωτερικό περιβάλλον το ποσοστό επιβίωσης των αερομεταφερόμενων μυκήτων αυξάνεται στο 104%.

Πιο συγκεκριμένα όσον αφορά τα ποσοστά επιβίωσης των αερομεταφερόμενων μυκήτων παρατηρήθηκαν τα ακόλουθα:

- ❖ Επιβίωση σε  $5\mu\text{M Hg}^{+2}$ : 44% στο εξωτερικό και 56% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε  $10\mu\text{M Hg}^{+2}$ : 104% στο εξωτερικό και 60% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε  $5\text{ }\mu\text{g/ml}$  κυκλοεξιμίδιο: 44% στο εξωτερικό και 24% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε  $5\mu\text{M Hg}^{+2}$  και  $5\text{ }\mu\text{g/ml}$  κυκλοεξιμίδιο: 24% στο εξωτερικό και 40% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε  $10\mu\text{M Hg}^{+2}$  και  $5\text{ }\mu\text{g/ml}$  κυκλοεξιμίδιο: 30% στο εξωτερικό και 24% στο εσωτερικό περιβάλλον.

### 7.7.7<sup>η</sup> Δειγματοληψία

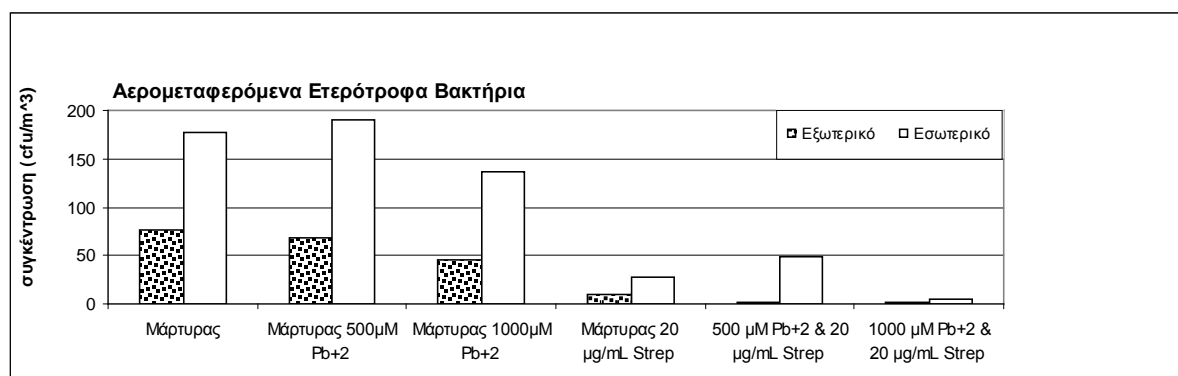
Η 7<sup>η</sup> δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στις 28/03/2011 και ώρα 09:30 πμ έως 11:51 πμ στον εξωτερικό χώρο της Σχολής Εφαρμοσμένων Επιστημών του Τ.Ε.Ι Κρήτης και από ώρα 12:33 μμ έως 15:50 μμ στον εσωτερικό χώρο της βιβλιοθήκης του Ιδρύματος. Κατά την δειγματοληψία στο εξωτερικό χώρο η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος ήταν 24,7 °C, η μέση σχετική υγρασία 40,2%, η μέση ταχύτητα ανέμου στο σημείο δειγματοληψίας 0,15 m/sec, ενώ η μέση ημερήσια ταχύτητα ανέμου ήταν 7 m/sec και η κύρια διεύθυνση ανέμου στο σημείο δειγματοληψίας ήταν ιδιαίτερα ευμετάβλητος και έπνεε από ΒΒΔ έως Δ. Η μέση τιμή των PM<sub>10</sub> σωματιδίων ήταν 75 μg/m<sup>3</sup>. Στον εσωτερικό χώρο η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος ήταν 21,1 °C, η μέση σχετική υγρασία ήταν 48,5%, η μέση ταχύτητα ανέμου 0,08 m/sec, ενώ μέτρηση στην ροή αέρα δεν πραγματοποιήθηκε. Η μέση τιμή των PM<sub>10</sub> σωματιδίων ήταν 30 μg/m<sup>3</sup>. Οι όγκοι των αερίων δειγμάτων που συλλέχθηκαν κυμαίνονταν από 100 L έως 2.000 L ανάλογα με το δείγμα.

Στη συγκεκριμένη δειγματοληψία μελετήθηκε η ανθεκτικότητα του αερομεταφερόμενου μικροβιακού φορτίου στις ακόλουθες συγκεντρώσεις:

Ετερότροφα βακτήρια: **500μM Pb<sup>+2</sup>**, **1.000 μM Pb<sup>+2</sup>**, **20μg/ml streptomycin**

Μύκητες : **500μM Pb<sup>+2</sup>**, **1.000 μM Pb<sup>+2</sup>**, **5μg/ml cycloheximide**

Στα διαγράμματα 7.7.(α) και 7.7.(β) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων των ετερότροφων βακτηρίων και των μυκήτων αντίστοιχα.

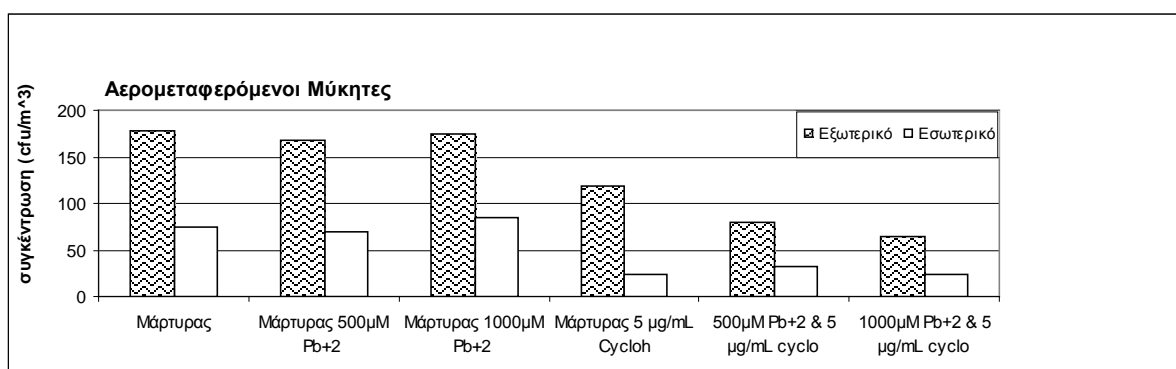


Διάγραμμα 7.7.(α). Συγκεντρώσεις αερομεταφερόμενων ετερότροφων βακτηρίων στο εξωτερικό και εσωτερικό περιβάλλον κατά την 28/03/2011 και ανθεκτικότητα αυτών σε 500μM Pb<sup>+2</sup>, 1.000 μM Pb<sup>+2</sup> και 20μg/ml στρεπτομυκίνη (Strep).

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 7.7.(α), η μέση συγκέντρωση των αερομεταφερόμενων ετερότροφων βακτηρίων στο εσωτερικό περιβάλλον (177 cfu/m<sup>3</sup>) ήταν υψηλότερη της αντίστοιχης στο εξωτερικό περιβάλλον (76 cfu/m<sup>3</sup>). Σχετικά με την ανθεκτικότητα των αερομεταφερόμενων βακτηρίων στο εξωτερικό περιβάλλον παρατηρήθηκε μια φθίνουσα αντοχή αυτών σε συγκεντρώσεις 500 μM Pb<sup>+2</sup>, 1.000 μM Pb<sup>+2</sup>, 20μg/ml στρεπτομυκίνη και στον συνδυασμό αυτών. Στο εσωτερικό περιβάλλον παρατηρήθηκε παρόμοια φθίνουσα αντοχή των ετερότροφων βακτηρίων με μοναδική εξαίρεση την συγκέντρωση 500 μM Pb<sup>+2</sup>, όπου εκεί φαίνεται να μην επηρεάστηκε η ανάπτυξη των βακτηρίων και το ποσοστό επιβίωσης τους αυξήθηκε στο 107,3%. Επίσης αξίζει να σημειωθεί πως η ύπαρξη 20μg/ml στρεπτομυκίνη στα θρεπτικά υποστρώματα καθώς επίσης και ο συνδυασμός 20μg/ml στρεπτομυκίνη τόσο με 500 μM Pb<sup>+2</sup> όσο και με 1.000 μM Pb<sup>+2</sup> επηρεάζει την αντοχή τους σε ιδιαίτερα μεγάλο βαθμό (1 - 3%).

Πιο συγκεκριμένα όσον αφορά τα ποσοστά επιβίωσης των ετερότροφων βακτηρίων παρατηρήθηκαν τα ακόλουθα :

- ❖ Επιβίωση σε 500  $\mu\text{M Pb}^{+2}$ : 89,5% στο εξωτερικό και 107,3% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 1.000  $\mu\text{M Pb}^{+2}$ : 59,2% στο εξωτερικό και 77% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 20 $\mu\text{g/ml}$  στρεπτομυκίνη: 11,8% στο εξωτερικό και 15,3% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 500  $\mu\text{M Pb}^{+2}$  με 20 $\mu\text{g/ml}$  στρεπτομυκίνη: 2% στο εξωτερικό και 26,8% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 1.000  $\mu\text{M Pb}^{+2}$  με 20 $\mu\text{g/ml}$  στρεπτομυκίνη: 1,3% στο εξωτερικό και 3% στο εσωτερικό περιβάλλον.



Διάγραμμα 7.7.(β). Συγκεντρώσεις των αερομεταφερόμενων μυκήτων στο εξωτερικό και εσωτερικό περιβάλλον κατά την 28/03/2011 και ανθεκτικότητα αυτών σε 500 $\mu\text{M Pb}^{+2}$ , 1.000  $\mu\text{M Pb}^{+2}$  και 5 $\mu\text{g/ml}$  κυκλοεξιμίδιο (Cyclohex).

Όπως βλέπουμε στο διάγραμμα 7.7.(β), η μέση συγκέντρωση των αερομεταφερόμενων μυκήτων στο εξωτερικό περιβάλλον (178 cfu/m<sup>3</sup>) ήταν υψηλότερη από αυτή στο εσωτερικό περιβάλλον (74 cfu/m<sup>3</sup>). Στη συγκεκριμένη δειγματοληψία η συμπεριφορά της ανάπτυξης τους σε θρεπτικά υποστρώματα με βαρέα μέταλλα και κυκλοεξιμίδιο τόσο στο εξωτερικό όσο και στο εσωτερικό περιβάλλον ήταν παρόμοια με σχεδόν ίδια ποσοστά επιβίωσης. Παρατηρούμε λοιπόν πως σε θρεπτικά υποστρώματα με 500  $\mu\text{M Pb}^{+2}$  και με 1.000  $\mu\text{M Pb}^{+2}$  η επιβίωσή τους έχει σχεδόν ίδια ποσοστά σε σχέση με τον μάρτυρα και στα δύο περιβάλλοντα. Με την ύπαρξη όμως 5 $\mu\text{g/ml}$  κυκλοεξιμίδιο καθώς και στον συνδυασμό 500  $\mu\text{M Pb}^{+2}$  με 5 $\mu\text{g/ml}$  κυκλοεξιμίδιο και στον συνδυασμό 1.000  $\mu\text{M Pb}^{+2}$  με 5 $\mu\text{g/ml}$  κυκλοεξιμίδιο η ανθεκτικότητά τους εξασθενεί. Και σε αυτές τις περιπτώσεις μετρήθηκαν σχεδόν ίδια ποσοστά επιβίωσης στο εξωτερικό και εσωτερικό περιβάλλον, υποδεικνύοντας παρόμοια σύσταση στην αερομεταφερόμενη μικροβιακή κοινότητα.

Πιο συγκεκριμένα όσον αφορά τα ποσοστά επιβίωσης των αερομεταφερόμενων μυκήτων παρατηρήθηκαν τα ακόλουθα:

- ❖ Επιβίωση σε 500  $\mu\text{M Pb}^{+2}$ : 94,4% στο εξωτερικό και 94,6% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 1.000  $\mu\text{M Pb}^{+2}$ : 97,8% στο εξωτερικό και 113,5% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 5 $\mu\text{g/ml}$  κυκλοεξιμίδιο: 66,9% στο εξωτερικό και 31,1% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 500  $\mu\text{M Pb}^{+2}$  με 5 $\mu\text{g/ml}$  κυκλοεξιμίδιο: 44% στο εξωτερικό και 44,6% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 1.000  $\mu\text{M Pb}^{+2}$  με 5 $\mu\text{g/ml}$  κυκλοεξιμίδιο: 36% στο εξωτερικό και 31,8% στο εσωτερικό περιβάλλον.

### 7.7.8 8<sup>η</sup> Δειγματοληψία

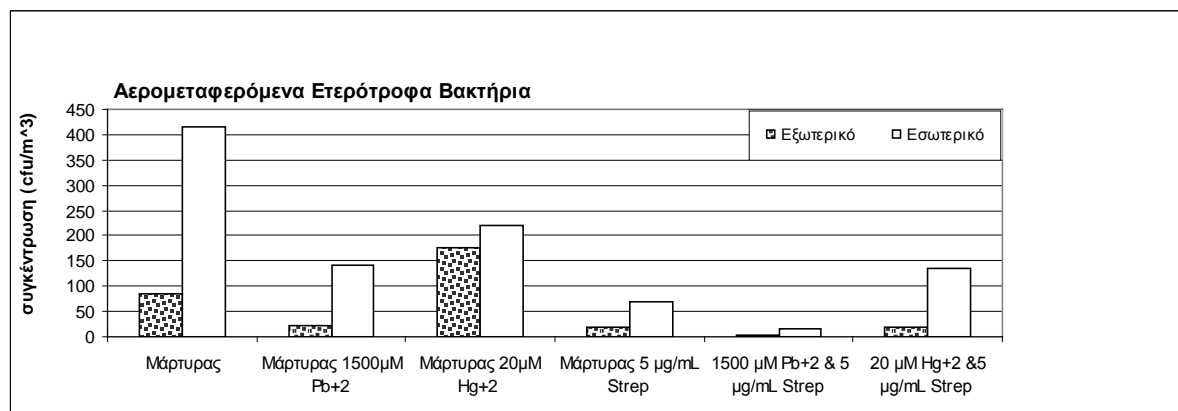
Η 8<sup>η</sup> δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στις 05/04/2011 και ώρα 09:31 πμ έως 12:40 μμ στον εξωτερικό χώρο της Σχολής Εφαρμοσμένων Επιστημών του Τ.Ε.Ι Κρήτης και από ώρα 13:46 μμ έως 17:40 μμ στον εσωτερικό χώρο της βιβλιοθήκης του Ιδρύματος. Κατά την δειγματοληψία στο εξωτερικό χώρο η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος ήταν 25 °C, η μέση σχετική υγρασία 47%, η μέση ταχύτητα ανέμου στο σημείο δειγματοληψίας 0,17 m/sec, ενώ η μέση ημερήσια ταχύτητα ανέμου ήταν 7,2 m/sec και η κύρια διεύθυνση ανέμου στο σημείο δειγματοληψίας ήταν ιδιαίτερα ευμετάβλητος και έπνεε από ΔΝΔ έως Δ. Στην συγκεκριμένη δειγματοληψία μέση τιμή των PM<sub>10</sub> σωματιδίων στον εξωτερικό χώρο δεν καταγράφηκε λόγω πειραματικού λάθους. Στον εσωτερικό χώρο η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος ήταν 21,8 °C, η μέση σχετική υγρασία ήταν 52,8%, η μέση ταχύτητα ανέμου 0 m/sec, ενώ μέτρηση στην ροή αέρα δεν πραγματοποιήθηκε. Η μέση τιμή των PM<sub>10</sub> σωματιδίων ήταν 73 μg/m<sup>3</sup>. Οι όγκοι των αερίων δειγμάτων που συλλέχθηκαν κυμαίνονταν από 100 L έως 2.000 L ανάλογα με το δείγμα.

