



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ Τ.Ε.



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

" Αερομεταφερόμενα βακτήρια και μύκητες σε αίθουσες διδασκαλίας "

Βαρβάρα Μποφίλη

Επιβλέπουσα καθηγήτρια

Αναπλ. Καθ. Ελευθερία Κατσίβελα

ΧΑΝΙΑ 2021

*Στους κοντινούς μου ανθρώπους που με στήριξαν σε όλο αυτό το ταξίδι και με
ανεφοδίασαν με επιμονή και υπομονή!!!*

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

- Στην καθηγήτρια μου, Κατσίβελα Ελευθερία, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια του Τμήματος Ηλεκτρονικών Μηχανικών (επισπεύδον Τμήμα του πρώην Τμήματος Μηχανικών Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος Τ.Ε.) στη Σχολή Μηχανικών του Ελληνικού Μεσογειακού Πανεπιστημίου (ΕΛΜΕΠΑ), για τις γνώσεις που μεταλαμπάδευσε, την εξαιρετική συνεργασία, την στήριξη και εμπιστοσύνη που μου έδειξε.
- Στη MSc Ραΐση Λουΐζα, η οποία με βοήθησε στην προετοιμασία, τον προγραμματισμό και την ορθή διενέργεια των δειγματοληψιών.
- Στους φίλους που με βοήθησαν με την μεταφορά και στο στήσιμο του εξοπλισμού κατά την διεξαγωγή των δειγματοληψιών αλλά και την παρέα τους εκείνη την στιγμή.
- Τους ανθρώπους της τεχνικής υποστήριξης που έδιναν τα κλειδιά του εργαστηρίου κάθε μέρα και της βιβλιοθήκης που μου παραχωρούσε τον χώρο για της μετρήσεις.
- Το Πανεπιστήμιο που μου βρήκε ένα θρανίο καθαρό (όχι ζωγραφισμένο) που δεν χρησιμοποιούσε κανείς, το οποίο έπαιξε καθοριστικό ρόλο στην πραγματοποίηση των δειγματοληψιών.

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

- Εισηγήτρια Αναπλ. Καθ. Ελευθερία Κατσίβελα (*Επιβλέπουσα Καθηγήτρια*)
2. Μέλος Δρ. Αγγελική Σαριδάκη
3. Μέλος MSc Λουΐζα Ραΐση

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η παρουσία αερομεταφερόμενων μικροβίων σε εσωτερικούς χώρους εκπαίδευσης και στον εξωτερικό ατμοσφαιρικό αέρα. Πιο συγκεκριμένα μετρήθηκε η συγκέντρωση των αερομεταφερόμενων βακτηρίων και μυκήτων και η κατανομή του μεγέθους της αεροδυναμικής τους διαμέτρου. Επίσης εξετάστηκε η συσχέτιση τους με την παρουσία φοιτητών στους χώρους εκπαίδευσης και καταγράφηκαν μετεωρολογικές παράμετροι, όπως η θερμοκρασία περιβάλλοντος, η σχετική υγρασία και η ταχύτητα του ανέμου στα συγκεκριμένα σημεία δειγματοληψίας.

Για τις μικροβιακές μετρήσεις (δειγματοληψίες) χρησιμοποιήθηκαν ο δειγματολήπτης MAS 100 και ο δειγματολήπτης Andersen 6 επιπέδων. Συλλέχθηκαν διπλά ή τριπλά δείγματα ανά ημερομηνία δειγματοληψίας, σε εκπαιδευτικούς χώρους του Τμήματος Ηλεκτρονικών Μηχανικών του Ελληνικού Μεσογειακού Πανεπιστημίου (Χανιά, Κρήτη, Ελλάδα) κατά τους μήνες Φεβρουάριο και Μάρτιο του έτους 2020.

Παρατηρήθηκε ότι οι συγκεντρώσεις που μετρήθηκαν με τους δύο διαφορετικούς δειγματολήπτες ήταν συγκρίσιμες και στο ίδιο εύρος τιμών. Οι συγκεντρώσεις των ετερότροφων, χημειοαυτότροφων και των αποικοδομητικών βακτηρίων της γλυκόζης στην αίθουσα διδασκαλίας με παρουσία φοιτητών ήταν υψηλότερες από εκείνες στο εξωτερικό περιβάλλον και στην άδεια αίθουσα διδασκαλίας, όπου μετρήθηκαν συγκριτικά πολύ χαμηλότερες συγκεντρώσεις. Αντίθετα οι αερομεταφερόμενοι μύκητες παρουσίασαν την υψηλότερη συγκέντρωση στο εξωτερικό περιβάλλον όπως και στην άδεια αίθουσα διδασκαλίας χωρίς παρουσία φοιτητών. Όσον αφορά την αεροδυναμική διάμετρο των αερομεταφερόμενων μικροβίων και σύμφωνα με τα στάδια του δειγματολήπτη Andersen, στην αίθουσα διδασκαλίας με παρουσία φοιτητών τα ετερότροφα βακτήρια, τα χημειοαυτότροφα και τα αποικοδομητικά βακτήρια της γλυκόζης παρουσιάζουν μεγαλύτερη συγκέντρωση στο 5ο στάδιο (1,1 - 2,1 μm), οι μύκητες στο 4ο στάδιο (2,1 - 3,3 μm), ενώ τα οξεογόνα βακτήρια έχουν την ίδια συγκέντρωση σε όλα τα στάδια. Στο εξωτερικό περιβάλλον τα ετερότροφα, τα χημειοαυτότροφα, τα οξεογόνα και τα αποικοδομητικά βακτήρια της γλυκόζης παρουσιάζουν διαφορετική κατανομή σε σχέση με το εσωτερικό περιβάλλον, ενώ οι μύκητες εμφανίζουν μια παρόμοια κατανομή με μέγιστες συγκεντρώσεις στο 3ο (3,3 - 4,7 μm) & 4ο στάδιο (2,1 - 3,3 μm).

Λέξεις Κλειδιά: Αερομεταφερόμενα βακτήρια και μύκητες, αεροδυναμική διάμετρος, ποιότητα αέρα εσωτερικών χώρων,

ABSTRACT

In the present Diploma Thesis, the presence of airborne microbes in indoor educational microenvironments and outdoors was investigated. More specifically, the concentration of airborne bacteria and fungi as well as their size distribution were measured. The correlation between airborne microbes and the presence of students in the indoor microenvironments was also examined. In addition, meteorological parameters, such as the ambient temperature, the relative humidity and the wind speed, at the specific sampling points were recorded.

A MAS 100 and an Andersen 6 stages samplers were used for the microbial measurements. Double or triple samples per date of sampling were collected at the educational premises of the Department of Electronic Engineering of the Hellenic Mediterranean University (Chania, Crete, Greece) during February and March 2020.

It was observed that the microbial concentrations measured using the two different samplers were comparable and in the same range. The concentrations of the heterotrophic, the chemoautotrophic, and the glucose-degrading bacteria in the classroom in the presence of students were higher than those in an empty classroom or outdoors, where comparatively much lower concentrations were measured. In contrast, the airborne fungi showed the highest concentration outdoors as well as in the empty classroom without the presence of any students. Regarding the aerodynamic diameter of airborne microbes and according to the stages of the sampler Andersen, the heterotrophic bacteria, the chemoautotrophic and the glucose-degrading bacteria in the classroom with the presence of students showed the highest concentration in the 5th stage (1.1 - 2.1 μm), the fungi in the 4th stage (2.1 - 3.3 μm), while the acid-producing bacteria have the same concentration in all stages. In the external environment, the heterotrophic, the chemoautotrophic, the acid-producing, and the glucose-degrading bacteria have a different distribution compared to the indoor environment, while airborne fungi showed a similar distribution with maximum concentrations at the 3rd (3,3 – 4,7 μm) and 4th stage (2,1 - 3,3 μm).

Keywords: Airborne bacteria and fungi, aerodynamic diameter, indoor air quality.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	8
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ.....	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ	16
2.1 Ποιότητα αέρα εσωτερικών χώρων	16
2.2 Ρύπανση εσωτερικών χώρων	17
2.3 Αέριοι και σωματιδιακοί ρύποι εσωτερικών χώρων	18
2.3.1 Πτητικές οργανικές ενώσεις (συμπεριλαμβανομένης και της φορμαλδεΐδης)...	19
2.3.2 Ανόργανα αέρια.....	20
2.3.3 Αιωρούμενα σωματίδια.....	21
2.3.4 Ραδόνιο.....	21
2.4 Βιολογικοί παράγοντες	22
2.5 Θερμική άνεση.....	22
2.5.1 Σχετική υγρασία & Θερμοκρασία	23
2.5.2 Ταχύτητα ανέμου- Ροή αέρα.....	23
2.6 Επιπτώσεις αέριων ρυπαντών στην ανθρώπινη υγεία.....	24
2.7 Σύνδρομο «νοσηρού» κτιρίου.....	24
2.8 Τρόποι βελτιώσεις εσωτερικού αέρα.....	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 –ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ.....	27
3.1 Μικροοργανισμοί	28
3.2 Ταξινόμηση Μικροοργανισμών.....	29
3.2.1 Ευκαρυωτικοί Οργανισμοί.....	29
3.2.1.1 Μύκητες.....	29
3.2.1.2 Φύκη.....	31
3.2.1.3 Πρωτόζωα.....	31
3.2.2 Προκαρυωτικοί Οργανισμοί.....	33
3.2.2.1 Βακτήρια (Ευβακτήρια).....	33
3.2.2.2 Αρχαιοβακτήρια ή Αρχαία	35
3.2.3 Ιοί.....	35

3.3 Κατηγορίες μικροοργανισμών ανάλογα με τον τρόπο θρέψης τους.....	36
3.3.1 Ως προς την πηγή άνθρακα.....	36
3.3.2 Ως προς την πηγή ενέργειας.....	37
3.3.3 Ως προς την πηγή ηλεκτρονίων ή/και υδρογόνου.....	37
3.3.4 Ως προς το συνδυασμό απαιτήσεων σε άνθρακα, ενέργεια, υδρογόνο ή/και ηλεκτρονίων.....	37
3.4 Παθογένεια μικροβίων	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΑΕΡΟΜΕΤΑΦΕΡΟΜΕΝΩΝ ΜΙΚΡΟΒΙΩΝ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ ΚΑΙ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.....	39
4.1 Αερογενής μεταφορά μικροβίων	39
4.2 Νοσήματα αερογενούς μεταφοράς.....	40
4.3 Λοιμώδη νοσήματα.....	41
4.4 Νοσοκομειακές λοιμώξεις.....	41
4.5 Μέτρα περιορισμού της διασποράς των λοιμογόνων παραγόντων.....	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	43
5.1 Περιγραφή των δειγματοληψιών	43
5.2 Όργανα δειγματοληψιών	45
5.3 Θρεπτικά υποστρώματα και καλλιέργεια μικροοργανισμών.....	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	49
6.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων	49
1 ^η Δειγματοληψία στην Αίθουσα Διδασκαλίας (24.02.2020).....	49
2 ^η Δειγματοληψία στην Αίθουσα Διδασκαλίας (09.03.20220).....	50
3 ^η Δειγματοληψία στη Βιβλιοθήκη (03.03.2020).....	53
6.2. Συσχέτιση Αποτελεσμάτων	56
6.2.1 Συσχέτιση συγκέντρωσης αερομεταφερόμενων μικροβίων με εμβαδόν χώρου ανά παρευρισκόμενο άτομο.....	56
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	58
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	65

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία είχε στόχο τη μελέτη της συγκέντρωσης των αερομεταφερόμενων βακτηρίων και μυκήτων και της κατανομής του μεγέθους της αεροδυναμικής τους διαμέτρου που συλλέχθηκαν σε εσωτερικούς χώρους εκπαίδευσης και στον εξωτερικό ατμοσφαιρικό αέρα. Επίσης εξετάστηκε η συσχέτιση με την παρουσία φοιτητών στους χώρους εκπαίδευσης και καταγράφηκαν μετεωρολογικές παράμετροι όπως η θερμοκρασία περιβάλλοντος, η σχετική υγρασία και η ταχύτητα του ανέμου στα συγκεκριμένα σημεία δειγματοληψίας.

