

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ



ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ & ΒΙΟΧΗΜΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΑΕΡΟΜΕΤΑΦΕΡΟΜΕΝΩΝ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ ΣΕ
ΑΝΤΙΒΙΟΤΙΚΑ & ΜΥΚΗΤΟΚΤΟΝΑ

ΠΑΤΡΙΚΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια
Αναπλ. Καθ. ΕΛΕΥΘΕΡΙΑ ΚΑΤΣΙΒΕΛΑ

ΧΑΝΙΑ 2011

*Ανθεκτικότητα αερομεταφερόμενων
μικροοργανισμών σε αντιβιοτικά & μυκητοκτόνα*

Πατρικής Νικόλαος

*Στους γονείς μου
και στα αδέρφια μου*

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

1. Εξεταστής: Αναπλ. Καθ. Ελευθερία Κατσίβελα
2. Εξεταστής: MSc Ηλίας Κοπανάκης
3. Εξεταστής: Καθ. Εφαρμ. Βασίλειος Δημητρίου

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά

Την Καθηγήτριά μου κυρία Κατσίβελα Ελευθερία, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια του Τμήματος Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος του Παραρτήματος Χανίων του ΤΕΙ Κρήτης, που ανέλαβε να επιβλέψει την πτυχιακή εργασία.

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

Το Εργαστήριο Περιβαλλοντικής Χημείας και Βιοχημικών Διεργασιών του ΤΕΙ Κρήτης Παραρτήματος Χανίων για την παραχώρηση εργαστηριακού εξοπλισμού.

Τις συμφοιτήτριές μου Λουΐζα Ραΐση και Κόλλια Καλλιόπη για την βοήθεια που μου πρόσφεραν στα πρώτα μου βήματα για την εκπόνηση της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σ’ αυτήν την πτυχιακή εργασία μελετήθηκε η συγκέντρωση των **αερομεταφερόμενων μικροοργανισμών** και των **εισπνεύσιμων αιωρούμενων σωματιδίων** στον αέρα περιβάλλοντος εσωτερικών και εξωτερικών χώρων. Οι μικροοργανισμοί που προσδιορίστηκαν ήταν τα **ετερότροφα βακτήρια** και οι **μεσόφιλοι μύκητες**, ενώ η κατηγορία των αιωρούμενων σωματιδίων που προσδιορίστηκε ήταν τα **PM₁₀**, **PM_{2,5}** και **PM₁**.

Οι χώροι στους οποίους πραγματοποιήθηκε η δειγματοληψία ήταν το *προαύλιο* του παραρτήματος Χανίων του ΤΕΙ Κρήτης ως σημείο αναφοράς, η *βιβλιοθήκη*, ένα *γραφείο πέντε ατόμων* και ένα *γραφείο δύο ατόμων*. Τα αποτελέσματα αυτά συσχετίστηκαν με τις μετεωρολογικές παραμέτρους που επικρατούσαν σε αυτούς τους χώρους κατά την διάρκεια της δειγματοληψίας. Οι μετεωρολογικοί παράμετροι που μετρήθηκαν ήταν η **ταχύτητα**, η **θερμοκρασία** και η **σχετική υγρασία** του αέρα περιβάλλοντος καθώς επίσης και η **ροή του αέρα** των εσωτερικών χώρων μέσα από πόρτες και παράθυρα. Επίσης στους χώρους αυτούς προσδιορίστηκε το ποσοστό επιβίωσης των αερομεταφερόμενων μικροοργανισμών σε αντιβιοτικά και μυκητοκτόνα. Οι πέντε αντιβιοτικές-μυκητοκτόνες ουσίες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η **Στρεπτομυκίνη**, η **Τετρακυκλίνη** και η **Αμπικιλίνη** για τον προσδιορισμό του ποσοστού επιβίωσης των βακτηρίων και το **Κυκλοεξιμίδιο** και το **Νυστατίνη** για τον προσδιορισμό του ποσοστού επιβίωσης των μυκήτων.

Η μέση συγκέντρωση των αερομεταφερόμενων μυκήτων στον προαύλιο χώρο ήταν υψηλότερη (1.411 ± 3.151 cfu/m³) εκείνης των ετερότροφων βακτηρίων (126 ± 97 cfu/m³). Αντίθετα οι μέσες συγκεντρώσεις των αερομεταφερόμενων ετερότροφων βακτηρίων στους εσωτερικούς χώρους (από 244 ± 240 έως 496 ± 542 cfu/m³) ήταν υψηλότερες ή αντίστοιχες εκείνων των μυκήτων (από 198 ± 225 έως 426 ± 449 cfu/m³).

Η μέση συγκέντρωση των αερομεταφερόμενων μικροοργανισμών και των αιωρούμενων σωματιδίων δεν παρουσίασε κάποια συσχέτιση με τις μέσες τιμές των εισπνεύσιμων αιωρούμενων σωματιδίων και των μετεωρολογικών παραμέτρων που επικρατούσαν στους χώρους δειγματοληψίας. Αντίθετα η ύπαρξη ατόμων στους εσωτερικούς χώρους επηρέαζε άμεσα τη συγκέντρωση των αερομεταφερόμενων ετερότροφων βακτηρίων.

Η μόνη μετεωρολογική παράμετρος που έδειξε κάποια συσχέτιση με την μέση συγκέντρωση των αερομεταφερόμενων μικροβίων ήταν η ροή του αέρα περιβάλλοντος μέσα από πόρτες και παράθυρα των εσωτερικών χώρων. Όσο πιο συχνά ανανεωνόταν ένας εσωτερικός χώρος με φρέσκο αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον, τόσο πιο μικρή ήταν η συγκέντρωση των βακτηρίων σε αυτόν τον χώρο. Αυτό μας δείχνει ότι η καλύτερη ποιότητα του αέρα περιβάλλοντος σε έναν εσωτερικό χώρο επιτυγχάνεται με τον καλό αερισμό και την καλή ανανέωση με φρέσκο αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον του χώρου αυτού. Αντίθετα η αύξηση της ροής αέρα οδηγούσε σε αύξηση της συγκέντρωσης των αερομεταφερόμενων μυκήτων στους εσωτερικούς χώρους λόγω της ύπαρξης τους στο εξωτερικό περιβάλλον.

Τα αερομεταφερόμενα μικρόβια παρουσίασαν ένα ποσοστό επιβίωσης σε θρεπτικά υποστρώματα εμπλουτισμένα με αντιβιοτικές ή μυκητοκτόνες ενώσεις σε διάφορες συγκεντρώσεις. Πιο συγκεκριμένα η επίδραση αυτών των ουσιών φαίνεται συγκριτικά στο παράδειγμα της προσθήκης 25 μg/ml αντιβιοτικής-μυκητοκτόνου ουσίας.

Το ποσοστό επιβίωσης σε συγκέντρωση 25 μg αντιβιοτικού ή μυκητοκτόνου ανά ml θρεπτικού υποστρώματος ήταν στην αμπικιλίνη 1%, στην τετρακυκλίνη 2% και στην στρεπτομυκίνη 5,6% για τα αερομεταφερόμενα βακτήρια, ενώ για τους αερομεταφερόμενους μύκητες ήταν στο κυκλοεξιμίδιο 12% και στην νυστατίνη 62%.

ABSTRACT

The aim of the present work was to study the existence of antibiotic resistant airborne microorganisms and their correlation to particulate matter levels. Concentrations of viable airborne bacterial and fungal, as well as, of particulate matter PM₁₀, PM_{2,5}, and PM₁ levels were measured in both the indoor and outdoor air.

Air samples were collected by impaction using an air sampler (MAS 100, Merck, Germany) for the determination of the microbial concentrations. The mesophilic heterotrophic bacteria were incubated in Tryptone Soy Agar (Merck, Germany) at 37°C for 48 h, whereas mesophilic fungi were cultivated in Malt Extract Agar (Lab M, England) at 20°C for 72 h. Antibiotic resistance in airborne heterotrophic bacteria was studied using, separately, Streptomycin, Tetracycline or Ampicillin in concentrations varying from 1 to 100 µg per ml growth medium. In accordance, fungicide resistance in airborne fungi was tested using, separately, Cycloheximide or Nystatin concentrations varying from 12,5 to 100 µg per ml growth medium. Temperature, relative humidity, air speed and air flow were determined by a portable VelociCalc TSI instrument.

Samples were collected at 3 different naturally ventilated offices, as well as outdoors. Duplicates of samples were collected each time at each sampling point. The mean concentration of the mesophilic heterotrophic bacteria and fungi indoors varied from 244±240 to 496±542 CFU/m³ and from 198±225 to 426±449 CFU/m³, respectively, whereas outdoors varied from 126 to 97 and from 1,411 to 3,151 CFU/m³, respectively. At the same period of time, the concentrations of PM₁₀, PM_{2,5}, and PM₁ indoors and outdoors varied in the same range, probably, due to the natural ventilation through open windows. Thus, the concentrations of PM₁₀, PM_{2,5}, and PM₁ varied from 52.5 to 69.7, 42.9 to 60.2, and 37.9 to 54.8 µg/m³, respectively.

The highest antibiotic resistance was obtained for Streptomycin varying from 2,6 to 14%, even at high concentrations of 100 µg per ml growth medium. In contrast, the airborne viable heterotrophic bacteria showed very low antibiotic resistance for Tetracycline and Ampicillin varying from 30 to 1%, even at low concentrations of 25 µg per ml growth medium. The airborne fungi showed the highest fungicide resistance for Nystatin, being following by Cycloheximide, with an average resistance 62% and 12% respectively, at concentrations of 25 µg per milliliter growth medium.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	11
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Εισαγωγή.....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ	
2.1 Τα μικρόβια στη ζωή μας.....	15
2.2 Ονοματολογία και ταξινόμηση μικροοργανισμών.....	16
2.2.1 Ονοματολογία.....	16
2.2.2 Τύποι μικροοργανισμών.....	16
2.2.3 Ταξινόμηση μικροοργανισμών.....	19
2.3 Σύντομη ιστορία της μικροβιολογίας.....	19
2.3.1 Οι πρώτες παρατηρήσεις.....	19
2.3.2 Η συζήτηση για την θεωρία της αυτόματης γένεσης.....	20
2.3.3 Η χρυσή εποχή της μικροβιολογίας.....	22
Βιβλιογραφία.....	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΑΕΡΟΜΕΤΑΦΕΡΟΜΕΝΟΙ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ & ΑΣΘΕΝΕΙΕΣ	
3.1 Εισαγωγή.....	26
3.2 Αερογενής μετάδοση ασθενειών.....	26
3.2.1 Αερογενείς παθογόνοι μικροοργανισμοί.....	27
3.3 Ασθένειες που οφείλονται σε στρεπτόκοκκους.....	28
3.4 <i>Corynebacterium diphtheriae</i> & διφθερίτιδα.....	31
3.5 <i>Bordetella pertussis</i> & κοκκύτης.....	32
3.6 <i>Mycobacterium tuberculosis</i> & φυματίωση.....	33
3.7 <i>Neisseria meningitidis</i> , μηνιγγίτιδα & μηνιγγοκοκκαίμια.....	35
3.8 Ιοί, κρυολογήματα & γρίπη.....	37
Βιβλιογραφία.....	40
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΑΝΤΙΒΙΟΤΙΚΑ	
4.1 Εισαγωγή.....	41
4.2 Εξάπλωση της αντίστασης στα αντιμικροβιακά φάρμακα.....	42
4.3 Φυσικά αντιμικροβιακά φάρμακα: Αντιβιοτικά.....	45
4.3.1 Αντιβιοτικά που επηρεάζουν την πρωτεϊνοσύνθεση.....	46
4.3.2 Αντιβιοτικά που επηρεάζουν την πολυμεράση του RNA.....	46
4.3.3 Αντιβιοτικά β-λακτάμης: Πενικιλίνες & Κεφαλοσπορίνες.....	47
4.3.4 Αντιβιοτικά από προκαρυωτικούς μικροοργανισμούς.....	48
4.3.4.1 Αντιβιοτικά αμινογλυκοζίτη.....	48
4.3.4.2 Αντιβιοτικά μακρολιδίων.....	49
4.3.4.3 Τετρακυκλίνες.....	49
4.3.5 Αντιμυκητικά φάρμακα.....	50
4.4 Μηχανισμοί αντοχής στα αντιμικροβιακά φάρμακα.....	51
Βιβλιογραφία.....	53

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ

5.1 Σωματιδιακή ύλη στην ατμόσφαιρα.....	55
5.1.1 Το μέγεθος των αιωρούμενων στην ατμόσφαιρα σωματιδίων.....	56
5.1.2 Πηγές των αιωρούμενων σωματιδίων.....	57
5.1.3 Οργανικές χημικές ενώσεις στα αιωρούμενα σωματίδια.....	58
5.2 Επιπτώσεις στην υγεία από την εισπνοή των αιωρούμενων σωματιδίων.....	59
Βιβλιογραφία.....	60

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ

6.1 Εισαγωγή.....	61
6.2 Αέριοι & Σωματιδιακοί ρύποι εσωτερικών χώρων.....	62
6.2.1 VOCs (Συμπεριλαμβανομένης της Φορμαλδεΐδης).....	64
6.2.2 Ανόργανα αέρια – Προϊόντα καύσης (NO _x , CO).....	65
6.2.3 Αιωρούμενα σωματίδια (Συμπεριλαμβανομένου του καπνού από τσιγάρο).....	67
6.2.4 Ραδόνιο.....	68
6.2.5 Βιολογικοί παράγοντες μόλυνσης.....	70
6.3 Σχεδιασμός & χρήση των συστημάτων Θέρμανσης - Αερισμού - Κλιματισμού.....	74
6.3.1 Βοηθητικά υποσυστήματα διαχείρισης του εσωτερικού αέρα.....	76
6.4 Φυσικός αερισμός.....	77
6.5 Κατασκευαστικά υλικά & εσωτερικό περιβάλλον.....	78
6.6 Οικολογική δόμηση & βιοκλιματική αρχιτεκτονική.....	79
Βιβλιογραφία.....	80

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

7.1 Περιγραφή του πειράματος.....	83
7.2 Θρεπτικά υποστρώματα.....	83
7.3 Παρασκευή υποστρωμάτων καλλιέργειας.....	85
7.3.1 Συγκέντρωση αντιβιοτικών.....	85
7.4 Δειγματοληψία.....	86
Βιβλιογραφία.....	87

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Εισαγωγή.....	89
8.1 Αερομεταφερόμενα μικρόβια και αιωρούμενα σωματίδια.....	89
8.1.1 1 ^η Δειγματοληψία (04/11/2008).....	89
8.1.2 2 ^η Δειγματοληψία (11/11/2008).....	91
8.1.3 3 ^η Δειγματοληψία (25/11/2008).....	93
8.1.4 4 ^η Δειγματοληψία (02/12/2008).....	94
8.1.5 5 ^η Δειγματοληψία (17/12/2008).....	96
8.1.6 6 ^η Δειγματοληψία (13/01/2009).....	97
8.1.7 7 ^η Δειγματοληψία (24/02/2009).....	98
8.1.8 8 ^η Δειγματοληψία (10/03/2009).....	100
8.1.9 9 ^η Δειγματοληψία (17/03/2009).....	101
8.1.10 10 ^η Δειγματοληψία (31/03/2009).....	102
8.1.11 11 ^η Δειγματοληψία (07/04/2009).....	104
8.1.12 12 ^η Δειγματοληψία (28/04/2009).....	105

8.1.13 13 ^η Δειγματοληψία (04/05/2009).....	106
8.1.14 14 ^η Δειγματοληψία (12/05/2009).....	108
8.1.15 15 ^η Δειγματοληψία (19/05/2009).....	109
8.1.16 16 ^η Δειγματοληψία (26/05/2009).....	110
8.1.17 17 ^η Δειγματοληψία (01/06/2009).....	111
8.1.18 18 ^η Δειγματοληψία (10/06/2009).....	112
8.2 Ποσοστό επιβίωσης των μικροοργανισμών στα αντιβιοτικά-μυκητοκτόνα.....	114
8.2.1 Προαύλιο.....	114
8.2.2 Βιβλιοθήκη.....	117
8.2.3 Γραφείο 5 ατόμων.....	120
8.2.4 Γραφείο 2 ατόμων.....	123
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9	
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	127
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	131

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης των αερομεταφερόμενων μικροοργανισμών (ετερότροφα βακτήρια & μεσόφιλοι μύκητες) και των εισπνεύσιμων αιωρούμενων σωματιδίων (PM₁₀, PM_{2,5}, PM₁) στον αέρα περιβάλλοντος εσωτερικών χώρων και εξωτερικού περιβάλλοντος. Επίσης μετρήθηκε η ανθεκτικότητα αυτών των μικροοργανισμών στα αντιβιοτικά στρεπτομυκίνη, τετρακυκλίνη και αμικικιλίνη, καθώς και στα μυκητοκτόνα κυκλοεξιμίδιο και νυστατίνη. Τα αποτελέσματα αυτά συσχετίστηκαν με τις μετεωρολογικές παραμέτρους που επικρατούσαν κατά την διάρκεια της δειγματοληψίας στα σημεία δειγματοληψίας.

Οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν στους εσωτερικούς χώρους του Παραρτήματος Χανίων του ΤΕΙ Κρήτης (στη βιβλιοθήκη, σε γραφείο πέντε ατόμων και σε γραφείο δύο ατόμων) καθώς επίσης και στο προαύλιο χώρο που χρησιμοποιήθηκε ως σημείο αναφοράς. Η πτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Περιβαλλοντικής Χημείας και Βιοχημικών Διεργασιών του Τομέα Περιβάλλοντος Τεχνολογίας του Τμήματος Φυσικών Πόρων & Περιβάλλοντος του ΤΕΙ Κρήτης στο Παράρτημα Χανίων.

Το **1^ο Κεφάλαιο** περιγράφει συνοπτικά το πρόβλημα που έχει δημιουργηθεί από την υπερβολική κατανάλωση αντιβιοτικών.

Το **2^ο Κεφάλαιο** αναφέρεται στα βακτήρια και τους μύκητες και σε ποιες διεργασίες συμμετέχουν γενικά οι μικροοργανισμοί στην καθημερινή μας ζωή. Επίσης περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο οι μικροβιολόγοι της εποχής ανακάλυψαν τους μικροοργανισμούς και πως αντιμετώπισαν για πρώτη φορά τις ασθένειες – λοιμώξεις που προσβάλλουν τον άνθρωπο και τα ζώα.

Το **3^ο Κεφάλαιο** αναφέρεται στα είδη παθογόνων μικροοργανισμών και τις ασθένειες που αυτοί προκαλούν.

Το **4^ο Κεφάλαιο** αναφέρεται στο πρόβλημα που έχει δημιουργήσει η ανορθολογική χρήση αντιβιοτικών. Αναφέρεται επίσης στη δομή και στον μηχανισμό, με τον οποίο τα αντιβιοτικά δρουν κατά των μικροοργανισμών και στους μηχανισμούς αντοχής που έχουν αναπτύξει κάποιοι μικροοργανισμοί κατά των αντιβιοτικών.

Το **5^ο Κεφάλαιο** αναφέρεται στα αιωρούμενα σωματίδια της ατμόσφαιρας και στις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία που αυτά προκαλούν.

Το **6^ο Κεφάλαιο** αναφέρεται στους αέριους και σωματιδιακούς ρύπους εσωτερικών χώρων, στους βιολογικούς παράγοντες μόλυνσης (βιοαεροζόλ) και γενικά στην ποιότητα του αέρα εσωτερικών χώρων.

Το **7^ο Κεφάλαιο** αναφέρεται στο πειραματικό μέρος της πτυχιακής εργασίας. Περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο παρασκευάστηκαν τα υποστρώματα καλλιέργειας, αναφέρει τις συγκεντρώσεις αντιβιοτικών και μυκητοκτόνων που χρησιμοποιήθηκαν καθώς επίσης και τα όργανα με τα οποία πραγματοποιήθηκαν οι δειγματοληψίες.

Το **8^ο Κεφάλαιο** παρουσιάζει τα αποτελέσματα των συγκεντρώσεων των βακτηρίων, μυκήτων και των αιωρούμενων σωματιδίων καθώς επίσης και το ποσοστό επιβίωσης των μικροοργανισμών αυτών στα αντιβιοτικά και μυκητοκτόνα.

Το **9^ο Κεφάλαιο** παρουσιάζει τα συμπεράσματα της πτυχιακής εργασίας.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

ECDC	European Center for Disease Control and Prevention
HEPA	High Efficiency Particulate Air
PBP	Penicillin Binding Proteins
DPM	Diesel Particulate Matter
IAQ	Indoor Air Quality
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health
PEL	Permissible Exposure Limits
ACGIH	American Congress of Government and Industrial Hygienist
TWA – TLV	Times weighted average threshold limit values
NAAQSs	National Ambient Air Quality Standards
HVAC	Heating, Ventilation, and Air Conditioning
CFU	Colony Forming Unit

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όταν το 1929 ο Αλεξάντερ Φλέμινγκ ανακάλυψε την πενικιλίνη θεωρήθηκε ότι ανακάλυψε και τη σωτηρία της ανθρωπότητας, καθώς αναμφισβήτητα τα αντιβιοτικά έσωσαν εκατομμύρια ανθρώπους τον περασμένο αιώνα και συνεχίζουν να το κάνουν μέχρι και σήμερα. Η θριαμβολογία, όμως, σκιάζεται από την επανεμφάνιση ασθενειών που υποτίθεται ότι είχαν εξαλειφθεί. Η υπερβολική κατανάλωση αντιβιοτικών οδήγησε στη δημιουργία ανθεκτικών μικροβίων και η επιστημονική κοινότητα ανησυχεί για τα χειρότερα.

«Ό, τι δε σε σκοτώνει σε κάνει πιο δυνατό». Δυστυχώς, αυτή η φράση 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. Ο ίδιος ο Φλέμινγκ παρατήρησε ότι η χορήγηση πενικιλίνης, ακόμη και σε μικρές δόσεις, οδηγούσε σε ανάπτυξη ανθεκτικότητας στους μικροοργανισμούς. Σήμερα, στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες τα αντιβιοτικά αποτελούν τη δεύτερη ευρύτερα χρησιμοποιούμενη κατηγορία φαρμάκων μετά τα απλά αναλγητικά. Δυστυχώς η Ελλάδα κατέχει την πρώτη θέση μεταξύ των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης με τα υψηλότερα ποσοστά κατανάλωσης αντιβιοτικών. Το αποτέλεσμα είναι ότι έχει και ένα από τα υψηλότερα ποσοστά μικροβίων που είναι ανθεκτικά στα αντιβιοτικά! Θα πρέπει, επίσης, να γνωρίζουμε ότι η επίκτητη ανθεκτικότητα αυτή μεταδίδεται και από βακτήριο σε βακτήριο, έστω και αν πρόκειται για διαφορετικά είδη βακτηρίων. Σύμφωνα με μελέτες, τα Ελληνόπουλα καταπίνουν τα αντιβιοτικά σαν καραμέλες (εικόνα 1.1). Το 50% περίπου των Ελλήνων γονιών έχουν εφεδρικά αντιβιοτικά στο φαρμακείο του σπιτιού τους, επειδή φοβούνται ότι μπορεί να «ξεμείνουν». Σε περίπτωση που ο γιατρός δεν χορηγήσει στο παιδί τους αντιβίωση, ένα 20% αυτών του ασκεί πίεση ή αλλάζει γιατρό. Το 75% της κατανάλωσης αντιβιοτικών αφορά λοιμώξεις του αναπνευστικού και, από αυτό το ποσοστό, το 70% λαμβάνεται χωρίς λόγο, αφού πρόκειται για λοιμώξεις που οφείλονται σε ιούς έναντι των οποίων τα αντιβιοτικά δεν είναι δραστικά. Την ίδια στιγμή, σε όλο τον κόσμο γεννιέται μια νέα εποχή που, σύμφωνα με τους ειδικούς, θα σημαδευτεί από το τέλος της δράσης των αντιβιοτικών, αν συνεχιστεί η αλόγιστη χρήση τους.

Τα καλά νέα είναι όμως, πως τα αντιβιοτικά ξαναγίνονται δραστικά έναντι των μικροβίων, όταν σταματήσει η άσκοπη υπερκατανάλωση τους, «γεγονός που επισημαίνει τις ευθύνες όλων μας»! Η σημαντική αυτή παρατήρηση, που έχει αποδειχτεί σε πολλές in vivo (στο ζωντανό σώμα ενός οργανισμού) μελέτες τόσο στο εξωτερικό όσο και στη χώρα μας, αποδίδεται στην άρση των μηχανισμών ανοχής από τα μικρόβια όταν σταματήσει η εκλεκτική πίεση που ασκούν τα αντιβιοτικά, εφόσον η ενεργοποίηση των αμυντικών τους μηχανισμών συνεπάγεται μεγάλες απώλειες ενέργειας για τα ίδια τα βακτήρια.

Από το 2002 με επίσημη απόφαση του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου η Ευρωπαϊκή Επιτροπή προέτρεψε τα κράτη – μέλη να εφαρμόσουν εθνική στρατηγική για την ορθολογική χρήση των αντιβιοτικών και τον έλεγχο της ανάπτυξης και διασποράς των ανθεκτικών μικροβίων με ποικίλες δράσεις.



Εικόνα 1.1 Ενδεικτικό της κατάστασης είναι ότι το 2009 καταγράφηκε χρήση αντιβιοτικών στο 50% του ελληνικού πληθυσμού, όταν τον προηγούμενο χρόνο το ποσοστό ήταν μόλις 25%! [4,5]

Το Ευρωπαϊκό Κέντρο Πρόληψης και Ελέγχου Νόσων (European Center for Disease Control and Prevention - ECDC) που εδρεύει στη Στοκχόλμη ιδρύθηκε το 2005 με αποστολή την προαγωγή της υγείας των Ευρωπαίων πολιτών. Ένα από τα βασικά του προγράμματα είναι αφιερωμένο στην αντιμετώπιση της μικροβιακής αντοχής, η οποία εξελίσσεται σε απειλή για τη δημόσια υγεία διεθνώς, δεδομένου, ότι στην αύξηση της αντοχής έρχεται να προστεθεί και η έλλειψη νέων δραστικών αντιβιοτικών εναντίον των ανθεκτικών μικροβίων. Γι' αυτόν τον πολύ σοβαρό λόγο ορίστηκε από το ECDC η 18η Νοεμβρίου του 2008 και για κάθε χρόνο που ακολουθεί ως η Ευρωπαϊκή Ημέρα Ενημέρωσης για τα Αντιβιοτικά (European Antibiotic Awareness Day).

Η Ευρωπαϊκή προσπάθεια για τα αντιβιοτικά βασισμένη στη διατήρηση ενός αγαθού, που τα τελευταία 60 χρόνια σώζει και εξακολουθεί να σώζει εκατομμύρια ζωές απευθύνεται στον Ευρωπαίο και ειδικότερα στη χώρα μας, που είναι «πρωταθλήτρια» στη λήψη αντιβιοτικών. Η Ελληνική πολιτεία συμμετέχοντας στην κοινή Ευρωπαϊκή προσπάθεια, επιχορήγησε για το 2008-2009 εκστρατεία ενημέρωσης του κοινού για τη σωστή χρήση των αντιβιοτικών για τα οποία πρέπει επιπλέον να γίνει κοινή συνείδηση, ότι δεν είναι αθώα φάρμακα [1,2,3].

Λαμβάνοντας υπόψη τη μεγάλη εξάπλωση παθογόνων μικροοργανισμών με ανθεκτικότητα σε αντιβιοτικά και φαρμακευτικές δραστικές ουσίες εξετάστηκε και μελετήθηκε στα πλαίσια της παρούσας πτυχιακής εργασίας η ύπαρξη ποσοστού αερομεταφερόμενων ετερότροφων βακτηρίων και μυκήτων με ανθεκτικότητα σε αντιβιοτικά και μυκητοκτόνα αντίστοιχα σε εσωτερικούς εργασιακούς χώρους και στο εξωτερικό περιβάλλον. Μέρος των αποτελεσμάτων της εργασίας έχει παρουσιαστεί και δημοσιευθεί στα πρακτικά των διεθνών συνεδρίων «3rd Congress of European Microbiologists (FEMS 2009)» και «11th International Conference on Environmental Science and Technology (CEST2009)».

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Vita.gr *Αντιβιοτικά: Οδηγίες σωστής χρήσης* της Φωτεινής Βασιλοπούλου [online]. Διαθέσιμο από: <http://www.vita.gr/html/ent/193/ent.11193.asp> [προσβάσιμο στις 27 Δεκεμβρίου 2010].

[2] TA NEA online *Αντιβιοτικά: Η μεγάλη απειλή. Μάρθα Καϊτανίδη* [online]. Διαθέσιμο από: <http://ygeia.tanea.gr/default.asp?pid=8&ct=4&articleID=5520&la=1> [προσβάσιμο στις 27 Δεκεμβρίου 2010].

[3] 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 [προσβάσιμο στις 28 Δεκεμβρίου 2010].

[4] Xanthi Press.gr «*Πρωταθλήτρια*» στα αντιβιοτικά η Ελλάδα. [online]. Διαθέσιμο από: <http://www.xanthipress.gr/enttheta/ygeia/573-2010-01-24-12-56-24.html> [προσβάσιμο στις 27 Δεκεμβρίου 2010].

[5] Glenti. *Η αλήθεια για τα αντιβιοτικά.* [online]. Διαθέσιμο από: http://glenti.blogspot.com/2009/10/h_28.html [προσβάσιμο στις 27 Δεκεμβρίου 2010].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ

2.1 ΤΑ ΜΙΚΡΟΒΙΑ ΣΤΗ ΖΩΗ ΜΑΣ

Για πολλούς ανθρώπους η λέξη μικρόβιο φέρνει στο μυαλό μικροσκοπικά όντα που δεν μπορούν να καταταχθούν σε κάποια από τις κατηγορίες των ζώων ή των φυτών ή των αβιοτικών στοιχείων. Τα μικρόβια, που αποκαλούνται επίσης **μικροοργανισμοί**, είναι μικροί ζωντανοί οργανισμοί που δεν είναι ορατοί με γυμνό μάτι. Η ομάδα περιλαμβάνει τα βακτήρια, τους μύκητες (ζύμες και υφές), τα πρωτόζωα και τα μικροσκοπικά φύκη. Επίσης περιλαμβάνει τους ιούς που είναι ακυτταρικές οντότητες και ισορροπούν στο μεταίχμιο βιοτικών και αβιοτικών παραγόντων. Θα επιχειρήσουμε μια εισαγωγή σε κάθε μια από αυτές τις υποομάδες στις επόμενες σελίδες.

Γενικά, τείνουμε να συνδέουμε αυτούς τους μικρούς οργανισμούς μόνο με σημαντικές παθήσεις, όπως το AIDS, άλλες σοβαρές λοιμώξεις ή με μολυσμένα και αλλοιωμένα τρόφιμα. Ωστόσο, η πλειονότητα των μικροοργανισμών συμμετέχει σε σημαντικές διεργασίες που διατηρούν την ισορροπία των χημικών στοιχείων του περιβάλλοντος έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους ζωντανούς οργανισμούς. Οι μικροοργανισμοί του γλυκού και του θαλασσινού νερού αποτελούν τη βάση στην τροφική αλυσίδα των ωκεανών, των λιμνών και των ποταμών. Τα μικρόβια που ζουν στο έδαφος αποσυνθέτουν τη νεκρή οργανική ύλη και ενσωματώνουν άζωτο από την ατμόσφαιρα σε οργανικές ενώσεις, συντελώντας έτσι στην ανακύκλωση των χημικών στοιχείων στο έδαφος, τον αέρα και το νερό. Άλλα μικρόβια έχουν σημαντικό ρόλο στη *φωτοσύνθεση*, που αποτελεί τη σημαντικότερη ίσως διεργασία που συμβάλλει στη διατήρηση της ζωής στη γη. Ο άνθρωπος και πολλά άλλα ζώα εξαρτώνται από τη δράση των μικροβίων στο γαστρεντερικό τους σύστημα για την πέψη και τη σύνθεση βιταμινών, περιλαμβανομένων ορισμένων βιταμινών του συμπλέγματος Β και του συμπλέγματος Κ.

Οι μικροοργανισμοί συμμετέχουν επίσης σε πολλές εμπορικές εφαρμογές. Χρησιμοποιούνται για τη σύνθεση χημικών προϊόντων, όπως είναι η ακετόνη, τα οργανικά οξέα, τα ένζυμα, οι αλκοόλες και πολλά φάρμακα. Η διαδικασία παραγωγής ακετόνης και βουτανόλης ανακαλύφθηκε το 1914 από τον Chaim Weizmann, ένα Ρώσο χημικό που δούλευε στην Αγγλία. Κατά τη διάρκεια του πρώτου παγκοσμίου πολέμου, η ακετόνη ήταν σημαντική για την παρασκευή μπαρουτιού. Η ανακάλυψη του Weizmann αποτέλεσε σημαντικό βήμα για την έκβαση του πολέμου.

Η βιομηχανία τροφίμων χρησιμοποιεί επίσης μικρόβια για την παρασκευή κρασιού, γιαουρτιού, ψωμιού, τυριού, βουτύρου κ.λπ. Επιπλέον ένζυμα από μικρόβια μπορούν να τροποποιηθούν, έτσι ώστε τα μικρόβια να μπορούν να παρασκευάσουν ουσίες που κανονικά δεν θα συνέθεταν. Οι ουσίες αυτές περιλαμβάνουν την κυτταρίνη, τα βοηθήματα πέψης και τα καθαρτικά, καθώς και σημαντικές θεραπευτικές ουσίες όπως η ινσουλίνη.

Αν και μόνο η μειονότητα των μικροβίων έχει **παθογόνες ιδιότητες**, η συνολική μας γνώση για το μικροβιακό κόσμο είναι αναγκαία για την ιατρική αλλά και τις συναφείς επιστήμες υγείας. Για παράδειγμα, οι εργαζόμενοι στα νοσοκομεία πρέπει να είναι σε θέση να προστατεύσουν τους ασθενείς από δυνητικά παθογόνα μικρόβια που φυσιολογικά δεν προκαλούν νόσο, αλλά στο νοσοκομειακό περιβάλλον είναι ιδιαίτερα παθογόνα για ασθενείς που είναι εξασθενημένοι ή βρίσκονται σε καταστολή.

Στις μέρες μας μπορούμε να κατανοήσουμε ότι οι μικροοργανισμοί απαντώνται σχεδόν παντού. Παλαιότερα και πριν από την ανακάλυψη του μικροσκοπίου τα μικρόβια ήταν άγνωστα στους επιστήμονες. Πολλοί άνθρωποι έχαναν τη ζωή τους από επιδημίες, η αιτία των

οποίων ήταν ακατανόητη. Οικογένειες ολόκληρες αφανίζονταν καθώς οι λοιμώξεις δεν μπορούσαν να αντιμετωπιστούν από εμβόλια ή αντιβιοτικά.

Μπορούμε να έχουμε μια ιδέα για το πώς εξελίχθηκαν η σύγχρονες μικροβιολογικές γνώσεις, μελετώντας ορισμένες από τις πλέον σημαντικές ιστορικές στιγμές της Μικροβιολογίας. Πριν από αυτό, όμως, θα επιχειρήσουμε μια πρώτη ματιά στις σημαντικότερες ομάδες μικροβίων, την ονοματολογία τους και την ταξινόμησή τους [5].

2.2 ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ

2.2.1 ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ

Το σύστημα ονοματολογίας των ζωντανών οργανισμών που χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα καθιερώθηκε το 1735 από τον Κάρολο Λινναίο. Για την γραφή των επιστημονικών ονομάτων επικράτησε η λατινική γραφή για λόγους συνήθειας της εποχής. Με βάση τους κανόνες του Λινναίου κάθε οργανισμός αποκαλείται με δύο συστατικά ονόματα. Το όνομα του γένους (πληθυντικός γένη) αναφέρεται πρώτο με κεφαλαίο το πρώτο γράμμα και ακολουθεί το ειδικό επίθετο (όνομα είδους) γραμμένο με μικρά γράμματα. Ο οργανισμός προσδιορίζεται και από τα δύο ονόματα που πρέπει να γράφονται υπογραμμισμένα ή γραμμένα με πλάγια γραφή (*italics*). Όταν σε κάποιο κείμενο ο οργανισμός γράφεται δεύτερη φορά συνηθίζεται να γράφεται μόνο το πρώτο κεφαλαίο γράμμα του γένους ακολουθούμενο από το όνομα του είδους.

Παράδειγμα: [όνομα γένους] [όνομα είδους] *Staphylococcus aureus* ή αν πρόκειται για δεύτερη αναφορά *S. aureus*.

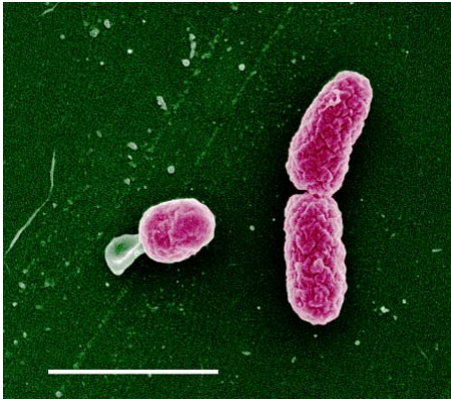
Στην επιστημονική ονοματολογία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ονόματα που περιγράφουν κάποια ιδιότητα του οργανισμού, ονόματα προς τιμήν κάποιου επιστήμονα ή ονόματα που περιγράφουν τη συνήθεια του οργανισμού. Στο προηγούμενο παράδειγμά μας (*Staphylococcus aureus*-χρυσίζων σταφυλόκοκκος, ένα κοινό βακτήριο του ανθρώπινου δέρματος) η λέξη *Staphylo-* περιγράφει την ιδιότητα των κυττάρων του γένους να συνενώνονται σχηματίζοντας δομές που μοιάζουν με τη διάταξη των καρπών του σταφυλιού, το συνθετικό *-coccus* την σφαιρική μορφή των κυττάρων, ενώ ο επιθετικός προσδιορισμός *aureus* είναι η λατινική ονομασία του χρυσού και περιγράφει το χαρακτηριστικό χρωματισμό των αποικιών του μικροοργανισμού. Ανάλογα το γένος του βακτηρίου *Escherichia coli* προέρχεται από το όνομα του επιστήμονα Theodor Escherich, ενώ ο επιθετικός προσδιορισμός *coli* προέρχεται από το κόλον του παχέος εντέρου, στο οποίο ζει το συγκεκριμένο βακτήριο [5].

2.2.2 ΤΥΠΟΙ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ

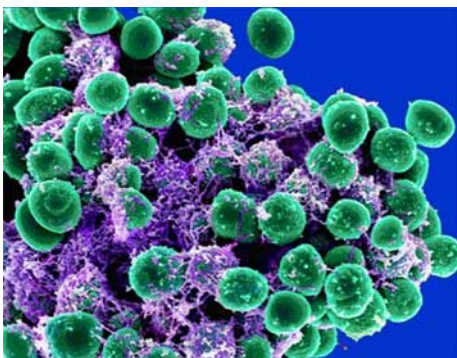
Βακτήρια

Τα **βακτήρια** είναι σχετικά απλοί μονοκύτταροι μικροοργανισμοί. Τα βακτηριακά κύτταρα αποκαλούνται προκαρυωτικά καθώς το γενετικό τους υλικό δεν περικλείεται από μεμβράνη. Η ομάδα των **προκαρυωτικών** περιλαμβάνει δύο ομάδες: τα βακτήρια και τα αρχαία ή αρχαιοβακτήρια.

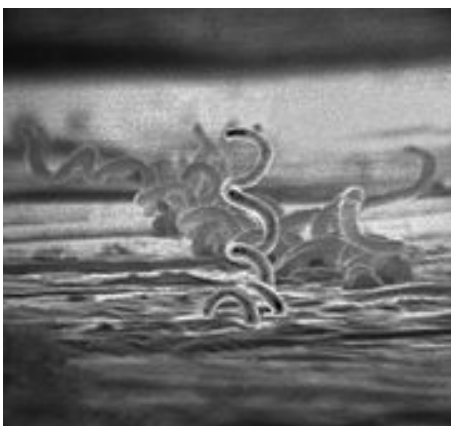
Τα βακτηριακά κύτταρα συνήθως εμφανίζονται με μία μορφή (μονομορφικά). Οι βάκιλλοι (*bacillus*), όπως φαίνεται στην εικόνα 2.1 έχουν ραβδόμορφο σχήμα (σχήμα βακτηρίας, στα αρχαία Ελληνικά σημαίνει ραβδί ή μπαστούνι), οι κόκκοι (*coccus*) έχουν σφαιρικό, κυβοειδές ή ελλειψοειδές σχήμα (εικόνα 2.2) και τα σπειροειδή έχουν ελικοειδές ή καμπυλωτό σχήμα (εικόνα 2.3). Οι μορφές αυτές εμφανίζονται συχνότερα μεταξύ των βακτηρίων, ενώ υπάρχουν και ορισμένα βακτήρια που έχουν αστερόμορφα ή άλλα σχήματα. Εκτός από τη μορφή, σημασία έχει και η διάταξη των κυττάρων στο χώρο. Έτσι πολλά βακτηριακά κύτταρα



Εικόνα 2.1 Το βακτήριο *Haemophilus influenzae*, είναι ένα από τα βακτήρια που προκαλούν πνευμονία [1].



Εικόνα 2.2 Ο *Staphylococcus epidermidis* ζει σχεδόν σε όλη την επιφάνεια του σώματος [2].



Εικόνα 2.3 *Treponema pallidum*. Μεταδίδεται με τη σεξουαλική επαφή και προκαλεί τη σύφιλη [3].

διατάσσονται σε ζεύγη, άλλα σε αλυσίδες και ομάδες ή άλλες διατάξεις που είναι συνήθως χαρακτηριστικές για το γένος ή το είδος του βακτηρίου.

Τα βακτηριακά κύτταρα περιβάλλονται από κυτταρικό τοίχωμα που σχηματίζεται από χαρακτηριστικά συμπλέγματα υδατανθράκων και πρωτεϊνών που ονομάζονται πεπτιδογλυκάνες. (Αντίθετα, το κυτταρικό τοίχωμα των φυτικών κυττάρων και των φυκών αποτελείται από κυτταρίνη). Τα βακτήρια πολλαπλασιάζονται με απλή διαίρεση, που οδηγεί στη δημιουργία δύο ομοειδών θυγατρικών κυττάρων. Για τη διατροφή τους τα βακτήρια χρησιμοποιούν κυρίως οργανικές ενώσεις, προϊόντα είτε ζωντανών είτε νεκρών οργανισμών. Ορισμένα βακτήρια καταφέρνουν να παράγουν την τροφή τους μέσω της φωτοσύνθεσης, ενώ κάποια άλλα καταφέρνουν να χρησιμοποιούν ανόργανες ενώσεις. Μερικά βακτήρια μπορούν να μετακινηθούν χρησιμοποιώντας ειδικά κινούμενα εξωκυττάρια τμήματα των κυττάρων τους που καλούνται μαστίγια.

Αρχαία ή αρχαιοβακτήρια

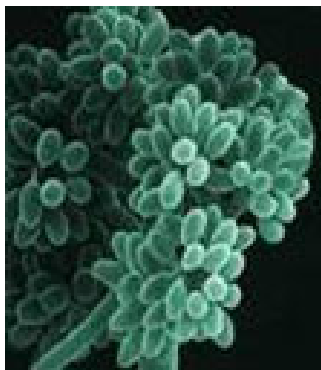
Όπως και τα βακτήρια, τα **αρχαία** (ή αρχαιοβακτήρια) είναι προκαρυωτικοί οργανισμοί, που αν και έχουν κυτταρικό τοίχωμα, το κυτταρικό αυτό τοίχωμα δεν αποτελείται από πεπτιδογλυκάνες. Συχνά ανευρίσκονται σε ακραία περιβάλλοντα και διακρίνονται σε τρεις κύριες ομάδες. Τα *μεθανογόνα* που παράγουν μεθάνιο ως προϊόν του μεταβολισμού τους, τα *αλόφιλα* που ζουν σε περιβάλλοντα με υψηλή συγκέντρωση αλάτων, π.χ. η Νεκρά Θάλασσα, και τα *θερμόφιλα* που ζουν σε θερμά νερά με υψηλή συγκέντρωση θειούχων ενώσεων, όπως οι θερμές πηγές. Τα αρχαία δεν προκαλούν λοιμώξεις στον άνθρωπο.

Μύκητες

Οι **μύκητες** (εικόνα 2.4) είναι **ευκαρυωτικοί** οργανισμοί με διακριτό πυρήνα που περιέχει το γενετικό υλικό (DNA) και περιβάλλεται από ειδικό φάκελο, την πυρηνική μεμβράνη. Αποτελούν ξεχωριστό Βασίλειο και μπορεί να είναι μονοκύτταροι ή πολυκύτταροι. Οι μεγάλοι πολυκύτταροι μύκητες, όπως είναι τα μανιτάρια, έχουν εμφάνιση παρόμοια με εκείνη των φυτών, αλλά δεν φωτοσυνθέτουν. Οι αληθείς μύκητες έχουν κυτταρικό τοίχωμα που είναι κατασκευασμένο από *χιτίνη*. Οι μονοκύτταρες μορφές μυκήτων, όπως είναι οι ζύμες, έχουν κύτταρα σχήματος ελλειψοειδούς που είναι μεγαλύτερα από αυτά των βακτηρίων. Οι τυπικές μορφές

μυκήτων είναι οι μούχλες. Αυτές διακρίνονται από την χαρακτηριστική κατασκευή των μυκηλίων τους που αποτελούνται από διακλαδιζόμενα *ινίδια-υφές*. Οι χνοώδεις (χνοιδωτές) αποικίες που σχηματίζονται συχνά σε αλλοιωμένα τρόφιμα, όπως το ψωμί και τα φρούτα

προέρχονται από μυκήλια υφομυκήτων. Οι μύκητες πολλαπλασιάζονται σεξουαλικά και ασεξουαλικά. Προσλαμβάνουν την τροφή τους με απορρόφηση υγρών και οργανικών ουσιών από το περιβάλλον τους – έδαφος, θαλασσινό ή γλυκό νερό και ζωικούς ή φυτικούς ξενιστές. Μια ομάδα μυκήτων που ονομάζονται μυξομύκητες έχουν χαρακτηριστικά τόσο μυκήτων όσο και αμοιβάδων (πρωτόζωο).



Εικόνα 2.4 *Botrytis cinerea*. Αυτόν τον μύκητα τον συναντάμε στους εσωτερικούς χώρους κτιρίων. Προκαλεί αναπνευστική, δερματική, οφθαλμική ή ρινική αλλεργία [4].

Πρωτόζωα

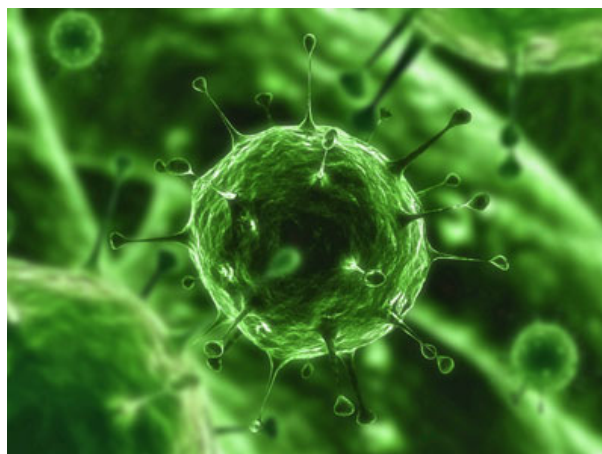
Τα **πρωτόζωα** είναι μονοκύτταροι ευκαρυωτικοί οργανισμοί. Μπορούν να μετακινηθούν με τη βοήθεια ψευδοποδίων, μαστιγίων ή βλεφαρίδων. Οι αμοιβάδες μετακινούνται εκτείνοντας μέρος του κυτταροπλάσματός τους που ονομάζεται ψευδοπόδιο. Άλλα πρωτόζωα έχουν μαστίγια ή άλλα κοντύτερα ινίδια που ονομάζονται βλεφαρίδες. Τα πρωτόζωα έχουν ποικίλα σχήματα και ζουν είτε ως αυτότροφοι είτε ως ετερότροφοι οργανισμοί (παράσιτα: οργανισμοί που παραλαμβάνουν θρεπτικά στοιχεία από άλλους οργανισμούς), παραλαμβάνοντας τα θρεπτικά τους στοιχεία από το περιβάλλον. Μπορούν να πολλαπλασιαστούν είτε με σεξουαλικό είτε με ασεξουαλικό τρόπο.

Φύκη

Τα φύκη είναι φωτοσυνθετικοί ευκαρυωτικοί οργανισμοί που εμφανίζουν ποικιλία σχημάτων και διαθέτουν ικανότητα σεξουαλικής και ασεξουαλικής αναπαραγωγής. Τα φύκη που ενδιαφέρουν τους Μικροβιολόγους είναι μονοκύτταρα. Τα κυτταρικά τους τοιχώματα αποτελούνται από κυτταρίνη, όπως και αυτά των φυτών. Είναι άφθονα στο έδαφος, στο γλυκό και αλμυρό νερό και εμφανίζουν στενή σχέση με τα φυτά. Ως φωτοσυνθετικοί οργανισμοί χρειάζονται φως, νερό και διοξειδίο του άνθρακα για την παραγωγή της τροφής τους και την ανάπτυξή τους, ενώ συνήθως δεν απαιτούν οργανικές ενώσεις από το περιβάλλον. Ως αποτέλεσμα της φωτοσύνθεσης, τα φύκη παράγουν οξυγόνο και υδατάνθρακες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από άλλους οργανισμούς, όπως π.χ. τα ζώα. Για το λόγο αυτό παίζουν σημαντικό ρόλο στην ισορροπία των οικοσυστημάτων.

Ιός

Οι **ιοί** (εικόνα 2.5) είναι πολύ διαφορετικοί από τις άλλες ομάδες μικροβίων που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Είναι ακυτταρικοί και τόσο μικροί σε μέγεθος, που οι περισσότεροι μπορούν να γίνουν ορατοί μόνο με χρήση ηλεκτρονικού μικροσκοπίου. Η δομή τους είναι εξαιρετικά απλή. Ένα ικό σωματίδιο μπορεί να περιέχει έναν πυρήνα που περιέχει συνήθως μόνο ένα είδος νουκλεϊκού οξέος, DNA ή RNA. Ο πυρήνας αυτός περιβάλλεται από ένα πρωτεϊνικό περίβλημα (καψίδιο). Σε ορισμένες περιπτώσεις το περίβλημα αυτό περιβάλλεται από ένα δεύτερο κάλυμμα, μια λιπιδική μεμβράνη που ονομάζεται φάκελος. Οι ιοί μπορούν να πολλαπλασιαστούν χρησιμοποιώντας το μηχανισμό αναπαραγωγής άλλων κυττάρων. Ο μηχανισμός αυτός περιλαμβάνει τη χρήση τόσο του DNA όσο και του RNA, αλλά και των μεταβολικών διαδικασιών των κυττάρων. Έτσι από τη μια μεριά, οι ιοί μπορούν να θεωρηθούν ως ζωντανοί οργανισμοί κατά το χρόνο που



Εικόνα 2.5 Ο ιός H1N1 (Γρίπη των χοίρων).[6]

αναπαράγονται εντός των κυττάρων-ξενιστών, λειτουργώντας ως παράσιτα, ενώ από την άλλη μεριά δεν εμφανίζουν αυτόνομες «ζωντανές» διεργασίες, καθόσον παραμένουν ανενεργοί εκτός των κυττάρων-ξενιστών.

Πολυκύτταρα παράσιτα

Ενώ τα πολυκύτταρα παράσιτα δεν είναι μικροοργανισμοί σύμφωνα με τον ορισμό μας, εντούτοις εμφανίζουν εξαιρετικό ιατρικό ενδιαφέρον. Οι δύο κύριες ομάδες παρασιτικών σκωλήκων (έλμινθες) είναι οι πλατυέλμινθες και οι νηματέλμινθες. Σε κάποια στάδια του κύκλου ζωής τους εμφανίζουν μικροσκοπικές μορφές. Η εργαστηριακή τους μελέτη και ταυτοποίηση περιλαμβάνει τεχνικές που χρησιμοποιούνται και για την ταυτοποίηση των υπόλοιπων μικροβίων [5].

2.2.3 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ

Πριν από την ανακάλυψη των μικροβίων, όλοι οι οργανισμοί κατατάσσονταν είτε στο βασίλειο των ζώων είτε στο βασίλειο των φυτών. Στα τέλη του 17^{ου} 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. Μέχρι και σήμερα υπάρχουν προβλήματα ταξινόμησης για πολλούς μικροοργανισμούς.

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 2 μεγάλες κατηγορίες:

1. Προκαρυωτικά, που περιλαμβάνουν [5]:
 - I. Βακτήρια (κυτταρικό τοίχωμα από πεπτιδογλυκάνες)
 - II. Αρχαία (κυτταρικό τοίχωμα χωρίς πεπτιδογλυκάνες)

2. Ευκαρυωτικά, που περιλαμβάνουν:
 - I. Πρώτιστα (βλεννομύκητες, πρωτόζωα, φύκη)
 - II. Μύκητες (μονοκυτταρικές ζύμες, πολυκυτταρικοί μούχλες και μανιτάρια)
 - III. Φυτά (Βρύα, πτέρες, γυμνόσπερμα, αγγειόσπερμα)
 - IV. Ζώα (σπόγγιοι, σκώληκες, έντομα, σπονδυλωτά)

2.3 ΣΥΝΤΟΜΗ ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑΣ

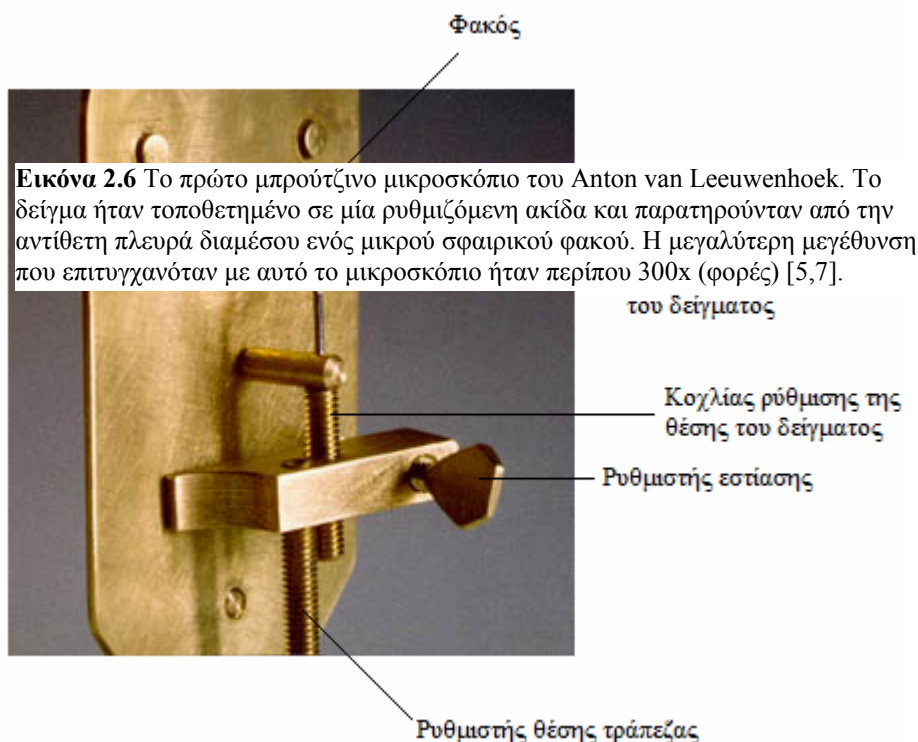
Αν και η επιστήμη της Μικροβιολογίας αναπτύχθηκε μόλις τα τελευταία 200 χρόνια, η ανακάλυψη του DNA του μυκοβακτηρίου της φυματίωσης (*Mycobacterium tuberculosis*) σε Αιγυπτιακές μούμιες χρονολογίας 3.000 ετών δείχνει ότι τα μικρόβια βρίσκονται κοντά μας από πολύ παλαιότερα. Στην πραγματικότητα, οι μικροοργανισμοί ήταν τα πρώτα ζωντανά κύτταρα που εμφανίστηκαν στη Γη. Παρόλο που δεν γνωρίζουμε πολλά σχετικά με τη μετάδοση και τη θεραπεία των ασθενειών στους πρώιμους ανθρώπινους πληθυσμούς, εντούτοις τα τελευταία εκατοντάδες χρόνια έχει απέλθει σημαντικότερη πρόοδος. Στις επόμενες παραγράφους θα εστιάσουμε σε ορισμένες σημαντικές ιστορικές στιγμές της Μικροβιολογίας που βοήθησαν να φτάσουμε στις σύγχρονες ανακαλύψεις υψηλής τεχνολογίας [5].

2.3.1 ΟΙ ΠΡΩΤΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Μια από τις σημαντικότερες ανακαλύψεις στην ιστορία της Μικροβιολογίας έγινε το 1665 με τη βοήθεια ενός σχετικά αδρού μικροσκοπίου. Ο Άγγλος Robert Hooke παρατηρώντας μια λεπτή τομή φελλού, ανέφερε ότι οι μικρότερες δομικές μονάδες της ζωής ήταν μικρά «κυτία», τα κύτταρα όπως τα ονόμασε.

Χρησιμοποιώντας μια βελτιωμένη έκδοση ενός σύνθετου μικροσκοπίου με δύο φακούς, κατάφερε να δει μεμονωμένα κύτταρα.

Η ανακάλυψη του Hooke σηματοδότησε την έναρξη της **κυτταρικής θεωρίας** – της θεωρίας ότι όλα τα ζωντανά όντα αποτελούνται από κύτταρα. Όλες οι ανακαλύψεις που ακολούθησαν για τη δομή και τη λειτουργία των κυττάρων βασίστηκαν στη θεωρία αυτή.



Παρόλο που με το μικροσκόπιο του Hooke μπορούσε κανείς να παρατηρήσει κύτταρα, τα μικρόβια έμειναν ακόμα άγνωστα, αφού δεν είχαν αναπτυχθεί τεχνικές χρώσης που θα μπορούσαν να τα αποκαλύψουν. Ο Ολλανδός έμπορος και φυσιοδίφης Anton van Leeuwenhoek ήταν ο πρώτος που κατάφερε να παρατηρήσει ζωντανούς μικροοργανισμούς με κάποια από τα 400 μικροσκόπια που κατασκεύασε (εικόνα 2.6). Μεταξύ του 1673 και του 1723 έγραψε μία σειρά αναφορών στην Βασιλική Εταιρία του Λονδίνου, στις οποίες περιέγραφε τα «μικροσκοπικά ζώακια» που έβλεπε στα μικροσκόπιά του. Ο Van Leeuwenhoek έφτιαξε λεπτομερή σχέδια από τα μικροσκοπικά αυτά ζώακια, που ζούσαν στα νερά, στα κόπρανα και σε υλικό που πήρε από το στόμα. Τα σχέδια αυτά απεικόνιζαν τα πρώτα βακτήρια και πρωτόζωα [5].

2.3.2 Η ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΓΕΝΕΣΗΣ

Μετά τις ανακαλύψεις του van Leeuwenhoek έστρεψε η επιστημονική κοινότητα το ενδιαφέρον της στην προέλευση των μικροσκοπικών αυτών ζωντανών οργανισμών. Μέχρι τα μέσα του 19^{ου} αιώνα πίστευαν πολλοί επιστήμονες και φιλόσοφοι ότι ορισμένες μορφές ζωής μπορούσαν να προκύψουν αυτομάτως από μη ζωντανή ύλη. Αυτή η υπόθεση ονομάστηκε θεωρία της **αυτόματης γένεσης**. Μέχρι και πριν από 100 περίπου χρόνια πίστευαν, οι άνθρωποι ότι τα αμφίβια, τα φίδια και τα ποντίκια θα μπορούσαν να δημιουργηθούν από υγρά

εδάφη, οι μύγες από την κοπριά και τα σκουλήκια (προνύμφες των εντόμων) από αποσυντιθέμενα πτώματα.

Ενδείξεις υπέρ και κατά της αυτόματης γένεσης

Ένας ισχυρός αντίπαλος της θεωρίας της αυτόματης γένεσης, ο Ιταλός φυσιολόγος Francesco Redi, έδειξε το 1668 (πριν από τις ανακαλύψεις του van Leeuwenhoek) ότι οι pronύμφες των εντόμων δεν προέκυπταν αυτομάτως από κρέας που βρισκόταν σε αποσύνθεση. Ο Redi γέμισε 2 δοχεία με κρέας και το ένα δοχείο αφέθηκε ανοιχτό, ενώ το άλλο σφραγίστηκε έτσι ώστε οι μύγες δεν μπορούσαν να εναποθέσουν τα αυγά τους μέσα σε αυτό. Έτσι, μόνο στο πρώτο δοχείο έμπαιναν μύγες, γεννούσαν αυγά και προέκυπταν pronύμφες (σκώληκες). Αρχικά οι ανταγωνιστές του Redi θεώρησαν ότι για την αυτόματη γένεση απαιτείτο φρέσκος αέρας και απέρριψαν τα πειράματα. Ο Redi αντικατέστησε το πάμα του δευτέρου δοχείου με ένα απλό δίχτυ. Έτσι ο αέρας μπορούσε να κυκλοφορεί ελεύθερα, όχι όμως και μύγες. Και σε αυτήν την περίπτωση το αποτέλεσμα ήταν ότι στο δεύτερο δοχείο δεν μπορούσαν να αναπτυχθούν pronύμφες.

Τα αποτελέσματα των πειραμάτων του Redi αποτέλεσαν μια σοβαρή αμφισβήτηση της μέχρι τότε πίστης ότι οι ζωντανοί οργανισμοί θα μπορούσαν να προκύψουν από τη μη ζωντανή ύλη. Ωστόσο, πολλοί επιστήμονες ακόμα ήταν πεπεισμένοι ότι μικρότεροι οργανισμοί, όπως οι μικροσκοπικοί οργανισμοί του van Leeuwenhoek ήταν αρκετά απλοί ώστε να μπορούν να προκύψουν από την ανόργανη ύλη.

Η υπόθεση της αυτόματης γένεσης των μικροοργανισμών ενισχύθηκε το 1745, όταν ο Εγγλέζος John Needham παρατήρησε την ανάπτυξη μικροβίων σε θρεπτικούς ζωμούς από κοτόπουλο και σπόρους που προηγουμένως είχε θερμάνει μέχρι βρασμού. Ο Needham υπέθεσε ότι οι μικροοργανισμοί προέκυψαν αυτομάτως από τα υγρά αυτά. 20 χρόνια αργότερα ο Ιταλός επιστήμονας Lazzaro Spallanzani υπέθεσε, ότι οι μικροοργανισμοί από τον αέρα πιθανότατα επιμόλυναν τους θρεπτικούς ζωμούς του Needham μετά το βρασμό τους. Ο Spallanzani παρατήρησε, ότι αν οι ζωμοί σφραγιστούν και ακολουθήσει ο βρασμός τους, τότε δεν αναπτύσσονται μικρόβια. Ο Needham απάντησε ότι με τον τρόπο αυτό απομονώνεται η «ζωογόνος δύναμη» που οδηγεί στην αυτόματη γένεση και καταστρέφεται με τη θέρμανση.

Αυτή η ακαθόριστη «ζωογόνος δύναμη» απεδείχθη ότι έγκειται στην παρουσία του οξυγόνου στην ατμόσφαιρα, γεγονός που απέδειξε ο Anton Laurent Lavoisier. Οι παρατηρήσεις του Spallanzani κατακρίθηκαν καθώς φαίνονταν, ότι δεν υπήρχε αρκετό οξυγόνο στις σφραγισμένες φιάλες που θα μπορούσε να υποστηρίξει την ανάπτυξη μικροβιακής ζωής.

Η θεωρία της βιογένεσης

Το ζήτημα της προέλευσης των οργανισμών παρέμεινε άλυτο μέχρι το 1858, όταν ο Γερμανός επιστήμονας Rudolf Virchow αντέτεινε στην υπόθεση της αυτόματης γένεσης την ιδέα της **βιογένεσης**, ότι δηλαδή ζωντανά κύτταρα μπορούν να προκύψουν μόνο από προϋπάρχοντα ζωντανά κύτταρα. Η αντιπαράθεση συνεχίστηκε μέχρι το 1861 όταν το ζήτημα διευθετήθηκε οριστικά από τον Γάλλο επιστήμονα Louis Pasteur (εικόνα 2.7).

Με μια σειρά ευφώνων και πειστικών πειραμάτων ο Pasteur έδειξε, ότι οι μικροοργανισμοί είναι πάντοτε παρόντες στον αέρα και μπορούν να επιμολύνουν αποστειρωμένα διαλύματα, αλλά ο αέρας από μόνος του δεν μπορεί να κατασκευάσει μικρόβια. Γέμισε με θρεπτικό ζωμό βοδινού κρέατος αρκετές φιάλες με στενό λαιμό και στη συνέχεια έβρασε το περιεχόμενό τους. Ορισμένες από τις φιάλες που αφέθηκαν να κρυώσουν χωρίς να σφραγισθούν, σε μερικές ημέρες γέμισαν με μικροοργανισμούς. Οι υπόλοιπες που σφραγίστηκαν αμέσως μετά

το βρασμό δεν επιμολύνθηκαν. Από το πείραμα αυτό ο Pasteur συμπεράνε, ότι τα μικρόβια του αέρα εισήλθαν στο θρεπτικό ζωμό, ο οποίος είχε αποστειρωθεί και ήταν η αιτία ανάπτυξης μικροβίων, όπως ακριβώς έγινε και στα πειράματα του Needham.

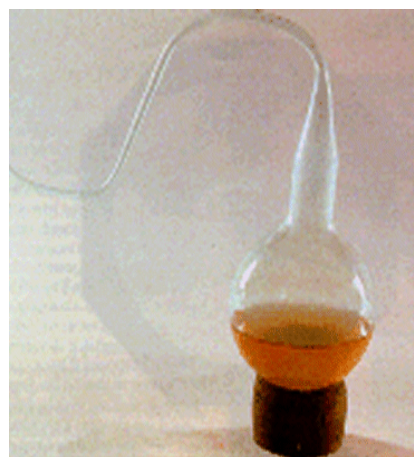
Στη συνέχεια ο Pasteur χρησιμοποίησε φιάλες με μακρύ λαιμό σχήματος S (εικόνα 2.8). Το περιεχόμενο των φιαλών με ζωμό έβρασε και στη συνέχεια αφέθηκε να κρυώσει. Ο ζωμός δεν επιμολύνθηκε και δεν παρουσιάστηκε δείγμα ανάπτυξης ζωής ακόμα και μετά από αρκετούς μήνες. Το ιδιαίτερο σχήμα που έδωσε ο Pasteur στις φιάλες του επέτρεπε στον αέρα να εισέλθει στο εσωτερικό, εμπόδιζε όμως ταυτόχρονα την είσοδο οποιουδήποτε μικροοργανισμού.

Ο Pasteur με αυτό τον τρόπο απέδειξε, ότι οι μικροοργανισμοί μπορεί να βρίσκονται σε οποιοδήποτε ανόργανο υλικό, στερεό, υγρό ή αέριο. Επίσης έδειξε ότι η μικροβιακή ζωντανή ύλη μπορεί να καταστραφεί με τη θέρμανση και ότι αυτή η μέθοδος μπορεί να εμποδίσει την επιμόλυνση των τροφίμων από τους μικροοργανισμούς του αέρα. Οι ανακαλύψεις αυτές δημιούργησαν την βάση των **άσηπτων τεχνικών**, με τις οποίες εμποδίζεται η επιμόλυνση αντικειμένων από ανεπιθύμητους μικροοργανισμούς, που χρησιμοποιούνται σε πολλές εργαστηριακές και ιατρικές διαδικασίες. Οι σύγχρονοι τρόποι εφαρμογής άσηπτων τεχνικών είναι από τα πρώτα πράγματα που πρέπει να διδάσκεται ένας Μικροβιολόγος.

Η εργασία του Pasteur απέδειξε, ότι οι μικροοργανισμοί δεν μπορούν να προκύψουν από την δράση μυστικών δυνάμεων σε ανόργανα υλικά. Αντίθετα κάθε αυτόματη εμφάνιση ζωής σε «μη ζωντανή» ύλη εξηγείται από την εκ των προτέρων ύπαρξη σε αυτήν ζωντανών μικροοργανισμών. Εντούτοις οι επιστήμονες σήμερα πιστεύουν ότι κάποιου είδους αυτόματη γένεση πρέπει να έχει συμβεί στα αρχικά στάδια εμφάνισης της ζωής στη Γη. Το γεγονός αυτό όμως είναι πολύ δύσκολο να επαναληφθεί, ειδικά στο περιβάλλον όπως έχει διαμορφωθεί σήμερα στον πλανήτη μας [5].



Εικόνα 2.7 Louis Pasteur (1822-1895) [8].



Εικόνα 2.8 Η φιάλη που χρησιμοποίησε ο Pasteur στα πειράματά του [9].

2.3.3 Η ΧΡΥΣΗ ΕΠΟΧΗ ΤΗΣ ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑΣ

Για 60 χρόνια περίπου, ξεκινώντας από τις μελέτες του Pasteur, παρατηρήθηκε μια έκρηξη ανακαλύψεων στο χώρο της Μικροβιολογίας. Έτσι η περίοδος από το 1857 έως το 1914 ονομάστηκε δικαιολογημένα η «Χρυσή Εποχή της Μικροβιολογίας». Τα χρόνια αυτά με τις καταγιστικές ανακαλύψεις, κυρίως των Pasteur και Robert Koch, τέθηκαν οι βάσεις της επιστήμης της σύγχρονης Μικροβιολογίας. Οι ανακαλύψεις αυτές περιελάμβαναν κυρίως την ταυτοποίηση πολλών παραγόντων ως αιτιών των ασθενειών και το ρόλο της ανοσίας στην πρόληψη και θεραπεία των λοιμώξεων. Επίσης μελετήθηκαν οι χημικές ιδιότητες των μικροοργανισμών, βελτιώθηκαν οι τεχνικές μικροσκοπησης και καλλιέργειας, ενώ εξελίχθηκαν τα εμβόλια και οι χειρουργικές τεχνικές.

Ζύμωση και παστερίωση

Ένα σημαντικό βήμα για την διαπίστωση της ικανότητας των μικροοργανισμών να προκαλούν λοιμώξεις έγινε όταν μία ομάδα Γάλλων εμπόρων ζήτησε από τον Pasteur να εξετάσει γιατί η μύρα και το κρασί μετά από κάποιο διάστημα ξίνιζαν. Ήλπιζαν να βρουν κάποια μέθοδο που θα απέτρεπε την αλλοίωσή τους, κατά τη μεταφορά τους σε μεγάλες αποστάσεις. Μέχρι εκείνη τη στιγμή πολλοί επιστήμονες πίστευαν ότι ο αέρας μετέτρεπε τα σάκχαρα που περιέχονταν στα αλκοολούχα αυτά ποτά σε αλκοόλες. Ο Pasteur ανακάλυψε ότι τη διαδικασία αυτή την επιτελούσαν μικροοργανισμοί – οι ζύμες – απουσία αέρα. Η διαδικασία αυτή ονομάστηκε **ζύμωση**. Αντίθετα η αλλοίωση του αλκοόλ οφείλεται στη δράση άλλων μικροοργανισμών και συγκεκριμένα βακτηρίων. Παρουσία αέρα, τα βακτήρια αυτά μετατρέπουν την αλκοόλη σε οξικό οξύ (ξύδι).