Στη συγκεκριμένη δειγματοληψία μελετήθηκε η ανθεκτικότητα του αερομεταφερόμενου μικροβιακού φορτίου στις ακόλουθες συγκεντρώσεις:

Ετερότροφα βακτήρια: **1.500μM Pb<sup>+2</sup>, 20 μM Hg<sup>+2</sup>, 5μg/ml streptomycin**

Μύκητες : **1.500μM Pb<sup>+2</sup>, 20 μM Hg<sup>+2</sup>, 5μg/ml cycloheximide**

Στα διαγράμματα 7.8.(α) και 7.8.(β) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων των ετερότροφων βακτηρίων και των μυκήτων αντίστοιχα.

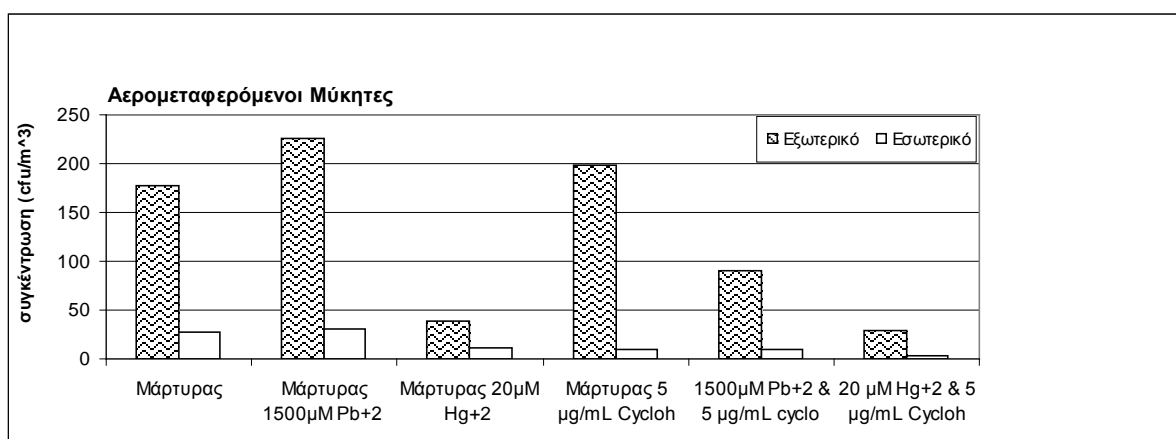


Διάγραμμα 7.8.(α). Συγκεντρώσεις αερομεταφερόμενων ετερότροφων βακτηρίων στο εξωτερικό και εσωτερικό περιβάλλον κατά την 05/04/2011 και ανθεκτικότητα αυτών σε 1.500μM Pb<sup>+2</sup>, 20 μM Hg<sup>+2</sup> και 5μg/ml στρεπτομυκίνη (Strep).

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 7.8.(α), η μέση συγκέντρωση των αερομεταφερόμενων ετερότροφων βακτηρίων στο εσωτερικό περιβάλλον (416 cfu/m<sup>3</sup>) ήταν υψηλότερη της αντίστοιχης στο εξωτερικό περιβάλλον (86 cfu/m<sup>3</sup>) περίπου 5 φορές. Όσον αφορά την ανθεκτικότητά τους στο εσωτερικό περιβάλλον παρατηρούμε πως αυτή μειώθηκε κατά πολυ σε θρεπτικά υποστρώματα με 1.500 μM Pb<sup>+2</sup>, με 20 μM Hg<sup>+2</sup>, με 5μg/ml στρεπτομυκίνη καθώς επίσης και στον συνδυασμό αυτών. Η μεγαλύτερη μείωση διακρίνεται στην περίπτωση των 1.500 μM Pb<sup>+2</sup> με 5μg/ml στρεπτομυκίνη που έφτασε σε ποσοστό επιβίωσης 3,7%. Στο εξωτερικό περιβάλλον η επιβίωση των ετερότροφων βακτηρίων μειώθηκε σε θρεπτικά υποστρώματα με 1.500 μM Pb<sup>+2</sup>, με 5μg/ml Strep καθώς και στους συνδυασμούς αυτών. Σε θρεπτικό υπόστρωμα με 20 μM Hg<sup>+2</sup> όμως παρατηρήθηκε στο εξωτερικό περιβάλλον μόνο μια αύξηση της ανάπτυξής τους σε ποσοστό 204,7% συγκριτικά με τον μάρτυρα, ενώ στον συνδυασμό 20 μM Hg<sup>+2</sup> με 5μg/ml στρεπτομυκίνη η ανθεκτικότητά τους μειώθηκε στο 22,1%.

Πιο συγκεκριμένα όσον αφορά τα ποσοστά επιβίωσης των ετερότροφων βακτηρίων παρατηρήθηκαν τα ακόλουθα :

- ❖ Επιβίωση σε 1.500  $\mu\text{M Pb}^{+2}$ : 26,7% στο εξωτερικό και 33,9% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 20  $\mu\text{M Hg}^{+2}$ : 204,7% στο εξωτερικό και 53% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 5 $\mu\text{g/ml}$  στρεπτομυκίνη: 23,3% στο εξωτερικό και 16,8% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 1.500  $\mu\text{M Pb}^{+2}$  με 5 $\mu\text{g/ml}$  στρεπτομυκίνη: 2,3% στο εξωτερικό και 3,7% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 20  $\mu\text{M Hg}^{+2}$  με 5 $\mu\text{g/ml}$  στρεπτομυκίνη: 22,1% στο εξωτερικό και 32,5% στο εσωτερικό περιβάλλον.



Διάγραμμα 7.8.(β). Συγκεντρώσεις των αερομεταφερόμενων μυκήτων στο εξωτερικό και εσωτερικό περιβάλλον κατά την 05/04/2011 και ανθεκτικότητα αυτών σε 1.500 $\mu\text{M Pb}^{+2}$ , 20  $\mu\text{M Hg}^{+2}$  και 5 $\mu\text{g/ml}$  κυκλοεξιμίδιο (Cyclo).

Όπως βλέπουμε στο διάγραμμα 7.8.(β), η μέση συγκέντρωση των αερομεταφερόμενων μυκήτων στο εξωτερικό περιβάλλον (178  $\text{cfu/m}^3$ ) ήταν υψηλότερη από αυτή στο εσωτερικό περιβάλλον (27  $\text{cfu/m}^3$ ). Όσον αφορά το εξωτερικό περιβάλλον παρατηρούμε μια αύξηση της ανάπτυξης των μυκήτων στα θρεπτικά υποστρώματα με 1.500  $\mu\text{M Pb}^{+2}$  και με 5 $\mu\text{g/ml}$  κυκλοεξιμίδιο. Τα ποσοστά αυτά είναι της τάξεως του 126,7% και 111,2% αντίστοιχα. Στο εσωτερικό περιβάλλον οι αερομεταφερόμενοι μύκητες βλέπουμε πως μειώθηκαν σε θρεπτικά υποστρώματα με 20  $\mu\text{M Hg}^{+2}$ , με 5 $\mu\text{g/ml}$  κυκλοεξιμίδιο, στον συνδυασμό αυτών καθώς επίσης και στον συνδυασμό 1.500  $\mu\text{M Pb}^{+2}$  με 5 $\mu\text{g/ml}$  κυκλοεξιμίδιο, ενώ στην περίπτωση του θρεπτικού υποστρώματος με 1.500  $\mu\text{M Pb}^{+2}$  παρατηρούμε πως οι μύκητες δεν επηρεάστηκαν σχεδόν καθόλου.

Πιο συγκεκριμένα όσον αφορά τα ποσοστά επιβίωσης των αερομεταφερόμενων μυκήτων παρατηρήθηκαν τα ακόλουθα:

- ❖ Επιβίωση σε 1.500 $\mu\text{M Pb}^{+2}$ : 126,7% στο εξωτερικό και 111,1% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 20  $\mu\text{M Hg}^{+2}$ : 21,3% στο εξωτερικό και 44,4% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 5 $\mu\text{g/ml}$  κυκλοεξιμίδιο: 111,2% στο εξωτερικό και 37% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 1500 $\mu\text{M Pb}^{+2}$  με 5 $\mu\text{g/ml}$  κυκλοεξιμίδιο: 51% στο εξωτερικό και 35,2% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 20  $\mu\text{M Hg}^{+2}$  με 5 $\mu\text{g/ml}$  κυκλοεξιμίδιο: 16,3% στο εξωτερικό και 10,2% στο εσωτερικό περιβάλλον.

### 7.7.9 9<sup>η</sup> Δειγματοληψία

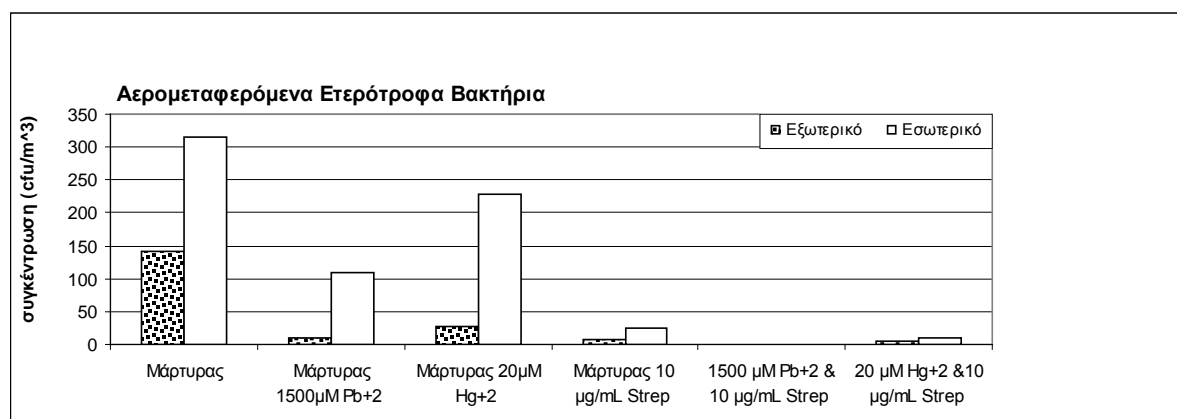
Η 9<sup>η</sup> δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στις 13/04/2011 και ώρα 09:40 πμ έως 12:24 μμ στον εξωτερικό χώρο της Σχολής Εφαρμοσμένων Επιστημών του Τ.Ε.Ι Κρήτης και από ώρα 12:52 μμ έως 16:15 μμ στον εσωτερικό χώρο της βιβλιοθήκης του Ιδρύματος. Κατά την δειγματοληψία στο εξωτερικό χώρο η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος ήταν 22,2 °C, η μέση σχετική υγρασία 47,8%, η μέση ταχύτητα ανέμου στο σημείο δειγματοληψίας 0,33 m/sec, ενώ η μέση ημερήσια ταχύτητα ανέμου ήταν 5,8 m/sec και η κύρια διεύθυνση ανέμου στο σημείο της δειγματοληψίας ήταν ΝΑ. Η μέση τιμή των PM<sub>10</sub> σωματιδίων ήταν 37 μg/m<sup>3</sup>. Στον εσωτερικό χώρο η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος ήταν 23,2 °C, η μέση σχετική υγρασία ήταν 44,9%, η μέση ταχύτητα ανέμου 0,02 m/sec και η ροή αέρα από την εσωτερική πόρτα ήταν 1,01 m<sup>3</sup>/h ενώ το παράθυρο ήταν κλειστό. Η μέση τιμή των PM<sub>10</sub> σωματιδίων ήταν 54 μg/m<sup>3</sup>. Οι όγκοι των αερίων δειγμάτων που συλλέχθηκαν κυμαίνονταν από 100 L έως 1.500 L ανάλογα με το δείγμα.

Στη συγκεκριμένη δειγματοληψία μελετήθηκε η ανθεκτικότητα του αερομεταφερόμενου μικροβιακού φορτίου στις ακόλουθες συγκεντρώσεις:

Ετερότροφα βακτήρια: **1.500μM Pb<sup>+2</sup>, 20 μM Hg<sup>+2</sup>, 10μg/ml streptomycin**

Μύκητες : **1.500μM Pb<sup>+2</sup>, 20 μM Hg<sup>+2</sup>, 10μg/ml cycloheximide**

Στα διαγράμματα 7.9.(α) και 7.9.(β) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων των ετερότροφων βακτηρίων και των μυκήτων αντίστοιχα.



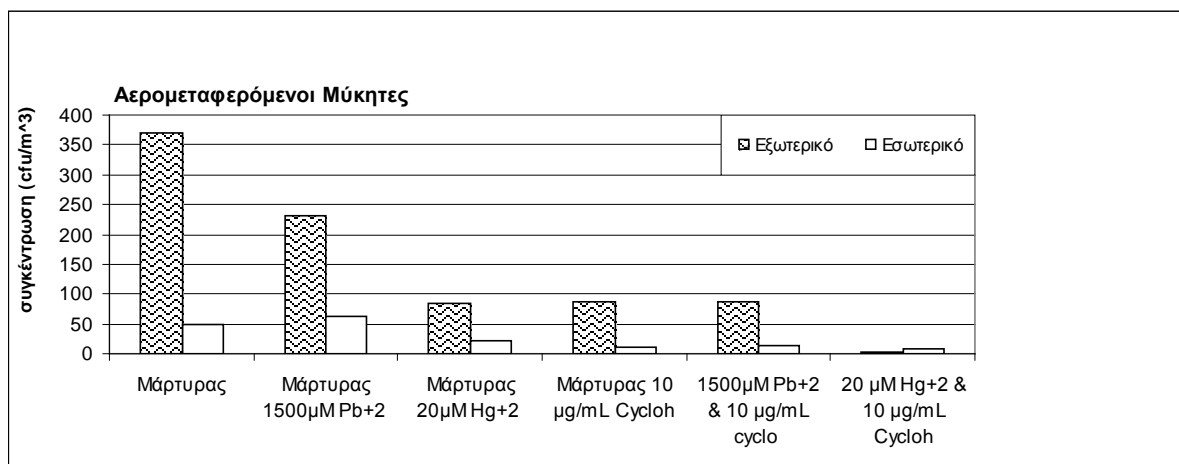
Διάγραμμα 7.9.(α). Συγκεντρώσεις αερομεταφερόμενων ετερότροφων βακτηρίων στο εξωτερικό και εσωτερικό περιβάλλον κατά την 13/04/2011 και ανθεκτικότητα αυτών σε 1.500μM Pb<sup>+2</sup>, 20 μM Hg<sup>+2</sup> και 10μg/ml στρεπτομυκίνη (Strep).

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 7.9.(α), η μέση συγκέντρωση των αερομεταφερόμενων ετερότροφων βακτηρίων στο εσωτερικό περιβάλλον (316 cfu/m<sup>3</sup>) ήταν υψηλότερη της αντίστοιχης στο εξωτερικό περιβάλλον (142 cfu/m<sup>3</sup>). Παρατηρώντας την επιβίωσή τους τόσο στο εξωτερικό όσο και στο εσωτερικό περιβάλλον βλέπουμε πως υπήρξε μείωση σε θρεπτικά υποστρώματα με 1.500μM Pb<sup>+2</sup>, με 20 μM Hg<sup>+2</sup>, με 10μg/ml στρεπτομυκίνη καθώς επίσης και στον συνδυασμό αυτών. Αξίζει να σημειωθεί δε πως στην περίπτωση του συνδυασμού 1.500μM Pb<sup>+2</sup> με 10μg/ml στρεπτομυκίνη η ανθεκτικότητά τους μειώθηκε στο 0% στο εξωτερικό περιβάλλον και στο 0,3% στο εσωτερικό περιβάλλον. Αντίστοιχα χαμηλά ήταν και τα ποσοστά επιβίωσης στα υποστρώματα που περιείχαν 20 μM Hg<sup>+2</sup> και 10μg/ml στρεπτομυκίνη (περίπου 3%).