Η διεξαγωγή των δειγματοληψιών πραγματοποιήθηκε από 24 Φεβρουαρίου του έτους 2020 έως 09 Μαρτίου του έτους 2020 και κατά το χρονικό διάστημα από 09:00 έως 16:00 σε εσωτερικούς χώρους εκπαίδευσης (αίθουσα διδασκαλίας και βιβλιοθήκη) και στο εξωτερικό περιβάλλον (προαύλιος χώρος). Η παρασκευή θρεπτικών υποστρωμάτων για τις δειγματοληψίες, οι μετρήσεις και η καταγραφή των αποτελεσμάτων αλλά και η καταστροφή των δειγμάτων κάθε δειγματοληψίας πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Περιβαλλοντικών Τεχνολογιών και Εφαρμογών του Τμήματος Ηλεκτρονικών Μηχανικών της Σχολής Μηχανικών του Ελληνικού Μεσογειακού Πανεπιστημίου.

Το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί την εισαγωγή της παρούσας εργασίας, όπου γίνεται μια σύντομη ιστορική αναδρομή σχετικά με την ανακάλυψη και ύπαρξη παθογόνων μικροοργανισμών (βακτηρίων, μυκήτων, πρωτόζωων και ιών) στον πλανήτη Γη και σχετικά με την πανδημία Covid-19 λόγω της μετάδοσης του κορονοϊού Sars-CoV-2 που απειλεί αυτή την χρονική περίοδο τον πλανήτη.

Το δεύτερο κεφάλαιο αφορά τον έλεγχο της ποιότητας αέρα εσωτερικών χώρων και των παραγόντων ρύπανσης και μικροβιακής μόλυνσης. Γίνεται αναφορά τόσο στους κυριότερους ρυπαντές εσωτερικών χώρων όσο και στις πηγές εκπομπής τους, στην θερμική άνεση και στο σύνδρομο του «νοσηρού» κτιρίου. Τέλος παρουσιάζονται οι επιπτώσεις των ρυπαντών στην ανθρώπινη υγεία αλλά και τρόποι βελτίωσης της ποιότητας του αέρα εσωτερικών χώρων.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι κατηγορίες (ευκαρυωτικών και προκαρυωτικών) μικροοργανισμών, η ταξινόμηση τους ανάλογα με τον τρόπο θρέψης τους, καθώς και η αερογενής μεταφορά μικροβίων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναφέρονται οι επιπτώσεις των αερομεταφερόμενων μικροοργανισμών στην ανθρώπινη υγεία, καθώς και η σημασία της παθογένειας των βακτηρίων και των μυκήτων. Επίσης παρουσιάζονται σύντομα κάποια από τα πιο σημαντικά λοιμώδη νοσήματα αερογενούς μετάδοσης. Τέλος παρουσιάζεται η δημιουργία και η

αντιμετώπιση των νοσοκομειακών λοιμώξεων, αλλά και τα μέτρα περιορισμού της διασποράς των λοιμογόνων παραγόντων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο περιγράφεται η πειραματική διαδικασία των δειγματοληψιών και τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για την διεξαγωγή τους, καθώς και ο τρόπος παρασκευής των στερεών θρεπτικών υποστρωμάτων που αξιοποιήθηκαν στις παραπάνω δειγματοληψίες.

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται, αναλύονται και αξιολογούνται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις μετρήσεις των αερομεταφερόμενων μικροβίων στο εσωτερικό της αίθουσας διδασκαλίας και της βιβλιοθήκης του Ελληνικού Μεσογειακού Πανεπιστημίου, αλλά και στο εξωτερικό προαύλιο χώρο.

Στο έβδομο κεφάλαιο αναφέρονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τις προαναφερόμενες μετρήσεις.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

- ΕΛΜΕΠΑ: Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο
- ΕΚΠΑ: Ελληνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
- ΕΟΔΥ: Εθνικός Οργανισμός Δημόσιας Υγείας
- ΠΟΥ: Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας
- Τ.Ε.Ι. Κρήτης: Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης
- AIDS: Acquired Immunodeficiency Syndrome, Σύνδρομο Επίκτητης Ανοσολογικής Ανεπάρκειας
- ATP: Adenosine 5'-triphosphate, Τρισφωφορική Αδενοσίνη
- CO: Carbon Monoxide, Μονοξείδιο του Άνθρακα
- CO₂: Carbon Dioxide, Διοξείδιο του Άνθρακα
- CFU: Colony Forming Units, Μονάδα Σχηματισμού Αποικιών
- DMC: Direct Microscopic Count, Κατ' ευθείαν μέτρηση στο μικροσκόπιο
- ERV: Extract Release Volume
- Gluco: *Gluconobacter oxydans* Medium
- HIV: Human Immunodeficiency Virus, Ιός Ανοσοανεπάρκειας του Ανθρώπου
- MEA: Malt Extract Agar
- MRSA: Methicillin Resistant Staphylococcus aureus
- MPN: Most Probable Number, Πλέον Πιθανός Αριθμός
- NO_x: Nitrogen Oxygen, Οξείδια του Αζώτου
- SARS-CoV-2: Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2
- SBS: Sick Building Syndrome, Σύνδρομο του άρρωστου κτιρίου
- TAP: Minimum Mineral Tris Phosphate Agar
- TSA: Tryptone Soya Agar
- TPC: Total Plate Count, Συνολικός Αριθμός Μικροοργανισμών
- ppm: parts per million, μέρη στο εκατομμύριο
- VOC_s: Volatile organic compounds, Πτητικές Οργανικές Ενώσεις
- VRE: Vancomycin-Resistant *Enterococcus*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι μικροοργανισμοί αποτελούν την πρώτη μορφή ζωής επάνω στον πλανήτη Γη και η ιστορία τους υπολογίζεται ότι είναι 3,5-4 δισεκατομμυρίων ετών με βάσει τους επιστήμονες. Μια κατηγορία μικροοργανισμών όπως τα βακτήρια της πέψης, κατέχουν βάρος μεγαλύτερο από το 50% του βάρους των ανθρώπινων και ζωικών εκκρίσεων. Όμως αξίζει να σημειωθεί ότι παρόλο που παρατηρήθηκαν μικροσκοπικά για πρώτη φορά πριν 350 χρόνια, τα τελευταία 100 χρόνια έχει αναγνωριστεί η ύπαρξή τους. Ο Robert Koch (1843-1910) στην Γερμανία ανακάλυψε πολλά παθογόνα βακτήρια, όπως αυτό που προκαλεί την ασθένεια του άνθρακα (*Bacillus anthracis*), ήταν ο πρώτος επιστήμονας που απέδειξε την εξειδίκευση των μικροβίων στην πρόκληση συγκεκριμένων ασθενειών, και περιέγραψε πολλές χρήσιμες μικροβιακές τεχνικές. Στην συνέχεια ο Paul Ehrlich (1854-1915) ερευνήσε τις χρωστικές ουσίες και πρότεινε την χρώση βακτηρίων για την καλύτερη παρατήρηση τους στο μικροσκόπιο. Οι Γερμανοί επιστήμονες ανακάλυψαν επίσης την χρήση των θρεπτικών υποστρωμάτων για την ανάπτυξη μικροοργανισμών. Ο Robert Koch και οι συνεργάτες του χρησιμοποίησαν το συστατικό άγαρ για τη δημιουργία στερεών θρεπτικών υποστρωμάτων, έτσι ώστε να επιτευχθεί η απομόνωση τους σε καθαρή καλλιέργεια, η οποία πραγματοποιήθηκε με τη χρήση πειραματόζωων για την μελέτη των ανθρώπινων λοιμώξεων. Επίσης ο Robert Koch τοποθέτησε μια φωτογραφική μηχανή στο μικροσκόπιο ώστε να απαθανατίζει τους μικροοργανισμούς. Κατά αυτή την περίοδο ο Richard Petri (1852-1921) κατασκεύασε το στερεό δοχείο στερεών καλλιεργειών των μικροοργανισμών, το γνωστό σε όλους τριβλίο Petri [1].

Η πληροφορία αυτή άρχισε να επεκτείνεται με γοργό ρυθμό συμβάλλοντας στην κατανόηση του τρόπου δράσης των παθογόνων μικροοργανισμών. Μερικά χρόνια αργότερα ο Sergei Winogradsky (1856-1955) ανακάλυψε τα αζωτοδεσμευτικά και νιτροποιητικά βακτήρια και ο Martinus Beijerinck (1851-1931) ανακάλυψε τις καλλιέργειες εμπλουτισμού, οι οποίες έχουν βοηθήσει αποτελεσματικά στην απομόνωση μικροοργανισμών από περιβαλλοντικά δείγματα [1].

Στα μέσα του 20^{ου} αιώνα άρχισαν οι υποψίες ύπαρξης του γενετικού υλικού των μικροοργανισμών. Το 1941 οι George Beadle και Edward Tatum μελετώντας τον μύκητα *Neurospora* ανακάλυψαν την ύπαρξη μεταλλαγμένων στελεχών. Πήραν το βραβείο Νόμπελ το 1958, το οποίο αφορούσε τα γενετικά φαινόμενα του μύκητα. Ο Joshua Lederberg μοιράστηκε το Νόμπελ (1958) μαζί με τους George Beadle και Edward Tatum για τις ανακαλύψεις του σχετικά με τη μεταφορά του γενετικού υλικού από το ένα βακτήριο στο

άλλο. Αργότερα ανακαλύφθηκε η μοριακή δομή του DNA από τους James Watson, Francis Crick and Maurice Wilkins (Νόμπελ 1962), με βάση την οποία οι επιστήμονες μέχρι και σήμερα έχουν απομονώσει και αναλύσει το DNA πολλών μικροοργανισμών. Έπειτα από τόσα χρόνια μελέτης έχουν καταφέρει να χαρτογραφήσουν ολόκληρο το γονιδίωμα κάποιων βακτηρίων, ζυμών και μυκήτων [1].

Σήμερα γνωρίζουμε ότι οι ιοί παρασιτούν όλα τα είδη των οργανισμών και ότι υπάρχουν εκατοντάδες γνωστοί ιοί που προκαλούν ανθρώπινες ασθένειες. Πάνω από εκατό διαφορετικοί ιοί μπορούν να προκαλέσουν το κοινό κρυολόγημα. Επίσης αρκετοί ιοί εμφανίζονται σαν ένα απλό κρυολόγημα και καταλήγουν σε πιο σοβαρές έως και θανατηφόρες ασθένειες, όπως είναι για παράδειγμα η γρίπη H₁N₁, η γρίπη των πτηνών (H₅N₁) και φυσικά πιο επίκαιρος ιός, ο κορονοϊός Sars-CoV-2 [2].

Η πανδημία COVID-19 οφείλεται στην ασθένεια που προκαλείται από έναν αερομεταφερόμενο κορονοϊό, ο οποίος ονομάζεται SARS-CoV-2 (severe acute respiratory syndrome coronavirus 2). Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (ΠΟΥ) κατέγραψε για πρώτη φορά την εμφάνιση του νέου αυτού ιού στις 31 Δεκεμβρίου του 2019, έπειτα από μια αναφορά ενός συνόλου περιπτώσεων «ιογενούς πνευμονίας» στην πόλη Wuhan της Κίνας. Τα πιο συνηθισμένα συμπτώματα του COVID-19 είναι ο πυρετός, ο ξηρός βήχας και η κούραση. Τα πιο σπάνια συμπτώματα, τα οποία επηρέασαν κάποιους ασθενείς ήταν η απώλεια γεύσης ή/και οσμής, η ρινική συμφόρηση, η επιπεφυκίτιδα, ο πονόλαιμος, ο πονοκέφαλος, πόνοι στους μυς ή τις αρθρώσεις και διαφορετικά δερματικά εξανθήματα. Τα συμπτώματα για κάποιον που έχει νοσήσει σοβαρά, είναι η δυσκολία στην αναπνοή, η απώλεια όρεξης, η σύγχυση, ο επίμονος πόνος ή η πίεση στο στήθος και ο υψηλός πυρετός (πάνω από 38 °C). Άλλα λιγότερο συχνά συμπτώματα είναι μειωμένη συνείδηση, ανησυχία, κατάθλιψη, διαταραχή ύπνου κ.ά.. Τέλος πιο σπάνιες είναι νευρολογικές επιπλοκές, όπως εγκεφαλικά επεισόδια, εγκεφαλική φλεγμονή, παραλήρημα και νευρική βλάβη [2].