Η λύση που πρότεινε ο Pasteur ήταν να ζεσταίνουν το κρασί ή την μύρα τόσο ώστε να καταστρέφεται μεγάλο μέρος των βακτηρίων αυτών. Η διαδικασία ονομάστηκε **παστερίωση** και χρησιμοποιείται πλέον ευρέως στην βιομηχανία γάλακτος, αλλά και σε ορισμένα αλκοολούχα ποτά. Μειώνοντας λοιπόν, με την παστερίωση, τους πληθυσμούς των παθογόνων βακτηρίων που προκαλούσαν την αλλοίωση των τροφίμων κατέστη δυνατή η αποκάλυψη της σχέσης τους με την εμφάνιση των λοιμώξεων.

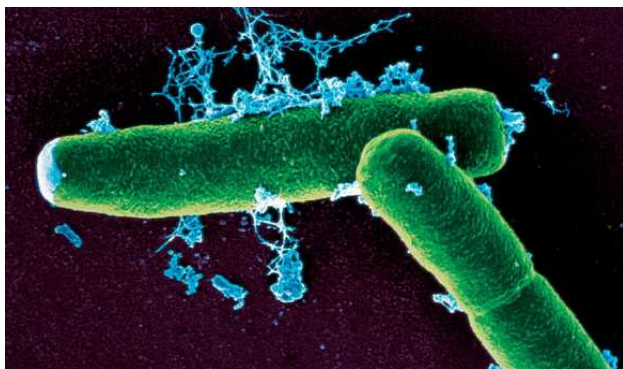
Η μικροβιακή θεωρία των νοσημάτων

Όπως είδαμε, το γεγονός ότι πολλές ασθένειες προκαλούνται από μικροοργανισμούς ήταν άγνωστο, μέχρι σχετικά πρόσφατα. Στην προ Pasteur εποχή, πολλές αποτελεσματικές θεραπείες ανακαλύφθηκαν κατά τύχη ή από κάποιο λάθος, ενώ η πραγματική αιτία της ασθένειας παρέμενε άγνωστη.

Η γνώση ότι οι ζύμες εμπλέκονται στη διαδικασία της ζύμωσης ήταν η πρώτη σύνδεση της δραστηριότητας των μικροοργανισμών και των φυσικοχημικών μεταβολών σε οργανικά υλικά. Η σχέση αυτή οδήγησε τους επιστήμονες στη σκέψη ότι ίσως οι μικροοργανισμοί αλληλεπιδρούν με παρόμοιο τρόπο τόσο με ζώα όσο και με φυτά, προκαλώντας ασθένειες. Η ιδέα αυτή έγινε γνωστή ως **μικροβιακή θεωρία των νοσημάτων**.

Η θεωρία αυτή ήταν δύσκολο να γίνει αποδεκτή, καθώς μέχρι τότε οι ασθένειες θεωρούνταν ως θεόσταλη τιμωρία για τα εγκλήματα ή τις ατασθαλίες των ανθρώπων. Όταν συνέβαινε να αρρωσταίνουν μαζικά οι πληθυσμοί ενός χωριού ή μιας περιοχής, οι άνθρωποι απέδιδαν τη νόσο σε δαιμονικής προελεύσεως δυσάρεστες οσμές από τα αποχετευτικά δίκτυα ή δηλητηριώδη αέρια από βαλτώδεις περιοχές. Πολλοί άνθρωποι της εποχής του Pasteur δυσκολεύονταν να πιστέψουν ότι «αόρατα» μικρόβια θα μπορούσαν να ταξιδέψουν στον αέρα και να μολύνουν φυτά και ζώα ή να παραμείνουν σε ρούχα και κλινοσκεπάσματα και να μεταδοθούν από άτομο σε άτομο. Σταδιακά όμως η επιστημονική γνώση ενισχύθηκε και υποστηρίχθηκε περισσότερο από νέα δεδομένα.

Το 1865, ο Pasteur κλήθηκε να βοηθήσει στην αντιμετώπιση μιας νόσου των μεταξοσκωλήκων που κατέστρεφε την βιομηχανία μεταξίου σε όλη την Ευρώπη. Μερικά χρόνια νωρίτερα, το 1835, ο Agostino Bassi, είχε δείξει ότι μια άλλη νόσος των μεταξοσκωλήκων οφειλόταν σε κάποιο μύκητα. Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του Bassi, ο Pasteur ανακάλυψε ότι η πιο πρόσφατη μόλυνση οφειλόταν σε ένα πρωτόζωο και ανέπτυξε μια μέθοδο εντοπισμού των μολυσμένων εντόμων.



Εικόνα 2.9 *Bacillus anthracis* [10].

εφαρμόζει φαινόλη σε χειρουργικά τραύματα. Η κίνηση αυτή γρήγορα υιοθετήθηκε και από άλλους χειρουργούς, καθώς μείωσε σημαντικά τις λοιμώξεις και τους θανάτους από αυτές. Η τεχνική του Lister ήταν από τις πρώτες προσπάθειες ελέγχου των λοιμώξεων που προκαλούνται από τους μικροοργανισμούς. Στην πραγματικότητα, απέδειξε ότι οι μικροοργανισμοί προκαλούν χειρουργικές λοιμώξεις.

Η πρώτη απόδειξη ότι τα βακτήρια προκαλούν λοιμώξεις ήρθε από τον Robert Koch το 1876. Ο Koch, ένας γερμανός ιατρός, ανταγωνιζόταν τον Pasteur στον αγώνα για την ανακάλυψη του άνθρακα, μιας ασθένειας που κατέστρεφε τα κοπάδια βοοειδών και αμνών στην Ευρώπη. Ο Koch ανακάλυψε τα ραβδόμορφα βακτήρια γνωστά ως *Bacillus anthracis* (εικόνα 2.9) στο αίμα αγελάδων που είχαν πεθάνει από άνθρακα. Καλλιέργησε τα βακτήρια αυτά σε τεχνητά θρεπτικά μέσα και κατόπιν τα χορήγησε σε υγιή ζώα. Όταν τα νέα αυτά ζώα αρρώστησαν και πέθαναν ο Koch απομόνωσε βακτήρια από το αίμα τους και τα συνέκρινε με τα αρχικά. Διαπίστωσε ότι οι δύο τύποι βακτηρίων από τις αιμοκαλλιέργειες ήταν ταυτόσημοι.

Έτσι ο Koch καθιέρωσε μια σειρά πειραματικών βημάτων για την απόδειξη της σχέσης ενός μικροβίου με μια συγκεκριμένη ασθένεια. Τα βήματα αυτά είναι γνωστά ως **αξιώματα του Koch**. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων 100 ετών, τα ίδια κριτήρια απεδείχθησαν ανεκτίμητα σε έρευνες που απέδειξαν τη σχέση πολλών μικροοργανισμών με αρκετές νόσους.

Εμβολιασμός

Πολλές φορές μια θεραπεία ή μια προληπτική διαδικασία εξελίχθηκε χωρίς οι επιστήμονες να γνωρίζουν ακριβώς την εξήγησή της. Ο εμβολιασμός κατά της ευλογίας είναι ένα τέτοιο παράδειγμα. Στις 4 Μαΐου του 1796, 70 χρόνια πριν από τη διατύπωση των αξιωμάτων του Koch, ο Edward Jenner, ένας νεαρός Εγγλέζος ιατρός, ξεκίνησε μια προσπάθεια να βρει κάποιο τρόπο να προλάβει την λοίμωξη από τον ιό της ευλογίας. Την εποχή εκείνη η εμφάνιση επιδημιών ευλογίας είχε προκαλέσει ιδιαίτερη ανησυχία. Η νόσος εμφανιζόταν κατά περιόδους στην Ευρώπη, σκοτώνοντας χιλιάδες ανθρώπους ενώ ξεκλήρισε το 90% των Αμερικανών Ινδιάνων στην Ανατολική Ακτή, όταν μεταφέρθηκε από την Ευρώπη με την έλευση των πρώτων αποίκων στο Νέο Κόσμο.

Ο Jenner ενημερώθηκε από μια νεαρή βοσκό ότι δεν μπορούσε να νοσήσει ξανά από την ευλογία διότι είχε νοσήσει παλαιότερα από τον ιό της δαμαλίτιδας, μια παρόμοια ηπιότερη νόσος που προσβάλλει τα βοοειδή. Ο Jenner αποφάσισε να δοκιμάσει την ιστορία της νεαρής,

συλλέγοντας δείγματα από τα εξανθήματα των βοοειδών που νοσούσαν και εισάγοντας το υλικό στο δέρμα ενός υγιούς κοριτσιού. Το κορίτσι μετά από μερικές ημέρες εμφάνισε συμπτώματα δαμαλίτιδας, από την οποία ανάρρωσε πλήρως και από το σημείο αυτό και μετά δεν εμφάνισε ποτέ ξανά δαμαλίτιδα, αλλά ούτε και ευλογία. Η επιτυχημένη αυτή διαδικασία ονομάστηκε δαμαλισμός (vaccination από τη Λατινική λέξη vacca που σημαίνει βόδι) ή εμβολιασμός. Η προστασία έναντι νόσων μετά από εμβολιασμό ονομάζεται **ανοσία**.

Αρκετά χρόνια μετά την ανακάλυψη του Jenner, γύρω στο 1880, ο Pasteur ανακάλυψε τον μηχανισμό με τον οποίο λειτουργούν τα εμβόλια. Παρατήρησε ότι το βακτήριο που προκαλεί την χολέρα των πουλερικών έχανε την ικανότητά του να προκαλεί νόσο (έχανε τη μολυσματική του δύναμη) μετά από αρκετές ανακαλλιέργειες στο εργαστήριο. Ωστόσο αν και ανενεργό το βακτήριο μπορούσε να ενεργοποιήσει τους μηχανισμούς ανοσίας του οργανισμού στον οποίο εισαγόταν. Η ανακάλυψη αυτού του φαινομένου εξηγούσε αρκετά καλά το πείραμα του Jenner. Τόσο η ευλογία όσο και η δαμαλίτιδα προκαλούνται από ιούς. Αν και ο ιός της δαμαλίτιδας δεν παράχθηκε εργαστηριακά από τον ιό της ευλογίας, εντούτοις μοιάζει τόσο πολύ με αυτόν έτσι ώστε να μπορεί να προκαλεί ανοσία έναντι και των δύο ιών. Ο Pasteur χρησιμοποίησε τον όρο εμβολιασμός για να δηλώσει την ανοσία που προκαλείται από την εισαγωγή απενεργοποιημένων μικροοργανισμών που έχουν καλλιεργηθεί στο εργαστήριο σε υγιή άτομα.

Το πείραμα του Jenner αποτέλεσε την πρώτη απόπειρα στο Δυτικό Κόσμο να χρησιμοποιηθεί κάποιος ζωντανός παράγοντας για να προκαλέσει ανοσία. Ιατροί στην Κίνα, είχαν καταφέρει να ανοσοποιήσουν άτομα χρησιμοποιώντας φολίδες από αποξηραμένες φλύκταινες από ασθενείς με ευλογία. Αφού έτριβαν τις φολίδες μέχρι να δημιουργηθεί ψιλή σκόνη, εισήγαγαν τη σκόνη αυτή στη μύτη του ατόμου που ήθελαν να ανοσοποιήσουν.

Σήμερα αρκετά εμβόλια παράγονται από απενεργοποιημένους μικροοργανισμούς που ενεργοποιούν την ανοσία έναντι του ζωντανού στελεχούς. Άλλα εμβόλια παρασκευάζονται από νεκρά μικρόβια, από τμήματα ζωντανών μικροοργανισμών ή με χρήση τεχνικών γενετικής μηχανικής [5].

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] University of Michigan. Medicinal Chemistry Project [online]. Διαθέσιμο από: http://sitemaker.umich.edu/mc13/bacterial_meningitis_causative_organism [προσβάσιμο στις 17 Νοεμβρίου 2009].
- [2] in.gr > Επιστήμη – Τεχνολογία. Νέα Υόρκη 29/05/2009. [online]. Διαθέσιμο από: <http://www.in.gr/innews/article.asp?lngEntityID=1018558> [προσβάσιμο στις 17 Νοεμβρίου 2009].
- [3] Βικιπαίδεια. Η ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια. *Ωχρά Σπειροχαίτη*. [online]. Διαθέσιμο από: <http://el.wikipedia.org/wiki/> [προσβάσιμο στις 17 Νοεμβρίου 2009].
- [4] Βιορμονική. Moulds (Μύκητες) [online]. Διαθέσιμο από: http://www.biormoniki.gr/v1/exam/rast_molds [προσβάσιμο στις 17 Νοεμβρίου 2009].
- [5] Gerard J. Tortora, Berdell R. Funke, Christine L. Case, 2009. *Εισαγωγή στη Μικροβιολογία*, Εκδόσεις: Π.Χ. ΠΑΣΧΑΛΙΔΗΣ
- [6] Howstuffworks [online]. Διαθέσιμο από: <http://health.howstuffworks.com/light-virus.htm> [προσβάσιμο στις 18 Νοεμβρίου 2009]

[7] History of Science: The Life Sciences Edition, a magazine focused on scientific achievements of the past [online]. Διαθέσιμο από: <http://students.ou.edu/J/Renee.E.Jones-1/Episode%202.html> [προσβάσιμο στις 18 Νοεμβρίου 2009]

[8] UTOPIAN SURGERY [online] Διαθέσιμο από: <http://www.general-anaesthesia.com/images/louis-pasteur.html> [προσβάσιμο στις 19 Νοεμβρίου 2009]

[9] The Hadean and Archaean Periods [online]. Διαθέσιμο από: <http://cas.bellarmine.edu/tietjen/AnimalDiversity/HadeanAndArchaean.htm> [προσβάσιμο στις 19 Νοεμβρίου 2009]

[10] Nature news. Anthrax investigation still yielding findings. [online]. Διαθέσιμο από: <http://www.nature.com/news/2009/090225/full/news.2009.120.html> [προσβάσιμο στις 30 Οκτωβρίου 2010]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΑΕΡΟΜΕΤΑΦΕΡΟΜΕΝΟΙ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ & ΑΣΘΕΝΕΙΕΣ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο προηγούμενο κεφάλαιο εξετάσαμε περιληπτικά τον τρόπο, με τον οποίο οι μικροοργανισμοί συμμετέχουν στην καθημερινή ζωή του ανθρώπου και πως εξελίχθηκαν οι σύγχρονες μικροβιολογικές γνώσεις. Σε αυτό το κεφάλαιο θα μελετήσουμε τους αερομεταφερόμενους μικροοργανισμούς και τις ασθένειες που αυτοί προκαλούν. Όπως θα δούμε παρακάτω, η μικροβιολογία ως επιστήμη άρχισε να αποκτά οντότητα με τις μελέτες αυτών ακριβώς των ασθενειών.

Αν και σήμερα ζούμε σε έναν κόσμο όπου πολλοί παθογόνοι μικροοργανισμοί βρίσκονται υπό έλεγχο, για τον άνθρωπο που αργοπεθαίνει από κάποια μικροβιακή μόλυνση ως συνέπεια του συνδρόμου επίκτητης ανοσοανεπάρκειας (AIDS), για τον καρκινοπαθή του οποίου το ανοσοποιητικό σύστημα έχει αποδυναμωθεί εξαιτίας των αντικαρκινικών φαρμάκων, ή για όσους μολύνονται από ένα πολυανθεκτικό παθογόνο μικρόβιο, οι μικροοργανισμοί παραμένουν μεγάλη απειλή για τη ζωή τους. Ας μη ξεχνάμε επιπλέον, ότι οι μικροβιακές ασθένειες εξακολουθούν να είναι τα κυριότερα αίτια θανάτου σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες. Παρά το γεγονός ότι η εξάλειψη της ευλογίας από τον πλανήτη υπήρξε ένας εντυπωσιακός θρίαμβος της ιατρικής, εκατομμύρια άνθρωποι συνεχίζουν να πεθαίνουν κάθε χρόνο από ασθένειες μικροβιακής φύσεως, όπως π.χ. από ελονοσία, φυματίωση, χολέρα, ασθένεια του ύπνου (στην Αφρική), και διάφορα βαρύτατα διαρροϊκά σύνδρομα.

Στη φύση υπάρχουν πάρα πολλά είδη μικροβίων, αλλά μόνο μερικές εκατοντάδες από αυτά είναι γνωστά ως παθογόνα του ανθρώπου. Θεωρείται, ότι μόνο το 1% των υπαρχόντων μικροοργανισμών είναι σήμερα γνωστό. Οι περισσότεροι μικροοργανισμοί εκτελούν τις δραστηριότητες που είναι απαραίτητες για τη ζωή τους ανεξάρτητα από άλλους οργανισμούς, ενώ πολλοί άλλοι συνδέονται στενά με φυτά ή ζώα στη βάση σταθερών, αμοιβαία επωφελών σχέσεων. Εν τούτοις, τα παθογόνα είδη επιφέρουν ιδιαίτερα αρνητικές συνέπειες στους οργανισμούς – ξενιστές, οπότε έχουν μελετηθεί εκτενώς.

Χωρίζοντας τα παθογόνα με βάση τον τρόπο μετάδοσης και τις ασθένειες που προκαλούν, θα συνδέσουμε άμεσα μεταξύ τους φαινομενικά άσχετους οργανισμούς. Για παράδειγμα, η γρίπη και η στρεπτοκοκκική φαρυγγίτιδα, μεταδίδονται από το ένα άτομο στο άλλο μέσω της αναπνευστικής οδού. Παρουσιάζουν ορισμένα κοινά συμπτώματα, παρ' ότι οι αιτιολογικοί παράγοντες – ο ένας ιικός και ο άλλος βακτηριακός – είναι σαφώς διαφορετικοί. Με αυτή την προσέγγιση, ελπίζουμε να συνδέσουμε μεταξύ τους παράγοντες βιολογικά διακριτούς, αλλά οικολογικά και παθογονικά συγγενείς [1].

3.2 ΑΕΡΟΓΕΝΗΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΑΣΘΕΝΕΙΩΝ

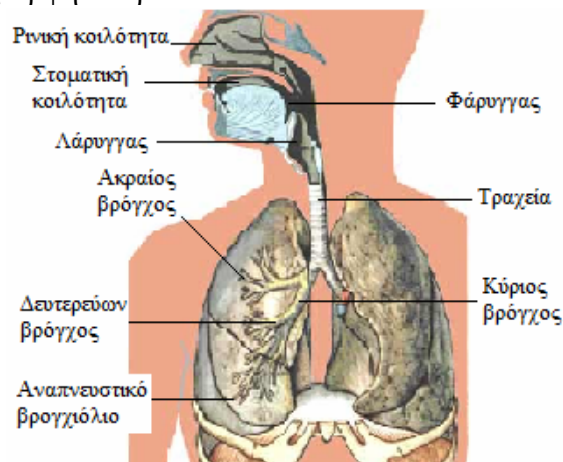
Τα αερολύματα, όπως αυτά που παράγονται από το φτάρνισμα, αποτελούν σημαντικό μέσο μετάδοσης πολλών λοιμωδών νόσων από άτομο σε άτομο. Οι περισσότερες ασθένειες του αναπνευστικού μεταδίδονται σχεδόν αποκλειστικά με τον τρόπο αυτό. Το *Mycobacterium tuberculosis*, λόγω χάρη, χρησιμοποιώντας με επιτυχία αυτή τη στρατηγική, κατόρθωσε να προσβάλει τουλάχιστον το 1/3 του παγκόσμιου πληθυσμού. Οι ιοί της γρίπης και του κρυολογήματος μεταδίδονται και αυτοί με επιτυχία, ώστε σχεδόν όλοι να παθαίνουμε τουλάχιστον μία φορά το χρόνο γρίπη, ή ένα κρυολόγημα [1].

3.2.1 ΑΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΠΑΘΟΓΟΝΟΙ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ

Ο αέρας δεν είναι κατάλληλο μέσον για την ανάπτυξη μικροοργανισμών. Οι οργανισμοί που μεταφέρονται με τον αέρα προέρχονται από το έδαφος, το νερό, τα φυτά, τα ζώα, τον άνθρωπο ή άλλες πηγές. Στον αέρα των εξωτερικών χώρων επικρατούν οι μικροοργανισμοί του εδάφους. Στους εσωτερικούς χώρους υπάρχουν σαφώς περισσότερα μικρόβια απ' ό τι στους εξωτερικούς. Πρόκειται κυρίως για οργανισμούς που υπάρχουν στην αναπνευστική οδό του ανθρώπου.

Η σκόνη που σκορπά ο αέρας μεταφέρει μαζί της σημαντικούς πληθυσμούς μικροβίων που είναι έτσι σε θέση να διανύσουν μεγάλες αποστάσεις. Οι περισσότεροι μικροοργανισμοί δεν μπορούν να επιβιώσουν στον αέρα, άρα η αποτελεσματική μεταβίβασή τους σε άλλο άτομο γίνεται μόνο σε κοντινές αποστάσεις. Παρ' όλα αυτά, ορισμένα ανθρώπινα παθογόνα μικρόβια (όπως π.χ. *Staphylococcus*, *Streptococcus*) επιβιώνουν αρκετά καλά σε συνθήκες ξηρασίας και παραμένουν ζωντανά μέσα στη σκόνη για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Τα θετικά κατά Gram βακτήρια¹ είναι σε γενικές γραμμές πιο ανθεκτικά στην ξηρασία από τα αρνητικά κατά Gram βακτήρια, διότι διαθέτουν πιο παχύ και άκαμπτο κυτταρικό τοίχωμα. Τα σποριογονικά βακτήρια είναι εξαιρετικά ανθεκτικά στην ξηρασία, αλλά σε γενικές γραμμές δεν μεταδίδονται από άνθρωπο σε άνθρωπο με τη μορφή σπορίων.

Κατά το φτάρνισμα αποβάλλεται τεράστιος αριθμός σταγονιδίων υγρασίας. Σημαντικός αριθμός τους αποβάλλεται με τον βήχα ή κατά την ομιλία. Κάθε μολυσματικό σταγονίδιο έχει μέγεθος 10 μm περίπου και περιέχει ένα ή περισσότερα βακτήρια. Η ταχύτητα με την οποία κινείται το σταγονίδιο είναι 100 m/sec περίπου (πάνω από 320 km/h) στο φτάρνισμα και από 15 ως 50 m/sec στον βήχα ή στην ομιλία με δυνατή φωνή. Ο αριθμός των βακτηρίων που εκσφενδονίζονται με ένα μόνο φτάρνισμα κυμαίνεται από 10.000 ως 100.000. Λόγω του μικρού μεγέθους των σταγονιδίων, η υγρασία εξατμίζεται γρήγορα στον αέρα, αφήνοντας πίσω της έναν πυρήνα οργανικής ουσίας και βλέννας, όπου είναι προσκολλημένα τα μικρόβια.



Εικόνα 3.1 Το αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου [1,2].

Αναπνευστικές λοιμώξεις

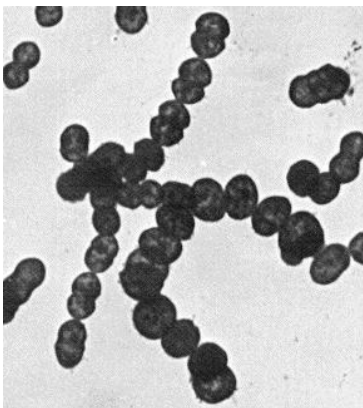
Ο μέσος άνθρωπος εισπνέει και εκπνέει σχεδόν 500 εκατομμύρια λίτρα αέρα κατά τη διάρκεια της ζωής του, μεγάλο μέρος του οποίου περιέχει σκόνη πλούσια σε μικροοργανισμούς που μπορεί να αποτελέσουν υλικό ενοφθαλμισμού για αναπνευστικές λοιμώξεις. Η ταχύτητα με την οποία κινείται ο αέρας μέσα στην αναπνευστική οδό ποικίλλει, ενώ στην κατώτερη αναπνευστική οδό η ταχύτητα αυτή είναι αρκετά χαμηλή. Καθώς ο αέρας επιβραδύνεται, τα σωματίδια που περιέχει σταματούν να κινούνται και καθιζάνουν. Πρώτα

¹ Μερικά βακτήρια μπορούν να διακριθούν με βάση τη χρώση κατά Gram. Η χρώση κατά Gram είναι μια μέθοδος χρώσης η οποία αναπτύχθηκε από τον Δανό Hans Christian Joachim Gram το 1884. Με βάση αυτή την τεχνική χρώσης, τα βακτήρια διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: **θετικά κατά Gram** και **αρνητικά κατά Gram**. Μετά την εφαρμογή της δοκιμασίας κατά Gram, τα θετικά κατά Gram βακτήρια αποκτούν ιώδες χρώμα, ενώ τα αρνητικά κατά Gram ρόδινο – ερυθρό. Αυτή η διαφοροποίηση οφείλεται στη διαφορά δομής του κυτταρικού τοιχώματος μεταξύ θετικών κατά Gram και αρνητικών κατά Gram βακτηρίων, η οποία επιτρέπει στην αιθανόλη να αποχρωματίζει μόνο τα αρνητικά και όχι τα θετικά κατά Gram κύτταρα [1,3].

καθιζάνουν τα μεγαλύτερα σωματίδια και κατόπιν τα μικρότερα. Μόνο σωματίδια μικρότερα των 3 μm φτάνουν μέχρι τα βρογχιόλια της κατώτερης αναπνευστικής οδού (εικόνα 3.1). Διαφορετικοί οργανισμοί φτάνουν στα διάφορα επίπεδα, γεγονός που εξηγεί τις διαφορές στα είδη λοιμώξεων που εμφανίζονται στην ανώτερη και στην κατώτερη αναπνευστική οδό.

Βακτηριακά παθογόνα του αναπνευστικού

Η αναπνευστική οδός προσβάλλεται από πολλά και ποικίλα βακτηριακά παθογόνα. Τα περισσότερα έχουν ως μοναδικό ξενιστή τον άνθρωπο, συνεπώς μεταδίδονται αναγκαστικά από το ένα άτομο στο άλλο. Λίγα παθογόνα του αναπνευστικού, όπως η *Legionella pneumophila*, συναντώνται στο νερό ή στο έδαφος. Επειδή οι συγκεκριμένοι μικροοργανισμοί έχουν κοινές πηγές με άλλα παθογόνα, θα ασχοληθούμε μαζί τους αργότερα. Όπως εξηγήσαμε, πολλά από τα παθογόνα του αναπνευστικού που μεταδίδονται από το ένα άτομο στο άλλο, είναι βακτήρια θετικά κατά Gram, επειδή αυτά τα βακτήρια μπορούν σε συνθήκες ξηρασίας να επιβιώσουν εκτός του ξενιστή για μεγάλα χρονικά διαστήματα χάρη στο παχύ κυτταρικό τους τοίχωμα. Οι βακτηριακές αναπνευστικές λοιμώξεις, πέραν του ότι είναι και οι ίδιες σοβαρές, συχνά γίνονται η αιτία να ξεκινήσουν δευτερογενή προβλήματα, τα οποία μπορεί να απειλήσουν την ανθρώπινη ζωή. Γι' αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία να γίνεται γρήγορη και ακριβής διάγνωση και θεραπεία των συγκεκριμένων λοιμώξεων, ώστε να περιορίζονται οι βλάβες στον ξενιστή. Ευτυχώς, τα περισσότερα βακτηριακά παθογόνα του αναπνευστικού αποκρίνονται άμεσα στην αντιβιοτική θεραπεία και πολλά από αυτά είναι επίσης δυνατόν να ελεγχθούν με ανοσοποίηση. Ωστόσο, οι βακτηριακές αναπνευστικές λοιμώξεις εξακολουθούν να είναι αρκετά συνήθεις. Ας ξεκινήσουμε τώρα τη μελέτη ορισμένων κοινών βακτηριακών παθογόνων του αναπνευστικού. Στη συνέχεια θα εξετάσουμε τα ιικά παθογόνα του αναπνευστικού και τις ασθένειες που αυτά προκαλούν, για τις οποίες υπάρχουν πολύ λιγότερες δυνατότητες θεραπείας και πρόληψης [1].



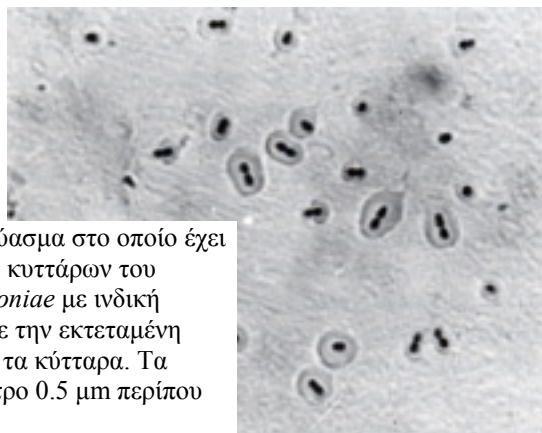
Εικόνα 3.2 *Streptococcus pyogenes*. Τα κύτταρα έχουν διάμετρο 0.5 - 1 μm περίπου [1,4].

3.3 ΑΣΘΕΝΕΙΕΣ ΠΟΥ ΟΦΕΙΛΟΝΤΑΙ ΣΕ ΣΤΡΕΠΤΟΚΟΚΚΟΥΣ

Ο *Streptococcus pyogenes* και ο *Streptococcus pneumoniae* είναι ισχυρά παθογόνα του ανθρώπινου αναπνευστικού συστήματος. Ο *S. pyogenes* μεταδίδεται μέσω της αναπνευστικής οδού. Ο *S. pneumoniae* απαντά στη χλωρίδα του αναπνευστικού συστήματος στο 40% περίπου των φυσιολογικών ατόμων. Τα ενδογενή στελέχη μπορούν να προκαλέσουν σοβαρό αναπνευστικό νόσημα σε εξασθενημένα ή εν γένει κατεσταλμένα άτομα.

Οι στρεπτόκοκκοι είναι μη σποριωτικοί, ομοζυμωτικοί, αερανεκτικοί, αναερόβιοι θετικοί κατά Gram κόκκοι². Ο *Streptococcus pyogenes* τυπικά αναπτύσσεται σε επιμήκεις αλυσίδες

² Τα θετικά κατά Gram βακτήρια μπορούν να διαχωριστούν σε δύο υποομάδες, τις ονομαζόμενες χαμηλού και υψηλού ποσοστού G+C, όροι που αφορούν το γεγονός ότι στο DNA τους υπάρχει αναλογία βάσεων γουανίνης (G) και κυτοσίνης (C) είτε πολύ πάνω είτε πολύ κάτω του 50%, αντιστοίχως. Το γένος *Streptococcus* κατατάσσεται στα μη σποριωτικά, θετικά κατά Gram βακτήρια χαμηλού ποσοστού G+C [1].



Εικόνα 3.3 Παρασκευάσμα στο οποίο έχει γίνει αρνητική χρώση κυττάρων του *Streptococcus pneumoniae* με ινδική μελάνη. Παρατηρήστε την εκτεταμένη κάψα που περιβάλλει τα κύτταρα. Τα κύτταρα έχουν διάμετρο 0.5 μm περίπου [1,5].

(εικόνα 3.2). Τα παθογόνα στελέχη του *Streptococcus pneumoniae* τυπικά αναπτύσσονται σε ζεύγη ή σε βραχείες αλυσίδες και έχουν εκτεταμένη πολυσακχαριτική κάψα (εικόνα 3.3).

Streptococcus pyogenes

Ο *Streptococcus pyogenes* συχνά απομονώνεται από την ανώτερη αναπνευστική οδό υγιών ενήλικων. Παρ' ότι στη συγκεκριμένη περιοχή ο αριθμός των *S. pyogenes* είναι συνήθως χαμηλός, αν οι άμυνες του ξενιστή εξασθενήσουν ή εισαχθεί ένα νέο, ιδιαίτερα επιθετικό στέλεχος, ενδέχεται να εμφανιστούν οξείες βακτηριακές λοιμώξεις. Ο *S. pyogenes* ευθύνεται για τη στρεπτοκοκκική φαρυγγίτιδα (ο φάρυγγας είναι ο σωλήνας που συνδέει τη στοματική κοιλότητα με τον λάρυγγα και τον οισοφάγο εικόνα 3.1). Τα περισσότερα απομονωμένα στελέχη από κλινικά περιστατικά στρεπτοκοκκικής φαρυγγίτιδας παράγουν μια τοξίνη³ που προκαλεί λύση των ερυθρών αιμοσφαιρίων, κατάσταση η οποία ονομάζεται β-αιμόλυση⁴. Η στρεπτοκοκκική φαρυγγίτιδα χαρακτηρίζεται από έντονο πονόλαιμο, διόγκωση των αμυγδαλών, χαμηλό πυρετό και γενικευμένο αίσθημα κακουχίας (αμυγδαλίτιδα). Ο *S. pyogenes* μπορεί ακόμη να προκαλέσει σχετικές λοιμώξεις του ωτός (μέση ωτίτιδα), των μαστικών αδένων (μαστίτιδα) και των επιφανειακών στοιβάδων του δέρματος, κατάσταση γνωστή ως μολυσματικό κηρίο (πολλά τέτοια περιστατικά οφείλονται στον *Staphylococcus aureus*).

Τα μισά περίπου περιστατικά έντονου πονόλαιμου αποδεικνύεται ότι οφείλονται σε *Streptococcus pyogenes*, ενώ τα υπόλοιπα είναι ιογενή. Έχει ιδιαίτερη σημασία να γίνει άμεση, ακριβής διάγνωση, διότι αν ο πονόλαιμος οφείλεται σε ιό η χορήγηση αντιβακτηριακών χημειοθεραπευτικών παραγόντων («αντιβιοτικών») είναι άχρηστη, ενώ αν οφείλεται στον *S. pyogenes* ενδείκνυται άμεση αντιβακτηριακή θεραπεία. Η γρήγορη, πλήρης ίαση του στρεπτοκοκκικού πονόλαιμου είναι πολύ σημαντική, διότι σε ορισμένες περιπτώσεις

³ Η παθογονικότητα των μικροοργανισμών ευνοείται σημαντικά από τοξίνες και εξωκυτταρικούς παράγοντες μολυσματικότητας που οι ίδιοι μικροοργανισμοί παράγουν και απελευθερώνουν. Οι **εξωτοξίνες** είναι πρωτεΐνες που απελευθερώνονται στον εξωκυτταρικό χώρο κατά την ανάπτυξη του μικροοργανισμού. Αυτές οι τοξίνες είναι δυνατόν να διασπαρούν σε μεγάλες αποστάσεις μέσα στο σώμα και να προκαλέσουν βλάβες σε περιοχές πολύ μακριά από την αρχική εστία της λοίμωξης. Οι περισσότερες εξωτοξίνες ανήκουν σε μια από τις τρεις ακόλουθες κατηγορίες: τις **κυτταρολυτικές τοξίνες**, τις **τοξίνες A-B** και τις **υπεραντιγονικές τοξίνες**. Οι **κυτταρολυτικές τοξίνες** είναι ένζυμα που επιτίθενται σε κάποιο δομικό συστατικό των κυττάρων και προκαλούν λύση. Οι **τοξίνες A-B** αποτελούνται από δύο ομοιοπολικά συνδεδεμένες υπομονάδες, A και B. Η μια από αυτές, η B, συνδέεται σε κάποιον επιφανειακό υποδοχέα των κυττάρων του ξενιστή και επιτρέπει τη μεταφορά της A στο εσωτερικό του κυττάρου, όπου αυτή επιφέρει διάφορες βλάβες. Τα **υπεραντιγόνα** είναι τοξίνες που διεγείρουν μεγάλο αριθμό κυττάρων του ανοσοποιητικού συστήματος του ξενιστή, προκαλώντας εκτεταμένες φλεγμονώδεις αποκρίσεις [1].

⁴ Πολλά παθογόνα βακτήρια παράγουν πρωτεΐνες που δρουν στην κυτταροπλασματική μεμβράνη, προκαλώντας λύση άρα και θάνατο των ζωικών κυττάρων. Οι τοξίνες αυτές ονομάζονται επίσης **αιμολυσίνες**, διότι η δράση τους παρατηρείται πολύ εύκολα στα ερυθρά αιμοσφαίρια. Οι επιδράσεις τους, ωστόσο, δεν περιορίζονται μόνο στα ερυθροκύτταρα, αλλά αφορούν και πολλά άλλα κύτταρα του ξενιστή. Οι **αιμολυσίνες** κατατάσσονται στην κατηγορία των **κυτταρολυτικών τοξινών** [1].

μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρότερα στρεπτοκοκκικά σύνδρομα, όπως οστρακιά, ρευματικό πυρετό, οξεία σπειραματονεφρίτιδα και σύνδρομο τοξικής καταπληξίας.

Ορισμένα στελέχη του *Streptococcus pyogenes* φέρουν έναν λυσιγονικό βακτηριοφάγο που κωδικοποιεί την παραγωγή της ερυθματογόνου τοξίνης, μιας εξωτοξίνης που ευθύνεται για τα περισσότερα συμπτώματα της οστρακιάς. Η ερυθματογόνος τοξίνη προκαλεί την εμφάνιση ενός κοκκινωπού εξανθήματος, καταστρέφει μικρά αιμοφόρα αγγεία και φέρνει πυρετό. Η κατάσταση είναι οξεία και αντιμετωπίζεται εύκολα με αντιβακτηριακούς παράγοντες.

Μερικές φορές, ο *Streptococcus pyogenes* μπορεί να προκαλέσει κεραυνοβόλες διασυστηματικές λοιμώξεις που συχνά χαρακτηρίζονται από νεκρωτική περιτονίτιδα, μια ταχεία προοδευτική λοίμωξη που οδηγεί σε εκτεταμένη καταστροφή υποδόριου ιστού⁵. Αυτές οι λοιμώξεις ευθύνονται για τα δραματικά, αλλά ευτυχώς σπάνια, περιστατικά «σαρκοφάγων βακτηρίων». Στις περιπτώσεις αυτές, οι εξωτοξίνες Α και Β, καθώς και η επιφανειακή πρωτεΐνη Μ, δρουν ως υπεραντιγόνα που επιστρατεύουν μεγάλο αριθμό κυττάρων Τ στους προσβεβλημένους ιστούς. Κατόπιν τα κύτταρα Τ εκκρίνουν κυτοκίνες, οι οποίες ενεργοποιούν μεγάλο αριθμό κυττάρων-τελεστών, οδηγώντας σε μαζικής κλίμακας διασυστηματική φλεγμονή, καταστροφή ιστών και θάνατο μέχρι και στο 30% του συνόλου των κρουσμάτων.

Τα περιστατικά *Streptococcus pyogenes*, στα οποία δεν εφαρμόζεται θεραπεία ή εφαρμόζεται ανεπαρκής θεραπεία, είναι δυνατόν να οδηγήσουν σε σοβαρά *καθυστερημένα επακόλουθα*, ή επακόλουθες νόσους. Ο **ρευματικός πυρετός**, ένα από αυτά τα καθυστερημένα επακόλουθα, προκαλείται από *ρευματογόνα* στελέχη του *S. pyogenes* που περιέχουν επιφανειακά αντιγόνα των κυττάρων, τα οποία μοιάζουν με ορισμένα αντιγόνα που βρίσκονται στην επιφάνεια των ανθρώπινων κυττάρων. Η ανοσοαπόκριση στο παθογόνο-εισβολέα παράγει αντισώματα που αλληλεπιδρούν με τους ιστούς του ξενιστή, συγκεκριμένα με τους ιστούς της καρδιάς, των αρθρώσεων και των νεφρών, με αποτέλεσμα την καταστροφή ιστών. Ο ρευματικός πυρετός είναι ένας τύπος αυτοάνοσου νοσήματος όπου τα αντισώματα αντιδρούν με συστατικά του ιδίου του οργανισμού. Η βλάβη μπορεί να είναι μόνιμη και συχνά συνδυάζεται με μεταγενέστερες στρεπτοκοκκικές λοιμώξεις και επακόλουθες κρίσεις ρευματικού πυρετού.

Ένα άλλο καθυστερημένο επακόλουθο της λοίμωξης από *Streptococcus pyogenes* είναι η *οξεία σπειραματονεφρίτιδα*, μια επώδυνη ασθένεια των νεφρών. Πρόκειται για νόσο των ανοσοσυμπλεγμάτων, η οποία οφείλεται στον σχηματισμό συμπλόκων μεταξύ του στρεπτοκοκκικού αντιγόνου και του αντισώματος στην κυκλοφορία του αίματος. Τα ανοσοσυμπλέγματα εγκαθίστανται στα *σπειράματα*, δηλ. στις διηθητικές μεμβράνες των νεφρών, προκαλώντας φλεγμονή (νεφρίτιδα) που συνοδεύεται από έντονο πόνο στα νεφρά. Μέσα σε μερικές μέρες, τα συμπλέγματα αυτά συνήθως διαλύονται και ο ασθενής επανέρχεται γρήγορα σε φυσιολογική κατάσταση. Δυστυχώς, ακόμη και η έγκαιρη αντιβακτηριακή θεραπεία δεν είναι σε θέση να εμποδίσει την εμφάνιση σπειραματονεφρίτιδας. Ωστόσο, λίγα μόνο στελέχη του *S. pyogenes* προκαλούν αυτή την επώδυνη νόσο.

Ευτυχώς, η εκ νέου λοίμωξη από συγκεκριμένο στέλεχος του *S. pyogenes* είναι κάτι σπάνιο, αλλά υπάρχουν τουλάχιστον 60 διαφορετικά στελέχη που καθορίζονται από αντιγονικά διακριτές, στελεχο-ειδικές επιφανειακές πρωτεΐνες Μ. Συνεπώς, ένα άτομο μπορεί να προσβληθεί τουλάχιστον 60 φορές από διαφορετικά στελέχη του *S. pyogenes*. Δεν υπάρχουν διαθέσιμα εμβόλια για την πρόληψη λοιμώξεων από το *S. pyogenes*.

⁵ Το δέρμα είναι το μεγαλύτερο όργανο του σώματος. Καλύπτει έκταση 1.5 έως 2 τετραγωνικών μέτρων και αντιπροσωπεύει σχεδόν ένα έκτο του βάρους του ανθρώπινου σώματος. Αποτελείται, από έξω προς τα μέσα, από τρεις στοιβάδες που επιτελούν συγκεκριμένες λειτουργίες: την επιδερμίδα, το χόριο και τον υποδόριο ιστό [6].

Streptococcus pneumoniae

Το άλλο σημαντικό είδος παθογόνου στρεπτοκόκκου, το *Streptococcus pneumoniae*, προκαλεί πνευμονικές λοιμώξεις που συχνά αναπτύσσονται ως δευτερογενείς λοιμώξεις άλλων αναπνευστικών διαταραχών. Η κάψα (εικόνα 3.3) επιτρέπει στα κύτταρα να αντιστέκονται στη φαγοκυττάρωση. Τα στελέχη του *S. pneumoniae* που περιβάλλονται από κάψα έχουν αυξημένη ικανότητα εισβολής. Τα κύτταρα εισβάλουν στους ιστούς των κυψελίδων του πνεύμονα (κατώτερη αναπνευστική οδός) και προκαλούν ισχυρή φλεγμονώδη αντίδραση. Η συσσώρευση φαγοκυτταρικών κυττάρων και υγρού είναι δυνατόν να επιφέρει μείωση της λειτουργίας των πνευμόνων, ενώ τα κύτταρα του *S. pneumoniae* ενδέχεται να εξαπλωθούν από την εστία της λοίμωξης, υπό μορφή βακτηραιμίας, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται ενίοτε λοιμώξεις των οστών, του έσω ωτός, καθώς και ενδοκαρδίτιδα. Η πνευμονιοκοκκική πνευμονία είναι μια σοβαρή λοίμωξη και οι περιπτώσεις στις οποίες δεν εφαρμόζεται θεραπεία, εμφανίζουν ποσοστό θνησιμότητας γύρω στο 30%. Ακόμη και με επιθετική αντιμικροβιακή θεραπεία, τα άτομα που νοσηλεύονται στα νοσοκομεία με πνευμονιοκοκκική πνευμονία εμφανίζουν θνησιμότητα 5 – 10%.

Πρόληψη και θεραπεία

Δεν έχουμε στη διάθεσή μας αποτελεσματικά εμβόλια για την πρόληψη των λοιμώξεων του *Streptococcus pyogenes*. Ωστόσο, υπάρχει ένα αποτελεσματικό πολυδύναμο εμβόλιο για την πρόληψη της λοίμωξης από τα 2/3 τουλάχιστον των 90 γνωστών στελεχών του *Streptococcus pneumoniae*, στα οποία συμπεριλαμβάνονται όλα τα παθογόνα στελέχη. Το εμβόλιο αποτελείται από ένα μείγμα πολυσακχαριτών της κάψας, προερχόμενο από τα στελέχη με τον μεγαλύτερο επιπολασμό. Ο εμβολιασμός συνιστάται για τους ηλικιωμένους, τους νοσηλευτές, τα άτομα με κατεσταλμένη ανοσία και άλλες ομάδες υψηλού κινδύνου όσον αφορά τις αναπνευστικές λοιμώξεις.

Η πενικιλίνη και τα ημισυνθετικά παράγωγά της είναι οι παράγοντες πρώτης επιλογής για τη θεραπεία λοιμώξεων από *Streptococcus pyogenes*. Η ερυθρομυκίνη και άλλα αντιβακτηριακά φάρμακα χρησιμοποιούνται σε άτομα με επίκτητη αλλεργία στην πενικιλίνη.

Τα περισσότερα στελέχη του *S. pneumoniae* αποκρίνονται στην θεραπεία με πενικιλίνη. Ωστόσο υπάρχουν στελέχη ανθεκτικά στην ουσία αυτή, ειδικά μεταξύ των στελεχών που προκαλούν νοσοκομειακές λοιμώξεις, ενώ τα στελέχη που απομονώνονται κατά περίπτωση πρέπει να ελέγχονται όσον αφορά την ευαισθησία τους στην πενικιλίνη. Η ερυθρομυκίνη είναι το φάρμακο πρώτης επιλογής για την αντιμετώπιση μικροοργανισμών που είναι ανθεκτικοί στην πενικιλίνη, αλλά μπορούμε επίσης να χρησιμοποιήσουμε κεφαλοσπορίνη, φθοροκινολόνη, κεφτριαξόνη, κεφοταξίμη ή βανκομυκίνη. Παρ' όλα αυτά έχουν βρεθεί στελέχη ανθεκτικά σε κάθε μια από αυτές τις φαρμακευτικές ουσίες, καθώς και στελέχη με πολλαπλή φαρμακευτική αντοχή, γεγονός που υπογραμμίζει την ανάγκη για μεμονωμένο έλεγχο κάθε απομονωμένου στελέχους [1].

3.4 *Corynebacterium diphtheriae* & ΔΙΦΘΕΡΙΤΙΔΑ

Το *Corynebacterium diphtheriae* είναι ο μικροοργανισμός που προκαλεί τη διφθερίτιδα, μια σοβαρή αναπνευστική νόσο που συνήθως προσβάλλει παιδιά. Η διφθερίτιδα είναι δυνατόν να προληφθεί και να θεραπευτεί. Το *Corynebacterium diphtheriae* είναι ένα θετικό κατά Gram, μη αυτοκινούμενο αερόβιο βακτήριο που σχηματίζει ακανόνιστα ραβδόμορφα ή ροπαλόμορφα κύτταρα καθώς αναπτύσσεται.

Το *Corynebacterium diphtheriae* εισέρχεται στο σώμα μέσω της αναπνευστικής οδού και τα κύτταρά του εγκαθίστανται στον φάρυγγα και στις αμυγδαλές. Η λοίμωξη εξαπλώνεται συνήθως από υγιείς φορείς ή προσβεβλημένα άτομα μέσω σταγονιδίων που μεταφέρονται με τον αέρα. Προγενέστερη λοίμωξη ή ανοσοποίηση παρέχει πλήρη ανοσία στη λοίμωξη. Αν και

είναι περιορισμένες οι πληροφορίες που διαθέτουμε όσον αφορά τον μηχανισμό προσκόλλησης του *Corynebacterium diphtheriae* στους προαναφερθέντες ιστούς, είναι γνωστό ότι ο μικροοργανισμός παράγει μια νευραμινιδάση ικανή να διασπά το Ν-ακετυλονευραμινικό οξύ (συστατικό των γλυκοπρωτεϊνών στην επιφάνεια των ζωικών κυττάρων), γεγονός που βοηθά στη διαδικασία της εισβολής. Η φλεγμονώδης απόκριση των ιστών του φάρυγγα στη λοίμωξη από *Corynebacterium diphtheriae* οδηγεί στον σχηματισμό μιας χαρακτηριστικής ψευδομεμβράνης, η οποία αποτελείται από κατεστραμμένα κύτταρα του ξενιστή και κύτταρα του *Corynebacterium diphtheriae*. Ορισμένα στελέχη του *Corynebacterium diphtheriae* λυσιγονοποιούνται από τον βακτηριοφάγο β και παράγουν μια ισχυρή εξωτοξίνη³, την τοξίνη της διφθερίτιδας. Η τοξίνη της διφθερίτιδας αναστέλλει τη σύνθεση των ευκαρυωτικών πρωτεϊνών και έτσι φονεύει τα κύτταρα.

Η ψευδομεμβράνη που σχηματίζεται στη διφθερίτιδα μπορεί να φράζει τη δίοδο του αέρα. Ο θάνατος από διφθερίτιδα οφείλεται συνήθως στον συνδυασμό μερικής ασφυξίας και καταστροφής των ιστών από την εξωτοξίνη. Αν και η διφθερίτιδα ήταν στο παρελθόν διαδεδομένη παιδική ασθένεια, σήμερα εμφανίζεται σπάνια, διότι υπάρχει αποτελεσματικό εμβόλιο διαθέσιμο γι' αυτήν. Σε ολόκληρο τον πλανήτη, όμως, εξακολουθούν να σημειώνονται 50.000 κρούσματα διφθερίτιδας ετησίως, κυρίως λόγω απουσίας εμβολιασμών. Πρόσφατα κρούσματα διφθερίτιδας στη νοτιοανατολική Ασία και στην ανατολική Ευρώπη αποδόθηκαν σε έλλειψη προγραμμάτων εμβολιασμού ή στη μη εφαρμογή υπαρχόντων προγραμμάτων εμβολιασμού αντίστοιχα.

Πρόληψη και θεραπεία

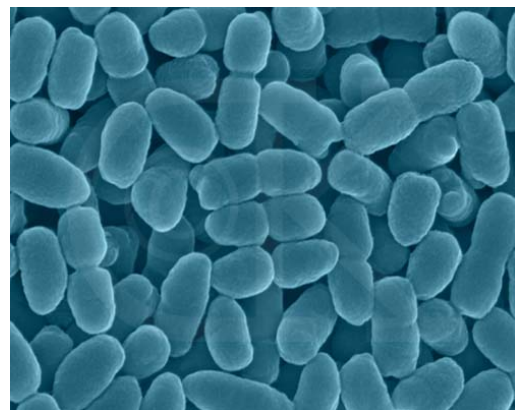
Σε έναν ασθενή στον οποίο έχει διαγνωστεί διφθερίτιδα, χορηγείται ταυτόχρονα αντιβίωση και αντιτοξίνη της διφθερίτιδας (μια αντιτοξίνη περιέχει εξουδετερωτικά αντισώματα που δημιουργήθηκαν σε ένα άλλο ζώο). Η πενικιλίνη, η ερυθρομυκίνη ή η γενταμικίνη φέρουν συνήθως θετικά αποτελέσματα στη θεραπεία της διφθερίτιδας. Για την αποτελεσματική θεραπεία της ασθένειας, όμως είναι απαραίτητο να χορηγηθούν εγκαίρως τόσο τα αντιβιοτικά όσο και η αντιτοξίνη.

Η πρόληψη της διφθερίτιδας επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός ιδιαίτερα αποτελεσματικού παρασκευάσματος εμβολίου. Το εμβόλιο παρασκευάζεται με κατεργασία της εξωτοξίνης της διφθερίτιδας με φορμαλίνη, για την παραγωγή ενός ανοσογονικού, αλλά μη τοξικού τοξοειδούς. Το τοξοειδές της διφθερίτιδας είναι μέρος του εμβολίου DTP (ανοσοποίηση έναντι της διφθερίτιδας, του τετάνου και του κοκκύτη) [1].

3.5 *Bordetella pertussis* & ΚΟΚΚΥΤΗΣ

Ο κοκκύτης είναι μια δυνητικά σοβαρή παιδική αναπνευστική νόσος που προκαλείται από μόλυνση με το μικρόβιο *Bordetella pertussis*. Η *B. pertussis* είναι ένας μικρός, αρνητικός κατά Gram, αερόβιος κοκκοβάκιλλος (εικόνα 3.4).

Ο κοκκύτης είναι μια οξεία, ιδιαίτερα μολυσματική αναπνευστική νόσος που συχνά εμφανίζεται σε παιδιά ηλικίας κάτω των 5 ετών. Η *Bordetella pertussis* προσκολλάται στα κύτταρα της ανώτερης αναπνευστικής οδού, παράγοντας έναν ειδικό παράγοντα προσκόλλησης, που ονομάζεται αντιγόνο νηματοειδούς αιμοσυγκολλητίνης. Ο συγκεκριμένος παράγοντας αναγνωρίζει ένα συμπληρωματικό μόριο στην επιφάνεια των κυττάρων του ξενιστή. Όταν γίνει η προσκόλληση, το βακτήριο *B. pertussis* αναπτύσσεται και παράγει την εξωτοξίνη³ του



Εικόνα 3.4 *Bordetella pertussis* [7]

κοκκύτη, η οποία επάγει τη σύνθεση κυκλικής μονοφωσφορικής αδενοσίνης (κυκλικού AMP), που ευθύνεται τουλάχιστον εν μέρει για τα φαινόμενα που προκαλούν βλάβες στον ιστό του ξενιστή. Η *Bordetella pertussis* παράγει επίσης μια ενδοτοξίνη⁶, η οποία μπορεί επίσης να επάγει ορισμένα από τα συμπτώματα του κοκκύτη. Κλινικά, ο κοκκύτης χαρακτηρίζεται από επαναλαμβανόμενο, βίαιο βήχα που μπορεί να διαρκέσει μέχρι και 6 εβδομάδες. Ο σπασμωδικός βήχας συνοδεύεται από χαρακτηριστικό ήχο που οφείλεται στις βαθιές ανάσες που παίρνει ο ασθενής για να εισπνεύσει επαρκή ποσότητα αέρα.

Πρόληψη και θεραπεία

Ένα εμβόλιο αποτελούμενο από θανατωμένα ακέραια κύτταρα ή πρωτεΐνες που προέρχονται από τη *Bordetella pertussis* αποτελεί τμήμα του ευρέως χορηγούμενου εμβολίου DTP. Το εμβόλιο αυτό είναι κατά κανόνα ιδιαίτερα αποτελεσματικό, αλλά πρέπει να χορηγείται στα ευπαθή άτομα, συνήθως παιδιά, σε τακτά χρονικά διαστήματα που ξεκινούν λίγο καιρό μετά τη γέννηση. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, έως και το 50% των παιδιών που εμφανίζουν κοκκύτη δεν έχουν ανοσοποιηθεί επαρκώς, ενώ τα σύγχρονα παρασκευάσματα ανοσοποίησης είναι αποτελεσματικά μόνο κατά 60-90%. Η απειλή αυτής της ιδιαίτερα μεταδοτικής ασθένειας παραμένει υψηλή, όπως φαίνεται από τις επιδημικές εξάρσεις που σημειώνονται σε αρκετές πόλεις των Ηνωμένων Πολιτειών και της πρώην Σοβιετικής Ένωσης, ενδεχομένως λόγω της πλημμυρικής εφαρμογής των δημόσιων προγραμμάτων ανοσοποίησης. Τα τελευταία χρόνια έχει αυξηθεί ανησυχητικά ο αριθμός των κρουσμάτων κοκκύτη στις Ηνωμένες Πολιτείες. Έως και το 60% των περιστατικών που σημειώνονται κάθε χρόνο, αφορά άτομα ηλικίας μεγαλύτερης των 5 ετών, μεταξύ των οποίων συγκαταλέγονται πολλοί έφηβοι και ενήλικες.

Λόγω των ανεπιθύμητων παρενεργειών του εμβολίου του κοκκύτη, οι οποίες περιλαμβάνουν τοπικό οίδημα και ερυθρότητα, πυρετό και μερικές φορές πιο σοβαρά προβλήματα, όπως εγκεφαλίτιδα και σπασμούς, έχει πλέον εγκριθεί για χρήση στις Ηνωμένες Πολιτείες ένα εμβόλιο κοκκύτη «δεύτερης γενεάς», το οποίο περιέχει αμιγή κλάσματα κυττάρων.

Οι καλλιέργειες *Bordetella pertussis* καταστρέφονται από την αμπικιλίνη, την τετρακυκλίνη και την ερυθρομυκίνη, αν και τα αντιβιοτικά από μόνα τους δεν φαίνεται να επαρκούν για την εξόντωση του παθογόνου *in vivo*⁷. Επειδή ένας ασθενής με κοκκύτη παραμένει μολυσματικός για δύο εβδομάδες μετά την έναρξη της αντιβιοτικής θεραπείας, η ανοσοαπόκριση μπορεί να είναι εξίσου σημαντική, αν όχι σημαντικότερη, από τα αντιβιοτικά για την εξάλειψη του *B. pertussis* από το σώμα [1].

3.6 *Mycobacterium tuberculosis* & ΦΥΜΑΤΙΩΣΗ

Η φυματίωση προκαλείται από τον θετικό κατά Gram, οξεοάντοχο βάκιλλο *Mycobacterium tuberculosis*. Ο διάσημος γερμανός μικροβιολόγος Robert Koch απομόνωσε και περιέγραψε τον αιτιολογικό παράγοντα της φυματίωσης, το *M. tuberculosis*, το 1882.

Οι φυματιώδεις βάκιλλοι *Mycobacterium tuberculosis* μεταδίδονται εύκολα μέσω της αναπνευστικής οδού. Ο μικροοργανισμός μπορεί να μεταδοθεί από το ένα άτομο στο άλλο ακόμη και με την ομιλία. Στο παρελθόν, η φυματίωση ήταν η σημαντικότερη λοιμώδης νόσος του ανθρώπου και ευθυνόταν για το 1/7 του συνόλου των θανάτων σε παγκόσμιο επίπεδο.

⁶ Τα αρνητικά κατά Gram βακτήρια παράγουν λιποπολυσακχαρίτες για την εξωτερική στοιβάδα του κυτταρικού τους τοιχώματος, οι οποίοι σε πολλές περιπτώσεις είναι τοξικοί. Οι πολυσακχαρίτες αυτοί ονομάζονται **ενδοτοξίνες**, διότι είναι σταθερά συνδεδεμένοι με το βακτηριακό κύτταρο και απελευθερώνονται σε μεγάλες ποσότητες μόνο αν συμβεί λύση του κυττάρου [1].

⁷ **In vivo**: Στο ζωντανό σώμα ενός οργανισμού.

In vitro: Στον δοκιμαστικό σωλήνα, εκτός ζωντανού οργανισμού [1].

Σήμερα στις Ηνωμένες Πολιτείες διαγιγνώσκονται σχεδόν 20.000 νέα κρούσματα φυματίωσης κάθε χρόνο. Σε ολόκληρο τον κόσμο, η φυματίωση εξακολουθεί να ευθύνεται για 1,5 εκατομμύριο θανάτους ετησίως και για πάνω από το 10% των θανάτων που οφείλονται σε λοιμώδεις νόσους. Εκτιμάται ότι ποσοστό που προσεγγίζει το 1/3 του παγκόσμιου πληθυσμού είναι μολυσμένο με *M. tuberculosis*. Τα τελευταία χρόνια, πολλά από τα νέα κρούσματα φυματίωσης στις Ηνωμένες Πολιτείες οφείλονται, τουλάχιστον εν μέρει, στην αυξημένη συχνότητα της νόσου σε ασθενείς με σύνδρομο επίκτητης ανοσοανεπάρκειας (AIDS). Πάνω από 1.000 άνθρωποι πεθαίνουν κάθε χρόνο από φυματίωση, μόνο στις ΗΠΑ.

Η αλληλεπίδραση του ανθρώπινου ξενιστή και του *Mycobacterium tuberculosis* είναι εξαιρετικά περίπλοκη και καθορίζεται τόσο από τη μολυσματικότητα του στελέχους όσο και από την ειδική και μη ειδική αντίσταση του ξενιστή. Η κυτταρική ανοσία παίζει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των συμπτωμάτων της ασθένειας. Για λόγους ευκολίας διακρίνουμε δύο είδη λοιμώξεων φυματίωσης στον άνθρωπο: την πρωτογενή λοίμωξη και τη μεταπρωτογενή (ή αναμόλυνση). Πρωτογενής είναι η αρχική λοίμωξη ενός ατόμου, συνήθως μέσω εισπνοής σταγονιδίων που περιέχουν βιώσιμα βακτήρια από άλλο άτομο με ενεργή πνευμονική λοίμωξη. Τα σωματίδια σκόνης που έχουν μολυνθεί από πύελα φυματικών είναι άλλη μια πηγή πρωτογενούς λοίμωξης. Τα βακτήρια εγκαθίστανται στους πνεύμονες και αναπτύσσονται. Ένας τύπος καθυστερημένης αντίδρασης υπερευαισθησίας έχει ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό συσσωματωμάτων ενεργοποιημένων μακροφάγων που καλούνται *φυμάτια* και χαρακτηρίζουν την ασθένεια. Ωστόσο, πολλές φορές τα βακτήρια καταφέρνουν να επιβιώσουν και να αναπτυχθούν σε κάποιο βαθμό μέσα στα μακροφάγα. Σε άτομα με χαμηλή αντίσταση, τα βακτήρια δεν ελέγχονται αποτελεσματικά και επέρχεται οξεία πνευμονική λοίμωξη, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε εκτενή καταστροφή πνευμονικού ιστού, εξάπλωση των βακτηρίων σε άλλα μέρη του σώματος και θάνατο.

Στις περισσότερες περιπτώσεις φυματίωσης, πάντως, δεν εμφανίζεται οξεία λοίμωξη. Η λοίμωξη παραμένει χωρικά εντοπισμένη και είναι συνήθως αφανής, ενώ αργότερα υποχωρεί. Αυτή η αρχική μόλυνση, όμως, υπερευαισθητοποιεί το άτομο στα βακτήρια ή στα προϊόντα τους και κατά συνέπεια επηρεάζει την απόκριση του ατόμου την επόμενη φορά που θα εκτεθεί σε *Mycobacterium tuberculosis*. Υπάρχει ένα διαγνωστικό τεστ, η **δοκιμασία φυματίνης**, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση αυτής της υπερευαισθησίας. Όταν η φυματίνη, ένα πρωτεϊνικό κλάσμα που εξάγεται από το *Mycobacterium tuberculosis*, χορηγείται ενδοδερμικά σε υπερευαίσθητο άτομο, προκαλεί μια εντοπισμένη ανοσολογική αντίδραση στη θέση της μόλυνσης μέσα σε 1-3 μέρες. Η αντίδραση χαρακτηρίζεται από *σκλήρυνση* και *οίδημα*. Ένα άτομο που παρουσιάζει αυτή την αντίδραση χαρακτηρίζεται ως *θετικό για φυματίνη*. Πολλοί υγιείς ενήλικες δίνουν θετική αντίδραση εξαιτίας παλαιότερων αφανών λοιμώξεων. Μια θετική δοκιμασία φυματίνης δεν αποτελεί ένδειξη ενεργής νόσου αλλά δείχνει απλώς, ότι το άτομο έχει εκτεθεί στον μικροοργανισμό κατά το παρελθόν και ότι προκλήθηκε κυτταρική ανοσοαπόκριση.

Για τα περισσότερα άτομα, η ανοσία αυτή είναι προστατευτική και λειτουργεί εφ' όρου ζωής. Ωστόσο, ορισμένοι ασθενείς θετικοί για φυματίνη αναπτύσσουν μεταπρωτογενή φυματίωση μέσω αναμόλυνσης από εξωτερικές πηγές, ή λόγω επανενεργοποίησης των βακτηρίων που παρέμεναν ζωντανά αλλά σε αδράνεια στα μακροφάγα των πνευμόνων, πολλές φορές για χρόνια. Παράγοντες όπως η γήρανση, η κακή διατροφή, ο συνωστισμός, η καταπόνηση και οι ορμονικές διαταραχές επηρεάζουν την προδιάθεση των ατόμων για αναμόλυνση, μειώνοντας την αποτελεσματική ανοσία και επιτρέποντας την επανενεργοποίηση λοιμώξεων που βρίσκονται σε αδράνεια.

Οι δευτερογενείς πνευμονικές μολύνσεις εξελίσσονται συχνά σε χρόνιες λοιμώξεις που οδηγούν σε καταστροφή πνευμονικού ιστού και επακόλουθη μερική επούλωση και ασβεστοποίηση στη θέση της λοίμωξης. Έτσι, η χρόνια μεταπρωτογενής φυματίωση συχνά οδηγεί σε σταδιακή εξάπλωση φυματικών βλαβών στους πνεύμονες. Περιοχές

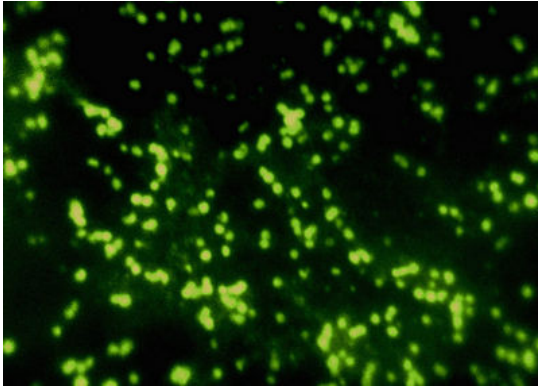
κατεστραμμένου ιστού είναι εμφανείς σε εξέταση με ακτίνες X, αν και τα βακτήρια απαντούν μόνο στα πτύελα ατόμων με εκτενή καταστροφή ιστών.

Πρόληψη και θεραπεία

Άτομα με ενεργή φυματίωση μπορεί να αποτελέσουν πηγές διάδοσης της ασθένειας απλώς με τον βήχα ή την ομιλία. Επειδή η φυματίωση είναι τόσο μεταδοτική, η Υπηρεσία Επαγγελματικής Ασφάλειας και Υγείας των ΗΠΑ (United States Occupational Safety and Health Administration) έχει θεσπίσει αυστηρές προδιαγραφές για την προστασία των νοσηλευτών που είναι επιφορτισμένοι με τη φροντίδα ασθενών που πάσχουν από φυματίωση. Για παράδειγμα, οι ασθενείς με λοιμώδη φυματίωση πρέπει να νοσηλεύονται σε δωμάτια με αρνητική πίεση. Επιπλέον, οι νοσηλευτές που έρχονται σε επαφή με τον ασθενή πρέπει να φορούν μάσκες προσώπου με φίλτρα ειδικών προδιαγραφών (high – efficiency particulate air, HEPA), ειδικά προσαρμοσμένες στο πρόσωπό τους. Τα συγκεκριμένα φίλτρα εμποδίζουν τη διέλευση του *Mycobacterium tuberculosis* που απαντά στα πτύελα ή στα σωματίδια της σκόνης.

Η χημειοθεραπεία της φυματίωσης υπήρξε σημαντικότερος παράγοντας για τον έλεγχο της ασθένειας. Η αρχική επιτυχία της χημειοθεραπείας σημειώθηκε χάρη στην εισαγωγή της στρεπτομυκίνης, αλλά η πραγματική επανάσταση στη θεραπεία της φυματίωσης ήρθε με την ανακάλυψη του υδραζιδίου του νικοτινικού οξέος (ονομάζεται επίσης *ισονιαζίδιο*, ή INH), ενός νικοτιναμιδικού παραγώγου που εμφανίζει αποκλειστική σχεδόν εξειδίκευση στα μυκοβακτήρια. Ο παράγοντας αυτός είναι αποτελεσματικός, μη τοξικός, φθηνός και απορροφάται γρήγορα χορηγούμενος από το στόμα. Αν και ο τρόπος δράσης του ισονιαζιδίου δεν έχει κατανοηθεί πλήρως, προφανώς επηρεάζει τη σύνθεση μυκολικού οξέος από το *Mycobacterium* (το μυκολικό οξύ είναι ένα σύνθετο λιπίδιο που σχηματίζει σύμπλοκο με την πεπτιδογλυκάνη του κυτταρικού τοιχώματος του μυκοβακτηρίου). Το ισονιαζίδιο ίσως δρα μιμούμενο τη δράση ενός δομικά παραπλήσιου μορίου, του νικοτιναμιδίου, ενσωματώνεται στη θέση του και έτσι απενεργοποιεί τα ένζυμα που χρειάζονται τη συγκεκριμένη ουσία για να παραμείνουν ενεργά. Η αντιμετώπιση των μυκοβακτηρίων με πολύ μικρές ποσότητες ισονιαζιδίου (5 picomoles ανά 10^9 κύτταρα) οδηγεί σε πλήρη αναστολή της σύνθεσης μυκολικού οξέος, ενώ συνέχιση της επώασης έχει ως αποτέλεσμα την ολοκληρωτική απώλεια διαφόρων περιοχών της εξωτερικής κυτταρικής μεμβράνης, απώλεια της ακεραιότητας του κυττάρου και θάνατο. Μετά τη χορήγηση του ισονιαζιδίου, τα μυκοβακτήρια χάνουν την οξεοαντοχή τους, κάτι αναμενόμενο μια και αυτή η ιδιότητα χρώσης συνδέεται με την παρουσία μυκολικού οξέος. Εν τούτοις, η αντοχή του μυκοβακτηρίου στο ισονιαζίδιο και σε άλλα φάρμακα αυξάνεται με ανησυχητικό ρυθμό, ιδίως στους ασθενείς με AIDS.