Πιο συγκεκριμένα όσον αφορά τα ποσοστά επιβίωσης των ετερότροφων βακτηρίων παρατηρήθηκαν τα ακόλουθα :

- ❖ Επιβίωση σε 1.500μM Pb<sup>+2</sup>: 6,7% στο εξωτερικό και 34,2% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 20 μM Hg<sup>+2</sup>: 19,7% στο εξωτερικό και 72% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 10μg/ml στρεπτομυκίνη: 6% στο εξωτερικό και 7,8% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 1.500μM Pb<sup>+2</sup> με 10μg/ml στρεπτομυκίνη: 0% στο εξωτερικό και 0,3% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 20 μM Hg<sup>+2</sup> με 10μg/ml στρεπτομυκίνη: 2,8% στο εξωτερικό και 3,2% στο εσωτερικό περιβάλλον.



Διάγραμμα 7.9.(β). Συγκεντρώσεις των αερομεταφερόμενων μυκήτων στο εξωτερικό και εσωτερικό περιβάλλον κατά την 13/04/2011 και ανθεκτικότητα αυτών σε 1.500μM Pb<sup>+2</sup>, 20 μM Hg<sup>+2</sup> και 10μg/ml κυκλοεξιμίδιο (Cyclo).

Όπως βλέπουμε στο διάγραμμα 7.9.(β), η μέση συγκέντρωση των αερομεταφερόμενων μυκήτων στο εξωτερικό περιβάλλον (370 cfu/m<sup>3</sup>) ήταν 7,5 φορές υψηλότερη από αυτή στο εσωτερικό περιβάλλον (49 cfu/m<sup>3</sup>). Όσον αφορά την ανθεκτικότητά τους αυτή μειώθηκε σε θρεπτικά υποστρώματα με 1.500μM Pb<sup>+2</sup>, με 20 μM Hg<sup>+2</sup>, με 10μg/ml κυκλοεξιμίδιο καθώς και στους συνδυασμούς αυτών τόσο στο εξωτερικό όσο και στο εσωτερικό περιβάλλον. Μόνο στο εσωτερικό περιβάλλον και στην περίπτωση του θρεπτικού υποστρώματος με 1.500μM Pb<sup>+2</sup> παρατηρήθηκε μια αύξηση του ποσοστού επιβίωσης στο 126,5%.

Πιο συγκεκριμένα όσον αφορά τα ποσοστά επιβίωσης των αερομεταφερόμενων μυκήτων παρατηρήθηκαν τα ακόλουθα:

- ❖ Επιβίωση σε 1.500μM Pb<sup>+2</sup>: 62,7% στο εξωτερικό και 126,5% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 20 μM Hg<sup>+2</sup>: 23% στο εξωτερικό και 43,5% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 10μg/ml κυκλοεξιμίδιο: 23,2% στο εξωτερικό και 20,4% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 1.500μM Pb<sup>+2</sup> με 10μg/ml κυκλοεξιμίδιο: 23,2% στο εξωτερικό και 30,6% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 20 μM Hg<sup>+2</sup> με 10μg/ml κυκλοεξιμίδιο: 0,5% στο εξωτερικό και 16,3% στο εσωτερικό περιβάλλον.

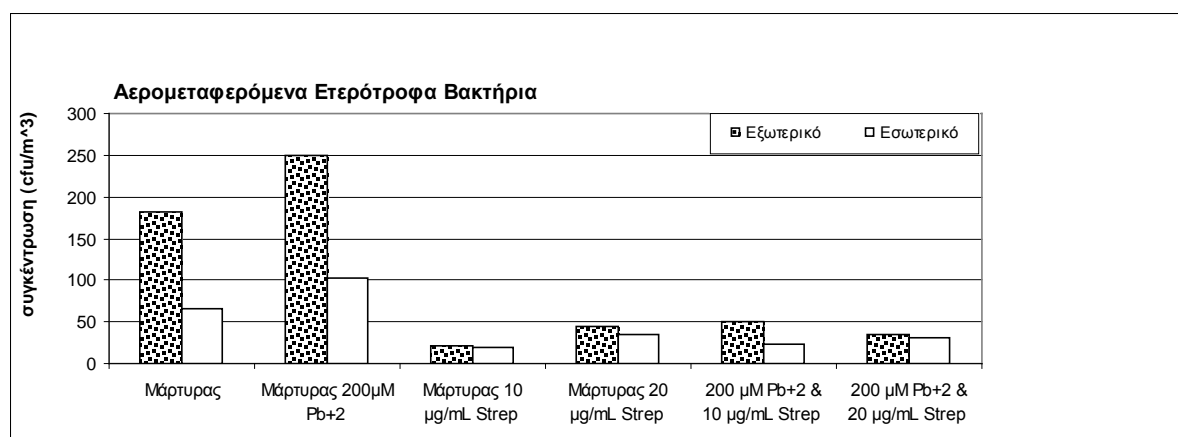
### 7.7.10 10<sup>11</sup> Δειγματοληψία

Η 10<sup>11</sup> δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στις 04/05/2011 και ώρα 09:24 πμ έως 11:26 πμ στον εξωτερικό χώρο της Σχολής Εφαρμοσμένων Επιστημών του Τ.Ε.Ι Κρήτης και από ώρα 12:19 μμ έως 16:50 μμ στον εσωτερικό χώρο της βιβλιοθήκης του Ιδρύματος. Κατά την δειγματοληψία στο εξωτερικό χώρο η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος ήταν 25,2 °C, η μέση σχετική υγρασία 46,7%, η μέση ταχύτητα ανέμου στο σημείο δειγματοληψίας 0,29 m/sec, ενώ η μέση ημερήσια ταχύτητα ανέμου ήταν 16,7 m/sec και η κύρια διεύθυνση ανέμου στο σημείο της δειγματοληψίας ήταν Δ. Η μέση τιμή των PM<sub>10</sub> σωματιδίων ήταν 62 μg/m<sup>3</sup>. Στον εσωτερικό χώρο η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος ήταν 23,2 °C, η μέση σχετική υγρασία ήταν 54,6%, η μέση ταχύτητα ανέμου 0 m/sec, ενώ μέτρηση στην ροή αέρα δεν πραγματοποιήθηκε. Η μέση τιμή των PM<sub>10</sub> σωματιδίων σε αυτή την δειγματοληψία δεν μετρήθηκε λόγω τεχνικού σφάλματος. Οι όγκοι των αερίων δειγμάτων που συλλέχθηκαν κυμαίνονταν από 50 L έως 1.500 L ανάλογα με το δείγμα.

Στη συγκεκριμένη δειγματοληψία μελετήθηκε η ανθεκτικότητα του αερομεταφερόμενου μικροβιακού φορτίου στις ακόλουθες συγκεντρώσεις:

Ετερότροφα βακτήρια: **200μM Pb<sup>+2</sup>, 10μg/ml streptomycin, 20μg/ml streptomycin**  
Μύκητες : **5 μM Hg<sup>+2</sup>, 10 μM Hg<sup>+2</sup>, 20μg/ml cycloheximide**

Στα διαγράμματα 7.10.(α) και 7.10.(β) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων των ετερότροφων βακτηρίων και των μυκήτων αντίστοιχα.



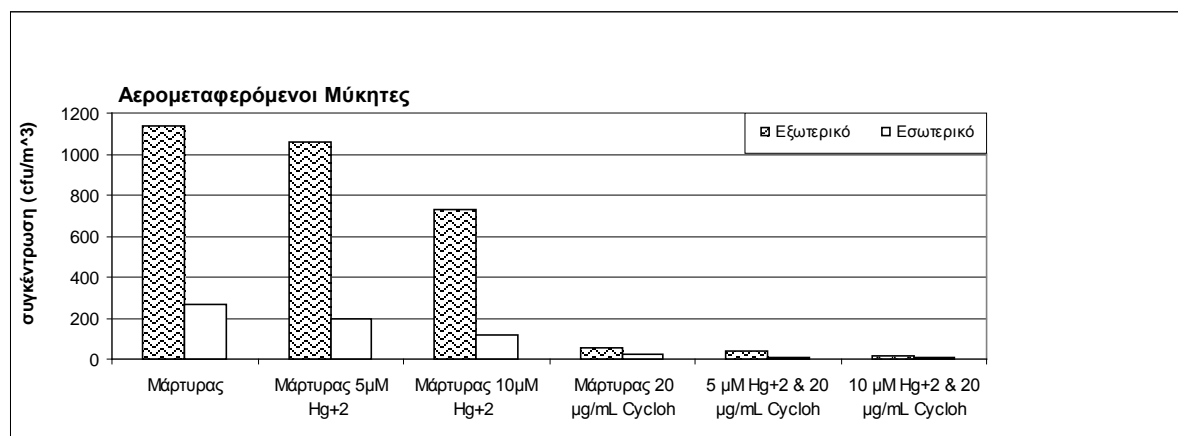
Διάγραμμα 7.10.(α). Συγκεντρώσεις αερομεταφερόμενων ετερότροφων βακτηρίων στο εξωτερικό και εσωτερικό περιβάλλον κατά την 05/04/2011 και ανθεκτικότητα αυτών σε 200μM Pb<sup>+2</sup>, 10μg/ml στρεπτομυκίνη (Strep) και 20μg/ml στρεπτομυκίνη (Strep).

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 7.10.(α), η μέση συγκέντρωση των αερομεταφερόμενων ετερότροφων βακτηρίων στο εξωτερικό περιβάλλον (182 cfu/m<sup>3</sup>) ήταν υψηλότερη της αντίστοιχης στο εσωτερικό περιβάλλον (62 cfu/m<sup>3</sup>). Η αναλογία της συγκέντρωσης των αερομεταφερόμενων ετερότροφων βακτηρίων στην πλειοψηφία των μετρήσεων ήταν αντίστροφη. Το γεγονός αυτό μπορεί να οφείλεται στην απουσία ατόμων στο εσωτερικό της βιβλιοθήκης. Σχετικά με την ανθεκτικότητα των αερομεταφερόμενων βακτηρίων παρατηρήθηκε μια φθίνουσα αντοχή αυτών σε συγκεντρώσεις 10 μg/mL στρεπτομυκίνης, 20 μg/mL στρεπτομυκίνης και στον συνδυασμό τους με 200 μM Pb<sup>+2</sup>. Παραδόξως στη συγκεκριμένη δειγματοληψία η συγκέντρωση των 10 μg/mL στρεπτομυκίνης παρεμπόδισε την ανάπτυξη των ετερότροφων βακτηρίων περισσότερο από εκείνη των 20 μg/mL στρεπτομυκίνης. Όσον αφορά την ανάπτυξη αυτών σε θρεπτικό υπόστρωμα με 200 μM Pb<sup>+2</sup>, δεν παρατηρήθηκε κάποια παρεμπόδιση αυτής αλλά αντίθετα μια βελτίωση της ανάπτυξης

των βακτηρίων τόσο στο εσωτερικό όσο και στο εξωτερικό περιβάλλον με ποσοστά επιβίωσης 157,7% και 137,4% σε σχέση με τον μάρτυρα χωρίς  $Pb^{+2}$  αντίστοιχα.

Πιο συγκεκριμένα όσον αφορά τα ποσοστά επιβίωσης των ετερότροφων βακτηρίων παρατηρήθηκαν τα ακόλουθα :

- ❖ Επιβίωση σε 200  $\mu M Pb^{+2}$ : 137,4% στο εξωτερικό και 157,7% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 10  $\mu g/mL$  στρεπτομυκίνης: 11,5% στο εξωτερικό και 31% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 20  $\mu g/mL$  στρεπτομυκίνης: 24,5% στο εξωτερικό και 54,4% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 200  $\mu M Pb^{+2}$  με 10  $\mu g/mL$  στρεπτομυκίνης: 27,6% στο εξωτερικό και 35,4% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 200  $\mu M Pb^{+2}$  με 20  $\mu g/mL$  στρεπτομυκίνης: 19,4% στο εξωτερικό και 46,4% στο εσωτερικό περιβάλλον.



Διάγραμμα 7.10.(β). Συγκεντρώσεις των αερομεταφερόμενων μυκήτων στο εξωτερικό και εσωτερικό περιβάλλον κατά την 04/05/2011 και ανθεκτικότητα αυτών σε 5  $\mu M Hg^{+2}$ , 10  $\mu M Hg^{+2}$  και 20 $\mu g/mL$  κυκλοεξιμίδιο (Cyclohex).

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 7.10.(β), η συγκέντρωση των μυκήτων στο εξωτερικό περιβάλλον (1.140 cfu/m<sup>3</sup>) ήταν πολύ υψηλότερη αυτής του εσωτερικού περιβάλλοντος (270 cfu/m<sup>3</sup>). Η αυξημένη συγκέντρωση των μυκήτων του εξωτερικού περιβάλλοντος πιθανότατα να συνδέεται και με την υψηλή συγκέντρωση των PM<sub>10</sub> σωματιδίων (62  $\mu g/m^3$ ). Όσον αφορά την ανθεκτικότητα των αερομεταφερόμενων μυκήτων παρατηρήθηκε μια φθίνουσα πορεία σε θρεπτικά υποστρώματα με 5  $\mu M Hg^{+2}$ , με 10  $\mu M Hg^{+2}$ , με 20 $\mu g/mL$  κυκλοεξιμίδιο καθώς και στον συνδυασμό αυτών τόσο στο εξωτερικό όσο και στο εσωτερικό περιβάλλον.

Πιο συγκεκριμένα όσον αφορά τα ποσοστά επιβίωσης των αερομεταφερόμενων μυκήτων παρατηρήθηκαν τα ακόλουθα:

- ❖ Επιβίωση σε 5  $\mu M Hg^{+2}$ : 93% στο εξωτερικό και 71,9% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 10  $\mu M Hg^{+2}$ : 64,1% στο εξωτερικό και 42,6% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 20 $\mu g/mL$  κυκλοεξιμίδιο: 4,9% στο εξωτερικό και 3,6% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 5  $\mu M Hg^{+2}$  με 20 $\mu g/mL$  κυκλοεξιμίδιο: 3,2% στο εξωτερικό και 3,6% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 10  $\mu M Hg^{+2}$  με 20 $\mu g/mL$  κυκλοεξιμίδιο: 1,3% στο εξωτερικό και 1,9% στο εσωτερικό περιβάλλον.