Ατομα όλων των ηλικιών όταν παρουσιάσουν κάποια από τα παραπάνω συμπτώματα, εάν είναι ήπια μπορούν να τα διαχειριστούν στον οικιακό χώρο, ενώ τα πιο σοβαρά συμπτώματα χρίζουν άμεσης ιατρικής φροντίδας. Κατά μέσο όρο, χρειάζονται 5-6 ημέρες από τη στιγμή που κάποιος θα μολυνθεί με τον ιό μέχρι να εμφανίσει τα συμπτώματα, ωστόσο μπορεί να χρειαστούν έως και 14 ημέρες [3].

Οι αερομεταφερόμενοι μικροοργανισμοί ανήκουν στην φυσιολογική σύσταση του αέρα, πολλοί εκπέμπονται από βιολογικές διεργασίες, δηλαδή από φυσικές και ανθρωπογενείς δραστηριότητες (π.χ. βήχας, φτέρνισμα, ομιλία κ.ά.) και ανάλογα με την παθογονικότητα τους μπορούν να επιφέρουν κάποιες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Οι πιο διαδεδομένες επιπτώσεις είναι η μικροβιακή μόλυνση η οποία δημιουργείται από

παθογόνους μικροοργανισμούς, η αλλεργική αντίδραση ή ευαισθητοποίηση της αναπνευστικής οδού σε βιοαεροζόλ (π.χ. σπόροι μυκήτων ή γύρη φυτών) και η τοξικολογική αντίδραση σε μικροβιακά παράγωγα ή κυτταρικά συστατικά (π.χ. ενδοτοξίνες και μυκοτοξίνες¹) [4].

Οι γνωστοί παθογόνοι μικροοργανισμοί κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες:

1. Ευκαρυωτικοί μικροοργανισμοί: σε αυτή την κατηγορία κατατάσσονται τα πρωτόζωα και οι μύκητες κυρίως, ενώ δεν έχουν περιγραφεί μέχρι σήμερα παθογόνα φύκη. Παρόλα αυτά υπάρχουν έρευνες και δημοσιεύσεις για επιβλαβείς συνέπειες της άνθισης αλγών σε υδάτινα οικοσυστήματα.
2. Προκαρυωτικοί μικροοργανισμοί: σε αυτή την κατηγορία κατατάσσονται τα βακτήρια (Ευβακτήρια), ενώ δεν έχουν περιγραφεί μέχρι σήμερα παθογόνα αρχαιοβακτήρια.
3. Ακύτταροι μικροοργανισμοί: σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι ιοί.

Οι προαναφερθείσες κατηγορίες μικροοργανισμών μπορούν να προκαλέσουν ασθένειες που μπορούν να μεταδοθούν και να επηρεάσουν την ανθρώπινη υγεία. Η μετάδοση μιας ασθένειας μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορους τρόπους, όπως για παράδειγμα με τα σταγονίδια που οφείλονται σε ομιλία, βήχα ή φτέρνισμα, με την αερομεταφερόμενη σκόνη η οποία ταξιδεύει αρκετά μακριά και εμπεριέχει πολλούς μικροοργανισμούς, με την επαφή με μολυσμένα αντικείμενα (π.χ. πετσέτες, οδοντόβουρτσες κ.ά.), με τα κόπρανα όπου τα εμπεριεχόμενα μικρόβια μπορούν να εισέλθουν στο πόσιμο νερό ή/και στην τροφή, με τα ζώα, με το αίμα (π.χ. μετάγγιση αίματος) και τέλος με την σεξουαλική επαφή με μολυσμένο άτομο [6].

Μερικές από τις πιο διαδεδομένες ασθένειες που μπορούν να δημιουργήσουν τα παθογόνα πρωτόζωα είναι η ελονοσία που προκαλείται από το πλασμόδιο και μεταδίδεται μέσω του κουνουπιού. Επίσης η ασθένεια του ύπνου που προκαλείται από το τρυπανόσωμα και μεταδίδεται μέσω της μύγας τσετσέ όπως και το πρωτόζωο του τοξοπλάσματος που μεταδίδεται μέσω των κατοικιδίων ζώων και προσβάλλει τα ανθρώπινα όργανα, όπως τους πνεύμονες, το ήπαρ και την σπλήνα και προκαλεί αποβολή σε εγκύους [7].

Κάποια από τα πιο γνωστά παθογόνα βακτήρια που απασχόλησαν στο παρελθόν την ανθρωπότητα, είναι το βακτήριο *Virbio cholerae*, το οποίο είναι υπεύθυνο για την ασθένεια και την πανδημία της χολέρας, το βακτήριο *Treponema pallidum* το οποίο προκαλεί την σύφιλη, το βακτήριο *Neisseria meningitidis* που είναι υπεύθυνο για την μηνιγγίτιδα, το

¹ **Μυκοτοξίνες** είναι τοξικές ουσίες, οι οποίες παράγονται από την ανάπτυξη μυκήτων μεταξύ άλλων σε τροφές και εμφανίζονται στο τελευταίο στάδιο ανάπτυξης των μυκήτων. Οι επιπτώσεις στην υγεία δεν είναι άμεσες, όμως δρουν αθροιστικά και μακροπρόθεσμα [5].

βακτήριο *Pseudomonas aeruginosa* το οποίο δημιουργεί νοσοκομειακές λοιμώξεις, και πολλά άλλα. [7].

Οι παθογόνοι μύκητες δημιουργούν εύκολα δερματικές μυκητιάσεις οι οποίες είναι πολύ συχνές, και μπορούν να μεταδοθούν με απλό τρόπο μέσω της επαφής με μολυσμένα αντικείμενα. Μεταξύ αυτών υπάρχουν κάποια είδη μυκήτων όπως ο μύκητας *Candida albicans* (κάντιντα η λευκάζουσα), ο οποίος είναι υπεύθυνος για σοβαρές ασθένειες, μερικές από αυτές είναι η πνευμονική καντιντίαση, η κολπίτιδα, η στοματίτιδα κ.ά. Επίσης υπάρχουν και τα δερματοφυτά που αποτελούν μια ειδική κατηγορία μυκήτων που προσβάλλουν το δέρμα, εντοπίζονται περισσότερο στο τριχωτό της κεφαλής και στα μεσοδακτύλια των ποδιών [7].

Τέλος τα νοσήματα που προκαλούνται από τους ιούς μπορεί από τη μία να είναι απλά, όπως είναι το κοινό κρυολόγημα ή μια ελαφριά γρίπη, αλλά από την άλλη μπορεί να είναι πιο σοβαρές, όπως η πολιομυελίτιδα ή το AIDS (Acquired Immunodeficiency Syndrome, Σύνδρομο Επίκτητης Ανοσολογικής Ανεπάρκειας). Το AIDS προκαλείται από έναν ιό που ονομάζεται HIV (Human Immunodeficiency Virus, Ιός Ανοσοανεπάρκειας του Ανθρώπου), ο οποίος προσβάλλει το ανθρώπινο ανοσοποιητικό σύστημα με αποτέλεσμα την μη επαρκή καταπολέμηση ακόμα και των πιο απλών ασθενειών. Έτσι το άτομο που έχει μολυνθεί είναι εξαιρετικά ευαίσθητο σε διάφορες ασθένειες, όπως η πνευμονία ή το σάρκωμα Kaposi (είδος καρκίνου του δέρματος). Τα συμπτώματα τα οποία μπορεί να εμφανίσει αυτός που νοσεί από τον ιό αυτόν, μπορούν να εκδηλωθούν μήνες ή/και χρόνια μετά την μόλυνση, και είναι πυρετός, έντονες εφιδρώσεις, απώλεια βάρους κ.ά. Η μετάδοση του πραγματοποιείται με το αίμα και την σεξουαλική επαφή και όχι με απλές καθημερινές κοινωνικές επαφές (π.χ. χειραψία) [6].

Μια πολύ σοβαρή επίπτωση των αερομεταφερόμενων παθογόνων μικροοργανισμών είναι οι ενδονοσοκομειακές λοιμώξεις. Η ενδονοσοκομειακή λοίμωξη αποκτάται μέσα σε νοσοκομεία ή άλλες υγειονομικές εγκαταστάσεις περίθαλψης, αφού ο ασθενής έχει εισέλθει για άλλους λόγους. Οι λοιμώξεις αυτές μπορούν να εμφανιστούν εντός 48 ωρών από την εισαγωγή του ασθενούς στο νοσοκομείο ή ακόμα και 3 ημέρες μετά το εξιτήριο ή/και μετά από την εγχείρηση εντός 30 ημερών. Οι πιο ευκόλως εμφανίσιμοι τύποι λοιμώξεων είναι εκείνοι του ουροποιητικού συστήματος κατά την ώρα του χειρουργείου όπως είναι η βακτηριαιμία, αλλά και αερογενώς μεταδιδόμενα νοσήματα όπως είναι η πνευμονία. Οι νοσοκομειακές λοιμώξεις προκαλούνται από παθογόνα μικρόβια που εξαπλώνονται εύκολα σε όλο το σώμα και προσβάλλουν συνήθως άτομα με χαμηλό ανοσοποιητικό σύστημα. Περιπτώσεις που μπορούν να δημιουργήσουν νοσοκομειακή μόλυνση είναι οι ελλειπείς συνθήκες υγιεινής στα νοσοκομεία ή στις υγειονομικές εγκαταστάσεις περίθαλψης και η μη

τήρηση των απαραίτητων υγειονομικών πρωτοκόλλων ασφαλείας από το ιατρονοσηλευτικό προσωπικό. Μερικοί ασθενείς μπορούν να εμφανίσουν τέτοιου είδους λοιμώξεις, αλληλοεπιδρώντας με άλλους ασθενείς ή με την επαφή τους σε μολυσμένες επιφάνειες να μεταδώσουν παθογόνα βακτήρια, μύκητες, παράσιτα, και ιούς. Τα πιο σημαντικά μέτρα πρόληψης είναι το προσωπικό να τηρεί τα μέτρα υγιεινής, και το συχνό πλύσιμο των χεριών, μειώνοντας έτσι το ποσοστό εμφάνισης νοσοκομειακής λοίμωξης. Επίσης επιβάλλεται να φορούν προστατευτικά ρούχα και γάντια όταν έρχονται σε επαφή με τους ασθενείς. Οι χειρουργικές επεμβάσεις αυξάνουν τον κίνδυνο νοσοκομειακών λοιμώξεων, και για αυτό το λόγο τα νοσοκομεία θα πρέπει να θέτουν τους ασθενείς που νοσούν με τα πολυανθεκτικά σε αντιβιοτικά βακτήρια *Clostridium difficile*, *MRSA (Methicillin Resistant Staphylococcus aureus)*, *VRE (Vancomycin-Resistant Enterococcus)*, και άλλες ανθεκτικές λοιμώξεις σε ειδικούς χώρους απομόνωσης, με αποτέλεσμα τη μείωση του κινδύνου εξάπλωσης της λοίμωξης σε άλλους ασθενείς. Τέλος η χρήση στοχευμένων αντιβιοτικών είναι απαραίτητη για τη πρόληψη μιας ενδονοσοκομειακής λοίμωξης [8].