Η τυπική θεραπεία περιλαμβάνει τη χορήγηση ισονιαζιδίου και ριφαμπίνης σε καθημερινή βάση για δύο μήνες και, κατόπιν, σε δεκαπενθήμερη βάση για συνολικό χρονικό διάστημα 9 μηνών, προκειμένου να εξαλειφθούν τα φυμάτια και να προληφθεί η δημιουργία οργανισμών ανθεκτικών στα αντιβιοτικά. Αν δεν ολοκληρωθεί πλήρως το προβλεπόμενο σχέδιο θεραπείας, η ασθένεια ενδέχεται να επανενεργοποιηθεί, ενώ οι επανενεργοποιημένοι μικροοργανισμοί συχνά παρουσιάζουν αυξημένη αντοχή στα φάρμακα της αρχικής θεραπείας. Η ανεπαρκής θεραπεία ενισχύει τη φαρμακευτική αντοχή, επειδή στο *M. tuberculosis* συμβαίνουν αυθόρμητα πάρα πολλές μεταλλάξεις, με αποτέλεσμα την ταχύτερη εμφάνιση ανθεκτικότητας σε μεμονωμένα αντιβιοτικά. Η αποτελεσματική θεραπεία που στηρίζεται στον συνδυασμό φαρμάκων μειώνει την πιθανότητα εμφάνισης στελεχών ανθεκτικών και στα δύο φάρμακα. Σε ειδικούς πληθυσμούς, όπως είναι οι ασθενείς σε νοσοκομεία και κλινικές, χορηγούνται κατά κανόνα μέχρι και τέσσερα φάρμακα για χρονικό διάστημα τουλάχιστον 6 μηνών, ώστε να αποτραπεί η εμφάνιση φυματίωσης ανθεκτικής στα φάρμακα [1].



Εικόνα 3.5 Το βακτήριο *Neisseria meningitidis*, το οποίο προκαλεί μηνιγγίτιδα στους ενήλικες και μηνιγγοκοκκαιμία. Η λήψη του έγινε από εγκεφαλονωτιαίο υγρό μολυσμένου ασθενούς, ενώ η χρώση έχει γίνει με φθορίζον αντίσωμα. Οι μεμονωμένοι κόκκοι έχουν διάμετρο 0.6-1.0 μm [1,8].

3.7 *Neisseria meningitidis*, ΜΗΝΙΓΓΙΤΙΔΑ & ΜΗΝΙΓΓΟΚΟΚΚΑΙΜΙΑ

Η **μηνιγγίτιδα** είναι μια φλεγμονή των **μηνίγγων**, δηλ. των μεμβρανών που επενδύουν το κεντρικό νευρικό σύστημα, ιδίως τον νωτιαίο μυελό και τον εγκέφαλο. Η μηνιγγίτιδα μπορεί είτε να προκληθεί από ιικές ή βακτηριακές λοιμώξεις είτε να είναι *ασηπτική*, δηλαδή να μην προκύπτει από λοιμώδεις διαδικασίες. Εδώ θα ασχοληθούμε με τη λοιμώδη βακτηριακή μηνιγγίτιδα, που προκαλείται από τη *Neisseria meningitidis*, και με μια συγγενική λοίμωξη, τη **μηνιγγοκοκκαιμία**.

Η *Neisseria meningitidis*, η οποία συχνά αποκαλείται μηνιγγιτιδόκοκκος, είναι ένας αρνητικός κατά Gram, μη σποριωτικός,

υποχρεωτικά αερόβιος και θετικός στη δοκιμασία οξειδάσης διπλόκοκκος, ο οποίος περικλείεται σε κάψα (εικόνα 3.5). Έχουν αναγνωριστεί τουλάχιστον 13 στελέχη *Neisseria meningitidis* με βάση τις αντιγονικές διαφορές των καψιδιακών πολυσακχαριτών τους.

Η μηνιγγοκοκκική μηνιγγίτιδα συχνά εμφανίζεται υπό μορφή επιδημίας, συνήθως σε κλειστούς πληθυσμούς, όπως είναι εκείνοι που ζουν σε στρατιωτικές εγκαταστάσεις και πανεπιστημιούπολεις. Συνήθως προσβάλλει τα μεγαλύτερα παιδιά σχολικής ηλικίας και νεαρούς ενήλικες. Ένα ποσοστό έως και 30% των ατόμων φέρει φυσιολογικά τη *Neisseria meningitidis* στον ρινοφάρυγγα, χωρίς εμφανείς επιβλαβείς επιδράσεις. Σε επιδημικές καταστάσεις, ο επιπολασμός των φορέων μπορεί να φτάσει το 80%. Δεν είναι γνωστός ο παράγοντας που δίνει το έναυσμα μετάβασης από την κατάσταση του ασυμπτωματικού φορέα στην παθογόνο οξεία λοίμωξη. Σε μια οξεία μηνιγγοκοκκική λοίμωξη, το βακτήριο μεταδίδεται στον ξενιστή, συνήθως αερογενώς, προσδένεται στα κύτταρα του ρινοφάρυγγα και κατόπιν αποκτά πρόσβαση στην κυκλοφορία του αίματος, προκαλώντας βακτηριαιμία και απλά συμπτώματα στην ανώτερη αναπνευστική οδό. Η βακτηριαιμία οδηγεί ενίοτε σε κεραυνοβόλο μηνιγγοκοκκαιμία, η οποία χαρακτηρίζεται από σηψαιμία, ενδοφλέβια πήξη, καταπληξία και θάνατο, μέχρι και στο 17% των κρουσμάτων. Η μηνιγγίτιδα συνιστά άλλη μια σοβαρή ενδεχόμενη επίπτωση της λοίμωξης. Η μηνιγγίτιδα χαρακτηρίζεται από ξαφνικό πονοκέφαλο, εμετό και ραιβόκρανο, και είναι δυνατόν να εξελιχθεί σε κώμα και να επιφέρει τον θάνατο μέσα σε λίγες ώρες. Θάνατος του ασθενούς σημειώνεται έως και στο 3% των κρουσμάτων οξείας μηνιγγοκοκκικής μηνιγγίτιδας.

Πρόληψη και θεραπεία

Η πενικιλίνη G είναι το φάρμακο πρώτης επιλογής για τη θεραπεία λοιμώξεων που οφείλονται σε *Neisseria meningitidis*. Ωστόσο, έχουν αναφερθεί και περιπτώσεις στελεχών ανθεκτικών σε αυτήν. Η χλωραμφαινικόλη αποτελεί την αποδεκτή εναλλακτική λύση για τη θεραπεία των συγκεκριμένων λοιμώξεων σε άτομα ευαίσθητα στην πενικιλίνη. Πολλές κεφαλοσπορίνες ευρέος φάσματος είναι επίσης αποτελεσματικές.

Φυσικά στελεχοειδικά αντισώματα που δημιουργούνται από υποκλινικές λοιμώξεις είναι αποτελεσματικά όσον αφορά την πρόληψη των λοιμώξεων στους περισσότερους ενήλικες. Δυστυχώς, δεν υπάρχουν διαθέσιμα εμβόλια μακροχρόνιας κάλυψης έναντι της μηνιγγίτιδας ή της μηνιγγοκοκκαιμίας. Ωστόσο, παρασκευάζονται εμβόλια αποτελούμενα από καθαρούς πολυσακχαρίτες, οι οποίοι προέρχονται από ορισμένα παθογόνα στελέχη με πολύ υψηλό

επιπολασμό. Τα εμβόλια αυτά χρησιμοποιούνται για την ανοσοποίηση των ατόμων που έρχονται σε στενή επαφή με τους ασθενείς όταν ξεσπούν επιδημίες. Το εμβόλιο χρησιμοποιείται επίσης για την πρόληψη της λοίμωξης σε ευπαθείς πληθυσμούς, π.χ. στο στρατιωτικό προσωπικό και ενίοτε σε σπουδαστές που ζουν σε φοιτητικούς κοιτώνες. Επιπλέον, η ριφαμπίνη χορηγείται συχνά ως αντιβιοτικό χημειοπροφύλαξης από την ασθένεια σε άτομα που έρχονται σε στενή επαφή με τους ασθενείς και τα μέλη των οικογενειών τους [1].

3.8 ΙΟΙ, ΚΡΥΟΛΟΓΗΜΑΤΑ & ΓΡΙΠΗ

Ιοί

Οι ιοί είναι πιο δύσκολο να καταπολεμηθούν με χημειοθεραπευτικά μέσα απ' ό,τι τα βακτήρια ή άλλοι μικροοργανισμοί, διότι η ανάπτυξη των ιών είναι στενά συνδεδεμένη με τις λειτουργίες των ξενιστικών κυττάρων. Οι περισσότεροι χημειοθεραπευτικοί παράγοντες που προσβάλλουν εξειδικευμένα τους ιούς προκαλούν, σε περιορισμένο τουλάχιστον βαθμό, βλάβες και στα κύτταρα του ξενιστή. Δεν είναι λοιπόν παράξενο που οι πλέον διαδεδομένες λοιμώδεις ασθένειες, ιδίως στις αναπτυγμένες χώρες, έχουν ιική αιτιολογία. Οι περισσότερες ιικές νόσοι είναι οξείες, αυτοπεριοριζόμενες λοιμώξεις, που ορισμένες φορές μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα σε φυσιολογικούς υγιείς ενήλικες. Επιπλέον, σοβαρές ιικές νόσοι όπως η ευλογία και η λύσσα, έχουν ελεγχθεί αποτελεσματικά με την ανοσοποίηση. Επίσης, ιικές ασθένειες όπως η ιλαρά, η παρωτίτιδα, η ερυθρά και η ανεμοβλογιά που μεταδίδονται αερογενώς, μέσω μολυσματικών σταγονιδίων, ελέγχονται με μεθόδους ανοσοποίησης.

Κρυολογήματα & γρίπη

Τα κρυολογήματα και η γρίπη είναι τα συνηθέστερα λοιμώδη νοσήματα. Τα συμπτώματα του κοινού κρυολογήματος και τα συμπτώματα της γρίπης συχνά φαίνονται παραπλήσια, όμως οι δύο ασθένειες είναι διακριτές από συμπτωματική άποψη, ενώ προκαλούνται και από αρκετά διαφορετικούς ιούς. Το τυπικό κοινό κρυολόγημα που προκαλείται από ρινοϊό συνδέεται με ρινικά εκκρίματα, βήχα, ρίγη και, ενδεχομένως, πονόλαιμο. Η γρίπη, η οποία προκαλείται από ορθομυξοϊό, έχει εν γένει διαφορετική συμπτωματολογία. Παρ' ό,τι και στις δύο περιπτώσεις ο άνθρωπος ασθενεί, τα κρυολογήματα χαρακτηρίζονται συνήθως από μικρότερη διάρκεια και ηπιότερα συμπτώματα. Με βάση τον πίνακα 3.1, θα μπορείτε ίσως στο μέλλον να διαπιστώνετε αν «αρπάξατε γρίπη» ή αν απλώς «κρυολογήσατε».

Πίνακας 3.1 Συμπτώματα κοινού κρυολογήματος και γρίπης [1].

Συμπτώματα	Κοινό κρυολόγημα	Γρίπη
Πυρετός	Σπάνιος	Συνήθης (39-40°C), αιφνίδια έναρξη
Πονοκέφαλος	Σπάνιος	Συνήθης
Γενικευμένη κακουχία	Ελαφρά	Συνήθης, συχνά αρκετά έντονη, μπορεί να κρατήσει εβδομάδες
Ρινικά εκκρίματα	Συνήθη και άφθονα	Λιγότερο συνήθη, συνήθως όχι άφθονα
Πονόλαιμος	Συνήθης	Πολύ σπανιότερος
Εμετός ή/και διάρροια	Σπάνια	Συνήθη

Σύμφωνα με εκτιμήσεις, κάθε άτομο παθαίνει κατά μέσον όρο τουλάχιστον τρία κρυολογήματα κάθε χρόνο, κατά τη διάρκεια της ζωής του. Συμπτώματα του κρυολογήματος είναι η ρινίτιδα (φλεγμονή της ρινικής περιοχής, ιδιαίτερα στους βλεννογόνους υμένες), η ρινική απόφραξη, τα υδαρή ρινικά εκκρίματα και μία γενική αίσθηση κακουχίας, συνήθως χωρίς πυρετό. Οι ρινοϊοί, ιοί μονόκλωνου ριβονουκλεϊκού οξέος (RNA) της ομάδας των πικο-RNA-ιών, είναι οι συνηθέστεροι αιτιολογικοί παράγοντες του κρυολογήματος. Έχουν ταυτοποιηθεί τουλάχιστον 115 διαφορετικοί ορότυποι ρινοϊών. Μία άλλη ομάδα ιών μονόκλωνου RNA, οι κοροναϊοί, ευθύνονται για το 15% περίπου του συνόλου των κρουσμάτων κοινού κρυολογήματος στους ενήλικες. Διάφοροι άλλοι ιοί, στους οποίους ανήκουν αδενοϊοί, ιοί coxsackie, ο αναπνευστικός συγκυτιακός ιός και ορθομυξοϊοί, ευθύνονται για το 10% περίπου του συνόλου των κρουσμάτων. Τα κρυολογήματα συνήθως επάγουν μια εξειδικευμένη, τοπική, εξουδετερωτική απόκριση IgA. Ωστόσο, ο μεγάλος αριθμός των πιθανών μολυσματικών παραγόντων καθιστά ιδιαίτερα απίθανη την απόκτηση ανοσίας μέσω ανοσοποίησης ή ύστερα από έκθεση στο παθογόνο ιό.

Η αερογενής μετάδοση του ιού είναι κατά πάσα πιθανότητα ο κύριος τρόπος εξάπλωσης του κρυολογήματος. Στην περίπτωση του κρυολογήματος, τα περισσότερα αντικά φάρμακα είναι αναποτελεσματικά, όμως ένα παράγωγο της πυραζιδίνης υπόσχεται πολλά όσον αφορά την πρόληψη της νόσου, μετά την έκθεση εθελοντών σε ιούς. Επιπλέον, νέα πειραματικά αντικά φάρμακα σχεδιάζονται με βάση πληροφορίες προερχόμενες από τρισδιάστατες δομές. Για παράδειγμα, το αντιρινοϊκό φάρμακο WIN 52084 προσδένεται στον ιό, αλλάζει την τρισδιάστατη διαμόρφωση της επιφάνειάς του και εμποδίζει την πρόσδεση του ιού στον επιφανειακό υποδοχέα του, προλαμβάνοντας έτσι τη λοίμωξη. Η ιντερφερόνη-α, μια κυτοκίνη, είναι επίσης αποτελεσματική όσον αφορά την αποτροπή εκδήλωσης του κρυολογήματος. Σε πειραματικό επίπεδο, λοιπόν, υπάρχουν ποικίλες δυνατότητες πρόληψης και θεραπείας των κρυολογημάτων, αν και καμία από αυτές δεν γίνεται ευρύτερα αποδεκτή ως αποτελεσματική και ασφαλής. Καθιερωμένη θεραπεία για το κρυολογήμα είναι η αντιμετώπιση των συμπτωμάτων, ιδίως των ρινικών εκκρίσεων, με διάφορα αντιισταμινικά και αποσυμφορητικά φάρμακα.

Η γρίπη προκαλείται από έναν RNA-ιό της ομάδας των ορθομυξοϊών. Ο ιός της γρίπης έχει γονιδίωμα μονόκλωνου, αρνητικού «νήματος», ελικοειδούς RNA, το οποίο περιβάλλεται από πρωτεϊνικό επενδυτή, λιπιδική διπλοστοιβάδα και εξωτερικές γλυκοπρωτεΐνες. Υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τύποι ιών της γρίπης, η γρίπη Α, η γρίπη Β και η γρίπη Γ. Εδώ θα ασχοληθούμε μόνο με τη γρίπη Α, αφού αυτή είναι η πλέον παθογόνος για τον άνθρωπο.

Το γενετικό υλικό του ιού της γρίπης Α, αυτό το μονόκλωνο RNA, παρουσιάζει ιδιαίτερα ασυνήθιστη διάταξη. Το γονιδίωμα του ιού της γρίπης είναι κατατεταγμένο και γονίδια απαντούν σε κάθε ένα από τα οκτώ διακριτά θραύσματα του μονόκλωνου RNA του. Αυτή η διάταξη επιτρέπει τη γρήγορη και συνεχή ανταλλακτική ανακατάταξη των γονιδίων μεταξύ διαφορετικών στελεχών του ιού, επειδή το ίδιο κύτταρο μπορεί να προσβληθεί από περισσότερα του ενός στελέχη του ιού ταυτοχρόνως. Η ανταλλακτική ανακατάταξη των γονιδίων οδηγεί σε ένα φαινόμενο που ονομάζεται **αντιγονική μετατόπιση**. Η αντιγονική μετατόπιση αναφέρεται σε τροποποιήσεις του πρωτεϊνικού περιβλήματος των ισομάτων, ιδιαίτερα σε δύο πρωτεΐνες που παίζουν σημαντικό ρόλο στην πρόσδεση και την τελική απελευθέρωση του ιού από τα κύτταρα-ξενιστές, την αιμοσυγκολλητίνη και τη νευραμινιδάση αντίστοιχα. Τα αντισώματα αιμοσυγκολλητίνης και νευραμινιδάσης υφίστανται επίσης μικρές αντιγονικές αλλαγές, λόγω γενετικών μεταλλάξεων που μεταβάλλουν ένα ή περισσότερα αμινοξέα. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως **αντιγονική διολίσθηση**.

Ο ιός της ανθρώπινης γρίπης μεταδίδεται από το ένα άτομο στο άλλο με τον αέρα, κυρίως μέσω των σταγονιδίων που αποβάλλονται κατά τον βήχα ή το φτάρνισμα. Ο ιός προσβάλλει τους βλεννογόνους υμένες της ανώτερης αναπνευστικής οδού και, περιστασιακά, εισβάλλει στους πνεύμονες. Τα συμπτώματα είναι χαμηλός πυρετός που διαρκεί 3 – 7 μέρες, ρίγη,

κόπωση, πονοκέφαλος και γενικευμένο άλγος. Η ανάρρωση γίνεται συνήθως αυθόρμητα και γρήγορα. Οι περισσότερες από τις σοβαρές επιπλοκές της λοίμωξης αυτής οφείλονται στο ότι διάφοροι βακτηριακοί εισβολείς εξελίσσονται σε δευτερογενείς λοιμώξεις σε άτομα με μειωμένη αντίσταση λόγω της γρίπης. Ειδικά στα νήπια και στους ηλικιωμένους, η γρίπη συχνά συνοδεύεται από βακτηριακή πνευμονία. Ο θάνατος, εφόσον επέλθει, οφείλεται συνήθως σε βακτηριακή λοίμωξη. Μετά τη μόλυνση, τα περισσότερα άτομα ενός μολυσμένου πληθυσμού αποκτούν ανοσία στον προσβάλλοντα ιό, οπότε είναι αδύνατον ένα στέλεχος του ίδιου αντιγονικού τύπου να προκαλέσει επιδημία για 2 με 3 χρόνια. Η ανοσία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την παραγωγή εκκριτικού αντισώματος (IgA), ειδικά ενάντια στους αντιγονικούς καθοριστές των πρωτεϊνών αιμοσυγκολλητίνη και νευροαμιनिδάση.

Εξάρσεις γρίπης σημειώνονται κάθε χρόνο, από το τέλος φθινοπώρου και καθ' όλη τη διάρκεια των χειμερινών μηνών, λόγω *ενδημικής ιικής νόσου*. Η αντιγονική διολίσθηση έχει ως αποτέλεσμα μειωμένη ανοσία στον πληθυσμό και ευθύνεται για την επανεμφάνιση *επιδημιών*, σοβαρών εντοπισμένων εξάρσεων γρίπης, που εμφανίζονται με κύκλο 2 έως 3 ετών. Οι *πανδημίες*, δηλ. εξάρσεις της ασθένειας σε παγκόσμιο επίπεδο, εμφανίζονται πολύ σπανιότερα, κάθε 10 έως 40 χρόνια, και είναι αποτέλεσμα αντιγονικής μετατόπισης.

Το παγκόσμιο φαινόμενο της αποκαλούμενης ασιατικής γρίπης του 1957 έδωσε την ευκαιρία να μελετηθεί η εξέλιξη μιας πανδημίας. Η πανδημία προκλήθηκε μάλλον με την εμφάνιση ενός μεταλλαγμένου επιθετικού ιικού στελέχους που διέφερε αντιγονικά από όλα τα στελέχη που είχαν εμφανιστεί έως τότε στον πληθυσμό. Εφόσον δεν υπήρχε ανοσία στο στέλεχος αυτό, ο ιός εξαπλώθηκε γρήγορα σε ολόκληρο τον κόσμο. Αρχικά, τον Φεβρουάριο του 1957, εμφανίστηκε στο εσωτερικό της Κίνας και μέχρι τις αρχές Απριλίου είχε φθάσει στο Χονγκ Κονγκ. Από το Χονγκ Κονγκ άρχισε να εξαπλώνεται με τις αεροπορικές μεταφορές και τη ναυτιλία. Στις Ηνωμένες Πολιτείες (Καλιφόρνια) μεταφέρθηκε, μάλλον, από τα πληρώματα μιας μοίρας πολεμικών πλοίων. Τον Μάιο σημειώθηκε έξαρση κρουσμάτων στο Newport του Rhode Island μεταξύ των μελών του πληρώματος ενός πολεμικού σκάφους. Σταδιακά εμφανίστηκαν πρόσθετες εστίες μόλυνσης σε διάφορα άλλα τμήματα των ΗΠΑ. Το φαινόμενο κορυφώθηκε τις δύο τελευταίες εβδομάδες του Οκτωβρίου, οπότε σημειώθηκαν 22 εκατομμύρια νέα κρούσματα. Στην πανδημία του 1918, το υπεύθυνο στέλεχος της γρίπης Α ενδέχεται να προήλθε από την ανταλλακτική ανακατάταξη γονιδίων της γρίπης με γονίδια ενός συγγενικού ιού που πλήττει τους χοίρους (γρίπη των χοίρων). Δεν αποκλείεται και το στέλεχος της γρίπης του 1957 να προήλθε από την ανταλλακτική ανακατάταξη γονιδίων της γρίπης με γονίδια από κάποια ζωική δεξαμενή.

Οι επιδημίες γρίπης είναι δυνατόν να ελεγχθούν με ανοσοποίηση. Ωστόσο, η επιλογή των κατάλληλων εμβολίων είναι μια ιδιαίτερα δύσκολη και περίπλοκη διαδικασία, λόγω του μεγάλου αριθμού των στελεχών και της αμείωτης ικανότητας των στελεχών αυτών να υπόκεινται σε αντιγονική διολίσθηση ή αντιγονική μετατόπιση. Όταν εμφανίζονται νέα στελέχη, τα αντίστοιχα εμβόλια δεν είναι αμέσως διαθέσιμα, αλλά χάρη στην προσεκτική επιτήρηση σε παγκόσμιο επίπεδο, δείγματα των κύριων αναδυόμενων στελεχών του ιού της γρίπης συλλέγονται συνήθως πριν ξεσπάσει επιδημία. Στις Ηνωμένες Πολιτείες αναμείχθηκαν παρασκευάσματα απενεργοποιημένων ιών από τρία υποψήφια στελέχη για την παρασκευή ενός πολυδύναμου εμβολίου που χρησιμοποιείται συχνά για ανοσοποίηση πριν από την επόμενη περίοδο έξαρσης της γρίπης, η οποία συνήθως ξεκινά στα τέλη φθινοπώρου και συνεχίζεται καθ' όλη τη διάρκεια του χειμώνα. Η ανοσοποίηση κατά της γρίπης συνιστάται στα άτομα που είναι πιθανότερο να υποκύψουν στη νόσο ή να κινδυνεύσουν από σοβαρές δευτερογενείς ασθένειες, όπως είναι οι ηλικιωμένοι (άνω των 65 ετών), όσοι πάσχουν από χρόνιες ασθένειες που φέρνουν απώλεια δυνάμεων (π.χ. ασθενείς με AIDS), αλλά και άτομα που εργάζονται στον τομέα της υγείας. Η αποτελεσματική τεχνητή ανοσία που προσφέρει το εμβόλιο απενεργοποιημένων ιών γρίπης διαρκεί συνήθως λίγα μόνο χρόνια και είναι, βεβαίως,

στελεχοειδική. Για τον λόγο αυτό, τα παρασκευάσματα ανοσοποίησης ενημερώνονται σε ετήσια βάση.

Η γρίπη είναι επίσης δυνατόν να ελεγχθεί με τη χρήση των χημικών ουσιών *αμανταδίνη* και *ραμανταδίνη*. Αυτά τα φάρμακα, τα οποία αναστέλλουν την αντιγραφή του ιού, έχουν χρησιμοποιηθεί ως παράγοντες χημειοπροφύλαξης για την πρόληψη της εξάπλωσης της γρίπης σε άτομα υψηλού κινδύνου. Χρησιμοποιούνται επίσης για τη θεραπεία ασθενών με γρίπη, επειδή περιορίζουν τη διάρκεια και την ένταση της λοίμωξης. Η αντιμετώπιση της γρίπης με ασπιρίνη δεν συνιστάται, διότι υπάρχουν ενδείξεις ότι η χρήση ασπιρίνης στη γρίπη συνδέεται με το σύνδρομο Reye, μια σπάνια αλλά ενίοτε θανατηφόρα ασθένεια του κεντρικού νευρικού συστήματος, που εμφανίζεται στα παιδιά [1].

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Michael T. Madigan, John M. Martinko, Jack Parker, 2005 για την ελληνική γλώσσα, *Βιολογία των Μικροοργανισμών*, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης
- [2] Εικόνα 3.1 [online] Διαθέσιμο από: <http://www.meditacia.sk/image/anatomia/d1.jpg> [προσβάσιμο στις 5 Μαΐου 2010]
- [3] The BioMedLabs Magazine [online] Διαθέσιμο από: <http://www.bmlabs-mag.gr/?p=1364> [προσβάσιμο στις 8 Μαΐου 2010]
- [4] Microbiology/Μικροβιολογία. Παναγιώτης Σκαρλάτος [online] Διαθέσιμο από: <http://skarlatospanagiotis.blogspot.com/2011/01/enterococcus-faecalis.html> [προσβάσιμο στις 9 Μαΐου 2011]
- [5] Todar's Online Textbook of Bacteriology. Streptococcus pneumoniae [online] Διαθέσιμο από: <http://www.textbookofbacteriology.net/S.pneumoniae.html> [προσβάσιμο στις 9 Μαΐου 2010]
- [6] Hansaplast. Φυσιολογία του δέρματος [online] Διαθέσιμο από: <http://www.hansaplast.gr/med-info/wound-care-beautiful-healing/physiology-of-skin.html> [προσβάσιμο στις 15 Μαΐου 2010]
- [7] UBC Bacterial Adaptation & Response Networks [online] Διαθέσιμο από: <http://barn.lsi.ubc.ca/2011/01/12/fernandez-lab/> [προσβάσιμο στις 6 Ιουνίου 2011]
- [8] Microbe Wiki. Neisseria meningitidis. [online] Διαθέσιμο από: http://microbewiki.kenyon.edu/index.php/Neisseria_meningitidis [προσβάσιμο στις 15 Ιουλίου 2010]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΑΝΤΙΒΙΟΤΙΚΑ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μετά την καθιέρωση της σχέσης των μικροοργανισμών με την έννοια της ασθένειας-λοιμώξεως, οι Μικροβιολόγοι εστίασαν την προσοχή τους στην έρευνα ουσιών που θα μπορούσαν να καταστρέψουν τους παθογόνους μικροοργανισμούς χωρίς να προκαλέσουν βλάβη στον μολυσμένο ξενιστή. Η θεραπεία των λοιμώξεων με τη χρήση χημικών ουσιών καλείται **χημειοθεραπεία**. (Ο όρος επίσης χρησιμοποιείται και για τη θεραπεία ασθενειών μη λοιμώδους αιτιολογίας, όπως ο καρκίνος). Οι χημειοθεραπευτικοί παράγοντες που παρασκευάζονται από χημικά συστατικά στο εργαστήριο ονομάζονται **συνθετικά φάρμακα**. Οι παράγοντες που παράγονται με φυσικό τρόπο από βακτήρια και μύκητες και που δρουν έναντι άλλων μικροοργανισμών ονομάζονται **αντιβιοτικά**. Η επιτυχία της χημειοθεραπείας καθορίζεται από το γεγονός ότι ορισμένα από τα φάρμακα αυτά είναι περισσότερο καταστροφικά για τους μικροοργανισμούς, απ' ό,τι για τους ξενιστές που μολύνουν αυτά τα μικρόβια.

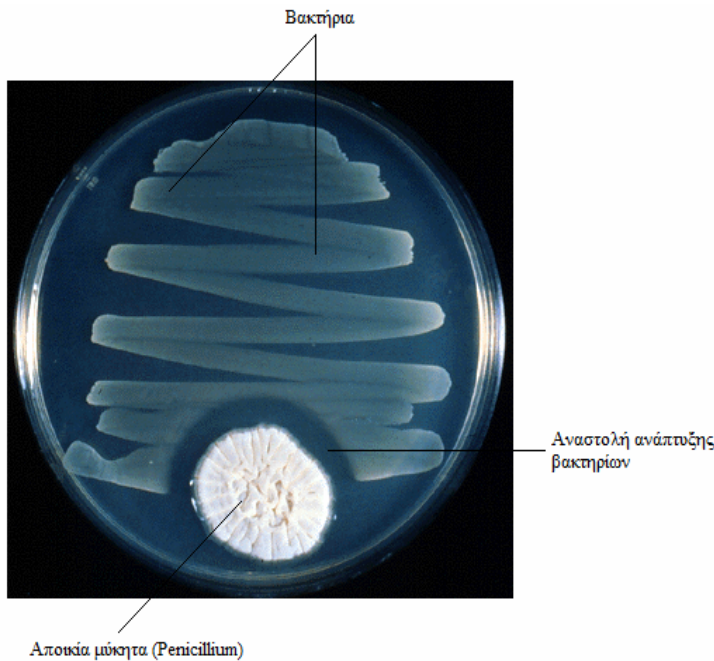
Τα πρώτα συνθετικά φάρμακα

Ένας Γερμανός ιατρός, ο Paul Ehrlich, ήταν ο πρώτος που φαντάστηκε την ιδέα της εξέλιξης της χημειοθεραπείας. Ως φοιτητής, ο Ehrlich φαντάστηκε μια «μαγική σφαίρα» που θα μπορούσε να εντοπίσει και να καταστρέψει ένα παθογόνο μικρόβιο χωρίς να επηρεάσει καθόλου τα κύτταρα του ξενιστή. Έτσι λοιπόν ξεκίνησε μια προσπάθεια για να μπορέσει να βρει έναν τέτοιο παράγοντα. Το 1910, και μετά από έλεγχο εκατοντάδων ουσιών, ανακάλυψε έναν παράγοντα, το salvarsan, μια ουσία παράγωγο του αρσενικού, που ήταν δραστική έναντι της σύφιλης. Η ονομασία προέκυψε από το συνθετικό saln (από το salvation=σωτηρία από τη σύφιλη) και το συνθετικό arsan (από το arsenic=αρσενικό). Πριν από την ανακάλυψη αυτή, το μόνο χημικό που ήταν γνωστό στην Ευρώπη για την αντιμικροβιακή του δράση ήταν το κινίνο, μια ουσία που εκχυλιζόταν από φλοιούς δέντρων στη Νότιο Αμερική, και που χρησιμοποιήθηκε από τους Ισπανούς κατακτητές για τη θεραπεία της ελονοσίας.

Στα τέλη της δεκαετίας του 1930, οι ερευνητές είχαν αναπτύξει αρκετά ακόμα συνθετικά φάρμακα με αντιμικροβιακή δράση. Τα περισσότερα εξ αυτών ήταν παράγωγα χρωστικών, που χρησιμοποιούνταν στη βιομηχανία υφασμάτων. Επίσης την εποχή εκείνη συντέθηκαν για πρώτη φορά οι σουλφοναμίδες.

Ένα τυχερό ατύχημα – Αντιβιοτικά

Σε αντίθεση με τις σουλφοναμίδες, που προέκυψαν από μια σειρά βιομηχανικών χημικών διαδικασιών, το πρώτο αντιβιοτικό φάρμακο προέκυψε από κάποιο ατύχημα. Ο Αλέξανδρος Φλέμιγκ, ένας Σκωτσέζος ιατρός και βακτηριολόγος, απέρριψε ως κατεστραμμένα μια σειρά τρυβλίων με καλλιέργειες βακτηρίων που είχαν επιμολυνθεί από κάποιο μύκητα. Ευτυχώς με μια δεύτερη ματιά παρατήρησε ένα περίεργο φαινόμενο στην ανάπτυξη των μικροβίων γύρω από τις αποικίες του μύκητα. Υπήρχε μια περιοχή όπου διακοπτόταν (αναστέλλονταν) η ανάπτυξη του βακτηρίου (εικόνα 4.1). Ο Φλέμιγκ ουσιαστικά είχε ανακαλύψει έναν μύκητα που μπορούσε να αναστείλει την ανάπτυξη βακτηρίων. Ο μύκητας αυτός αργότερα ταυτοποιήθηκε στο είδος *Penicillium chrysogenum* και το 1928 ο Φλέμιγκ ονόμασε την ουσία φαρμακευτική πενικιλίνη. Η τεράστια χρησιμότητα της πενικιλίνης εμφανίζεται το 1940, οπότε και δοκιμάζεται κλινικά και παράγεται σε μαζική κλίμακα.



Εικόνα 4.1 Το αντιβιοτικό που παράγει ο μύκητας *Penicillium* κατά την ανάπτυξή του, αναστέλλει την ανάπτυξη βακτηρίων [2].

φυσιολογικές διεργασίες των κυττάρων έτσι ώστε οι ιοί να μην μπορούν να τις χρησιμοποιήσουν για λογαριασμό τους. Έτσι μέχρι σήμερα πολύ λίγα αντικά φάρμακα είναι πραγματικά ασφαλή στη χρήση.

Ένα άλλο σημαντικό πρόβλημα που σχετίζεται με τα αντιμικροβιακά φάρμακα είναι η εμφάνιση και η διασπορά νέων ποικιλιών μικροοργανισμών που αντιστέκονται στη δράση των αντιβιοτικών. Με τα χρόνια, όλο και περισσότερα μικρόβια αναπτύσσουν αντοχή στα αντιβιοτικά που κάποτε ήταν πολύ αποτελεσματικά εναντίον τους. Η αντοχή αυτή αναπτύσσεται από τη συσσώρευση γενετικών αλλαγών στο γονιδίωμα των μικροβίων, που τους επιτρέπει να ανέχονται πολύ καλύτερα συγκεκριμένες ποσότητες αντιβιοτικού από ότι στο παρελθόν. Οι γενετικές αυτές αλλαγές μπορεί να οδηγούν είτε σε παραγωγή ενζύμων από το μικρόβιο που διασπά το αντιβιοτικό, είτε σε αλλαγή της επιφάνειας του μικροβίου που αποτρέπει τη δέσμευση και την είσοδο του αντιβιοτικού στο κυτταρόπλασμα.

Η πρόσφατη εμφάνιση στελεχών *Staphylococcus aureus* και *Enterococcus faecalis* ανθεκτικών στην βανκομυκίνη έχει προκαλέσει ανησυχία στον ιατρικό κόσμο, καθώς αυτοί οι μέχρι πρότινος εύκολα αντιμετωπίσιμοι μικροοργανισμοί αρχίζουν να γίνονται ανθεκτικοί στα φάρμακα που διαθέτουμε για την αντιμετώπισή τους [1].

4.2 ΕΞΑΠΛΩΣΗ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΣΤΑ ΑΝΤΙΜΙΚΡΟΒΙΑΚΑ ΦΑΡΜΑΚΑ

Η εκτεταμένη, αλλά και ανορθολογική, χρήση αντιμικροβιακών φαρμάκων έχει οδηγήσει στην ταχύτατη εμφάνιση στελεχών νοσογόνων μικροοργανισμών με εξειδικευμένη αντιβιοτική ανθεκτικότητα. Η ανακάλυψη και κλινική χρήση πολλών γνωστών αντιβιοτικών ουσιών συνοδεύτηκε από την εμφάνιση βακτηρίων που ανθίστανται στη δράση τους. Υπάρχουν πάρα πολλές περιπτώσεις υπερβάλλουσας χρήσης κάποιου αντιβιοτικού, την οποία ακολούθησε η ανάπτυξη αντοχής σε αυτό.

Το φάρμακο που συνταγογραφείται για την αντιμετώπιση δεδομένης λοίμωξης μεταβάλλεται ολοένα και συχνότερα, όσο αυξάνεται η ανθεκτικότητα του νοσογόνου μικροοργανισμού. Τυπικό παράδειγμα αποτελεί η αντοχή που έχει αναπτύξει στην πενικιλίνη η *Neisseria gonorrhoeae*, το βακτήριο που προκαλεί τη γονόρροια. Η πενικιλίνη δεν είναι

Από την ανακάλυψη των πρώτων αντιβιοτικών έχουν ανακαλυφθεί χιλιάδες άλλες ουσίες με αντιμικροβιακή δράση. Δυστυχώς όμως όλα τα αντιμικροβιακά χημειοθεραπευτικά φάρμακα δεν στερούνται προβλημάτων. Πολλά από αυτά είναι αρκετά τοξικά για να χρησιμοποιηθούν στον άνθρωπο. Για λόγους που θα αναπτυχθούν αργότερα, ιδιαίτερα τα αντικά φάρμακα εμφανίζουν υψηλή τοξικότητα και για αυτό το λόγο παραμένει προβληματική η εξέλιξή τους για την αντιμετώπιση ανθρώπινων ιογενών λοιμώξεων. Η υψηλή αυτή τοξικότητα έγκειται στο γεγονός ότι για να αντιμετωπιστεί μια ιογενής λοίμωξη θα πρέπει να κατασταλούν

πλέον πρακτικά χρήσιμη στη θεραπεία της συγκεκριμένης ασθένειας, διότι μεγάλο ποσοστό των υπεύθυνων βακτηρίων που απομονώνονται σε κλινικά δείγματα παράγουν β-λακταμάσες⁸, και κατά συνέπεια εμφανίζουν ανθεκτικότητα στο συγκεκριμένο φάρμακο. Σχεδόν όλα τα ανθεκτικά στελέχη έκαναν την εμφάνισή τους μετά το 1980. Στις μέρες μας, το φάρμακο πρώτης επιλογής για τη γονόρροια είναι η κεφτριαξόνη, αν και κάθε χρόνο προτείνονται νέοι θεραπευτικοί συνδυασμοί, με μοναδικό στόχο να περιοριστούν οι επιπτώσεις από την ταχεία εμφάνιση ανθεκτικών γονιδίων.

Έρευνες σε παγκόσμια κλίμακα υποδεικνύουν ότι η χρήση αντιβιοτικών σε κλινικό επίπεδο είναι πολύ συχνότερη απ' ό,τι χρειάζεται. Από τα διαθέσιμα δεδομένα προκύπτει ότι αντιβιοτική θεραπεία δικαιολογείται μόνο για το 20% των ασθενών με λοιμώδη νοσήματα. Ωστόσο, αντιβιοτικά συνταγογραφούνται για το 80% των περιπτώσεων. Επιπλέον, στο 50% των περιστατικών δεν είναι σωστή ούτε η συνιστώμενη δόση ούτε η διάρκεια της θεραπείας. Την όλη κατάσταση περιπλέκει η αυθαιρεσία των ασθενών. Πολλοί διακόπτουν τη φαρμακευτική αγωγή, ιδιαίτερα την αντιβιοτική, μόλις αρχίσουν να «νοιώθουν καλύτερα». Επί παραδείγματι, η εμφάνιση στελεχών φυματίωσης ανθεκτικών στο ισονιαζίδιο συσχετίζεται στατιστικά με την ασυνέπεια των ασθενών στη λήψη ισονιαζιδίου επί έξι έως εννιά μήνες, όπως συνιστάται και συνταγογραφείται. Με λίγα λόγια, οι επιθετικοί παθογόνοι μικροοργανισμοί εκτίθενται πολύ συχνά σε ανεπαρκείς δόσεις της αντιβιοτικής ουσίας ή σε ανεπαρκούς διάρκειας αντιβιοτική θεραπεία, κάτι που ευνοεί την εξελικτική εμφάνιση ανθεκτικών στελεχών. Το γεγονός ότι όλοι σχεδόν οι παθογόνοι μικροοργανισμοί ανέπτυξαν αντοχή σε ορισμένους τουλάχιστον χημειοθεραπευτικούς παράγοντες, μετά το 1950 (οπότε άρχισε να εφαρμόζεται ευρέως η αντιμικροβιακή χημειοθεραπεία), οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στις εσφαλμένες εκτιμήσεις και ενέργειες που προαναφέρθηκαν όσον αφορά τη χορήγηση και παρακολούθηση κάθε αντιβιοτικής θεραπείας. Η πενικιλίνη και τα σουλφοναμιδικά φάρμακα, οι πρώτοι χημειοθεραπευτικοί παράγοντες ευρείας χρήσης, χρησιμοποιούνται πολύ λιγότερο σήμερα, επειδή πολλοί παθογόνοι μικροοργανισμοί έχουν αποκτήσει αντοχή σε αυτά. Ακόμη και οι οργανισμοί που εξακολουθούν να είναι ευαίσθητοι στην πενικιλίνη, όπως ο *Streptococcus pyogenes* (το βακτήριο που προκαλεί φαρυγγίτιδα, οστρακιά και ρευματοειδή πυρετό), σήμερα απαιτούν σημαντικά μεγαλύτερη ποσότητα πενικιλίνης για τη θεραπεία τους απ' ό,τι πριν μία μόλις δεκαετία.

Υπάρχουν και άλλες χρήσεις των αντιβιοτικών, αναίτια γενικευμένες ή ουσιαστικά άχρηστες, οι οποίες συμβάλουν στην εμφάνιση ανθεκτικών στελεχών. Φερ' ειπείν, τα αντιβιοτικά χρησιμοποιούνται στην κτηνοτροφία τόσο ως αυξητικοί παράγοντες στις ζωικές τροφές όσο και για προληπτικούς λόγους (για την πρόληψη εμφάνισης ασθενειών παρά για τη θεραπεία τους). Μερικές πρόσφατες εξάρσεις τροφικών λοιμώξεων έχουν αποδοθεί στη χρήση αντιβιοτικών στις ζωικές τροφές.

Η προσθήκη χαμηλών ποσοτήτων αντιβιοτικών στις ζωικές τροφές επιταχύνει την ανάπτυξη των ζώων περιορίζοντας το διάστημα που απαιτείται για να φτάσει το ζώο σε εμπορεύσιμο μέγεθος. Επί παραδείγματι, προσθήκη 25 mg πενικιλίνης ανά κιλό τροφής στα πτηνοτροφεία, εξοικονομεί συνολικά περί τα 900 εκατομμύρια κιλά τροφής ετησίως, λόγω της ταχύτερης πρόσληψης βάρους και της αυξημένης διατροφικής αποτελεσματικότητας. Η αυξητική επίδραση των αντιβιοτικών πιθανώς οφείλεται στο γεγονός ότι αναστέλλουν τις ήπιες μολύνσεις και μειώνουν τις επακόλουθες φλεγμονές του εντερικού επιθηλίου, επιτρέποντας έτσι υψηλότερα ποσοστά πρόσληψης των θρεπτικών ουσιών. Μελέτες που έχουν γίνει σε ζώα τα οποία διαβιούν σε συνθήκες αποστείρωσης επιβεβαιώνουν αυτή την υπόθεση. Η προσθήκη αντιβιοτικών στην τροφή των ζώων αυτών δεν επιταχύνει την ανάπτυξή τους.

⁸ Η πενικιλίνη είναι ευαίσθητη στη β-λακταμάση, ένα ένζυμο που παράγεται από μερικά βακτήρια ανθεκτικά στην πενικιλίνη [4].

Δυστυχώς, η προσθήκη χαμηλών δόσεων αντιβιοτικών στις ζωικές τροφές οδηγεί στην εμφάνιση ανθεκτικών μικροοργανισμών, εξαιτίας της διαρκούς έκθεσης σε αντιβιοτικές ουσίες. Μοριακές μελέτες σε στελέχη σαλμονέλας που απομονώθηκαν από δείγματα πτηνοτροφείων έδειξαν ότι η αντίσταση μεταδίδεται ταχύτατα σε άλλα είδη, ακόμη και γένη, εντεροβακτηρίων. Σύμφωνα με μια άλλη μελέτη, πάνω από το 80% των στελεχών σαλμονέλας που απομονώθηκαν από συσκευασμένα κρέατα του εμπορίου ήταν ανθεκτικά σε ένα τουλάχιστον αντιβιοτικό, ενώ τα πιο ανθεκτικά στελέχη είχαν αποκτήσει τουλάχιστον τρία διαφορετικά γονίδια ανθεκτικότητας. Μελέτες σε μικροοργανισμούς που απομονώθηκαν από εργάτες ζωοτροφείων έδειξαν ότι πολλά στελέχη παθογόνα για τον άνθρωπο είχαν αποκτήσει αντοχή στα αντιμικροβιακά φάρμακα που χρησιμοποιούνταν στις ζωικές τροφές. Επομένως, η χρήση αντιβιοτικών ουσιών στις ζωικές τροφές διευρύνει το πλήθος των ανθεκτικών μικροοργανισμών (ως προς τα συγκεκριμένα αντιβιοτικά) που μπορούν να μολύνουν τον άνθρωπο.

Σύμφωνα με μια άλλη μελέτη, ορισμένα στελέχη του *Enterococcus faecacium*, το οποίο είναι ήδη ανθεκτικό στα περισσότερα αντιβιοτικά, απέκτησαν αντοχή στο Synercid (ένα σχετικά πρόσφατο φάρμακο που χρησιμοποιείται επιλεκτικά στη θεραπεία ανθεκτικών μολύνσεων) σε χρονικό διάστημα μόλις δύο ετών από την έγκρισή του από τον Ομοσπονδιακό Οργανισμό Φαρμάκων των ΗΠΑ. Οι ερευνητές εικάζουν ότι τα ανθεκτικά στελέχη προέκυψαν από ενσταβλισμένα ζώα, στα οποία χορηγούνταν κάποιο ανάλογο του Synercid τα τελευταία εικοσιπέντε χρόνια!

Δυστυχώς, μακροχρόνιες μελέτες σε ζώα που αρχικά κατανάλωναν τροφή με αντιβιοτικά και κατόπιν τροφή χωρίς αντιβιοτικά έδειξαν ότι τα ανθεκτικά βακτήρια δεν αποβάλλονται γρήγορα από το έντερο του ζώου. Τα γονίδια ανθεκτικότητας γρήγορα ενσωματώνονται σε σταθερά πλασμίδια ή χρωμοσώματα στη χλωρίδα του εντέρου και, απουσία δυνάμεων που να αντιτίθενται στη συγκεκριμένη διαδικασία επιλογής, θα παραμείνουν εκεί για κάποιο χρονικό διάστημα ακόμη κι αν σταματήσει η προσθήκη αντιβιοτικών στην τροφή. Η μη ιατρική χρήση των αντιβιοτικών επιβεβαίωσε, επομένως, ένα απλό μάθημα μικροβιακής οικολογίας, δηλαδή ότι το περιβάλλον επιλέγει τα είδη με τη βέλτιστη προσαρμοστικότητα. Με την ελπίδα, λοιπόν, να περιοριστεί η εξάπλωση της ανθεκτικότητας στα αντιβιοτικά, ορισμένες ευρωπαϊκές χώρες έχουν απαγορεύσει την προσθήκη στις ζωικές τροφές αντιβιοτικών ουσιών που χρησιμοποιούνται στον άνθρωπο. Επίσης, η Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας έχει υιοθετήσει μια σειρά από οδηγίες με τις οποίες αποθαρρύνεται η χρήση αντιβιοτικών στις ζωικές τροφές. Στις ΗΠΑ, αντίθετα, βοοτροφεία, πτηνοτροφεία και χοιροτροφεία εξακολουθούν να καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες αντιβιοτικών.

Η συσσώρευση αντιβιοτικών ουσιών σε ορισμένα τμήματα του περιβάλλοντος είναι πολύ πιθανό να οδηγεί στην ταχεία εμφάνιση φαρμακευτικής αντοχής. Περίπου 90% των χορηγούμενων αντιβιοτικών μπορούν να απεκκριθούν χωρίς να υποστούν μεταβολισμό και λόγω ατελέσφορης επεξεργασίας απομάκρυνσης ή ακατάλληλης διάθεσης αυτά μπορούν να καταλήξουν στο υδρόβιο περιβάλλον μέσω υγρών αποβλήτων και γεωργικών απορροών. Η μόλυνση των υδρόβιων συστημάτων από τα αντιβιοτικά θα μπορούσε να διαταράξει τη μικροβιακή οικολογία, να αυξήσει τον πολλαπλασιασμό των ανθεκτικών στα αντιβιοτικά παθογόνων, που θα μπορούσαν να αποτελέσουν απειλή για την ανθρώπινη υγεία. Η παρουσία αντιβιοτικών στο υδρόβιο περιβάλλον παρουσιάζει επίσης προκλήσεις για τη βιομηχανία ύδατος ιδιαίτερα στα ζητήματα της επαναχρησιμοποίησης ύδατος και του προγραμματισμού των υδάτινων πόρων. Αποτελέσματα πρόσφατων μελετών δείχνουν την παρουσία χαμηλών συγκεντρώσεων αντιβιοτικών στα αστικά απόβλητα και στα επιφανειακά ύδατα αλλά λίγα είναι πράγματι γνωστά για την κατανομή τους στο περιβάλλον, την κινητικότητα και την ανθεκτικότητά τους στα φυσικά και τεχνητά συστήματα ύδατος. Αν και οι πληροφορίες είναι περιορισμένες, μελέτες στον μετασχηματισμό και την προσρόφηση των αντιβιοτικών δείχνουν ότι αυτές οι διαδικασίες έχουν σημαντικές επιπτώσεις στο γίνεσθαι των

περισσότερων κατηγοριών αντιβιοτικών. Πάρα ταύτα η παρουσία αντιβιοτικών (ng/l) είναι δεδομένη για όλα τα υδατικά διαμερίσματα, χωρίς ευτυχώς να αποτελούν απειλή για την ανθρώπινη υγεία ή τους υδρόβιους οργανισμούς, τουλάχιστον προς το παρόν.

Γενικά, το πρόβλημα των ανθεκτικών στελεχών μπορεί να αντιμετωπιστεί με την κατάλληλη επιμόρφωση γιατρών και ασθενών. Η εμφάνιση ανθεκτικότητας ελαχιστοποιείται και με τη συνδυασμένη χρήση δύο διαφορετικών (από χημική άποψη) αντιβιοτικών, καθώς είναι πολύ πιθανό όσα μεταλλαγμένα στελέχη αναπτύσσουν ανθεκτικότητα στο ένα αντιβιοτικό να παραμένουν ευαίσθητα στο άλλο. Με την αυξανόμενη επικράτηση των παραγόντων R⁹, πάντως, και την πολλαπλή αντίσταση που προσδίδουν στα παθογόνα βακτήρια, η στρατηγική της θεραπείας με συνδυασμούς αντιβιοτικών αποδεικνύεται ολοένα και λιγότερο ελκυστική.

Σε ορισμένες μελέτες διατυπώνεται η άποψη πως αν η χρήση δεδομένου αντιβιοτικού σταματήσει, με την πάροδο του χρόνου αντιστρέφεται και η ανθεκτικότητα σε αυτό. Ένα τέτοιο ενδεχόμενο μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η εμφάνιση ανθεκτικότητας είναι φαινόμενο αντιστρεπτό και ότι ορισμένα αντιβιοτικά μπορεί να ανακτήσουν την αποτελεσματικότητά τους, αν αποσυρθούν για ένα διάστημα, και η μετέπειτα χρήση τους είναι συνετή και ελεγχόμενη. Τέλος, η παραγωγή νέων χημειοθεραπευτικών ουσιών δεν σταματά, αφού υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για την ανακάλυψη και τον σχεδιασμό νέων φαρμάκων [4,5].

4.3 ΦΥΣΙΚΑ ΑΝΤΙΜΙΚΡΟΒΙΑΚΑ ΦΑΡΜΑΚΑ: ΑΝΤΙΒΙΟΤΙΚΑ

Τα αντιβιοτικά είναι χημικές ουσίες που παράγονται από μικροοργανισμούς και αναστέλλουν την αύξηση ή θανατώνουν άλλους μικροοργανισμούς. Τα αντιβιοτικά διαφέρουν από τα συνθετικά φάρμακα, διότι έχουν φυσική προέλευση, δηλ. είναι προϊόντα του μεταβολισμού των μικροοργανισμών και όχι συνθετικές χημικές ουσίες. Τα αντιβιοτικά συνιστούν μια από τις σημαντικότερες κατηγορίες ουσιών που παράγονται από τους μικροοργανισμούς σε βιομηχανική βάση.

Στόχοι των αντιβιοτικών

Αν και έχει ανακαλυφθεί πολύ μεγάλος αριθμός αντιβιοτικών, λιγότερο από το 1% έχει πρακτική ιατρική αξία. Αυτό το 1% των χρήσιμων αντιβιοτικών, πάντως, έχει επιδράσει καταλυτικά στη θεραπεία των λοιμώξεων. Επιπλέον, πολλά αντιβιοτικά καθίστανται ακόμη αποτελεσματικότερα ύστερα από χημική τροποποίηση στο εργαστήριο. Οι ουσίες αυτές ονομάζονται *ημισυνθετικά αντιβιοτικά*.

Η ευαισθησία των μικροοργανισμών στα αντιβιοτικά και τους διάφορους χημειοθεραπευτικούς παράγοντες ποικίλλει. Τα θετικά κατά Gram βακτήρια είναι συνήθως πιο ευαίσθητα στα αντιβιοτικά απ' ότι τα αρνητικά κατά Gram. Αντιβιοτικά που δρουν τόσο έναντι θετικών όσο και έναντι αρνητικών κατά Gram βακτηρίων λέγονται **αντιβιοτικά ευρέος φάσματος**. Τα αντιβιοτικά ευρέος φάσματος βρίσκουν περισσότερες ιατρικές χρήσεις απ' ότι τα *αντιβιοτικά περιορισμένου φάσματος*, τα οποία δρουν έναντι μίας μόνον ομάδας μικροοργανισμών. Ωστόσο, ένα αντιβιοτικό με περιορισμένο φάσμα δράσης ενδέχεται να είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για τον έλεγχο μικροοργανισμών που δεν ανταποκρίνονται σε άλλα αντιβιοτικά. Σχετικό παράδειγμα αποτελεί η βανκομυκίνη, ένα γλυκοπεπτίδιο που δρα ως

⁹ Μια ιδιομορφία που παρουσιάζουν πολλά βακτήρια (σε σχέση με τα ευκαρυωτικά κύτταρα) είναι ότι περιέχουν δύο είδη DNA. Το ένα είδος, που αποτελεί και τη μεγαλύτερη μάζα, είναι το **χρωμοσωμικό DNA**, που περιέχει τις απαραίτητες πληροφορίες για τη ζωή του κυττάρου. Το άλλο είδος είναι το **πλασμιδιακό DNA (πλασμίδια)**, που περιέχει πληροφορίες όχι απαραίτητες αλλά χρήσιμες για την επιβίωση του βακτηρίου. Έτσι, για παράδειγμα, μερικά πλασμίδια (*πλασμίδια ανθεκτικότητας* ή *παράγοντες R*) έχουν πληροφορίες που επιτρέπουν στα βακτήρια να αναπτύσσονται παρουσία αντιβιοτικών [3,4].

βακτηριοκτόνος παράγοντας έναντι όσων θετικών κατά Gram βακτηρίων ανήκουν στα γένη *Staphylococcus*, *Bacillus* και *Clostridium*.

Τα αντιβιοτικά και οι διάφοροι άλλοι χημειοθεραπευτικοί παράγοντες ομαδοποιούνται με βάση τη χημική δομή ή τον τρόπο δράσης τους. Στα βακτήρια, σημαντικότεροι στόχοι της αντιβιοτικής δράσης είναι το κυτταρικό τοίχωμα (όπου δρα π.χ. η βανκομυκίνη), η κυτταροπλασματική μεμβράνη (όπου δρουν π.χ. οι πολυμυξίνες), οι βιοσυνθετικές διεργασίες της πρωτεϊνοσύνθεσης (όπου δρουν π.χ. τα μακρολίδια και οι τετρακυκλίνες) και η σύνθεση των νουκλεϊκών οξέων (όπου δρα π.χ. η ριφαμπίνη). Τώρα θα περιγράψουμε συνοπτικά τον μηχανισμό με τον οποίο τα διάφορα αντιβιοτικά αναστέλλουν τις διαδικασίες της πρωτεϊνοσύνθεσης και της μεταγραφής και δρουν στο κυτταρικό τοίχωμα και στην κυτταροπλασματική μεμβράνη [4].

4.3.1 ΑΝΤΙΒΙΟΤΙΚΑ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΠΡΩΤΕΪΝΟΣΥΝΘΕΣΗ

Πολλά αντιβιοτικά αναστέλλουν την πρωτεϊνοσύνθεση αλληλεπιδρώντας με τα ριβοσώματα. Αυτές οι αλληλεπιδράσεις είναι αρκετά εξειδικευμένες και πολλές αφορούν το rRNA. Μερικά από αυτά τα αντιβιοτικά έχουν κλινική χρησιμότητα, ενώ άλλα συνιστούν χρήσιμα ερευνητικά εργαλεία, διότι παρεμβαίνουν μόνο σε συγκεκριμένα στάδια της πρωτεϊνοσύνθεσης. Επί παραδείγματι, η στρεπτομυκίνη αναστέλλει την εκκίνηση της πρωτεϊνικής αλυσίδας, ενώ η πουρομυκίνη, η χλωραμφαινικόλη, το κυκλοεξιμίδιο και οι τετρακυκλίνες αναστέλλουν την επιμήκυνσή της. Ακόμη κι όταν δύο αντιβιοτικά αναστέλλουν το ίδιο στάδιο της πρωτεϊνοσύνθεσης, μπορεί να διαφέρουν σημαντικά ως προς τον τρόπο δράσης. Για παράδειγμα, η πουρομυκίνη δεσμεύεται στη θέση A του ριβοσώματος, με αποτέλεσμα η επιμηκνόμενη πολυπεπτιδική αλυσίδα να μεταφέρεται στην πουρομυκίνη αντί να μεταφέρεται στο σύμπλοκο αμινοξέος-tRNA. Στη συνέχεια, το σύμπλοκο πουρομυκίνης-πεπτιδίου απελευθερώνεται από το ριβόσωμα, τερματίζοντας πρόωρα την επιμήκυνση. Η χλωραμφαινικόλη, από την άλλη πλευρά, αναστέλλει επίσης την επιμήκυνση της πεπτιδικής αλυσίδας, αλλά αυτό οφείλεται στο ότι παρεμποδίζει τον σχηματισμό των πεπτιδικών δεσμών.

Πολλά αντιβιοτικά αναστέλλουν τη ριβοσωματική λειτουργία μόνο σε έναν ή δύο φυλογενετικούς «χώρους». Επί παραδείγματι, η χλωραμφαινικόλη και η στρεπτομυκίνη δρουν εξειδικευμένα στα ριβοσώματα των *Βακτηρίων*, ενώ το κυκλοεξιμίδιο επηρεάζει μόνο τα ριβοσώματα των *Ευκαρυωτικών Μικροοργανισμών*. Επειδή τα μιτοχόνδρια και οι χλωροπλάστες διαθέτουν ριβοσώματα προκαρυωτικού τύπου, τα αντιβιοτικά που αναστέλλουν την πρωτεϊνοσύνθεση των *Βακτηρίων* θα πρέπει να αναστέλλουν και την πρωτεϊνοσύνθεση αυτών των οργανιδίων. Σε αυτό ακριβώς το σημείο έγκειται η ιατρική αξία ορισμένων αντιβιοτικών, όπως της τετρακυκλίνης, η οποία στις συνήθεις θεραπευτικές δόσεις αφήνει ανεπηρέαστα τα ευκαρυωτικά μιτοχόνδρια [4].

4.3.2 ΑΝΤΙΒΙΟΤΙΚΑ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΠΟΛΥΜΕΡΑΣΗ ΤΟΥ RNA

Ορισμένα αντιβιοτικά αναστέλλουν εξειδικευμένα τη σύνθεση του RNA. Για παράδειγμα, οι ριφαμυκίνες και οι στρεπτοβαρικίνες αναστέλλουν τη σύνθεση του RNA επιτιθέμενες στην υπομονάδα β της RNA πολυμεράσης. Αυτά τα αντιβιοτικά δρουν εξειδικευμένα σε βακτήρια, χλωροπλάστες και μιτοχόνδρια. Η ακτινομυκίνη εισχωρεί στη μεγάλη κοιλότητα της διπλής έλικας του DNA (στις περιοχές σύνθεσης του RNA) και δεσμεύεται ισχυρότατα με τα ζεύγη θυμίνης-γουανίνης, με τελικό αποτέλεσμα να παρεμποδίζει την επιμήκυνση του RNA.

Μερικά από τα πιο χρήσιμα αντιβιοτικά επιδρούν σε συγκεκριμένα δομικά χαρακτηριστικά που απαντούν μόνο στους προκαρυωτικούς μικροοργανισμούς, όπως είναι π.χ. το κυτταρικό τοίχωμα. Παρακάτω θα εξετάσουμε ορισμένα από αυτά τα αντιβιοτικά και τις θέσεις δράσης τους [4].

4.3.3 ANTIBIOTIKA β-λακτάμης: ΠΕΝΙΚΙΛΛΙΝΕΣ & ΚΕΦΑΛΟΣΠΟΡΙΝΕΣ

Μια από τις σημαντικότερες ομάδες αντιβιοτικών, τόσο από ιστορική όσο και από ιατρική άποψη, είναι η ομάδα της β-λακτάμης. Στα αντιβιοτικά της β-λακτάμης ανήκουν οι πενικιλίνες, οι κεφαλοσπορίνες και οι σεφαμυκίνες, που είναι όλες αντιβιοτικά χρήσιμα στην ιατρική. Κοινό χαρακτηριστικό στη δομή όλων αυτών των αντιβιοτικών είναι η παρουσία ενός δακτυλίου β-λακτάμης. Οι πενικιλίνες και οι κεφαλοσπορίνες συνιστούν πάνω από το 50% του συνόλου των αντιβιοτικών που παράγονται και χρησιμοποιούνται παγκοσμίως. Η πενικιλίνη παράγεται από τον μύκητα *Penicillium chrysogenum*, ενώ η κεφαλοσπορίνη από ορισμένα είδη του μύκητα *Cephalosporium*.

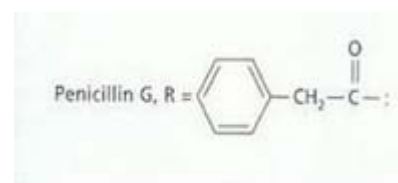
Είδη πενικιλίνης

Το πρώτο αντιβιοτικό β-λακτάμης που ανακαλύφθηκε είναι η πενικιλίνη G (εικόνα 4.2), η οποία δρα κυρίως κατά των θετικών κατά Gram βακτηρίων. Η δράση της περιορίζεται στα βακτήρια αυτά, αφού η συγκεκριμένη αντιβιοτική ουσία δεν μπορεί να εισχωρήσει σε βακτήρια αρνητικά κατά Gram. Ωστόσο, παρασκευάζονται διαρκώς ημισυνθετικές πενικιλίνες, πολλές από τις οποίες είναι αρκετά αποτελεσματικές και έναντι των αρνητικών κατά Gram βακτηρίων.

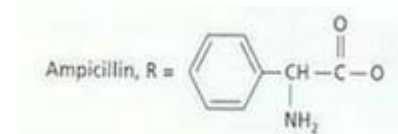
Οι εικόνες 4.3 και 4.4 παρουσιάζουν την περίπλοκη δομή που έχουν ορισμένες από τις πενικιλίνες αυτές. Αν τροποποιηθεί η βασική δομή της πενικιλίνης G, τότε μεταβάλλονται σημαντικά οι ιδιότητες του παραγόμενου αντιβιοτικού. Για παράδειγμα, η αμπικιλίνη και η καρβενικιλίνη είναι ημισυνθετικές πενικιλίνες με διευρυμένο φάσμα αντιβιοτικής δραστηριότητας, το οποίο περιλαμβάνει και ορισμένα αρνητικά κατά Gram βακτήρια. Οι δομικές διαφορές στις N-ακυλομάδες επιτρέπουν σε αυτές τις ημισυνθετικές πενικιλίνες να διαπερνούν την εξωτερική μεμβράνη των αρνητικών κατά Gram βακτηρίων και να αναστέλλουν τη σύνθεση του κυτταρικού τοιχώματος.

Μηχανισμοί δράσης

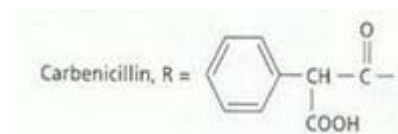
Τα αντιβιοτικά β-λακτάμης είναι ισχυροί αναστολείς της σύνθεσης του κυτταρικού τοιχώματος. Σημαντικό βήμα στη διαδικασία σύνθεσης του κυτταρικού τοιχώματος είναι η αντίδραση της τρανσπεπτιδύωσης, με την οποία συνδέονται σταυροειδώς πεπτιδικές αλυσίδες δύο γειτονικών πολυμερών γλυκάνης. Τα ένζυμα που διεκπεραιώνουν το έργο αυτό, οι τρανσπεπτιδάσες, έχουν ταυτοχρόνως την ικανότητα να συνδέονται με τον δακτύλιο της β-λακτάμης της πενικιλίνης και των άλλων αντιβιοτικών. Για τον λόγο αυτό, τα συγκεκριμένα ένζυμα είναι γνωστά και ως πρωτεΐνες δέσμησης πενικιλίνης (penicillin binding proteins, PBP). Η ισχυρότατη δέσμηση της πενικιλίνης στις PBP στερεί τις τελευταίες από την ικανότητά τους να καταλύουν την αντίδραση της τρανσπεπτιδύωσης. Έτσι, αν και εξακολουθεί να δομείται κυτταρικό τοίχωμα, ο επιμηκυνόμενος σκελετός της



Εικόνα 4.2 Συντακτικός τύπος της φυσικής πενικιλίνης (βενζυλοπενικιλίνη ή πενικιλίνη G). Δραστική έναντι θετικών κατά Gram βακτηρίων, ευαίσθητη στη β-λακταμάση [4,6].



Εικόνα 4.3 Αμπικιλίνη. Διευρυμένο φάσμα δράσης (κυρίως έναντι αρνητικών κατά Gram βακτηρίων), σταθερή στα οξέα, ανθεκτική στη β-λακταμάση [4,6].



Εικόνα 4.4 Καρβενικιλίνη. Διευρυμένο φάσμα δράσης (κυρίως έναντι του *Pseudomonas aeruginosa*), σταθερή στα οξέα αλλά αναποτελεσματική σε στοματική λήψη, ευαίσθητη στη β-λακταμάση [4,6].

πεπτιδογλυκάνης προοδευτικά αδυνατίζει, αφού δεν σχηματίζονται πλέον εγκάρσιες συζεύξεις. Επιπλέον, το σύμπλοκο αντιβιοτικού-PBP διεγείρει την απελευθέρωση αυτολυσινών, που διασπών το ήδη υπάρχον κυτταρικό τοίχωμα. Το αποτέλεσμα είναι ένα αποδυναμωμένο κυτταρικό τοίχωμα που τελικά αποικοδομείται. Υπό κανονικές συνθήκες, η λύση του κυττάρου επέρχεται από τη διαφορά οσμωτικής πίεσης μεταξύ ενδοκυττάρου και εξωκυττάρου χώρου. Σε αντιδιαστολή, η βανκομυκίνη (ένα γλυκοπεπτίδιο), δεν δεσμεύεται στις PBP αλλά δρα απευθείας στο ακραίο πεπτίδιο D-αλανυλ- D-αλανίνης των πρόδρομων συστατικών της πεπτιδογλυκάνης, αναστέλλοντας με τον τρόπο αυτό την αντίδραση της τρανσπεπτιδύωσης. Επειδή η ύπαρξη κυτταρικού τοιχώματος και οι διαδικασίες σύνθεσής του χαρακτηρίζουν αποκλειστικά τα βακτήρια, τα αντιβιοτικά β-λακτάμης εμφανίζουν υψηλή εξειδίκευση έναντι των βακτηρίων και δεν είναι τοξικά για τον ξενιστή. Ωστόσο, εξαιτίας της περίπλοκης δομής τους, ορισμένοι ασθενείς αναπτύσσουν σοβαρές αλλεργικές αντιδράσεις σε συγκεκριμένες ενώσεις της β-λακτάμης, ύστερα από επαναλαμβανόμενες θεραπείες με αντιβιοτικά. Ενίοτε, αυτές οι αλλεργικές αντιδράσεις μπορεί να θέσουν σε κίνδυνο ακόμη και τη ζωή του ασθενούς.

Κεφαλοσπορίνες

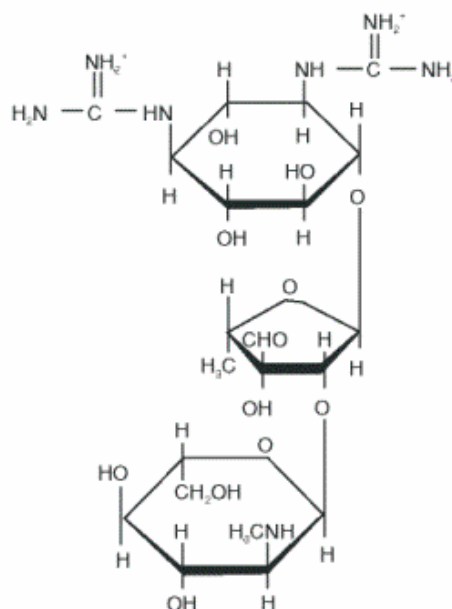
Οι κεφαλοσπορίνες είναι άλλη μια ομάδα κλινικά σημαντικών αντιβιοτικών που περιέχουν τον δακτύλιο της β-λακτάμης. Είναι δομικά διαφορετικές από τις πενικιλίνες διότι διαθέτουν εξαμελή δακτύλιο διυδροθειαζίνης αντί του πενταμελούς δακτυλίου θειαζολιδίνης. Οι κεφαλοσπορίνες έχουν τον ίδιο μηχανισμό δράσης με τις πενικιλίνες, δηλ. δεσμεύονται μη αντιστρεπτά στις PBP, παρεμποδίζοντας τον σχηματισμό των εγκάρσιων δεσμών μεταξύ γειτονικών αλυσίδων στην πεπτιδογλυκάνη. Οι κλινικά σημαντικές κεφαλοσπορίνες είναι ημισυνθετικά αντιβιοτικά που έχουν κατά κανόνα ευρύτερο φάσμα δράσης από τις πενικιλίνες, ενώ συχνά είναι και πιο ανθεκτικές στη δράση των β-λακταμασών, των ενζύμων δηλαδή που καταστρέφουν τον δακτύλιο της β-λακτάμης. Επί παραδείγματι, η κεφτριαξόνη, μια ευρέως διαδεδομένη κεφαλοσπορίνη, είναι ιδιαίτερα ανθεκτική στις β-λακταμάσες και για τον λόγο αυτό έχει πλέον εκτοπίσει την πενικιλίνη στη θεραπεία της *Neisseria gonorrhoeae*, δεδομένου ότι πολλά στελέχη της *N. gonorrhoeae* αναπτύσσουν β-λακταμάσες που διασπών τον δακτύλιο β-λακτάμης της πενικιλίνης [4].