### 7.7.11 11<sup>η</sup> Δειγματοληψία

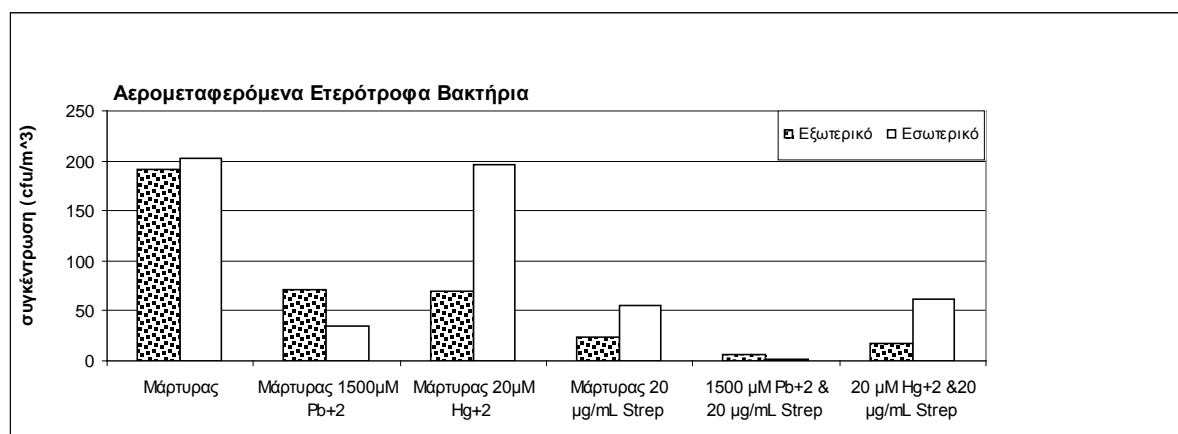
Η 11<sup>η</sup> δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στις 10/05/2011 και ώρα 09:34 πμ έως 12:52 μμ στον εξωτερικό χώρο της Σχολής Εφαρμοσμένων Επιστημών του Τ.Ε.Ι Κρήτης και από ώρα 13:22 μμ έως 16:35 μμ στον εσωτερικό χώρο της βιβλιοθήκης του Ιδρύματος. Κατά την δειγματοληψία στο εξωτερικό χώρο η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος ήταν 19,3 °C, η μέση σχετική υγρασία 58%, η μέση ταχύτητα ανέμου στο σημείο δειγματοληψίας 0,21 m/sec, ενώ η μέση ημερήσια ταχύτητα ανέμου ήταν 9,2 m/sec και η κύρια διεύθυνση ανέμου στο σημείο της δειγματοληψίας ήταν ΒΒΑ. Η μέση τιμή των PM<sub>10</sub> σωματιδίων ήταν 54 μg/m<sup>3</sup>. Στον εσωτερικό χώρο η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος ήταν 21,4 °C, η μέση σχετική υγρασία ήταν 50,7%, η μέση ταχύτητα ανέμου 0 m/sec, ενώ μέτρηση στην ροή αέρα δεν πραγματοποιήθηκε. Η μέση τιμή των PM<sub>10</sub> σωματιδίων ήταν 40 μg/m<sup>3</sup>. Οι όγκοι των αερίων δειγμάτων που συλλέχθηκαν κυμαίνονταν από 100 L έως 2.000 L ανάλογα με το δείγμα.

Στη συγκεκριμένη δειγματοληψία μελετήθηκε η ανθεκτικότητα του αερομεταφερόμενου μικροβιακού φορτίου στις ακόλουθες συγκεντρώσεις:

Ετερότροφα βακτήρια: **1.500μM Pb<sup>+2</sup>, 20 μM Hg<sup>+2</sup>, 20μg/ml streptomycin**

Μύκητες : **1.500μM Pb<sup>+2</sup>, 20 μM Hg<sup>+2</sup>, 20μg/ml cycloheximide**

Στα διαγράμματα 7.11.(α) και 7.11.(β) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων των ετερότροφων βακτηρίων και των μυκήτων αντίστοιχα.



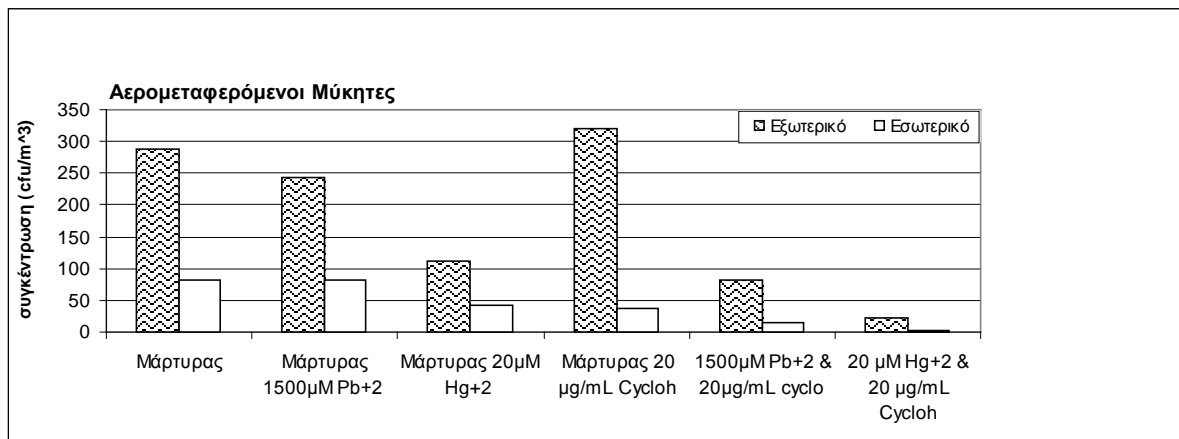
Διάγραμμα 7.11.(α). Συγκεντρώσεις αερομεταφερόμενων ετερότροφων βακτηρίων στο εξωτερικό και εσωτερικό περιβάλλον κατά την 10/05/2011 και ανθεκτικότητα αυτών σε 1.500μM Pb<sup>+2</sup>, 20 μM Hg<sup>+2</sup> και 20μg/ml στρεπτομυκίνη (Strep).

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 7.11.(α), η μέση συγκέντρωση των αερομεταφερόμενων ετερότροφων βακτηρίων στο εσωτερικό περιβάλλον (203 cfu/m<sup>3</sup>) κυμαίνονταν σε παρόμοια επίπεδα με την αντίστοιχη στο εξωτερικό περιβάλλον (192 cfu/m<sup>3</sup>). Όσον αφορά την ανθεκτικότητα αυτών τόσο στο εξωτερικό όσο και στο εσωτερικό περιβάλλον παρατηρούμε πως αυτή μειώθηκε σε θρεπτικά υποστρώματα με 1.500μM Pb<sup>+2</sup>, με 20 μM Hg<sup>+2</sup>, με 20μg/ml στρεπτομυκίνη καθώς επίσης και στον συνδυασμό αυτών.

Πιο συγκεκριμένα όσον αφορά τα ποσοστά επιβίωσης των ετερότροφων βακτηρίων παρατηρήθηκαν τα ακόλουθα :

- ❖ Επιβίωση σε 1.500μM Pb<sup>+2</sup>: 37,3% στο εξωτερικό και 17,2% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 20 μM Hg<sup>+2</sup>: 35,9% στο εξωτερικό και 97% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 20μg/ml στρεπτομυκίνη: 12,5% στο εξωτερικό και 27,6% στο εσωτερικό περιβάλλον.

- ❖ Επιβίωση σε 1.500μM Pb<sup>+2</sup> με 20μg/ml στρεπτομυκίνη: 3,3% στο εξωτερικό και 1,1% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 20 μM Hg<sup>+2</sup> με 20μg/ml στρεπτομυκίνη: 8,9% στο εξωτερικό και 30,8% στο εσωτερικό περιβάλλον.



Διάγραμμα 7.11.(β). Συγκεντρώσεις των αερομεταφερόμενων μυκήτων στο εξωτερικό και εσωτερικό περιβάλλον κατά την 10/05/2011 και ανθεκτικότητα αυτών σε 1.500μM Pb<sup>+2</sup>, 20 μM Hg<sup>+2</sup> και 20μg/ml κυκλοεξιμίδιο (Cyclo).

Όπως βλέπουμε στο διάγραμμα 7.11.(β), η μέση συγκέντρωση των αερομεταφερόμενων μυκήτων στο εξωτερικό περιβάλλον (288 cfu/m<sup>3</sup>) ήταν υψηλότερη από αυτή στο εσωτερικό περιβάλλον (82 cfu/m<sup>3</sup>). Όσον αφορά την ανθεκτικότητά τους στο εσωτερικό περιβάλλον παρατηρούμε πως αυτή μειώθηκε σε θρεπτικά υποστρώματα με 1.500μM Pb<sup>+2</sup>, με 20 μM Hg<sup>+2</sup>, με 20μg/ml κυκλοεξιμίδιο καθώς και στους συνδυασμούς αυτών. Στη συγκεκριμένη δειγματοληψία στο εξωτερικό περιβάλλον όμως παρατηρούμε μια μικρή μη αναμενόμενη αύξηση της επιβίωσης σε θρεπτικό υπόστρωμα με 20μg/ml κυκλοεξιμίδιο της τάξεως του 111,3% σε σύγκριση με τον μάρτυρα.

Πιο συγκεκριμένα όσον αφορά τα ποσοστά επιβίωσης των αερομεταφερόμενων μυκήτων παρατηρήθηκαν τα ακόλουθα:

- ❖ Επιβίωση σε 1.500μM Pb<sup>+2</sup>: 84,9% στο εξωτερικό και 98,8% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 20 μM Hg<sup>+2</sup>: 38,6% στο εξωτερικό και 50,8% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 20μg/ml κυκλοεξιμίδιο: 111,3% στο εξωτερικό και 43,9% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 1.500μM Pb<sup>+2</sup> με 20μg/ml κυκλοεξιμίδιο: 28% στο εξωτερικό και 18,3% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 20 μM Hg<sup>+2</sup> με 20μg/ml κυκλοεξιμίδιο: 8% στο εξωτερικό και 4,3% στο εσωτερικό περιβάλλον.

#### 7.7.12 12<sup>η</sup> Δειγματοληψία

Η 12<sup>η</sup> δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στις 17/05/2011 και ώρα 09:30 πμ έως 12:11 πμ στον εξωτερικό χώρο της Σχολής Εφαρμοσμένων Επιστημών του Τ.Ε.Ι Κρήτης και από ώρα 12:29 μμ έως 17:26 μμ στον εσωτερικό χώρο της βιβλιοθήκης του Ιδρύματος. Κατά την δειγματοληψία στο εξωτερικό χώρο η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος ήταν 26,1 °C, η μέση σχετική υγρασία 46,4%, η μέση ταχύτητα ανέμου στο σημείο δειγματοληψίας 0,11 m/sec, ενώ η μέση ημερήσια ταχύτητα ανέμου ήταν 7,4 m/sec και η κύρια διεύθυνση ανέμου στο σημείο της δειγματοληψίας ήταν Δ. Η μέση τιμή των PM<sub>10</sub> σωματιδίων ήταν 104 μg/m<sup>3</sup>. Στον εσωτερικό χώρο η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος ήταν 23,4 °C, η μέση

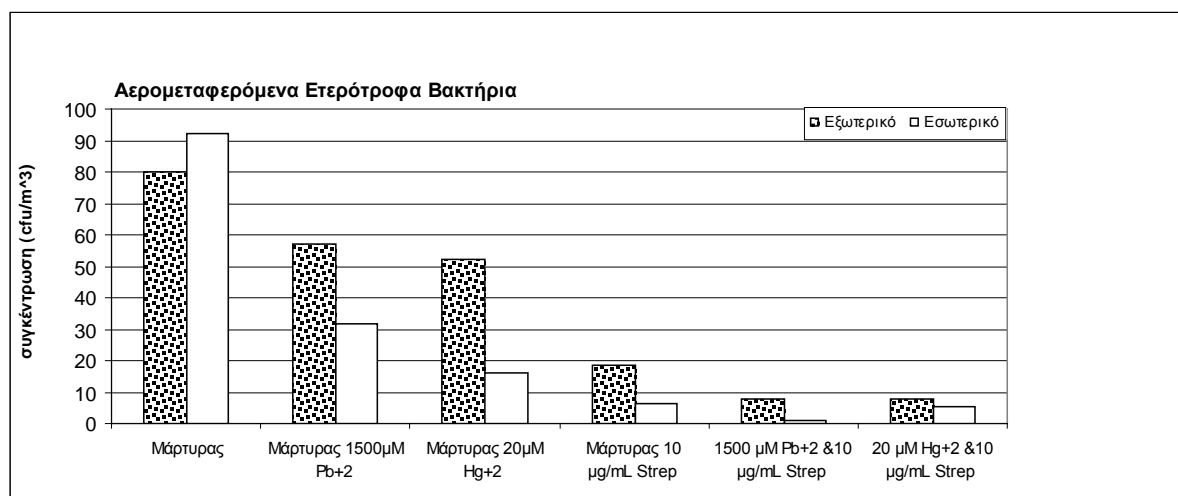
σχετική υγρασία ήταν 51,4%, η μέση ταχύτητα ανέμου 0,19 m/sec και η ροή αέρα του αέρα από την εσωτερική πόρτα ήταν 1,03 m<sup>3</sup>/h και από το παράθυρο ήταν 1,55 m<sup>3</sup>/h. Η μέση τιμή των PM<sub>10</sub> σωματιδίων ήταν 21 µg/m<sup>3</sup>. Οι όγκοι των αερίων δειγμάτων που συλλέχθηκαν κυμαίνονταν από 250 L έως 2.000 L ανάλογα με το δείγμα.

Στη συγκεκριμένη δειγματοληψία μελετήθηκε η ανθεκτικότητα του αερομεταφερόμενου μικροβιακού φορτίου στις ακόλουθες συγκεντρώσεις:

Ετερότροφα βακτήρια: **1.500µM Pb<sup>+2</sup>, 20 µM Hg<sup>+2</sup>, 10µg/ml streptomycin**

Μύκητες : **200µM Pb<sup>+2</sup>, 10µg/ml cycloheximide, 20µg/ml cycloheximide**

Στα διαγράμματα 7.12.(α) και 7.12.(β) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων των ετερότροφων βακτηρίων και των μυκήτων αντίστοιχα.

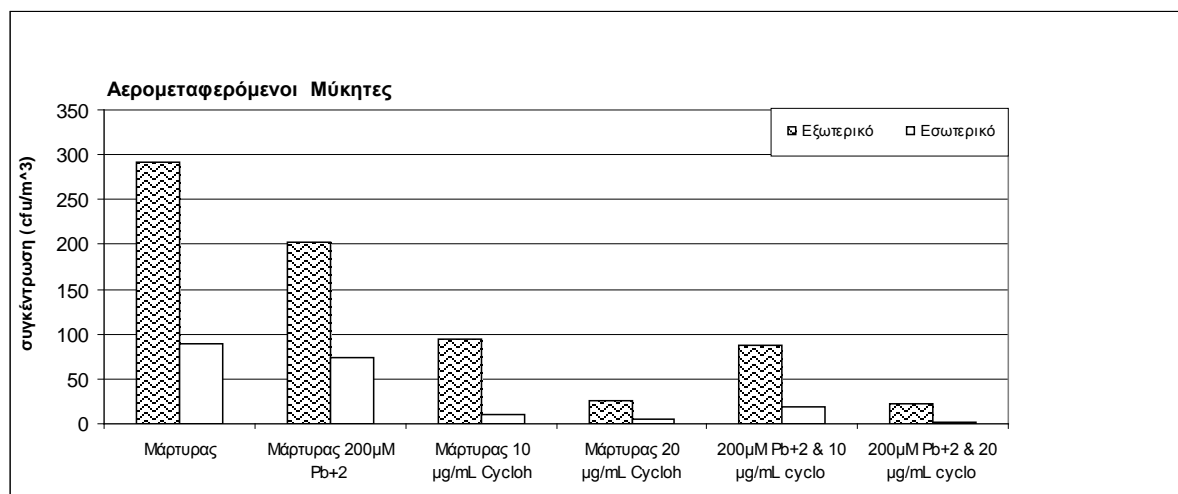


Διάγραμμα 7.12.(α). Συγκεντρώσεις αερομεταφερόμενων ετερότροφων βακτηρίων στο εξωτερικό και εσωτερικό περιβάλλον κατά την 10/05/2011 και ανθεκτικότητα αυτών σε 1.500µM Pb<sup>+2</sup>, 20 µM Hg<sup>+2</sup> και 10µg/ml στρεπτομυκίνη (Strep).