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η παρουσία αερομεταφερόμενων μικροβίων (βακτηρίων και μυκήτων) και η κατανομή του μεγέθους της αεροδυναμικής τους διαμέτρου σε εσωτερικούς χώρους εκπαίδευσης και στον εξωτερικό ατμοσφαιρικό αέρα. Η σύγκριση των δεδομένων των εσωτερικών χώρων εκπαίδευσης με το εξωτερικό περιβάλλον πραγματοποιήθηκε, έτσι ώστε να ληφθεί μια πιο σφαιρική εικόνα σχετικά με τους αερομεταφερόμενους αυτούς μικροοργανισμούς που αποτελούν τμήμα της καθημερινότητας μας.

Η σημαντικότητα αυτών των αποτελεσμάτων για την ποιότητα του αέρα των εσωτερικών χώρων (εκπαιδευτικών και εργασιακών) είναι υψηλή για την κατανόηση και αποφυγή μελλοντικής διασποράς λοιμώξεων και επιδημιών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ

2.1. Ποιότητα αέρα εσωτερικών χώρων

Στον 21^ο αιώνα που διανύουμε ένα μεγάλο ποσοστό του παγκόσμιου πληθυσμού (ειδικά στις αναπτυσσόμενες χώρες) ζει και εργάζεται σε κλειστούς εσωτερικούς χώρους, όπως για παράδειγμα στις οικίες, στα γραφεία βιομηχανικών κτηρίων, στα εργοστάσια, στα καταστήματα, στα αεροδρόμια, στα ξενοδοχεία κ.λ.π. Υπάρχουν αρκετοί άνθρωποι που περνούν πάνω από 20 ώρες ημερησίως σε αυτούς τους χώρους. Ο αέρας εσωτερικών χώρων διαφέρει από τον εξωτερικό ατμοσφαιρικό αέρα. Παρατηρείται ότι ορισμένες συγκεντρώσεις ρύπων στους εσωτερικούς χώρους μπορεί να είναι μικρότερες ή υψηλότερες συγκριτικά με αυτές στο εξωτερικό περιβάλλον [9].

Η ποιότητα του αέρα των εσωτερικών χώρων (Indoor air quality-IAQ) εκφράζει την πιθανότητα έκθεσης σε κακής ποιότητας αέρα στους εσωτερικούς χώρους των κτιρίων, η οποία δεν περιορίζεται μονάχα στους βιομηχανικούς χώρους. Η ποιότητα αέρα εσωτερικών χώρων μπορεί να έχει άμεση επίδραση βραχυπρόθεσμα ή/και μακροπρόθεσμα στην ανθρώπινη υγεία είτε λόγω της διασποράς παθογόνων μικροοργανισμών είτε λόγω της ανθρώπινης έκθεσης σε επιβλαβείς ατμοσφαιρικούς ρύπους [9].

Οι πιο διαδεδομένες επιπτώσεις είναι η μικροβιακή μόλυνση, η οποία δημιουργείται είτε από ενδονοσοκομειακές μολύνσεις είτε από μικρόβια ανθεκτικά στα αντιβιοτικά. Σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να προκαλείται μια αλλεργική αντίδραση ή ευαισθητοποίηση της αναπνευστικής οδού σε βιοαεροζόλ (π.χ. σπόροι μυκήτων ή γύρη φυτών) και τέλος μπορεί να δημιουργείται μια τοξικολογική αντίδραση σε μικροβιακά παράγωγα ή κυτταρικά συστατικά (π.χ. ενδοτοξίνες και μυκητοξίνες¹) [10].

Οι αερομεταφερόμενοι μικροοργανισμοί μπορούν να ζήσουν, να αναπτυχθούν και να πολλαπλασιαστούν τόσο στο εσωτερικό όσο και στο εξωτερικό περιβάλλον. Η ύπαρξη τους στους εσωτερικούς χώρους μπορεί οφείλεται στη μεταφορά τους μέσω των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης αλλά και αερισμού, καθώς και μέσω του φυσικού αερισμού (άνοιγμα παραθύρων, πόρτες, ρωγμές στους τοίχους) και φυσικά λόγω φυσικών και ανθρωπογενών δραστηριοτήτων. Επίσης μπορούν να αναπτυχθούν και πολλαπλασιαστούν σε εσωτερικούς χώρους προερχόμενοι από συγκεκριμένες πηγές εκπομπής, όπως χαλιά, υφάσματα, είδη επίπλωσης, σκόνη, κατοικίδια ζώα, φυτά εσωτερικών χώρων κ.ά., ενώ σαν σημαντική πηγή βιοαεροζόλ θεωρείται ο ίδιος ο

άνθρωπος λόγω των καθημερινών του δραστηριοτήτων (π.χ. βήχας, φτέρνισμα, ομιλία κ.ά.). Η θερμοκρασία, η υγρασία, τα θρεπτικά υποστρώματα (π.χ. ξύλο, χαρτί, μπογιά), το οξυγόνο και το φως επηρεάζουν την ανάπτυξη των βιοαεροζόλ [11].

Επίσης πολλοί αέριοι και σωματιδιακοί ατμοσφαιρικοί ρύποι μπορούν να εισέρχονται από τον εξωτερικό αέρα ή και εν μέρει να εκπέμπονται και να συσσωρεύονται λόγω ανεπαρκούς αερισμού στο εσωτερικό περιβάλλον (θέρμανση, προετοιμασία γευμάτων, κάπνισμα κ.ά.). Οι πιο διαδεδομένοι ρύποι που συναντώνται στον αέρα εσωτερικών χώρων είναι τα αναπνεύσιμα σωματίδια (Particulate Matter - PM_{2.5}), το όζον (O₃), το διοξείδιο του αζώτου (NO₂), το διοξείδιο του θείου (SO₂), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και μια μεγάλη ποικιλία από πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs – Volatile Organic Compounds)[10].

2.2. Ρύπανση εσωτερικών χώρων

Ρύπανση εσωτερικών χώρων ονομάζεται η παρουσία ρυπαντών, όπως η σκόνη, οι χημικές ουσίες που εμπεριέχονται στην ατμόσφαιρα των εσωτερικών χώρων και συχνά επιφέρουν βλαβερές συνέπειες. Ειδικά για άτομα που αντιμετωπίζουν αναπνευστικά προβλήματα, όπως άσμα, είναι αρκετά σημαντικό να ελέγχονται τακτικά οι εσωτερικοί χώροι διαβίωσης και να είναι καθαροί.

Τα βασικά συμπτώματα που προκαλούνται από την ρύπανση εσωτερικών χώρων είναι:

- ❖ Ξηρότητα στα μάτια
- ❖ Δερματικοί ερεθισμοί
- ❖ Φαγούρα στη μύτη
- ❖ Ζαλάδα και ναυτία

Ο καλύτερος τρόπος να την αποφυγή της παρουσίας των ρυπαντικών αυτών ουσιών στην ατμόσφαιρα των εσωτερικών χώρων είναι ο περιορισμός των δραστηριοτήτων (πηγών εκπομπής) που τις προκαλούν. Αρκετοί είναι οι λόγοι που μπορούν να επιφέρουν ρύπανση, όμως οι κυριότεροι σχετίζονται με:

- ❖ Καπνός από το τσιγάρο
- ❖ Σκόνη και τρίχες από τα κατοικίδια ζώα
- ❖ Οικιακή θέρμανση (τζάκια, σόμπες κ.ά.)
- ❖ Προετοιμασία γευμάτων (τηγάνισμα, ψήσιμο κ.ά.)

Έχοντας τον έλεγχο όσων προαναφέρθηκαν παραπάνω, τότε διατηρείται η ποιότητα του αέρα των εσωτερικών χώρων καλή. Επιπλέον θα πρέπει να ανανεώνεται ο εσωτερικός αέρας με φυσικό αερισμό (αέρας που προέρχεται από το εξωτερικό περιβάλλον). Μερικές φορές μπορεί να αξιοποιηθεί ένας καθαριστής αέρα (ιονιστής κ.ά.) [12].

Όπως προαναφέρθηκε, η ποιότητα αέρα εσωτερικών χώρων εξακολουθεί να αποτελεί αντικείμενο ιδιαίτερης σημασίας λόγω του ότι οι άνθρωποι περνούν το μεγαλύτερο μέρος της ζωής τους σε εσωτερικούς χώρους αεριζόμενους ή μη. Ιδιαίτερα σε ψυχρότερες περιοχές οι άνθρωποι ζουν ακόμα περισσότερο σε κλειστούς θερμαινόμενους κλιματιζόμενους) χώρους. Το πρόβλημα της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα είναι ιδιαίτερα σημαντικό λόγω της πολιτικής της εξοικονόμησης ενέργειας όσον αφορά στη θέρμανση και στη ψύξη των κτηρίων με αποτέλεσμα το κλείσιμο όλων των ανοιγμάτων φυσικού αερισμού (παραθύρων και πορτών). Αυτό έχει ως επίπτωση την μειωμένη εναλλαγή αέρα μέσω του φυσικού αερισμού των χώρων, καθώς και την χρήση κτηριακών συνθετικών και μη οικολογικών μονωτικών υλικών, τα οποία συχνά εκπέμπουν επιβλαβείς για την υγεία πτητικές ενώσεις. Υπάρχουν ορισμένα κτήρια που χαρακτηρίζονται ότι δημιουργούν στους ενοίκους τους το σύνδρομο του άρρωστου κτηρίου υπονοώντας ότι οι άνθρωποι έπειτα από κάποιο χρονικό διάστημα παραμονής εκεί εμφανίζουν πονοκεφάλους, ερεθισμό στα μάτια, στο λαιμό και στη μύτη, ξηροδερμία, δυσκολία συγκέντρωσης στο χώρο εργασίας κ.ά.[12].

2.3. Αέριοι και σωματιδιακοί ρύποι εσωτερικών χώρων

Οι κυριότερες πηγές εκπομπής ρυπαντικών ουσιών σε εσωτερικούς χώρους είναι η καύση, η θέρμανση με ξύλα, το κάπνισμα (CO, NO_x οξείδια του αζώτου, σωματίδια), η λειτουργία φωτιστικών μηχανήματων, στεγνοκαθαριστήρια, εκτυπωτές, φωτοτυπικά μηχανήματα (O₃), οι θερμοσίφωνες αερίου, οι εκπομπές φορμαλδεΐδης από οικοδομικά υλικά και έπιπλα, ο αμιάντος, το οξείδιο του μολύβδου που περιέχεται στα μη οικολογικά χρώματα και το αέριο ραδόνιο. Οι κυριότεροι ρύποι στον αέρα κλειστών χώρων είναι το CO, το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), τα NO_x, τα αιωρούμενα σωματίδια, η φορμαλδεΐδη, οι πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs), ο αμιάντος και το ραδόνιο και οποιαδήποτε μορφή ακτινοβολίας, ενώ η υγρασία ευνοεί την ανάπτυξη μικροοργανισμών. Τέλος σε έναν κλειστό χώρο χωρίς καμία άλλη πηγή ρύπανσης, η αναπνοή του ανθρώπου παράγει CO₂ με αποτέλεσμα να χρειάζεται η ανανέωση του αέρα του χώρου [9].

Οι συνήθεις ρύποι αέρα εσωτερικών χώρων περιλαμβάνουν τους ρύπους PM_{2.5}, όζον O₃, NO₂, SO₂, και CO, καθώς και μια μεγάλη ποικιλία VOCs όπως αναφέρονται και από την ισχύουσα περιβαλλοντική νομοθεσία ελέγχου της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα. Άλλα σημαντικά παραδείγματα ρύπων εσωτερικών χώρων περιλαμβάνουν αέρια και σωματίδια που εκπέμπονται κατά την διάρκεια βιομηχανικών διεργασιών, λάδια και καπνό από το μαγείρεμα, καπνό από το τσιγάρο, ραδόνιο, φορμαλδεΐδη, βιολογικής προέλευσης σωματίδια (μούχλα, γύρη και άλλα) [9].