4.3.4 ΑΝΤΙΒΙΟΤΙΚΑ ΑΠΟ ΠΡΟΚΑΡΥΩΤΙΚΟΥΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥΣ

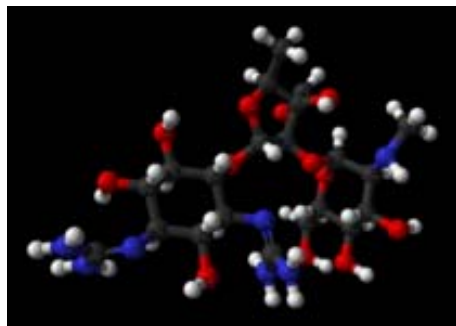
Πολλά από τα αντιβιοτικά που δρουν έναντι προκαρυωτικών κυττάρων παράγονται από προκαρυωτικούς μικροοργανισμούς. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι αμινογλυκοζίτες, τα μακρολίδια και οι τετρακυκλίνες. Εδώ θα εξετάσουμε τις γενικές τους ιδιότητες, διότι πρόκειται για μια κατηγορία αντιβιοτικών με μείζονες κλινικές εφαρμογές [4].

4.3.4.1 ΑΝΤΙΒΙΟΤΙΚΑ ΑΜΙΝΟΓΛΥΚΟΖΙΤΗ

Οι **αμινογλυκοζίτες** περιέχουν αμινοσάκχαρα που συνδέονται μεταξύ τους με γλυκοζιτικό δεσμό. Στους αμινογλυκοζίτες ανήκουν αρκετά κλινικά χρήσιμα αντιβιοτικά, μεταξύ των οποίων η στρεπτομυκίνη (εικόνα 4.5 & 4.6) και οι συγγενικές με αυτήν καναμυκίνη, γενταμικίνη και



Εικόνα 4.5 Χαρακτηριστική δομή στρεπτομυκίνης [7].



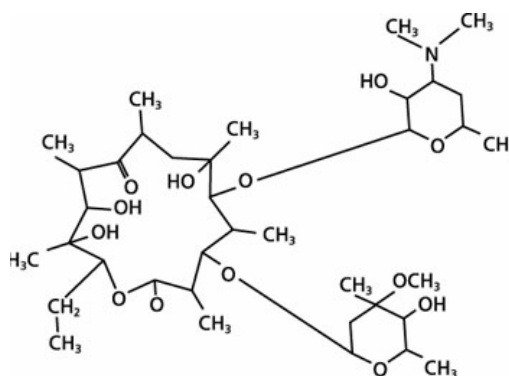
Εικόνα 4.6 Στερεοχημικός τύπος της στρεπτομυκίνης [8].

νεομυκίνη. Οι αμινογλυκοζίδες δρουν αναστέλλοντας την πρωτεϊνοσύνθεση στην υπομονάδα 30S των ριβοσωμάτων και η κλινική τους χρησιμότητα αφορά τα αρνητικά κατά Gram βακτήρια. Επίσης, η στρεπτομυκίνη έχει χρησιμοποιηθεί ευρύτατα στη θεραπεία της φυματίωσης. Από ιστορική άποψη, η χρήση της στρεπτομυκίνης στη θεραπεία της φυματίωσης αποτέλεσε μεγάλο ιατρικό επίτευγμα, δεδομένου ότι αυτό ήταν το πρώτο αντιβιοτικό με το οποίο τέθηκε υπό έλεγχο η συγκεκριμένη μεταδοτική νόσος. Σήμερα πάντως, δεν χρησιμοποιείται ευρέως κανένα αντιβιοτικό αμινογλυκοζίτη, ενώ όλα μαζί αντιστοιχούν μόλις στο

3% περίπου της παγκόσμιας παραγωγής και χρήσης αντιβιοτικών. Η στρεπτομυκίνη έχει αντικατασταθεί πλέον από συνθετικές χημικές ενώσεις, διότι προκαλεί αρκετές σοβαρές παρενέργειες και, επιπλέον, οδηγεί γρήγορα στην εμφάνιση ανθεκτικών στελεχών. Η χρήση αμινογλυκοζιτών κατά των αρνητικών κατά Gram βακτηρίων έχει μειωθεί μετά την ανάπτυξη των ημισυνθετικών πενικιλινών και των τετρακυκλινών. Οι αμινογλυκοζίδες χρησιμοποιούνται σήμερα ως εφεδρικά αντιβιοτικά στις περιπτώσεις που άλλα αντιβιοτικά αποτυγχάνουν [4].

4.3.4.2 ΑΝΤΙΒΙΟΤΙΚΑ ΜΑΚΡΟΛΙΔΙΩΝ

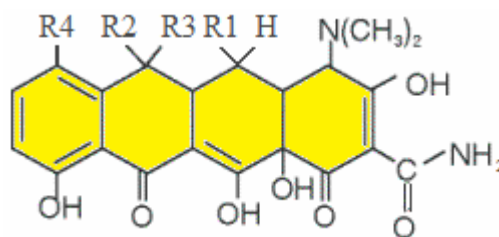
Τα **μακρολίδια** με αντιβιοτική δράση περιέχουν στο μόριό τους μεγάλους δακτυλίους λακτόνης, στους οποίους συνδέονται διάφορα τμήματα σακχάρων. Γνωρίζουμε αρκετές παραλλαγές του μακρολιδικού δακτυλίου και των συνδεδεμένων σακχάρων, άρα υπάρχει μεγάλη ποικιλία μακρολιδικών αντιβιοτικών. Το γνωστότερο μακρολιδικό αντιβιοτικό είναι η ερυθρομυκίνη (εικόνα 4.7), ενώ στην ίδια κατηγορία ανήκουν η ολεανδομυκίνη, η σπιραμυκίνη και η τυλοσίνη. Στο σύνολό τους, τα μακρολιδικά αντιβιοτικά συνιστούν το 11% περίπου της παγκόσμιας παραγωγής και χρήσης αντιβιοτικών. Η ερυθρομυκίνη δρα ως αναστολέας της πρωτεϊνοσύνθεσης επιδρώντας στην υπομονάδα 50S των ριβοσωμάτων. Η ερυθρομυκίνη χρησιμοποιείται ευρέως στην κλινική πράξη αντί της πενικιλίνης ή άλλων αντιβιοτικών β-λακτάμης, είναι δε ιδιαίτερα χρήσιμη στη θεραπεία λοιμώξεων από *Legionella pneumophila*, λόγω της ευαισθησίας του εν λόγω μικροοργανισμού στο συγκεκριμένο αντιβιοτικό [4].



Εικόνα 4.7 Δομή της ερυθρομυκίνης [9].

4.3.4.3 ΤΕΤΡΑΚΥΚΛΙΝΕΣ

Οι **τετρακυκλίνες** είναι μια σημαντική ομάδα αντιβιοτικών που χρησιμοποιούνται ευρέως στην ιατρική. Οι ουσίες αυτές ανήκουν στα πρώτα αντιβιοτικά ευρέως φάσματος με ανασταλτικές ιδιότητες για όλα σχεδόν τα θετικά και αρνητικά κατά Gram βακτήρια. Η βασική δομή της τετρακυκλίνης αποτελείται από ένα σύστημα δακτυλίων ναφθακενίου (εικόνα 4.8). Με υποκαταστάσεις σε διάφορες θέσεις της βασικής



Εικόνα 4.8 Δομή της τετρακυκλίνης [4,7].

δομής των ναφθακενικών δακτυλίων δημιουργούνται νέα ανάλογα τετρακυκλίνης. Η *χλωροτετρακυκλίνη*, επί παραδείγματι, διαθέτει ένα άτομο χλωρίου σε κάποια θέση υποκατάστασης, ενώ η *οξυτετρακυκλίνη* διαθέτει μια ομάδα υδροξυλίου (OH), αλλά όχι και χλώριο (εικόνα 4.8 & πίνακας 4.1). Και τα τρία αυτά αντιβιοτικά παράγονται μικροβιολογικά, αν και υπάρχουν επίσης ημισυνθετικές τετρακυκλίνες με συνθετικά υποκατάστατα στο σύστημα δακτυλίων του ναφθακενίου. Όπως η ερυθρομυκίνη και οι αμινογλυκοζίδες, έτσι και η τετρακυκλίνη είναι αναστολέας της πρωτεϊνοσύνθεσης και επιδρά στη λειτουργία της υπομονάδας 30S των ριβοσωμάτων.

Πίνακας 4.1 Ορισμένα σημαντικά ημισυνθετικά ανάλογα τετρακυκλίνης [4].

Ανάλογο τετρακυκλίνης	R1	R2	R3	R4
Τετρακυκλίνη	H	OH	CH ₃	H
7-Χλωροτετρακυκλίνη (χρυσομυκίνη)	H	OH	CH ₃	Cl
5-Οξυτετρακυκλίνη (τερραμυκίνη)	OH	OH	CH ₃	H

Οι τετρακυκλίνες και τα αντιβιοτικά β-λακτάμης είναι οι δύο 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 τα 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 [4].

4.3.5 ANTIMYKHTIKA ΦΑΡΜΑΚΑ

Οι μύκητες, όπως και οι ιοί, θέτουν ιδιαίτερα εμπόδια σε ό,τι αφορά την επιτυχή χημειοθεραπευτική τους αντιμετώπιση. Επειδή ανήκουν στα *Ευκάρια*, μεγάλο μέρος των κυτταρικών μηχανών τους είναι ίδιο με εκείνο των ζώων και των ανθρώπων. Επομένως, όσοι χημειοθεραπευτικοί παράγοντες επηρεάζουν τις μεταβολικές οδούς των μυκήτων, επηρεάζουν συχνά και τις αντίστοιχες οδούς των κυττάρων του ξενιστή, γεγονός που καθιστά τοξικούς τους εν λόγω παράγοντες. Για τον λόγο αυτό, πολλά αντιμυκητικά φάρμακα χρησιμοποιούνται μόνο τοπικά (επιφανειακά). Ωστόσο, υπάρχουν και φάρμακα με επιλεκτική τοξικότητα έναντι των μυκήτων. Η σημασία των αντιμυκητικών φαρμάκων ολοένα αυξάνεται, δεδομένου ότι οι μυκητιάσεις σε ανοσοκατεσταλμένα άτομα είναι ιδιαίτερα έντονες. Εδώ θα εξετάσουμε λεπτομερώς την επιλεκτική τοξικότητα ορισμένων κατηγοριών φαρμάκων με αποτελεσματική αντιμυκητική δράση.

Αναστολείς της εργοστερόλης

Δύο από τις σημαντικότερες κατηγορίες αντιμυκητικών φαρμάκων έχουν σχέση με την εργοστερόλη, είτε επιδρώντας απευθείας στο μόριό της είτε αναστέλλοντας τη σύνθεσή της. Η εργοστερόλη αποτελεί για τη μεμβράνη των περισσότερων μυκήτων ό,τι και η χοληστερόλη για την κυτταρική μεμβράνη του ανώτερου ευκαρυωτικού κυττάρου. Στην πρώτη ομάδα ανήκουν τα *πολυένια* (συμβατική αμφοτερικίνη Β, λιποσωματικά παράγωγα και λιπιδιακά συμπλέγματα αμφοτερικίνης Β, νυστατίνη), μια ομάδα αντιβιοτικών ουσιών που παράγονται

από ορισμένα είδη του γένους *Streptomyces*. Τα πολυένια δεσμεύονται στην εργοστερόλη και επηρεάζουν τη λειτουργία της μεμβράνης, αυξάνοντας τη διαπερατότητά της και οδηγώντας τελικά σε κυτταρικό θάνατο. Μια δεύτερη μεγάλη ομάδα αντιμυκητικών ενώσεων περιλαμβάνει τις *αζόλες* (φλουконаζόλη, ιτρακοναζόλη, βορικοναζόλη, κετοκοναζόλη) και τις *αλλυλαμίνες* (τερμπιναφίνη), οι οποίες αναστέλλουν επιλεκτικά τη βιοσύνθεση της εργοστερόλης και ως εκ τούτου έχουν ευρεία αντιμυκητική δράση. Οι *αζόλες* καθιστούν αδύνατη την παραγωγή φυσιολογικής μεμβράνης, καθώς προκαλούν βλάβες στη μεμβρανική δομή και αλλοιώνουν κρίσιμες μεμβρανικές λειτουργίες, όπως είναι η μεταφορά θρεπτικών ουσιών. Οι *αλλυλαμίνες* αναστέλλουν επίσης τη βιοσύνθεση της εργοστερόλης, αλλά χρησιμοποιούνται μόνο τοπικά, αφού δεν προσλαμβάνονται εύκολα από τα ζωικά κύτταρα και τους ιστούς.

Άλλοι αντιμυκητικοί παράγοντες

Υπάρχουν αρκετά άλλα αντιμυκητικά φάρμακα που αλληλεπιδρούν ειδικά με δομές και λειτουργίες των μυκήτων. Επί παραδείγματι, το κυτταρικό τοίχωμα των περισσότερων μυκήτων περιέχει *χιτίνη*, πολυμερές της *N*-ακετυλογλυκοζαμίνης που συναντάται μόνο στους μύκητες και στα έντομα. Μερικές *πολυοξίνες* αναστέλλουν τη σύνθεση του κυτταρικού τοιχώματος, εμποδίζοντας τη βιοσύνθεση της χιτίνης. Αν και οι *πολυοξίνες* χρησιμοποιούνται ως μυκητοκτόνα στη γεωργία, δεν υπάρχει αναστολέας σύνθεσης της χιτίνης που να χρησιμοποιείται κλινικά. Ορισμένες άλλες λειτουργίες που αποτελούν στόχο των αντιμυκητικών φαρμάκων είναι η σύνθεση φολικών αλάτων, η τοπολογία του DNA κατά τη διάρκεια της αντιγραφής και (στην περίπτωση της γρισεοφουλβίνης) η διακοπή της συγκέντρωσης μικροσωληνίσκων κατά τη διάρκεια της μίτωσης. Η 5-φθοροκυτοσίνη, ένα ανάλογο νουκλεϊκών οξέων, είναι αποτελεσματικός αναστολέας της σύνθεσης των νουκλεϊκών οξέων των μυκήτων. Μερικά φάρμακα με αντιική δράση βρίσκουν και άλλες βιολογικές εφαρμογές. Για παράδειγμα, η βινκριστίνη, βινβλαστίνη και η τοξόλη έχουν όχι μόνο αντιμυκητικές αλλά και αντικαρκινικές ιδιότητες.

Δυστυχώς, η χρήση αντιμυκητικών φαρμάκων έχει οδηγήσει, όπως ήταν αναμενόμενο, στην εμφάνιση ανθεκτικών πληθυσμών, καθώς και «νέων» παθογόνων μυκήτων. Επί παραδείγματι, τα είδη του γένους *Candida*, που υπό φυσιολογικές συνθήκες δεν είναι παθογόνα, σήμερα προκαλούν νοσήματα σε άτομα που παίρνουν αντιμυκητικά φάρμακα. Αυτά τα ανθεκτικά παθογόνα στελέχη της *Candida* είναι αδύνατον να αντιμετωπιστούν με κάποιον από τους υπάρχοντες αντιμυκητικούς παράγοντες.

Όσο αυξάνεται η χρήση χημειοθεραπευτικών παραγόντων, αντιβακτηριακών ή αντιμυκητικών, τόσο αυξάνεται και η πιθανότητα εμφάνισης ευκαιριακών μυκητιάσεων, αλλά και η αντίστοιχη ανάγκη για εξειδικευμένα αντιμυκητικά φάρμακα [4,10,11].

4.4 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΤΑ ΑΝΤΙΜΙΚΡΟΒΙΑΚΑ ΦΑΡΜΑΚΑ

Πολλοί κοινοί παθογόνοι μικροοργανισμοί αναπτύσσουν αντοχή στα αντιμικροβιακά φάρμακα, γεγονός που καθιστά ιδιαίτερα προβληματική τη φαρμακευτική τους αντιμετώπιση. Στην ενότητα αυτή θα εξετάσουμε μερικά από τα αίτια εμφάνισης αυτής της αντοχής.

Αντοχή, αντίσταση ή ανθεκτικότητα στα αντιμικροβιακά φάρμακα ονομάζεται η επίκτητη ικανότητα ενός οργανισμού να αντιστέκεται στην επίδραση κάποιου χημειοθεραπευτικού παράγοντα, έναντι του οποίου είναι ευπαθής υπό φυσιολογικές συνθήκες. Οι περισσότερες περιπτώσεις αντοχής οφείλονται σε *γονίδια ανθεκτικότητας* που μεταφέρονται με μηχανισμούς γενετικής ανταλλαγής. Για προφανείς λόγους αυτοάμυνας, οι οργανισμοί που παράγουν αντιβιοτικές ουσίες αναπτύσσουν μηχανισμούς εξουδετέρωσης ή καταστροφής των συγκεκριμένων ουσιών. Τα γονίδια που έχουν κωδικοποιημένους αυτούς

τους αμυντικούς μηχανισμούς μπορούν περιστασιακά να μεταφερθούν σε άλλους οργανισμούς.

Τα περισσότερα αντιβιοτικά δεν είναι δραστικά έναντι όλων ανεξαιρέτως των μικροοργανισμών. Ορισμένοι μικροοργανισμοί διαθέτουν *φυσική αντοχή* σε ορισμένα από αυτά. Ένας μικροοργανισμός μπορεί να έχει εγγενή ανθεκτικότητα σε κάποιο αντιβιοτικό για διάφορους λόγους:

- ✚ Ο μικροοργανισμός μπορεί να μη διαθέτει τη δομή που αναστέλλει το αντιβιοτικό. Επί παραδείγματι, μερικά βακτήρια (π.χ. τα μυκοπλάσματα) στερούνται του τυπικού βακτηριακού κυτταρικού τοιχώματος και, ως εκ τούτου, είναι ανθεκτικά στην πενικιλίνη.
- ✚ Ο μικροοργανισμός μπορεί να είναι αδιαπέρατος όσον αφορά το συγκεκριμένο αντιβιοτικό. Επί παραδείγματι, η πενικιλίνη G αδυνατεί να εισέλθει στο εσωτερικό των περισσότερων αρνητικών κατά Gram βακτηρίων.
- ✚ Ο μικροοργανισμός μπορεί να έχει την ικανότητα να τροποποιεί τη δομή του αντιβιοτικού, καθιστώντας το αδρανές. Πολλοί σταφυλόκοκκοι περιέχουν β-λακταμάσες, που διασπών τον δακτύλιο β-λακτάμης των περισσότερων πενικιλινών.
- ✚ Ο μικροοργανισμός ενδέχεται να τροποποιεί τον *στόχο* του αντιβιοτικού.
- ✚ Υπάρχει πιθανότητα ο μικροοργανισμός να μετατρέπει μέσω γενετικών αλλαγών τη μεταβολική οδό, την οποία αναστέλλει ο αντιμικροβιακός παράγοντας, δηλ. να δημιουργεί μια νέα, ανθεκτική βιοχημική οδό. Φερ' ειπείν, πολλά παθογόνα μικρόβια αναπτύσσουν αντοχή στα σουλφοναμιδικά φάρμακα, τα οποία αναστέλλουν την παραγωγή φολικού οξέως στα βακτήρια. Για παράδειγμα, ορισμένα ανθεκτικά βακτήρια τροποποιούν τον μεταβολισμό τους, αποκτώντας την ικανότητα να προσλαμβάνουν προσχηματισμένο φολικό οξύ από το περιβάλλον τους, άρα να μην εξαρτώνται από τη βιοχημική οδό που αναστέλλουν τα σουλφοναμίδια.
- ✚ Ο μικροοργανισμός μπορεί να είναι ικανός να ωθεί εκτός κυττάρου το αντιβιοτικό που εισέρχεται στο εσωτερικό του (εκροή).

Μηχανισμοί αντίστασης από τα πλασμίδια R

Τα *πλασμίδια ανθεκτικότητας* (*πλασμίδια R*) είναι από τις πλέον διαδεδομένες και καλύτερα μελετημένες ομάδες πλασμιδίων. Προσδίδουν ανθεκτικότητα σε αντιβιοτικά, καθώς και σε διάφορους άλλους αναστολείς της αύξησης. Τα πλασμίδια R ανακαλύφθηκαν αρχικά στην Ιαπωνία, σε στελέχη εντεροβακτηρίων που είχαν αποκτήσει ανθεκτικότητα σε πλήθος αντιβιοτικών (πολλαπλή ανθεκτικότητα), και κατόπιν εντοπίστηκαν και σε όλες τις άλλες χώρες. Η εμφάνιση βακτηρίων με ανθεκτικότητα σε ορισμένα αντιβιοτικά έχει ιδιαίτερη ιατρική σημασία, και αποδόθηκε στην αυξημένη χρήση αντιβιοτικών για τη θεραπεία μολυσματικών νόσων. Λίγο μετά την απομόνωση αυτών των ανθεκτικών στελεχών αποδείχθηκε ότι μπορούν να μεταφέρουν τις ιδιότητές τους σε ευαίσθητα στελέχη μέσω της διακυτταρικής επαφής. Η μολυσματική φύση των πλασμιδίων R επιτρέπει την ταχεία διάδοση της ανθεκτικότητας μέσω της σύζευξης βακτηρίων.

Στο εργαστήριο απομονώνονται συχνά κύτταρα καλλιιεργειών, τα οποία, ενώ αρχικά ήταν ευαίσθητα σε κάποιο αντιβιοτικό, αναπτύσσουν κατόπιν αντοχή στο αντιβιοτικό αυτό. Η αντοχή τους οφείλεται συνήθως σε μεταλλάξεις χρωμοσωματικών γονιδίων. Από την άλλη πλευρά, στα περισσότερα βακτήρια που απομονώνονται από δείγματα ασθενών και εμφανίζουν αντοχή σε κάποιο φάρμακο, τα γονίδια ανθεκτικότητας εντοπίζονται σε πλασμίδια R. Ο μηχανισμός αντίστασης των πλασμιδίων R διαφέρει από εκείνο των χρωμοσωμάτων. Όταν η αντίσταση σε κάποιο αντιβιοτικό είναι αποτέλεσμα ενεργοποίησης

χρωμοσωματικών γονιδίων, στις περισσότερες περιπτώσεις αυτό οφείλεται στην τροποποίηση του στόχου της αντιβιοτικής δράσης (π.χ. ενός ριβοσώματος).

Αντίθετα, η αντίσταση που οφείλεται στα πλασμίδια R είναι στις περισσότερες περιπτώσεις αποτέλεσμα της κωδικοποίησης νέων ενζύμων, τα οποία είτε εμποδίζουν την πρόσληψη του αντιβιοτικού είτε το εξουδετερώνουν είτε το ωθούν εκτός κυττάρου. Επί παραδείγματι, στη δομή ορισμένων γνωστών αντιβιοτικών, όπως της στρεπτομυκίνης, της νεομυκίνης, της καναμυκίνης και της σπεκτινομυκίνης, περιέχονται μονάδες αμινογλυκοζίτη. Στα μικροβιακά στελέχη των οργανισμών με πλασμίδια ανθεκτικότητας παράγονται ένζυμα που τροποποιούν χημικά (με φωσφορυλίωση, ακετυλίωση ή αδενοσυλίωση) τα προαναφερθέντα αντιβιοτικά, τα οποία μετά την τροποποίηση χάνουν την αντιβιοτική τους δραστηριότητα. Στην περίπτωση των πενικιλινών, η αντίσταση που απορρέει από το πλασμίδιο οφείλεται στον σχηματισμό πενικιλινάσης, μιας β-λακταμάσης που διασπά τον δακτύλιο της β-λακτάμης. Η αντοχή στη γλωραμφαινικόλη προκύπτει από τη δράση ενός ενζύμου που ακετυλιώνει το αντιβιοτικό. Σε πολλές περιπτώσεις, η ανθεκτικότητα που προσδίδουν τα πλασμίδια R έναντι των αντιβιοτικών μπορεί να είναι πολλαπλή, δηλαδή να αφορά όχι ένα, αλλά αρκετά αντιβιοτικά. Σε αυτές τις περιπτώσεις, το πλασμίδιο μπορεί να περιέχει διαφορετικά γονίδια ανθεκτικότητας και κάθε γονίδιο να κωδικοποιεί ένα ένζυμο εξουδετέρωσης διαφορετικού αντιβιοτικού.

Προέλευση των ανθεκτικών πλασμιδίων

Αν και δεν υπάρχουν αποδείξεις για το που οφείλεται η πολλαπλή φαρμακευτική αντοχή έναντι των αντιβιοτικών, που προσδίδουν τα πλασμίδια R, μια σειρά περιστασιακών ενδείξεων υποδεικνύει ότι τα πλασμίδια R προϋπήρχαν της εποχής των αντιβιοτικών. Με την εκτεταμένη χρήση των αντιβιοτικών διαμορφώθηκαν οι επιλεκτικές συνθήκες που επέτρεψαν την εξάπλωση των πλασμιδίων R με ένα ή περισσότερα γονίδια αντοχής στα αντιβιοτικά. Επί παραδείγματι, βρέθηκε ότι ένα στέλεχος της *Escherichia coli* που είχε καταψυχθεί το 1946 περιείχε ένα πλασμίδιο με γονίδια αντοχής στην τετρακυκλίνη και τη στρεπτομυκίνη, αν και η κλινική χρήση των συγκεκριμένων αντιβιοτικών δεν ξεκίνησε παρά μερικά χρόνια αργότερα. Επίσης, βρέθηκαν στελέχη που διέθεταν πλασμιδιακά γονίδια αντοχής στις ημισυνθετικές πενικιλίνες, πριν καν συντεθούν ημισυνθετικές πενικιλίνες. Ίσως ακόμη μεγαλύτερη οικολογική σημασία να έχει το εύρημα, ότι πλασμίδια R που προσδίδουν ανθεκτικότητα στα αντιβιοτικά, έχουν ανιχνευθεί σε μερικά μη παθογόνα αρνητικά κατά Gram βακτήρια του εδάφους. Τα πλασμίδια ανθεκτικότητας μπορεί να προσδίδουν προσαρμοστικά πλεονεκτήματα σε αυτούς τους εδαφικούς μικροοργανισμούς, δεδομένου ότι πολλοί σημαντικοί οργανισμοί που παράγουν αντιβιοτικές ουσίες (π.χ. *Streptomyces*, *Penicillium*) είναι οργανισμοί του εδάφους. Φαίνεται, λοιπόν, ότι τα πλασμίδια R δεν είναι πρόσφατο φαινόμενο, αλλά ότι προϋπήρχαν στους φυσικούς μικροβιακούς πληθυσμούς πριν την ανακάλυψη και χρήση των αντιβιοτικών στην ιατρική ή τη γεωργία. Στη συνέχεια, η εκτεταμένη ιατρική και γεωργική χρήση των αντιβιοτικών διαμόρφωσε τις κατάλληλες επιλεκτικές συνθήκες για την ταχεία διάδοση των πλασμιδίων R. Κατά συνέπεια, τα πλασμίδια R είναι μια απολύτως εύλογη κατάληξη της φυσικής επιλογής. Θέτουν δε σαφή όρια όσον αφορά τη μακροχρόνια χρήση και αποτελεσματικότητα οποιουδήποτε μεμονωμένου αντιβιοτικού [4].

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Gerard J. Tortora, Berdell R. Funke, Christine L. Case, 2009. *Εισαγωγή στη Μικροβιολογία*, Εκδόσεις: Π.Χ. ΠΑΣΧΑΛΙΔΗΣ

- [2] Access Excellence the national health museum. Activities Exchange. Penicillin Inhibits Staphylococcus aureus [online]. Διαθέσιμο από: <http://www.accessexcellence.org/AE/AEC/CC/s5.php> [προσβάσιμο στις 21 Νοεμβρίου 2009]
- [3] Windows Live – ΒΙΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ July 16 [online]. Διαθέσιμο από: <http://kekbio.spaces.live.com/Blog/cns!1441173D2FA44B10!352.entry> [προσβάσιμο στις 11 Σεπτεμβρίου 2010]
- [4] Michael T. Madigan, John M. Martinko, Jack Parker, 2005 για την ελληνική γλώσσα, *Βιολογία των Μικροοργανισμών*, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης
- [5] Βιβλιοθήκη & Κέντρο Πληροφόρησης. Πανεπιστήμιο Κρήτης. E-Locus. Ιδρυματικό καταθετήριο 2005. *Ανασκόπηση της παρουσίας του γίνεσθαι και των επιδράσεων των αντιβιοτικών στο περιβάλλον*. Φασουλάκης, Γεώργιος [online] Διαθέσιμο από: <http://elocus.lib.uoc.gr/dlib/f/b/c/metadata-dlib-2005fasoulakis.tkl> [προσβάσιμο στις 2 Νοεμβρίου 2009]
- [6] pmchemistry. Παρασκευή 26 Ιουνίου 2009. Η ανακάλυψη της πενικιλίνης. Βιβλιογραφική Εργασία. Τσάτση Παυλίνα [online]. Διαθέσιμο από: http://pmchemistry.blogspot.com/2009/06/blog-post_26.html [προσβάσιμο στις 18 Σεπτεμβρίου 2010]
- [7] [online] Διαθέσιμο από: http://www.nutr.teithe.gr/~babkats/BIOXHMEIA_2/PERILHPSEIS_B_II/KEFALAIO_8.htm [προσβάσιμο στις 20 Σεπτεμβρίου 2010]
- [8] Ιστορία της Ιατρικής, Σέλμαν Βάκσμαν (Selman A. Waksman) 20/11/09 [online]. Διαθέσιμο από: <http://historymed.blogspot.com/2009/11/selman-waksman.html> [προσβάσιμο στις 21 Σεπτεμβρίου 2010]
- [9] ΙΑΤΡΙΚΟ ΒΗΜΑ. Μακρολίδες, Δρ. ΞΕΝΟΦΩΝ Κ. ΚΡΟΚΙΔΗΣ. Επιμελητής Β΄. Α΄ Παθολογικό Τμήμα, ΓΝ Καβάλας [online] Διαθέσιμο από: http://www.iatrikionline.gr/ar8ra_xrisi/makrolides.htm [προσβάσιμο στις 21 Σεπτεμβρίου 2010]
- [10] Γ.Θ. Δημόπουλος, Ε. Σαλγκάμη, 2005. *Εμπειρική αντιμυκητιασική θεραπεία στους ασθενείς της Μονάδας Εντατικής Θεραπείας*, Pneumon, Quarterly medical journal. (34), 39-40.
- [11] Κουμαντάκη – Μαθιουδάκη Ε., Κατσαβού Α., Ράλλης Ε. «Νέα» και «Τρίτη» γενιά συστηματικών αντιμυκητιασικών φαρμάκων [online]. Διαθέσιμο από: <http://82.103.132.139/edae/cdmagazine/cdmagazine-1174406610-446004-11474/11.pdf> [προσβάσιμο στις 5 Οκτωβρίου 2010]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ

5.1 ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗ ΥΛΗ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

Η ποικιλία των χημικών ενώσεων και στοιχείων στην ατμόσφαιρα είναι τόσο μεγάλη που δεν υπάρχει μια μοναδική ταξινόμησή τους. Για αυτό οι ατμοσφαιρικοί ρύποι μπορούν να ταξινομηθούν με διάφορους τρόπους. Μια πρώτη ταξινόμηση γίνεται σύμφωνα με τη χημική τους σύνθεση. Στην πραγματικότητα κάθε στοιχείο του περιοδικού πίνακα βρίσκεται στην ατμόσφαιρα, όμως όταν ταξινομούμε τους ατμοσφαιρικούς ρύπους με βάση τη χημική τους σύνθεση επιλέγουμε ένα μικρό αριθμό κύριων ομάδων που εμφανίζεται συχνότερα και αποδεικνύεται βολικός στη μελέτη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Αυτές οι ομάδες είναι οι χημικές ενώσεις του θείου, του αζώτου, του άνθρακα, των αλογόνων και ορισμένες τοξικές και ραδιενεργές χημικές ενώσεις. Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι μπορούν επίσης να ταξινομηθούν με βάση τη φυσική τους κατάσταση σε αέριους, υγρούς και στερεούς. Οι αέριοι ρύποι περιλαμβάνουν όλα τα αέρια της ατμόσφαιρας που βρίσκονται σ' αυτή σε συγκεντρώσεις πάνω από τα φυσιολογικά τους επίπεδα (τις συγκεντρώσεις υποβάθρου) και μπορεί να έχουν δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων, των ζώων και των φυτών. Οι δύο τελευταίες κατηγορίες, υγροί και στερεοί ατμοσφαιρικοί ρύποι, υπονοούν ότι η ύλη βρίσκεται στην ατμόσφαιρα σε σωματιδιακή μορφή. Έτσι η ταξινόμηση με βάση τη φυσική κατάσταση των ρύπων περιορίζεται σε δύο ομάδες, τους αέριους ρύπους και τους σωματιδιακούς ρύπους ή αλλιώς τα (αιωρούμενα) σωματίδια.

Με τον όρο αιωρούμενη σωματιδιακή ύλη εννοούμε κάθε συστατικό, (εκτός από το καθαρό νερό), που βρίσκεται στην ατμόσφαιρα ως υγρό ή στερεό, κάτω από φυσιολογικές συνθήκες περιβάλλοντος και έχει μέγεθος της τάξεως των μm ή και μικρότερο αλλά μεγαλύτερο από τη μοριακή διάσταση (περίπου 2 \AA).¹⁰ Τα αιωρούμενα σωματίδια εκπέμπονται άμεσα τόσο από ανθρωπογενείς όσο και φυσικές πηγές, αλλά πολλά από αυτά σχηματίζονται και δευτερογενώς από τη συμπύκνωση ή προσρόφηση σε άλλα σωματίδια ορισμένων αερίων και ατμών που είτε εκπέμπονται άμεσα στην ατμόσφαιρα είτε προκύπτουν από φωτοχημικούς μετασχηματισμούς. Έτσι και τα αιωρούμενα σωματίδια, όπως και οι αέριοι ρύποι, μπορούν να χωριστούν σε πρωτογενή και δευτερογενή.

Τα αιωρούμενα σωματίδια είναι ιδιαίτερα πολύπλοκα. Περιλαμβάνουν ουσίες διαφορετικής χημικής σύνθεσης, που δεν είναι δυνατό να αποτελέσουν μια ομάδα. Μια πλήρη περιγραφή των ατμοσφαιρικών σωματιδίων απαιτεί καθορισμό όχι μόνο της συγκέντρωσής τους αλλά και του μεγέθους τους, της χημικής τους σύνθεσης, της φυσικής τους κατάστασης

¹⁰ Το **Ανγκστρομ** ή **Ανγκστρεμ**, ή άνγκστρομο ή μονάδα άνγκστρομ (MA) [*angstrom*, ή *angstrom unit* (AU)] είναι μονάδα μήκους ίση με ένα δέκατο του χιλιοστού του μικρού (μικρόν) και συμβολίζεται ως \AA (σουηδικό γράμμα) ή **A**, ελληνικά και ως "MA".

Χρησιμοποιούνταν κυρίως για τη μέτρηση ατομικών πυρήνων, οπτικών φασμάτων και χημικών δεσμών. Σήμερα αντικείμενα με τέτοια μικρά μεγέθη μετριοούνται συνήθως σε νανόμετρα ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$), όπου και από τον ορισμό του Ανγκστρομ ισχύει

$$1 \text{ A} = 1.0 \cdot 10^{-10} \text{ m} = 0.1 \text{ nm} (\nu\mu)$$

Σήμερα χρησιμοποιείται κυρίως για τη μέτρηση του μήκους κύματος ηλεκτρομαγνητικών ακτινοβολιών [1].

(υγρά ή στερεά) και της μορφολογίας τους. Έχουν χρησιμοποιηθεί διάφοροι όροι για το χαρακτηρισμό των νεφών που σχηματίζονται από τα αιωρούμενα σωματίδια.

Σκόνη (dust): Αποτελείται από αδρά αιωρούμενα σωματίδια με μεγάλο μέγεθος που παράγονται από μηχανικές διεργασίες ελάττωσης του μεγέθους των στερεών υλικών, όπως είναι η θραύση, ο κατακερματισμός και η άλεση.

Καπνός (smoke): Αποτελείται από πολύ λεπτά αιωρούμενα σωματίδια, που προέρχονται από την ατελή καύση του άνθρακα και άλλων οργανικών υλικών (ορυκτά καύσιμα).

Ομίχλη και αχλύδα (fog and mist): Αποτελείται από αιωρούμενα σταγονίδια που σχηματίζονται από τη συμπύκνωση των ατμών και είναι ορατά. Η ομίχλη αναφέρεται συνήθως στη μετεωρολογία και αποτελείται από σταγονίδια νερού μικρού σχετικά μεγέθους και σε μεγάλες συγκεντρώσεις. Η αχλύδα αποτελείται από σταγονίδια μεγάλου σχετικά μεγέθους, που βρίσκονται σε μικρές συγκεντρώσεις και προέρχονται από τη συμπύκνωση ατμών που εκπέμπονται κυρίως από διάφορες δραστηριότητες του ανθρώπου.

Καταχνιά ή ξηρή αχλύδα (haze): Είναι συνδυασμός σταγονιδίων νερού, σκόνης, σωματιδίων καπνού και φωτοχημικών ρύπων που μειώνουν την ορατότητα.

Κάπνα (fume): Αποτελούνται από στερεά αιωρούμενα σωματίδια, που σχηματίστηκαν από τη συμπύκνωση ουσιών που για κάποιο λόγο βρέθηκαν στην αέρια φάση.

Καπνομίχλη (smog): Συνδυασμός καπνού και ομίχλης. Όμως, με αυτόν τον όρο χαρακτηρίζεται πιο συχνά ο συνδυασμός των φωτοχημικά σχηματιζόμενων αερίων ρύπων (SO_2 , H_2SO_4) και αιωρούμενων σωματιδίων σε υψηλές συγκεντρώσεις σε αστικά κέντρα [2].

5.1.1 ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Το μέγεθος των αιωρούμενων στην ατμόσφαιρα σωματιδίων εκτείνεται από μερικά Å (βλέπε στο κεφάλαιο 5.1 υποσημείωση 10) μέχρι μερικές εκατοντάδες μm. Τα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη των 1 μm αναφέρονται γενικά ως μικροσκοπικά ή λεπτά και εκείνα με διάμετρο μεγαλύτερη από 1 μm ως μεγάλα σωματίδια ή χοντρόκοκκα ή αδρά¹¹. Οι πηγές των αιωρούμενων σωματιδίων μπορούν να χωριστούν σε πρωτογενείς και δευτερογενείς. Πρωτογενή αιωρούμενα σωματίδια είναι εκείνα που εκπέμπονται σε σωματιδιακή μορφή αμέσως από την πηγή, όπως είναι για παράδειγμα η σκόνη (από την επίδραση του ανέμου) και τα καπνοσωματίδια από τις καπνοδόχους. Δευτερογενή είναι εκείνα τα σωματίδια που σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα π.χ. από χημικές αντιδράσεις αέριας φάσης που δημιουργούν χημικές ενώσεις που συμπυκνώνονται. Αν και οι πρωτογενείς πηγές παράγουν σωματίδια όλων των μεγεθών, οι δευτερογενείς παράγουν σωματίδια με μέγεθος μικρότερο του 1 μm.

Από τη στιγμή που τα σωματίδια βρίσκονται στην ατμόσφαιρα, το μέγεθός τους, ο αριθμός τους και η χημική τους σύσταση αλλάζουν συνεχώς μέχρι να απομακρυνθούν από αυτή. Μερικά από τα φυσικά και χημικά φαινόμενα που επιδρούν στις μεταβολές των ατμοσφαιρικών σωματιδίων είναι περισσότερο αποτελεσματικά σε μια περιοχή του μεγέθους των αιωρούμενων σωματιδίων από ό,τι σε μια άλλη. Παρόλα τα ιδιαίτερα φαινόμενα που επιδρούν στις μεταβολές τους, ο συνήθης χρόνος παραμονής των αιωρούμενων σωματιδίων στην κατώτερη ατμόσφαιρα είναι της τάξης των 2 ημερών μέχρι 1 εβδομάδας. Πολύ κοντά

¹¹ Συνήθως στη βιβλιογραφία τα αιωρούμενα σωματίδια της ατμόσφαιρας με διάμετρο 10 μm, 2.5 μm και 1 μm αναφέρονται ως PM₁₀, PM_{2.5} και PM₁ αντίστοιχα.

στο έδαφος ο κύριος μηχανισμός απομάκρυνσής τους είναι η καθίζηση και η «αρπαγή» από τις διάφορες επιφάνειες καθώς κτυπούν πάνω τους, ενώ σε ύψη πάνω από 100 m η υγρή απόθεση είναι ο κύριος μηχανισμός απομάκρυνσης.

Τα μικροσκοπικά και τα μεγάλα σωματίδια γενικά δημιουργούνται διαφορετικά, μετασχηματίζονται διαφορετικά, απομακρύνονται από την ατμόσφαιρα με διαφορετικούς μηχανισμούς, απαιτούν διαφορετικές τεχνικές ελέγχου, έχουν διαφορετική χημική σύνθεση και διαφορετικές οπτικές ιδιότητες. Επομένως, αυτός ο διαχωρισμός των σωματιδίων είναι βασικός σε κάθε συζήτηση που αφορά στη φυσική, τη χημεία, τις μετρήσεις των αιωρούμενων σωματιδίων, την ποιότητα του αέρα και στο μηχανισμό εναπόθεσής τους στο αναπνευστικό σύστημα.

Τα μικροσκοπικά σωματίδια σε αστικές περιοχές αποτελούνται κυρίως από θειικά άλατα (SO_4^{-2}), από αμμωνιακά άλατα (NH_4^+), από μόλυβδο (Pb), από νιτρικά ιόντα (NO_3^-) και από οργανική ύλη συμπεριλαμβανομένης και της αιθάλης. Επίσης, πάνω τους συμπυκνώνονται τοξικές ουσίες όπως πολυκυκλικές αρωματικές χημικές ενώσεις και βαρέα μέταλλα, όπως αρσενικό (As), σελήνιο (Se), κάδμιο (Cd) και ψευδάργυρος (Zn). Τα μεγάλα σωματίδια περιέχουν κυρίως σίδηρο (Fe), ασβέστιο (Ca) και πυρίτιο (Si) [2].

5.1.2 ΠΗΓΕΣ ΤΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Σημαντικές φυσικές πηγές των αιωρούμενων σωματιδίων είναι η διάβρωση και επαναιώρηση του εδάφους και των βράχων (σκόνη), η δράση των ηφαιστειών, η εισροή σταγονιδίων από τη θάλασσα, οι φυσικές φωτιές των δασών και οι χημικές αντιδράσεις μεταξύ φυσικά εκπεμπόμενων σωματιδίων (πίνακας 5.1).

Πίνακας 5.1 Πηγές σωματιδίων στην ατμόσφαιρα [2]

Φυσικές πηγές	Ανθρωπογενείς πηγές
Διάβρωση εδάφους και βράχων	Καύση καυσίμων και βιομηχανικές δραστηριότητες
Πυρκαγιές δασών	Διαφεύγουσες εκπομπές από βιομηχανικές δραστηριότητες
Σταγονίδια από τη θάλασσα	Διαφεύγουσες εκπομπές από μη βιομηχανικές δραστηριότητες
Δράση ηφαιστειών	Μεταφορές
Σωματίδια που σχηματίζονται από φυσικές εκπομπές αερίων, όπως H_2S , NH_3 , NO_x και υδρογονανθράκων	

Πηγές ατμοσφαιρικών σωματιδίων από ανθρώπινες δραστηριότητες είναι η καύση των υγρών αλλά κυρίως των στερεών καυσίμων υλών (π.χ. παραγωγή ενέργειας από λιγνίτη), οι βιομηχανικές διεργασίες που εκπέμπουν σωματίδια κατά την παραγωγική τους διαδικασία (π.χ. τσιμεντοβιομηχανία), βιομηχανικές διεργασίες που δεν εκπέμπουν σωματίδια κατά την παραγωγική τους διαδικασία (π.χ. διαφεύγουσα σκόνη από φορτωμένα φορτηγά αυτοκίνητα, οικοδομικές δραστηριότητες) και οι μεταφορές (αυτοκίνητα) (πίνακας 5.1).

Κατά τα φαινόμενα διαφυγής τα σωματίδια δεν εκπέμπονται μόνο από ένα ορισμένο σημείο (σημειακή πηγή), όπως από τις καμινάδες, αλλά από μια μεγάλη περιοχή (πηγή επιφάνειας). Η διαφυγή των σωματιδίων από τις βιομηχανικές δραστηριότητες προκαλείται από τη διαβρωτική δράση του ανέμου σε αποθηκευμένους σωρούς, την κυκλοφορία των οχημάτων σε μη ασφαλοστρωμένους δρόμους, τη μεταχείριση των υλικών, το φόρτωμα και τις διαδικασίες μεταφοράς. Φαινόμενα διαφυγής σκόνης που δε σχετίζονται με βιομηχανικές δραστηριότητες, είναι η εκπομπή της σκόνης από δημόσιους ασφαλοστρωμένους και μη

δρόμους, αγροτικές διεργασίες, κατασκευές, φωτιές. Εκτός της τελευταίας περίπτωσης η εκπομπή της σκόνης στην ατμόσφαιρα προκαλείται από την αλληλεπίδραση των μηχανών με την ύλη και τη δράση του ανέμου στα υλικά. Ενώ υπολογίζεται, ότι οι εκπομπές της διαφεύγουσας σκόνης από διεργασίες που δε συσχετίζονται με βιομηχανικές δραστηριότητες, υπερβαίνουν τις εκπομπές από τις ακίνητες σημειακές πηγές, σε πολλές περιοχές το τελικό αποτέλεσμα είναι μικρό, γιατί η διαφεύγουσα σκόνη αποτελείται κυρίως από μεγάλα σωματίδια που καταλήγουν σε μικρή απόσταση από την πηγή. Επίσης αυτές οι πηγές συχνά δε βρίσκονται κοντά σε αστικές περιοχές. Οι εκπομπές σωματιδίων από τις μεταφορές προέρχονται είτε από τις εξατμίσεις των αυτοκινήτων είτε από τις φθορές των ελαστικών, του αμπραγιάζ και των φρένων τους.

Η μέση συγκέντρωση των σωματιδίων σε μια καθαρή ατμόσφαιρα είναι περίπου $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ενώ σε αστικές περιοχές κυμαίνεται μεταξύ 60 και $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Σε πολύ ρυπασμένες περιοχές τα σωματίδια μπορεί να απαντώνται και σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις έως και $2.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [2].

5.1.3 ΟΡΓΑΝΙΚΕΣ ΧΗΜΙΚΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ ΣΤΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

Ο άνθρακας στα αιωρούμενα σωματίδια βρίσκεται σε δύο κύριες μορφές: σαν γραφίτης ή στοιχειακός άνθρακας και σε οργανικές χημικές ενώσεις (οργανικός άνθρακας). Οι τελευταίες μπορούν να εκπέμπονται ευθέως από πηγές ή να παράγονται από άλλες χημικές ενώσεις. Ο στοιχειακός άνθρακας παράγεται μόνο από διαδικασίες καύσης και επομένως μόνο πρωτογενώς. Το σύνολο του στοιχειακού άνθρακα και των οργανικών χημικών ενώσεων που εκπέμπονται πρωτογενώς στην ατμόσφαιρα ονομάζεται συχνά αιθάλη. Προέρχεται από μια πληθώρα κινητών και σταθερών πηγών καύσης.

Ο κυριότερος λόγος της μελέτης των οργανικών σωματιδίων είναι η δυνατότητά τους να θέσουν την υγεία των ζωντανών οργανισμών σε μακροχρόνιους κινδύνους. Έχει βρεθεί ότι ορισμένα αιωρούμενα στην ατμόσφαιρα σωματίδια που περιέχουν οργανικές χημικές ενώσεις, κυρίως αυτά που περιέχουν πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες (ΠΑΥ), έχουν καρκινογενή και μεταλλαξιογόνα δράση. Στα αιωρούμενα σωματίδια έχουν επίσης ανιχνευτεί και μεταλλαξιογόνες ουσίες που δεν απαιτούν διαδικασίες μεταβολισμού για να εκδηλωθούν, όπως συμβαίνει και με τους πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες (ΠΑΥ).

Η οργανική σωματιδιακή ύλη είναι μια πολύπλοκη μίξη από πολλές κατηγορίες χημικών ενώσεων, όπως π.χ. αλκάνια, αλκένια, αρωματικές και πολυαρωματικές χημικές ενώσεις και οξυγονωμένους υδρογονάνθρακες. Αν και οι αρωματικές χημικές ενώσεις αποτελούν ένα μικρό ποσοστό της μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων σε αστικές περιοχές έχουν τύχει ευρείας μελέτης λόγω της καρκινογούς τους δράσης. Οι οξυγονωμένοι υδρογονάνθρακες, όπως είναι τα οργανικά οξέα, οι αλδεΐδες, οι κετόνες, οι φαινόλες και οι εστέρες, είτε εκπέμπονται ευθέως είτε προκύπτουν από αντιδράσεις οξειδωσης στην ατμόσφαιρα. Μερικές από αυτές έχουν χαρακτηριστεί σαν καρκινογόνες ή τοξικές και έχουν μεγάλη πιθανότητα να προκαλέσουν βλάβες στην υγεία των ανθρώπων. Νιτροπαράγωγα των οργανικών χημικών ενώσεων, ετεροκυκλικές οργανικές χημικές ενώσεις που περιέχουν θείο και αζωτοαμίνες (με καρκινογενή δράση) έχουν επίσης βρεθεί σε αιωρούμενα στην ατμόσφαιρα σωματίδια και έχουν προσελκύσει το ενδιαφέρον των επιστημόνων.

Μερικές από τις οργανικές ενώσεις που συναντώνται στα ατμοσφαιρικά σωματίδια σε αστικές περιοχές είναι οι ακόλουθες: Αλκάνια και αλκένια μεγάλου μοριακού βάρους όπως π.χ. αλκυλοβενζόλια, πολυκυκλικοί υδρογονάνθρακες, οξέα, φαινόλες και χλωροφαινόλες, εστέρες, αλειφατικά καρβοξυλικά οξέα, αζωταμίνες, ετεροκυκλικές οργανικές ενώσεις που περιέχουν θείο και άζωτο, αλκυλοχλωρίδια, ναφθαλίνες, αρωματικοί υδρογονάνθρακες, κυκλικές κετόνες, χλωροπαράγωγα του βενζολίου, αλδεΐδες, αλειφατικά δικαρβοξυλικά οξέα, αζωτούχες οργανικές ενώσεις και οργανικές ενώσεις του διοξειδίου του θείου (SO_2).

Οι οργανικές χημικές ενώσεις με σχετικά μικρό μοριακό βάρος και μεγάλη τάση ατμών βρίσκονται στην ατμόσφαιρα μεταξύ της στερεής φάσης (σωματίδια) και της αέριας φάσης (ατμοί). Οι εκπομπές από διαδικασίες καύσης σε υψηλές θερμοκρασίες περιέχουν μεγάλα ποσοστά οργανικών χημικών ενώσεων σε μορφή ατμών. Μερικές από αυτές συμπυκνώνονται πάνω στην επιφάνεια άλλων σωματιδίων καθώς ψύχονται [2].

5.2 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΙΣΠΝΟΗ ΤΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Τα εισπνεύσιμα αιωρούμενα σωματίδια, τόσο τα μικρού μεγέθους όσο και τα μεγαλύτερα, είναι βλαβερά για το αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου, όπου συσσωρεύονται και συνδέονται με πολυάριθμες επιπτώσεις στην υγεία. Η έκθεση σε μεγάλα σωματίδια ερεθίζει το αναπνευστικό σύστημα και παρουσιάζει παρόμοια συμπτώματα με του άσθματος. Τα λεπτά σωματίδια συνδέονται περισσότερο με επιπτώσεις στην υγεία που χρίζουν εισαγωγή στο νοσοκομείο, ακόμα και στην εντατική, όπως προβλήματα καρδιάς και πνευμόνων, συμπτώματα στο αναπνευστικό σύστημα, μειωμένη πνευμονική λειτουργία που μπορούν να οδηγήσουν ακόμα και σε πρόωρο θάνατο. Ευαίσθητες ομάδες είναι τα παιδιά, οι ηλικιωμένοι, και άτομα με άσθμα, καρδιοαγγειακά ή χρόνια αναπνευστικά νοσήματα (όπως βρογχίτιδα και εμφύσημα).

Τα κριτήρια ποιότητας του αέρα επικεντρώνονται στα λεπτά σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη από 10 μm (PM_{10}). Αυτά λόγω της ικανότητάς τους να φθάνουν στις κατώτερες περιοχές του αναπνευστικού συστήματος είναι υπεύθυνα για τις πιο σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία. Νεότερες μελέτες δείχνουν ότι ακόμα πιο λεπτά σωματίδια, μικρότερα από 2.5 μm ($\text{PM}_{2.5}$), τα αναπνεύσιμα, πιθανόν να έχουν ακόμα πιο σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία. Αυτός ο λόγος απαιτεί τον ορισμό επιτρεπτών ορίων στα κριτήρια ποιότητας της ατμόσφαιρας και για τα $\text{PM}_{2.5}$.

Συγκεκριμένα, μια μελέτη που δημοσιεύτηκε στο περιοδικό της Αμερικανικής Ιατρικής Ένωσης, δείχνει ότι τα $\text{PM}_{2.5}$ οδηγούν σε υψηλές επικαθήσεις αιμοπεταλίων στις αρτηρίες, προκαλώντας αγγειακή φλεγμονή και αθηροσκλήρωση – την σκλήρυνση των αρτηριών που μειώνει την ελαστικότητα – η οποία μπορεί να οδηγήσει σε καρδιακά επεισόδια και άλλα καρδιαγγειακά προβλήματα. Ερευνητές δηλώνουν ότι ακόμη και μικρής διάρκειας έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στις καρδιακές παθήσεις.

Υπάρχουν στοιχεία που δείχνουν, ότι τα σωματίδια μικρότερα από 100 nm μπορούν να περάσουν μέσα από τις κυτταρικές μεμβράνες και να μεταναστεύσουν σε άλλα όργανα, συμπεριλαμβανομένου του εγκεφάλου. Έχει προταθεί ότι τα σωματίδια μπορούν να προκαλέσουν παρόμοια εγκεφαλική βλάβη, όπως αυτή που διαπιστώθηκε σε ασθενείς με Alzheimer. Σωματίδια που εκπέμπονται από τους σύγχρονους κινητήρες ντίζελ (που συνήθως αναφέρονται ως αιωρούμενα σωματίδια ντίζελ, ή Diesel Particulate Matter - DPM) είναι συνήθως στην κατηγορία μεγέθους των 100 nm. Επιπλέον, αυτά τα σωματίδια αιθάλης μεταφέρουν καρκινογόνες ενώσεις, όπως ενώσεις με αρωματικούς δακτύλιους, προσροφημένες στην επιφάνειά τους. Το γεγονός αυτό δικαιολογεί τις συνεχόμενες αναπροσαρμογές των νομοθετικών ορίων για κινητήρες, τα οποία έχουν τεθεί για εκπομπές μάζας. Ένα σωματίδιο με διάμετρο 10 μm έχει περίπου την ίδια μάζα όπως 1 εκατομμύριο σωματίδια διαμέτρου 100 nm, αλλά είναι σαφώς πολύ λιγότερο επικίνδυνο, δεδομένου ότι πιθανότατα δεν εισέρχεται στο ανθρώπινο σώμα τόσο βαθιά όσο το πιο λεπτό (και αν αυτό γίνει, συχνά απομακρύνεται γρήγορα).

Η πιο συνηθισμένη μορφή σωματιδιακής ύλης στην ατμόσφαιρα είναι ανόργανη και μη τοξική σκόνη. Αυτό βέβαια δεν σημαίνει ότι είναι και αβλαβής. Το πόσο τοξικά είναι τα αιωρούμενα σωματίδια είναι συνάρτηση της τοξικότητας των χημικών ενώσεων που είναι προσκολλημένα ή προσροφημένα σε αυτά και του μεγέθους τους, που εξαρτάται άμεσα από

την πηγή προέλευσής τους. Η λήψη τοξικών ουσιών, όπως οι ατμοί υδραργύρου ή ενώσεις υδραργύρου σε σωματιδιακή μορφή, μπορούν να προκαλέσουν απ' ευθείας βιοχημικές αντιδράσεις στον οργανισμό. Η πνευμονοκονίαση είναι μια συνηθισμένη αρρώστια για αυτούς που δουλεύουν στα ορυχεία και σε τσιμεντοβιομηχανίες. Το οίδημα των «μαύρων πνευμόνων», μια μορφή πνευμονοκονίασης, είναι συνηθισμένη στους εργαζόμενους στα ορυχεία άνθρακα. Η αμιάντωση επίσης είναι μια αναγνωρισμένη επαγγελματική ασθένεια όλων αυτών που έχουν εργαστεί με αμιάντο. Σε αυτές τις περιπτώσεις τα αιωρούμενα σωματίδια έχουν το κατάλληλο μέγεθος, ώστε να σφηνώνονται στις μεμβράνες των πνευμόνων, μειώνοντας έτσι τη δυνατότητα αποβολής τους, είτε μέσω της εκπνοής είτε μέσω των υγρών του σώματος. Ως αποτέλεσμα οι πνεύμονες εμφανίζουν μειωμένη ικανότητα μεταφοράς οξυγόνου (O₂) στο κυκλοφοριακό σύστημα, προκαλώντας δυσκολία στην αναπνοή, δημιουργία νεοπλασιών και πρόωρο θάνατο [2,3].

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Άνγκστρομ [online]. Διαθέσιμο από: <http://el.wikipedia.org/wiki/> [προσβάσιμο στις 20 Δεκεμβρίου 2009]
- [2] Σταύρος Στ. Καραθανάσης 2006. *Ατμοσφαιρική Ρύπανση*, Εκδόσεις ΤΣΙΟΛΑ, Θεσσαλονίκη
- [3] Sigma Hellas. Επιπτώσεις στην υγεία από την εισπνοή των αιωρούμενων σωματιδίων. [online]. Διαθέσιμο από: <http://www.sigmahellas.gr/index.php?lang=1&thecatid=2&thesubcatid=330&thesubsubcatid=339> [προσβάσιμο στις 5 Οκτωβρίου 2009]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ

6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η έννοια του κτίσματος όπως αυτή καθιερώθηκε τις τελευταίες δεκαετίες στον ανεπτυγμένο κυρίως δυτικό κόσμο, απέκτησε σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα ποικίλες μορφές. Έτσι, όταν μιλάμε για κτίσμα αναφερόμαστε στις κατοικίες (μονοκατοικίες, πολυκατοικίες), στα γραφεία εργασίας, τις δημόσιες υπηρεσίες, τα βιομηχανικά ή βιοτεχνικά συγκροτήματα καθώς και τα πολυκαταστήματα.

Στον εικοστό πρώτο αιώνα, ένα μεγάλο ποσοστό πληθυσμού (ειδικά στις ανεπτυγμένες χώρες) ζει και εργάζεται μέσα σε αυτούς τους κλειστούς χώρους. Πολλοί άνθρωποι μπορεί να βρίσκονται σε κλειστούς χώρους περισσότερο από 20 ώρες την ημέρα κατά μέσο όρο! Η ποιότητα του αέρα εσωτερικών χώρων που αυτοί αναπνέουν μπορεί να έχει άμεση επίδραση βραχυπρόθεσμα στην υγεία τους και θα μπορούσε και μακροπρόθεσμα.

Πριν κάποιες δεκαετίες, όταν η τιμή του πετρελαίου ήταν χαμηλή και οι επιδράσεις της παραγωγής ενέργειας στο περιβάλλον από τα ορυκτά καύσιμα δεν λαμβανόταν σοβαρά υπόψη, κατά το σχεδιασμό νέων κτιρίων δεν συνυπολογιζόταν η παράμετρος της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου. Ένα τέτοιο εγχείρημα θα ήταν χρονοβόρο και κυρίως θα εκτίνασσε το κόστος κατασκευής του κτιρίου σε ποσά πολλαπλάσια σε σχέση με τον αρχικό προϋπολογισμό του έργου.

Όσο όμως περνούσαν τα χρόνια και η τιμή του πετρελαίου αυξανόταν σταδιακά (και ιδιαίτερα μετά την πετρελαϊκή κρίση του 1970) τόσο περισσότεροι μελετητές και επιστήμονες που ασχολούνταν με την κατασκευή κτιρίων άρχισαν να ενδιαφέρονται για θέματα όπως η χωροταξία των κτισμάτων μέσα στο φυσικό περιβάλλον και η ενεργειακή απόδοση αυτών σαν μέρος του δομημένου περιβάλλοντος. Ως αποτέλεσμα της ενεργειακής κρίσης στις Η.Π.Α. το 1973-1974, έγιναν σημαντικές προσπάθειες για αυστηρότερους κανόνες στα κτίρια προκειμένου να γίνουν ενεργειακά πιο αποδοτικά. Η αυστηρότητα στα κτίρια σημαίνει μείωση του ρυθμού εισροής (και έτσι της αποβολής) του αέρα. Αυτό εξοικονομεί ενέργεια επειδή δεν υπάρχει ανάγκη για θέρμανση ή ψύξη μεγάλων όγκων αέρα που, στην πραγματικότητα, απλά πέρασε μέσα από το κτίριο καθ' οδόν της αποβολής του στην εξωτερική ατμόσφαιρα. Ενώ μια τέτοια αυστηρότητα είναι αποτελεσματική στη διατήρηση της ενέργειας, αυτή δεν είναι ωφέλιμη για την ποιότητα του αέρα εσωτερικών χώρων. Με πολύ λιγότερη ροή εξωτερικού αέρα μέσω του κτιρίου, αυξήθηκαν οι συγκεντρώσεις ρύπων στους εσωτερικούς χώρους και μερικές φορές με σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία των ενοίκων.

Σήμερα στην Ευρωπαϊκή Ένωση ο τομέας της κατοικίας και ο τριτογενής τομέας, το μεγαλύτερο μέρος των οποίων σχετίζεται με κτίρια, αντιπροσωπεύει περισσότερο από το 40% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας στην Ε.Ε. (ανάλογο είναι και το αντίστοιχο ποσοστό στις Η.Π.Α.) ενώ το 85% περίπου του χρόνου τους οι κάτοικοι των δυτικών χωρών τον καταναλώνουν σε δραστηριότητες εντός κτισμάτων. Είναι σημαντικό λοιπόν, οι συνθήκες θερμοκρασίας, υγρασίας και φωτισμού στο κτίριο να είναι οι κατάλληλες ώστε τα άτομα εντός αυτού να νοιώθουν άνεση και ασφάλεια.

Ο αέρας εσωτερικών χώρων αντιμετωπίζεται διαφορετικά από τον αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος για δύο σημαντικούς λόγους. Ο πρώτος είναι νομικός – ο αέρας εσωτερικού χώρου γενικά θεωρείται ιδιωτική περιουσία και επομένως δεν εμπίπτει στους ίδιους κανονισμούς όπως ο αέρας του περιβάλλοντος. Ο δεύτερος είναι τεχνικός – αν και «ο ίδιος» αέρας ανταλλάσσεται μεταξύ εσωτερικού χώρου και εξωτερικού περιβάλλοντος, οι ρύποι, οι πηγές τους και η συμπεριφορά της διασποράς τους μπορεί να είναι τελείως διαφορετικά στον εσωτερικό χώρο από ότι στην εξωτερική ατμόσφαιρα. Επιπρόσθετα, μπορεί να υπάρξει

απομάκρυνση ή σημαντική παραγωγή ρύπων στο εσωτερικό πολλών κτιρίων. Έτσι στην πραγματικότητα, οι συγκεντρώσεις ορισμένων ρύπων στους εσωτερικούς χώρους μπορεί να είναι μικρότερες από αυτές στο εξωτερικό περιβάλλον, ενώ, οι συγκεντρώσεις άλλων ρύπων μπορεί να είναι σημαντικά υψηλότερες από αυτές στην εξωτερική ατμόσφαιρα.

Η ποιότητα του εσωτερικού αέρα επηρεάζεται από τους παρακάτω παράγοντες [3]:

- **Την ποιότητα του εξωτερικού αέρα:** (η ποιότητα αέρα σε έναν εσωτερικό χώρο μεταβάλλεται σε συνάρτηση με τις μεταβολές στη σύσταση του εξωτερικού αέρα και με το ρυθμό ανταπόκρισης, ο οποίος εξαρτάται από τη διαπερατότητα της δομής του κτιρίου, τη φύση των ρύπων κ.λπ.)
- **Την εσωτερική παραγωγή ρύπων:** οι κύριες εσωτερικές πηγές ρύπων είναι: τα δομικά υλικά, τα χρώματα, τα έπιπλα και τα λοιπά υλικά που χρησιμοποιούνται στο εσωτερικό του κτιρίου.
- **Τις δραστηριότητες των ανθρώπων στους εσωτερικούς χώρους:** χρήση κουζίνας αερίου, μαγείρεμα, καθαρισμός του χώρου, κάπνισμα, χρήση καταναλωτικών προϊόντων και ακόμη η ίδια η παρουσία των ατόμων.

Οι συνήθεις ρύποι αέρα εσωτερικών χώρων περιλαμβάνουν τους γνωστούς ρύπους κριτήρια (PM_{2.5}, NO₂ και CO), καθώς και μια μεγάλη ποικιλία πτητικών οργανικών ενώσεων (VOC). Άλλα σημαντικά παραδείγματα ρύπανσης εσωτερικών χώρων περιλαμβάνουν αέρια και σκόνες που εκπέμπονται κατά τη διάρκεια διάφορων δραστηριοτήτων, όπως λάδια και καπνός από μαγείρεμα, καπνός από τσιγάρα, ραδόνιο, φορμαλδεΐδη, μούχλα, γύρη και κατοικίδια ζώα. Τα VOC εξατμίζονται από καθαριστικά, διαλύτες, χρώματα, αρώματα, σαπούνια και σπρέι μαλλιών, απελευθερώνονται από εξοπλισμό γραφείου (όπως φωτοτυπικά μηχανήματα, και μηχανήματα τηλεομοιοτυπίας) και από υλικά (όπως γραφεία, καρέκλες, κουρτίνες και χαλιά). Τα VOC παράγονται ως αναπνοή παραπροϊόντων μούχλας και ακόμα μπορούν να παραχθούν από τους ανθρώπους και τα κατοικίδια ζώα ως μέρος των λειτουργιών του φυσικού τους μεταβολισμού.

Τα προβλήματα που σχετίζονται με τα εργασιακά βιομηχανικά περιβάλλοντα μπορεί να είναι τελείως διαφορετικά από εκείνα σε κτίρια γραφείων ή οικίες. Οι συγκεντρώσεις ρύπων, στους οποίους οι άνθρωποι εκτίθενται, μπορεί να διαφέρουν σημαντικά με βάση τα είδη και τις πηγές των ρύπων, τους ρυθμούς παραγωγής, τις ιδιαίτερες θέσεις που βρίσκονται οι πηγές εκπομπής, την ηλικία του κτιρίου (σημειώστε ότι το νεότερο δεν είναι πάντοτε το καλύτερο), το σχεδιασμό και την κατασκευή του κτιρίου, το σχεδιασμό και τη συντήρηση του συστήματος εξαερισμού και κατά πόσο χρησιμοποιούνται τεχνικές ελέγχου αέριων ρύπων.

Το Κεφάλαιο αυτό παρουσιάζει πληροφορίες για αρκετούς από τους σημαντικότερους αέριους και σωματιδιακούς ρύπους εσωτερικών χώρων – από πού προέρχονται, πως συσσωρεύονται στον αέρα εσωτερικών χώρων και πως μπορούμε να προβλέψουμε και να ελέγξουμε την **ποιότητα αέρα εσωτερικών χώρων** (Indoor air quality – IAQ). Το κεφάλαιο αυτό επικεντρώνεται περισσότερο σε κατοικίες και εμπορικά κτίρια παρά σε βιομηχανικές μονάδες, επειδή ο αέρας σε βιομηχανικούς χώρους εργασίας ήδη υπόκειται σε κανονιστικές διατάξεις, παρακολουθείται και ελέγχεται [1-3,10].

6.2 ΑΕΡΙΟΙ & ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΟΙ ΡΥΠΟΙ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ

Κατά την αντιμετώπιση των αέριων ρύπων εσωτερικών χώρων, τα Εθνικά Πρότυπα Ποιότητας Ατμόσφαιρας Περιβάλλοντος δεν εφαρμόζονται αυτόματα, δεδομένου ότι αυτά αναπτύχθηκαν για την έκθεση του πληθυσμού στο εξωτερικό περιβάλλον. Το Εθνικό Ινστιτούτο για την Επαγγελματική Ασφάλεια και Υγεία των Η.Π.Α. (National Institute for

Occupational Safety and Health – NIOSH) καθιέρωσε επιτρεπόμενα όρια έκθεσης (permissible exposure limits – PELs) για έναν αριθμό ρύπων εσωτερικών χώρων. Τα PELs καθορίζουν τις μέγιστες συνιστώμενες συγκεντρώσεις για έκθεση σε χώρους εργασίας (οκτώ ώρες εργασίας, πέντε μέρες τη βδομάδα). Παρομοίως, το Αμερικανικό Συνέδριο Υγιεινολόγων του Κράτους και της Βιομηχανίας (American Congress of Government and Industrial Hygienist – ACGIH) ανέπτυξαν τις μέσες χρονικά σταθμισμένες τιμές κατώτατου ορίου (times weighted average threshold limit values – TWA- TLVs) οι οποίες συνοψίζονται σε έναν κατάλογο ανώτατων επιτρεπτών οδηγιών συγκεντρώσεων ρύπων για χώρους εργασίας. Συχνά τα PELs και τα TWA – TLVs είναι παρόμοια και συνήθως είναι μεγαλύτερα από εκείνα των National Ambient Air Quality Standards-NAAQSs (δείτε Πίνακα 6.1). Αυτό συμβαίνει επειδή τα πρότυπα εφαρμόζονται στους χώρους εργασίας και έχει γίνει η υπόθεση, ότι ο αέρας στο χώρο εργασίας εισπνέεται από υγιείς ενήλικους εργαζόμενους, οι οποίοι είναι ανεκτικοί σε υψηλότερες συγκεντρώσεις. Στη σύγχρονη κοινωνία, εντούτοις, αρχίζουμε να συνειδητοποιούμε, ότι η ποιότητα του αέρα εσωτερικών χώρων σε κτίρια λιανικής πώλησης και εμπορικά σχετίζεται με ολόκληρο τον πληθυσμό και έτσι τα PELs και τα TWA – TLVs θα μπορούσαν να θεωρηθούν τα σημεία εκκίνησης.

Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός ρύπων που βρέθηκε στον αέρα εσωτερικών χώρων. Γενικά, αυτοί μπορούν να ταξινομηθούν σε πέντε μεγάλες ομάδες – VOCs, ανόργανα αέρια, σωματίδια, ραδόνιο και βιολογικοί ρύποι. Παρότι βρέθηκαν περισσότεροι από 900 ρύποι, μερικοί είναι οι πιο διαδεδομένοι και είναι σε θέση να επιφέρουν πολύ μεγαλύτερο κίνδυνο από άλλους. Στην συνέχεια, θα εξεταστούν περιληπτικά μερικοί από τους σπουδαιότερους ρύπους εσωτερικών χώρων. Ο πίνακας 6.2 παρουσιάζει μερικά παραδείγματα αέριων ρύπων εσωτερικών χώρων μαζί με κατάλογο των συνηθισμένων πηγών [1,11].