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 7.12.(α), η μέση συγκέντρωση των αερομεταφερόμενων ετερότροφων βακτηρίων στο εσωτερικό περιβάλλον (92 cfu/m<sup>3</sup>) ήταν ελαφρά υψηλότερη της αντίστοιχης στο εξωτερικό περιβάλλον (80 cfu/m<sup>3</sup>). Όσον αφορά την ανθεκτικότητα αυτών τόσο στο εξωτερικό όσο και στο εσωτερικό περιβάλλον παρατηρούμε πως αυτή μειώθηκε σε θρεπτικά υποστρώματα με 1.500µM Pb<sup>+2</sup>, με 20 µM Hg<sup>+2</sup> με 10µg/ml στρεπτομυκίνη καθώς επίσης και στον συνδυασμό αυτών.

Πιο συγκεκριμένα όσον αφορά τα ποσοστά επιβίωσης των ετερότροφων βακτηρίων παρατηρήθηκαν τα ακόλουθα :

- ❖ Επιβίωση σε 1.500µM Pb<sup>+2</sup>: 71,3% στο εξωτερικό και 34,2% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 20 µM Hg<sup>+2</sup>: 65% στο εξωτερικό και 17% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 10µg/ml στρεπτομυκίνη: 23,1% στο εξωτερικό και 7,1% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 1.500µM Pb<sup>+2</sup> με 10µg/ml στρεπτομυκίνη: 10% στο εξωτερικό και 0,8% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 20 µM Hg<sup>+2</sup> με 10µg/ml στρεπτομυκίνη: 9,4% στο εξωτερικό και 6% στο εσωτερικό περιβάλλον.



Διάγραμμα 7.12.(β). Συγκεντρώσεις των αερομεταφερόμενων μυκήτων στο εξωτερικό και εσωτερικό περιβάλλον κατά την 10/05/2011 και ανθεκτικότητα αυτών σε 200μM Pb<sup>+2</sup>, 10μg/ml κυκλοεξιμίδιο (Cyclohex) και 20μg/ml κυκλοεξιμίδιο (Cyclohex).

Όπως βλέπουμε στο διάγραμμα 7.12.(β), η μέση συγκέντρωση των αερομεταφερόμενων μυκήτων στο εξωτερικό περιβάλλον (293 cfu/m<sup>3</sup>) ήταν υψηλότερη από αυτή στο εσωτερικό περιβάλλον (90 cfu/m<sup>3</sup>). Η αυξημένη συγκέντρωση των μυκήτων του εξωτερικού περιβάλλοντος πιθανότατα να συνδέεται με το νέφος της Σαχάρας που επικρατούσε στην περιοχή καθώς επίσης και με την υψηλή συγκέντρωση των PM<sub>10</sub> σωματιδίων (104μg/m<sup>3</sup>). Κατά την συγκεκριμένη ημερομηνία και ώρα η συγκέντρωση των PM<sub>10</sub> σωματιδίων ήταν 2,08 φορές υψηλότερη της ανώτατης επιτρεπτής ημερήσιας τιμής (50 μg/m<sup>3</sup>) και 2,6 φορές υψηλότερη της ανώτατης ετήσιας επιτρεπτής τιμής (40 μg/m<sup>3</sup>). Όσον αφορά την επιβίωσή τους σε θρεπτικά υποστρώματα με 200μM Pb<sup>+2</sup>, με 10μg/ml κυκλοεξιμίδιο, με 20μg/ml κυκλοεξιμίδιο καθώς και στον συνδυασμό αυτών αυτή ήταν φθίνουσα με αυξανόμενη συγκέντρωση Pb<sup>+2</sup> και κυκλοεξιμιδίου τόσο στο εξωτερικό όσο και στο εσωτερικό περιβάλλον.

Πιο συγκεκριμένα όσον αφορά τα ποσοστά επιβίωσης των αερομεταφερόμενων μυκήτων παρατηρήθηκαν τα ακόλουθα:

- ❖ Επιβίωση σε 200μM Pb<sup>+2</sup>: 69,2% στο εξωτερικό και 82,2% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 10μg/ml κυκλοεξιμίδιο: 32,1% στο εξωτερικό και 10,7% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 20μg/ml κυκλοεξιμίδιο: 8,5% στο εξωτερικό και 6% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 200μM Pb<sup>+2</sup> με 10μg/ml κυκλοεξιμίδιο: 29,7% στο εξωτερικό και 23,6% στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ❖ Επιβίωση σε 200μM Pb<sup>+2</sup> με 20μg/ml κυκλοεξιμίδιο: 7,5% στο εξωτερικό και 2,4% στο εσωτερικό περιβάλλον.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### 8.1 Γενικά

Στόχος της παρούσας πτυχιακής εργασίας, όπως φαίνεται και στα προηγούμενα κεφάλαια ήταν η μελέτη της ανθεκτικότητας των αερομεταφερόμενων μικροοργανισμών σε βαρέα μέταλλα (ανόργανος μόλυβδος, υδράργυρος), σε αντιβιοτικά (στρεπτομυκίνη, κυκλοεξιμίδιο) καθώς επίσης και στον συνδυασμό αυτών. Οι αερομεταφερόμενοι μικροοργανισμοί που εξεταστήκαν ήταν τα ετερότροφα βακτήρια και οι μύκητες. Παράλληλα εξετάστηκαν και κάποιες μετεωρολογικές παράμετροι (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ταχύτητα ανέμου στο σημείο δειγματοληψίας, ροή του αέρα σε κλειστό χώρο) όπως και τα εισπνεύσιμα PM<sub>10</sub> αιωρούμενα σωματίδια με σκοπό την πιθανή συσχέτιση αυτών και των μικροοργανισμών.

Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 12 δειγματοληψίες από τις 30/11/2010 έως τις 17/05/2011 και από ώρα 09:30 – 14:00 στον εξωτερικό προαύλιο χώρο στη Σχολή Εφαρμοσμένων Επιστημών του Τ.Ε.Ι Κρήτης στη περιοχή της Χαλέπας της πόλης των Χανίων και από 14:15 – 17:45 στον εσωτερικό χώρο της βιβλιοθήκης του Ιδρύματος. Η εργασία πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Περιβαλλοντικής Χημείας και Βιοχημικών Διεργασιών του Τομέα Περιβαλλοντικής Τεχνολογίας του Τμήματος Μηχανικών Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος Τ.Ε. του Τ.Ε.Ι Κρήτης στη Σχολή Εφαρμοσμένων Επιστημών.

Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των συνθηκών που επικρατούσαν κατά την διάρκεια των δειγματοληψιών παρουσιάζονται στους πίνακες **8.1.(α)**, **8.1.(β)** και **8.2.(α)**, **8.2.(β)** για το εξωτερικό και εσωτερικό περιβάλλον αντίστοιχα.

*Πίνακας 8.1.(α) Συγκεντρώσεις των ετερότροφων βακτηρίων και περιβαλλοντικές συνθήκες κατά τις δειγματοληψίες που πραγματοποιήθηκαν από τον Νοέμβριο του 2010 έως τον Μάιο του 2011 στον εξωτερικό προαύλιο χώρο του Ιδρύματος.*

Παράμετροι	Μέση τιμή (Average)	Τυπική απόκλιση (STDV)	Ανώτερη τιμή (Max)	Κατώτερη τιμή (Min)
Ετερότροφα βακτήρια (cfu/m <sup>3</sup> )	183	209	822	39
Θερμοκρασία (°C)	20,81	5,26	26,2	9,5
Υγρασία (RH%)	49,71	6,96	63	39,6
PM <sub>10</sub> (μg/m <sup>3</sup> )	61	33	148	24
Ταχύτητα Ανέμου στο σημείο δειγματοληψίας (m/sec)	0,25	0,24	0,9	0,09
Μέση Ημερήσια Ταχύτητα Ανέμου Ευρύτερης Περιοχής (m/sec)	10,04	5,08	19,9	4,6



**Πίνακας 8.1.(β)** Συγκεντρώσεις των μυκήτων και περιβαλλοντικές συνθήκες κατά τις δειγματοληψίες που πραγματοποιήθηκαν από τον Νοέμβριο του 2010 έως τον Μάιο του 2011 στον εξωτερικό προαύλιο χώρο του Ιδρύματος.

Παράμετροι	Μέση τιμή (Average)	Τυπική απόκλιση (STDV)	Ανώτερη τιμή (Max)	Κατώτερη τιμή (Min)
Μύκητες (cfu/m <sup>3</sup> )	364	357	1140	50
Θερμοκρασία (°C)	20,24	5,14	26,2	9,4
Υγρασία (RH%)	51,36	7,2	63,3	40,1
PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	66	39	145	22
Ταχύτητα Ανέμου στο σημείο δειγματοληψίας (m/sec)	0,32	0,38	1,45	0,03
Μέση Ημερήσια Ταχύτητα Ανέμου Ευρύτερης Περιοχής (m/sec)	10,04	5,08	19,9	4,6

Όπως φαίνεται από τους Πίνακες 8.1.(α) και 8.1.(β) η μέση συγκέντρωση των μυκήτων ήταν υψηλότερη ( $364 \pm 357$  cfu/m<sup>3</sup>) σε σχέση με την μέση συγκέντρωση των ετερότροφων βακτηρίων ( $183 \pm 209$  cfu/m<sup>3</sup>) στον εξωτερικό προαύλιο χώρο του Ιδρύματος. Στις τιμές των περιβαλλοντικών συνθηκών παρατηρήθηκε μικρή μεταβολή καθόλη τη διάρκεια των δειγματοληψιών (θερμοκρασία:  $20,81 \pm 5,26$  °C για τα ετερότροφα βακτήρια και  $20,24 \pm 5,14$  °C για τους μύκητες, σχετική υγρασία:  $49,71 \pm 6,96$  % για τα ετερότροφα βακτήρια και  $51,36 \pm 7,2$  % για τους μύκητες, ταχύτητα ανέμου στο σημείο δειγματοληψίας:  $0,25 \pm 0,24$  m/sec για τα ετερότροφα βακτήρια και  $0,32 \pm 0,38$  m/sec για τους μύκητες και μέση ημερήσια ταχύτητα ανέμου της ευρύτερης περιοχής:  $10,04 \pm 5,08$  m/sec. Επίσης η μέση τιμή των εισπνεύσιμων αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>10</sub> ήταν  $61 \pm 33$  µg/m<sup>3</sup> για τα ετερότροφα βακτήρια και  $66 \pm 39$  µg/m<sup>3</sup> για τους μύκητες.

**Πίνακας 8.2.(α)** Συγκεντρώσεις των ετερότροφων βακτηρίων και περιβαλλοντικές συνθήκες κατά τις δειγματοληψίες που πραγματοποιήθηκαν από τον Νοέμβριο του 2010 έως τον Μάιο του 2011 στον εσωτερικό χώρο της βιβλιοθήκης του Ιδρύματος.

Παράμετροι	Μέση τιμή (Average)	Τυπική απόκλιση (STDV)	Ανώτερη τιμή (Max)	Κατώτερη τιμή (Min)
Ετερότροφα βακτήρια (cfu/m <sup>3</sup> )	481	632	2260	65
Θερμοκρασία (°C)	21,96	1,77	23,8	17,4
Υγρασία (RH%)	50,95	4,09	56,7	44,1
PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	47	23	89	21
Ταχύτητα Ανέμου (m/sec)	0,04	0,06	0,19	0

**Πίνακας 8.2.(β)** Συγκεντρώσεις των μυκήτων και περιβαλλοντικές συνθήκες κατά τις δειγματοληψίες που πραγματοποιήθηκαν από τον Νοέμβριο του 2010 έως τον Μάιο του 2011 στον εσωτερικό χώρο της βιβλιοθήκης του Ιδρύματος.

Παράμετροι	Μέση τιμή (Average)	Τυπική απόκλιση (STDV)	Ανώτερη τιμή (Max)	Κατώτερη τιμή (Min)
Μύκητες (cfu/m <sup>3</sup> )	97	89	270	20
Θερμοκρασία (°C)	22,13	1,15	23,7	19,6
Υγρασία (RH%)	50,88	4,29	57,7	41,8
PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	45	25	92	16
Ταχύτητα Ανέμου (m/sec)	0,02	0,02	0,07	0

Όπως φαίνεται από τους Πίνακες 8.2.(α) και 8.2.(β) η μέση συγκέντρωση των ετερότροφων βακτηρίων ήταν ιδιαίτερα ευμετάβλητη ( $481 \pm 632$  cfu/m<sup>3</sup>) σε σχέση με την μέση συγκέντρωση των μυκήτων ( $97 \pm 89$  cfu/m<sup>3</sup>) στον εσωτερικό χώρο της βιβλιοθήκης του Ιδρύματος. Στις τιμές των περιβαλλοντικών συνθηκών παρατηρήθηκε μικρή μεταβολή καθόλη τη διάρκεια των δειγματοληψιών (θερμοκρασία:  $21,96 \pm 1,77$  °C για τα ετερότροφα βακτήρια και  $22,13 \pm 1,15$  °C για τους μύκητες, σχετική υγρασία:  $50,95 \pm 4,09$  % για τα ετερότροφα βακτήρια και  $50,88 \pm 4,29$  % για τους μύκητες και ταχύτητα ανέμου στο σημείο δειγματοληψίας:  $0,04 \pm 0,06$  m/sec για τα ετερότροφα βακτήρια και  $0,02 \pm 0,02$  m/sec για τους μύκητες). Επίσης η μέση τιμή των εισπνεύσιμων αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>10</sub> ήταν  $47 \pm 23$  µg/m<sup>3</sup> για τα ετερότροφα βακτήρια και  $45 \pm 25$  µg/m<sup>3</sup> για τους μύκητες.

## 8.2 Η ποιότητα του αέρα στον εξωτερικό και εσωτερικό χώρο

Η συσχέτιση της ποιότητας του αέρα στο εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον καθόλη τη διάρκεια των δειγματοληψιών έδειξε πως:

- ✚ Τα ετερότροφα βακτήρια στον εσωτερικό χώρο της βιβλιοθήκης του Ιδρύματος ( $433 \pm 595$  cfu/m<sup>3</sup>) ήταν περισσότερα από εκείνα του εξωτερικού προαύλιου χώρου του Ιδρύματος ( $214 \pm 208$  cfu/m<sup>3</sup>). Εξαίρεση μόνο αποτελεί ή 2<sup>η</sup> δειγματοληψία στις 07 – 08/12/2010 όπου τα βακτήρια του εσωτερικού περιβάλλοντος ( $150$  cfu/m<sup>3</sup>) ήταν λιγότερα από αυτά του εξωτερικού περιβάλλοντος ( $216$  cfu/m<sup>3</sup>) πιθανών λόγω των διαφορετικών ημερομηνιών μέτρησης, καθώς επίσης και η 10<sup>η</sup> δειγματοληψία στις 04/05/2011 όπου τα βακτήρια του εσωτερικού περιβάλλοντος ( $65$  cfu/m<sup>3</sup>) ήταν λιγότερα σε σχέση με αυτά του εξωτερικού περιβάλλοντος ( $182$  cfu/m<sup>3</sup>) πιθανών λόγω της απουσίας ατόμων στο εσωτερικό της βιβλιοθήκης.
- ✚ Οι μύκητες στον εξωτερικό προαύλιο χώρο του Ιδρύματος ( $536 \pm 764$  cfu/m<sup>3</sup>) ήταν περισσότεροι από εκείνους του εσωτερικού χώρου της βιβλιοθήκης του Ιδρύματος ( $124 \pm 110$  cfu/m<sup>3</sup>).
- ✚ Η ανθεκτικότητα των αερομεταφερόμενων ζώντων μικροβίων (ετερότροφα βακτήρια, μύκητες), στις περισσότερες δειγματοληψίες ήταν διαφορετική στον εσωτερικό χώρο της βιβλιοθήκης του Ιδρύματος και στον εξωτερικό προαύλιο χώρο του Ιδρύματος. Το γεγονός αυτό αποτελεί ένδειξη διαφορετικής μικροβιακής

κοινότητας. Παράδειγμα αποτελεί η 5<sup>η</sup> δειγματοληψία στις 15/03/2011, όπου τα ετερότροφα βακτήρια στο εσωτερικό περιβάλλον σε θρεπτικά υποστρώματα των 5μM Hg<sup>+2</sup> και 10μM Hg<sup>+2</sup> βλέπουμε πως μείωσαν την ανθεκτικότητά τους στο 56,4% και 81% αντίστοιχα, ενώ στο εξωτερικό περιβάλλον, στα ίδια θρεπτικά υποστρώματα, η επιβίωσή τους δεν επηρεάστηκε αρνητικά, αντίθετα ευνοήθηκε με ποσοστά επιβίωσης 116,3% και 153,5% αντίστοιχα. Το ίδιο παρατηρήθηκε και στους μύκητες όπου ενώ σε θρεπτικό υπόστρωμα με 5 μg/ml κυκλοεξιμίδιο καθώς επίσης και σε θρεπτικό υπόστρωμα με 5μM Hg<sup>+2</sup> και 5 μg/ml κυκλοεξιμίδιο, στο εσωτερικό περιβάλλον, τα ποσοστά επιβίωσής τους ήταν 120% και 87,5% αντίστοιχα, στο εξωτερικό περιβάλλον βλέπουμε πως στο θρεπτικό υπόστρωμα με 5 μg/ml κυκλοεξιμίδιο η ανθεκτικότητα της αντοχής τους τριπλασιάστηκε (ποσοστό 332,5%) και στο θρεπτικό υπόστρωμα με 5μM Hg<sup>+2</sup> και 5 μg/ml κυκλοεξιμίδιο η ανθεκτικότητά τους αυξήθηκε κατά 2,3 φορές (ποσοστό 230%).