2.3.1. Πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs συμπεριλαμβανόμενης και της φορμαλδεΐδης)

Πολυάριθμα VOCs ανιχνεύονται σε εσωτερικούς χώρους με τον άνθρωπο να είναι άμεσα και έμμεσα υπεύθυνος για την εκπομπή τους (από ρουχισμό, αποσμητικά, σπρέι μαλλιών, αρώματα, βιολογικές λειτουργίες κλπ.). Επίσης τα VOCs εξατμίζονται από τα καθαριστικά, διαλύτες, χρώματα, αρώματα, σαπούνια και σπρέι μαλλιών, απελευθερώνονται από εξοπλισμό γραφείου και από υλικά (όπως γραφεία, καρέκλες, κουρτίνες και χαλιά). Παρακάτω παρουσιάζεται ένας πίνακας με αέριους ρύπους εσωτερικών χώρων και την πηγή προέλευσης τους [13].

Πίνακας 2.1: Παραδείγματα αέριων ρύπων εσωτερικών χώρων και οι πηγές τους [13].

Ρύπος	Πηγές Εκπομπής
VOCs	Χρώματα, αραιωτικά χρωμάτων, αρώματα, σπρέι μαλλιών, λουστραρισμένα έπιπλα, διαλύτες καθαρισμού, χρώματα χαλιών, κόλες, ξηρός καθαρισμός ρούχων, συσκευές αναζωογόνησης αέρα, κεριά, σαπούνια, έλαια μπάνιου, μούχλες, καπνός από τσιγάρα.
Φορμαλδεΐδη	Νοβοπάν, κόντρα πλακέ, καπλαμάς, κόλες, χαλιά, μονωτικά, καύση, καπνός από τα 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 την χρήση νερού
Βιολογικοί ρύποι	Κατοικίδια ζώα, οικιακά φυτά, έντομα, μούχλες, ανθρώπινη δραστηριότητα, μαξιλάρια, κλινιστρώματα, υγρά υλικά, συστήματα θέρμανσης/κλιματισμού και αερισμού, συστήματα ύγρανσης

Η φορμαλδεΐδη (HCHO) εκπέμπεται από διάφορα φύλλα πλαστικού και κόλλες, από κάποιου τύπου μονωτικούς αφρούς και νέα εγκατεστημένα υλικά επίπλωσης και

διακόσμησης εσωτερικών χώρων, όπως χαλιά, ξύλινες επενδύσεις από κόντρα πλακέ, ράφια και έπιπλα από νοβοπάν. Επειδή η εκπομπή της είναι αρκετά υψηλή αποτελεί συχνά πρόβλημα σε νέα κτίρια γραφείων ή σε νέο-ανεγειρόμενες κατοικίες (ειδικά στις βιομηχανικά κατασκευασμένες ή «κινητές» οικίες). Επίσης η φορμαλδεΐδη είναι συστατικό προϊόν μη ολοκληρωμένης καύσης από κάθε ανθρακούχο καύσιμο, όπως για παράδειγμα τα τσιγάρα. Επιπλέον, έχει παρατηρηθεί ότι οι συγκεντρώσεις φορμαλδεΐδης αυξάνονται σημαντικά με την αύξηση της θερμοκρασίας ή/και την αύξηση της υγρασίας του εσωτερικού αέρα (πιθανότατα διότι αυτές οι παράμετροι επηρεάζουν τους ρυθμούς εκπομπής αερίων). Η συγκέντρωση φορμαλδεΐδης στα σπίτια αλλάζει ανάλογα την εποχή, τα υλικά κατασκευής και τις συνθήκες διαβίωσης του ανθρώπου. Η αύξηση της θερμοκρασίας στα τοιχώματα μόνωσης αυξάνουν την συγκέντρωση εκπομπής της μέσα στην οικία, ενώ τον χειμώνα με την ψύξη μειώνεται. Τέλος η συγκέντρωση της περιορίζεται με αυξανόμενο εξαερισμό. Η κύρια επίπτωση της φορμαλδεΐδης στην ανθρώπινη υγεία ανάλογα με την συγκέντρωση που εμφανίζεται στους εσωτερικούς χώρους, μπορεί να είναι ένας απλός ερεθισμός ματιών έως ερεθισμό αναπνευστικής οδού και των πνευμόνων[13].

2.3.2. Ανόργανα αέρια- Προϊόντα καύσης

Δύο είναι οι σημαντικότεροι ρύποι που προέρχονται από πηγές καύσης και αυτά είναι το διοξείδιο του άνθρακα και τα οξειδία του αζώτου (CO & NO_x). Στους εσωτερικούς χώρους αυτοί οι παραγόμενοι ρύποι καύσης μπορούν να βρεθούν σε υψηλές συγκεντρώσεις με την χρήση ή μη εξαερισμού. Οι πιο συνηθισμένες πηγές εκπομπής των CO και NO_x στους κλειστούς χώρους είναι οι θερμάστρες αερίου, ξύλου ή κηροζίνης, τα τζάκια, το μαγείρεμα αλλά και το κάπνισμα. Η ανθρώπινη έκθεση σε CO πρέπει να υπερβαίνει αρκετές χιλιάδες ppm ώστε να επιφέρει το θάνατο, ενώ σε χαμηλές συγκεντρώσεις προκαλούν κούραση και θωρακικούς πόνους σε ανθρώπους με καρδιοπάθειες. Το διοξείδιο του αζώτου (NO_2) είναι διαβρωτικό και ερεθιστικό, βαθιά στον πνεύμονα υδρολύεται σε νιτρικό οξύ όταν αυτό απορροφάται από το νερό. Ακόμα και σε συγκεντρώσεις των 0,5 ppm μπορεί να προκαλέσει ανθρώπινο άσμα. Το μονοξείδιο του αζώτου (NO) δρα όπως και το CO παρεμβαίνοντας στα επίπεδα οξυγόνου που δεσμεύει το αίμα. Επίσης οι συγκεντρώσεις αυτών των ρύπων μπορεί να εντοπίζονται στον αέρα ενός κλειστού χώρου λόγω της εισόδου εξωτερικού ατμοσφαιρικού αέρα, εάν η τοποθεσία του κτηρίου βρίσκεται κοντά σε αυτοκινητόδρομο ή σταθμό αυτοκινήτων [9].

2.3.3 Αιωρούμενα σωματίδια (συμπεριλαμβανόμενου του καπνού από τσιγάρο)

Τα αιωρούμενα σωματίδια που παρατηρούνται στους εσωτερικούς χώρους, είτε έχουν παραχθεί εκεί είτε εισέρχονται από το εξωτερικό περιβάλλον. Προκαλούν σοβαρά προβλήματα στην ανθρώπινη υγεία, τα οποία εξαρτώνται σαφώς από το μέγεθος και τη χημική σύσταση των σωματιδίων. Οι επιπτώσεις μπορεί να είναι χρόνιες και πλήττουν συνήθως το αναπνευστικό σύστημα. Συχνές ασθένειες που οφείλονται στα αιωρούμενα σωματίδια είναι η βρογχίτιδα, η πνευμονία, τα καρδιακά προβλήματα και η επιδείνωση χρόνιων αναπνευστικών προβλημάτων. Λόγω της τοξικότητας τους περιέχουν διαλυτά συστατικά, ραδιενεργά μέταλλα και οργανικές ενώσεις, ενώ λόγω του μεγέθους τους έχουν την ικανότητα να διεισδύουν βαθύτερα στον ανθρώπινο οργανισμό. Τα αιωρούμενα σωματίδια κατηγοριοποιούνται σε σωματίδια οξέων, μετάλλων, βιοαεροζόλ (τα οποία είναι πολύ μικρά), καθώς και σε διάφορα άλλα αερολύματα, όπως η σκόνη, ο καπνός από τα τσιγάρα και η τέφρα. Το κάθε αιωρούμενο σωματίδιο επιδρά διαφορετικά σε κάθε ανθρώπινο οργανισμό [14].

Ο καπνός του τσιγάρου περιέχει πληθώρα επικίνδυνων ουσιών, όπως για παράδειγμα αιωρούμενα σωματίδια, τοξικά αέρια και ατμοί, νικοτίνη, πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες, βενζόλιο, διοξείδιο του αζώτου, μονοξείδιο του άνθρακα και εκατοντάδες άλλες οργανικές ύλες. Οι συνολικές συγκεντρώσεις που υφίστανται στην ατμόσφαιρα εξαρτώνται εξ ολοκλήρου από τον αριθμό των καπνιστών, τον τρόπο καπνίσματος, τον τύπο καπνού και τον εξαερισμό του χώρου. Ο καπνός αυτός προκαλεί σοβαρές βλάβες στο αναπνευστικό και καρδιαγγειακό σύστημα και έχει ταξινομηθεί ως γνωστός καρκινογόνος παράγοντας για την ανθρώπινη υγεία σύμφωνα με το Διεθνές Κέντρο Έρευνας για τον Καρκίνο της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας [15, 16].

2.3.4 Ραδόνιο

Το ραδόνιο αποτελεί φυσική πηγή ακτινοβολίας. Είναι ένα άχρωμο, άοσμο και άγευστο αέριο, το οποίο είναι χημικά αδρανές. Προέρχεται από την διάσπαση του ραδίου, το οποίο είναι ραδιενεργό και εντοπίζεται στα εδαφικά πετρώματα αλλά και στα οικοδομικά υλικά. Το ραδόνιο ως αδρανές αέριο εισέρχεται στον ατμοσφαιρικό αέρα όταν διαφύγει από το έδαφος και τα οικοδομικά υλικά. Οι πηγές εκπομπής του ραδονίου που παρατηρούνται στα κτήρια είναι μέσω μικρορωγμών στα τσιμεντένια δάπεδα, κενών ή ρωγμών στους τοίχους ή στα σημεία ένωσης με το δάπεδο. Επίσης το ραδόνιο εκλύεται μέσω διάκενων σε ξύλινα πατώματα, σε τυχόν κενά στους σωλήνες ύδρευσης και αποχέτευσης και σε διάκενα στις πόρτες και τα παράθυρα. Παρόλο που εάν το ραδόνιο

εισέλθει στον ανθρώπινο οργανισμό μέσω της αναπνευστικής οδού, σπανίως συνδέεται με βλάβες στους πνεύμονες λόγω μεγάλου χρόνου ημίσειας ζωής ², ένα μικρό μέρος του ραδονίου προλαβαίνει να διασπαστεί στους πνεύμονες πριν απομακρυνθεί από τον ανθρώπινο οργανισμό μέσω της εκπνοής [17].

2.4 Βιολογικοί παράγοντες μόλυνσης

Μερικά συχνά παραδείγματα βιολογικών παραγόντων είναι οι μύκητες (μούχλα), οι αλλεργιογόνες ενώσεις, η γύρη από τα λουλούδια, αιωρούμενα σωματίδια και πτητικές οργανικές ενώσεις (όπως π.χ. χαμηλού μοριακού βάρους πρωτεΐνες) που εκπέμπονται εκπεμπόμενα από εκκρίσεις (όπως τα ούρα) και τον μεταβολισμό ζώων συντροφιάς καθώς και μικροσκοπικά μέρη σώματος ή / και ζωικά απορρίμματα π.χ. από έντομα. Οι αερομεταφερόμενοι μικροοργανισμοί οι οποίοι συμμετέχουν, είναι οι ιοί, τα βακτήρια, οι μύκητες και τα πρωτόζωα. Η μετάδοση τους γίνεται μέσω της αναπνοής, δηλαδή με την εισπνοή σωματιδίων και σταγονιδίων που περιέχουν βιολογικούς παράγοντες. Οι παράγοντες που μεταδίδονται αερογενώς είναι κάποια είδη βακτηρίων, όπως π.χ. ο πνευμονιόκοκκος, το βακτήριο του κοκίτη, το μυκοβακτήριο της φυματίωσης και κάποιοι ιοί όπως αυτός της ιλαράς, ανεμοβλογιάς, της γρίπης κ.ά. Μικροοργανισμοί που μεταδίδονται συνήθως αερογενώς είναι οι μύκητες ή τμήματα των κυττάρων τους και συχνότερα τα σπόρια τους. Επίσης κάποια παραδείγματα σημαντικών βιολογικών παραγόντων που μεταδίδονται με τον αέρα, είναι τα βακτήρια γλαμύδια και το μυκόπλασμα, τα οποία μπορούν αν προκαλέσουν πνευμονία. Η μετάδοση τους αρχικά πραγματοποιείται μέσω του αέρα αλλά δεν αποκλείεται να μεταδοθούν και μέσω της επαφής με νοσούντες ή/και με μολυσμένες επιφάνειες. Έχει αποδειχθεί διεθνώς ότι η υψηλή συγκέντρωση μυκήτων σε εσωτερικούς χώρους βρίσκεται σε άμεση συσχέτιση με την πρόκληση αλλεργιών, ασθματικών αντιδράσεων και πνευμονοπαθειών [18].