Πίνακας 6.1 Σύγκριση Επιλεγμένων PELs και NAAQSs για Τρεις Ρύπους – Κριτήρια [1].

Ρύπος	8ωρη PEL	NAAQS
O ₃	0.1 ppm	0.12 ppm (1 ώρα), 0.08 ppm (8ωρο)
NO ₂	0.5 ppm	0.053 ppm (ετήσια)
CO	50 ppm	35 ppm (1 ώρα), 9 ppm (8ωρο)

Πίνακας 6.2 Παραδείγματα Αέριων Ρύπων Εσωτερικών Χώρων και οι Πηγές τους [1].

Ρύπος	Πηγές
VOCs	Χρώματα, αρωματικά χρωμάτων, αρώματα, σπρέι μαλλιών, λουστραρισμένα έπιπλα, διαλύτες καθαρισμού, χρώματα χαλιών, κόλλες, ξηρός καθαρισμός ρούχων, συσκευές αναζωογόνησης αέρα, κεριά, σαπούνια, έλαια μάνιου, μούχλες, καπνός από τσιγάρα
Φορμαλδεΐδη	Νοβοπάν, κόντρα πλακέ, καπλαμάς, κόλλες, χαλιά, μονωτικά, καύση, καπνός από τσιγάρα
CO, CO ₂ , NO _x	Θερμάστρες και φούρνοι αερίου, κεριά, τζάκια, θερμάστρες ξύλου, θερμάστρα χώρου με κηροζίνη, ανθρώπινη αναπνοή, καπνός τσιγάρου
Σωματίδια	Τζάκια, θερμάστρες ξύλου, κεριά, καπνός τσιγάρου
Ραδόνιο	Απελευθερώνεται κάτω από το έδαφος, απελευθερώνεται από τη χρήση νερού

Βιολογικοί ρύποι	Κατοικίδια ζώα, οικιακά φυτά, έντομα, μούχλες, ανθρώπινη δραστηριότητα, μαξιλάρια, κλινοστρώματα, υγρά υλικά, συστήματα HVAC ¹² , συστήματα ύγρανσης
------------------	---

6.2.1 VOCs (ΣΥΜΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΗΣ ΤΗΣ ΦΟΡΜΑΛΔΕΪΔΗΣ)

Πολυάριθμα VOCs έχουν ανιχνευθεί σε εσωτερικούς χώρους. Οι ρύποι αυτοί έχουν μεγάλο αριθμό πηγών (πίνακας 6.3). Οι άνθρωποι από μόνοι τους είναι άμεσα και έμμεσα υπεύθυνοι για πληθώρα VOCs (από ρουχισμό, αποσμητικά, σπρέι μαλλιών, αρώματα, βιολογικές λειτουργίες κλπ).

Πίνακας 6.3 Παραδείγματα VOCs και των πηγών τους σε Εσωτερικούς Χώρους [1].

Ρύποι	Πηγές
Φορμαλδεΐδη	Χαλιά, κόντρα πλακέ, νοβοπάν, έπιπλα κατασκευασμένα από συγκόλληση λεπτών φύλλων, μονωτικά, κόλλα, καύση καυσίμου, καπνός τσιγάρου
Μονο-, δι- και τρι-χλωρομεθάνιο	Διαλύτες, σπρέι αεροζόλ, ζεστό ντουζ ¹³
Τετραχλωράνθρακας	Μελάνι στυλό, φωτογραφικός εξοπλισμός, ταινίες, διαλύτες, προϊόντα από ελαστικό
Στυρένιο	Φωτοτυπικά μηχανήματα, πλαστικά, προϊόντα συνθετικού ελαστικού, ρητίνες
Τριμεθυλικό βενζόλιο	Χαρτί τοίχου, στύλος πισσόχαρτου, συγκολλητικές ουσίες, βερνίκι πατώματος
Εξάνιο	Καύσιμα, προωθητικά αεροζόλ, αρώματα, καθαριστικά, μιογία, διαλύτες
Μεθανόλη	Καθαριστικά παραθύρων, μιογίες και αραιωτικά, καλλυντικά, συγκολλητικές ουσίες, ανθρώπινη αναπνοή

Η φορμαλδεΐδη (HCHO) είναι μια πτητική οργανική ένωση, από τις πιο συχνές σε εσωτερικούς χώρους και αποτελεί ένα σοβαρό ρύπο. Η φορμαλδεΐδη εκπέμπεται από διάφορα φύλλα πλαστικού και κόλλες, από κάποιους τύπους μονωτικών αφρών και από νέα εγκατεστημένα υλικά όπως χαλιά, ξύλινες επενδύσεις από κόντρα πλακέ και ράφια και έπιπλα από νοβοπάν. Επειδή αυτή εκπέμπεται από τόσα πολλά υλικά κτισίματος και επίπλωσης, είναι συχνά πρόβλημα σε νέα κτίρια γραφείων ή σε νέο-ανεγειρόμενες κατοικίες.

Η φορμαλδεΐδη επίσης είναι σχετικά σταθερό προϊόν μη ολοκληρωμένης καύσης από κάθε ανθρακούχο καύσιμο, έτσι στις πηγές φορμαλδεΐδης περιλαμβάνονται θερμάστρες ξύλου και τζακιού, θερμάστρες φυσικού αερίου και θερμαντήρες νερού, ή θερμάστρες άνθρακα ή πετρελαίου με ελαφρές διαρροές. Τα τσιγάρα επίσης εκπέμπουν φορμαλδεΐδη. Ο

¹² Το HVAC (σύστημα θέρμανσης, αερισμού και κλιματισμού Heating, Ventilation, and Air Conditioning - HVAC) είναι ένα αρκτικόλεξο που αντιπροσωπεύει «τη θέρμανση (H), τον εξαερισμό (V) και τον κλιματισμό (AC)» και περιλαμβάνει γενικά ποικίλα ενεργά μηχανολογικά/ηλεκτρολογικά συστήματα που χρησιμοποιούνται για να επιτευχθεί ο θερμοκός έλεγχος των κτιρίων [6].

¹³ Η επεξεργασία με χλώριο του νερού ύδρευσης συχνά έχει ως αποτέλεσμα τον καθυστερημένο σχηματισμό χλωριωμένων υδρογονανθράκων μέσα στους αγωγούς ύδρευσης [1].

καπνός του τσιγάρου μπορεί να περιέχει 40 ppm φορμαλδεΐδης και ένα τσιγάρο παράγει περίπου 1 με 2 mg καπνού. Μέσα σε ένα δωμάτιο καπνιστών η συγκέντρωση της φορμαλδεΐδης μπορεί να φτάσει αρκετές δεκάδες ppm που αντιστοιχεί σε υψηλή έκθεση.

Η συγκέντρωση της φορμαλδεΐδης στα σπίτια αλλάζει με την εποχή, τα υλικά κατασκευής και τον τρόπο ζωής των ενοίκων. Αύξηση της θερμοκρασίας στα τοιχώματα της μόνωσης μέσα στο σπίτι αυξάνουν τις εκπομπές φορμαλδεΐδης, ενώ η ψύξη της μόνωσης κατά τη διάρκεια του χειμώνα περιορίζει τις εκπομπές. Κατά τη διάρκεια της άνοιξης η συγκέντρωση της φορμαλδεΐδης αυξάνει μια και η θερμοκρασία δεν έχει αυξηθεί αρκετά ώστε να ανοιχτούν τα παράθυρα. Όταν ο εξαερισμός του σπιτιού αυξάνεται, η συγκέντρωση της φορμαλδεΐδης περιορίζεται σε σχέση με τον μειωμένο εξαερισμό. Ο εξωτερικός αέρας παρουσιάζει συγκεντρώσεις μεταξύ 0,4 και 80 ppb, όπου οι υψηλότερες συγκεντρώσεις αναφέρονται σε περιβάλλοντα με αυξημένες ανθρωπογενείς εκπομπές. Στο φωτοχημικό νέφος που εμφανίζεται σε αστικά κέντρα έχουμε την παρουσία πολλών πτητικών υδρογονανθράκων, που παράγουν δευτερογενώς φορμαλδεΐδη σε συγκεντρώσεις μεταξύ 10 και 80 ppb. Η συγκέντρωση όμως της φορμαλδεΐδης είναι περισσότερο αυξημένη σε εσωτερικούς χώρους.

Η κύρια επίπτωση της φορμαλδεΐδης στην ανθρώπινη υγεία σε συγκεντρώσεις που μπορούν να βρεθούν σε εσωτερικούς χώρους είναι ο ερεθισμός των ματιών, ο οποίος συμβαίνει σε συγκεντρώσεις από 0,01 έως 2,0 ppm. Εάν οι συγκεντρώσεις φθάσουν από 5 ppm έως και 30 ppm, θα έχουμε ερεθισμό του κατώτερου τμήματος της αναπνευστικής οδού και των πνευμόνων. Οι συγκεντρώσεις φορμαλδεΐδης στο εσωτερικό των κατοικιών και των γραφείων κυμαίνονται από 0,02 έως 0,3 ppm, αν και σε κάποιες νέες κινητές κατοικίες αναφέρθηκαν υψηλές συγκεντρώσεις HCHO που φθάνουν τα 1 με 2 ppm [1,2,12].

6.2.2 ΑΝΟΡΓΑΝΑ ΑΕΡΙΑ – ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΚΑΥΣΗΣ (NO_x, CO)

Δύο σημαντικοί ρύποι που προέρχονται από πηγές καύσης είναι το CO και τα NO_x. Στους εσωτερικούς χώρους μπορεί να βρεθούν σε υψηλές συγκεντρώσεις εάν υπάρχει ελάχιστος ή καθόλου εξαερισμός για τα προϊόντα της καύσης. Συνηθισμένες πηγές CO και NO_x είναι οι θερμάστρες αερίου, οι θερμάστρες ξύλου, οι θερμαντήρες κηροζίνης, τα τζάκια αλλά και το μαγείρεμα και το κάπνισμα. Μερικές από τις υψηλότερες συγκεντρώσεις CO «εσωτερικών χώρων» συνήθως απαντώνται σε αυτοκίνητα, φορτηγά και μπλοκαρισμένα λεωφορεία σε ώρα μεγάλης κυκλοφορίας. Οδηγοί εμπορικών οχημάτων, για παράδειγμα, μπορεί να εκτεθούν σε συγκεντρώσεις CO που υπερβαίνουν σημαντικά το όριο των NAAQS (βλέπε πίνακα 6.1). Επίσης, εάν η είσοδος εξωτερικού αέρα σε ένα εμπορικό κτίριο συμβαίνει να βρίσκεται στο επίπεδο του δρόμου ή δίπλα σε σταθμό αυτοκινήτων, το CO και τα NO_x μπορεί σαφώς να έχουν αυξημένες συγκεντρώσεις μέσα στο κτίριο.

Υψηλές συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα έχουν μετρηθεί στο εσωτερικό αυτοκινήτων με τιμές που κυμαίνονται από 9 έως 56 ppm. Στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής επιστημονικές έρευνες έχουν δείξει, ότι ο λόγος της συγκέντρωσης CO μέσα σε αυτοκίνητα προς τη συγκέντρωση εξωτερικού χώρου έχει τιμή κοντά στο 4,5. Οι παγκόσμιες συγκεντρώσεις υποβάθρου μονοξειδίου του άνθρακα κυμαίνονται μεταξύ 0,06 mg/m³ και 0,14 mg/m³ (0,05 – 0,12 ppm). Σε Ευρωπαϊκές πόλεις με κυκλοφοριακό φόρτο η οκτάωρη μέση συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα είναι μικρότερη από 20 mg/m³ (17 ppm) με πιθανές αυξήσεις μικρής χρονικής διάρκειας που φθάνουν τα 60 mg/m³ (53 ppm). Η συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα εντός τροχοφόρων είναι μεγαλύτερη από αυτή του ατμοσφαιρικού αέρα. Σε υπόγεια, πολυώροφα γκαράζ αυτοκινήτων, τούνελ και άλλους κλειστούς χώρους, όπου χρησιμοποιούνται τροχοφόρα με μη επαρκή εξαερισμό των χώρων αυτών, τα μέσα επίπεδα μονοξειδίου του άνθρακα ανέρχονται σε 115 mg/m³ (100 ppm) για μερικές ώρες με στιγμιαίες αυξήσεις της συγκέντρωσης. Σε κατοικίες με παροχή αερίου οι συγκεντρώσεις του μονοξειδίου του άνθρακα είναι μεγαλύτερες από 60 – 115 mg/m³. Ο

καπνός του τσιγάρου σε κατοικίες, γραφεία, οχήματα και εστιατόρια δύναται να αυξήσει την οκτάωρη συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα σε επίπεδα 23 – 46 mg/m³.

Από έκθεση σε χαμηλές συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα προκαλείται κούραση στους υγιείς ανθρώπους και θωρακικός πόνος στους ανθρώπους με καρδιακές παθήσεις. Σε υψηλότερες συγκεντρώσεις προκαλείται εξασθένηση της όρασης, πονοκέφαλος, ίλιγγος, σύγχυση, ναυτία. Υπάρχει πιθανότητα εμφάνισης συμπτωμάτων ομοίων με αυτά της γρίπης που υποχωρούν μετά την απομάκρυνσή από το σπίτι, όπου υπήρχαν υψηλές τιμές συγκέντρωσης μονοξειδίου του άνθρακα. Σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις, οι επιδράσεις ενδέχεται να αποβούν θανατηφόρες. Τα μέσα επίπεδα στα σπίτια χωρίς εστίες αερίου ποικίλλουν από 0,5 έως 5ppm. Τα επίπεδα στον εσωτερικό χώρο που βρίσκεται δίπλα σε εστίες αερίου με καλή ρύθμιση είναι 5 έως 15 ppm και σε εστίες με κακή ρύθμιση μπορεί να είναι 30 ppm ή υψηλότερα.

Το μονοξείδιο του άνθρακα διαχέεται ταχέως στους πνεύμονες, στα τριχοειδή αγγεία και στις ζωτικές μεμβράνες. Περίπου το 80 – 90% του απορροφημένου μονοξειδίου του άνθρακα ενώνεται με την αιμογλοβίνη σχηματίζοντας την καρβοξυαιμογλοβίνη (HbCO), η οποία αποτελεί δείκτη έκθεσης σε μονοξείδιο του άνθρακα στο αίμα. Η έλξη της αιμογλοβίνης προς το μονοξείδιο του άνθρακα είναι 200 – 250 φορές μεγαλύτερη από ότι προς το οξυγόνο. Κανονικές διεργασίες μεταβολισμού παράγουν HbCO στο αίμα σε επίπεδα του 0,5 έως 1%. Συνεχής έκθεση σε 20 ppm CO οδηγεί στην παραγωγή HbCO σε επίπεδα περίπου 3% μέσα σε 4 – 5 ώρες. Το επίπεδο αυτό της HbCO είναι το κατώτερο επίπεδο, στο οποίο οι επιπτώσεις μπορούν στατιστικά να γίνουν σημαντικές σε υγιή άτομα. Σε συγκεντρώσεις 5 – 17% HbCO, οι επιπτώσεις αρχίζουν να γίνονται φανερές από μόνες τους καθώς μειώνεται η αίσθηση της όρασης και η κινητική επιδεξιότητα και η πνευματική ευτροφία (όπως η μείωση της απόδοσης στο σχολείο ή στο χειρισμό ενός οχήματος). Θα πρέπει να σημειωθεί, ότι κάποιοι άνθρωποι πεθαίνουν κάθε χρόνο από δηλητηρίαση από το CO, όταν η συσσώρευση του CO ξεπεράσει τα επιτρεπτά όρια ανθρώπινης έκθεσης σε εσωτερικούς χώρους οφείλεται σε ακατάλληλη λειτουργία θερμάστρας χώρου με κηροζίνη, σε ελαττωματικό φούρνο, σε αυτοκίνητο που λειτουργεί εν στάση μέσα σε σταθμό αυτοκινήτων ή ακόμα σε ψησταριά ξυλοκάρβουνου μέσα σε δωμάτιο με φτωχό εξαερισμό ή άλλο χώρο. Η έκθεση σε CO πρέπει να υπερβεί αρκετές χιλιάδες ppm για να προκαλέσει το θάνατο.

Τα όρια ανθρώπινης έκθεσης ανάλογα σε σχέση με το χρόνο έκθεσης, έτσι ώστε να μην υπερβεί η καρβοξυαιμογλοβίνη το επίπεδο των 2.5% στο αίμα, είναι τα ακόλουθα:

- 100 mg/m³ για 15 λεπτά
- 60 mg/m³ για 30 λεπτά
- 30 mg/m³ για 1 ώρα
- 10 mg/m³ για 8 ώρες.

Μέτρα αντιμετώπισης για την μείωση της έκθεσης στο μονοξείδιο άνθρακα είναι:

- Καλή ρύθμιση των συσκευών αερίου.
- Εγκατάσταση συστημάτων θέρμανσης με εξαερισμό.
- Κατάλληλα καύσιμα στις θερμάστρες κηροζίνης.
- Ανοικτοί αποροφητήρες, όταν οι εστίες της κουζίνας ή ο φούρνος είναι σε χρήση.
- Επιλογή εστιών που πιστοποιούνται για να ανταποκριθούν στα πρότυπα εκπομπών που δίνουν οι υπηρεσίες περιβάλλοντος. Έλεγχος καλής εφαρμογής των πορτών στις συσκευές καύσης.

- Επιθεώρηση, ρύθμιση και καθαρισμός του συστήματος κεντρικής θέρμανσης από εκπαιδευμένο επαγγελματία (φούρνοι, σωλήνες και καπνοδόχοι) ετησίως. Άμεση επισκευή διαρροών.
- Αποφυγή παραμονής του αυτοκινήτου με μηχανή ανοιχτή μέσα σε γκαράζ για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Τα υπάρχοντα δεδομένα για τις επιπτώσεις των NO και NO₂ στην υγεία είναι κάπως περιορισμένα. Το NO μπορεί να δράσει όπως το CO παρεμβαίνοντας στα επίπεδα οξυγόνου που δεσμεύει το αίμα. Δηλώθηκε ότι έκθεση σε 3 ppm NO συγκρίνεται με έκθεση σε 10 – 15 ppm CO. Το διοξείδιο του αζώτου είναι διαβρωτικό και ακόμα είναι ερεθιστικό βαθιά στους πνεύμονες, επίσης υδρολύεται σε νιτρικό οξύ όταν απορροφάται από το νερό. Ακόμα σε χαμηλές συγκεντρώσεις των 0,5 ppm, υπάρχουν επιπτώσεις στους ανθρώπους με άσθμα [1,2,11,13].

6.2.3 ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ (ΣΥΜΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΟΥ ΤΟΥ ΚΑΠΝΟΥ ΑΠΟ ΤΣΙΓΑΡΟ)

Στο εσωτερικό περιβάλλον υπάρχουν πρωτογενείς εκπομπές σωματιδίων από διάφορες δραστηριότητες όπως εργασίες στην κουζίνα, κάπνισμα, επαναιώρηση σωματιδίων από σκούπισμα ή από την κίνηση των ανθρώπων μέσα στο σπίτι αλλά και εκπομπές σωματιδίων από υλικά του σπιτιού. Σημαντική συνεισφορά στα επίπεδα των αιωρούμενων σωματιδίων αλλά και αερίων ρύπων σε εσωτερικούς χώρους αποτελεί και η διείσδυση ρύπων από το εξωτερικό περιβάλλον.

Πηγές καύσης όπως κεριά, θερμάστρες ξύλου και τζάκια εκπέμπουν επίσης μια πληθώρα ρύπων, πολλοί από τους οποίους είναι επικίνδυνοι. Η καύση ξύλου συχνά απελευθερώνει πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες (polycyclic aromatic hydrocarbons – PAHs) και ίχνη μετάλλων (εξαρτάται από την πηγή του καιγόμενου ξύλου). Ο όρος PAHs καλύπτει ένα μεγάλο αριθμό χημικών ενώσεων που έχουν δύο ή περισσότερους συμπυκνωμένους βενζολικούς δακτυλίους και είναι καρκινογόνες. Ο καπνός από τα τσιγάρα περιέχει έναν αριθμό ρύπων που περιλαμβάνουν CO, αμμωνία, υδροκυάνιο και φορμαλδεΰδη (όλα αέρια) και πίσσα, νικοτίνη, βενζο-α-πυρένιο, ορισμένα βαρέα μέταλλα (όπως το κάδμιο), φαινόλες, φθορανθένιο (όλα ως PM_{2.5}). Πολλές από αυτές τις ουσίες είναι γνωστές ή ύποπτες για καρκινογένεσις. Το κάπνισμα έχει κατακριθεί για περισσότερους από 10 εκατομμύρια θανάτους τα τελευταία 30 χρόνια. Ενώ οι καπνιστές εκούσια επιλέγουν να ρυπάνουν τα πνευμόνια τους, οι μη καπνιστές που μοιράζονται τον ίδιο εσωτερικό χώρο με τους καπνιστές δεν έχουν επιλογή. Ο καπνός πέραν της κυκλοφορίας του σε όλον τον όγκο αέρα της οικίας, του εστιατορίου, του γραφείου ή ενός χώρου αγοράς, μπορεί να εναποτεθεί σε επιφάνειες (π.χ. οι κουρτίνες) και η μυρωδιά να παραμείνει για αρκετό καιρό. Ευτυχώς, η απαγόρευση του καπνίσματος σε εσωτερικούς χώρους στις Η.Π.Α. και την Ευρώπη καθώς και η εκστρατεία των Αντικαρκινικών εταιριών ενάντια στο κάπνισμα εμφανίζεται να είναι επιτυχής και το ποσοστό των καπνιστών στον πληθυσμό μειώνεται.

Άλλα PM που βρίσκονται σε εσωτερικούς χώρους δύναται να περιλαμβάνουν σκόνες και γύρη που μεταφέρονται μέσα από τον εξωτερικό αέρα, ίνες ασβεστίου, σκόνες κατοικίδιων, σπόροι μούχλας, σκουλήκια, ίνες βαμβακιού, ζουζούνια, μαλλιά, σπιτική σκόνη, εντομοκτόνα που προέρχονται από το στέγνωμα και το καθάρισμα που γίνεται σε εσωτερικό χώρο με σπρέι για ζούφια και μόλυβδο από χρώματα που περιέχουν ως βάση μόλυβδο. Προβλήματα που σχετίζονται με τα μη καιγόμενα σωματίδια είναι εντοπισμένα με σαφήνεια. Οι επιπτώσεις στην υγεία ποικίλουν και εξαρτώνται από την ευαισθησία των ανθρώπων που εκτίθενται [1-2].

6.2.4 ΡΑΔΟΝΙΟ

Το ραδόνιο είναι ένα φυσικό ραδιενεργό στοιχείο, άγευστο, άοσμο και άχρωμο αδρανές αέριο που εκλύεται από το έδαφος στην ατμόσφαιρα ή διαλύεται στο υπόγειο νερό. Το ραδόνιο προέρχεται από τα ραδιενεργά στοιχεία ουράνιο, θόριο και ράδιο ως προϊόν της ραδιενεργούς διάσπασης τους. Η ραδιενεργός διάσπαση των ραδιονουκλιδίων ουρανίου, θορίου, ραδίου και η έκλυση ραδονίου πραγματοποιούνται με αργούς ρυθμούς και συνήθως το έδαφος απορροφά σημαντικό μέρος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας. Έτσι για χρόνια το ραδόνιο θεωρούνταν επικίνδυνο για την υγεία μόνο των εργατών ορυχείων.

Ένας από τους λόγους που οδήγησαν ώστε το ραδόνιο να θεωρείται κίνδυνος για την δημόσια υγεία εμφανίστηκε το Δεκέμβριο του 1984, όταν μηχανικός σε πυρηνικό εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Πενσυλβάνια των Ηνωμένων Πολιτειών βρέθηκε να έχει εκτεθεί σε υψηλή δόση ραδιενέργειας. Ο συναγεμός ετέθη κατά την είσοδό του στη Χριστουγεννιάτικη γιορτή του εργοστασίου. Το περίεργο στην υπόθεση αυτή ήταν, ότι ο μηχανικός έμπαινε στο εργοστάσιο και άρα η έκθεση του δεν έγινε στον εργασιακό χώρο. Έρευνες έδειξαν, ότι η έκθεση προήλθε από το σπίτι του, το οποίο είχε χτιστεί σε περιοχή με υψηλή ποσότητα ραδιενέργειας στο έδαφος. Η περιοχή περιείχε υψηλή ποσότητα από επεξεργασμένο χώμα ορυχείων ουρανίου και το επίπεδο της συγκέντρωσης του ραδονίου που ανέπνεε κάποιος στο σπίτι ήταν ισοδύναμο σε επικινδυνότητα για τη δημόσια υγεία με το κάπνισμα 100 πακέτων τσιγάρων την ημέρα.

Η εισπνοή ραδονίου και των θυγατρικών νουκλιδίων του σε εσωτερικούς χώρους είναι η κύρια οδός έκθεσης του ανθρώπου στη φυσική ραδιενέργεια του περιβάλλοντος. Η εισπνοή ραδονίου σε αέρια μορφή δεν είναι επικίνδυνη καθώς δεν προλαβαίνει να διασπαστεί και δεν απορροφάται από το σώμα (δεν διαλύεται εύκολα στα σωματικά υγρά) και εκπνέεται. Η επικινδυνότητά του έγκειται στο ότι το αδρανές αέριο ραδόνιο διασπάται σε μικρό χρόνο σε άλλα στερεά ραδιενεργά στοιχεία με πολύ μικρό χρόνο ημιζωής που λίγο μετά το σχηματισμό τους προσκολλούνται σε αιωρούμενα σωματίδια (διαστάσεων μικρού πυρήνα αλλά και σε μεγαλύτερα σωματίδια σκόνης). Αυτά τα νουκλίδια, όταν εισπνέονται μαζί με τον αέρα επικάθονται στο πνευμονικό επιθήλιο, διασπώνται μέσα στους πνεύμονες εκπέμποντας σωματίδια άλφα¹⁴ και βήτα¹⁵ και μπορεί να προκαλέσουν γενετικές βλάβες (φθορά ή μετάλλαξη στο DNA) και καταστροφή στον ιστό των πνευμόνων. Επιπλέον μέρος των νουκλιδίων απομακρύνεται και διασκορπίζεται μέσω των σωματικών υγρών σε άλλα όργανα όπως το στομάχι και το πάγκρεας. Η χρόνια έκθεση σε ραδόνιο μέσω της αναπνοής οδηγεί τελικά σε σχηματισμό όγκων και εμφάνιση καρκίνου των πνευμόνων. Στην περίπτωση κατάποσης ραδονίου ή θυγατρικών νουκλιδίων του, η μεγαλύτερη ποσότητα μεταφέρεται άμεσα από το νερό στο αίμα ενώ ένα μικρό μέρος απορροφάται από το γαστρεντερικό σύστημα και μεταφέρεται και σε άλλα όργανα του σώματος.

Το ραδόνιο ως αδρανές αέριο διαφεύγει από τα πετρώματα μέσα στο έδαφος και καταλήγει στην ατμόσφαιρα. Αυτός είναι και ο λόγος που αποτελεί και παράγοντα επικινδυνότητας σε εσωτερικούς χώρους που βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος όπως

¹⁴ Τα σωματίδια άλφα είναι σωματίδια που εκπέμπονται από τον πυρήνα των ατόμων. Τα σωματίδια άλφα αποτελούνται από δύο πρωτόνια και δύο νετρόνια. Ένα σωματίδιο άλφα είναι δηλαδή πυρήνας του στοιχείου ηλίου, τέσσερις φορές βαρύτερο του πυρήνα του υδρογόνου. Η ακτινοβολία σωματιδίων α δεν έχει μεγάλη διαπεραστική ικανότητα και ακτίνα δράσης. Συνήθως δεν διαπερνά το δέρμα και τα άτομα που εκπέμπουν α ακτινοβολία μπορούν να προκαλέσουν επιπτώσεις στην υγεία μόνο αν εισέλθουν στο σώμα μέσω της εισπνοής ή πληγών στο δέρμα. Ωστόσο η ακτινοβολία α προκαλεί μεγάλη βλάβη τοπικά στους προσβαλλόμενους ιστούς [2,4].

¹⁵ Τα σωματίδια βήτα είναι ηλεκτρόνια μεγάλης ταχύτητας που εκπέμπονται από τον πυρήνα των ατόμων. Η ακτινοβολία β έχει μέση διαπεραστική ικανότητα και ακτίνα δράσης μερικών μέτρων στον αέρα. Διαπερνά κατά μερικά χιλιοστά το δέρμα και τους ιστούς και προκαλεί μικρότερη βλάβη αλλά σε μεγαλύτερη έκταση από την ακτινοβολία α [2].

υπόγεια σπιτιών. Φυσική ραδιενέργεια από το έδαφος όπως από το ουράνιο και το ράδιο δε φτάνει σε επαφή με τον άνθρωπο μια και βρίσκεται σε μορφή ορυκτών που δεν μετακινούνται στο έδαφος. Θα μπορούσε βέβαια σε περίπτωση θρυμματισμού των πετρωμάτων αυτών να βρεθούν αιωρούμενα σωματίδια που περιέχουν ραδιενέργεια στην ατμόσφαιρα λόγω επαναιώρησης από τον άνεμο.

Το ραδόνιο μεταφέρεται στο εσωτερικό περιβάλλον με διάφορους τρόπους. Καταρχήν ραδόνιο εκλύεται από τα πετρώματα και εισέρχεται στους εσωτερικούς χώρους, όπως προαναφέρθηκε. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα έκθεσης των ανθρώπων σε ραδόνιο σε εσωτερικούς χώρους λόγω της εξάτμισης του από το νερό της βρύσης ή κατά τη διάρκεια παραμονής στο μπάνιο. Το νερό παρουσιάζει μεγάλες συγκεντρώσεις ραδονίου όταν διέρχεται από πετρώματα πλούσια σε ραδιενεργά στοιχεία. Μια μελέτη του Osborne το 1987 έχει δείξει, ότι η συγκέντρωση ραδονίου στο μπάνιο αυξάνεται κατά δύο τάξεις μεγέθους κατά τη διάρκεια χρήσης της βρύσης και τουλάχιστο μετά από 15 λεπτά. Τέλος υπάρχει δυνατότητα έκθεσης σε ραδόνιο λόγω της παρουσίας ραδιενεργών υλικών στα δομικά υλικά κατασκευής του σπιτιού.

Ο υπολογισμός της έκθεσης ενός ανθρώπου σε ραδόνιο μπορεί να γίνει με τη βοήθεια ενός μοντέλου εσωτερικών χώρων, όταν είναι γνωστές οι πηγές και οι καταβόθρες στον εσωτερικό χώρο. Άμεσος προσδιορισμός μπορεί να γίνει και με μέτρηση της ραδιενέργειας στον αέρα. Η μονάδα που χρησιμοποιείται συνήθως για τον προσδιορισμό της ραδιενέργειας είναι το Curie¹⁶ (Ci), που ορίζεται ως ο αριθμός ραδιενεργών διασπάσεων στη μονάδα του χρόνου και ισούται με 37 δισεκατομμύρια ατομικές διασπάσεις το δευτερόλεπτο ($1 \text{ Ci} = 3.7 * 10^{10}$ διασπάσεις το δευτερόλεπτο). Μια πρακτική μονάδα μέτρησης είναι το 1 pCi που ισούται με 10^{-12} Ci. Η συγκέντρωση του ραδονίου εκφράζεται σε pCi ανά λίτρο (pCi/L) ή σε pCi ανά κυβικό μέτρο (pCi/m³) και η εκπομπή του σε pCi ανά λίτρο ανά ώρα (pCi/(L*h)). Τυπικές τιμές εκπομπής ραδονίου στο εσωτερικό σπιτιών κυμαίνονται από 0,01 έως 10 pCi/(L*h). Η μέση συγκέντρωση ραδονίου μέσα σε εσωτερικούς χώρους είναι περίπου 1 pCi/L και σε εξωτερικούς χώρους 0,2 pCi/L. Έκθεση σε υψηλές τιμές ραδονίου οδηγούν σε μεγάλη αύξηση της συχνότητας εμφάνισης καρκίνου των πνευμόνων. Ασφαλής συγκέντρωση ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους για έκθεση στον άνθρωπο στη διάρκεια της ζωής του (70 χρόνια) θεωρούνται τα 4 pCi/L από την Αμερικανική Επιτροπή Περιβάλλοντος.

Η μείωση της έκθεσης του ανθρώπου σε ραδόνιο στους εσωτερικούς χώρους μπορεί να επιτευχθεί με τον κατάλληλο σχεδιασμό και κατασκευή μονωμένων – αεροστεγών κτιρίων στο επίπεδο επαφής τους με το έδαφος. Ωστόσο για τα ήδη υπάρχοντα κτίσματα η σφράγιση των ρωγμών στη βάση του κτιρίου και η εγκατάσταση συστήματος αερισμού σε υπόγεια και ισόγεια μπορεί να πετύχει σημαντική μείωση των επιπέδων ραδονίου στον εσωτερικό χώρο. Έτσι ένα κτίσμα με ιδιαίτερα συμπαγές κέλυφος χωρίς εξαερισμό θα έχει την διπλάσια συγκέντρωση ραδονίου από ένα μέσο σπίτι στην ίδια περιοχή στην περίπτωση που έχουμε τον ίδιο ρυθμό εκπομπής ραδονίου από το έδαφος. Η συγκέντρωση ραδονίου μπορεί να μειωθεί στο 75% με τετραπλασιασμό του ρυθμού εξαερισμού του χώρου με την εγκατάσταση ενός συστήματος μηχανικού αερισμού. Ακόμα με αύξηση του ρυθμού εξαερισμού κατά 8 φορές, σε αεροστεγές κτίριο, η συγκέντρωση ραδονίου ελαττώνεται κατά 90%.

Στην Ελλάδα μετρήσεις σε κατοικίες επιλεγμένων περιοχών και εργασιακών χώρων που πραγματοποιήθηκαν κατά καιρούς από διάφορα ερευνητικά εργαστήρια, έδειξαν ότι η μέση συγκέντρωση του ραδονίου στον εσωτερικό αέρα παραμένει σημαντικά χαμηλότερη από τα θεσπισμένα αποδεκτά όρια σε άλλα ευρωπαϊκά κράτη, ενώ ελάχιστοι είναι οι χώροι εκείνοι στους οποίους η συγκέντρωση του ραδονίου κυμαίνεται στα όρια λήψης παρεμβατικών μέτρων. Το γεγονός αυτό θα πρέπει να αποδοθεί κυρίως στον καλό φυσικό εξαερισμό των

¹⁶ Στην Ευρώπη χρησιμοποιείται συνήθως η μονάδα Becquerel (Bq) που είναι η ειδική ονομασία της μονάδας ραδιενέργειας στο διεθνές σύστημα μονάδων (SI) (Αποφ. ΥΠ' ΑΡΙΘ. Α2 στ/1539/1985). $1 \text{ Bq} = 1 \text{ μετάπτωση } \text{s}^{-1}$ και $1 \text{ Ci} = 3.7 * 10^{10} \text{ Bq}$ [2].

ελληνικών κατοικιών, αποτέλεσμα μιας πατροπαράδοτης υγιεινής συνήθειας των νοικοκυριών που προφανώς οφείλεται στο σχετικά θερμό κλίμα της χώρας μας [1,2,5,14,15,16].

6.2.5 ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΜΟΛΥΝΣΗΣ

Ρύποι βασισμένοι σε βιολογικούς παράγοντες (βιοαεροζόλ¹⁷) στον αέρα εσωτερικών χώρων μπορούν να είναι κάποια βιολογικά μόρια ή μικροοργανισμοί όπως μύκητες, βακτήρια, ιοί, αλλεργιογόνα¹⁸, γύρη ανθέων, τμήματα από μικροβιακά κύτταρα ή έντομα, προϊόντα μεταβολισμού διαφόρων ζώντων οργανισμών (π.χ. μυκοτοξίνες, βακτηριακές ενδοτοξίνες, περιττώματα εντόμων) κ.α. Θεωρείται ότι κάθε κυβικό μέτρο εσωτερικού ή υπαίθριου αέρα μπορεί να περιέχει χιλιάδες ή ακόμα και εκατομμύρια μικροοργανισμούς και βιολογικά μόρια.

Σε κτίρια με κεντρικό σύστημα κλιματισμού, τα εσωτερικά τοιχώματα των αγωγών (εκεί όπου επιτυγχάνεται το σημείο δρόσου και η υγρασία πλησιάζει στο 100%) μπορεί να αποτελέσουν μέρη αναπαραγωγής μούχλας και βακτηρίων. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να είναι ιδιαίτερα σοβαρό σε θερμά, υγρά κλίματα και επιδεινώνεται με την τάση εξοικονόμησης ενέργειας στο σχεδιασμό και την κατασκευή κτιρίων των τελευταίων τριάντα ετών. Αυτή η διαπίστωση ερμηνεύεται αναλυτικότερα στην επόμενη παράγραφο.

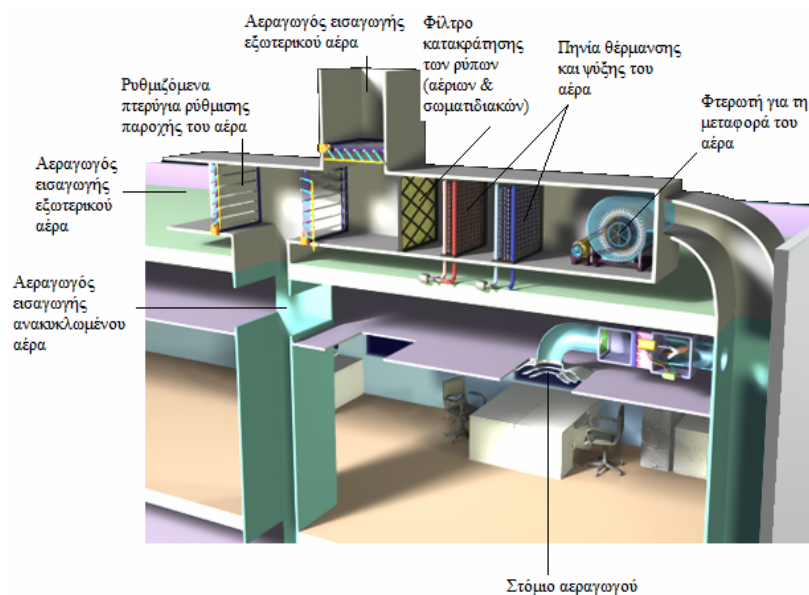
Κατά τη διάρκεια ψύξης του υγρού αέρα, το νερό συμπυκνώνεται. Στις παλαιότερες μεθόδους κλιματισμού, ο αέρας ψύχονταν πολύ περισσότερο από ό,τι χρειαζόταν για τη δημιουργία κλίματος ευφορίας, απομακρύνοντας έτσι το μεγαλύτερο μέρος του νερού. Στη συνέχεια ο αέρας θερμαίνονταν ξανά στην επιθυμητή θερμοκρασία. Στη σύγχρονη πρακτική, τα στάδια της υπερβολικής ψύξης και της αναθέρμανσης του αέρα δεν υπάρχουν, εξοικονομώντας με τον τρόπο αυτό περισσότερη ενέργεια. Εντούτοις ο ψυχόμενος αέρας που στέλνεται στο κτίριο, περιέχει περισσότερη υγρασία από ό,τι στο παρελθόν και συχνά υγραίνει τα εσωτερικά τοιχώματα των αεραγωγών, προσφέροντας έτσι ένα τέλειο μέρος για αναπαραγωγή μούχλας, μυκήτων, βακτηρίων και άλλων μικροοργανισμών.

Μια άλλη αλλαγή για εξοικονόμηση ενέργειας που χρησιμοποιήθηκε στα σύγχρονα συστήματα θέρμανσης αερισμού και κλιματισμού HVAC¹² (εικόνα 6.1) είναι η χρήση υψηλότερου ποσοστού ανακυκλωμένου αέρα (και μικρότερου ποσοστού εξωτερικού αέρα). Η αλλαγή αυτή, μαζί με τις σύγχρονες μεθόδους ψύξης, δημιούργησε προβλήματα ποιότητας αέρα εσωτερικών χώρων (Indoor Air Quality-IAQ) ή έκανε τα υπάρχοντα προβλήματα χειρότερα. Σε πολυάριθμες έρευνες «άρρωστων κτιρίων», ο έλεγχος των συστημάτων HVAC βρήκε εκατομμύρια σπόρους μυκήτων ανά τετραγωνική ίντσα στα εσωτερικά τοιχώματα των αεραγωγών που παρασύρονται από τον αέρα των κλιματιστικών στις οικίες και στα εμπορικά κτίρια. Οι άνθρωποι μπορεί να είναι αλλεργικοί στις μούχλες, στους σπόρους τους ή σε αέρια που είναι προϊόντα του μεταβολισμού τους.

Τα συμπτώματα εκδηλώνονται με φαινόμενα όπως κούραση, πονοκέφαλος, ναυτία, μυϊκοί πόνοι, πνευματική δυσκολία, συμπτώματα γρίπης ή ασφυξίας, αισθήματα ανεπαρκούς ανάσας, ερεθισμένη μύτη, καταρροή, βραχνάδα ή ξηρότητα λαιμού, βήχας, ερεθισμένα μάτια, δερματικά συμπτώματα, χέρια με ξηροδερμία, ερεθισμός δέρματος, διαταραχές στο τριχωτό μέρος της κεφαλής κ.α. χωρίς να υπάρχουν παθολογικές αιτίες. Έχει παρατηρηθεί, ότι τα συμπτώματα αυτά ξεκινούν από εργαζόμενους που η υγεία τους δεν είναι πολύ καλή και επεκτείνονται σε μικρό χρονικό διάστημα και σε υγιείς.

¹⁷ Συνήθως στη βιβλιογραφία οι βιολογικοί παράγοντες αναφέρονται και ως *βιοαεροζόλ*. Γενικά ως *βιοαεροζόλ* ορίζονται τα αιωρούμενα σωματίδια της ατμόσφαιρας (που βρίσκονται κυρίως σε στερεή ή υγρή μορφή) και έχουν βιολογική προέλευση [2].

¹⁸ Αλλεργιογόνα είναι η ονομασία που δόθηκε σε μεγάλες ομάδες διαφόρων ουσιών που προκαλούν αλλεργικές αντιδράσεις σε ορισμένους ανθρώπους. Μια αλλεργική αντίδραση είναι η εξαιρετικά υπερβολική ή ανάρμοστη απόκριση της ανοσίας και μπορεί να προκαλέσει φυσική βλάβη στον ξενιστή (οργανισμό που φιλοξενεί το παράσιτο) [1].



Εικόνα 6.1 Σύστημα HVAC [8].

απέδειξαν σαφώς πλέον, ότι το σύμπτωμα «ασθένειας των κτιρίων», προέρχεται από ανεπαρκή συντήρηση των συστημάτων εξαερισμού και κλιματισμού ή από την έλλειψη καθαρισμού των αεραγωγών. Έτσι το ίδιο σύστημα κλιματισμού – εξαερισμού, από σύστημα παραγωγής άνεσης των κτιρίων, μετατρέπεται σε πηγή συμπτωμάτων και γεννήτρια διασποράς παθογόνων μικροοργανισμών.

Η «ασθένεια των άρρωστων κτιρίων» έγινε γνωστή γύρω στο 1980, ενώ τα πρώτα κρούσματα άρχισαν να παρουσιάζονται την περίοδο της ενεργειακής κρίσης το 1970. Τότε οι τροποποιήσεις των κανονισμών Θέρμανσης – Ψύξης και Εξαερισμού, που πραγματοποιήθηκαν από διάφορους φορείς, έγιναν βιαστικά και χωρίς την μελέτη των επιπτώσεων που θα είχαν στην υγεία και μόνον με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας.

Μια από τις επαισχυντες περιπτώσεις των προβλημάτων IAQ ήταν αυτή που συνέβη κατά τη διάρκεια συνεδρίου της Αμερικανικής Λεγεώνας στη Φιλαδέλφεια το 1976, όπου 182 άτομα αρρώστησαν και 29 πέθαναν από πνευμονικό νόσημα. Η αιτία ήταν ένα βακτήριο που ανακαλύφθηκε ότι ζούσε στον πύργο ψύξης νερού¹⁹ (εικόνα 6.2) του κλιματιστικού συστήματος του ξενοδοχείου, στο οποίο έμεναν οι περισσότεροι επισκέπτες. Αργότερα μετά το συμβάν, το βακτήριο που ήταν υπεύθυνο για την νόσο, ονομάστηκε *Legionella pneumophila* και η ασθένεια έγινε γνωστή ως νόσος των *Λεγεωνάριων*. Το βακτήριο *Legionella pneumophila* είναι η κύρια αιτία ασθένειας του αναπνευστικού συστήματος και η οποία είναι υπεύθυνη για 1-13% των πνευμονολογικών περιστατικών που διαπιστώνονται στα νοσοκομεία. Αυτά τα βακτήρια μπορούν να ζήσουν εκτός του ανθρώπινου σώματος και συγκεκριμένα στο νερό μέχρι και ένα χρόνο. Πηγές της *Legionella* στον αέρα εσωτερικού χώρου βρέθηκαν σε πολύ ζεστές μανιέρες, σε υγραντήρες και εξατμιστές, σε θερμαντήρες ζεστού νερού, σε συσκευές πυρόσβεσης, σε βρύσες και σε πύργους ψύξης πολλών κτιρίων.

¹⁹ Οι πύργοι ψύξεως είναι ειδικά μηχανήματα των κεντρικών εγκαταστάσεων κλιματισμού και δεν πρέπει να συγχέονται με τις κεντρικές ψυκτικές μονάδες που ψύχουν το νερό ή τον αέρα. Συνήθως τοποθετούνται στις οροφές των κτιρίων και απαντώνται σε πολύ μεγάλες εγκαταστάσεις (δημόσια κτήρια, μεγάλα ξενοδοχειακά συγκροτήματα κλπ). Από διάφορες αναλύσεις δειγμάτων του αέρα φέρουν μάλλον την κύρια ευθύνη ανάπτυξης και εξάπλωσης της λεγιονέλας. Τα εκνεφώματα των πύργων ψύξεως μπορούν να μεταφερθούν σε απόσταση 200 έως 300 μέτρων. Είναι προφανές ότι εάν τα στόμια των μονάδων εισαγωγής νοπού αέρα στους χώρους διαβίωσης σχεδιάστηκαν πλησίον αυτών, τότε το ίδιο σύστημα του κλιματισμού μπορεί να μεταδώσει την ασθένεια! Τα τελευταία χρόνια οι πύργοι ψύξεως έχουν σχεδόν καταργηθεί για αρκετούς λόγους (ένας από αυτούς είναι και η αρκετά μεγάλη για τα σημερινά δεδομένα κατανάλωση νερού από το δίκτυο πόλης) [7].

Περίπου το 40% εκείνων που έχουν τα προαναφερόμενα συμπτώματα, είναι ανίκανοι να καθορίσουν από πότε ακριβώς έχουν ξεκινήσει τα πιο πάνω φαινόμενα, αλλά είναι σίγουροι, ότι η αιτία είναι ο αέρας που αναπνέουν στο κτίριο. Αυτό μπορούν να το αποδείξουν εμπειρικά, διότι όταν αλλάζουν περιβάλλον σε άλλα κτίρια ή στο σπίτι τους, τότε τα συμπτώματα ηρεμούν ή εξαφανίζονται.

Όλες οι ως τώρα επιστημονικές έρευνες

Ιδανικές συνθήκες θερμοκρασίας για την ανάπτυξη του βακτηρίου αυτού θεωρούνται εκείνες από 27°C έως 49°C. Θερμοκρασίες πάνω από 60°C θανατώνουν τον μικροοργανισμό αυτόν.

Οι κλιματολογικές συνθήκες που έχουν οι ψυχρότερες χώρες οδήγησαν σε ειδικές κατασκευές κτιρίων (χωρίς πολλά ανοίγματα επικοινωνίας με το περιβάλλον όπως παράθυρα, πόρτες κ.α.) με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας και ώθησαν στην κατασκευή συστημάτων κλιματισμού και εξαερισμού για να προσφέρουν στους εργαζόμενους στα κτίρια αυτά ένα τεχνητό κλίμα άνεσης χωρίς όμως αυτό να επιτυγχάνεται πάντα. Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, χώρα πρωτοπόρο στην εγκατάσταση τέτοιων συστημάτων, αποδείχθηκε, ότι μόνο το 20% των κτιρίων ήταν «υγιή», ενώ το 40% των κτιρίων χαρακτηρίστηκαν ως «συνήθως υγιή», το 20% υπέφεραν από προβλήματα άγνωστης αιτιολογίας, το 10% είχε προβλήματα γνωστής αιτιολογίας και το 10% χαρακτηρίστηκαν ως «άρρωστα κτίρια». Παρόμοια φαινόμενα παρατηρούνται σχεδόν σε όλες τις μεγάλες πόλεις του κόσμου. Στο Χονγκ Κονγκ περίπου το 1/3 των κτιρίων έχουν χαρακτηριστεί σαν «άρρωστα» με κακή ποιότητα εσωτερικού αέρα στους χώρους εργασίας αλλά και στα εμπορικά κτίρια, όπου περνούν τις ελεύθερες ώρες τους οι άνθρωποι.

Οι παράγοντες που ευνοούν την ανάπτυξη του συνδρόμου «των άρρωστων κτιρίων» είναι ενδεικτικά οι πιο κάτω:

- **Φυσικοί παράγοντες**, όπως πολύ χαμηλή ή υψηλή θερμοκρασία, πολύ χαμηλή παροχή νωπού αέρα, πολύ ξηρός ή νωπός αέρας, πολύ χαμηλός φωτισμός κ.α.
- **Χημικοί παράγοντες**, όπως οι πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs), ο καπνός του τσιγάρου, τα αιωρούμενα σωματίδια, σκόνες κ.α.
- **Βιολογικοί παράγοντες**, όπως ανάπτυξη βακτηρίων, μυκήτων κ.α.
- **Ψυχολογικοί παράγοντες**, όπως βαρύ ψυχολογικό φορτίο, εκνευρισμός κατά την εργασία, άτονη και άτολμη διαχείριση προσωπικών δεδομένων.



Εικόνα 6.2 Πύργος ψύξης [9].

Όσον αφορά την ύπαρξη του συνδρόμου των «άρρωστων κτιρίων» λόγω βιολογικών παραγόντων, έχει μελετηθεί, ότι η ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών ευνοείται ιδιαίτερα από τις συνήθεις θερμοκρασίες των εσωτερικών χώρων (20-24°C), από την ύπαρξη υγρασίας, από την άνοδο της μέσης θερμοκρασίας του περιβάλλοντος καθώς επίσης και από κλιματολογικές συνθήκες, που για μεγάλα χρονικά διαστήματα κατά τη διάρκεια του έτους έχουν υψηλή θερμοκρασία και υγρασία περιβάλλοντος (όπως π.χ. στην Ελλάδα).

Η συγκέντρωση των βιοαεροζόλ εκφράζεται σε μονάδες αποικιών ανά κυβικό μέτρο (CFU/m³) (CFU: colony forming unit). Η συγκέντρωση των βιοαεροζόλ μπορεί να κυμαίνεται από χαμηλά σχετικά επίπεδα ($\leq 10^2$ CFU/m³) π.χ. σε καθαρά δωμάτια ή χειρουργεία νοσοκομείων έως πολύ υψηλά (10^5 έως 10^{10} CFU/m³) σε μερικές βιομηχανικές και γεωργικές δραστηριότητες. Αυτές οι συγκεντρώσεις είναι προσεγγιστικές και όχι απαραίτητα αντιπροσωπευτικές λόγω της συνεχόμενης μεταβολής τους.

Το μέγεθος των βιοαεροζόλ ποικίλει και η διάμετρός τους κυμαίνεται συνήθως από 0,5 έως 30 μm (ή κατά άλλους ερευνητές από 0,01 έως 100 μm). Βιοαεροζόλ, τα οποία είναι μεγαλύτερα από 30 μm , αιωρούνται στην ατμόσφαιρα για μικρότερες χρονικές περιόδους σε σχέση με τα μικρότερα και κάποια στιγμή εναποτίθενται.

Το μέγεθος των βιοαεροζόλ καθώς και το μέγεθος των κυττάρων των μικροοργανισμών που υπάρχουν σε αυτά είναι ένας σημαντικός παράγοντας στον καθορισμό των κινδύνων που συνδέονται με μικροβιακές μολύνσεις και αερομεταφερόμενες ασθένειες.

Το μέγεθος των τριών κατηγοριών μικροοργανισμών (ακύτταροι, προκαρυωτικοί και ευκαρυωτικοί μικροοργανισμοί) που υπάρχουν, κυμαίνεται από 0,025 έως 40 μm , όπως φαίνεται και στον πίνακα 6.4.

Πίνακας 6.4 Μέγεθος μικροοργανισμών σε μm [2].

Κατηγορία	Μικροοργανισμός	Μέγεθος κυττάρων (μm)
Ακύτταροι	Ιοί (ακύτταρες οντότητες)	0,025-0,25
Προκαρυωτικοί	Βακτήρια	0,25-2
Ευκαρυωτικοί	Μύκητες, φύκη, πρωτόζωα	1-40

Οι κύριοι τρόποι ανθρώπινης έκθεσης σε αερομεταφερόμενους μικροοργανισμούς είναι μέσω της αναπνοής, της κατάποσης ή μέσω της επαφής με το δέρμα, αν και η αναπνοή είναι ο επικρατέστερος. Ένας άνθρωπος εισπνέει κατά μέσον όρο 10 m^3 αέρα περίπου την ημέρα. Όσο μικρότερο είναι ένα σωματίδιο, τόσο μεγαλύτερος είναι και ο κίνδυνος για την υγεία που περικλείει λόγω του ότι διεισδύει βαθύτερα. Τα μικρότερα σωματίδια παγιδεύονται μέσα στον ιστό των πνευμόνων και δεν αποβάλλονται εύκολα. Βιοαεροζόλ που αποτελούνται από αποσπασμένα τμήματα των κυττάρων διαφόρων οργανισμών, μπορούν να εμπεριέχουν μεγαλύτερους κινδύνους για την υγεία λόγω του ότι είναι πολύ μικρότερα από το μητρικό κύτταρο και διεισδύουν βαθύτερα στο αναπνευστικό σύστημα.

Κατά την ανθρώπινη εκπνοή απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα σταγονίδια διαμέτρου από 0,3 έως 8 μm , εκ των οποίων τα περισσότερα είναι μικρότερα από 2 μm . Επίσης βιοαεροζόλ με διάμετρο μικρότερη από 5 μm απελευθερώνονται κατά την ομιλία και σε διάφορες άλλες δραστηριότητες του ανθρώπου, όπως π.χ. κατά το φτάρνισμα, φύσημα, σφύριγμα, τραγούδι ή σκούπισμα της μύτης. Αυτού του τύπου τα βιοαεροζόλ μπορούν να μεταφερθούν μέσω της εισπνοής στους πνεύμονες ή μέσω της κατάποσης στον φάρυγγα άλλων ανθρώπων. Ερευνητές έχουν καταμετρήσει κατά το βήξιμο ή την δυνατή ομιλία απελευθέρωση σταγονιδίων με συγκέντρωση περίπου 10^5 σταγονιδίων ανά m^3 αέρα με μία μέση διάμετρο μικρότερη από 1 μm και συγκέντρωση 10^4 σταγονιδίων ανά m^3 αέρα με μία μέση διάμετρο μεγαλύτερη από 1 μm .

Για την προστασία της ατμόσφαιρας των εσωτερικών χώρων από επιβλαβείς για την υγεία βιολογικούς παράγοντες έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές αποστείρωσης του αέρα στα κτίρια. Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες μέθοδοι είναι αφενός ή χρήση φίλτρων HEPA με πολύ μικρή διάμετρο πόρων σε κλιματιστικά και αφετέρου η αποστείρωση του αέρα με τεχνικές που απενεργοποιούν τους μικροοργανισμούς χωρίς να τους θανατώνουν τελείως (π.χ. η μερική χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας). Για να είναι αποτελεσματικές πρέπει να έχουν απόδοση που να προσεγγίζει το 100%, διαφορετικά μπορούν να επιτύχουν το αντίθετο αποτέλεσμα από το αναμενόμενο. Με την μη καλά μελετημένη χρήση και την όχι σωστή συντήρηση θα μπορούσαν να δημιουργήσουν εκλεκτικές πιέσεις εμπλουτισμού ανθεκτικών στις νέες συνθήκες μικροοργανισμών στους εσωτερικούς χώρους. Η ανθεκτικότητα αυτών των αερομεταφερόμενων παθογόνων μικροοργανισμών του μέλλοντος θα μπορούσε να παρομοιαστεί με την ανθεκτικότητα πολλών μικροοργανισμών στα αντιβιοτικά. Τα φίλτρα HEPA, για παράδειγμα, αντί για αποστείρωση του χώρου, θα μπορούσαν να συμβάλουν στον εμπλουτισμό (εκλεκτική επιλογή) παθογόνων μικροοργανισμών μικρότερου μεγέθους ή μικροοργανισμών με ικανότητα ενεργής κίνησης, που δεν θα παραμένουν δεσμευμένοι στις ίνες των φίλτρων. Ιδιαίτερα ιοί, ανθεκτικοί σε στιγμιαία ψύξη στους 12°C ή στιγμιαία θέρμανση στους 50°C, θα μπορούσαν να εμπλουτιστούν με τον καιρό σε εσωτερικά

περιβάλλοντα μέσω των συστημάτων κλιματισμού, έστω και αν αυτά διαθέτουν φίλτρα λόγω του κατά πολύ μικρότερου τους μεγέθους από τις οπές των φίλτρων [1,2,7,11,17-21].

6.3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ & ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ – ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ – ΑΕΡΙΣΜΟΥ - ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ

Ως γνωστόν πλήθος είναι οι χημικές ενώσεις, οργανικές και ανόργανες καθώς και τα χημικά στοιχεία, που βρίσκονται σε αέρια μορφή ή ως αιωρούμενα σωματίδια στον εσωτερικό αέρα κτιρίων. Οι ενώσεις αυτές είτε εκπέμπονται άμεσα από τον εξοπλισμό του χώρου (επίπλωση, συσκευές μηχανήματα), τα κατασκευαστικά υλικά και τις δραστηριότητες που επιτελούνται στο χώρο, είτε εισάγονται δευτερογενώς από το εξωτερικό περιβάλλον μέσω των ανοιγμάτων του κελύφους του κτιρίου και μέσω των μηχανικών συστημάτων ρύθμισης της ποιότητας του εσωτερικού αέρα.

Ολοένα και περισσότερο τα τελευταία χρόνια γίνεται λόγος για το σύνδρομο των «άρρωστων κτιρίων» και τη νόσο των λεγεωνάριων. Χωρίς κανείς να μπορεί να αμφισβητήσει τη λειτουργικότητα των μηχανικών συστημάτων στο σύγχρονο τρόπο ζωής θα πρέπει να τονιστεί ότι τα προηγούμενα προβλήματα όπως και άλλα, σχετίζονται αποκλειστικά ή εν μέρει στη λειτουργία των συστημάτων αυτών. Επομένως, αφού η τοποθέτηση και η λειτουργία τους είναι αναπόφευκτη σε ένα δομημένο περιβάλλον όπως αυτό μιας μεγαλούπολης (ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών, υψηλές συγκεντρώσεις ρυπαντών), θα πρέπει να βρεθεί ένας τρόπος ώστε να είναι ασφαλή και ακίνδυνα. Ο τρόπος αυτός υπάρχει και είναι ο συνεχής και εμπειριστατωμένος τεχνικός έλεγχος των συστημάτων αυτών. Η αναγκαιότητα του συνεχούς τακτικού ελέγχου είναι επιτακτικότερη στην περίπτωση που το σύστημα διαθέτει υγραντήρα. Στην περίπτωση αυτή είναι πολύ πιθανό οι αεραγωγοί μέσω των οποίων γίνεται η διακίνηση του αέρα, να αποτελέσουν χώρο ανάπτυξης μικροοργανισμών στην περίπτωση που δεν υπάρχει τακτικός έλεγχος και καθαρισμός των αγωγών και των φίλτρων.

Τα συστήματα ρύθμισης της ποιότητας του εσωτερικού αέρα που υπάρχουν στην αγορά είναι διαφόρων τύπων. Αυτά ενδέχεται να διαφέρουν ως προς τη λειτουργία που επιτελούν, ως προς την απόδοσή τους, την ενέργεια που χρειάζονται κατά τη λειτουργία τους, το μέγεθος, το θόρυβο ή γενικότερα την όχληση που αυτά δημιουργούν, τη θέση στην οποία πρέπει να τοποθετηθούν, το κόστος αγοράς και συντήρησής τους, τη συχνότητα που πρέπει να υπόκεινται σε τεχνικό έλεγχο κ.α. Επομένως για την αγορά ενός τέτοιου συστήματος θα πρέπει να ληφθούν υπόψη όλες αυτές οι παράμετροι.

Πρέπει να αναφερθεί ότι ένα σύστημα – θέρμανσης – αερισμού - κλιματισμού (σύστημα HVAC – Heating, Ventilation, and Air Conditioning), περιλαμβάνει τα ακόλουθα βασικά μέρη: αεραγωγούς εισαγωγής και απαγωγής αέρα, φτερωτή για τη μεταφορά του αέρα, πηνία θέρμανσης και ψύξης του αέρα και φίλτρα κατακράτησης των ρύπων, αερίων και σωματιδιακών, κατά τη μεταφορά των αερίων μαζών μέσα από τους αεραγωγούς (εικόνα 6.1).

Ένα από τα σημαντικότερα σημεία στα οποία πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη σημασία κατά το σχεδιασμό για την τοποθέτηση τέτοιου συστήματος σε ένα χώρο, είναι το σημείο πρόσληψης αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον. Αυτό θα πρέπει να είναι το δυνατόν μακρύτερα από σημεία επιβαρημένα με ρύπους, όπως είναι για παράδειγμα η πλευρά ενός κτιρίου προς οδό με μεγάλο κυκλοφοριακό φόρτο. Επιπλέον σε πολλά τέτοια συστήματα πραγματοποιείται ανάμιξη ανακυκλωμένου αέρα από τους αεραγωγούς και του εξωτερικού αέρα. Ο λόγος ανάμιξης των δύο αυτών αερίων μαζών θα καθοριστεί από τις θέσεις εισαγωγής και επιστροφής του αέρα και τη σχέση πιέσεων που επικρατούν εντός του κτιρίου και στην περιοχή περιφερειακά του κτιρίου. Επιπλέον σε αυτή την περίπτωση το σημείο εισόδου του εξωτερικού αέρα θα πρέπει να βρίσκεται σε στεγασμένο σημείο ώστε να αποφευχθεί η εισαγωγή νερού στο σύστημα.

Ένα άλλο πολύ σημαντικό σημείο στη λειτουργία των μηχανικών αυτών συστημάτων είναι τα φίλτρα αέρα που χρησιμοποιούνται. Είναι ανάγκη προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη αποδοτικότητα των συστημάτων, τα φίλτρα να είναι απαλλαγμένα από ρύπους, σωματίδια και μικροοργανισμούς. Επιπλέον πρέπει να είναι τοποθετημένα με τρόπο ώστε να αποφεύγεται η ύπαρξη διάκενων στην περίμετρο μεταξύ των φίλτρων.

Η αποτελεσματικότητα των φίλτρων όσον αφορά στην ανάσχεση και κατακράτηση των σωματιδιακών ρύπων ποικίλει και έχει σχέση με το μέγεθος των σωματιδίων και τον τύπο του φίλτρου. Συνήθως η ανάσχεση κυμαίνεται μεταξύ 94 – 98%, ενώ η κατακράτηση ξεκινά από ποσοστά περίπου 30% και μπορεί να φτάσει πάνω από το 80%.

Όσον αφορά φίλτρα μικρής απόδοσης (μεταξύ 10 και 20%), αυτά ενώ έχουν την ικανότητα να κατακρατούν τα χονδρά σωματίδια, εν τούτοις δε μπορούν να διασφαλίσουν ότι δε θα γίνει εισαγωγή στους αεραγωγούς λεπτόκοκκων σωματιδίων, γύρης, βακτηρίων και μυκήτων. Για την αποφυγή όλων αυτών πρέπει να χρησιμοποιούνται φίλτρα αποδοτικότητας 30 – 60%.

Ένα άλλο σημαντικό σημείο στα συστήματα κλιματισμού είναι τα πηνία θέρμανσης και ψύξης του αέρα. Η σωστή λειτουργία και αποδοτικότητάς τους έχει ως αποτέλεσμα την επίτευξη του επιθυμητού στόχου, που είναι η ρύθμιση της θερμοκρασίας του εσωτερικού αέρα σε επίπεδα τέτοια που να δημιουργεί ευχάριστη αίσθηση και άνεση, δίχως όμως να επηρεάζει άλλες παραμέτρους, όπως π.χ. τη σωστή αφύγρανση του χώρου στην περίπτωση που λειτουργεί σε τακτά χρονικά διαστήματα το κλιματιστικό ψύξης.

Επιπλέον σε ορισμένες περιπτώσεις γίνεται χρήση ειδικών συσκευών των λεγομένων υγραντήρων (humidifier), ώστε να επιτύχουμε σωστά επίπεδα υγρασίας στο χώρο. Ειδικά στις περιπτώσεις εκείνες που επικρατούν στο εξωτερικό περιβάλλον συνθήκες ξηρότητας και χαμηλών θερμοκρασιών, η απουσία ύγρανσης του χώρου θα επιφέρει δυσφορία των ατόμων στο χώρο. Βέβαια η τοποθέτηση ενός τέτοιου υποσυστήματος θα πρέπει να γίνει έπειτα από προσεχτική θεώρηση για πιθανή βλάβη που μπορεί να προκληθεί στο κέλυφος του κτιρίου από την εξαναγκασμένη αυτή μεταβολή της υγρασίας. Επίσης η ύγρανση του χώρου πρέπει να γίνεται από παροχή πόσιμου καθαρού νερού, προκειμένου να αποφευχθεί η εισροή και ανάπτυξη ανεπιθύμητων μικροβιολογικών ή άλλων παραγόντων.

Να σημειωθεί ότι στην περίπτωση που δεν υπάρχει στο κτίριο σύστημα εξαναγκασμένης εναλλαγής αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον, πιθανόν να μην επαρκεί ο φυσικός αερισμός που συμβαίνει μέσω των ανοιγμάτων του κελύφους του κτιρίου ώστε να επιτευχθεί υψηλή ποιότητα του εσωτερικού αέρα. Έτσι σε ιδιαιτέρως στεγανά κτίρια ή σε χώρους με ελάχιστα ανοίγματα (π.χ. στο μπάνιο), το ποσό του εξωτερικού αέρα που εισέρχεται πιθανόν να μην επαρκεί για την ικανοποιητική ανανέωση του εσωτερικού αέρα.

Αναφορικά με τους λέβητες θέρμανσης του νερού (boilers), η θέρμανση μπορεί να γίνει είτε με την καύση κάποιου ορυκτού καυσίμου (π.χ. πετρελαίου), είτε με χρήση ηλεκτρικού ρεύματος. Στην πρώτη περίπτωση παράγονται ρύποι, μεταξύ των οποίων και ορισμένοι πολύ επικίνδυνοι για την υγεία των ενοίκων, όπως είναι για παράδειγμα το μονοξειδίο του άνθρακα. Για το λόγο αυτό πρέπει η συσκευή καύσης της πρώτης ύλης να βρίσκεται σε αρκετά καλά αεριζόμενο χώρο ώστε να μην υπάρξει συσσώρευση ρυπαντών, ανεξάρτητο του συστήματος HVAC και οι σωληνώσεις να διατηρούνται σε καλή κατάσταση, δίχως διαρροές, ώστε να αποφευχθούν πιθανώς τραγικά αποτελέσματα για τους ενοίκους. Πέραν τούτου, πολλές φορές προκειμένου να προστατευθεί από τη διάβρωση το δίκτυο των σωληνώσεων μεταφοράς του ζεστού νερού, γίνεται χρήση ορισμένων χημικών (morpholine, diethylaminoethanol κ.α.), τα οποία είναι ισχυρά ερεθιστικά. Αυτά μπορούν να επιμολύνουν τον εσωτερικό αέρα του χώρου στην περίπτωση που υπάρξει για κάποιο λόγο διαρροή στη μονάδα θέρμανσης.

Σχετικά με τη διαδικασία του αερισμού (ή εξαερισμού) ενός εσωτερικού χώρου, να αναφερθεί ότι αυτή έχει ως στόχο την επίτευξη υψηλής ποιότητας εσωτερικού αέρα, μέσω της

αραίωσης και της αφαίρεσης των ρυπαντών. Για τα περισσότερα νέα κτίρια εξαιτίας διαφόρων λόγων (π.χ. κλειστά παράθυρα, μικρά ανοίγματα) ο αερισμός πραγματοποιείται με μηχανικό τρόπο. Ανάλογα με τις απαιτήσεις σε εσωτερικό αέρα, το μέγεθος του χώρου, το πλήθος των ατόμων και τη δραστηριότητα που επιτελείται σε αυτόν, χρειάζεται και ο ανάλογος ρυθμός εναλλαγής του αέρα. Έτσι για παράδειγμα σε χώρους όπως οι καφετέριες, τα ποτοπωλεία (bars), οι χαρτοπαιχτικές λέσχες, οι αίθουσες συναυλιών, ο ρυθμός εναλλαγής του αέρα πρέπει να είναι υψηλός (περίπου 3 m^3 ανά λεπτό και άτομο). Σε άλλες περιπτώσεις ο ρυθμός αυτός πρέπει να κυμαίνεται σε πιο χαμηλά επίπεδα (π.χ. σε χώρους γραφείων σε 2 m^3 ανά λεπτό και άτομο, ενώ σε άλλα κτίρια με μικρή δραστηριότητα στο εσωτερικό τους σε $1,5 \text{ m}^3$ ανά λεπτό και άτομο).

Πολλές φορές παρατηρείται μία διαφορά στις πιέσεις εντός και εκτός του χώρου, που οφείλεται σε φυσικές ή μηχανικές δυνάμεις που δρουν εκατέρωθεν του κελύφους (π.χ. όταν ο αέρας εντός του κτιρίου είναι θερμότερος σε σύγκριση με τον εξωτερικό αέρα). Ιδανικά ένα μηχανικό σύστημα θα πρέπει να είναι σε θέση να εξουδετερώνει τις διαφορές πίεσης. Κάτι τέτοιο επιτυγχάνεται κυρίως με τη λειτουργία ανεμιστήρων που εξαναγκάζουν ρεύματα αέρα να κινηθούν προς ορισμένες κατευθύνσεις μέσα στο χώρο.

Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες μηχανικών συστημάτων που εγκαθίστανται στα κτίρια. Τέτοια είναι τα μηχανικά συστήματα σταθερού όγκου, μεταβλητού όγκου (που έχουν το πλεονέκτημα να προσαρμόζονται στις εξωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες με μικρότερη ως εκ τούτου κατανάλωση ενέργειας), υβριδικά μηχανικά συστήματα (που αποτελούν έναν συνδυασμό των δύο προηγούμενων συστημάτων) και συστήματα θερμικής αντλίας (Heat – Pump HVAC System).

Ο έλεγχος των συστημάτων κλιματισμού έγκειται κυρίως στον έλεγχο της θερμοκρασίας, μέσω ενός ή περισσοτέρων θερμοστατών και στον έλεγχο της προσλαμβανομένης από το εξωτερικό περιβάλλον ποσότητας αέρα (σε νέα συστήματα αυτή εξαρτάται και από τη θερμοκρασία και υγρασία του εξωτερικού αέρα για εξοικονόμηση ενέργειας). Επιπλέον είναι θετικό ένα σύστημα κλιματισμού να έχει τη δυνατότητα παροχής πληροφόρησης στους ενοίκους για την ποιότητα του ανατροφοδοτούμενου αέρα στο χώρο, ώστε κάθε στιγμή να είναι εύκολη η πρόσβαση σε πληροφορίες που έχουν να κάνουν με τα επίπεδα του CO_2 αλλά και άλλων ρύπων στο χώρο, την αποτελεσματικότητα του αερισμού, την μεταβολή της υγρασίας κ.α. [2,22-27].

6.3.1 ΒΟΗΘΗΤΙΚΑ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΟΥ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΑΕΡΑ

Πέραν των βασικών μερών ενός κλιματιστικού συστήματος, υπάρχουν στην αγορά μια πληθώρα υποσυστημάτων που έχουν να κάνουν με τη μεταφορά της θερμότητας στο χώρο, την ύγρανση – αφύγρανση του, αγωγούς για τη μεταφορά των αερίων ρευμάτων και συσκευές διάχυσης του αέρα στο χώρο. Επίσης ο σχεδιασμός του μηχανικού μέρους του κλιματισμού θα πρέπει να είναι τέτοιος ώστε να προβλέπει και να προλαμβάνει θορύβους που προκαλούνται κατά την εισαγωγή του αέρα από τους αγωγούς προς το χώρο κλιματισμού του αέρα.

Όσον αφορά τις συσκευές διάχυσης του αέρα, η τοποθέτησή τους στο χώρο πρέπει να γίνει κατόπιν μελέτης ώστε να ικανοποιούν τις ανάγκες εντός του κτιρίου. Έτσι είναι σημαντικό να επιλεγεί κάθε φορά το σωστό μέγεθος και ο σωστός τύπος συσκευής στο χώρο και επιπλέον να τοποθετηθεί αυτή στην πιο κατάλληλη θέση (π.χ. χαμηλά στο δάπεδο, στην οροφή).

Επιπλέον σε ένα κτίριο, όπως συμβαίνει και στη φύση, υπάρχει συνεχής μεταφορά ενέργειας στο χώρο. Μεταφορά θερμότητας πραγματοποιείται από σημεία υψηλότερης προς σημεία χαμηλότερης ενεργειακής στάθμης. Η ενεργειακή στάθμη στην οποία βρίσκεται ένα σώμα, καθορίζεται από τη θερμοκρασία και την κατάσταση (αέριο, υγρό, στερεό) που

βρίσκεται το σώμα αυτό. Για τη διατήρηση ενός ευχάριστου θερμικού περιβάλλοντος στο εσωτερικό των κτιρίων έχουν δημιουργηθεί οι λεγόμενοι εναλλάκτες θερμότητας. Είναι συσκευές που έχουν ως αποστολή τη μεταφορά και/ή την εναλλαγή θερμικής ενέργειας αναφορικά με τις διάφορες διεργασίες που επηρεάζουν το μικροπεριβάλλον στο εσωτερικό του κτιρίου.

Τέλος, όσον αφορά τους υγραντήρες ατμού που χρησιμοποιούνται για τη ρύθμιση του επιπέδου υγρασίας στο χώρο, να τονιστεί ότι θα πρέπει να διατεθούν συστήματα επεξεργασίας του νερού που χρησιμοποιούν. Τα συστήματα αυτά ενδέχεται να κάνουν χρήση ενός ή περισσοτέρων από τα ακόλουθα μέσα: φιλτράρισμα, ιοντοεναλλαγή, απορρόφηση ενεργού άνθρακα, ακτινοβολία με υπεριώδεις (UV) ακτίνες, αντίστροφη όσμωση και χρήση χημικών μέσων για την αποφυγή ανάπτυξης μικροβιακών πληθυσμών [2,28-29].

6.4 ΦΥΣΙΚΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΣ

Ο αερισμός ενός κτιρίου μπορεί να είναι είτε ελεύθερος είτε εξαναγκασμένος. Στην περίπτωση του εξαναγκασμένου αερισμού γίνεται χρήση κάποιας συσκευής ή μηχανολογικής εγκατάστασης, ενώ κατά τον φυσικό ελεύθερο αερισμό η κίνηση του αέρα από το εσωτερικό του κτιρίου προς το περιβάλλον και αντίστροφα γίνεται εξαιτίας της διαφοράς πίεσης μεταξύ των σημείων, που μπορεί να οφείλεται είτε στη διαφορά θερμοκρασίας είτε στα ρεύματα του αέρα στο χώρο.

Ο φυσικός αερισμός αποτελεί έναν εύκολο και ανέξοδο τρόπο αερισμού του εσωτερικού των κτιρίων. Πέραν της ανανέωσης του αέρα που μπορεί να γίνεται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, ιδιαίτερα την θερινή περίοδο όπου αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες ο αερισμός με φυσικό τρόπο βοηθάει να απομακρυνθεί η ανεπιθύμητη περίσσεια θερμότητας από το κτίριο. Η απομάκρυνση της περίσσειας θερμότητας γίνεται τόσο από τον αέρα στο εσωτερικό των κτιρίων, όσο και από τα δομικά υλικά και το ανθρώπινο σώμα. Ο τρόπος αυτός αποτελεί τον πιο εύχρηστο τρόπο δροσίσιμου των κτιρίων.

Να σημειωθεί ωστόσο ότι η διάρκεια, ο τρόπος και η χρονική στιγμή που θα γίνει ο αερισμός, αποτελούν σημαντικούς παράγοντες για την επίτευξη του επιθυμητού αποτελέσματος. Έτσι για παράδειγμα τις θερμές καλοκαιρινές ημέρες καλό είναι ο δροσίσιμος να πραγματοποιείται κατά την διάρκεια της νύχτας, ενώ κατά τη διάρκεια του χειμώνα νωρίς το πρωί προτού θερμανθεί το εσωτερικό του κτιρίου με κάποιον εξαναγκασμένο τρόπο (π.χ. σόμπα, τζάκι, καλοριφέρ).

Κατά τη διάρκεια θέρμανσης του κτιρίου με μέσα όπως κεντρική θέρμανση, ηλεκτρική θερμάστρα και κλιματιστικό μηχανήμα είναι ωφέλιμο να είναι κλειστά όλα τα ανοίγματα του κελύφους καθώς, σε αντίθετη περίπτωση, οι απώλειες θερμότητας είναι σημαντικές. Γενικά θα λέγαμε ότι είναι προτιμότερος ένας έντονος αλλά μικρής διάρκειας από ότι ένας συνεχής αλλά ασθενής αερισμός.

Ανάλογα με τα μέσα που χρησιμοποιούμε κάθε φορά για την επίτευξη φυσικού αερισμού διακρίνουμε δύο βασικές κατηγορίες αερισμού. Όταν ο αερισμός γίνεται από ανοίγματα του κελύφους (π.χ. παράθυρα, πόρτες) αναφερόμαστε στον λεγόμενο διαμπερή αερισμό, ενώ όταν η απαγωγή του εσωτερικού αέρα γίνεται από καμινάδες ή άλλα κατακόρυφα ανοίγματα στο κέλυφος του κτιρίου τότε μιλάμε για κατακόρυφο αερισμό.

Όσον αφορά την αποτελεσματικότητα της πρώτης μεθόδου αυτή έχει να κάνει κυρίως με την αρχιτεκτονική των ανοιγμάτων, τόσο στο κέλυφος όσο και εσωτερικά στις ενδιάμεσες τοιχοποιίες του χώρου. Τα ανοίγματα στο κέλυφος θα πρέπει να έχουν το κατάλληλο μέγεθος και τον κατάλληλο προσανατολισμό ώστε να ευνοούν την εισροή αερίων μαζών απ' έξω προς τα μέσα, λαμβάνοντας υπόψη και τη γενικότερη χωροταξία της περιοχής περιφερειακά του κτιρίου (ύπαρξη υψηλών κτιρίων και άλλων εμποδίων). Επιπλέον, τα ανοίγματα στις

εσωτερικές τοιχοποιίες πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να επιτρέπουν την κίνηση του αέρα στο εσωτερικό με στόχο την ελαχιστοποίηση της συσσώρευσης θερμικού φορτίου.

Όσο για τον δεύτερο τρόπο φυσικού αερισμού, τον κατακόρυφο αερισμό, αυτός αξιοποιεί το φαινόμενο, κατά το οποίο μια θερμή αέρια μάζα θα κινηθεί προς τα πάνω όταν ο αέρας περιβάλλοντος εξωτερικά της καμινάδας είναι ψυχρότερος. Τον ρόλο της καμινάδας μπορούν να επιτελέσουν και άλλα μέσα, όπως είναι για παράδειγμα οι φωταγωγοί των κτιρίων ή ειδικά κλιμακοστάσια στο άνω μέρος του κτιρίου.

Η ανανέωση του αέρα δε συμβάλλει μόνο στην επίτευξη της βέλτιστης θερμοκρασίας στο χώρο, αλλά βοηθάει και στην εξισορρόπηση της σχετικής υγρασίας στο χώρο. Είναι γνωστό ότι η κίνηση αέριων ρευμάτων στο κτίριο βοηθάει στην αποφυγή ανάπτυξης μούχλας στους τοίχους, ενώ σε σημεία όπως είναι για παράδειγμα αυτά πίσω από έπιπλα ή ηλεκτρικές συσκευές, εξαιτίας του μειωμένου αερισμού που δέχονται, είναι ευκολότερο να αναπτυχθούν μικροοργανισμοί (π.χ. λειχήνες, μούχλα). Αναφέρεται ότι το πηλίκο της ελάχιστης ποσότητας φρέσκου αέρα που πρέπει να εισέλθει στο χώρο ανά ώρα ως προς τον όγκο του εσωτερικού χώρου πρέπει να είναι τουλάχιστον 0,5 – 1. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι, ανάλογα με τη χρήση του χώρου, ο μισός όγκος αέρα έως και το σύνολό του θα πρέπει κάθε μία ώρα να ανανεώνεται από εξωτερικό φρέσκο αέρα [2].

6.5 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ & ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Στις περισσότερες περιπτώσεις η πρώτη θεώρηση όσων εμπλέκονται στην κατασκευή ενός κτίσματος έχει να κάνει με το κόστος αναφορικά με τις πρώτες ύλες (κόστος αγοράς, μεταφοράς και τοποθέτησής τους) που θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή αυτή. Ωστόσο πολλές φορές η επιλογή με βάση αυτή την άποψη δεν είναι πάντα η πιο σωστή καθώς, δεν λαμβάνεται υπόψη το κοινωνικό και περιβαλλοντικό κόστος, και συνήθως ούτε το κόστος συντήρησης ή αντικατάστασης αυτών των πρώτων υλών.

Μάλιστα, στην προσπάθειά τους οι σημερινοί μελετητές και κατασκευαστές κτιρίων να περιορίσουν τις απώλειες θερμότητας από το κέλυφος των κτιρίων, κατέφυγαν στη μείωση του ρυθμού εναλλαγής και ανανέωσης του εσωτερικού αέρα με φρέσκο από το εξωτερικό περιβάλλον. Με τον τρόπο αυτό, σε πολλά σύγχρονα κτίρια παρατηρούνται ιδιαίτερα υψηλές συγκεντρώσεις ρυπαντών, όπως είναι το ραδόνιο, ο αμίαντος, ο μόλυβδος, η φορμαλδεΐδη, η ακρολεΐνη, οι πολυκυκλικοί υδρογονάνθρακες και άλλες οργανικές ενώσεις, ως αποτέλεσμα της συσσώρευσης αυτών στο χώρο.

Ο κύκλος ζωής των πρώτων υλών για την κατασκευή των κτιρίων περιλαμβάνει τρία βασικά στάδια. Αυτά είναι το στάδιο πριν την κατασκευή, που περιλαμβάνει την εξόρυξη, επεξεργασία, πακετάρισμα και μεταφορά της πρώτης ύλης στον τόπο χρησιμοποίησής της, το στάδιο χρήσης της, που περιλαμβάνει την κατασκευή του οικοδομήματος, την λειτουργία και την συντήρηση αυτού και τέλος το στάδιο της εκ νέου απόρριψης των πρώτων υλών, που περιλαμβάνει την ανακύκλωση ή επαναχρησιμοποίηση του συνόλου ή μέρους αυτών για άλλους σκοπούς.

Ο τόπος προέλευσης των υλικών κατασκευής ενός κτίσματος καθώς και οι ιδιότητες αυτών, που σχετίζονται με τις πρώτες ύλες και τον τρόπο παραγωγής τους, έχουν μεγάλη σημασία στην κατανόηση της συνολικής περιβαλλοντικής επίδρασης των υλικών αυτών στον ευρύτερο χώρο περιμετρικά αλλά κυρίως εντός του κτίσματος. Επιπλέον ορισμένες πρώτες ύλες όπως αυτές που προέρχονται από την εξόρυξή τους από τον φλοιό της Γης, βρίσκονται σε πεπερασμένες ποσότητες και δεν είναι εφικτό να ανανεωθούν (π.χ. τα μέταλλα). Από την άλλη μεριά υπάρχουν και πρώτες ύλες, όπως είναι το ξύλο, οι οποίες είναι δυνατόν σε ένα ορισμένο χρονικό διάστημα, συγκρίσιμο με τον χρόνο ζωής του ανθρώπου (π.χ. για το ξύλο ο χρόνος αυτός είναι 80 περίπου χρόνια) να αναπαραχθούν.

Μετά την παραγωγή μιας πρώτης ύλης ακολουθεί η χρησιμοποίησή της. Στο στάδιο αυτό πρέπει να προσέξουμε ώστε τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή κτιρίων να είναι τα κατάλληλα, καθώς ορισμένα εξ αυτών έχει αποδειχθεί ότι είναι επικίνδυνα για την υγεία των ενοίκων (π.χ. πετρώματα από περιοχές με υψηλή συγκέντρωση ραδονίου). Ιδιαίτερα μεγάλη προσοχή θα πρέπει να δίνεται βέβαια στην περίπτωση κατασκευής σχολικών κτιρίων, βρεφονηπιακών σταθμών, κέντρων υγείας και νοσοκομείων στους οποίους διαμένουν άτομα με κάποιο αυξημένο βαθμό ευαισθησίας. Επίσης τα υλικά που θα επιλέγονται καλό είναι να έχουν μεγάλο προσδοκώμενο χρόνο ζωής και να μην χρειάζονται συχνή συντήρηση.

Σήμερα οι κατασκευαστικές εταιρίες έχουν να επιλέξουν από μια μεγάλη ποικιλία πρώτων υλών και προϊόντων για την ανέγερση ενός οικοδομήματος. Πολλά εξ αυτών των υλικών είναι επικίνδυνα για την υγεία τόσο των εργαζομένων κατά την περίοδο ανέγερσης του κτιρίου, όσο και των ενοίκων αυτού μετά την αποπεράτωση του έργου.

Ορισμένα κατασκευαστικά υλικά, όπως είναι οι συγκολλητικές ύλες, εκπέμπουν για μικρό χρονικό διάστημα, κυρίως κατά τη φάση χρησιμοποίησής τους επικίνδυνες χημικές ενώσεις, ενώ άλλα συνεχίζουν να εκπέμπουν χημικές ενώσεις και σωματίδια για μεγάλα χρονικά διαστήματα που ενδέχεται να φτάνουν από ορισμένα έτη ή δεκαετίες, μέχρι και τον συνολικό χρόνο ζωής του υλικού. Η φορμαλδεΐδη, οι βενζολικές και άλλες πτητικές ή ημιπτητικές οργανικές ενώσεις που υπάρχουν σε πολλά υλικά κατασκευών, οι ρητίνες στα κοντραπλακέ, τα νοβοπάν (ξύλινες πλάκες κατασκευασμένες από μικρά κομμάτια ξύλου), καθώς και τα χημικά που χρησιμοποιούνται στους αφρούς μόνωσης, φαίνεται να συνεισφέρουν στο λεγόμενο «σύνδρομο των άρρωστων κτιρίων».

Επομένως καλό είναι να αποφεύγεται η χρήση πρώτων υλών που περιέχουν τέτοιες επικίνδυνες χημικές ενώσεις. Έτσι για παράδειγμα καλό είναι τα χρώματα και βερνίκια που χρησιμοποιούνται να είναι υδατοδιαλυτά και να έχουν την ειδική σήμανση ότι πρόκειται για οικολογικά προϊόντα (ecolabel). Ακόμα να αποφεύγεται η χρήση μοκετών ή άλλων υλικών που απορροφούν οργανικές ενώσεις και τις επανεκπέμπουν αργότερα στο εσωτερικό περιβάλλον του κτιρίου, ή η χρήση γρανιτών, πετρωμάτων που παρουσιάζουν αυξημένη εκπομπή ραδιενεργών ισότοπων. Επίσης οι φορμαίκες και τα κοντραπλακέ, στην περίπτωση που χρησιμοποιηθούν, ενδείκνυται να καλύπτονται με κάποιο άλλο υλικό ώστε να μην εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα οι πτητικές οργανικές ενώσεις που περιέχονται σε αυτά.

Ανακεφαλαιώνοντας και συνοψίζοντας θα λέγαμε ότι τα πλέον επικίνδυνα οικοδομικά υλικά είναι τα συνθετικά υλικά (πολυμερή), όπως το πολυαιθυλένιο, οι πολυεστέρες, το πολυστυρόλιο, το βενζόλιο, οι πολυουρεθάνες, οι χλωροφθοράνθρακες, οι σιλικόνες, το πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC), τα πολυακρυλικά, οι εποξεικές ρητίνες, οι βαφές και τα χρώματα, τα διαλυτικά, τα υλικά βαφών, οι χρωστικές ουσίες, οι κόλλες, τα συντηρητικά ξύλου, η πενταχλωροφαινόλη, τα πολυχλωριωμένα φουράνια, καθώς και άλλες οργανοχλωριωμένες ενώσεις ή οργανικές ενώσεις του κασσιτέρου, φθαλικές ενώσεις, το κάδμιο, ο μόλυβδος, το χρώμιο και ο αμιάντος.

Στη θέση των υλικών αυτών μπορούν να χρησιμοποιηθούν άλλα, περισσότερο οικολογικά και φιλικά με το περιβάλλον, όπως είναι το ξύλο, ο πυλός, το γυαλί, η πέτρα και η άμμος. Σε κάθε περίπτωση όμως είναι πολύ σημαντικό, ο καθημερινός αερισμός του κτιρίου να είναι επαρκής ώστε να ανανεώνεται ο αέρας και να μην συσσωρεύονται οι ρύποι του κτιρίου [2].

6.6 ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗΣΗ & ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Η οικολογική δόμηση είναι ένας νέος τρόπος κατασκευής, ο οποίος αντιμετωπίζει το υπό κατασκευή ή αναπαλαίωση κτίριο ολιστικά. Έχει ως στόχο το κατασκευαστικό αποτέλεσμα να είναι λειτουργικό και συμβατό (αισθητικά και υλικά) με το περιβάλλον του (άνεμος, προσανατολισμός, θέα, παραδοσιακή αρχιτεκτονική και υλικά). Με την οικολογική δόμηση γίνεται για πρώτη φορά μετά την εξάπλωση του οπλισμένου σκυροδέματος μια προσπάθεια

ώστε να αντικατασταθεί εκ νέου αυτό, όπως και άλλα υλικά όπως ορυκτά (π.χ. αμίαντος) και συνθετικά υλικά, με φυσικά, φιλικά στον άνθρωπο και το περιβάλλον.

Η βιοκλιματική αρχιτεκτονική χρησιμοποιεί οικολογικά υλικά και πραγματοποιεί τον σχεδιασμό των κτιρίων με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη εκμετάλλευση της θέσης του κτιρίου σε σχέση με τις κλιματολογικές παραμέτρους της περιοχής. Συχνά κάνει χρήση, όπου είναι εφικτό, των τεχνικών παθητικού δροσισμού, των συστημάτων φυσικού εξαερισμού και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Για την βιοκλιματική αρχιτεκτονική είναι σημαντικό να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή θερμική προστασία του κελύφους τη χειμερινή περίοδο, με μείωση των απωλειών από αγωγιμότητα και διείσδυση αέρα. Έτσι ανάλογα με την τοιχοποιία του κτίσματος θα πρέπει να τοποθετείται και το ανάλογο πάχος θερμομόνωσης (από 4 μέχρι 8 εκατοστά). Επίσης σημαντικό είναι να χρησιμοποιούνται κουφώματα με διπλούς υαλοπίνακες διακένου 12 mm ώστε να μειωθούν οι απώλειες θερμότητας από τη διείσδυση του εξωτερικού αέρα.

Το μέγεθος, η θέση και το σχήμα των ανοιγμάτων του κελύφους ενός κτιρίου καθορίζουν επίσης σε σημαντικό βαθμό το μέγεθος της ενεργειακής ανταλλαγής υπό μορφή θερμότητας μεταξύ των ηλιακών ακτίνων και του κτίσματος. Βοηθάει επίσης η αύξηση του ποσοστού των διαφανών προς τις αδιαφανείς εξωτερικές τοιχοποιίες για μεγαλύτερες ηλιακές προσόδους. Ιδιαίτερα όσον αφορά τις γυάλινες επιφάνειες θα πρέπει να έχουν στραφεί προς το νότο για την επίτευξη του βέλτιστου θερμικού αποτελέσματος. Τέλος, σημαίνοντα ρόλο στο σχεδιασμό και την κατασκευή ενός ενεργειακά αποδοτικού κτιρίου παίζει και το χρώμα βαφής της τοιχοποιίας εσωτερικά και εξωτερικά, το υλικό της βαφής αυτής και η αφή του σοβά ή του μπετόν, πάνω στην οποία θα εφαρμοστεί το χρώμα.

Στα νέα κατασκευαστικά υλικά που έχουν βρει εφαρμογή και που έχουν ως στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας ανήκουν και οι λεγόμενοι ηλιακοί τοίχοι. Αυτοί αποτελούνται από υαλοπίνακες (μονής ή διπλής επιφάνειας) που τοποθετούνται σε μικρή απόσταση (περί των 10 εκατοστών) μπροστά από την τοιχοποιία. Οι ηλιακοί τοίχοι με τη βοήθεια των υαλοπινάκων και την κατάλληλη τοποθέτησή τους στο χώρο έχουν την δυνατότητα κατά τη διάρκεια του χειμώνα να συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία και μέσω θυρίδων στο άνω και κάτω μέρος της τοιχοποιίας να την μεταφέρουν στο εσωτερικό του κτιρίου θερμαίνοντας το. Το καλοκαίρι η λειτουργία του συστήματος αλλάζει και αντί ο θερμαινόμενος αέρας μεταξύ υαλοπινάκων – τοιχοποιίας να οδηγηθεί εντός του κτιρίου μέσω των θυρίδων στο άνω και κάτω μέρος της τοιχοποιίας, αυτός μέσω ανοιγμάτων που υπάρχουν στο ανώτερο μέρος των υαλοπινάκων οδηγείται προς το εξωτερικό περιβάλλον συμβάλλοντας με τον τρόπο αυτό στην ψύξη του χώρου εσωτερικά [2].

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] C. David Cooper, F.C. Alley, 2004. *Έλεγχος Αέρας Ρύπανσης. Σχεδιασμός αντιρρυπαντικής τεχνολογίας*. Εκδόσεις ΤΣΙΟΛΑ. Θεσσαλονίκη.

[2] Μιχάλης Λαζαρίδης, 2008. *Ποιότητα Αέρα σε εσωτερικούς χώρους*. Εκδόσεις ΤΣΙΟΛΑ Θεσσαλονίκη.

[3] Enet, ΕΛΕΥΘΕΡΟΤΥΠΙΑ 25/10/2006, Κτίρια – Θάλαμοι αερίων [online]. Διαθέσιμο από: http://archive.enet.gr/online/online_text/c=112,dt=25.10.2006,id=75477996 [προσβάσιμο στις 28 Νοεμβρίου 2009]

- [4] Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας [online]. Διαθέσιμο από: http://www.eeae.gr/gr/index.php?fvar=html/president/info_characteristics [προσβάσιμο στις 12 Μαρτίου 2010]
- [5] Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας [online]. Διαθέσιμο από: http://www.eeae.gr/gr/index.php?fvar=html/president/info_natural_inside [προσβάσιμο στις 12 Μαρτίου 2010]
- [6] ΚΕΝΤΡΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ. Οδηγός εξοικονόμησης ενέργειας στα συστήματα HVAC [online]. Διαθέσιμο από: http://www.cres.gr/kape/education/ODHGOS_HVAC.pdf [προσβάσιμο στις 13 Μαρτίου 2010]
- [7] Βαρβαγιάννης Γιώργος. Ποιότητα αέρα εσωτερικών χώρων [online]. Διαθέσιμο από: <http://www.gvarv.gr/edu/IAQ.pdf> [προσβάσιμο στις 16 Οκτωβρίου 2009]
- [8] LEARN HVAC. Learning about HVAC was never so easy. [online]. Διαθέσιμο από: <http://www.learnhvac.org/> [προσβάσιμο στις 5 Απριλίου 2010]
- [9] ΔΕΛΤΑ ΤΕΧΝΙΚΗ. ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ, ΠΡΟΪΟΝΤΑ & ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ [online]. Διαθέσιμο από: http://www.deltatechniki.gr/decsa_new.htm [προσβάσιμο στις 7 Απριλίου 2010]
- [10] US Department of Energy (US DOE) (1998). BTS Core Data Book. Prepared for the Office of Building Technology. State and Community Programs. DOE, Washington DC.
- [11] Hays, S. M., Gobbel, R.V., and Ganick, N. R. Indoor Air Quality – Solutions and Strategies. New York: McGraw Hill, 1995.
- [12] Godish, T. Air Quality. Chelsea, MI: Lewis Publishers, 1985.
- [13] Chan, C.C., Ozkaynak, H., Spengler, J.D. και Shelton, L. (1991). Driver exposure to volatile organic compounds, CO, Ozone and NO₂ under different driving conditions. Environmental Science & Technology 25, 694-972.
- [14] Cohen, B.S. (2001). Radon and Its Short-Lived Decay Product Aerosols Indoor, pp. 1011-1030. Περιλαμβάνεται στο βιβλίο: Aerosol Measurement: Principles Techniques and Applications. Baron, P.A. και Willeke, K. (Εκδότες). Wiley InterScience Inc., New York, pp.1131.
- [15] Turco, R.P. (2002). Earth Under Siege. From Air Pollution to Global Change. Oxford University Press, New York, pp.530.
- [16] Osborne, M.C. (1987). Four common diagnostic problems that inhibit radon mitigation. J. Air Pollution Control Association 37, 604-606.
- [17] Lighthart, B. (1994). Physics of microbial aerosols, pp. 5-27. Περιλαμβάνεται στο βιβλίο: Lighthart, B. και Mohr, A.J. (Εκδότες). Atmospheric Microbial Aerosols, Theory and Applications. Springer, New York, pp.408.

- [18] Lynch, J.M. και Poole, N.J. (1979). Aerial dispersal and the development of microbial communities, pp. 140-170. Περιλαμβάνεται στο βιβλίο: Lynch, J.M. και Poole, N.J. (Εκδότες). *Microbial Ecology: a Conceptual Approach*. John Wiley & Sons Inc, New York, pp. 266.
- [19] Slote, L. (1976). Viral aerosols-a potential occupationally related health threat in aerated wastewater treatment systems. *J. Environmental Health* 38, 310-314.
- [20] Brown, J.H., Cook, K.M., Ney, F.G. και Hatch, T. (1950). Influence of particle size upon the retention of particulate matter in the human lung. *American J. Public Health* 40, 450-458.
- [21] Papineni, R.S. και Rosenthal, F.S. (1997). The size distribution of droplets in the exhaled breath of healthy human subjects. *J. Aerosol Medicine* 10, 105-116.
- [22] Farr Company (1992). *Filtration and Indoor Air Quality: A Two-Step Design Solution*. Farr Co, El Segundo CA.
- [23] Morey, P.R. (1998). Microorganisms in buildings and HVAC systems: A summary of 21 environmental studies. *Engineering solution to indoor air problems. Proceedings of the ASHRAE Conference IAQ '88*. Atlanta GA.
- [24] ASHRAE (1989). *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc., Atlanta GA.
- [25] Spengler, J.D., Samet, J.M. και McCarthy, J.F. (2000). *Indoor Air Quality Handbook*. McGraw-Hill, New York, pp.1488.
- [26] Bearg, D. (1998a). Improving indoor air quality through the use of continual multipoint monitoring of carbon dioxide and dew point. *American Industrial Hygienist Association J.* 59(9), 636-641.
- [27] Bearg, D. (1998b). Commissioning and Indoor Air Quality. *Proceeding of the 6th National Conference on Building Commissioning (May 18-20)*. Energy Conservation Inc., Portland OR.
- [28] Nevins, R.G. (1976). *Air Diffusion Dynamics. Theory. Design. And Application*. Business News Publishing Co., Birmingham MI.
- [29] Barbaree, J.M., Breiman, R.G. και Dufour, A.P. (Εκδότες) (1993). *Legionella: Current Status and Emerging Perspectives*. American Society for Microbiology, Washington DC, pp. 240.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

7.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Σ ’ αυτή την πτυχιακή εργασία μελετήθηκε η αντοχή των αερομεταφερόμενων μικροοργανισμών εσωτερικού και εξωτερικού χώρου στα αντιβιοτικά. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο χώρο του Παραρτήματος Χανίων του ΤΕΙ Κρήτης. Για την μελέτη της ανθεκτικότητας αυτών των μικροοργανισμών πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες τόσο στο εξωτερικό περιβάλλον (προαύλιο του ΤΕΙ) ως σημείο αναφοράς όσο και σε εσωτερικούς χώρους (στη βιβλιοθήκη, σε γραφείο 5 ατόμων και σε γραφείο 2 ατόμων του τμήματος Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος του ΤΕΙ Κρήτης).

Ο εξωτερικός χώρος (προαύλιο) ήταν πλακόστρωτος περιβαλλόμενος μερικά από παρτέρια με φυτά και προστατευόμενος από 3 πλευρές από γειτονικά κτίρια. Ο αυτοκινητόδρομος είχε απόσταση περίπου 80 μέτρα. Οι εσωτερικοί χώροι αερίζονται με φυσικό αερισμό μέσω παραθύρων και πορτών. Τα χαρακτηριστικά των εσωτερικών χώρων αναφέρονται στην συνέχεια. Ο χώρος του αναγνωστηρίου της βιβλιοθήκης, ο οποίος επιλέχθηκε σαν σημείο δειγματοληψίας, είχε διαστάσεις 14 x 6 μέτρα και συνδεόταν με ένα δεύτερο χώρο μέσω μίας ανοιχτής διπλής πόρτας (120 x 200 εκ). Το γραφείο των 5 ατόμων είχε διαστάσεις 6,5 x 3 μέτρα, ενώ το γραφείο των δύο ατόμων είχε διαστάσεις 4 x 2,5 μέτρα. Τα όργανα μέτρησης ήταν τοποθετημένα επάνω σε καθαρές επιφάνειες γραφείων, έτσι ώστε να μετρηθούν οι παράμετροι στο επίπεδο της ανθρώπινης έκθεσης των εργαζομένων ή/και των φοιτητών που μελετούσαν στον χώρο του αναγνωστηρίου της βιβλιοθήκης.

Πραγματοποιήθηκαν συνολικά 18 δειγματοληψίες, στις οποίες προσδιορίστηκε η ανθεκτικότητα στα αντιβιοτικά των βακτηρίων και των μυκήτων. Επίσης μετρήθηκαν στους χώρους αυτούς η συγκέντρωση μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων της ατμόσφαιρας (PM₁₀, PM_{2.5} και PM₁). Επιπλέον παράμετροι που μετρήθηκαν σ’ αυτούς τους χώρους είναι η **ταχύτητα του αέρα**, η **θερμοκρασία**, η **σχετική υγρασία** και η **ροή του αέρα** από πόρτες και παράθυρα στους εσωτερικούς χώρους.

Για την καλλιέργεια των μικροοργανισμών παρασκευάστηκαν θρεπτικά υποστρώματα: Για την ανάπτυξη των βακτηρίων χρησιμοποιήθηκε το θρεπτικό υπόστρωμα Tryptone Soy Broth ενώ για την ανάπτυξη των μυκήτων χρησιμοποιήθηκε το θρεπτικό υπόστρωμα Malt Extract Broth. Τέλος οι 5 αντιβιοτικές ουσίες που τοποθετήθηκαν στα υποστρώματα καλλιέργειας για την μελέτη αντοχής αυτών των μικροοργανισμών στα αντιβιοτικά είναι: **Στρεπτομυκίνη**, **Τετρακυκλίνη** και **Αμπικιλίνη** για τα βακτήρια και **Κυκλοεξιμίδιο** και **Νυστατίνη** για τους μύκητες.

7.2 ΘΡΕΠΤΙΚΑ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΑ

Μικροβιολογικό θρεπτικό υπόστρωμα είναι κάθε υγρό ή στερεό μέσο, το οποίο μπορεί να καλύψει τις θρεπτικές ανάγκες ενός μικροβιακού κυττάρου. Περιέχει απαραίτητα: νερό, πηγή άνθρακα, πηγή ενέργειας, πηγή αζώτου και πηγή αλάτων. Συχνά η πηγή άνθρακα και η πηγή αζώτου εξυπηρετείται από την ίδια χημική ουσία.

Κάθε θρεπτικό υλικό το οποίο προορίζεται για την αύξηση μικροοργανισμών στο εργαστήριο καλείται υπόστρωμα καλλιέργειας. Τα θρεπτικά υποστρώματα διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες οι οποίες αναφέρονται παρακάτω:

Κατηγορία 1: ως προς τη χημική σύσταση (γνωστή ή άγνωστη).

a) Χημικώς ορισμένα θρεπτικά υποστρώματα ή συνθετικά υποστρώματα.

- b) Σύνθετα ή εμπειρικά θρεπτικά υποστρώματα.** Άλλοι όροι που χρησιμοποιούνται για την ίδια κατηγορία είναι: **πολύπλοκα ή φυσικά υποστρώματα.** Η σύσταση αυτών είναι άγνωστη. Τέτοια υποστρώματα είναι χρήσιμα γιατί είναι πλούσια σε θρεπτικά συστατικά και συνήθως καλύπτουν τις θρεπτικές απαιτήσεις πολλών διαφορετικών μικροοργανισμών. Κυρίως είναι εύχρηστα όταν δεν είναι γνωστές οι εξειδικευμένες θρεπτικές απαιτήσεις των μικροοργανισμών που μελετώνται διότι είναι δύσκολο να κατασκευαστεί ένα χημικώς ορισμένο θρεπτικό υπόστρωμα για κάποιο συγκεκριμένο μικροοργανισμό. Τέτοια φυσικά ή εμπειρικά υποστρώματα είναι οι πεπτόνες, το εκχύλισμα κρέατος, το εκχύλισμα ζύμης κ.α. Κοινά εμπειρικά θρεπτικά υποστρώματα είναι ο θρεπτικός ζωμός (Nutrient Broth), ζωμός τρυπτόνης-σόγιας (Tryptone Soy Broth) και το άγαρ MacConkey.

Κατηγορία 2: ως προς το είδος των μικροοργανισμών που αναπτύσσονται σ' αυτά

- a) Εκλεκτικά θρεπτικά υποστρώματα.** Είναι εκείνα τα θρεπτικά υποστρώματα, τα οποία ευνοούν την αύξηση συγκεκριμένων μικροοργανισμών.
- b) Διαγνωστικά θρεπτικά υποστρώματα.** Είναι εκείνα τα θρεπτικά υποστρώματα, στα οποία είναι δυνατός ο διαχωρισμός ανάμεσα σε διαφορετικές ομάδες, είδη μικροοργανισμών και επιτρέπουν ένα στοιχειώδη προσδιορισμό, ο οποίος βασίζεται στα φυσιολογικά χαρακτηριστικά.

Κατηγορία 3: ως προς το αν υποστηρίζεται περισσότερο η αύξηση των βακτηρίων ή των μυκήτων.

- a) Βακτηριολογικά θρεπτικά υποστρώματα.**
- b) Μυκητολογικά θρεπτικά υποστρώματα.**

Κατηγορία 4: ως προς το αν είναι υγρά ή στερεά.

Στερεά θρεπτικά υποστρώματα. Τα θρεπτικά υποστρώματα λόγω της χημικής τους σύστασης είναι συνήθως υγρά διαλύματα. Για τη στερεοποίηση των υγρών θρεπτικών υποστρωμάτων, με σκοπό την επιφανειακή καλλιέργεια των μικροοργανισμών, γίνεται προσθήκη 1 έως 2% (με συνηθέστερη συγκέντρωση 1,5%) άγαρ. Το άγαρ είναι ένα θειικό πολυμερές, το οποίο αποτελείται από D-γαλακτόζη, 3,6-άνυδρη-Lγαλακτόζη και γλυκουρονικό οξύ. Συνήθως εκχειλίζεται από ερυθροφύκη, στερεοποιείται σε θερμοκρασία 40-42 °C και έχει τη δυνατότητα επανυγροποίησής του σε θερμοκρασία 80-90 °C. Ένα επιπλέον πλεονέκτημά του είναι ότι οι περισσότεροι μικροοργανισμοί δεν μπορούν να το αποικοδομήσουν. Υπάρχουν και άλλοι στερεοποιητικοί παράγοντες όπως το silica gel. Αυτό χρησιμοποιείται για την αύξηση αυτότροφων βακτηρίων απουσία οργανικών ενώσεων.

Κατηγορία 5: ως προς το αν υποστηρίζεται η αύξηση των αναερόβιων μικροοργανισμών.

Κατηγορία 6: θρεπτικά υποστρώματα εμπλουτισμού

Όταν στόχος μας είναι η απομόνωση κάποιου συγκεκριμένου είδους μικροοργανισμού, το οποίο βρίσκεται σε χαμηλή πληθυσμιακή συγκέντρωση στο φυσικό του περιβάλλον είναι απαραίτητη η χρήση **θρεπτικών υποστρωμάτων εμπλουτισμού.** Συνήθως αυτά τα υποστρώματα ευνοούν την αύξηση του συγκεκριμένου είδους, άρα είναι εκλεκτικά, και όχι των άλλων ατόμων του μικτού πληθυσμού.

Κατηγορία 7: θρεπτικά υποστρώματα για μικροβιολογικές βιοδοκιμές.

Συγκεκριμένοι μικροοργανισμοί δείκτες χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης αντιβιοτικών, βιταμινών κ.λ.π. σε διάφορα υποστρώματα.

Κατηγορία 8: Θρεπτικά υποστρώματα για τον προσδιορισμό και ταυτοποίηση των μικροοργανισμών [1].

7.3 ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ

Tryptone Soy Broth & Agar

Για τη δημιουργία αυτού του υποστρώματος καλλιέργειας ζυγίζουμε 2,1 gr Tryptone Soy Broth, τα οποία τα προσθέτουμε σε 70 ml απιονισμένο νερό. Μετά από καλή ανάδευση μέχρι να διαλυθεί το Tryptone Soy Broth προσθέτουμε 1,05 gr Agar (βλέπε παράγραφο 7.2 την κατηγορία 4). Στη συνέχεια τοποθετούμε το υπόστρωμα καλλιέργειας σε προθερμασμένο κλίβανο αποστείρωσης και το αποστειρώνουμε στους 121 °C και πίεση 1.2 bar για 15 λεπτά. Μετά την αποστείρωση περιμένουμε να μειωθεί η θερμοκρασία του υποστρώματος καλλιέργειας (όχι κάτω από τους 40 °C) έτσι ώστε να μπορούμε να προσθέσουμε σ' αυτό κάτω από αποστειρωμένες συνθήκες μία από τις 3 αντιβιοτικές ουσίες (*Στρεπτομυκίνη* ή *Τετρακυκλίνη* ή *Αμικικιλίνη*), οι οποίες έχουν πριν διηθηθεί με αποστειρωμένα φίλτρα, χωρίς να υπάρχει μεγάλος κίνδυνος να αλλοιωθεί η δράση της αντιβιοτικής αυτής ουσίας. Με τον ίδιο τρόπο παρασκευάζουμε και τα υπόλοιπα υποστρώματα καλλιέργειας. Δηλαδή ένα υπόστρωμα καλλιέργειας για κάθε αντιβιοτική ουσία.

Τοποθετούμε τα υποστρώματα καλλιέργειας σε αποστειρωμένα τρυβλία (εικόνα 7.1.α) με τα οποία πραγματοποιούμε την δειγματοληψία. Μετά την δειγματοληψία επωάζουμε τα τρυβλία για τα βακτήρια στους 37 °C για 48 ώρες. Τέλος καταγράφουμε τον αριθμό αποικιών ανά κυβικό μέτρο αέρα (cfu/m³) για κάθε τρυβλίο.

Malt Extract Broth & Agar

Για τη δημιουργία αυτού του υποστρώματος καλλιέργειας ζυγίσουμε 1,4 gr Malt Extract Broth, τα οποία τα προσθέτουμε σε 70 ml απιονισμένο νερό. Μετά από καλή ανάδευση μέχρι να διαλυθεί το Malt Extract Broth προσθέτουμε 1,05 gr Agar (βλέπε παράγραφο 7.2 την κατηγορία 4). Στη συνέχεια τοποθετούμε το υπόστρωμα καλλιέργειας σε προθερμασμένο κλίβανο αποστείρωσης και το αποστειρώνουμε στους 121 °C και πίεση 1.2 bar για 15 λεπτά. Μετά την αποστείρωση περιμένουμε να μειωθεί η θερμοκρασία του υποστρώματος καλλιέργειας (όχι κάτω από τους 40 °C) έτσι ώστε να μπορέσουμε να προσθέσουμε σ' αυτό μία από τις 2 αποστειρωμένες με διήθηση μυκητοκτόνες ουσίες (*Κυκλοεξιμίδιο* ή *Νυστατίνη*) χωρίς να υπάρχει μεγάλος κίνδυνος να αλλοιωθεί η δράση της αντιβιοτικής αυτής ουσίας. Με τον ίδιο τρόπο παρασκευάζουμε και το δεύτερο υπόστρωμα καλλιέργειας για τη δεύτερη μυκητοκτόνο ουσία.

Τοποθετούμε τα υποστρώματα καλλιέργειας σε τρυβλία (εικόνα 7.1.α), με τα οποία πραγματοποιούμε την δειγματοληψία. Μετά την δειγματοληψία επωάζουμε τα τρυβλία για τους μύκητες στους 20 °C για 72 ώρες. Τέλος καταγράφουμε τον αριθμό αποικιών ανά κυβικό μέτρο αέρα (cfu/m³) για κάθε τρυβλίο.

7.3.1 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΑΝΤΙΒΙΟΤΙΚΩΝ

Αρχικά παρασκευάστηκαν μητρικά διαλύματα αντιβιοτικών και μυκητοκτόνων, τα οποία αποστειρώθηκαν με διήθηση χρησιμοποιώντας αποστειρωμένα φίλτρα με διάμετρο πόρων 0,2 μm. Ποσότητα αυτών των μητρικών διαλυμάτων προστέθηκε κάτω από αποστειρωμένες



Εικόνα 7.1 Τρυβλία Petri.
α) Αποστειρωμένο τρυβλίο Petri. Υπάρχουν και άλλα είδη τρυβλίων β) τα διχοτομημένα, τριχοτομημένα κ.α. [2,3].

συνθήκες σε θάλαμο κάθετης νηματικής ροής στα αποστειρωμένα θρεπτικά υποστρώματα, όπως περιγράφεται προηγουμένως. Η τελική συγκέντρωση των αντιβιοτικών και μυκητοκτόνων που χρησιμοποιήθηκε σε κάθε πείραμα παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 7.1 Συγκέντρωση αντιβιοτικών και μυκητοκτόνων σε μg ανά ml θρεπτικού υποστρώματος για κάθε πείραμα.

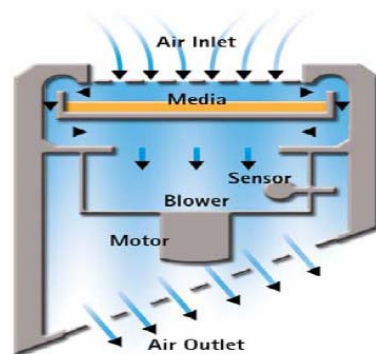
α/α	Ημ/νια	Στρεπτομυκίνη ($\mu\text{g/ml}$)	Τετρακυκλίνη ($\mu\text{g/ml}$)	Αμπικιλλίνη ($\mu\text{g/ml}$)	Κυκλοεξιμίδιο ($\mu\text{g/ml}$)	Νυστατίνη ($\mu\text{g/ml}$)
1	4//11/2008	100	100	-	100	-
2	11/11/2008	100	100	-	50	-
3	25/11/2008	100	50	-	50	-
4	02/12/2008	50	25	-	100	-
5	17/12/2008	50	25	25	100	25
6	13/01/2009	25	5	5	25	100
7	24/02/2009	25	5	5	25	50
8	10/03/2009	25	5	5	25	25
9	17/03/2009	10	2,5	2,5	50	100
10	31/03/2009	10	2,5	2,5	12,5	100
11	07/04/2009	50	25	2,5	25	25
12	28/04/2009	10	2,5	10	50	50
13	04/05/2009	50	10	10	25	25
14	12/05/2009	10	10	10	12,5	50
15	19/05/2009	10	10	10	12.5	50
16	26/05/2009	25	5	5	25	-
17	01/06/2009	5	1	1	100	-
18	10/06/2009	5	1	1	100	-

7.4 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ

Η δειγματοληψία των **αερομεταφερόμενων μικροοργανισμών** πραγματοποιήθηκε με τον MAS 100 Merck Γερμανίας (εικόνα 7.2). Τα συστήματα μικροβιακής παρακολούθησης του αέρα MAS 100 βασίζονται στην αρχή πρόσκρουσης σωματιδίων του Anderson, η οποία είναι αποδεκτή και αποδεδειγμένη παγκοσμίως. Ο αέρας αναρροφάται μέσα από ένα διάτρητο καπάκι με 400 τρύπες. Ο ακτινωτός ανεμιστήρας ελέγχεται από έναν αισθητήρα ροής, ο οποίος ρυθμίζει με ακρίβεια την ροή του αέρα σε πραγματικό



Εικόνα 7.2 MAS 100 Merck Γερμανίας [4].



Εικόνα 7.3 MAS 100. Τομή πλάγιας όψης του MAS 100 [6].

χρόνο στα 100 L/min. Ο αέρας προσκρούει μέσα στο τρυβλίο Petri διαμέτρου 100 ή 60 mm πάνω στο υπόστρωμα καλλιέργειας (εικόνα 7.3). Οι μικροοργανισμοί προσκρούουν στο υπόστρωμα καλλιέργειας και οι αποικίες καταμετρούνται μετά από την κατάλληλη περίοδο επώασης.

Αυτά τα συστήματα δειγματοληψίας των 100 L/min έχουν την υψηλότερη ακρίβεια



Εικόνα 7.4 TSI 8520 DustTrack Airborne Particle Monitor [5].

σε πραγματικό χρόνο. Ο δειγματολήπτης αυτός είναι ένα φωτόμετρο σκέδασης με δικιά του ενσωματωμένη αντλία δειγματοληψίας. Μπορεί και μετρά την συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων της ατμόσφαιρας διαφόρων μεγεθών όπως τα PM_{10} , $PM_{2.5}$ και PM_1 ή το αναπνεύσιμο κλάσμα σκόνης. Το εύρος μέτρησης της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων αυτού του δειγματολήπτη είναι: 0.001 έως 100 mg/m^3 .

Η μέτρηση των **μετεωρολογικών παραμέτρων** πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια της συσκευής TSI VelociCalc (εικόνα 7.5). Αυτή η συσκευή είναι εύκολη στη χρήση της. Μπορεί να μετρήσει: την **ταχύτητα του αέρα**, την **θερμοκρασία**, την **σχετική υγρασία** εσωτερικών και εξωτερικών χώρων, καθώς επίσης και την **ροή του αέρα** εσωτερικών χώρων από πόρτες και παράθυρα [5,6,7].



Εικόνα 7.5 TSI VelociCalc [7].

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] ΑΜΑΛΙΑ Δ. ΚΑΡΑΓΚΟΥΝΗ – ΚΥΡΤΣΟΥ, 1999. *Μικροβιολογία*, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΑΘ. ΣΤΑΜΟΥΛΗΣ Αθήνα.
- [2] Medilab [online]. Διαθέσιμο από: <http://www.medilab.gr/Content.php?PageId=157> [προσβάσιμο στις 18 Οκτωβρίου 2010]
- [3] BIO – SET. Μ. ΚΟΠΕΛΟΥΖΟΣ & ΣΙΑ Ε.Ε. [online]. Διαθέσιμο από: <http://www.bioset.gr/bioset/trivlia.html#> [προσβάσιμο στις 18 Οκτωβρίου 2010]
- [4] Rapidmicrobiology. Mas – 100 Air Sampler for Cleanroom Environments [online]. Διαθέσιμο από: <http://www.rapidmicrobiology.com/news/125h0.php> [προσβάσιμο στις 19 Οκτωβρίου 2010]
- [5] Ferret. Australia's Manufacturing. Industrial and Mining Directory. TSI 8520 DustTrack Airborn Particle Monitor from TR Corporation's TechRentals. [online]. Διαθέσιμο από:

<http://www.ferret.com.au/c/TR/TSI-8520-DustTrack-Airborn-Particle-Monitor-from-TR-Corporation-s-TechRentals-n781190> [προσβάσιμο στις 19 Οκτωβρίου 2010]

[6] Mas – 100 Microbial Air Monitoring System [online]. Διαθέσιμο από: http://85.238.144.18/analytics/literature/031035_air_samplers.pdf [προσβάσιμο στις 20 Οκτωβρίου 2010]

[7] Instrument Solution. TSI: Velocicalc models 8345 and 8346 [online]. Διαθέσιμο από: http://www.bis.fm/products/TSI_Velocicalc_models_8345_and_8346.asp [προσβάσιμο στις 22 Οκτωβρίου 2010]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

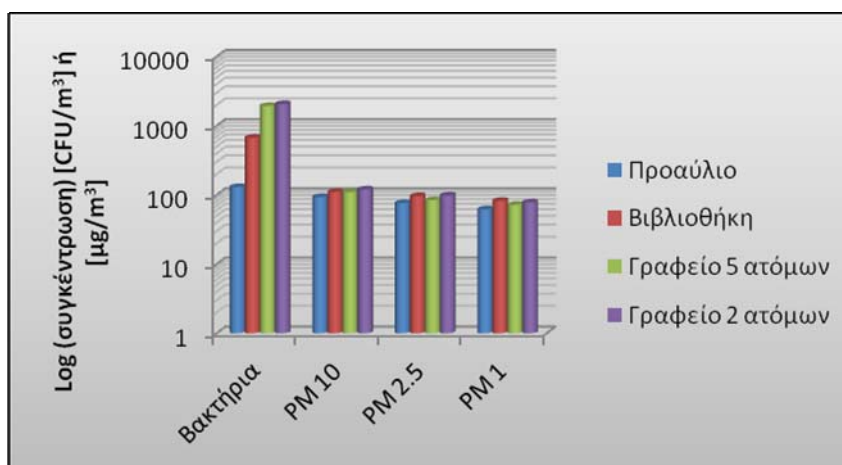
Όπως αναφέραμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, για την μελέτη της ανθεκτικότητας των αερομεταφερόμενων μικροοργανισμών στα αντιβιοτικά και μυκητοκτόνα, πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες σε εξωτερικό προαύλιο χώρο ως σημείο αναφοράς του φυσικού περιβάλλοντος και σε τρεις εσωτερικούς χώρους, οι οποίοι είχαν φυσικό αερισμό (στη βιβλιοθήκη, σε γραφείο 5 ατόμων και σε γραφείο 2 ατόμων). Επίσης μετρήθηκε η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{10} , $PM_{2.5}$, PM_1) της ατμόσφαιρας στους χώρους αυτούς.

Στις μετρήσεις αυτές προσδιορίστηκε η συγκέντρωση των μικροβιακών βιοαεροζόλ της ατμόσφαιρας (εκφρασμένη σε αποικίες ανά κυβικό μέτρο αέρα: CFU/ m^3) καθώς και το ποσοστό επιβίωσης των μικροοργανισμών αυτών στα αντιβιοτικά και μυκητοκτόνα. Η συγκέντρωση των αιωρούμενων στην ατμόσφαιρα σωματιδίων εκφράστηκε σε $\mu g/m^3$ αέρα.

Στο πρώτο μέρος αυτού του κεφαλαίου θα παρουσιάσουμε την συγκέντρωση των μαρτύρων χωρίς προσθήκη αντιβιοτικών και μυκητοκτόνων των βιοαεροζόλ και των αιωρούμενων σωματιδίων της ατμόσφαιρας που καταγράφηκε στους προαναφερθέντες χώρους σε κάθε μια δειγματοληψία, ενώ στο δεύτερο μέρος θα παρουσιάσουμε το ποσοστό επιβίωσης των μικροοργανισμών σε κάθε μια από τις 5 αντιβιοτικές-μυκητοκτόνες ουσίες (*Στρεπτομυκίνη*, *Τετρακυκλίνη*, *Αμικιλλίνη*, *Κυκλοεξιμίδιο*, *Νυστατίνη*) που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών αυτών.

8.1 ΑΕΡΟΜΕΤΑΦΕΡΟΜΕΝΑ ΜΙΚΡΟΒΙΑ & ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

8.1.1 1^η Δειγματοληψία (4//11/2008)



Γράφημα 8.1 Συγκέντρωση αερομεταφερόμενων βακτηρίων & αιωρούμενων σωματιδίων της ατμόσφαιρας σε εσωτερικούς χώρους και στο εξωτερικό περιβάλλον.

Από το γράφημα 8.1 βλέπουμε ότι κατά την συγκεκριμένη δειγματοληψία η μέση συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων της ατμόσφαιρας (PM_{10} , $PM_{2.5}$, PM_1) ήταν ιδιαίτερα υψηλή. Συνήθως σε αστικές περιοχές η μέση συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων της ατμόσφαιρας στον εξωτερικό χώρο κυμαίνεται από 60 έως 200 $\mu g/m^3$, ενώ σε

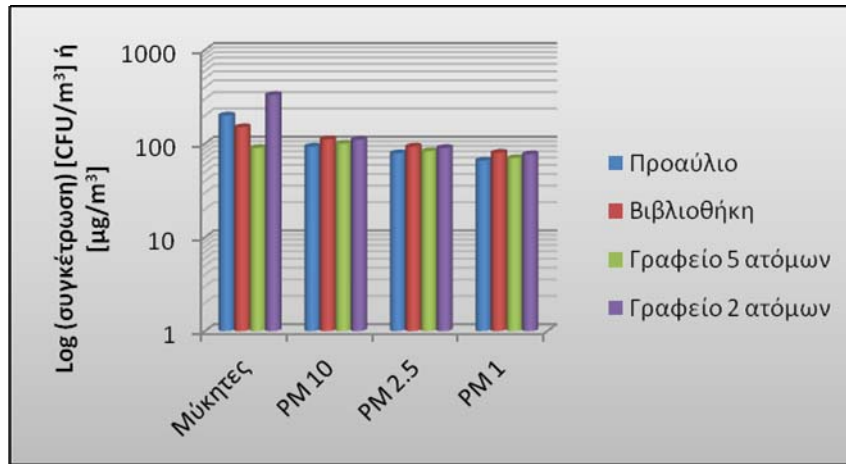
καθαρή ατμόσφαιρα η μέση συγκέντρωση είναι μικρότερη από 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Σε πολύ ρυπασμένες περιοχές η μέση συγκέντρωση των αιωρούμενων στην ατμόσφαιρα σωματιδίων φτάνει μέχρι και τα 2.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (βλέπε τέλος κεφαλαίου 5.1.2). Η συγκέντρωση των PM_{10} σωματιδίων στο εξωτερικό περιβάλλον ήταν περίπου η διπλάσια (93 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) του ανώτατου επιτρεπτού ημερήσιου ορίου που έχει θεσμοθετηθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση.

Η συγκέντρωση των βακτηρίων στον εξωτερικό χώρο είναι πολύ χαμηλή (130 cfu/ m^3). Σε αντίθεση με τους εσωτερικούς χώρους που κυμαινόταν από 670 έως 2.060 cfu/ m^3 . Η συγκέντρωση γενικά των βιοαεροζόλ στους εσωτερικούς χώρους εξαρτάται από τον αριθμό των ατόμων που βρίσκονται μέσα σε αυτούς, τις δραστηριότητες αυτών των ανθρώπων και κυρίως την συχνότητα ανανέωσης του αέρα των εσωτερικών χώρων με φρέσκο αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον. Γενικά όσο πιο συχνά ανανεώνουμε έναν εσωτερικό χώρο με φρέσκο αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον τόσο μικρότερη θα είναι και η συγκέντρωση των βιοαεροζόλ στον χώρο αυτό (δεν ισχύει στις περιπτώσεις όπου ο αέρας του εξωτερικού περιβάλλοντος είναι επιβαρημένος με ρύπους βιολογικής προέλευσης).

Παράλληλα και τον πίνακα 8.1 διαπιστώνουμε ότι η ταχύτητα ανέμου, η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία του αέρα κυμαίνονται σε κοντινά επίπεδα και στους τρεις εσωτερικούς χώρους. Η παράμετρος που διαφέρει από τον ένα εσωτερικό χώρο στον άλλο είναι η ροή του αέρα μέσα από πόρτες και παράθυρα. Η βιβλιοθήκη παρουσιάζει την μεγαλύτερη ροή αέρα από τους άλλους δύο εσωτερικούς χώρους με αποτέλεσμα στη βιβλιοθήκη να εισάγεται μεγαλύτερος όγκος αέρα την ώρα από το εξωτερικό περιβάλλον. Ταυτόχρονα παρατηρείται ότι ο εσωτερικός χώρος της βιβλιοθήκης παρουσιάζει τη μικρότερη συγκέντρωση βακτηρίων από τους άλλους δύο χώρους στους οποίους εισάγεται μικρότερος όγκος αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον, παρόλο που κατά την χρονική περίοδο της δειγματοληψίας παραευρίσκονται τα περισσότερα άτομα (12).

Πίνακας 8.1 Μετεωρολογικοί παράμετροι εσωτερικών χώρων και εξωτερικού περιβάλλοντος.

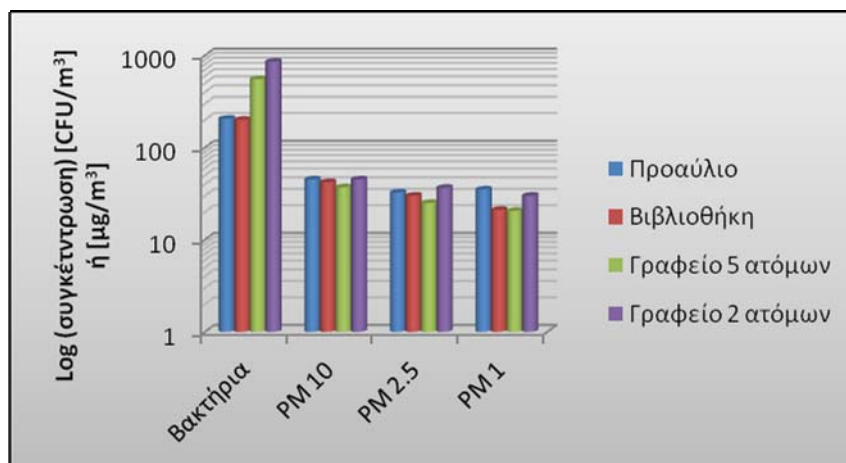
Χώρος Δειγματοληψίας	Ταχύτητα (m/s)	Θερμοκρασία (°C)	Σχετική Υγρασία (RH%)	Ροή Αέρα (m^3/hour)	Αρ. Ατόμων
Προαύλιο	0,4	24,6	53,3		
Βιβλιοθήκη	0,21	24,9	56	692	12
Γραφείο 5 ατόμων	0,6	26,3	50,3	0,802	7
Γραφείο 2 ατόμων	0,1	26,9	48	10	2



Γράφημα 8.2 Συγκέντρωση αερομεταφερόμενων μυκήτων & αιωρούμενων σωματιδίων της ατμόσφαιρας σε εσωτερικούς χώρους και στο εξωτερικό περιβάλλον.

Το γράφημα 8.2 δείχνει ότι η συγκέντρωση των μυκήτων στον εξωτερικό χώρο είναι 200 cfu/m³. Γενικά η συγκέντρωση των μυκήτων στο εξωτερικό περιβάλλον οφείλεται μεταξύ άλλων στις μετεωρολογικές παραμέτρους που επικρατούν στην περιοχή δειγματοληψίας. Όπως θα δούμε και στις επόμενες δειγματοληψίες η συγκέντρωση των μυκήτων στον ατμοσφαιρικό αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος επηρεάζεται από την θερμοκρασία και την σχετική υγρασία του χώρου αυτού. Οι συγκεντρώσεις των αερομεταφερόμενων μυκήτων στον χώρο της βιβλιοθήκης, και στο γραφείο 5 ατόμων είναι μικρότερες του μάρτυρα (προαύλιο), ενώ αντίθετα στο γραφείο 2 ατόμων είναι υψηλότερες (330 cfu/m³).

8.1.2 2^η Δειγματοληψία (11/11/2008)



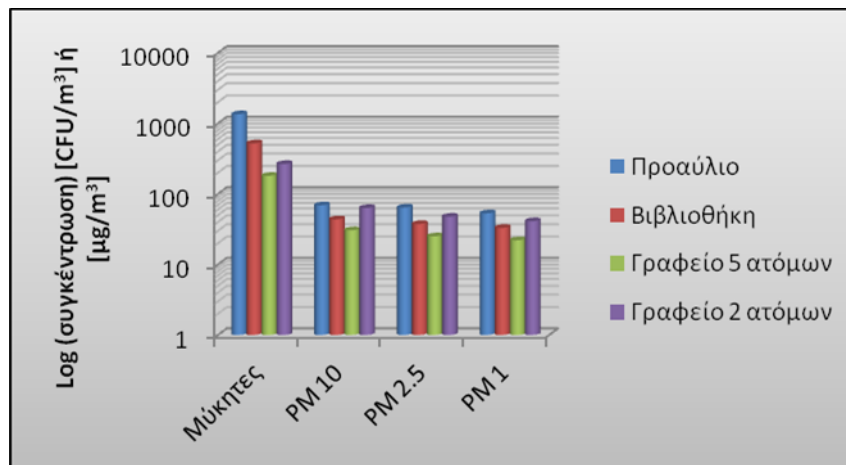
Γράφημα 8.3 Συγκέντρωση αερομεταφερόμενων βακτηρίων & αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους και στο εξωτερικό περιβάλλον.

Πίνακας 8.2 Μετεωρολογικοί παράμετροι εσωτερικών χώρων και εξωτερικού περιβάλλοντος.

Χώρος Δειγματοληψίας	Ταχύτητα (m/s)	Θερμοκρασία (°C)	Σχετική Υγρασία (RH%)	Ροή Αέρα (m ³ /hour)	Αρ. Ατόμων
Προαύλιο	0,85	18,7	54		
Βιβλιοθήκη	0,075	21,5	49,3	1034,25	6
Γραφείο 5 ατόμων	0,11	23,8	50,9	2,74	7
Γραφείο 2 ατόμων	0,28	23,75	46,15	38,4	2

Κατά την 2^η αυτή δειγματοληψία μετρήθηκαν χαμηλότερες συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων (PM₁₀ στο εξωτερικό περιβάλλον 45 μg/m³), ενώ σημειώθηκε μείωση της θερμοκρασίας κατά 6°C. Κατά την συγκεκριμένη δειγματοληψία παρατηρήθηκε μεγάλη αύξηση της συγκέντρωσης των μυκήτων (1.345 cfu/m³), ενώ η συγκέντρωση των ετερότροφων βακτηρίων παρέμεινε στα ίδια επίπεδα (205 cfu/m³).

Όσον αφορά την αναλογία των συγκεντρώσεων των αερομεταφερόμενων βακτηρίων στους εσωτερικούς χώρους σε σύγκριση με τον εξωτερικό προαύλιο χώρο παρατηρήθηκαν παρόμοια αποτελέσματα (γράφημα 8.3). Με βάση και τον πίνακα 8.2 βλέπουμε ότι με χαμηλή συγκέντρωση βακτηρίων στο εξωτερικό περιβάλλον οι εσωτερικοί χώροι με την υψηλότερη ροή αέρα μέσα από πόρτες και παράθυρα παρουσιάζουν την χαμηλότερη συγκέντρωση βακτηρίων. Αντίθετα αποτελέσματα, όσον αφορά τους αερομεταφερόμενους μύκητες παρατηρούνται στο γράφημα 8.4.



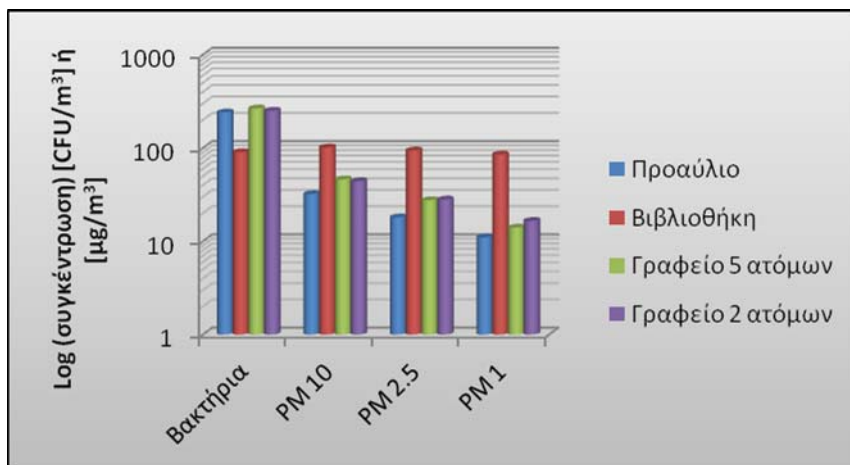
Γράφημα 8.4 Συγκέντρωση αερομεταφερόμενων μυκήτων & αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους και στο εξωτερικό περιβάλλον.

Όπως φαίνεται από το γράφημα 8.4 στη συγκεκριμένη δειγματοληψία ο αέρας εξωτερικού χώρου είναι ιδιαίτερα επιβαρυσμένος από μύκητες. Αυτό μπορεί να οφείλεται μεταξύ άλλων στην αυξημένη σχετική υγρασία σε συνδυασμό με την χαμηλή θερμοκρασία (πίνακας 8.2) του περιβάλλοντος. Αν συγκρίνουμε τα δεδομένα όλων των πειραμάτων θα διαπιστώσουμε ότι στις δειγματοληψίες εκείνες, στις οποίες η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι περίπου 20 °C και η σχετική υγρασία αυξημένη (> 60%), παρατηρείται μεγάλη συγκέντρωση των μυκήτων στην ατμόσφαιρα.

Αντίθετα οι συγκεντρώσεις των αερομεταφερόμενων μυκήτων είναι πολύ χαμηλότερες (265-520 cfu/m³). Η χαμηλότερη συγκέντρωση μετρήθηκε στο γραφείο 5 ατόμων, όπου η ροή

αέρα είναι $2,74 \text{ m}^3/\text{h}$. Οι συγκεντρώσεις των εισπνεύσιμων κλασμάτων των PM σωματιδίων ήταν σε χαμηλότερα επίπεδα εκείνων του εξωτερικού περιβάλλοντος (μάρτυρα).

8.1.3^η Δειγματοληψία (25/11/2008)

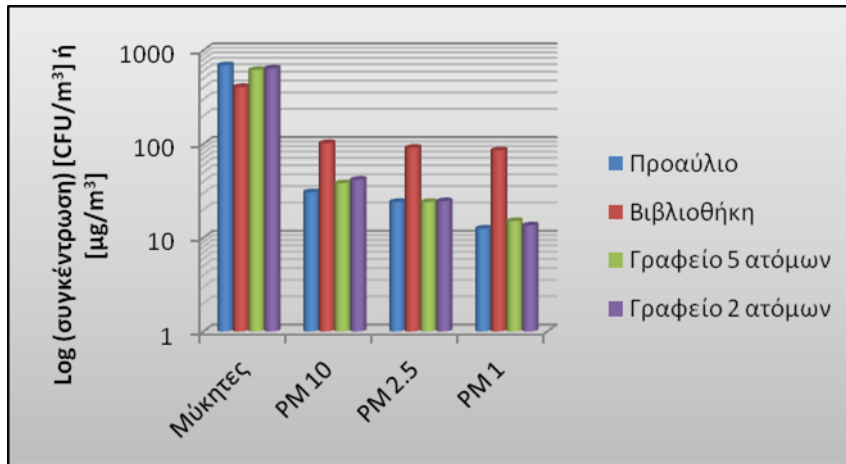


Γράφημα 8.5 Συγκέντρωση αερομεταφερόμενων βακτηρίων & αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους και στο εξωτερικό περιβάλλον.

Όπως αναφέραμε και στην προηγούμενη δειγματοληψία ο καλός αερισμός στους εσωτερικούς χώρους βελτιώνει την ποιότητα του αέρα των χώρων αυτών όσον αφορά τα αερομεταφερόμενα βακτήρια και σωματίδια. Αν και καταγράφηκε υψηλή συγκέντρωση βακτηρίων στο εξωτερικό περιβάλλον ($240 \text{ cfu}/\text{m}^3$) η βιβλιοθήκη έχοντας την υψηλότερη ροή αέρα την ώρα μέσα από πόρτες και παράθυρα (πίνακας 8.3), παρουσιάζει την χαμηλότερη συγκέντρωση βακτηρίων σε σχέση με τους άλλους δυο εσωτερικούς χώρους (γράφημα 8.5). Αντίθετα επιβαρυνμένη είναι η ατμόσφαιρα της βιβλιοθήκης από αιωρούμενα σωματίδια (PM_{10}) καθώς η συγκέντρωσή τους είναι $101 \text{ μg}/\text{m}^3$, ενώ η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων αεροδυναμικής διαμέτρου 2.5 ($\text{PM}_{2.5}$) και 1 μm (PM_1) είναι περίπου 44 και $85 \text{ μg}/\text{m}^3$ αντίστοιχα.