- ✚ Η ύπαρξη παρόμοιας μικροβιακής κοινότητας, με παρόμοια ποσοστά επιβίωσης τόσο στον εσωτερικό χώρο της βιβλιοθήκης του Ιδρύματος, όσο και στον εξωτερικό προαύλιο χώρο του Ιδρύματος ήταν σπάνια. Μοναδική εξαίρεση αποτελεί η 7<sup>η</sup> δειγματοληψία στις 28/03/2011. Στη συγκεκριμένη δειγματοληψία, η συμπεριφορά της ανάπτυξης των αερομεταφερόμενων μικροβίων (ετερότροφα βακτήρια, μύκητες) σε θρεπτικά υποστρώματα με βαρέα μέταλλα και αντιβιοτικά (στρεπτομυκίνη, κυκλοεξιμίδιο) τόσο στο εξωτερικό όσο και στο εσωτερικό περιβάλλον ήταν παρόμοια με σχεδόν ίδια ποσοστά επιβίωσης.

### 8.3 Ανθεκτικότητα σε αντιβιοτικές ουσίες

Για την μελέτη της ανθεκτικότητας των αερομεταφερόμενων μικροβίων της ατμόσφαιρας σε αντιβιοτικές ουσίες, ως αντιβιοτικές ουσίες χρησιμοποιήθηκαν η στρεπτομυκίνη για τα ετερότροφα βακτήρια και το κυκλοεξιμίδιο για τους μύκητες. Και τα δύο αυτά αντιβιοτικά έχουν αντιμικροβιακή δράση.

Εφαρμόστηκαν συγκεντρώσεις από 5 μg/ml έως 20 μg/ml στρεπτομυκίνης για τα ετερότροφα βακτήρια και συγκεντρώσεις από 5 μg/ml έως 20 μg/ml κυκλοεξιμίδιου για τους μύκητες.

Η εξέταση των αερομεταφερόμενων μικροβίων της ατμόσφαιρας ως προς την ανθεκτικότητά τους στις αντιβιοτικές ουσίες καθόλη τη διάρκεια των δειγματοληψιών έδειξε πως:

- ✚ Τα ετερότροφα βακτήρια του εξωτερικού προαύλιου χώρου του Ιδρύματος είχαν ποσοστά επιβίωσης από  $30 \pm 21,6\%$  έως  $12,1 \pm 7,8\%$ , ενώ στον εσωτερικό χώρο της βιβλιοθήκης τα ποσοστά επιβίωσης κυμάνθηκαν από  $35,9 \pm 27,7\%$  έως  $12,5 \pm 10,8\%$ .
- ✚ Οι μύκητες του εξωτερικού προαύλιου χώρου του Ιδρύματος είχαν ποσοστά επιβίωσης από  $101,1 \pm 102\%$  έως  $26,3 \pm 53,2\%$ , ενώ στον εσωτερικό χώρο της βιβλιοθήκης τα ποσοστά επιβίωσης κυμάνθηκαν από  $70,6 \pm 40,8\%$  έως  $17,5 \pm 14,6\%$ .
- ✚ Τα ετερότροφα βακτήρια έδειξαν μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στον εσωτερικό χώρο της βιβλιοθήκης του Ιδρύματος απ' ότι στον εξωτερικό προαύλιο χώρο, πιθανόν λόγω της υψηλότερης συγκέντρωσής τους, ενώ οι μύκητες έδειξαν

μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στον εξωτερικό προαύλιο χώρο του Ιδρύματος σε σχέση με την ανθεκτικότητά τους στον εσωτερικό χώρο της βιβλιοθήκης πιθανόν λόγω της υψηλής τους συγκέντρωσης.

Τα ποσοστά επιβίωσης των ετερότροφων βακτηρίων στην στρεπτομυκίνη τόσο στο εξωτερικό όσο και στο εσωτερικό περιβάλλον είχαν ως εξής:

- ✚ Ανθεκτικότητα σε 5  $\mu\text{g/ml}$  στρεπτομυκίνης:  $30 \pm 21,6\%$  στο εξωτερικό και  $35,9 \pm 27,7\%$  στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ✚ Ανθεκτικότητα σε 10  $\mu\text{g/ml}$  στρεπτομυκίνης:  $15,4 \pm 9,5\%$  στο εξωτερικό και  $12,5 \pm 10,8\%$  στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ✚ Ανθεκτικότητα σε 20  $\mu\text{g/ml}$  στρεπτομυκίνης:  $12,1 \pm 7,8\%$  στο εξωτερικό και  $24 \pm 19,5\%$  στο εσωτερικό περιβάλλον.

Τα ποσοστά επιβίωσης των μυκήτων στο κυκλοεξιμίδιο τόσο στο εξωτερικό όσο κι στο εσωτερικό περιβάλλον είχαν ως εξής:

- ✚ Ανθεκτικότητα σε 5  $\mu\text{g/ml}$  κυκλοεξιμίδιο:  $101,1 \pm 102\%$  στο εξωτερικό και  $70,6 \pm 40,8\%$  στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ✚ Ανθεκτικότητα σε 10  $\mu\text{g/ml}$  κυκλοεξιμίδιο:  $31,1 \pm 15,1\%$  στο εξωτερικό και  $24,8 \pm 12,4\%$  στο εσωτερικό περιβάλλον.
- ✚ Ανθεκτικότητα σε 20  $\mu\text{g/ml}$  κυκλοεξιμίδιο:  $26,3 \pm 53,2\%$  στο εξωτερικό και  $17,5 \pm 14,6\%$  στο εσωτερικό περιβάλλον.

#### 8.4 Ανθεκτικότητα σε βαρέα μέταλλα

Για την μελέτη της ανθεκτικότητας των αερομεταφερόμενων μικροβίων της ατμόσφαιρας σε βαρέα μέταλλα, ως βαρέα μέταλλα εξετάστηκαν ο  $\text{Hg}^{+2}$  σε συγκεντρώσεις  $\text{HgCl}_2$  από 5 έως 20  $\mu\text{M}$  και ο  $\text{Pb}^{+2}$  σε συγκεντρώσεις  $\text{PbCl}_2$  από 200 έως 1500  $\mu\text{M}$ .

Η εξέταση των αερομεταφερόμενων μικροβίων της ατμόσφαιρας ως προς την ανθεκτικότητά τους στα βαρέα μέταλλα καθόλη τη διάρκεια των δειγματοληψιών έδειξε πως:

- ✚ Η τοξικότητα του  $\text{Hg}^{+2}$  ήταν πολύ πιο υψηλή από εκείνη του  $\text{Pb}^{+2}$ . Αυτό αποδεικνύεται και από τις συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων που ελέγχθηκαν. Η συγκέντρωση των 20  $\mu\text{M}$   $\text{HgCl}_2$  ήταν τοξικότερη ή αντίστοιχη τοξική με την κατά 75 φορές υψηλότερη συγκέντρωση των 1.500  $\mu\text{M}$   $\text{PbCl}_2$ . Παρατηρήθηκε επίσης ότι χαμηλές συγκεντρώσεις  $\text{PbCl}_2$  (200  $\mu\text{M}$  ή/και 500  $\mu\text{M}$ ) σε μερικά δείγματα ευνόησαν την ανάπτυξη των αερομεταφερόμενων μικροβίων με ποσοστά επιβίωσης υψηλότερα των αντίστοιχων μαρτύρων.
- ✚ Παρόλα αυτά, συγκρίνοντας τις ικανότητες των δύο διαφορετικών ταξινομικών ομάδων όσον αφορά τα βαρέα μέταλλα, διαφάνηκε ότι οι μύκητες παρουσιάζουν μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στον μόλυβδο σε σύγκριση με τα ετερότροφα βακτήρια που συγκριτικά παρουσιάζουν μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στον υδράργυρο.

- ✚ Το ποσοστό επιβίωσης σε θρεπτικό υπόστρωμα με 20  $\mu\text{M}$   $\text{HgCl}_2$  στα ετερότροφα βακτήρια ήταν  $41,3 \pm 79,6\%$  στο εξωτερικό και  $83,2 \pm 59,5\%$  στο εσωτερικό περιβάλλον, ενώ στους μύκητες ήταν  $27,6 \pm 10,2\%$  και  $50,5 \pm 16,3\%$  αντίστοιχα.
- ✚ Το ποσοστό επιβίωσης σε θρεπτικό υπόστρωμα με 1.500  $\mu\text{M}$   $\text{PbCl}_2$  στα ετερότροφα βακτήρια ήταν  $31,6 \pm 33\%$  στο εξωτερικό και  $32,3 \pm 16,4\%$  στο εσωτερικό περιβάλλον, ενώ στους μύκητες ήταν  $92,5 \pm 26,5\%$  και  $105,3 \pm 46,6\%$  αντίστοιχα.

### 8.5 Ανθεκτικότητα σε συνδυασμό βαρέων μετάλλων και αντιβιοτικών

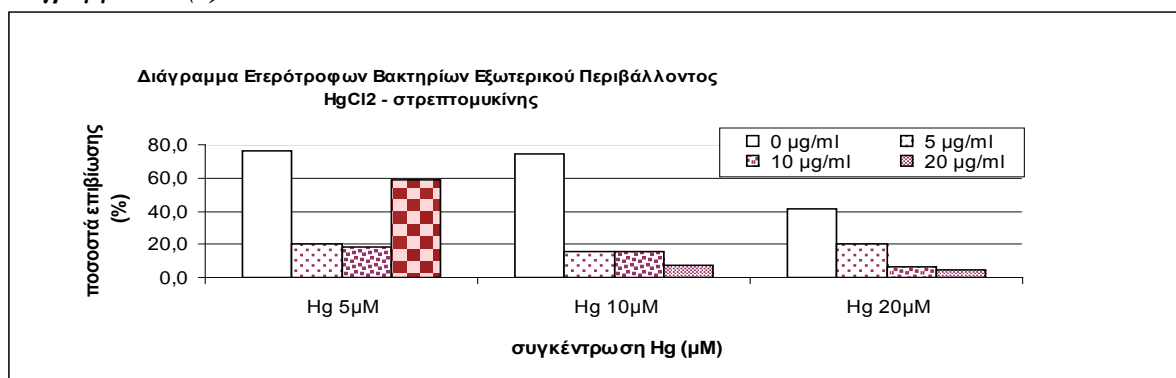
Ο συνδυασμός της προσθήκης ταυτόχρονα βαρέων μετάλλων και αντιβιοτικών ουσιών στα θρεπτικά υποστρώματα των αερομεταφερόμενων μικροβίων έδειξε, ότι ένα μέρος της φυσικής ή/και της δυνητικά παθογόνας αερομεταφερόμενης μικροβιακής κοινότητας παρουσίασε ανθεκτικότητα, τόσο σε δείγματα από τον ατμοσφαιρικό αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος, όσο και του εσωτερικού περιβάλλοντος.

Πιο συγκεκριμένα μετρήθηκαν οι ακόλουθες μέσες τιμές:

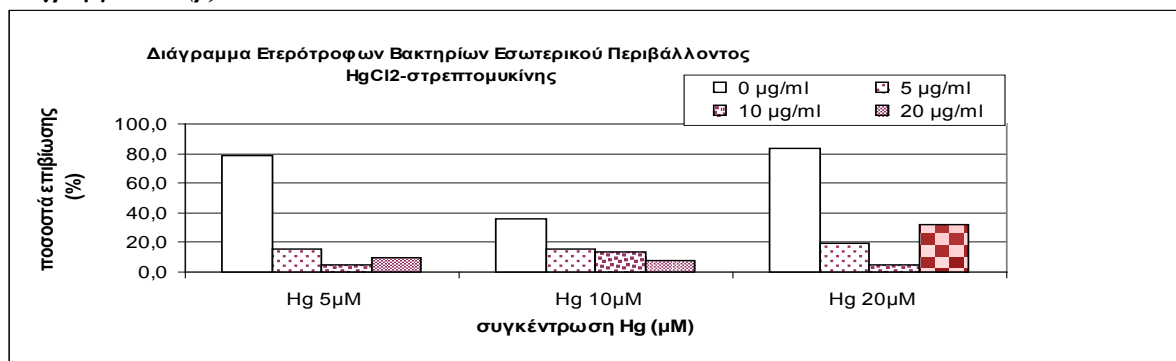
#### ✚ Ετερότροφα βακτήρια:

- Ποσοστό επιβίωσης σε θρεπτικό υπόστρωμα με 20  $\mu\text{M}$   $\text{HgCl}_2$  και 20  $\mu\text{g/ml}$  στρεπτομυκίνης:  $4,7 \pm 5,9\%$  στο εξωτερικό και  $32,1 \pm 16,6\%$  στο εσωτερικό περιβάλλον.
- Ποσοστό επιβίωσης σε θρεπτικό υπόστρωμα με 1.500  $\mu\text{M}$   $\text{PbCl}_2$  και 20  $\mu\text{g/ml}$  στρεπτομυκίνης:  $2,1 \pm 1,4\%$  στο εξωτερικό και  $3,9 \pm 6,3\%$  στο εσωτερικό περιβάλλον.