2.5 Θερμική άνεση

Θερμική άνεση περιγράφονται οι συνθήκες υπό τις οποίες το 80% του ανθρώπινου δυναμικού με ελαφριά δραστηριότητα και με κατάλληλο εποχιακό ρουχισμό δεν εκφράζουν κάποια δυσανασχέτηση. Η θερμική άνεση αποτελεί κομμάτι άνεσης και όχι υγείας. Όσον αφορά στα κτίρια, συνίσταται να ελέγχονται οι εσωτερικοί χώροι, έτσι ώστε να μην επικρατούν ακραίες συνθήκες. Η θερμική άνεση είναι διαφορετική για κάθε

² Ημίσεια ζωή είναι ο χρόνος που απαιτείται για αν μειωθεί η ποσότητα μιας ένωσης στο μισό.

άνθρωπο και οι κυριότεροι παράμετροι είναι η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, η ταχύτητα ανέμου, ο φωτισμός κ.ά. [19].

2.5.1. Σχετική Υγρασία και Θερμοκρασία

Η σχετική υγρασία του ατμοσφαιρικού αέρα παρουσιάζεται ως ο λόγος της πραγματικής ποσότητας των υδρατμών (m_v) της ατμόσφαιρας προς τη μέγιστη ποσότητα (m_{vs}), η οποία μπορεί να συγκρατηθεί κάτω από τις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Η σχετική υγρασία δίνει το μέτρο αποχής της ατμόσφαιρας από το σημείο κορεσμού και εκφράζεται με τον παρακάτω τύπο:

$$RH = m_v / m_{vs} = e / e_s = r / r_s$$

όπου e η τάση των υδρατμών και r η ποσότητα των υδρατμών.

Η σχετική υγρασία εκφράζεται σε ποσοστό επί τις εκατό (%) και η ατμόσφαιρα βρίσκεται στο σημείο κορεσμού όταν υπάρχει βροχή, χαλάζι, ομίχλη κλπ. Η κυριότερη πηγή υδρατμών στην ατμόσφαιρά οφείλεται στις θάλασσες. Στους εσωτερικούς χώρους οι τιμές της σχετικής υγρασίας που παρατηρούνται, είναι μικρότερης τάξης σε σχέση με τον εξωτερικό ατμοσφαιρικό αέρα. Οι τιμές που κυμαίνεται η σχετική υγρασία είναι στο εύρος τιμών από 30 έως 60% [20].

Αποδεκτές τιμές θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας εσωτερικών χώρων είναι εκείνες όπου ένας εργαζόμενος είναι κατάλληλα ενδεδυμένος δεν νιώθει ούτε ζέστη αλλά ούτε κρύο. Αν απουσιάζει η κίνηση του αέρα σε έναν εργασιακό χώρο και η σχετική υγρασία κατέχει το ποσοστό των 50%, τότε η θερμοκρασία αποτελεί τον κυριότερο παράγοντα που επηρεάζει τη θερμική άνεση. Η θερμοκρασία καταγράφεται σε βαθμούς Κελσίου ($^{\circ}C$) ή Φαρενάιτ (F) και η βέλτιστη θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 22 και 24 $^{\circ}C$. Ο θερμός αέρας έχει την ικανότητα να συγκρατεί περισσότερη υγρασία σε σχέση με τον κρύο αέρα. Αξίζει να σημειωθεί ότι εάν η τιμή της σχετικής υγρασίας είναι 50%, τότε οι εργαζόμενοι παρουσιάζουν λιγότερα αναπνευστικά προβλήματα (ιδίως το χειμώνα), ενώ αν η τιμή της υπερβαίνει το 70%, τότε δημιουργεί δυσφορία και ευνοεί την ανάπτυξη βακτηρίων και μυκήτων (όσον αναφορά στους εσωτερικούς χώρους) [21].

2.5.2. Ταχύτητα και ροή αέρα

Κατά την διεξαγωγή αρκετών μελετών έχει διαπιστωθεί ότι στους εσωτερικούς χώρους είναι δύσκολο να εξασφαλιστεί αρκετός και επαρκής φυσικός αερισμός. Οι ανάγκες του αερισμού μπορούν να ποικίλουν ανάλογα με τον χώρο και τον χρόνο. Η

παρουσία ταχύτητας αέρα σε εσωτερικούς χώρους οφείλεται κυρίως στις διαρροές όψεων ή σε ρωγμές ή σε φυσικό αερισμό ή/και σε κλιματισμό. Το εύρος τιμών που καλύπτεται σε εσωτερικούς χώρους κυμαίνεται από 0,01 m/s τον χειμώνα έως 0.35 m/s το καλοκαίρι. Όσον αναφορά στις διαρροές όψεων και στις ρωγμές επιβάλλεται να εφαρμοστεί μια στρατηγική αντιμετώπισης αυτών των προβλημάτων στεγανότητας. Οι απαιτήσεις για την στεγανότητα του αέρα των κτηρίων δεν αφορούν τον φυσικό αερισμό ή το εγκαταστημένο σύστημα αερισμού / κλιματισμού με υποπίεση ή υπερπίεση ενός κτηρίου [12].

2.6. Επιπτώσεις ποιότητας αέρα στην ανθρώπινη υγεία

Η ποιότητα αέρα εσωτερικών χώρων έχει άμεση σχέση με την ανθρώπινη υγεία. Στην ατμόσφαιρα βρίσκονται αέριοι και σωματιδιακοί ρύποι σε συγκεκριμένες συγκεντρώσεις, οι οποίες μπορούν να προκαλούν προβλήματα υγείας στους ανθρώπους και τα οποία παρατηρούνται συχνότερα σε αστικές περιοχές μεγαλουπόλεων. Τα συμπτώματα τα οποία παρουσιάζονται, μπορεί να είναι απλά, όπως π.χ. κόπωση, ή πιο σοβαρά ή/και θάνατοι. Τα συμπτώματα αυτά εξαρτώνται κυρίως από τον χρόνο παραμονής και την συνολική έκθεση του ανθρώπου στον συγκεκριμένο χώρο. Γενικότερα η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι υπεύθυνη για ασθένειες που προσβάλλουν το αναπνευστικό, το πνευμονικό, το γαστρεντερικό, το καρδιολογικό και το οπτικό σύστημα του ανθρώπου, παρόλο που ο κάθε ανθρώπινος οργανισμός αντιδρά διαφορετικά στους ατμοσφαιρικούς ρύπους. Αξίζει να αναφερθεί ότι δεν είναι λίγες οι περιπτώσεις όπου έχει αναφερθεί ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να προκαλέσει αποβολές εμβρύων, μείωση αναπαραγωγικής ικανότητας αλλά και σωματικές και διανοητικές αναπηρίες [22].

2.7. Σύνδρομο του νοσηρού κτιρίου (Sick Building Syndrome- SBS)

Στο σύνδρομο νοσηρού κτιρίου περιλαμβάνονται οι περιπτώσεις, στις οποίες ένα ποσοστό μεγαλύτερο από 50% των ανθρώπων που βρίσκονται σε ένα χώρο παρουσιάζουν προβλήματα υγείας, τα οποία έχουν άμεση σχέση με τη ρύπανση των εσωτερικών χώρων. Η ονομασία αυτή οφείλεται σε κτίρια που δημιουργούν ένα «άρρωστο» περιβάλλον. Η ορολογία αυτή χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1970 δείχνοντας την επίδραση των ρύπων των εσωτερικών χώρων στην ανθρώπινη υγεία. Στην συνέχεια το 1983 ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας – ΠΟΥ (World Health Organization - WHO) ξεκίνησε να καταγράφει κάποια συμπτώματα ακόμα και στις δικές του εγκαταστάσεις. Ο όρος του

«νοσηρού κτιρίου» έχει γίνει πλέον πιο συγκεκριμένος και χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα σε διάφορες έρευνες και μελέτες στο συγκεκριμένο αντικείμενο [22].

Ενίοτε τα προβλήματα που παρουσιάζονται στην ποιότητα αέρα των εσωτερικών χώρων είναι είτε αποτέλεσμα ελλιπούς σχεδιασμού, είτε ανθρώπινων δραστηριοτήτων εντός του κτιρίου. Αρκετοί παράγοντες συντελούν ή συμβάλουν στην δημιουργία της συνδρομού του νοσηρού κτιρίου, οι πιο σημαντικοί εκ των οποίων είναι οι εξής [23] :

1. Το σύστημα εξαερισμού, το οποίο σχετίζεται με την ποιότητα αέρα των εσωτερικών χώρων. Εάν δεν χρησιμοποιείται επαρκής ποσότητα φρέσκου αέρα, τότε η επιβαρύνεται η υγεία των παρευρισκόμενων ατόμων εντός του κτιρίου.
2. Οι αέριοι ρύποι στο εσωτερικό του κτιρίου, οι οποίοι στην πλειοψηφία τους προέρχονται από εσωτερικές πηγές εκπομπής. Οι εσωτερικές πηγές αυτές είναι συνήθως τα υλικά του εξοπλισμού των κτιρίων όπως π.χ. έπιπλα, μοκέτες κ.ά., τα οποία εκπέμπουν πτητικές οργανικές ενώσεις (συμπεριλαμβανομένης και της φορμαλδεΐδης), ο καπνός του τσιγάρου που αυξάνει τη συγκέντρωση πτητικών οργανικών ενώσεων και άλλων τοξικών ενώσεων, η χρήση κηροζίνης, οι θερμάστρες χώρου, οι εστίες και οι σόμπες αερίου.
3. Ρύποι από τον εξωτερικό ατμοσφαιρικό αέρα, όταν ο υπαίθριος αέρας εισέρχεται εντός του κτιρίου με την προϋπόθεση να αντικαταστήσει ποσότητα του εσωτερικού αέρα, με σκοπό να ανανεώσει τον αέρα. Σε μερικές περιπτώσεις, και ιδιαίτερα σε αστικά κέντρα, ο υπαίθριος αέρας αποτελεί πηγή ρύπανσης του αέρα εντός του κτιρίου λόγω μεταφοράς ατμοσφαιρικών ρύπων από το εξωτερικό περιβάλλον.
4. Βιολογικοί μολυσματικοί παράγοντες που περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων αερομεταφερόμενα βακτήρια, μύκητες, γύρη και ιούς. Αυτοί οι μολυσματικοί παράγοντες διαθέτουν την ικανότητα να αναπαραχθούν σε στάσιμο νερό που συσσωρεύεται σε αγωγούς, γενικότερα όπου υπάρχει υγρασία. Επίσης σε αυτή την κατηγορία εντάσσονται τα έντομα ή οι εκκρίσεις πουλιών.

Τα συμπτώματα που εμφανίζουν οι χρήστες των άρρωστων κτιρίων μπορεί να μην είναι πάντα διακριτά και εξαφανίζονται με την απομάκρυνση από το χώρο. Τα συχνότερα συμπτώματα είναι ο κνησμός των ματιών, η ξηροφθαλμία ή δακρύρροια, ο στεγνός λάρυγγας, ο ξηρός βήχας, ο πονόλαιμος, το φράξιμο μύτης ή η ρινόρροια, το φτάρνισμα, η

δύσπνοια, ο πονοκέφαλος, η ασυνήθιστη κούραση, ο λήθαργος, οι ζαλάδες, η ναυτία και ο ερεθισμός του δέρματος. Η μακροχρόνια έκθεση σε ένα άρρωστο κτίριο έχει ως συνέπεια τη δημιουργία λοιμώξεων, όπως ρινίτιδες, ιγμορίτιδες, ωτίτιδες, επιπεφυκίτιδες, δερματίτιδες, παθήσεις του πεπτικού συστήματος, του ήπατος και των νεφρών ή/και του κεντρικού νευρικού συστήματος [24].