Πίνακας 8.3 Μετεωρολογικοί παράμετροι εσωτερικών χώρων και εξωτερικού περιβάλλοντος.

Χώρος Δειγματοληψίας	Ταχύτητα (m/s)	Θερμοκρασία (°C)	Σχετική Υγρασία (RH%)	Ροή Αέρα (m^3/hour)	Αρ. Ατόμων
Προαύλιο	10	23,1	47,3		
Βιβλιοθήκη	0,13	22,9	49,5	800	5
Γραφείο 5 ατόμων	0,1	23,7	50,1	38,2	5
Γραφείο 2 ατόμων	0,38	24,55	44,85	135,55	5

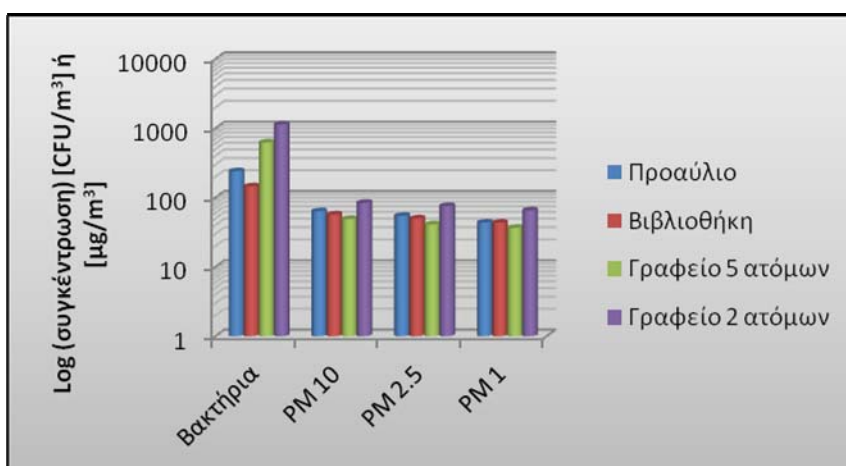


Γράφημα 8.6 Συγκέντρωση αερομεταφερόμενων μυκήτων & αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους και στο εξωτερικό περιβάλλον.

Κατά την συγκεκριμένη δειγματοληψία ήταν ιδιαίτερα αυξημένη η συγκέντρωση των μυκήτων και στους τέσσερις χώρους δειγματοληψίας κυμαινόμενη από 405 έως 650 cfu/m³ (γράφημα 8.6).

8.1.4 4^η Δειγματοληψία (02/12/2008)

Βλέποντας το γράφημα 8.7 και τον πίνακα 8.4 διαπιστώνουμε ότι το γραφείο 2 ατόμων κατά την συγκεκριμένη δειγματοληψία δεν ανανεώνεται με εισαγωγή νωπού αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον. Για αυτό το λόγο το γραφείο αυτό παρουσιάζει και τη μεγαλύτερη συγκέντρωση βακτηρίων, η οποία είναι 4,7 φορές υψηλότερη του εξωτερικού περιβάλλοντος. Συνεπώς, σ' αυτό το χώρο έχουμε ιδιαίτερα κακή ποιότητα αέρα. Αντίθετα στους άλλους δυο εσωτερικούς χώρους στους οποίους εισάγεται επαρκή ποσότητα νωπού αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον, η συγκέντρωση των βακτηρίων είναι χαμηλότερη.



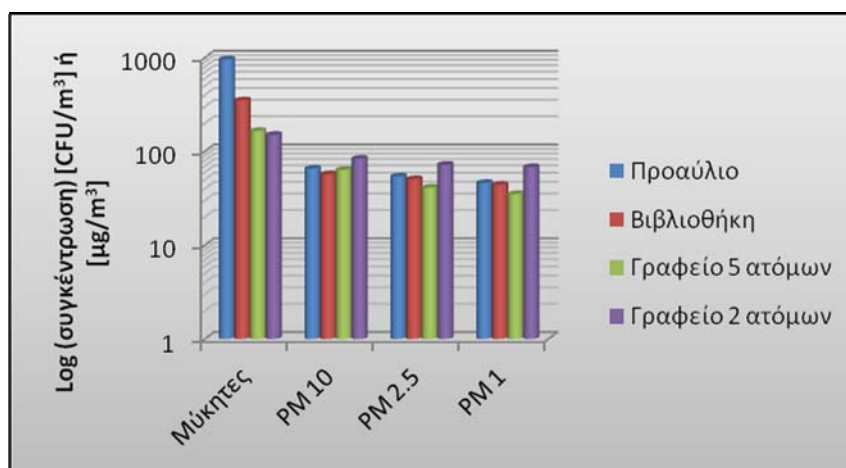
Γράφημα 8.7 Συγκέντρωση αερομεταφερόμενων βακτηρίων & αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους και το εξωτερικό περιβάλλον.

Παρατηρούμε ότι ενώ στον χώρο της βιβλιοθήκης η συγκέντρωση των βακτηρίων είναι χαμηλότερη αυτής του εξωτερικού περιβάλλοντος, στο γραφείο 5 ατόμων είναι 2,6 φορές

υψηλότερη. Οι συγκεντρώσεις των εισπνεύσιμων PM₁₀ αιωρούμενων σωματιδίων στο εξωτερικό περιβάλλον υπερβαίνουν το ανώτατο ημερήσιο όριο κατά 1,3 φορές, ενώ στον μη αεριζόμενο χώρο του γραφείου 2 ατόμων είναι 1,7 φορές υψηλότερες.

Πίνακας 8.4 Μετεωρολογικοί παράμετροι εσωτερικών χώρων και εξωτερικού περιβάλλοντος.

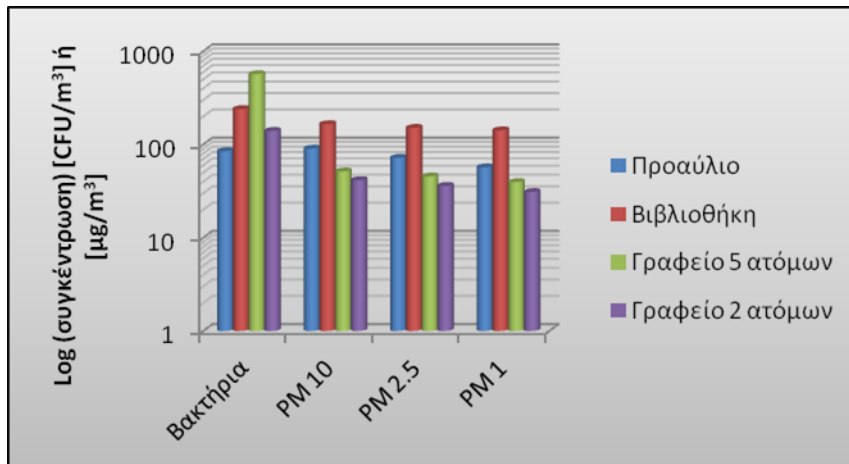
Χώρος Δειγματοληψίας	Ταχύτητα (m/s)	Θερμοκρασία (°C)	Σχετική Υγρασία (RH%)	Ροή Αέρα (m ³ /hour)	Αρ. Ατόμων
Προαύλιο	0,1	20,1	62,2		
Βιβλιοθήκη	0,32	20,72	70,22	1058	8
Γραφείο 5 ατόμων	0,17	21,9	66,7	557	6
Γραφείο 2 ατόμων	0	22,6	62,8	0	2



Γράφημα 8.8 Συγκέντρωση αερομεταφερόμενων μυκήτων & αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους και το εξωτερικό περιβάλλον.

Σ' αυτή τη δειγματοληψία (γράφημα 8.8) παρατηρούμε ότι η συγκέντρωση των μυκήτων στο προαύλιο έχει αυξηθεί ιδιαίτερα (955 cfu/m³) όπως και στη 2^η δειγματοληψία. Όπως είχαμε αναφέρει, στις δειγματοληψίες στις οποίες η θερμοκρασία είναι περίπου 20 °C και η σχετική υγρασία του περιβάλλοντος > 60% η συγκέντρωση των μυκήτων είναι μεγάλη. Οι εσωτερικοί χώροι παρουσιάζουν πολύ χαμηλότερες συγκεντρώσεις αερομεταφερόμενων μυκήτων.

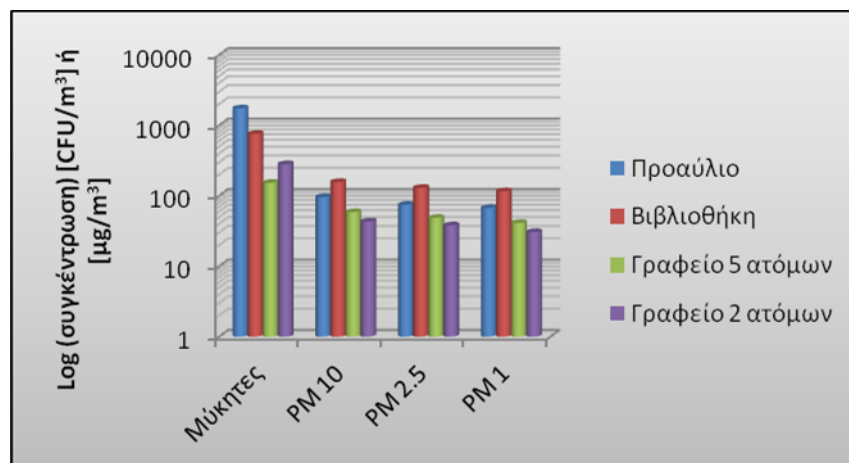
8.1.5 5^η Δειγματοληψία (17/12/2008)



Γράφημα 8.9 Συγκέντρωση αερομεταφερόμενων βακτηρίων & αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους και το εξωτερικό περιβάλλον.

Στο γράφημα 8.9 παρατηρούμε αυξημένη συγκέντρωση των αερομεταφερόμενων βακτηρίων στο γραφείο 5 ατόμων (570 cfu/m³). Στο γράφημα 8.10 βλέπουμε ότι στην συγκεκριμένη δειγματοληψία η υψηλότερη συγκέντρωση μυκήτων έχει καταγραφεί στο εξωτερικό περιβάλλον ακόμη και σε σχέση με τις προηγούμενες δειγματοληψίες. Αυτό οφείλεται μεταξύ άλλων στην θερμοκρασία και σχετική υγρασία του περιβάλλοντος καθώς και στην υψηλή ταχύτητα ανέμου (πίνακας 8.5).

Επίσης υψηλές συγκεντρώσεις PM₁₀, PM_{2.5} και PM₁ εισπνεύσιμων σωματιδίων μετρήθηκαν στο εξωτερικό περιβάλλον (165,5 μg/m³, 151 μg/m³ και 142 μg/m³ αντίστοιχα). Το γεγονός αυτό οδήγησε σε αντίστοιχα υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων και στους εσωτερικούς χώρους και ιδιαίτερα στον χώρο της βιβλιοθήκης, που είχε την μεγαλύτερη ροή αέρα.

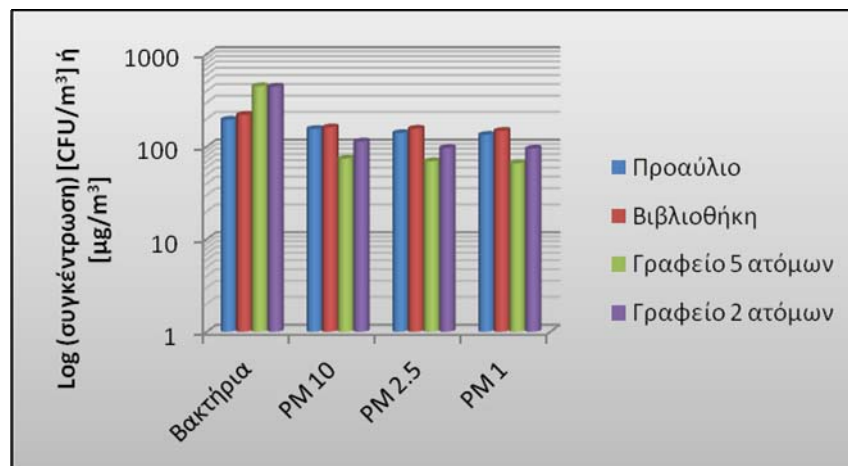


Γράφημα 8.10 Συγκέντρωση βιοαεροζόλ & αιωρούμενων σωματιδίων στους χώρους αυτούς.

Πίνακας 8.5 Μετεωρολογικοί παράμετροι εσωτερικών χώρων και εξωτερικού περιβάλλοντος.

Χώρος Δειγματοληψίας	Ταχύτητα (m/s)	Θερμοκρασία (°C)	Σχετική Υγρασία (RH%)	Ροή Αέρα (m ³ /hour)	Αρ. Ατόμων
Προαύλιο	40	18	69,4		
Βιβλιοθήκη	0,02	21,17	63,57	341,83	7
Γραφείο 5 ατόμων	0,01	23,3	60	732	3
Γραφείο 2 ατόμων	0,02	21,6	62,8	2,19	1

8.1.6 6^η Δειγματοληψία (13/01/2009)

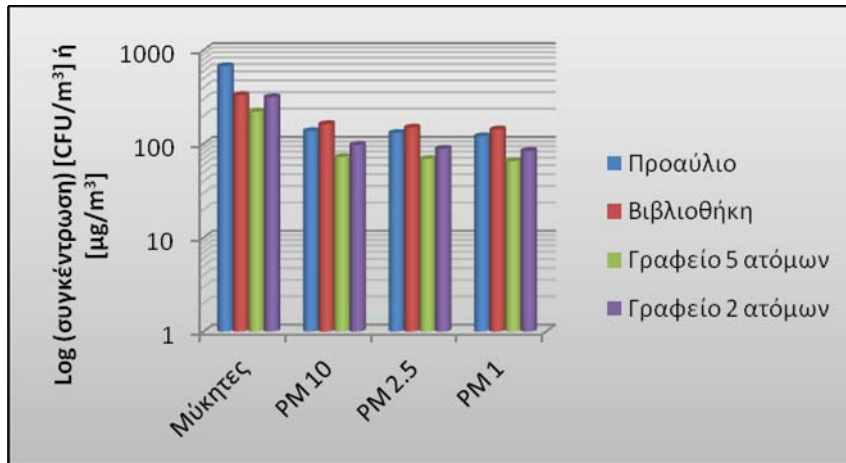


Γράφημα 8.11 Συγκέντρωση αερομεταφερόμενων βακτηρίων & αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους και εξωτερικό περιβάλλον.

Πάλι κατά την συγκεκριμένη δειγματοληψία στο γραφείο 5 ατόμων και στο γραφείο 2 ατόμων είναι τα παράθυρα κλειστά με αποτέλεσμα αυτά τα γραφεία να παρουσιάζουν την υψηλότερη συγκέντρωση βακτηρίων ενώ η βιβλιοθήκη, στην οποία εισάγεται αρκετή ποσότητα αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον, παρουσιάζει χαμηλή συγκέντρωση βακτηρίων (πίνακας 8.6, γράφημα 8.11). Παρατηρήθηκε ότι στο γραφείο 5 ατόμων σ' αυτή τη δειγματοληψία ήταν το κλιματιστικό σε λειτουργία.

Η συγκέντρωση των μυκήτων είναι μεγαλύτερη από τη συγκέντρωση των βακτηρίων στο εξωτερικό περιβάλλον (γράφημα 8.12). Σε σχέση όμως με την προηγούμενη δειγματοληψία παρατηρούμε μια μείωση της συγκέντρωσης των μυκήτων παρ' όλο που η σχετική υγρασία του εξωτερικού χώρου σ' αυτή τη δειγματοληψία είναι υψηλότερη από την προηγούμενη. Η μείωση της συγκέντρωσης των μυκήτων μπορεί να οφείλεται μεταξύ άλλων στη χαμηλή θερμοκρασία και στην χαμηλή ταχύτητα ανέμου (πίνακας 8.6).

Όπως παρατηρήθηκε και προηγούμενα, όσον αφορά την συγκέντρωση των αερομεταφερόμενων μυκήτων μετρήθηκαν μικρότερες συγκεντρώσεις στους εσωτερικούς χώρους σε σχέση με το εξωτερικό περιβάλλον.

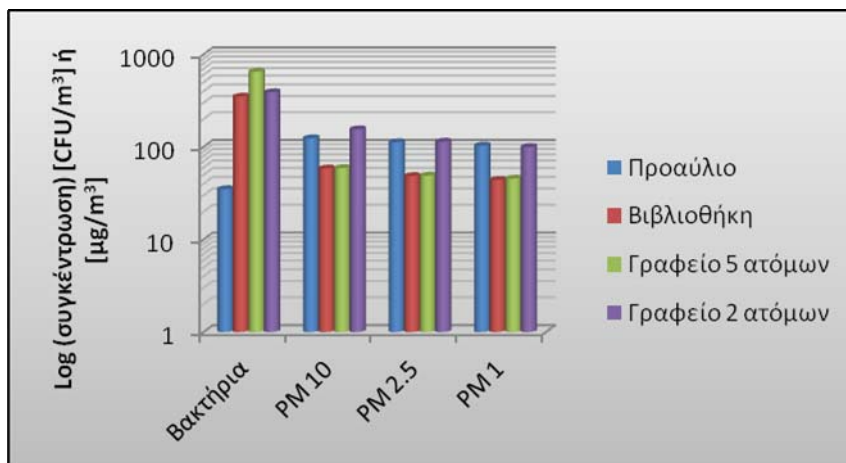


Γράφημα 8.12 Συγκέντρωση αερομεταφερόμενων μυκήτων & αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους και στο εξωτερικό περιβάλλον.

Πίνακας 8.6 Μετεωρολογικοί παράμετροι εσωτερικών χώρων και εξωτερικού περιβάλλοντος.

Χώρος Δειγματοληψίας	Ταχύτητα (m/s)	Θερμοκρασία (°C)	Σχετική Υγρασία (RH%)	Ροή Αέρα (m ³ /hour)	Αρ. Ατόμων
Προαύλιο	0,1	12,6	73		
Βιβλιοθήκη	0,19	19,6	46	2460	6
Γραφείο 5 ατόμων	0	22,1	57	0	1
Γραφείο 2 ατόμων	0	20,9	58,8	0	3

8.1.7 7^η Δειγματοληψία (24/02/2009)



Γράφημα 8.13 Συγκέντρωση αερομεταφερόμενων βακτηρίων & αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους και εξωτερικό περιβάλλον.

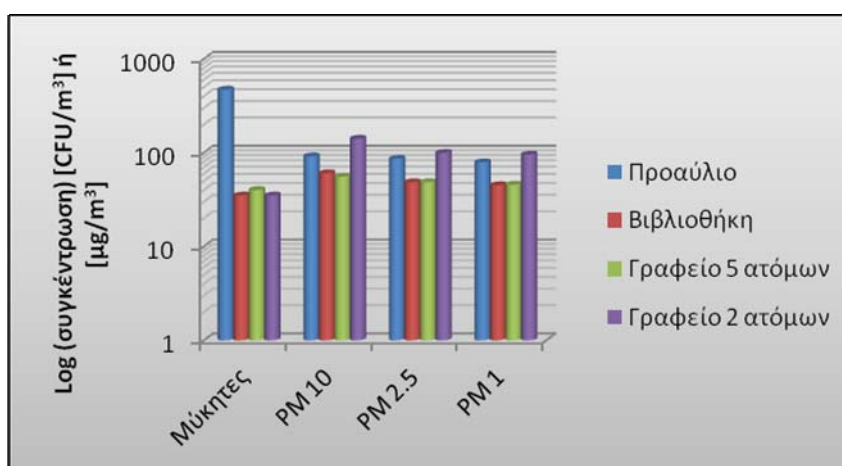
Στην 7^η δειγματοληψία παρατηρούμε το ίδιο φαινόμενο που παρατηρήσαμε και στις προηγούμενες δειγματοληψίες. Οι εσωτερικοί χώροι παρουσιάζουν υψηλότερες συγκεντρώσεις αερομεταφερόμενων βακτηρίων και χαμηλότερες συγκεντρώσεις

αερομεταφερόμενων μυκήτων σε σχέση με το εξωτερικό περιβάλλον. Η βιβλιοθήκη και το γραφείο 2 ατόμων παρουσιάζουν τις ίδιες περίπου συγκεντρώσεις βακτηρίων (γράφημα 8.13 & πίνακας 8.7).

Το γραφείο 5 ατόμων έχει κλειστά παράθυρα και το κλιματιστικό σε λειτουργία ανακυκλώνει μέρος του αέρα. Προφανώς σε αυτό τον εσωτερικό χώρο δεν ανανεώνεται ο αέρας με φρέσκο αέρα του περιβάλλοντος και σε συνδυασμό με τα πολλά άτομα που βρίσκονται σε αυτό το χώρο (πίνακας 8.7), έχει ως αποτέλεσμα η συγκέντρωση των βακτηρίων να φτάνει τα 650 CFU/m³.

Πίνακας 8.7 Μετεωρολογικοί παράμετροι εσωτερικών χώρων και εξωτερικού περιβάλλοντος.

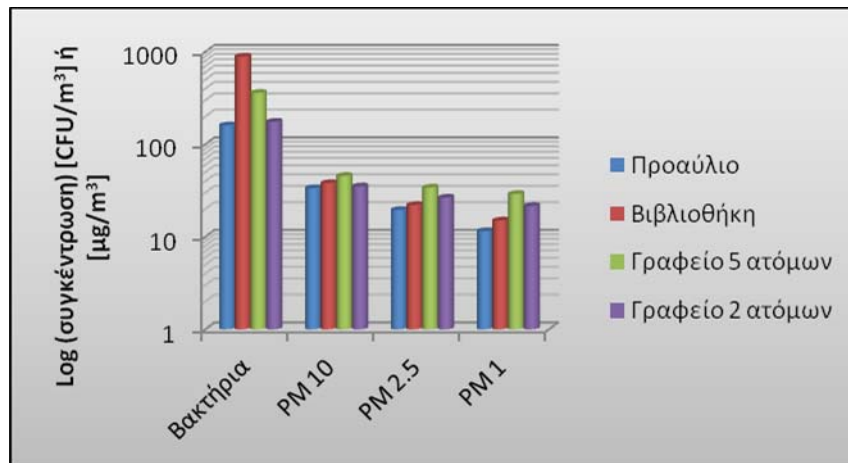
Χώρος Δειγματοληψίας	Ταχύτητα (m/s)	Θερμοκρασία (°C)	Σχετική Υγρασία (RH%)	Ροή Αέρα (m ³ /hour)	Αρ. Ατόμων
Προαύλιο	0,08	10,5	67		
Βιβλιοθήκη	0,16	19,1	47,8	1625	5
Γραφείο 5 ατόμων	0,02	20,2	53,3	0	6
Γραφείο 2 ατόμων	0,475	20,65	40,35	132	3



Γράφημα 8.14 Συγκέντρωση αερομεταφερόμενων μυκήτων & αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους και στο εξωτερικό περιβάλλον.

Η συγκέντρωση των μυκήτων στο εξωτερικό περιβάλλον μειώθηκε σε 470 CFU/m³ (γράφημα 8.14), ενώ οι συγκεντρώσεις των εισπνεύσιμων αιωρούμενων σωματιδίων είναι ιδιαίτερα αυξημένες τόσο στο εξωτερικό περιβάλλον όσο και στους εσωτερικούς χώρους.

8.1.8 8^η Δειγματοληψία (10/03/2009)



Γράφημα 8.15 Συγκέντρωση αερομεταφερόμενων βακτηρίων & αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους και εξωτερικό περιβάλλον.

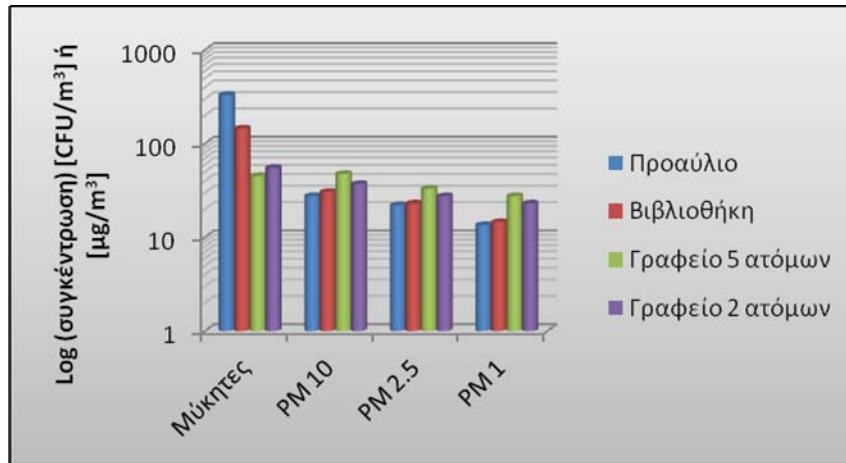
Στην 8^η δειγματοληψία παρατηρούμε από το γράφημα 8.15 και από τον πίνακα 8.8 ότι ο εσωτερικός χώρος της βιβλιοθήκης (ο οποίος ανανεώνεται με φρέσκο αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον) έχει την μεγαλύτερη συγκέντρωση βακτηρίων από τους άλλους δυο χώρους, οι οποίοι έχουν τα παράθυρα κλειστά. Στις προηγούμενες δειγματοληψίες παρατηρήσαμε ότι ο εσωτερικός χώρος, ο οποίος ανανεώνεται τακτικά με φρέσκο αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον, δεν παρουσιάζει υψηλές συγκεντρώσεις βακτηρίων. Και στις επόμενες δειγματοληψίες παρατηρείται το ίδιο φαινόμενο. Άρα σ' αυτή την δειγματοληψία που καταγράφηκε υψηλή συγκέντρωση βακτηρίων οφείλεται στον υψηλό αριθμό παρευρισκόμενων ατόμων (13 άτομα). Τα αιωρούμενα σωματίδια έχουν σε όλους τους χώρους χαμηλές συγκεντρώσεις μικρότερες από ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Πίνακας 8.8 Μετεωρολογικοί παράμετροι εσωτερικών χώρων και εξωτερικού περιβάλλοντος.

Χώρος Δειγματοληψίας	Ταχύτητα (m/s)	Θερμοκρασία (°C)	Σχετική Υγρασία (RH%)	Ροή Αέρα (m^3/hour)	Αρ. Ατόμων
Προαύλιο	2	16,4	53,8		
Βιβλιοθήκη	0,86	19,6	50,75	2625	13
Γραφείο 5 ατόμων	0,01	21,9	53,9	0	5
Γραφείο 2 ατόμων	0,01	23,8	41,8	0	δ.π. ²⁰

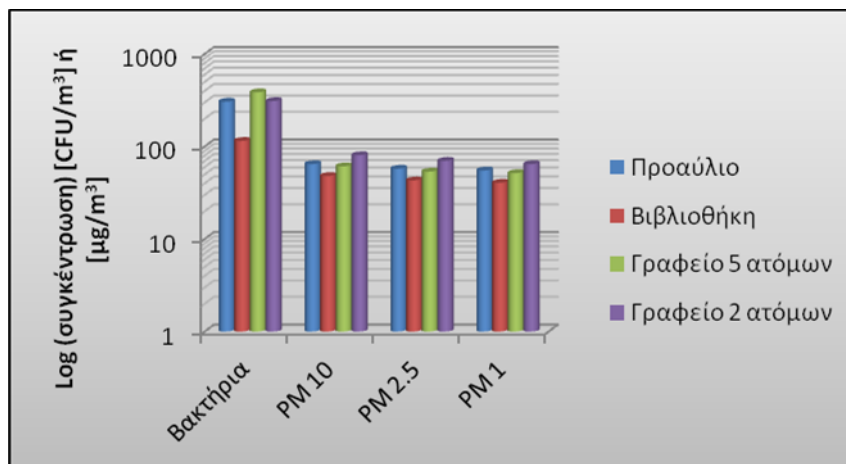
Όσον αφορά την συγκέντρωση των μυκήτων (γράφημα 8.16) στο προαύλιο, μειώθηκε ακόμα περισσότερο ($330 \text{ cfu}/\text{m}^3$). Οι εσωτερικοί χώροι παρουσιάζουν ιδιαίτερα χαμηλές συγκεντρώσεις αερομεταφερόμενων μυκήτων.

²⁰ Δεν προσδιορίστηκε



Γράφημα 8.16 Συγκέντρωση αερομεταφερόμενων μυκήτων & αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους και στο εξωτερικό περιβάλλον.

8.1.9 9^η Δειγματοληψία (17/03/2009)



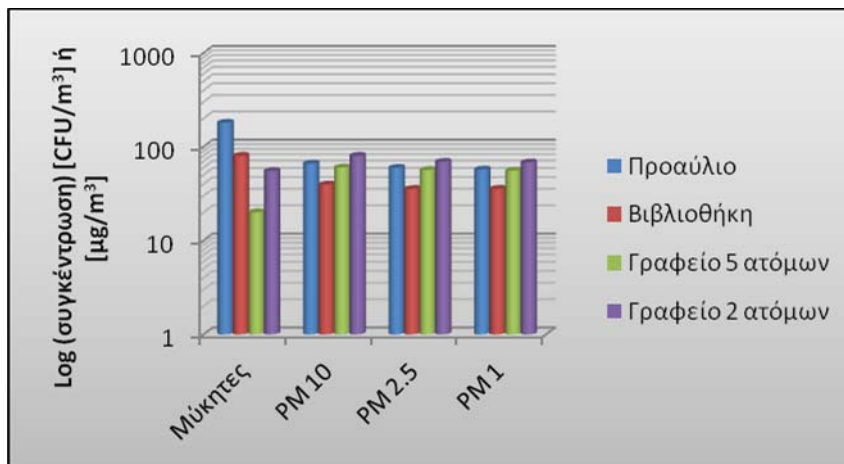
Γράφημα 8.17 Συγκέντρωση αερομεταφερόμενων βακτηρίων & αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους και στο εξωτερικό περιβάλλον.

Σ' αυτή τη δειγματοληψία, από τους τρεις εσωτερικούς χώρους, το γραφείο 5 ατόμων, το οποίο έχει την χαμηλότερη ροή αέρα, παρουσιάζει την υψηλότερη συγκέντρωση βακτηρίων (γράφημα 8.17) και ταυτόχρονα την χαμηλότερη συγκέντρωση μυκήτων. Αντίθετα στον χώρο της βιβλιοθήκης, όπου η ροή αέρα είναι υψηλή μετρήθηκε η χαμηλότερη συγκέντρωση αερομεταφερόμενων βακτηρίων και η υψηλότερη συγκέντρωση αερομεταφερόμενων μυκήτων (γραφήματα 8.17 και 8.18).

Από το γράφημα 8.18 παρατηρούμε ότι η συγκέντρωση των μυκήτων στο προαύλιο ελαττώθηκε συγκριτικά με τις προηγούμενες δειγματοληψίες στα 180 CFU/m³. Γενικά, αν παρατηρήσουμε τις συγκεντρώσεις των μυκήτων από την 6^η, 7^η, 8^η και 9^η δειγματοληψία θα διαπιστώσουμε ότι όσο οι συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας του περιβάλλοντος δεν είναι ευνοϊκές για τους μύκητες (20 °C περίπου και σχετική υγρασία > 60%), η συγκέντρωσή τους παραμένει σε χαμηλά επίπεδα. Αντίθετα οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων προσεγγίζουν την ανώτατη επιτρεπτή ημερήσια συγκέντρωση.

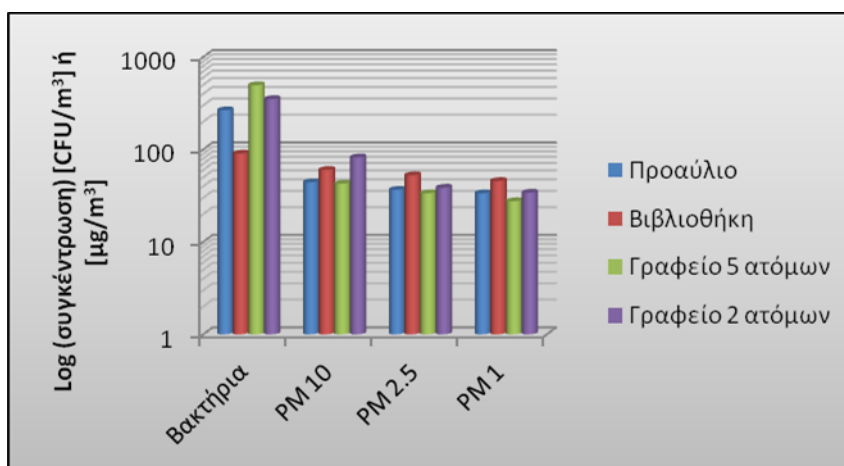
Πίνακας 8.9 Μετεωρολογικοί παράμετροι εσωτερικών χώρων και εξωτερικού περιβάλλοντος.

Χώρος Δειγματοληψίας	Ταχύτητα (m/s)	Θερμοκρασία (°C)	Σχετική Υγρασία (RH%)	Ροή Αέρα (m ³ /hour)	Αρ. Ατόμων
Προαύλιο	0,55	13,9	51,4		
Βιβλιοθήκη	0,095	18,05	45,35	796,5	7
Γραφείο 5 ατόμων	0,04	20,2	46	7,68	4
Γραφείο 2 ατόμων	0,08	22,2	40,5	35,1	1



Γράφημα 8.18 Συγκέντρωση αερομεταφερόμενων μυκήτων & αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους και στο εξωτερικό περιβάλλον.

8.1.10 10^η Δειγματοληψία (31/03/2009)



Γράφημα 8.19 Συγκέντρωση αερομεταφερόμενα βακτήρια & αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους και εξωτερικό περιβάλλον.

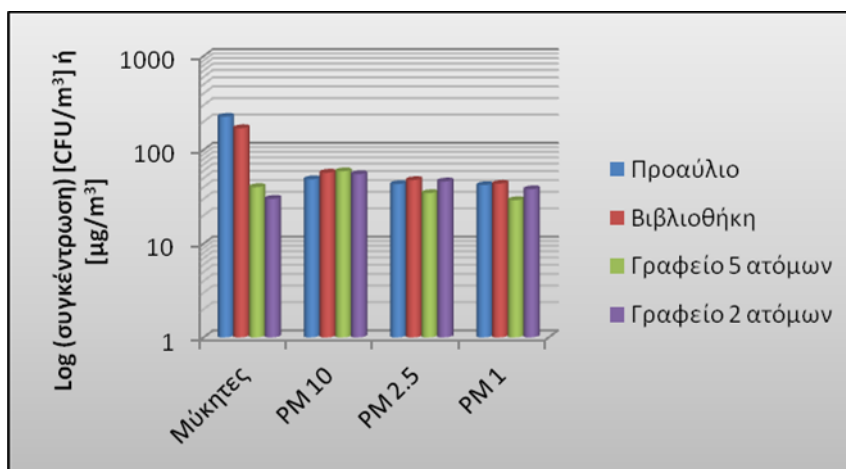
Όπως βλέπουμε από τα γραφήματα 8.19 και 8.20 τα αποτελέσματα των αερομεταφερόμενων μικροβίων παρουσιάζουν ομοιότητα με αυτά από την 9^η δειγματοληψία.

Έτσι ο εσωτερικός χώρος του γραφείου 5 ατόμων που έχει την μικρότερη ροή αέρα από τα παράθυρα, έχει και την μεγαλύτερη συγκέντρωση βακτηρίων και την χαμηλότερη συγκέντρωση μυκήτων συγκριτικά με τους άλλους δύο εσωτερικούς χώρους. Όσο για τους μύκητες (γράφημα 8.20), η συγκέντρωσή τους στο προαύλιο παραμένει σχετικά χαμηλή στα 220 CFU/m³, παρ' όλο που η θερμοκρασία έχει αυξηθεί σε 20.7 °C. Η χαμηλή συγκριτικά συγκέντρωση των μυκήτων οφείλεται πιθανότατα στη χαμηλή σχετική υγρασία του περιβάλλοντος (πίνακας 8.10).

Πίνακας 8.10 Μετεωρολογικοί παράμετροι εσωτερικών χώρων και εξωτερικού περιβάλλοντος.

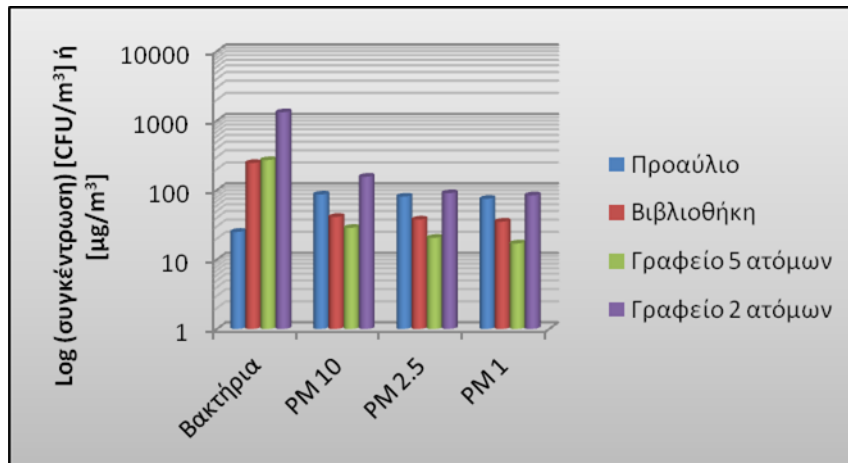
Χώρος Δειγματοληψίας	Ταχύτητα (m/s)	Θερμοκρασία (°C)	Σχετική Υγρασία (RH%)	Ροή Αέρα (m ³ /hour)	Αρ. Ατόμων
Προαύλιο	0,2	20,7	56		
Βιβλιοθήκη	0,27	22,27	45,7	614,67	9
Γραφείο 5 ατόμων	0,08	24,2	47,3	18,3	6
Γραφείο 2 ατόμων	0,03	24,1	52,1	27,4	4

Εξετάζοντας τις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων παρατηρούμε ότι βρίσκονται εντός των επιτρεπτών ορίων.



Γράφημα 8.20 Συγκέντρωση αερομεταφερόμενων μυκήτων & αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους και στο εξωτερικό περιβάλλον.

8.1.11 11^η Δειγματοληψία (07/04/2009)



Γράφημα 8.21 Συγκέντρωση αερομεταφερόμενων βακτηρίων & αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους και στο εξωτερικό περιβάλλον.

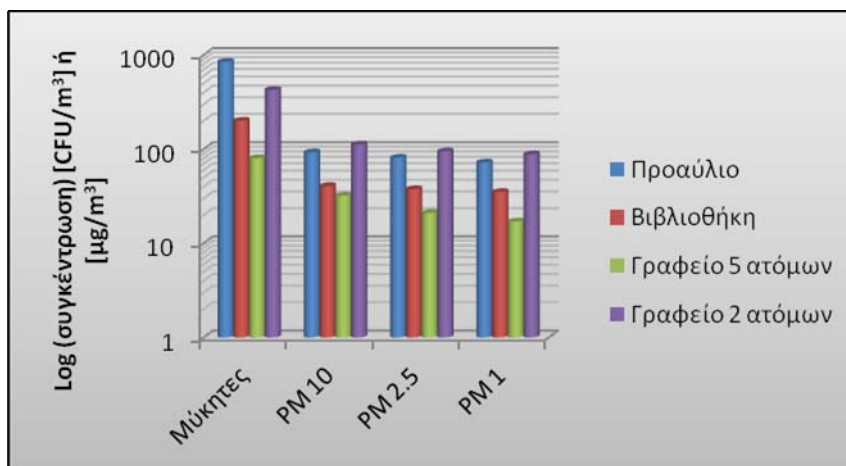
Στο γράφημα 8.21 παρατηρούμε ο αέρας του εσωτερικού χώρου στο γραφείο 2 ατόμων ήταν κατά τη συγκεκριμένη ημερομηνία ιδιαίτερα επιβαρυνμένος με βακτήρια και αιωρούμενα σωματίδια. Η συγκέντρωσή των βακτηρίων έφτασε μέχρι 1300 CFU/m³ και των PM₁₀ σωματιδίων 155,5 μg/m³. Όσον αφορά τους μύκητες η συγκέντρωσή τους ήταν χαμηλότερη αυτής του εξωτερικού περιβάλλοντος αλλά υψηλότερη σε σύγκριση με τους άλλους δύο εσωτερικούς χώρους. Με βάση τις τιμές της ροής αέρα του πίνακα 8.11 ο εσωτερικό χώρος που θα περιμέναμε να έχει την υψηλότερη συγκέντρωση βακτηρίων είναι το γραφείο 5 ατόμων το οποίο είχε τα παράθυρα κλειστά. Σ' αυτήν όμως τη δειγματοληψία το γραφείο 5 ατόμων είχε το κλιματιστικό σε λειτουργία του οποίου τα φίλτρα προφανώς κατακρατούσαν τους ρύπους βιολογικής προέλευσης.

Για το γραφείο 2 ατόμων δεν μπορούμε να πούμε με βεβαιότητα ότι η υψηλή συγκέντρωση βακτηρίων οφείλεται μόνο στη χαμηλή ροή αέρα την ώρα από πόρτες και παράθυρα αυτού του χώρου και αυτό γιατί δεν προσδιορίστηκε ο αριθμός των ατόμων σ' αυτό το χώρο (πίνακας 8.11).

Πίνακας 8.11 Μετεωρολογικοί παράμετροι εσωτερικών χώρων και εξωτερικού περιβάλλοντος.

Χώρος Δειγματοληψίας	Ταχύτητα (m/s)	Θερμοκρασία (°C)	Σχετική Υγρασία (RH%)	Ροή Αέρα (m ³ /hour)	Αρ. Ατόμων
Προαύλιο	0,45	16,9	70,3		
Βιβλιοθήκη	0,15	22,1	55	1400	4
Γραφείο 5 ατόμων	0,02	23,6	59	0	4
Γραφείο 2 ατόμων	0,165	22,6	56,95	9,67	δ.π. ²¹

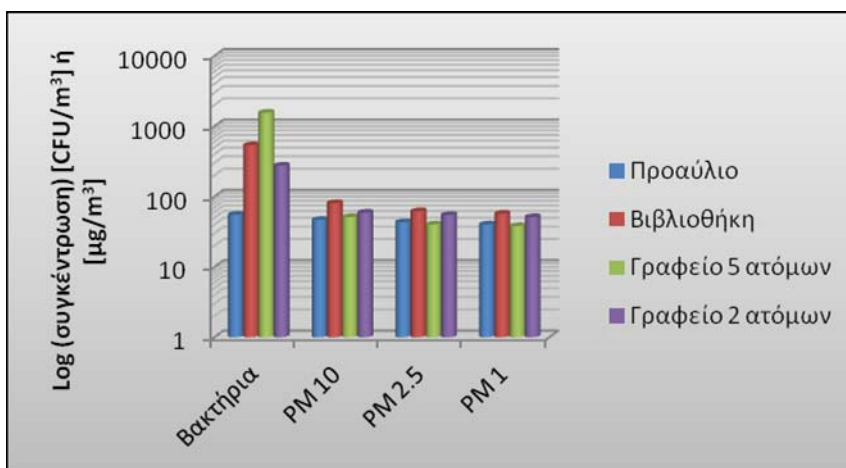
²¹ Δεν προσδιορίστηκε.



Γράφημα 8.22 Συγκέντρωση αερομεταφερόμενων μυκήτων & αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους και στο εξωτερικό περιβάλλον.

Σχετικά με τους μύκητες παρατηρούμε από το γράφημα 8.22 ότι η συγκέντρωσή τους στο προαύλιο, αυξήθηκε στα 850 CFU/m³. Σε αυτό έχει συμβάλει πιθανότατα και η αύξηση της σχετικής υγρασίας στον χώρο αυτό (πίνακας 8.11).

8.1.12 12^η Δειγματοληψία (28/04/2009)



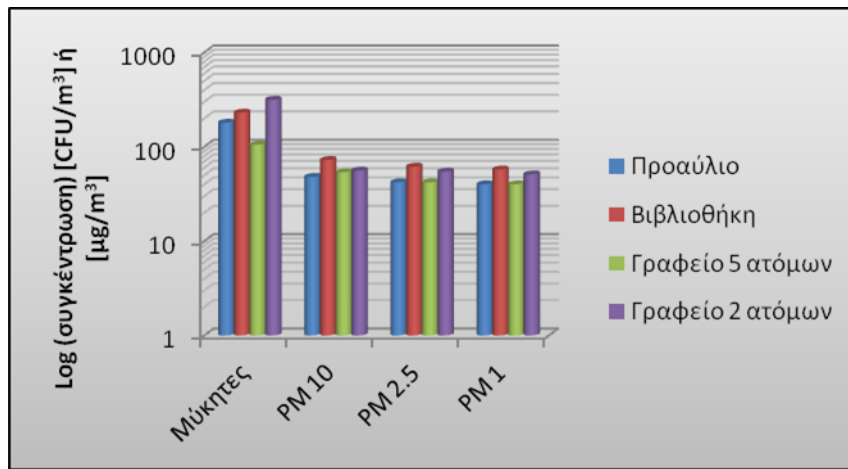
Γράφημα 8.23 Συγκέντρωση αερομεταφερόμενων βακτηρίων & αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους και εξωτερικό περιβάλλον.

Κατά την 12^η δειγματοληψία όλοι οι εσωτερικοί χώροι παρουσιάζουν υψηλές συγκεντρώσεις βακτηρίων (5 έως 28 φορές υψηλότερες του μάρτυρα). Αντίθετα οι συγκεντρώσεις των μυκήτων δεν είναι πολύ υψηλότερες εκείνης του μάρτυρα-προαυλίου. Από το γράφημα 8.23 παρατηρούμε και σε αυτή την δειγματοληψία ότι ο εσωτερικός χώρος του γραφείου 5 ατόμων με τη χαμηλή ροή αέρα παρουσιάζει την μεγαλύτερη συγκέντρωση βακτηρίων. Η βιβλιοθήκη έχει την αμέσως επόμενη υψηλή συγκέντρωση βακτηρίων καθώς έχει τα παράθυρά της κλειστά και μεγάλο αριθμό παρευρισκομένων ατόμων (πίνακας 8.12).

Αυξημένη συγκέντρωση μυκήτων καταγράφηκε στο γραφείο 2 ατόμων όπου σε αυτή την δειγματοληψία η ροή του αέρα ήταν υψηλή. Η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων είναι χαμηλή σε όλους τους χώρους δειγματοληψίας (γράφημα 8.24).

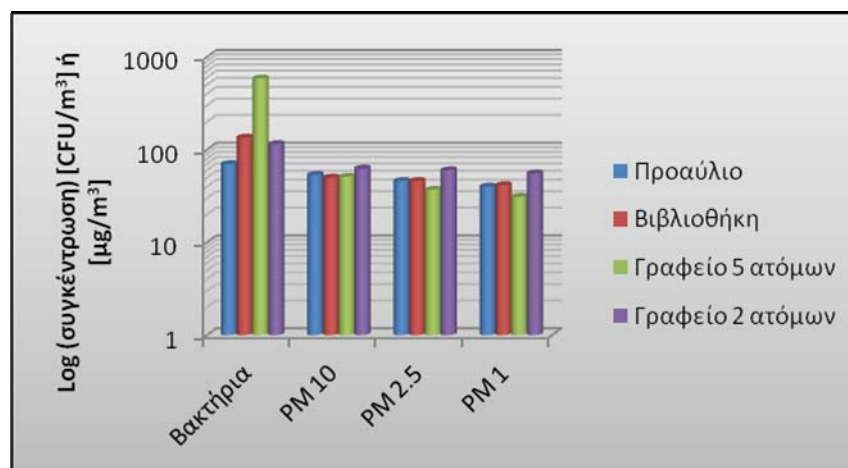
Πίνακας 8.12 Μετεωρολογικοί παράμετροι εσωτερικών χώρων και εξωτερικού περιβάλλοντος

Χώρος Δειγματοληψίας	Ταχύτητα (m/s)	Θερμοκρασία (°C)	Σχετική Υγρασία (RH%)	Ροή Αέρα (m ³ /hour)	Αρ. Ατόμων
Προαύλιο	0,26	17,2	58,2		
Βιβλιοθήκη	0,02	19,8	59,8	0	18
Γραφείο 5 ατόμων	0,08	21,6	55	12,8	5
Γραφείο 2 ατόμων	0,16	22,4	46,9	500	δ.π. ²²



Γράφημα 8.24 Συγκέντρωση αερομεταφερόμενων μυκήτων & αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους και εξωτερικό περιβάλλον.

8.1.13 13^η Δειγματοληψία (04/05/2009)



Γράφημα 8.25 Συγκέντρωση αερομεταφερόμενων βακτηρίων & αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους και στο εξωτερικό περιβάλλον.

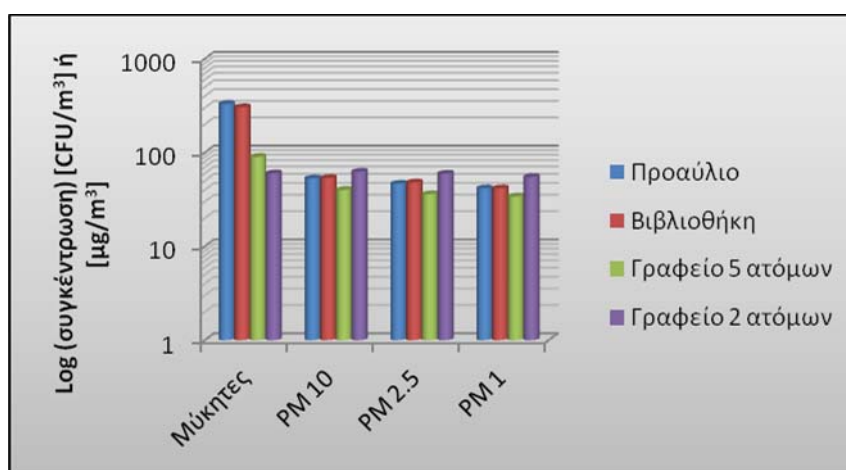
²² Δεν προσδιορίστηκε.

Από το γράφημα 8.25 και τον πίνακα 8.13 παρατηρούμε ότι το γραφείο 5 ατόμων, το οποίο έχει τα παράθυρά του κλειστά και σε συνδυασμό με τον υψηλό αριθμό ατόμων που βρίσκονται σε αυτό το χώρο, παρουσιάζει την υψηλότερη συγκέντρωση αερομεταφερόμενων βακτηρίων σε σχέση με τους άλλους δύο εσωτερικούς χώρους δειγματοληψίας.

Αντίθετα η συγκέντρωση των μυκήτων στον χώρο αυτό όπως και στο γραφείο 2 ατόμων είναι χαμηλή λόγω της μηδενικής σχεδόν εναλλαγής αέρα με το εξωτερικό περιβάλλον. Αυξημένη συγκέντρωση μυκήτων παρουσιάζει η βιβλιοθήκη λόγω της υψηλής ροής αέρα (351 m³/h). Τα αιωρούμενα σωματίδια της ατμόσφαιρα είναι σε χαμηλά επίπεδα σε όλους τους χώρους δειγματοληψίας.

Πίνακας 8.13 Μετεωρολογικοί παράμετροι εσωτερικών χώρων και εξωτερικού περιβάλλοντος.

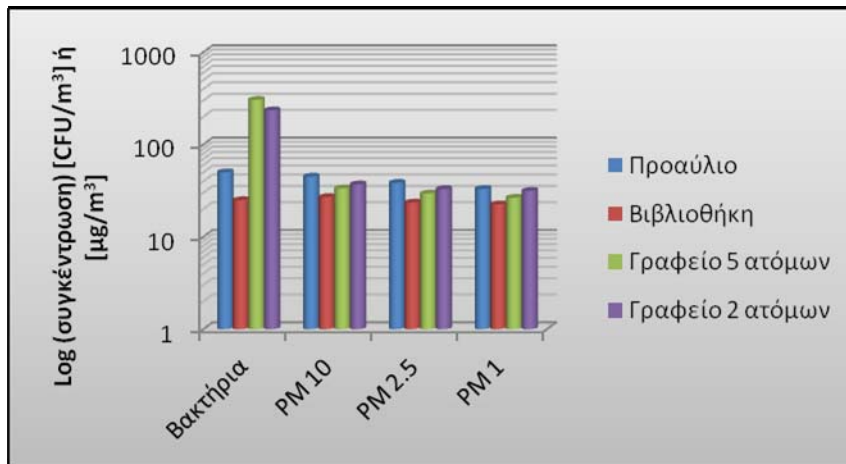
Χώρος Δειγματοληψίας	Ταχύτητα (m/s)	Θερμοκρασία (°C)	Σχετική Υγρασία (RH%)	Ροή Αέρα (m ³ /hour)	Αρ. Ατόμων
Προαύλιο	0,15	15,26	79,68		
Βιβλιοθήκη	0,04	18	64	351	4
Γραφείο 5 ατόμων	0,02	20,8	67,8	0	6
Γραφείο 2 ατόμων	0,01	22,2	58,5	0	δ.π. ²³



Γράφημα 8.26 Συγκέντρωση αερομεταφερόμενων μυκήτων & αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους και στο εξωτερικό περιβάλλον.

²³ Δεν προσδιορίστηκε

8.1.14 14^η Δειγματοληψία (12/05/2009)

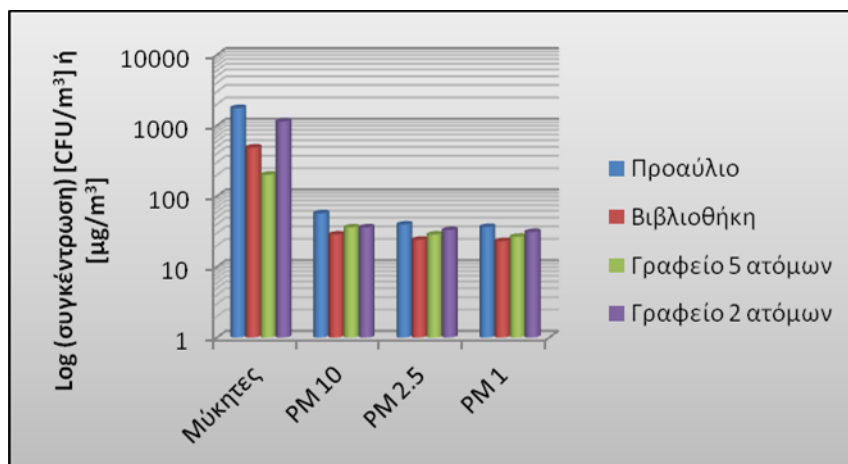


Γράφημα 8.27 Συγκέντρωση αερομεταφερόμενων βακτηρίων & αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους και στο εξωτερικό περιβάλλον.

Στη 14^η δειγματοληψία βλέπουμε ότι οι εσωτερικοί χώροι, οι οποίοι ανανεώνονται με επαρκή ποσότητα φρέσκου αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον, παρουσιάζουν και τη χαμηλότερη συγκέντρωση βακτηρίων (γράφημα 8.27 & πίνακας 8.14). Κατά την συγκεκριμένη δειγματοληψία παρατηρήθηκε ιδιαίτερα υψηλή συγκέντρωση μυκήτων στο εξωτερικό περιβάλλον, παρόλο που η συγκέντρωση των βακτηρίων ήταν ιδιαίτερα χαμηλή.

Πίνακας 8.14 Μετεωρολογικοί παράμετροι εσωτερικών χώρων και εξωτερικού περιβάλλοντος

Χώρος Δειγματοληψίας	Ταχύτητα (m/s)	Θερμοκρασία (°C)	Σχετική Υγρασία (RH%)	Ροή Αέρα (m ³ /hour)	Αρ. Ατόμων
Προαύλιο	0,11	22,3	45,75		
Βιβλιοθήκη	0,4	22,2	41,95	1370	7
Γραφείο 5 ατόμων	0,07	23,7	48,2	120	7
Γραφείο 2 ατόμων	0,18	24,6	49,3	27,4	δ.π.

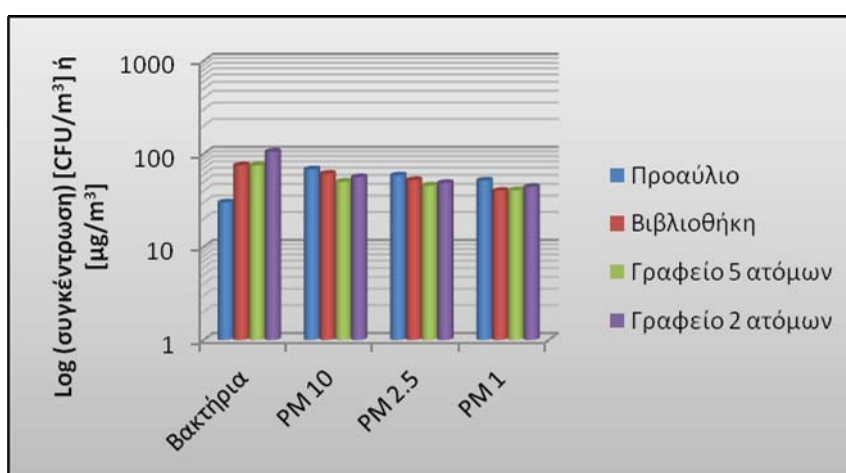


Γράφημα 8.28 Συγκέντρωση αερομεταφερόμενων μυκήτων & αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους και στο εξωτερικό περιβάλλον.

Το γράφημα 8.28 μας δείχνει υψηλή συγκέντρωση μυκήτων στο προαύλιο καθώς και στο γραφείο 2 ατόμων.

8.1.15 15^η Δειγματοληψία (19/05/2009)

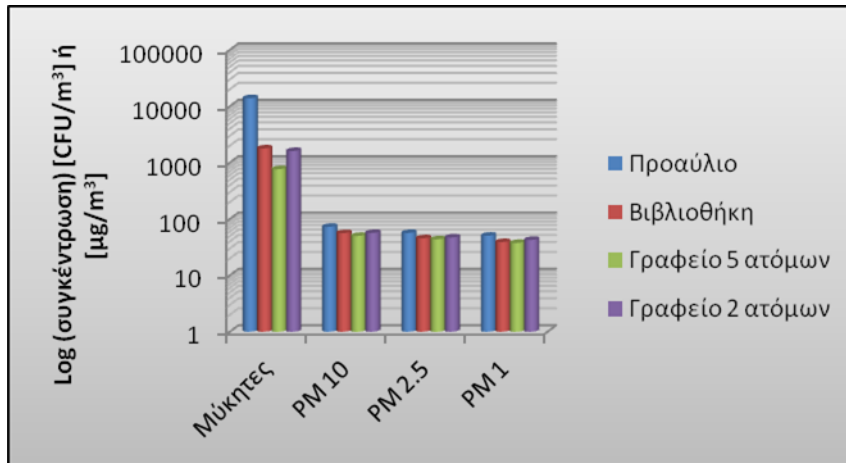
Η 15^η δειγματοληψία, στην οποία έχουμε καλή ανανέωση και των τριών εσωτερικών χώρων με φρέσκο αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον (πίνακας 8.15), μετρήθηκαν οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις βακτηρίων που έχουν καταγραφεί μέχρι τώρα. Βλέπουμε λοιπόν ότι η καλή ποιότητα αέρα σε εσωτερικούς χώρους επιτυγχάνεται με καλό αερισμό των χώρων αυτών. Η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων της ατμόσφαιρας στους χώρους αυτούς (γράφημα 8.29) και στο εξωτερικό περιβάλλον ήταν ελαφρά υψηλότερη ή προσέγγιζε την ανώτατη ημερήσια επιτρεπτή συγκέντρωση (για τα PM₁₀ ≥ 50 μg/m³).



Γράφημα 8.29 Συγκέντρωση αερομεταφερόμενων βακτηρίων & αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους και στο εξωτερικό περιβάλλον.

Πίνακας 8.15 Μετεωρολογικοί παράμετροι εσωτερικών χώρων και εξωτερικού περιβάλλοντος.

Χώρος Δειγματοληψίας	Ταχύτητα (m/s)	Θερμοκρασία (°C)	Σχετική Υγρασία (RH%)	Ροή Αέρα (m ³ /hour)	Αρ. Ατόμων
Προαύλιο	0,23	23,35	64,65		
Βιβλιοθήκη	0,36	23,7	58,25	1883	7
Γραφείο 5 ατόμων	0,15	24,05	58,7	109,6	4
Γραφείο 2 ατόμων	0,05	26,5	50	158	δ.π.

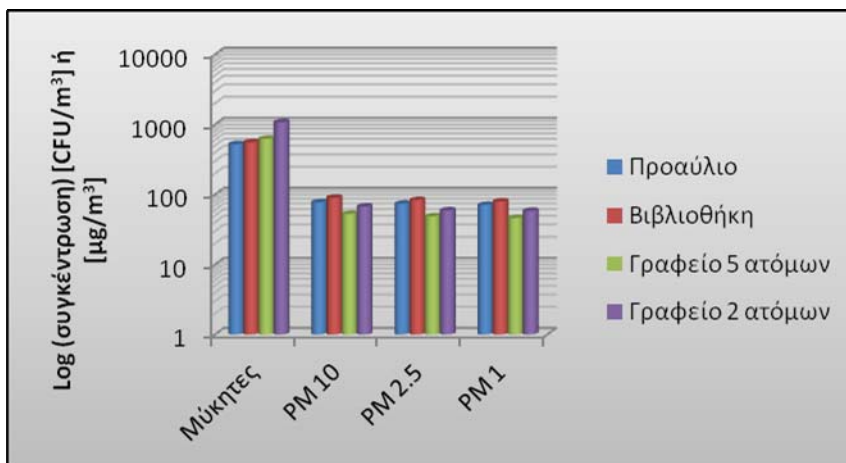


Γράφημα 8.30 Συγκέντρωση αερομεταφερόμενων μυκήτων & αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους και στο εξωτερικό περιβάλλον.

Αντίθετα σε αυτή την δειγματοληψία παρατηρούμε ότι η συγκέντρωση μυκήτων είναι η υψηλότερη που καταμετρήθηκε μέχρι σήμερα και στο προαύλιο 13880 CFU/m³. Στην 4^η και 16^η δειγματοληψία όπου επικρατούσαν οι ίδιοι περίπου μετεωρολογικοί παράμετροι στο προαύλιο, τόσο υψηλή συγκέντρωση μυκήτων δεν καταγράφηκε. Ταυτόχρονα ιδιαίτερα υψηλές συγκεντρώσεις αερομεταφερόμενων μυκήτων μετρήθηκαν και στη βιβλιοθήκη, όπως και στο γραφείο 2 ατόμων (1785 και 1605 cfu/m³ αντίστοιχα).

8.1.16 16^η Δειγματοληψία (26/05/2009)

Στην 16^η δειγματοληψία καταγράφηκαν μόνο τα αποτελέσματα της συγκέντρωσης των μυκήτων στους χώρους δειγματοληψίας.



Γράφημα 8.31 Συγκέντρωση αερομεταφερόμενων μυκήτων & αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους και στο εξωτερικό περιβάλλον.

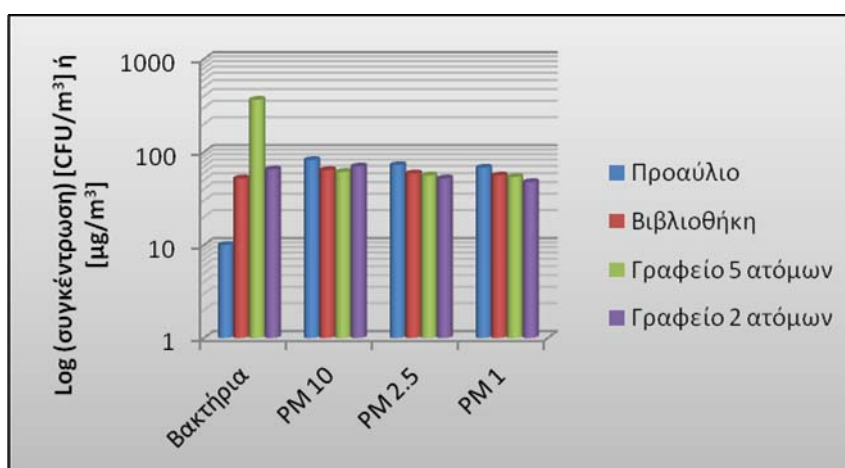
Από τα γράφημα 8.31 παρατηρούμε ότι ο αέρας του εσωτερικού χώρου του γραφείου 2 ατόμων είναι περισσότερο επιβαρυνμένος με μύκητες σε σχέση με τους υπόλοιπους χώρους δειγματοληψίας. Η χαμηλότερη συγκέντρωση μυκήτων καταγράφηκε στο προαύλιο. Η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων της ατμόσφαιρας και στα τέσσερα σημεία δειγματοληψίας είχαν υψηλές τιμές. Στο προαύλιο η συγκέντρωση των PM₁₀ σωματιδίων

ήταν 77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, υψηλότερη της ανώτατης επιτρεπτής ημερήσιας τιμής. Στον πίνακα 8.16 βλέπουμε τους μετεωρολογικούς παράγοντες των χώρων αυτών.

Πίνακας 8.16 Μετεωρολογικοί παράγοντες εσωτερικών χώρων και εξωτερικού περιβάλλοντος.

Χώρος Δειγματοληψίας	Ταχύτητα (m/s)	Θερμοκρασία (°C)	Σχετική Υγρασία (RH%)	Ροή Αέρα (m^3/hour)	Αρ. Ατόμων
Προαύλιο	0,44	23,7	69,98		
Βιβλιοθήκη	0,43	24,2	65,78	1734,25	2
Γραφείο 5 ατόμων	0,23	27,47	45,1	641	δ.π. ²⁴ .
Γραφείο 2 ατόμων	1,2	28,7	38,8	220	δ.π.

8.1.17 17^η Δειγματοληψία (01/06/2009)



Γράφημα 8.32 Συγκέντρωση αερομεταφερόμενων βακτηρίων & αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους και στο εξωτερικό περιβάλλον.

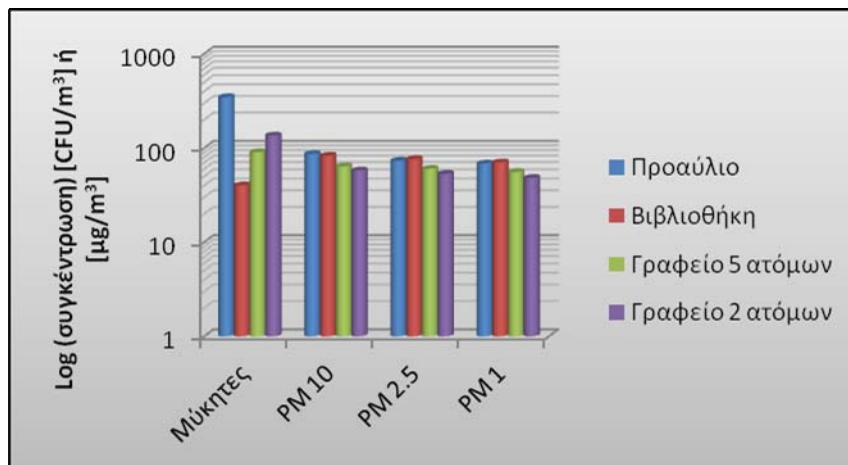
Στο γράφημα 8.32 παρατηρούμε ότι η μεγαλύτερη συγκέντρωση βακτηρίων καταγράφηκε στο γραφείο 5 ατόμων παρόλο που μετρήθηκε υψηλή ροή αέρα. Βλέποντας τις τιμές του πίνακα 8.17, θα περιμέναμε το γραφείο 2 ατόμων να παρουσιάζει την μεγαλύτερη συγκέντρωση βακτηρίων, στο οποίο καταγράφηκε η χαμηλότερη ροή αέρα. Δεν μπορούμε να πούμε με βεβαιότητα που οφείλεται η μεγάλη συγκέντρωση των βακτηρίων καθώς σε αυτή την δειγματοληψία δεν προσδιορίστηκε ο αριθμός ατόμων σε κάθε έναν από αυτούς τους χώρους. Οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων ήταν αρκετά υψηλές. Η συγκέντρωση των PM_{10} σωματιδίων στο προαύλιο ήταν 73 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ υψηλότερη της κατώτατης ημερήσιας επιτρεπτής τιμής.

²⁴ Δεν προσδιορίστηκε

Πίνακας 8.17 Μετεωρολογικοί παράμετροι εσωτερικών χώρων και εξωτερικού περιβάλλοντος.

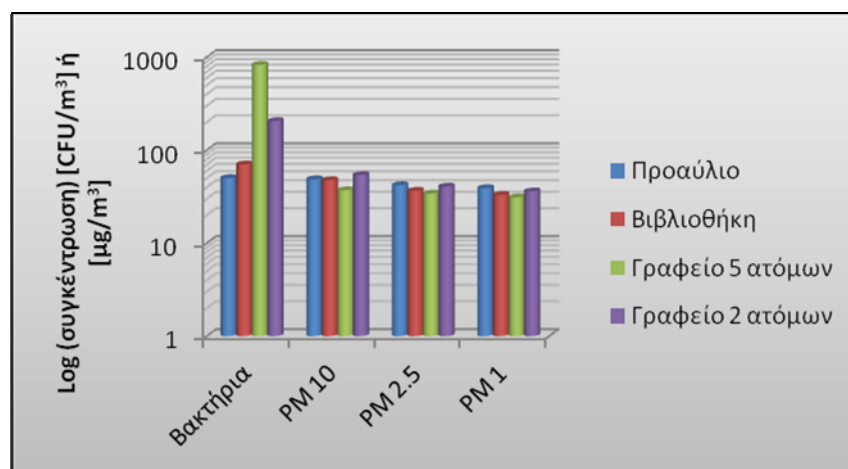
Χώρος Δειγματοληψίας	Ταχύτητα (m/s)	Θερμοκρασία (°C)	Σχετική Υγρασία (RH%)	Ροή Αέρα (m ³ /hour)	Αρ. Ατόμων
Προαύλιο	0,28	22,66	74,26		
Βιβλιοθήκη	0,41	25,27	66,83	3100	δ.π ²⁵ .
Γραφείο 5 ατόμων	0,21	26,97	62,47	549	δ.π.
Γραφείο 2 ατόμων	0,26	27	59,5	150	δ.π.

Στο γράφημα 8.33 παρατηρούμε ότι στο προαύλιο έχει μετρηθεί η υψηλότερη συγκέντρωση μυκήτων σε σχέση με τους άλλους τρεις εσωτερικούς χώρους. Γενικά, όπως παρατηρούμε και στους τρεις εσωτερικούς η συγκέντρωση των μυκήτων βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα.



Γράφημα 8.33 Συγκέντρωση αερομεταφερόμενων μυκήτων & αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους και εξωτερικό περιβάλλον.