Διάγραμμα 8.1.(α)

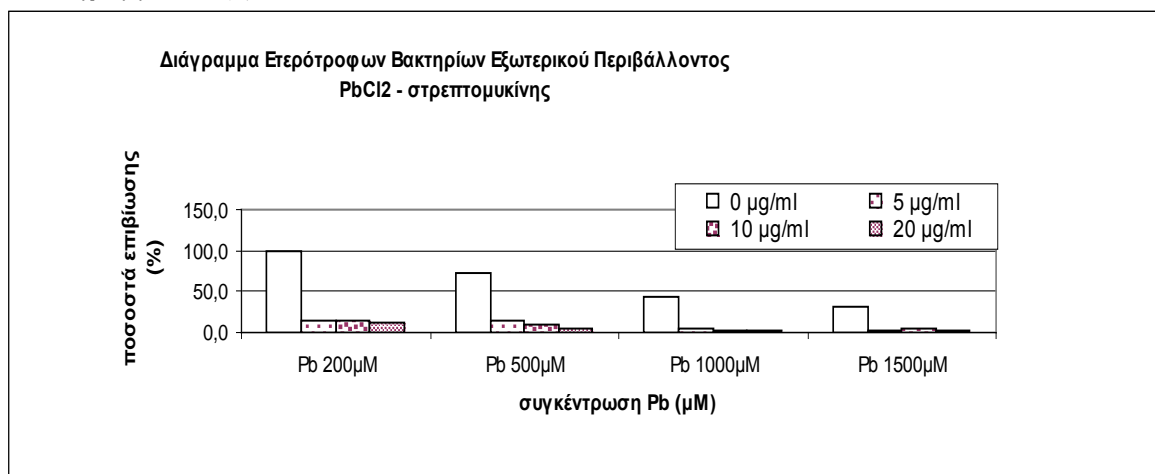


**Διάγραμμα 8.1.(β)**

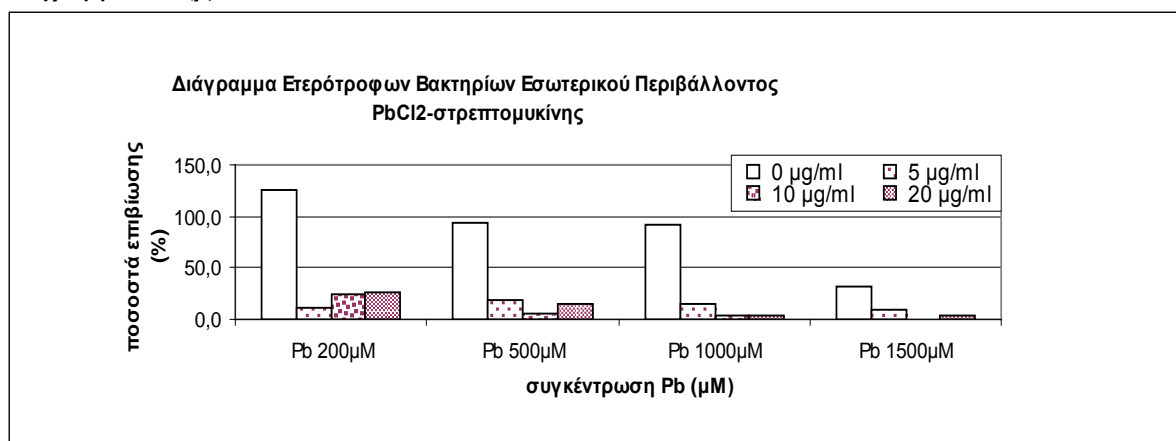


Στα **Διαγράμματα 8.1.(α)** και **8.1.(β)** φαίνονται τα ποσοστά επιβίωσης των ετερότροφων βακτηρίων σε συνδυασμό θρεπτικών υποστρωμάτων με HgCl<sub>2</sub> και στρεπτομυκίνης στο εξωτερικό και εσωτερικό περιβάλλον αντίστοιχα..

**Διάγραμμα 8.2.(α)**



**Διάγραμμα 8.2.(β)**

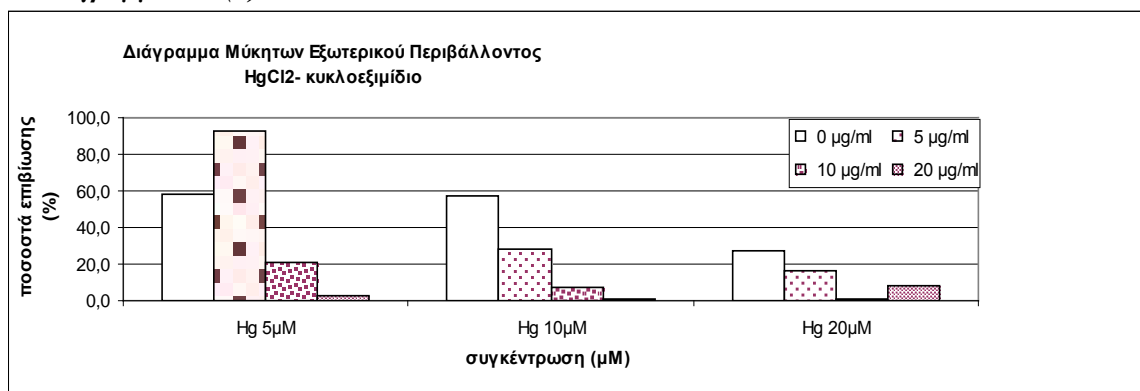


Στα **Διαγράμματα 8.2.(α)** και **8.2.(β)** φαίνονται τα ποσοστά επιβίωσης των ετερότροφων βακτηρίων σε συνδυασμό θρεπτικών υποστρωμάτων με PbCl<sub>2</sub> και στρεπτομυκίνης στο εξωτερικό και εσωτερικό περιβάλλον αντίστοιχα..

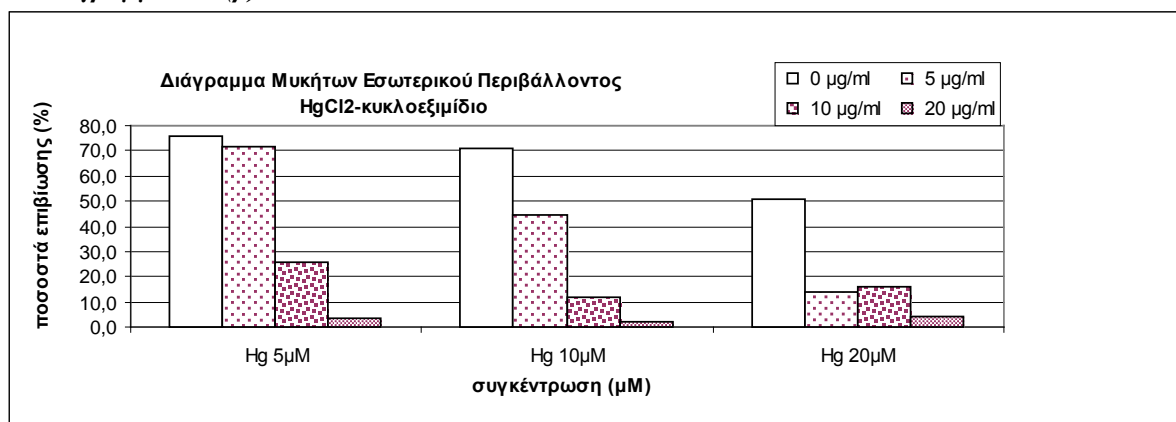
✚ Μύκητες:

- I. Ποσοστό επιβίωσης σε θρεπτικό υπόστρωμα με 20  $\mu\text{M}$   $\text{HgCl}_2$  και 20  $\mu\text{g/ml}$  κυκλοεξιμίδιο:  $8 \pm 5,9\%$  στο εξωτερικό και  $4,3 \pm 0,9\%$  στο εσωτερικό περιβάλλον.
- II. Ποσοστό επιβίωσης σε θρεπτικό υπόστρωμα με 1.500  $\mu\text{M}$   $\text{PbCl}_2$  και 20  $\mu\text{g/ml}$  κυκλοεξιμίδιο:  $29,8 \pm 22,2\%$  στο εξωτερικό και  $11,2 \pm 9,7\%$  στο εσωτερικό περιβάλλον.

Διάγραμμα 8.3.(α)

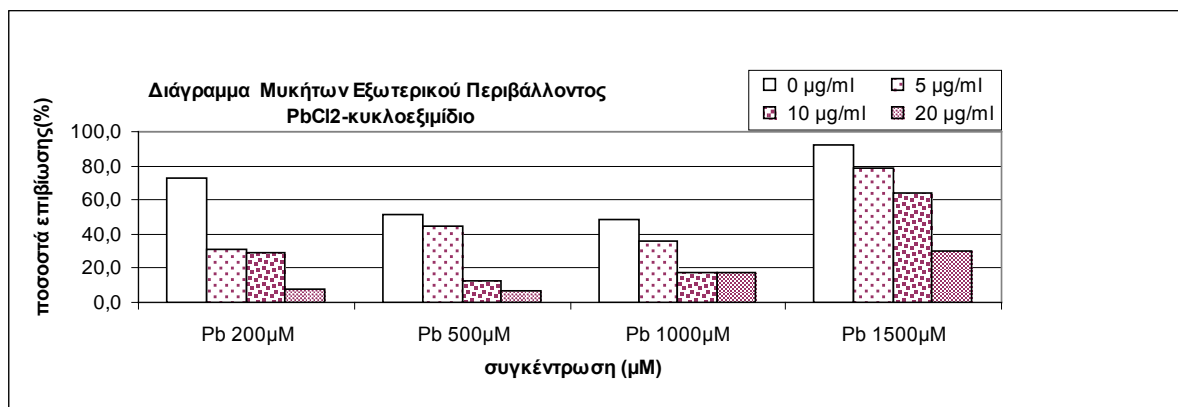


Διάγραμμα 8.3.(β)

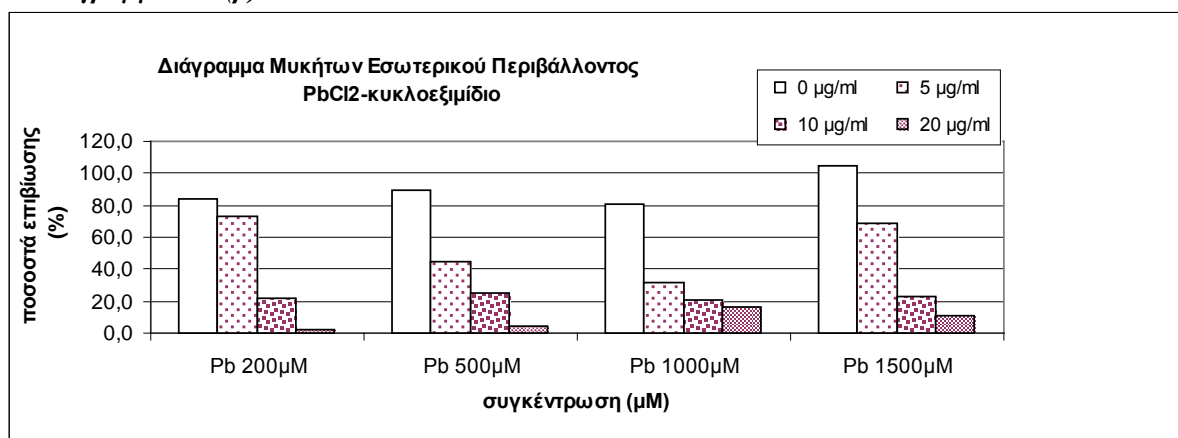


Στα Διαγράμματα 8.3.(α) και 8.3.(β) φαίνονται τα ποσοστά επιβίωσης των μυκήτων σε συνδυασμό θρεπτικών υποστρωμάτων με  $\text{HgCl}_2$  και κυκλοεξιμίδιου στο εξωτερικό και εσωτερικό περιβάλλον αντίστοιχα..

Διάγραμμα 8.4.(α)



**Διάγραμμα 8.4.(β)**



Στα **Διαγράμματα 8.4.(α) και 8.4.(β)** φαίνονται τα ποσοστά επιβίωσης των μυκήτων σε συνδυασμό θρεπτικών υποστρωμάτων με PbCl<sub>2</sub> και κυκλοεξιμίδιο στο εξωτερικό και εσωτερικό περιβάλλον αντίστοιχα..

Οι μετρηθείσες συχνά αυξομειώσεις στις συγκεντρώσεις του αερομεταφερόμενου μικροβιακού φορτίου, αλλά και στα ποσοστά επιβίωσής του σε βαρέα μέταλλα και αντιβιοτικά, οι οποίες παρατηρήθηκαν σε επαναλαμβανόμενες μετρήσεις, σε διαφορετικές ημερομηνίες δειγματοληψίας, αξιολογούνται ως αναμενόμενες και οφείλονται στη διαφορετική σύσταση και προέλευση του αερομεταφερόμενου αέρα και της περιεχόμενης σε αυτόν μικροβιακής κοινότητας. Οι μέσες τιμές των συγκεντρώσεων των μετρηθέντων παραμέτρων στο σύνολο των δειγματοληψιών οδηγούν στα προαναφερθέντα αποτελέσματα.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] William J. Makofske, Eric F. Karlin, 2001, Τεχνολογία & Παγκόσμια Περιβαλλοντικά Προβλήματα, Remapo College of New Jersey
- [2] Βικιπαίδεια, Η ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια, 2013. Ατμόσφαιρα [online] . Διαθέσιμο από: <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CF%84%CE%BC%CF%8C%CF%83%CF%86%CE%B1%CE%B9%CF%81%CE%B1> [προσβάσιμο στις 20 Μαΐου 2013].
- [3] Βικιπαίδεια, Η ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια, 2013. Αντιβιοτικό [online] . Διαθέσιμο από: <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%BD%CF%84%CE%B9%CE%B2%CE%B9%CE%BF%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C> [προσβάσιμο στις 20 Μαΐου 2013].
- [4] Δρ. Ν.Σαμαρίδης, 2009, Τοξικά βαρέα μέταλλα και η επίπτωσή τους στη υγεία [online] . Διαθέσιμο από: <http://www.greenmed.gr/arthra/toxika-varea-metalla-ke-i-epiptosi-tous-stin-yegeia.html> [προσβάσιμο στις 20 Μαΐου 2013]
- [5] Βικιπαίδεια, Η ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια, 2013. Μικροοργανισμός [online]. Διαθέσιμο από: <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B9%CE%BA%CF%81%CE%BF%CE%BF%CF%81%CE%B3%CE%B1%CE%BD%CE%B9%CF%83%CE%BC%CF%8C%CF%82> [προσβάσιμο στις 20 Μαΐου 2013]
- [6] O. Nikiforou, A. Kikna, M. Lazaridis, and E. Katsivela. Drug-resistance and heavy metal tolerance of airborne microbes. E-Proceedings of the European Aerosol Conference 2012 (EAC 2012), Granada, Spain, 2-7 September 2012, Abstract 168 (e-Abstracts).
- [7] Γ. Φασουλάκης, 2007, Μεταπτυχιακή εργασία ειδίκευσης, Ανασκόπηση της παρουσίας του γίνεσθαι και των επιδράσεων των αντιβιοτικών στο περιβάλλον, τμήμα Χημείας, Σχολή Θετικών και Τεχνολογικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Κρήτης [online]. Διαθέσιμο από: <http://elocus.lib.uoc.gr/dlib/f/b/c/metadata-dlib-2005fasoulakis.tkl> [προσβάσιμο στις 22 Μαΐου 2013]
- [8] Βικιπαίδεια, Η ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια, 2013. Μόλυνση [online]. Διαθέσιμο από: <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CF%8C%CE%BB%CF%85%CE%BD%CF%83%CE%B7> [προσβάσιμο στις 23 Μαΐου 2013]
- [9] Βικιπαίδεια, Η ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια, 2013. Λοίμωξη [online]. Διαθέσιμο από: <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9B%CE%BF%CE%AF%CE%BC%CF%89%CE%BE%CE%B7> [προσβάσιμο στις 23 Μαΐου 2013]
- [10] Βικιπαίδεια, Η ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια, 2013. Ανοσοποιητικό σύστημα [online]. Διαθέσιμο από: <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%BD%CE%BF%CF%83%CE%BF%CF%80%CE%BF%CE%B9%CE%B7%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CF%83%CF%8D%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BC%CE%B1> [προσβάσιμο στις 23 Μαΐου 2013]