Επομένως ένα υγιές κτίριο προάγει την υγεία και την άνεση των ανθρώπων, οι οποίοι βρίσκονται σε εσωτερικούς χώρους.

2.8. Τρόποι βελτίωσης εσωτερικού αέρα

Για την απαλλαγή αέριων ρύπων στους εσωτερικούς χώρους συνετό θα ήταν η λειτουργία επαρκούς εξαερισμού. Ο εξαερισμός για τα κτίρια και πιο συγκεκριμένα για τους εσωτερικούς χώρους μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με φυσικό είτε με μηχανικό τρόπο.

Ο φυσικός εξαερισμός λειτουργεί είτε με την διέλευση αέρα που εισάγεται από τους αρμούς των ανοιγμάτων του κτηρίου είτε από τα ανοιχτά παράθυρα ή από άλλα σημεία διέλευσης (είσοδος και έξοδος κτηρίου).

Ο μηχανικός εξαερισμός αξιοποιεί ανεμιστήρες για την λειτουργία του, οι οποίοι εισάγουν τον φρέσκο ατμοσφαιρικό αέρα στους εσωτερικούς χώρους, έτσι ώστε να αποβληθεί ο πολυδιατηρημένος αέρας στο εξωτερικό περιβάλλον. Συνήθως για τέτοιου είδους αερισμό υπάρχουν συσκευές που αφαιρούν την σκόνη, τα σταγονίδια ή/και αέριους ρύπους από τον εσωτερικό αέρα.

Οι παραπάνω δύο μέθοδοι εξαερισμού θεωρούνται ως οι καλύτεροι για την ελάττωση της συγκέντρωσης των αέριων ρύπων των εσωτερικών χώρων είτε παρουσιάζουν ανεπαρκή είτε υπερβολική σχετική υγρασία [19].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ

Κατά τα πρώτα έτη της Γης, η οποία χρονολογείται σε 4,6 δισεκατομμύρια έτη, η ατμόσφαιρα είχε αναγωγικό χαρακτήρα (υψηλές συγκεντρώσεις σε μεθάνιο (CH₄), μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα (CO & CO₂), άζωτο (N₂), αμμωνία (NH₃), υδρογόνο (H₂), υδρόθειο (H₂S), φωσφίνη (PH₃) και νερό (H₂O), ενώ επικρατούσε μία έντονη ηφαιστειογενής δραστηριότητα. Οι γεωχημικές εκτιμήσεις υποστηρίζουν ότι η θερμοκρασία της επιφάνειας της Γης τα πρώτα 500 έτη ήταν μεγαλύτερη των 100 °C. Παραμένει όμως μυστήριο το πόσο γρήγορα ψύχθηκε η Γη. Εικάζεται ότι οι πρώτες μορφές ζωής εμφανίστηκαν στο στάδιο αυξημένων θερμοκρασιών, υπό μορφή θερμοανθεκτικών ή θερμοφίλων μικροβίων, τα οποία μοιάζουν με τους σημερινούς υπερθερμοφίλους μικροοργανισμούς [3].

Τα απολιθώματα των πρωτόγονων μικροοργανισμών παρουσιάζονται σε πετρώματα 3,6 δισεκατομμυρίων ετών. Οι αρχέγονοι αυτοί μικροοργανισμοί θα έπρεπε να ήταν βιοχημικά απλοί, από την άποψη ότι διέθεταν λίγα μόνο ένζυμα, δεν διέθεταν κυτοχρώματα³ και οργανίδια κίνησης (μαστίγια), ούτε και άλλα ειδικά μορφολογικά χαρακτηριστικά [3].

Ένα αξιόπαινο βήμα στην εξέλιξη των μικροοργανισμών αποτελεί η αντίδραση της φωτοσύνθεσης, η οποία αξιοποιεί τις ατελείωτες ποσότητες νερού ως ηλεκτρονιακού δότη, αυξάνοντας ταυτόχρονα την αποδοτικότητα. Η εξέλιξη της οξυγονογενούς φωτοσύνθεσης είχε τεράστιες επιπτώσεις για το περιβάλλον στη Γη, διότι το οξυγόνο σταδιακά συσσωρεύτηκε και η ατμόσφαιρα από αναγωγική μετατράπηκε σε οξυγονωμένη. Με τη διαθεσιμότητα του οξυγόνου (O₂) ως ηλεκτρονιακού δότη, εξελίχθηκαν οι αερόβιοι οργανισμοί, οι οποίοι αντλούν περισσότερη ενέργεια από την οξείδωση οργανικών ενώσεων σε σχέση με τους αναερόβιους. Επίσης η εμφάνιση του O₂ είχε ως συνέπεια τη δημιουργία του στρώματος όζοντος (O₃) στη στρατόσφαιρα, που παρέχει προστασία από την υπεριώδη ακτινοβολία του ήλιου (απορροφά μήκη κύματος μικρότερα από 300 nm). Μετά από την δημιουργία αυτού του στρώματος οι οργανισμοί μπορούσαν να αναπτυχθούν στην επιφάνεια της Γης χωρίς κάποια αρνητική επίπτωση από την υπεριώδη ακτινοβολία [3].

Εκτός του μηχανισμού για την παραγωγή ενέργειας, τα πρώτα κύτταρα θα έπρεπε να διαθέτουν και ένα αρχέγονο μηχανισμό γενετικής κωδικοποίησης για την επίτευξη της αναπαραγωγής. Πιθανώς τα πρώτα μόρια κληρονομικότητας να μην ήταν DNA, αλλά RNA.

³ **Κυτοχρώματα** είναι πρωτεΐνες που περιέχουν αίμη σαν συνένζυμο στη σύνθεσή τους. Η ονομασία τους προέρχεται από το γεγονός ότι τα ένζυμα αυτά συνδέονται με την μεμβράνη των κυττάρων (κυτοπλασματική μεμβράνη) και περιέχουν χρωστικές ουσίες (χρώμα) [25].

Οι πρωτεΐνες εμφανίστηκαν αρχικά ως σύμπλοκα με το RNA και αργότερα όταν εξελίχθηκαν τα ένζυμα ως αποτελεσματικότεροι καταλύτες, αντικαταστάθηκε το RNA από τις πρωτεΐνες. Το τρίπτυχο DNA-RNA-πρωτεΐνες αποτέλεσε καλύτερη λύση ροής βιολογικών πληροφοριών. Από τις συγκρίσεις των αλληλουχιών βάσεων DNA κατανοούμε τις γραμμές εξέλιξης, που αφορούν στα βακτήρια, στα αρχαία και στα ευκαρυωτικά. Τα ευκαρυωτικά κύτταρα της σημερινής εποχής διαφέρουν μορφολογικά από τα αρχέγονα ευκαρυωτικά, τα οποία ήταν σχετικά απλά κύτταρα και με εξαίρεση τη δημιουργία πυρήνα, δεν είχαν τα σημερινά γνωστά χαρακτηριστικά [3].

Η αναγνώριση της μεγάλης σημασίας των μικροοργανισμών στη βιολογική ανακύκλωση της ύλης οφείλεται στους Martinus Beijerinck και Sergei Winogradsky. Η Μικροβιακή Οικολογία αφορά στη μελέτη σχέσεων μεταξύ μικροοργανισμών και του περιβάλλοντος, όπου βασίστηκαν οι δύο αυτοί ερευνητές. Τα χημικά στοιχεία άζωτο (N), άνθρακας (C), οξυγόνο (O), θείο (S) και φώσφορος (P) είναι απαραίτητα για τη ζωή και διατίθενται σε τεράστιες ποσότητες για τα ανθρώπινα δεδομένα. Το μοριακό άζωτο (N₂), το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και το οξυγόνο (O₂) βρίσκονται σε αέρια μορφή στην ατμόσφαιρα, ενώ το θείο και ο φώσφορος είναι αποθηκευμένα στο γήινο φλοιό. Ο πιο σημαντικός ρόλος των μικροοργανισμών είναι η μετατροπή αυτών των στοιχείων σε μορφές που μπορούν να αξιοποιηθούν από τα ζώα και τα φυτά. Ο άνθρακας ανακυκλώνεται μέσω των μεγάλων αποθηκών του πλανήτη (ατμόσφαιρα, έδαφος, ωκεανών, υδάτινα οικοσυστήματα, ιζήματα και πετρώματα) και παρατηρείται υψηλή πληρότητα στα ιζήματα και στα πετρώματα του φλοιού της Γης και αμελητέα στους μικροοργανισμούς. Το μεγάλο μέρος του οργανικού άνθρακα βρίσκεται στα χερσαία φυτά σε σχέση με τους υπόλοιπους ζώντες οργανισμούς. Το άζωτο χρειάζεται σε όλους τους οργανισμούς για τη σύνθεση πρωτεϊνών, νουκλεοτιδίων και άλλων αζωτούχων ενώσεων. Το μοριακό άζωτο που υπάρχει στην ατμόσφαιρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο από τα αζωτοδεσμευτικά βακτήρια, ενώ δεν είναι δυνατόν να αξιοποιηθεί από κανένα ευκαρυωτικό κύτταρο, λόγω αδυναμίας διάσπασης του τριπλού (ομοιοπολικού) δεσμού του, όπου απαιτείται υψηλή ενέργεια [3].

3.1 Μικροοργανισμοί

Ως *μικροοργανισμοί* ή *μικρόβια* χαρακτηρίζονται οι οργανισμοί που δεν είναι ορατοί με το γυμνό μάτι, διότι κατέχουν μέγεθος μικρότερο από 0,1 mm. Τους συναντάμε σχεδόν παντού και είναι προκαρυωτικοί ή ευκαρυωτικοί, μονοκύτταροι ή πολυκύτταροι οργανισμοί.

Οι μικροοργανισμοί έχουν σημαντικό ρόλο στην αερόβια και αναερόβια αναπνοή και στη φωτοσύνθεση. Μπορούν να διακριθούν σε παθογόνους και σε μη παθογόνους ανάλογα

με τις επιπτώσεις στην υγεία. *Παθογόνοι* μικροοργανισμοί ονομάζονται οι μικροοργανισμοί που προκαλούν ασθένειες στους ανθρώπους, ενώ *μη παθογόνοι* είναι οι μικροοργανισμοί που δεν βλάπτουν την ανθρώπινη υγεία. Επίσης ως *δυσνητικά παθογόνοι μικροοργανισμοί* ορίζονται τα μικρόβια που δεν είναι παθογόνα, αλλά όταν ο αριθμός τους αυξηθεί ή βρεθούν σε άλλο ιστό από εκείνο στον οποίο διαβιούν ομαλά, τότε εκδηλώνουν ασθένειες, επομένως γίνονται παθογόνοι. Οι αερομεταφερόμενοι μικροοργανισμοί ανήκουν στη φυσική μικροβιακή κοινότητα του αέρα. Πιθανές πηγές εκπομπής αερομεταφερόμενων μικροβίων σε εσωτερικούς χώρους είναι, μεταξύ άλλων, και ο ίδιος ο άνθρωπος, ιδιαίτερα λόγω της ομιλίας, του φτερνίσματος και άλλων βιολογικών διεργασιών, ενώ στους εξωτερικούς χώρους οι πηγές εκπομπής είναι η παρουσία των γενικότερα έμβιων οργανισμών [10,26,27].