8.1.18 18^η Δειγματοληψία (10/06/2009)



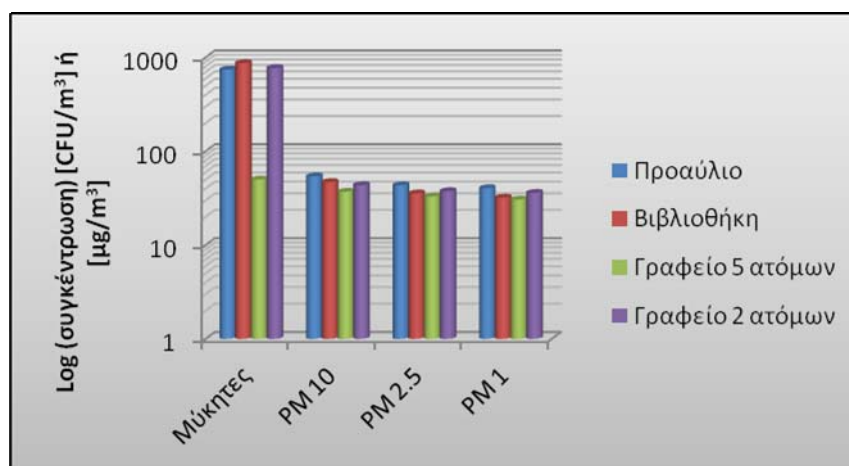
Γράφημα 8.34 Συγκέντρωση αερομεταφερόμενων βακτηρίων & αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους και εξωτερικό περιβάλλον.

²⁵ Δεν προσδιορίστηκε

Κατά τη συγκεκριμένη ημερομηνία μετρήθηκε στο εξωτερικό περιβάλλον χαμηλή συγκέντρωση βακτηρίων και υψηλή συγκέντρωση μυκήτων. Από το γράφημα 8.34 και τον πίνακα 8.18 παρατηρούμε ότι η βιβλιοθήκη ανανεώνοντας τον εσωτερικό της χώρο με επαρκή ποσότητα αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον παρουσιάζει την χαμηλότερη συγκέντρωση βακτηρίων από τους άλλους δύο χώρους, ενώ το γραφείο 5 ατόμων που έχει τα παράθυρα του κλειστά και ροή αέρα σχεδόν 0 m³/h παρουσιάζει την υψηλότερη συγκέντρωση βακτηρίων.

Πίνακας 8.18 Μετεωρολογικοί παράμετροι εσωτερικών χώρων και εξωτερικού περιβάλλοντος.

Χώρος Δειγματοληψίας	Ταχύτητα (m/s)	Θερμοκρασία (°C)	Σχετική Υγρασία (RH%)	Ροή Αέρα (m ³ /hour)	Αρ. Ατόμων
Προαύλιο	0,21	26,88	46,92		
Βιβλιοθήκη	0,23	26,18	49,75	1636	3
Γραφείο 5 ατόμων	0	27	41,7	0	δ.π ²⁶ .
Γραφείο 2 ατόμων	0,24	28,1	50,3	247	δ.π.



Γράφημα 8.35 Συγκέντρωση αερομεταφερόμενων μυκήτων & αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους και εξωτερικό περιβάλλον.

Από το γράφημα 8.35 παρατηρούμε μεγάλες συγκεντρώσεις μυκήτων στη βιβλιοθήκη και στο γραφείο 2 ατόμων λόγω της υψηλής ροής αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον σε αυτούς τους χώρους. Μικρή συγκέντρωση μυκήτων καταγράφηκε στο γραφείο 5 ατόμων όπου δεν υπήρχε εναλλαγή αέρα. Η συγκέντρωση των PM₁₀ αιωρούμενων σωματιδίων προσέγγισε την ανώτατη ημερήσια επιτρεπτή τιμή των 50 µg/m³ προαύλιο. Στους εσωτερικούς χώρους ήταν χαμηλότερη.

²⁶ Δεν προσδιορίστηκε

8.2 ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΠΙΒΙΩΣΗΣ ΤΩΝ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ ΣΤΑ ΑΝΤΙΒΙΟΤΙΚΑ-ΜΥΚΗΤΟΚΤΟΝΑ

Στο δεύτερο μέρος αυτού του κεφαλαίου, θα παρουσιαστεί το ποσοστό επιβίωσης των μικροοργανισμών στα αντιβιοτικά. Οι 5 αντιβιοτικές-μυκητοκτόνες ουσίες που χρησιμοποιήθηκαν όπως αναφέρθηκε και προηγούμενα είναι οι ακόλουθες: **Στρεπτομυκίνη**, **Τετρακυκλίνη** και **Αμπικιλίνη** για τον προσδιορισμό του ποσοστού επιβίωσης των βακτηρίων και **Κυκλοεξιμίδιο** και **Νυστατίνη** για τον προσδιορισμό του ποσοστού επιβίωσης των μυκήτων.

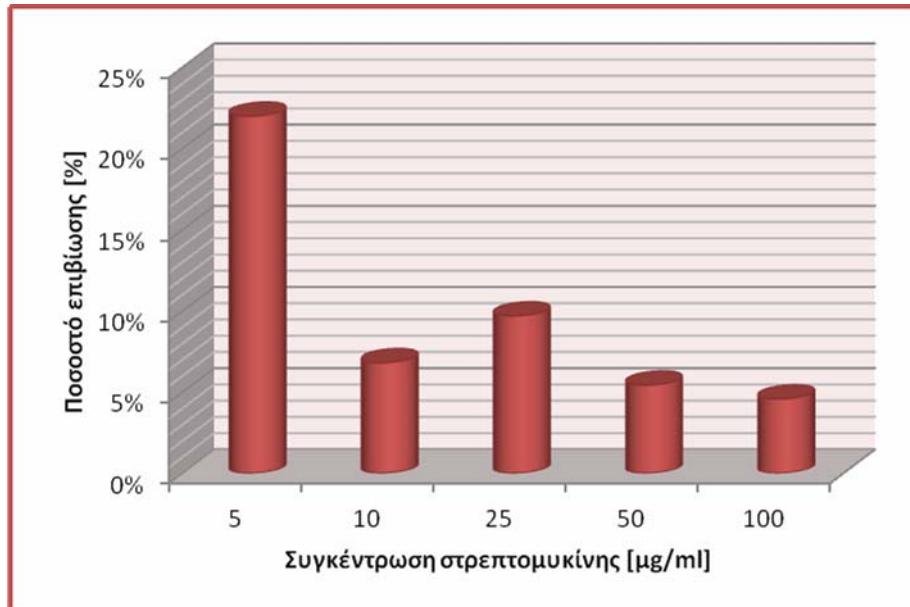
Τα ποσοστά επιβίωσης που παρουσιάστηκαν στα γραφήματα 8.36 έως 8.55 έχουν προκύψει από τον υπολογισμό της μέσης τιμής τριών μετρήσεων οι οποίες πραγματοποιήθηκαν σε τρεις διαφορετικές δειγματοληψίες. Σε αυτό τον λόγο μπορούν να οφείλονται μικρές αυξομειώσεις στα ποσοστά επιβίωσης.

8.2.1 ΠΡΟΑΥΛΙΟ

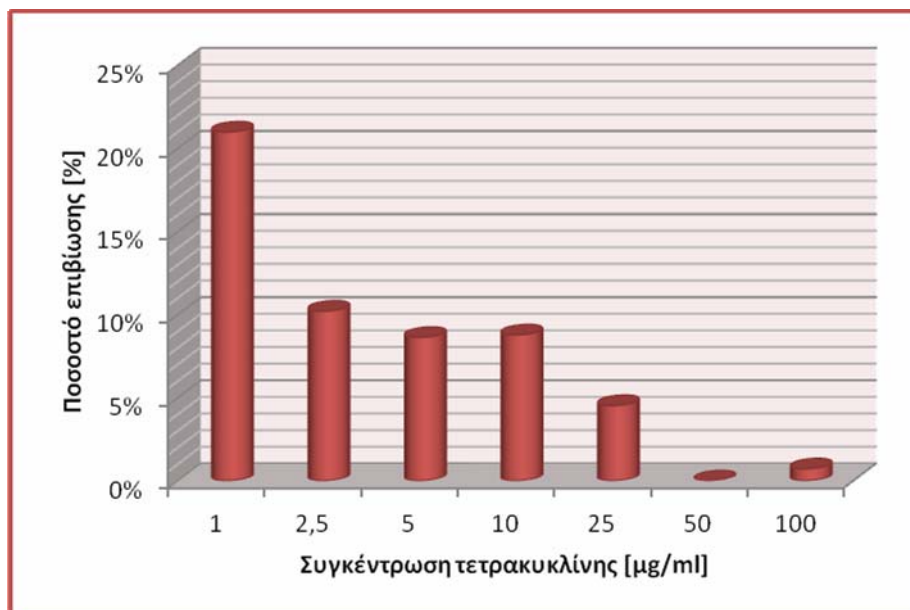
Στα γραφήματα 8.36 μέχρι το 8.39, παρατηρούμε ότι ανθεκτικότητα σε αντιβιοτικές ουσίες διαθέτει ένα αξιοσημείωτο ποσοστό αερομεταφερόμενων μικροβίων στο περιβάλλον. Όπως φαίνεται (γράφημα 8.36 έως 8.38), με αυξανόμενη προσθήκη αντιβιοτικής ουσίας μειώνεται το ποσοστό επιβίωσης. Συγκρίνοντας τα αντιβιοτικά διαπιστώθηκε ότι το υψηλότερο ποσοστό επιβίωσης μετρήθηκε σε θρεπτικά υποστρώματα που περιείχαν στρεπτομυκίνη (4,6% ποσοστό επιβίωσης σε 100 μg/ml στρεπτομυκίνης). Αντίθετα το μικρότερο ποσοστό επιβίωσης μετρήθηκε σε συγκεντρώσεις αμπικιλίνης (0% ποσοστό επιβίωσης σε 25 μg/ml αμπικιλίνης).

Το γράφημα 8.37 δείχνει το ποσοστό επιβίωσης των βακτηρίων στις διάφορες συγκεντρώσεις της τετρακυκλίνης. Στην τετρακυκλίνη, το ποσοστό επιβίωσης των βακτηρίων είναι χαμηλότερο από αυτό της στρεπτομυκίνης, για τις ίδιες συγκεντρώσεις των δύο αυτών αντιβιοτικών. Σε συγκέντρωση 100 μg/ml τετρακυκλίνης μετρήθηκε ποσοστό επιβίωσης 0,7%.

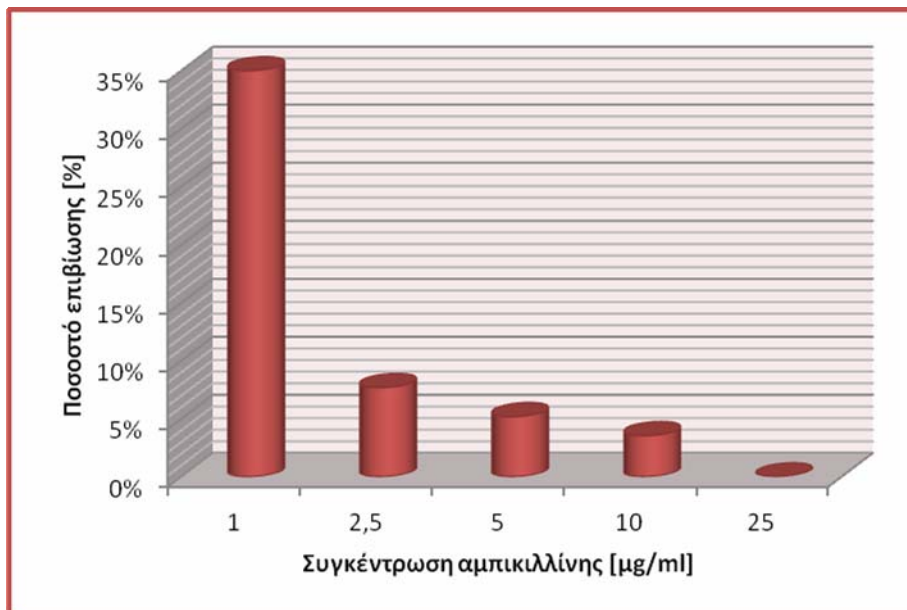
Παρόμοια τάση παρουσιάζεται και στα ποσοστά επιβίωσης των μυκήτων σε κυκλοεξιμίδιο, με αυξανόμενη συγκέντρωση κυκλοεξιμιδίου μειώνεται το ποσοστό επιβίωσης. Αντίθετα όπως φαίνεται στο γράφημα 8.40, η νυστατίνη επέφερε το αντίθετο αποτέλεσμα ευνοώντας την ανάπτυξη των μυκήτων με αυξανόμενη συγκέντρωση. Λόγω της μυκητοκτόνου δράσης της συγκέντρωσης μικρότερες των 100 μg/ml, το αποτέλεσμα αυτό μπορεί να οφείλεται σε αλληλεπιδράσεις της νυστατίνης με συστατικά του θρεπτικού υποστρώματος.



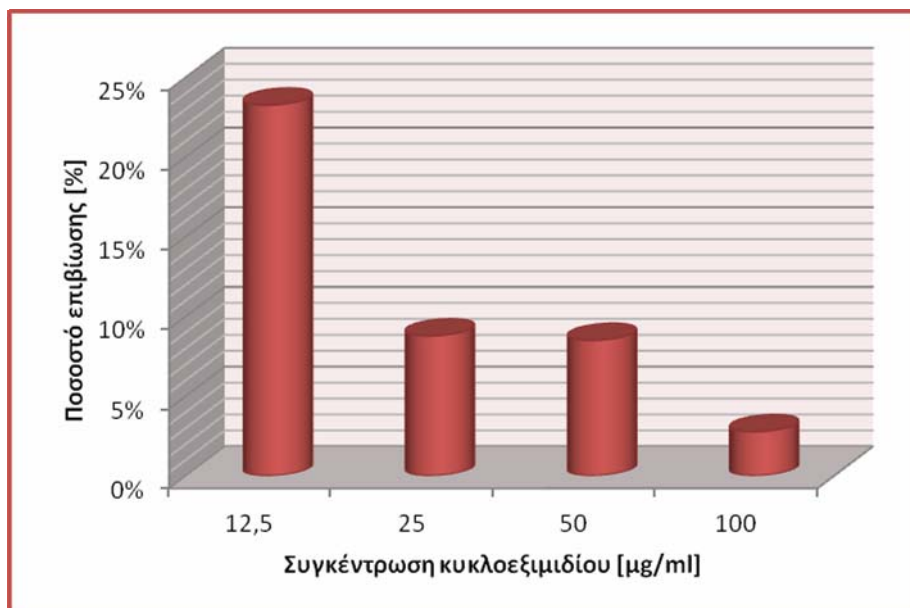
Γράφημα 8.36 Ποσοστό επιβίωσης των αερομεταφερόμενων βακτηρίων σε διάφορες συγκεντρώσεις στρεπτομυκίνης στο εξωτερικό περιβάλλον.



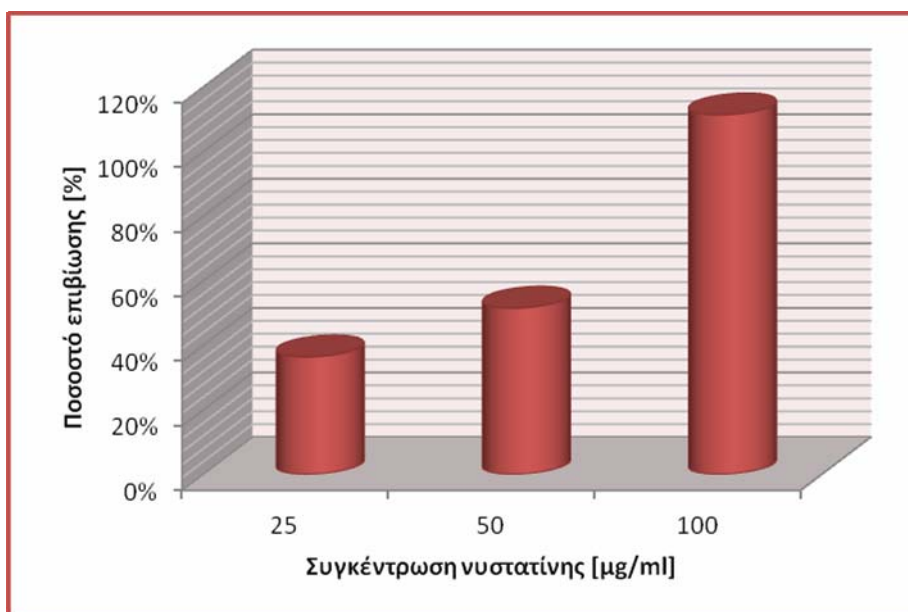
Γράφημα 8.37 Ποσοστό επιβίωσης των αερομεταφερόμενων βακτηρίων σε διάφορες συγκεντρώσεις τετρακυκλίνης στο εξωτερικό περιβάλλον.



Γράφημα 8.38 Ποσοστό επιβίωσης των βακτηρίων σε διάφορες συγκεντρώσεις αμπικιλίνης στο εξωτερικό περιβάλλον.



Γράφημα 8.39 Ποσοστό επιβίωσης των αερομεταφερόμενων μυκήτων σε διάφορες συγκεντρώσεις κυκλοεξιμιδίου στο εξωτερικό περιβάλλον.



Γράφημα 8.40 Ποσοστό επιβίωσης των αερομεταφερόμενων μυκήτων σε διάφορες συγκεντρώσεις νυστατίνης στο εξωτερικό περιβάλλον.

8.2.2 ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ

Όπως φαίνεται και στα διαγράμματα 8.41 έως 8.45, μετρήθηκαν στον εσωτερικό χώρο της βιβλιοθήκης παρόμοια ποσοστά επιβίωσης αερομεταφερόμενων μικροοργανισμών σε θρεπτικά υποστρώματα που περιείχαν αντιβιοτικές και μυκητοκτόνες ουσίες όπως στο εξωτερικό περιβάλλον. Στον συγκεκριμένο εσωτερικό χώρο δειγματοληψίας επικρατούσε μεγάλη εναλλαγή αέρα με το εξωτερικό περιβάλλον (βλέπε μετρήσεις ροής αέρα στο κεφάλαιο 8.1) και συνήθως παρευρισκόταν μεγάλος αριθμός ατόμων. Αυτό επηρέασε ιδιαίτερα τα αποτελέσματα του ποσοστού επιβίωσης σε 50 µg/ml στρεπτομυκίνης, 1 µg/ml τετρακυκλίνης, 1 µg/ml αμπικιλλίνης και 100 µg/ml κυκλοεξιμίδιο.

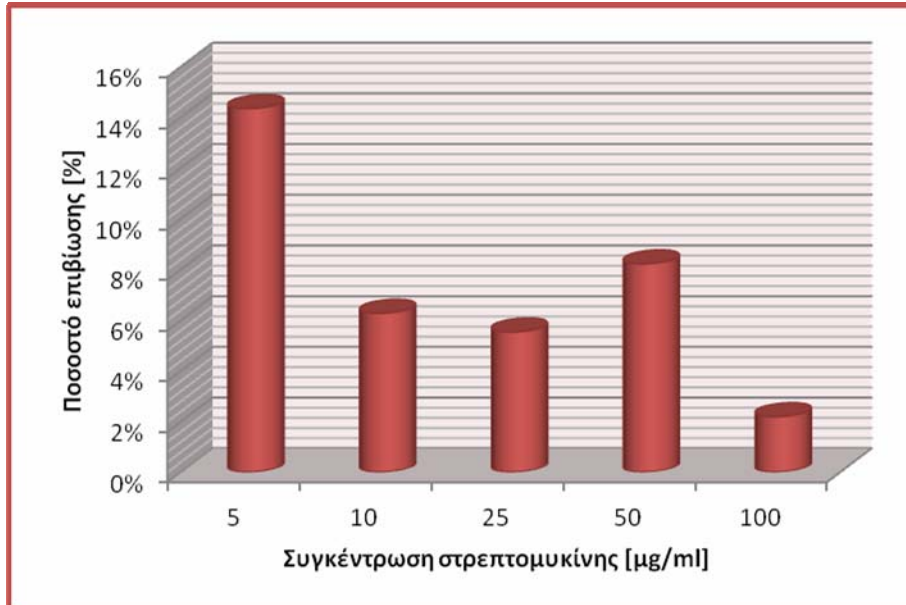
Σε μια από τις δειγματοληψίες, όπου μετρήθηκαν οι προαναφερθείσες συγκεντρώσεις, παρευρισκόταν μεγάλος αριθμός ατόμων (18 άτομα) στο χώρο της βιβλιοθήκης αυξάνοντας τα ποσοστά επιβίωσης των μικροβίων και ταυτόχρονα ανθεκτικότητας στα αντιβιοτικά και μυκητοκτόνα.

Όσον αφορά τις αντιβιοτικές ουσίες μετρήθηκαν τα μεγαλύτερα ποσοστά επιβίωσης σε 100 µg/ml στρεπτομυκίνης (2,2%, γράφημα 8.41). Η τετρακυκλίνη παρουσιάζει χαμηλό ποσοστό επιβίωσης βακτηρίων στον χώρο της βιβλιοθήκης (γράφημα 8.42). Μόνο η τετρακυκλίνη με συγκέντρωση 1 µg/ml παρουσιάζει πολύ υψηλό ποσοστό επιβίωσης (81%). Το αποτέλεσμα αυτό οφείλεται πιθανότατα στο γεγονός ότι κατά την μια από τις δειγματοληψίες που πραγματοποιήθηκαν στον χώρο της βιβλιοθήκης παρευρίσκονταν μεγάλος αριθμός ατόμων (>18).

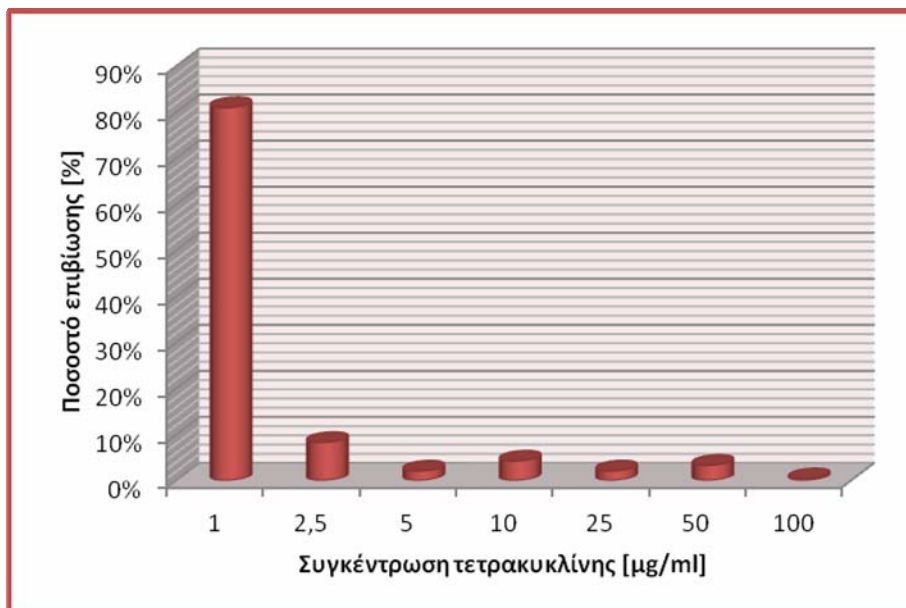
Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται και στο γράφημα 8.43. Η προσθήκη αμπικιλλίνης συγκέντρωσης 1 µg/ml παρουσιάζει το μεγάλο ποσοστό επιβίωσης βακτηρίων (34,8%), παρόλο που η αμπικιλλίνη αποδείχθηκε και σε αυτή την σειρά μετρήσεων ως η πιο τοξική για τα βακτήρια. Συγκρίνοντας τα γραφήματα 8.44 και 8.45 παρατηρούμε ότι ενώ το κυκλοεξιμίδιο παρεμποδίζει την ανάπτυξη των μυκήτων με αυξανόμενη συγκέντρωση, η αντίστροφη τάση παρατηρείται με την νυστατίνη. Το ποσοστό επιβίωσης σε 100 µg/ml

κυκλοεξιμίδιο στο χώρο της βιβλιοθήκης (8,8%) ήταν υψηλότερο του μετρηθέντος στο εξωτερικό περιβάλλον (2,8%).

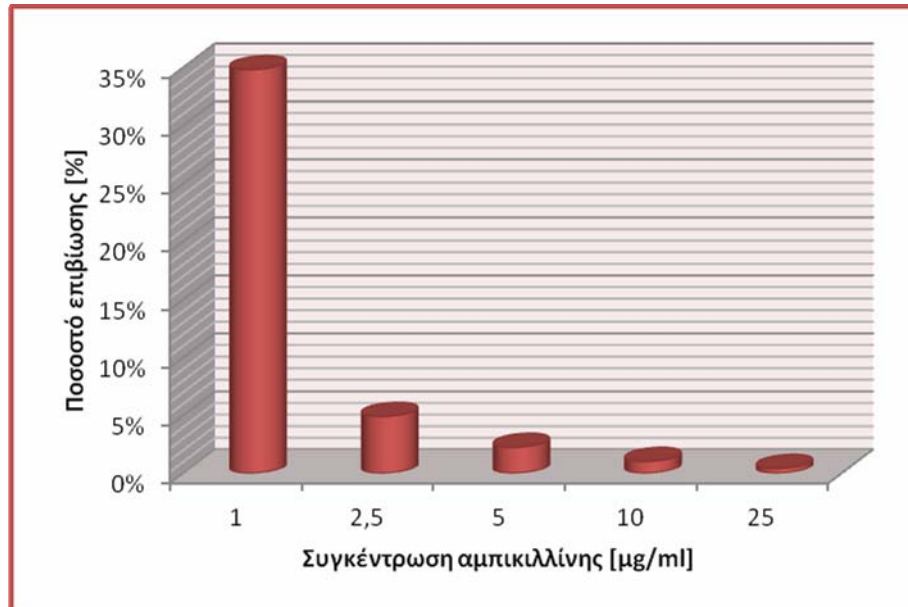
Η μυκητοκτόνα ουσία νυστατίνη, όπως παρατηρήθηκε και προηγουμένως δεν παρουσιάζει ικανοποιητικά αποτελέσματα παρεμπόδισης της ανάπτυξης των μυκήτων (γράφημα 8.45). Και εδώ η αύξηση της συγκέντρωσης της νυστατίνης στο θρεπτικό υπόστρωμα επηρεάζει λιγότερο την ανάπτυξη των μυκήτων.



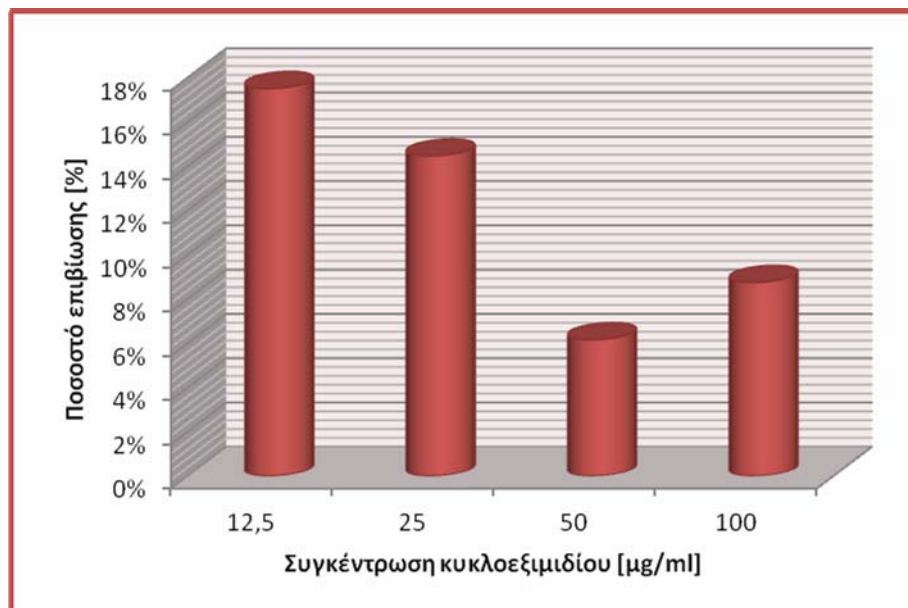
Γράφημα 8.41 Ποσοστό επιβίωσης των αερομεταφερόμενων βακτηρίων σε διάφορες συγκεντρώσεις στρεπτομυκίνης στη βιβλιοθήκη.



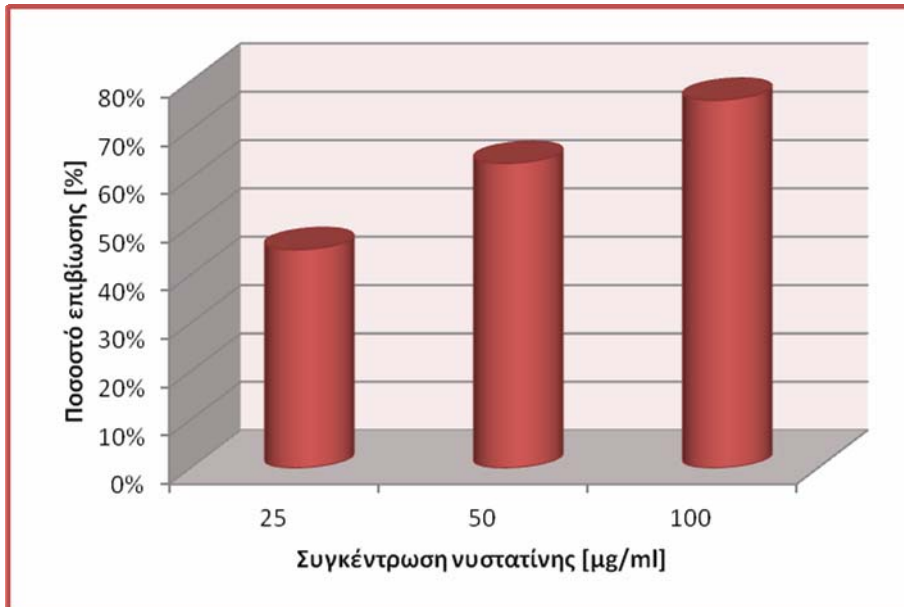
Γράφημα 8.42 Ποσοστό επιβίωσης των αερομεταφερόμενων σε διάφορες συγκεντρώσεις τετρακυκλίνης στη βιβλιοθήκη.



Γράφημα 8.43 Ποσοστό επιβίωσης των αερομεταφερόμενων βακτηρίων σε διάφορες συγκεντρώσεις αμπικιλίνης στη βιβλιοθήκη.



Γράφημα 8.44 Ποσοστό επιβίωσης των αερομεταφερόμενων μυκήτων σε διάφορες συγκεντρώσεις κυκλοεξιμιδίου στη βιβλιοθήκη.



Γράφημα 8.45 Ποσοστό επιβίωσης των αερομεταφερόμενων μυκήτων σε διάφορες συγκεντρώσεις νυστατίνης στη βιβλιοθήκη.

8.2.3 ΓΡΑΦΕΙΟ ΠΕΝΤΕ ΑΤΟΜΩΝ

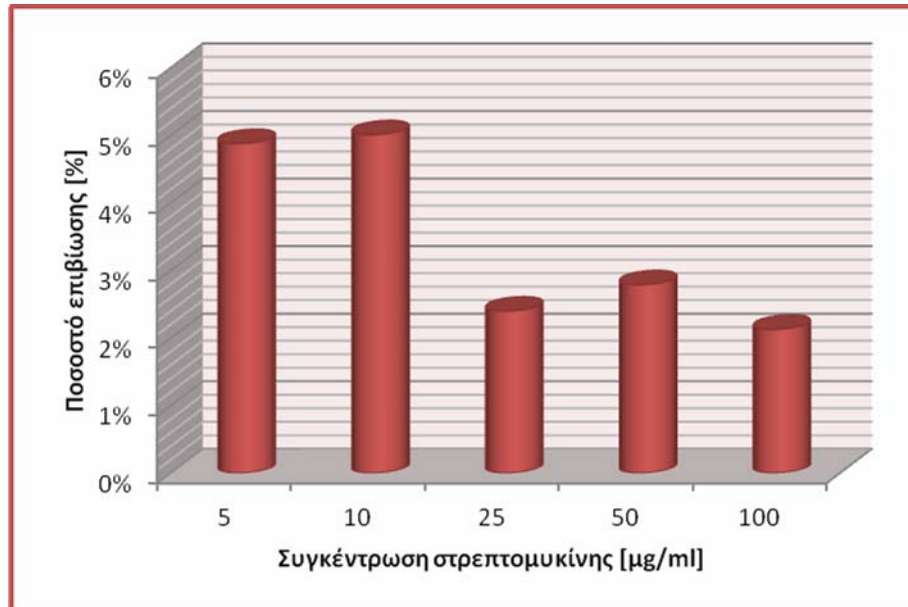
Συγκρίνοντας τα ποσοστά επιβίωσης των αερομεταφερόμενων μικροβίων στον εσωτερικό χώρο του γραφείου των 5 ατόμων με αυτά του εξωτερικού περιβάλλοντος διαπιστώνουμε, ότι η ανθεκτικότητα στα αντιβιοτικά είναι ελαφρά μειωμένη στα βακτήρια, ενώ η ανθεκτικότητα στα μυκητοκτόνα είναι ελαφρά αυξημένη στους αερομεταφερόμενους μύκητες, στο εξωτερικό περιβάλλον.

Όπως φαίνεται και στο γράφημα 8.46 οι συγκεντρώσεις στρεπτομυκίνης παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ποσοστό επιβίωσης στα βακτήρια σε σχέση με τις άλλες δύο αντιβιοτικές ουσίες. Στην τετρακυκλίνη το ποσοστό επιβίωσης των βακτηρίων είναι χαμηλότερο από αυτό της στρεπτομυκίνης για τις ίδιες συγκεντρώσεις των δύο αυτών αντιβιοτικών (γράφημα 8.47). Το ποσοστό επιβίωσης σε 10 µg/ml τετρακυκλίνης είναι μεγαλύτερο από αυτό σε 5 µg/ml τετρακυκλίνης. Αυτό ίσως να οφείλεται σε πειραματικά σφάλματα κατά την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας.

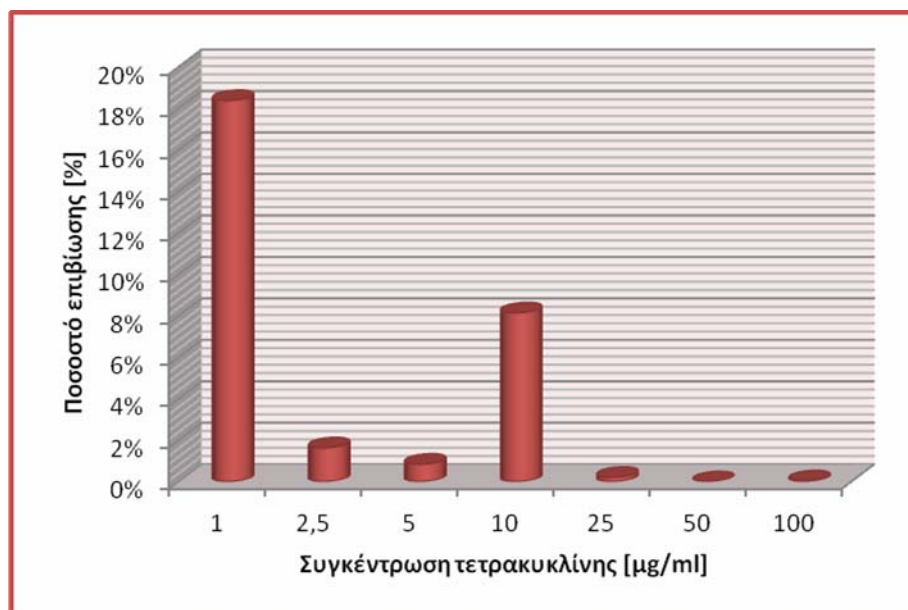
Στο γράφημα 8.48 βλέπουμε το ποσοστό επιβίωσης σε διάφορες συγκεντρώσεις αμπικιλίνης. Η αμπικιλίνη παρουσιάζει και σε αυτή την σειρά μετρήσεων την μεγαλύτερη παρεμπόδιση ανάπτυξης βακτηρίων.

Στο γράφημα 8.49 βλέπουμε το ποσοστό επιβίωσης των μυκήτων σε σχέση με τις διάφορες συγκεντρώσεις του κυκλοεξιμίδιου. Το κυκλοεξιμίδιο των 12,5 µg/ml παρουσιάζει το μεγαλύτερο ποσοστό επιβίωσης (25%).

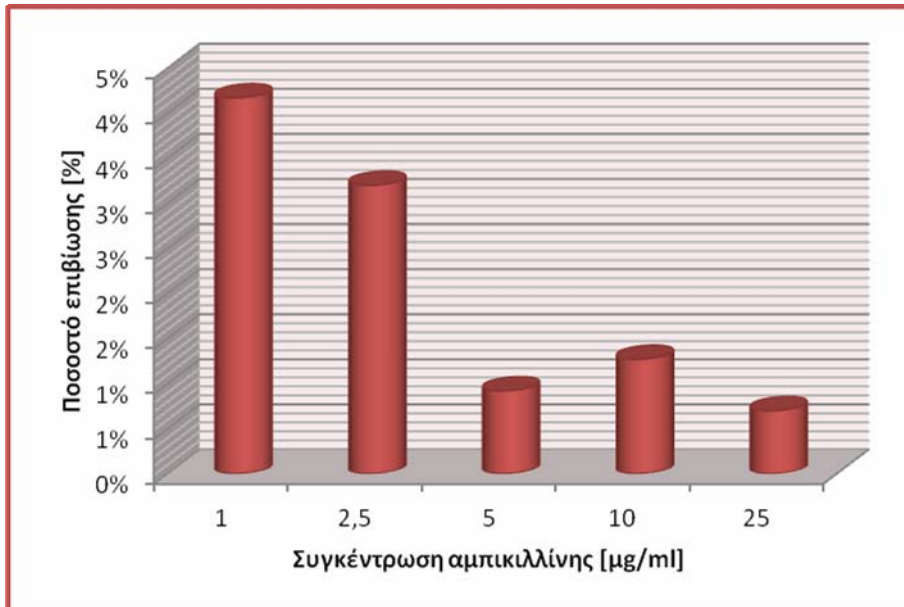
Τα αποτελέσματα της αντιβιοτικής ουσίας νυστατίνης όπως αναφέραμε και προηγουμένως δεν είναι ικανοποιητικά (γράφημα 8.50).



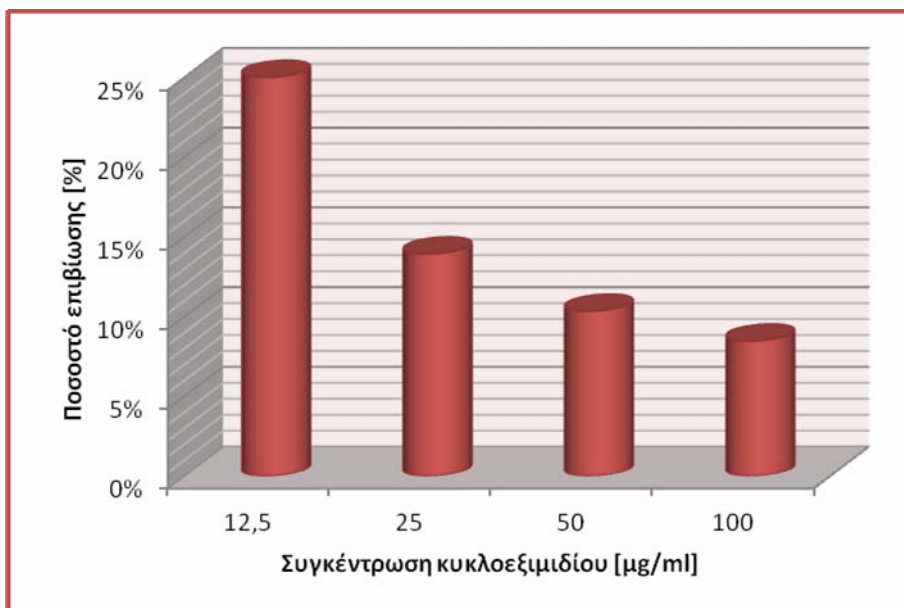
Γράφημα 8.46 Ποσοστό επιβίωσης των αερομεταφερόμενων βακτηρίων σε διάφορες συγκεντρώσεις στρεπτομυκίνης στο γραφείο 5 ατόμων.



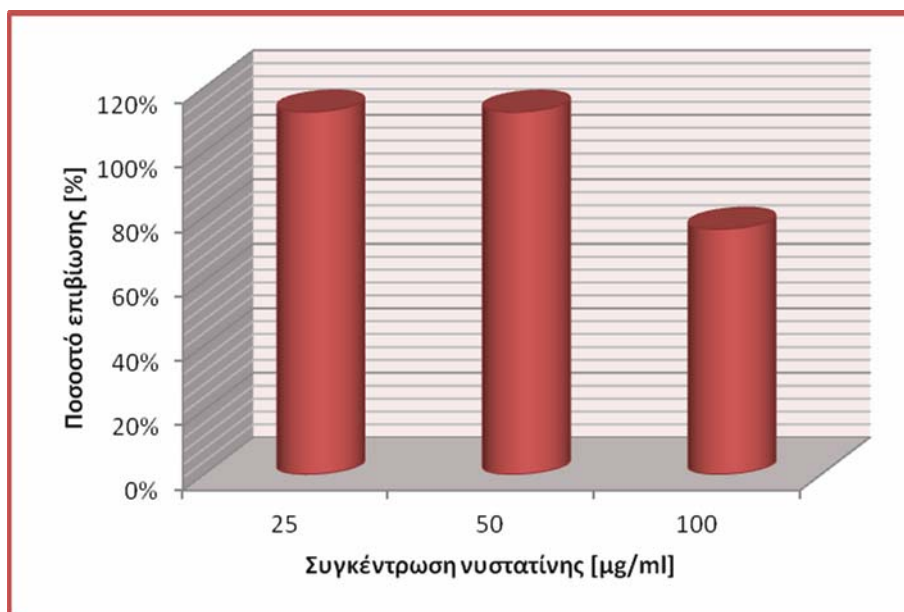
Γράφημα 8.47 Ποσοστό επιβίωσης των αερομεταφερόμενων βακτηρίων σε διάφορες συγκεντρώσεις τετρακυκλίνης στο γραφείο 5 ατόμων.



Γράφημα 8.48 Ποσοστό επιβίωσης των βακτηρίων σε διάφορες συγκεντρώσεις αμπικιλίνης στο γραφείο 5 ατόμων.



Γράφημα 8.49 Ποσοστό επιβίωσης των μυκήτων σε διάφορες συγκεντρώσεις κυκλοεξιμιδίου στο γραφείο 5 ατόμων.



Γράφημα 8.50 Ποσοστό επιβίωσης των αερομεταφερόμενων μυκήτων σε διάφορες συγκεντρώσεις νυστατίνης στο γραφείο 5 ατόμων.

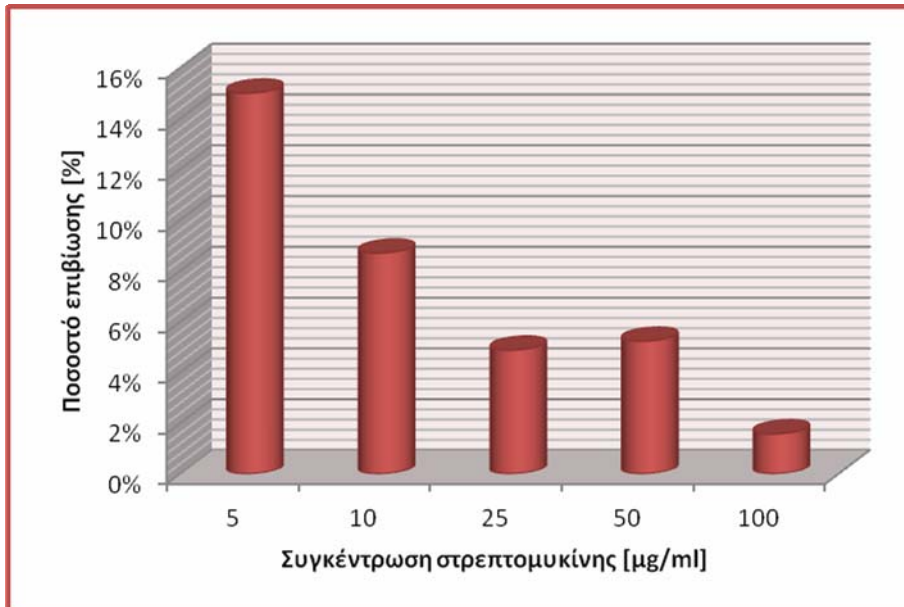
8.2.4 ΓΡΑΦΕΙΟ ΔΥΟ ΑΤΟΜΩΝ

Στα διαγράμματα 8.51 έως 8.55, όπου απεικονίζονται τα ποσοστά επιβίωσης και ταυτόχρονα ανθεκτικότητας των αερομεταφερόμενων μικροβίων στον εσωτερικό χώρο του γραφείου των δύο ατόμων, παρατηρούνται αντίστοιχα αποτελέσματα των προηγούμενων.

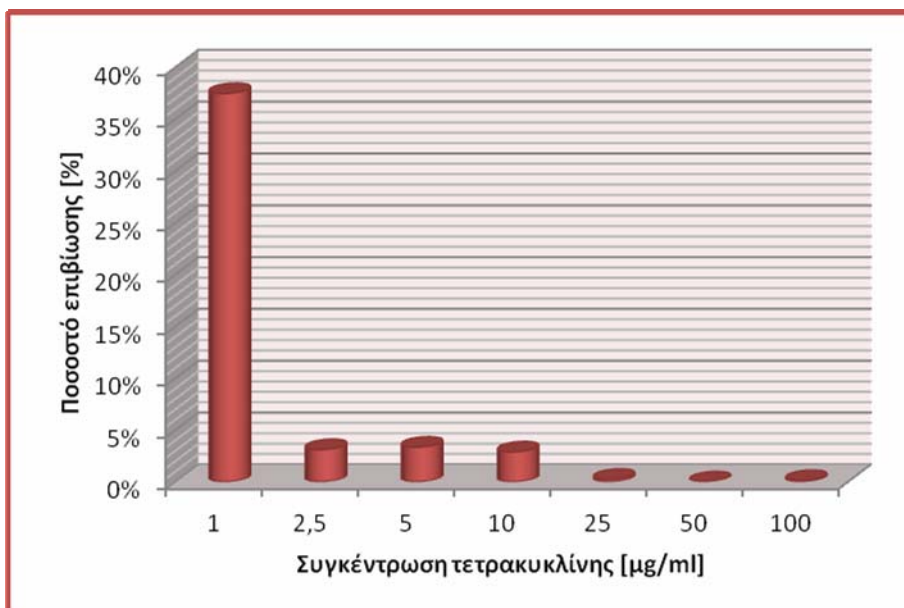
Όσον αφορά τα ετερότροφα βακτήρια παρατηρείται η μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στην στρεπτομυκίνη και η χαμηλότερη στην αμπικιλίνη. Όσον αφορά τους μύκητες, η μεγαλύτερη ανθεκτικότητα μετρήθηκε στην νυστατίνη ενώ η χαμηλότερη στο κυκλοεξιμίδιο.

Στο γράφημα 8.51 βλέπουμε ότι το υψηλότερο ποσοστό επιβίωσης βακτηρίων αντιστοιχεί στην στρεπτομυκίνη με την χαμηλότερη συγκέντρωση (15% σε 5 µg/ml). Στο γράφημα 8.52 παρατηρούμε το ίδιο φαινόμενο με την τετρακυκλίνη. Ποσοστό επιβίωσης 37% μετρήθηκε σε 1 µg/ml τετρακυκλίνη, ενώ 1 µg/ml αμπικιλίνης παρουσιάζει ποσοστό επιβίωσης 11% (γράφημα 8.53), χαμηλότερο αυτού της τετρακυκλίνης. Στο γράφημα 8.54 βλέπουμε το ποσοστό επιβίωσης των μυκήτων στο κυκλοεξιμίδιο. Το μεγαλύτερο ποσοστό επιβίωσης 26% μετρήθηκε σε συγκέντρωση 12,5 µg κυκλοεξιμιδίου ανά ml θρεπτικού υποστρώματος.

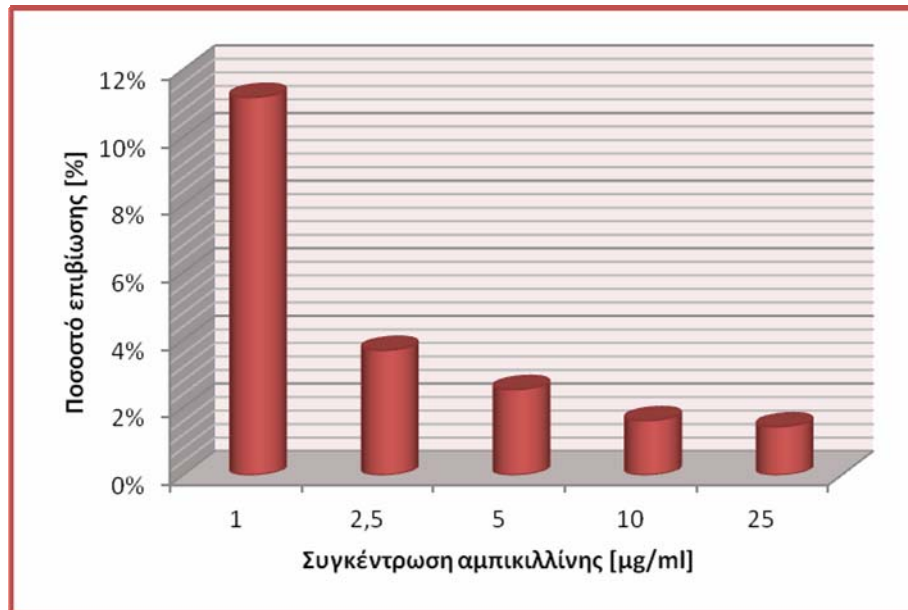
Η αντιβιοτική ουσία νυστατίνη δεν παρουσιάζει ικανοποιητικά αποτελέσματα και σε αυτή την δειγματοληψία (γράφημα 8.55).



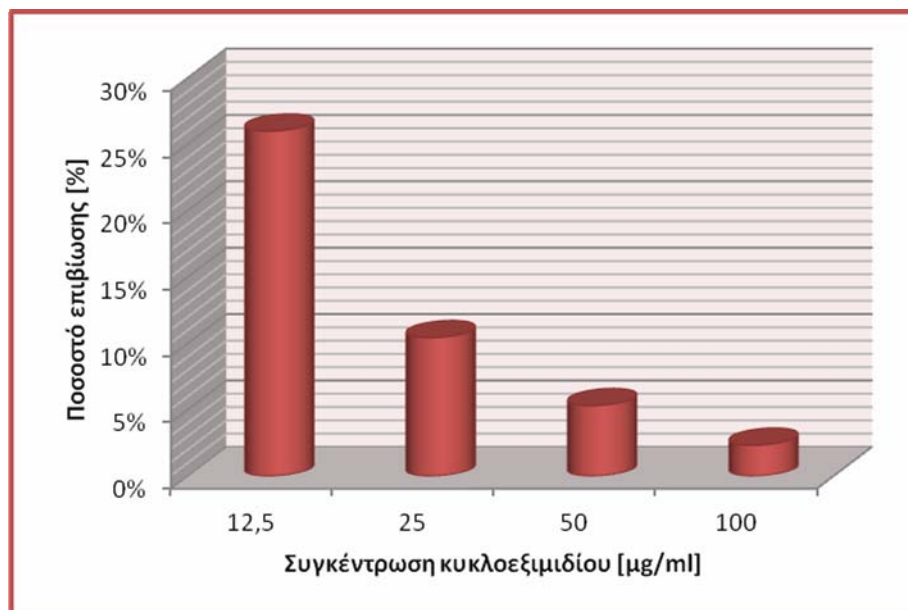
Γράφημα 8.51 Ποσοστό επιβίωσης των αερομεταφερόμενων βακτηρίων σε διάφορες συγκεντρώσεις στρεπτομυκίνης στο γραφείο 2 ατόμων.



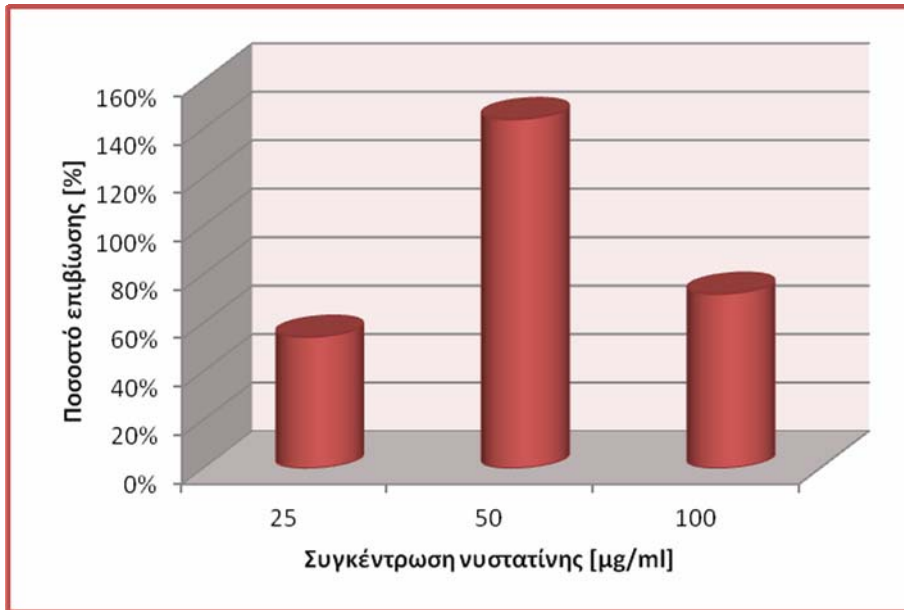
Γράφημα 8.52 Ποσοστό επιβίωσης των αερομεταφερόμενων βακτηρίων σε διάφορες συγκεντρώσεις τετρακυκλίνης στο γραφείο 2 ατόμων.



Γράφημα 8.53 Ποσοστό επιβίωσης των αερομεταφερόμενων βακτηρίων σε διάφορες συγκεντρώσεις αμπικιλίνης στο γραφείο 2 ατόμων.



Γράφημα 8.54 Ποσοστό επιβίωσης των αερομεταφερόμενων μυκήτων σε διάφορες συγκεντρώσεις κυκλοεξιμιδίου στο γραφείο 2 ατόμων.



Γράφημα 8.55 Ποσοστό επιβίωσης των αερομεταφερόμενων μυκήτων σε διάφορες συγκεντρώσεις νυστατίνης στο γραφείο 2 ατόμων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ασχολήθηκε με τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των αερομεταφερόμενων ετερότροφων βακτηρίων, των μεσόφιλων μυκήτων και των εισπνεύσιμων αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους εργασίας (βιβλιοθήκη, γραφείο πέντε ατόμων και γραφείο δύο ατόμων), καθώς και στο εξωτερικό περιβάλλον ως σημείο αναφοράς. Μετρήθηκαν επίσης στους χώρους αυτούς οι ακόλουθοι μετεωρολογικοί παράμετροι: ταχύτητα αέρα περιβάλλοντος, θερμοκρασία αέρα και σχετική υγρασία. Στους εσωτερικούς χώρους μετρήθηκε επιπλέον η ροή του αέρα μέσα από πόρτες και παράθυρα. Τέλος, σε αυτούς τους χώρους μετρήθηκε η ανθεκτικότητα των βακτηρίων και των μυκήτων σε αντιβιοτικά και μυκητοκτόνα. Τα αντιβιοτικά στρεπτομυκίνη, τετρακυκλίνη και αμπικιλίνη χρησιμοποιήθηκαν για την μελέτη της ανθεκτικότητας των βακτηρίων, ενώ τα μυκητοκτόνα κυκλοεξιμίδιο και νυστατίνη δοκιμάστηκαν για την μελέτη της ανθεκτικότητας των μυκήτων.

Στον πίνακα 9.1 παρουσιάζονται οι μέσες συγκεντρώσεις των αερομεταφερόμενων βακτηρίων, μυκήτων και αιωρούμενων σωματιδίων στους χώρους αυτούς καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων.

Πίνακας 9.1 Μέση συγκέντρωση των αερομεταφερόμενων βακτηρίων, των μυκήτων και των αιωρούμενων σωματιδίων στους χώρους δειγματοληψίας.

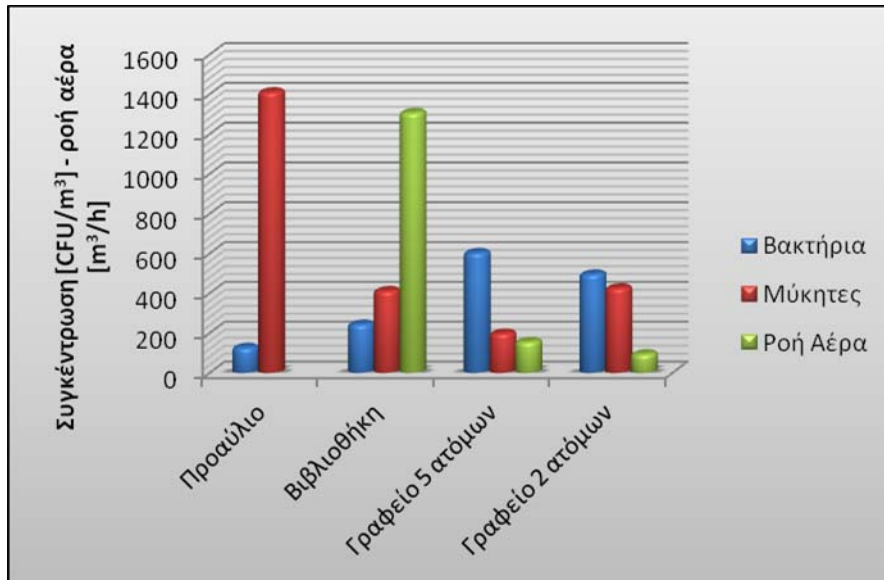
	Βακτήρια (CFU/m ³)	Μύκητες (CFU/m ³)	PM ₁₀ (μg/m ³)	PM _{2,5} (μg/m ³)	PM ₁ (μg/m ³)
Προαύλιο	126 ± 97	1.411 ± 3.151	67,4 ± 31,3	58 ± 30,3	51,8 ± 28,9
Βιβλιοθήκη	244 ± 240	412 ± 416	69,7 ± 37,5	60,2 ± 35	54,8 ± 33,9
Γραφείο 5 ατόμων	604 ± 469	198 ± 225	52,5 ± 16,5	42,9 ± 15	37,9 ± 14,5
Γραφείο 2 ατόμων	496 ± 542	426 ± 449	68,5 ± 29,3	57 ± 24,2	51,3 ± 22,5

Όπως φαίνεται από τις μέσες συγκεντρώσεις που παρουσιάζονται στον πίνακα 9.1, στο εξωτερικό περιβάλλον ήταν η συγκέντρωση των αερομεταφερόμενων μυκήτων πολύ υψηλότερες αυτής των ετερότροφων βακτηρίων. Αντίθετα στους εσωτερικούς χώρους των γραφείων μετρήθηκαν συγκεντρώσεις βακτηρίων υψηλότερες αυτών των μυκήτων. Ο μόνος εσωτερικός χώρος που η συγκέντρωση των μυκήτων ήταν υψηλότερη των βακτηρίων, ήταν η βιβλιοθήκη, προφανώς λόγω της υψηλής ροής αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον, η οποία οδήγησε στην εισαγωγή αερομεταφερόμενων μυκήτων από το εξωτερικό περιβάλλον (γράφημα 9.1).

Η συγκέντρωση των αερομεταφερόμενων μικροβίων στους εσωτερικούς χώρους εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως την ροή αέρα, την σχετική υγρασία του εσωτερικού χώρου, τη θερμοκρασία και κυρίως από τον αριθμό των ατόμων που βρίσκονται σε αυτόν τον χώρο.

Όπως βλέπουμε από το γράφημα 9.1, ο εσωτερικός χώρος με την μεγαλύτερη ροή αέρα, παρουσίαζε την χαμηλότερη συγκέντρωση βακτηρίων στον χώρο αυτό. Το φαινόμενο αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η καλύτερη ποιότητα του αέρα όσον αφορά την συγκέντρωση

των αερομεταφερόμενων βακτηρίων σε έναν εσωτερικό χώρο επιτυγχάνεται με μια καλή ανανέωση του χώρου αυτού με φρέσκο αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον. Στην περίπτωση όμως που ο εξωτερικός αέρας είναι επιβαρυσμένος με συγκεκριμένους ρύπους ή μικροοργανισμούς παρατηρείται αύξηση της συγκέντρωσης αυτών στους εσωτερικούς χώρους, εάν υπάρχει μεγάλη ροή εναλλαγής αέρα (βλέπε συγκεντρώσεις μυκήτων και αιωρούμενων σωματιδίων στον πίνακα 9.1 και στο γράφημα 9.1)



Γράφημα 9.1 Μέση συγκέντρωση των αερομεταφερόμενων βακτηρίων και μυκήτων στους εσωτερικούς χώρους δειγματοληψίας & μέση ροή του αέρα μέσα από πόρτες και παράθυρα των εσωτερικών χώρων αυτών.

Όπως παρατηρείται στον πίνακα 9.1, οι μέσες συγκεντρώσεις των εισπνεύσιμων αιωρούμενων σωματιδίων στο εξωτερικό περιβάλλον ήταν αρκετά αυξημένες. Η συγκέντρωση των PM_{10} σωματιδίων $67,4 \pm 31,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ήταν πολύ υψηλότερη από την ανώτατη επιτρεπτή μέση ετήσια τιμή ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) αλλά και από την ανώτατη επιτρεπτή μέση ημερήσια τιμή ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Στα ίδια επίπεδα ήταν και οι μέσες συγκεντρώσεις των εισπνεύσιμων αιωρούμενων σωματιδίων στους εσωτερικούς χώρους. Όπως προαναφέρθηκε, η ροή εναλλαγής αέρα έχει άμεση σχέση με την συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων και των μικροβίων εφόσον δεν υπάρχουν στους εσωτερικούς χώρους συγκεκριμένες πηγές εκπομπής (καύση τσιγάρου, ξύλου κ.α.).

Στον πίνακα 9.2, συνοψίζονται οι μέσες τιμές των υπόλοιπων παραμέτρων που μετρήθηκαν σε όλο το διάστημα των μετρήσεων.

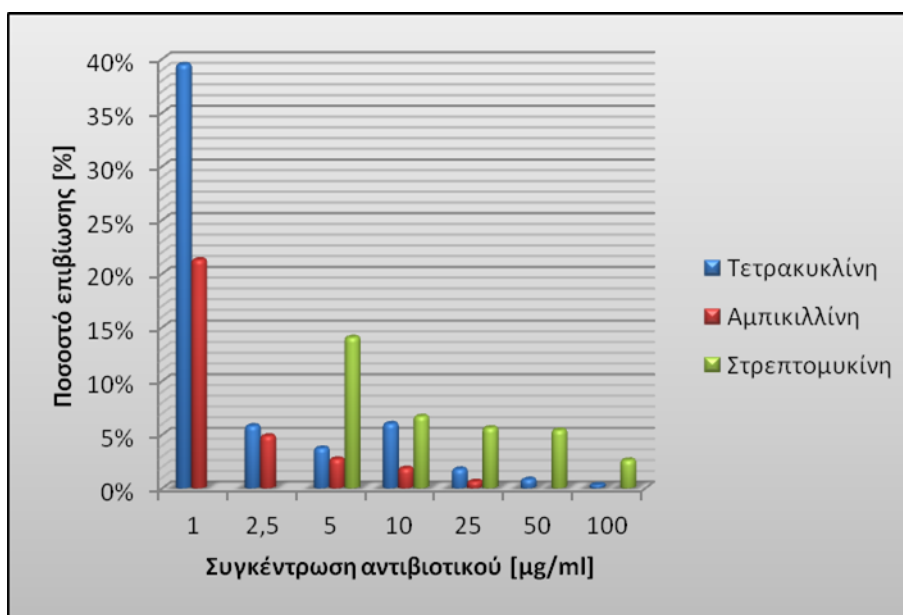
Πίνακας 9.2 Μέσες τιμές μετεωρολογικών και άλλων παραμέτρων στους χώρους δειγματοληψίας.

	Θερμοκρασία (°C)	Σχετική Υγρασία (%)	Ταχύτητα αέρα (m/s)	Ροή Αέρα (m ³ /h)	Αριθμός Ατόμων
Προαύλιο	19,3	61,0	3,13	δ.π.	δ.π. ²⁷
Βιβλιοθήκη	21,7	54,8	0,24	1.306,8	7
Γραφείο 5 ατόμων	23,5	54,1	0,1	156,2	5
Γραφείο 2 ατόμων	24,1	50,5	0,2	94,2	3

Όπως φαίνεται από τον πίνακα 9.2, η μέση θερμοκρασία των εσωτερικών χώρων ήταν περίπου 2,5 °C υψηλότερη του εξωτερικού περιβάλλοντος, ενώ η σχετική υγρασία και η ταχύτητα αέρα ήταν αρκετά χαμηλότερη στους εσωτερικούς χώρους σε σύγκριση με το εξωτερικό περιβάλλον (ΔRH: 5-10 %, Δυ_α: ~ 3 m/s).

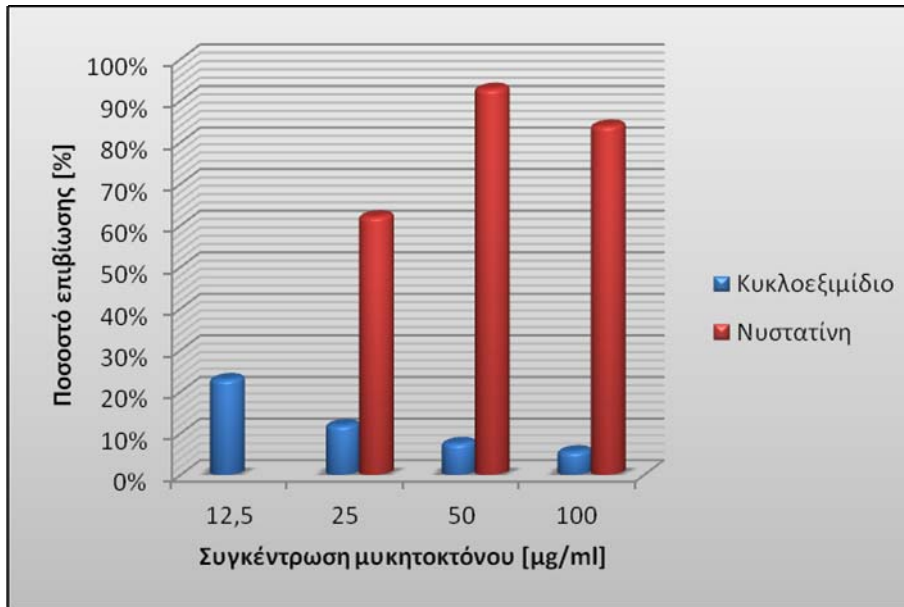
Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των 2 πινάκων διαπιστώνουμε ότι οι συγκεντρώσεις των αερομεταφερόμενων μικροβίων στους συγκεκριμένους εσωτερικούς χώρους και για το διάστημα των μετρήσεων δεν φάνηκε να επηρεάζονται ουσιαστικά από τις τιμές των αερομεταφερόμενων αιωρούμενων σωματιδίων, της θερμοκρασίας και τις σχετικής υγρασίας. Αντίθετα μεγαλύτερη επίδραση φάνηκε να έχουν η ροή του αέρα και αριθμός των παρευρισκόμενων ατόμων στο εσωτερικό περιβάλλον. Ιδιαίτερα η ύπαρξη ατόμων επηρέαζε την συγκέντρωση των αερομεταφερόμενων βακτηρίων λόγω του ότι ο άνθρωπος αποτελεί σημαντική πηγή εκπομπής βιοαεροζόλ με την αναπνοή, την ομιλία και άλλες δραστηριότητες.

Όπως φαίνεται στα γραφήματα 9.2 και 9.3, παρατηρήθηκε στα αερομεταφερόμενα μικρόβια η ύπαρξη ενός αξιοσημείωτου ποσοστού ανθεκτικότητας σε αντιβιοτικά και μυκητοκτόνα.



Γράφημα 9.2 Μέσο ποσοστό επιβίωσης αερομεταφερόμενων βακτηρίων στα σημεία δειγματοληψίας.

²⁷ Δεν προσδιορίστηκε



Γράφημα 9.3 Μέσο ποσοστό επιβίωσης αερομεταφερόμενων μυκήτων στα σημεία δειγματοληψίας.

Η ανθεκτικότητα των αερομεταφερόμενων βακτηρίων μειώνεται με αυξανόμενη συγκέντρωση αντιβιοτικής ουσίας στο θρεπτικό υπόστρωμα. Η αμικιλίνη είχε την πιο ισχυρή αντιβιοτική δράση, ενώ η ανθεκτικότητα σε στρεπτομυκίνη ήταν πιο διαδεδομένη (γράφημα 9.2). Ελαφρά χαμηλότερα ποσοστά επιβίωσης σε αντιβιοτικές ουσίες παρουσίασαν τα αερομεταφερόμενα βακτήρια στους εσωτερικούς χώρους συγκριτικά με τα αντίστοιχα στο εξωτερικό περιβάλλον (γραφήματα κεφαλαίου 8.2).

Τα ποσοστά επιβίωσης των αερομεταφερόμενων μυκήτων στις μυκητοκτόνες ουσίες κυκλοεξιμίδιο και νυστατίνη ήταν πολύ υψηλότερα των ποσοστών επιβίωσης που μετρήθηκαν στα αερομεταφερόμενα βακτήρια (γράφημα 9.3).

Ιδιαίτερα το μυκητοκτόνο νυστατίνη είχε την αντίθετη τάση με όλα τα υπόλοιπα αντιβιοτικά και μυκητοκτόνα που δοκιμάστηκαν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας. Στα θρεπτικά υποστρώματα με νυστατίνη παρατηρήθηκε αύξηση της ανάπτυξης των μυκήτων με αυξανόμενη συγκέντρωση μυκητοκτόνου (γράφημα 9.3). Το αποτέλεσμα αυτό μπορεί να οφείλεται σε πιθανή αλληλεπίδραση της νυστατίνης με τα συστατικά του θρεπτικού υποστρώματος των μυκήτων.

Το ποσοστό επιβίωσης σε συγκέντρωση 25 µg αντιβιοτικού ή μυκητοκτόνου ανά ml θρεπτικού υποστρώματος ήταν στην αμικιλίνη 1%, στην τετρακυκλίνη 2% και στην στρεπτομυκίνη 5,6% για τα αερομεταφερόμενα βακτήρια, ενώ για τους αερομεταφερόμενους μύκητες ήταν στο κυκλοεξιμίδιο 12% και στην νυστατίνη 62%.

Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ταυτόχρονα την ανθεκτικότητα των αερομεταφερόμενων μικροοργανισμών στις δραστικές φαρμακευτικές ουσίες που χρησιμοποιούνται στην ιατρική και την αναγκαιότητα εξέλιξης της έρευνας νέας γενιάς φαρμάκων.