- [11] Βικιπαίδεια, Η ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια, 2013. Μικροβιολογία [online]. Διαθέσιμο από:  
<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B9%CE%BA%CF%81%CE%BF%CE%B2%CE%B9%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%AF%CE%B1> [ προσβάσιμο στις 23 Μαΐου 2013]
- [12] Ν. Κωνσταντίνου, 2013. Σημειώσεις Βιολογίας Γενικής Παιδείας Γ' Λυκείου [online]. Διαθέσιμο από:  
<http://el.scribd.com/doc/36714512/%CE%A3%CE%B7%CE%BC%CE%B5%CE%B9%CF%8E%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82-%CE%92%CE%B9%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%AF%CE%B1%CF%82-%CE%B3-%CF%80-1%CE%BF-%CE%BA%CE%B5%CF%86%CE%AC%CE%BB%CE%B1%CE%B9%CE%BF> [ προσβάσιμο στις 23 Μαΐου 2013]
- [13] Βικιπαίδεια, Η ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια, 2013. Αντιβιοτικό [online]. Διαθέσιμο από:  
<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%BD%CF%84%CE%B9%CE%B2%CE%B9%CE%BF%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C> [ προσβάσιμο στις 23 Μαΐου 2013]
- [14] Βικιπαίδεια, Η ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια, 2013. Πενικιλίνη [online]. Διαθέσιμο από:  
<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CE%B5%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%B9%CE%BB%CE%AF%CE%BD%CE%B7> [ προσβάσιμο στις 23 Μαΐου 2013]
- [15] Βικιπαίδεια, Η ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια, 2013. Αλεξάντερ Φλέμινγκ [online]. Διαθέσιμο από:  
<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%BB%CE%B5%CE%BE%CE%AC%CE%BD%CF%84%CE%B5%CF%81%CE%A6%CE%BB%CE%AD%CE%BC%CE%B9%CE%BD%CE%B3%CE%BA> [ προσβάσιμο στις 23 Μαΐου 2013]
- [16] Υγεία online, 2012. Τα πάντα για την υγεία, Στρεπτομυκίνη [online]. Διαθέσιμο από:  
[http://www.ygeiaonline.gr/index.php?option=com\\_k2&view=item&id=50505:streptomycin](http://www.ygeiaonline.gr/index.php?option=com_k2&view=item&id=50505:streptomycin) [ προσβάσιμο στις 23 Μαΐου 2013]
- [17] Ιστορία της Ιατρικής, 2009. Σέλμαν Βάκσμαν [online]. Διαθέσιμο από:  
<http://historymed.blogspot.gr/2009/11/selman-waksman.html> [ προσβάσιμο στις 23 Μαΐου 2013]
- [18] Βικιπαίδεια, Η ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια, 2013. Κυκλοεξιμίδιο [online]. Διαθέσιμο από:  
<http://wikipedia.qwika.com/en2el/Cycloheximide> [ προσβάσιμο στις 23 Μαΐου 2013]
- [19] Έρευνα και καινοτομία – Ευropa, 2011. Ευρωπαϊκή επιτροπή, Έρευνα, Η ανθεκτικότητα στα αντιβιοτικά, Η σημασία των αντιβιοτικών [online]. Διαθέσιμο από:  
[http://ec.europa.eu/research/leaflets/antibiotics/page\\_32\\_el.html](http://ec.europa.eu/research/leaflets/antibiotics/page_32_el.html) [ προσβάσιμο στις 23 Μαΐου 2013]
- [20] Στεφανογιάννης Γ., 2013. Greek Health, Η Ελληνική Υγεία στο Διαδίκτυο, Αντιβιοτικά : Σωστή χρήση και κατάχρηση [online]. Διαθέσιμο από: [http://www.greek-health.gr/2010/12/blog-post\\_1003.html#more](http://www.greek-health.gr/2010/12/blog-post_1003.html#more) [ προσβάσιμο στις 23 Μαΐου 2013]

- [21] Βικιπαίδεια. Η ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια, 2013. Γεωργία (δραστηριότητα) [online]. Διαθέσιμο από:  
[http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%93%CE%B5%CF%89%CF%81%CE%B3%CE%AF%CE%B1\\_\(%CE%B4%CF%81%CE%B1%CF%83%CF%84%CE%B7%CF%81%CE%B9%CF%8C%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1\)](http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%93%CE%B5%CF%89%CF%81%CE%B3%CE%AF%CE%B1_(%CE%B4%CF%81%CE%B1%CF%83%CF%84%CE%B7%CF%81%CE%B9%CF%8C%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1)) [ προσβάσιμο στις 24 Μαΐου 2013]
- [22] Ξενικουδάκης Σ., 2011. Υγεία:Αντιβιοτικά στην κτηνοτροφία [online]. Διαθέσιμο από:  
[http://olympios1.blogspot.gr/2011/06/blog-post\\_9128.html](http://olympios1.blogspot.gr/2011/06/blog-post_9128.html) [προσβάσιμο στις 24 Μαΐου 2013]
- [23] Ασκληπιακό Πάρκο Ιατρικής Σχολής Πανεπιστημίου Αθηνών, 2008. Νοσοκομειακές Λοιμώξεις [online]. Διαθέσιμο από: <http://panacea.med.uoa.gr/topic.aspx?id=261> [ προσβάσιμο στις 24 Μαΐου 2013]
- [24] Medlook, Έγκυρη πληροφόρηση για την υγεία, 2003. Σταφυλόκοκκος: Ανθεκτικότητα και κίνδυνοι [online]. Διαθέσιμο από: [http://www.medlook.net.cy/article.asp?item\\_id=1112](http://www.medlook.net.cy/article.asp?item_id=1112) [προσβάσιμο στις 24 Μαΐου 2013]
- [25] Κουτουμάνος Α., 2006. Έρευνα, Βαρέα μέταλλα, σχετίζονται με τον αυτισμό, [online] . Διαθέσιμο από: <http://noesi.gr/book/syndrome/autism-mmr> [ προσβάσιμο στις 26 Μαΐου 2013]
- [26] Toxplus, 2012. Βαρέα μέταλλα και ιχνοστοιχεία [online]. Διαθέσιμο από : <http://www.toxplus.gr/el/servises/analysis/vareametalla.html> [ προσβάσιμο στις 26 Μαΐου 2013]
- [27] Food – Info, 2013. Βαρέα μέταλλα [online]. Διαθέσιμο από : <http://www.food-info.net/gr/metal/intro.htm> [ προσβάσιμο στις 26 Μαΐου 2013]
- [28] Δ.Μηλιώνη, Γ. Μεθενίτου, Διοξίνες και PCBs ως περιβαλλοντικοί ρυπαντές, 3<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συμπόσιο Υγιεινής και Τεχνολογίας Τροφίμων.
- [29] Ecosystems Database Observatory, 2007. Βαρέα μέταλλα, [online]. Διαθέσιμο από:  
[http://www.ecodonet.gr/metals\\_heavy\\_greek.php](http://www.ecodonet.gr/metals_heavy_greek.php) [ προσβάσιμο στις 26 Μαΐου 2013]
- [30] Βικιπαίδεια. Η ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια, 2013. Αρσενικό [online]. Διαθέσιμο από :  
[http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CF%81%CF%83%CE%B5%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CF%8C\\_\(%CF%87%CE%B7%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CF%8C\\_%CF%83%CF%84%CE%BF%CE%B9%CF%87%CE%B5%CE%AF%CE%BF\)](http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CF%81%CF%83%CE%B5%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CF%8C_(%CF%87%CE%B7%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CF%8C_%CF%83%CF%84%CE%BF%CE%B9%CF%87%CE%B5%CE%AF%CE%BF)) [ προσβάσιμο στις 26 Μαΐου 2013]
- [31] Βικιπαίδεια. Η ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια, 2013. Κάδμιο [online]. Διαθέσιμο από:  
<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%AC%CE%B4%CE%BC%CE%B9%CE%BF> [ προσβάσιμο στις 27 Μαΐου 2013]
- [32] Βικιπαίδεια. Η ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια, 2013. Χρώμιο [online]. Διαθέσιμο από:  
<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A7%CF%81%CF%8E%CE%BC%CE%B9%CE%BF> [ προσβάσιμο στις 27 Μαΐου 2013]

[33] Βικιπαίδεια. Η ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια, 2013. Χαλκός [online]. Διαθέσιμο από: <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A7%CE%B1%CE%BB%CE%BA%CF%8C%CF%82> [προσβάσιμο στις 27 Μαΐου 2013]

[34] Βικιπαίδεια. Η ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια, 2013. Νικέλιο [online]. Διαθέσιμο από : <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9D%CE%B9%CE%BA%CE%AD%CE%BB%CE%B9%CE%BF> [προσβάσιμο στις 27 Μαΐου 2013]

[35] Βικιπαίδεια. Η ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια, 2013. Υδράργυρος [online]. Διαθέσιμο από : <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A5%CE%B4%CF%81%CE%AC%CF%81%CE%B3%CF%85%CF%81%CE%BF%CF%82> [προσβάσιμο στις 28 Μαΐου 2013]

[36] Food – Info, 2013. Υδράργυρος [online]. Διαθέσιμο από : <http://www.food-info.net/gr/metal/mercury.htm> [προσβάσιμο στις 28 Μαΐου 2013]

[37] Ευσταθίου Κ., 2013. Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Υδράργυρος και χαρακτηριστικές αντιδράσεις του [online]. Διαθέσιμο από: [http://www.chem.uoa.gr/quali/quali\\_C01\\_Hg.htm](http://www.chem.uoa.gr/quali/quali_C01_Hg.htm) [προσβάσιμο στις 28 Μαΐου 2013]

[38] Μουσουλιώτης Χ., 2011. Υδράργυρος: η χειρότερη νευροτοξίνη του πλανήτη [online]. Διαθέσιμο από: <http://www.slideshare.net/mousoul/ss-9277920> [προσβάσιμο στις 28 Μαΐου 2013]

[39] Πολυχρόνης Σ Καραγκιοζίδης, 2013. Γιατί ο υδράργυρος είναι επικίνδυνος [online]. Διαθέσιμο από : [http://www.polkarag.gr/FILES/chem/Hg/Hg\\_files/harmful.htm](http://www.polkarag.gr/FILES/chem/Hg/Hg_files/harmful.htm) [προσβάσιμο στις 27 Μαΐου 2013]

[40] Χατζηπαναγής Α., 2004 – 2013. Δηλητηρίαση από υδράργυρο [online]. Διαθέσιμο από: <http://www.cyprus-child-environment.org/easyconsole.cfm/id/135> [προσβάσιμο στις 29 Μαΐου 2013]

[41] Gehrke M., Κυρανούδη Δ., 2013. Σκάι.gr, Περιβάλλον, Προς απαγόρευση η εκπομπές υδραργύρου [online]. Διαθέσιμο από: <http://www.skai.gr/news/environment/article/221885/pros-apagoreusi-oi-ekprobes-udrargyrou/> [προσβάσιμο στις 29 Μαΐου 2013]

[42] Ζημάλης Ε., 2002. Μόλυβδος [online]. Διαθέσιμο από: [http://www.iatronet.gr/article.asp?art\\_id=346](http://www.iatronet.gr/article.asp?art_id=346) [προσβάσιμο στις 29 Μαΐου 2013]

[43] Ευσταθίου Κ., 2013. Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Μόλυβδος και χαρακτηριστικές αντιδράσεις του [online]. Διαθέσιμο από: [http://www.chem.uoa.gr/quali/quali\\_C01\\_Pb.htm](http://www.chem.uoa.gr/quali/quali_C01_Pb.htm) [προσβάσιμο στις 29 Μαΐου 2013]

[44] Βικιπαίδεια. Η ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια, 2013. Μόλυβδος [online]. Διαθέσιμο από: <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CF%8C%CE%BB%CF%85%CE%B2%CE%B4%CE%BF%CF%82> [προσβάσιμο στις 29 Μαΐου 2013]

[45] Food – Info, 2013. Μόλυβδος [online]. Διαθέσιμο από <http://www.food-info.net/gr/metal/lead.htm> [προσβάσιμο στις 28 Μαΐου 2013]

[46] Σ. Μόσιος, Ι. Μπέης, Πτυχιακή εργασία, Ανθεκτικότητα Αερομεταφερόμενων Μικροοργανισμών, Τμήμα Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, ΤΕΙ Κρήτης, Παράρτημα Χανίων

[47] Λ. Ραΐση, Πτυχιακή εργασία, Συσχέτιση μικροβιακού φορτίου και αιωρούμενων σωματιδίων σε αέρια δείγματα αστικού περιβάλλοντος, Τμήμα Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, ΤΕΙ Κρήτης, Παράρτημα Χανίων

[48] Ν. Πατρικής, Πτυχιακή Εργασία, Ανθεκτικότητα αερομεταφερόμενων μικροοργανισμών σε αντιβιοτικά & μυκητοκτόνα, Τμήμα Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, ΤΕΙ Κρήτης, Παράρτημα Χανίων

[49] Βικιπαίδεια. Η ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια, 2013. Βακτήριο [online]. Διαθέσιμο από: <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%92%CE%B1%CE%BA%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B9%CE%BF> [προσβάσιμο στις 6 Ιουνίου 2013]

[50] Βικιπαίδεια. Η ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια, 2013. Μύκητες [online]. Διαθέσιμο από: <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CF%8D%CE%BA%CE%B7%CF%84%CE%B1%CF%82> [προσβάσιμο στις 6 Ιουνίου 2013]

[51] Merck Millipore International, 2013. MAS 100 [online]. Διαθέσιμο από: [http://www.merck-chemicals.com/food-analytics/mas-100-nt-/c\\_zl.b.s1OJNoAAAEfJfcv.1.F](http://www.merck-chemicals.com/food-analytics/mas-100-nt-/c_zl.b.s1OJNoAAAEfJfcv.1.F) [προσβάσιμο στις 11 Ιουνίου 2013]

[52] Ventilation Test Instruments, 2009. Field Adjustment of VELOCICALC®, Air Velocity Meters, Models 8345, 8346, 8347 and the VELOCICALC® Plus Air Velocity Meters Models 8384, 8385, and 8386 Application Note TI-101B [online]. Διαθέσιμο από: [http://www.tsi.com/uploadedFiles/Product\\_Information/Literature/Application\\_Notes/ti-101B.pdf](http://www.tsi.com/uploadedFiles/Product_Information/Literature/Application_Notes/ti-101B.pdf) [προσβάσιμο στις 11 Ιουνίου 2013]

[53] Α.Δ. Καραγκούνη – Κύρτσου, 1999, Μικροβιολογία, Εκδόσεις Αθαν. Σταμούλης, Αθήνα

[54] Βικιπαίδεια. Η ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια, 2013. Τριβλίο Petri [online]. Διαθέσιμο από : [http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A4%CF%81%CF%85%CE%B2%CE%BB%CE%AF%CE%BF\\_%CE%A0%CE%AD%CF%84%CF%81%CE%B9](http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A4%CF%81%CF%85%CE%B2%CE%BB%CE%AF%CE%BF_%CE%A0%CE%AD%CF%84%CF%81%CE%B9) [προσβάσιμο στις 19 Μαΐου 2013]

[55] Molecular Nutrition Labs, 2012. Βαρέα μέταλλα στον αυτισμό [online]. Διαθέσιμο από: <http://nutrilabs.gr/aftismos-varea-metall/> [προσβάσιμο στις 3 Οκτωβρίου 2013]

*Μελέτη της ανθεκτικότητας σε αντιβιοτικά  
και βαρέα μέταλλα αερομεταφερόμενων μικροοργανισμών*

*Νικηφόρου Όλγα  
Κύκνα Αναστασία*