3.2 Ταξινόμηση μικροοργανισμών

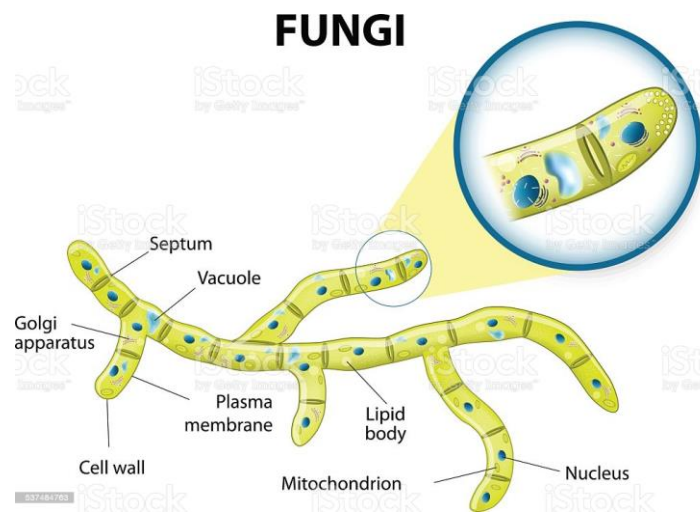
Οι μικροοργανισμοί ταξινομούνται σε ευκαρυωτικούς και προκαρυωτικούς οργανισμούς. Στους ευκαρυωτικούς κατατάσσονται οι μύκητες, τα άλγη (φύκη) και τα πρωτόζωα, ενώ στους προκαρυωτικούς κατατάσσονται τα βακτήρια και τα αρχαιοβακτήρια, ενώ οι ιοί είναι ακύτταρες παρασιτικές οντότητες που δεν αποτελούνται από κύτταρα και το μέγεθός τους κυμαίνεται από 20 έως 200 nm [26].

3.2.1 Ευκαρυωτικοί Οργανισμοί

3.2.1.1. Μύκητες

Οι μύκητες (fungi) χαρακτηρίζονται ως ευκαρυωτικοί, μονοκύτταροι ή πολυκύτταροι, μη φωτοσυνθετικοί οργανισμοί και συναντώνται περίπου πέντε εκατομμύρια διαφορετικά είδη, μεταξύ αυτών είναι οι ζυμομύκητες, οι παθογόνοι μικρομύκητες, τα μανιτάρια κ.ά. Οι ενεργειακές τους απαιτήσεις καλύπτονται από τις οργανικές ενώσεις που βρίσκονται στο περιβάλλον ανάπτυξης τους. Το βλαστικό τους σώμα αποτελείται είτε από ένα κύτταρο (ζύμες) είτε από νηματοειδείς σωληνώδεις κατασκευές (ονομάζονται υφές), ενώ ένα σύνολο από υφές αποτελεί το μυκήλιο. Το κυτταρικό τους τοίχωμα αποτελείται από χιτίνη. Το μυκήλιο δε συμπεριλαμβάνει ρίζες, βλαστούς, ή φύλλα. Οι μύκητες καταλαμβάνουν σημαντικό ρόλο στην αποδόμηση την οργανικής ύλης επηρεάζοντας σε υψηλό βαθμό τους βιοχημικούς κύκλους των θρεπτικών συστατικών. Επίσης μια μεγάλη

κατηγορία σαπροτροφικών⁴ μυκήτων είναι οι μύκητες λευκής σήψεως, στους οποίους ανήκουν τα μανιτάρια του γένους *Pleurotus*. Εκτός από τα μανιτάρια, στους μύκητες ανήκουν και, οι μούχλες, οι ζύμες του ψωμιού ή της μύρας, ενώ πολλές μυκητιάσεις (ασθένειες) φυτών και των ανθρώπων προκαλούνται από μύκητες. Επιπλέον ακόμα και στην περίπτωση που σε ένα οικοσύστημα δεν συναντώνται μανιτάρια, αυτό δεν σημαίνει ότι οι μύκητες παύουν να υπάρχουν, κάπου βρίσκεται κρυμμένο το σώμα τους. Αυτό συμβαίνει διότι οι μύκητες είναι πολύ μικροί σε μέγεθος που γίνονται ορατοί μόνο με τη χρήση οπτικού μικροσκοπίου [28,29].



Εικόνα 3.1: Απεικόνιση δομής των κυττάρων των μυκήτων [46].

Οι μύκητες αυξάνονται κυρίως στο σκοτάδι και σε υγρά περιβάλλοντα πλούσια σε οργανικό υλικό. Είναι χημειοετερότροφοι και αξιοποιούν τα οργανικά υλικά σαν πηγή άνθρακα, ηλεκτρονίων και ενέργειας. Συναντώνται ως αερόβιοι αλλά υπάρχουν μερικές ζύμες που είναι δυνητικά αναερόβιοι οργανισμοί και αποκτούν την απαιτούμενη ενέργεια που χρειάζονται μέσω της διαδικασίας των ζυμώσεων. Οι μύκητες προτιμούν τα περιβάλλοντα με όξινο pH (pH 5) για την αύξησή τους, το οποίο καθίσταται αρκετά όξινο για τα κοινά βακτήρια [3].

Όπως έχει προαναφερθεί, οι μύκητες που εμφανίζονται υπό μορφή μούχλας (ευρωμύκητες) παρουσιάζουν διμορφική μορφή, δηλαδή έχουν μορφή κυττάρου ζύμης ή υφής ανάλογα με τις συνθήκες περιβάλλοντος και τη φάση ανάπτυξής τους. Όταν είναι κατάλληλες οι συνθήκες περιβάλλοντος, τότε οι υφές αυξάνονται και διαμορφώνουν το μυκήλιο, το οποίο είναι ορατό με γυμνό μάτι [1].

⁴ **Σαπρότροφοι** είναι αυτοί που τρέφονται από νεκρά τμήματα ετησίων και πολυετών φυτών, όπως για παράδειγμα φύλλα, βελόνες, βλαστούς, ρίζες, ξύλο καθώς και κομποστοποιημένα υπολείμματα φυτών (χούμος και περιττώματα φυτοφάγων ζώων) [29].

3.2.1.2 Φύκη

Τα φύκη ή αλλιώς άλγη αποτελούν μια μεγάλη και ανομοιογενή ομάδα οργανισμών, όπου τα περισσότερα είναι μικροσκοπικά κύτταρα με κάποια να υπερβαίνουν σε μήκος τα 30 μέτρα. Ζουν ως μεμονωμένα κύτταρα ή σε ομάδες (αποικίες), το χρώμα τους είναι πράσινο λόγω της χλωροφύλλης που διαθέτουν, όμως υπάρχουν κάποια που είναι φαιά ή κόκκινα διότι περιέχουν άλλες χρωστικές που επικαλύπτονται από το πράσινο χρώμα. Τα κύτταρα τους διαθέτουν ένα ή περισσότερους χλωροπλάστες, οι οποίοι περιέχουν φωτοσυνθετικές χρωστικές.

Τα φύκη εντοπίζονται σε αφθονία κυρίως σε υδάτινα ενδιαιτήματα, τόσο φυσικά (λίμνες και θάλασσες), όσο και τεχνητά (πισίνες και υδατοκαλλιέργειες). Εντοπίζονται μερικά είδη και στο έδαφος, κυρίως σε ξηρά περιβάλλοντα. Κάποια είδη φυκών είναι χημειοοργανοτροφικά και διαθέτουν την ικανότητα να αναπτύσσονται στο σκοτάδι.

Η πρόληψη τροφής των φυκών σε αντίθεση με τους μυξομύκητες και τα πρωτόζωα είναι αδύνατη μέσω φαγοκυττάρωσης. Κάποια είδη μετακινούνται με τη βοήθεια των μαστίγιων τους. Επίσης τα πράσινα φύκη σχηματίζουν τις λεγόμενες λειχήνες όταν συνυπάρχουν με του μύκητες και κάποια φύκη θεωρούνται τοξικά λόγω των νευροτοξινών που παράγουν [30].

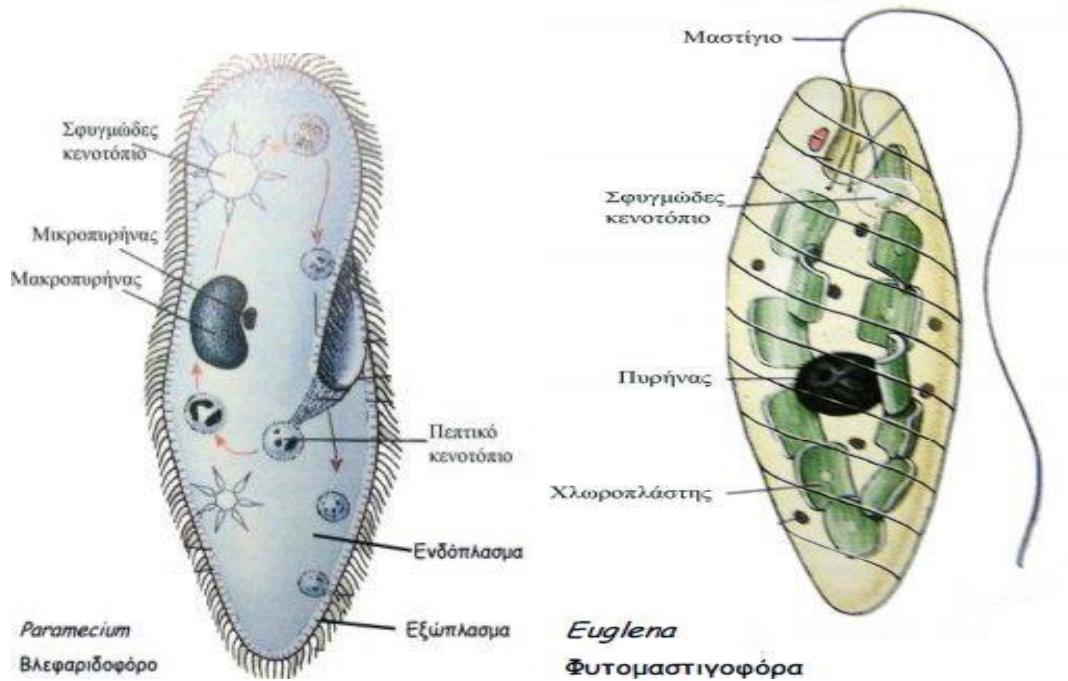
3.2.1.3 Πρωτόζωα

Τα πρωτόζωα είναι μονοκύτταροι, ευκαρυωτικοί οργανισμοί που στερούνται κυτταρικού τοιχώματος και παρουσιάζουν ένα τουλάχιστον κινητό στάδιο κατά τη διάρκεια ζωής τους. Ποικίλουν ως προς το σχήμα τους, ενώ η κίνηση τους είναι αυτόβουλη και πραγματοποιείται με ψευδοπόδια, μαστίγια ή βλεφαρίδες. Τα περισσότερα πρωτόζωα είναι ορατά με τη χρήση οπτικού μικροσκοπίου, όμως λίγα είναι αυτά που είναι ορατά με γυμνό μάτι. Ζουν ελεύθερα όπως η αμοιβάδα και είναι είτε χερσαία, είτε υδρόβια. Ως προς τη διατροφή τους είναι ετερότροφα και μόνο σε συγκεκριμένες εξαιρέσεις μιξότροφα. Η διάκριση των ειδών τους βασίζεται στο είδος των πυρήνων, στο μηχανισμό μετακίνησης τους και στο τρόπο αναπαραγωγής τους. Ο πυρήνας που διαθέτουν είναι απλός ή πολλαπλός, δηλαδή με κυτταρόπλασμα που αποτελείται από ένα ή περισσότερους ισότιμους πυρήνες [31].

Με βάση τον μηχανισμό κίνησης τους χωρίζονται σε:

1. Σαρκώδη: κίνηση αμοιβάδας.
2. Μαστιγοφόρα: κίνηση με μαστίγια.

3. Βλεφαριδοφόρα: κίνηση με βλεφαρίδες.
4. Ακροσυμπλεγματικά: χωρίς κάποια ιδιότητα αυτόνομης κίνησης και συναντάται στα παράσιτα των ανώτερων ζώων.



Εικόνα 3.2 & 3.3: Στα αριστερά παρουσιάζεται το βλεφαριδοφόρο πρωτόζωο *Paramecium*, ενώ στα δεξιά το φυτομαστιγοφόρο πρωτόζωο *Euglena* όπως κατατάσσονται με βάση το μηχανισμό κίνησης τους [47].

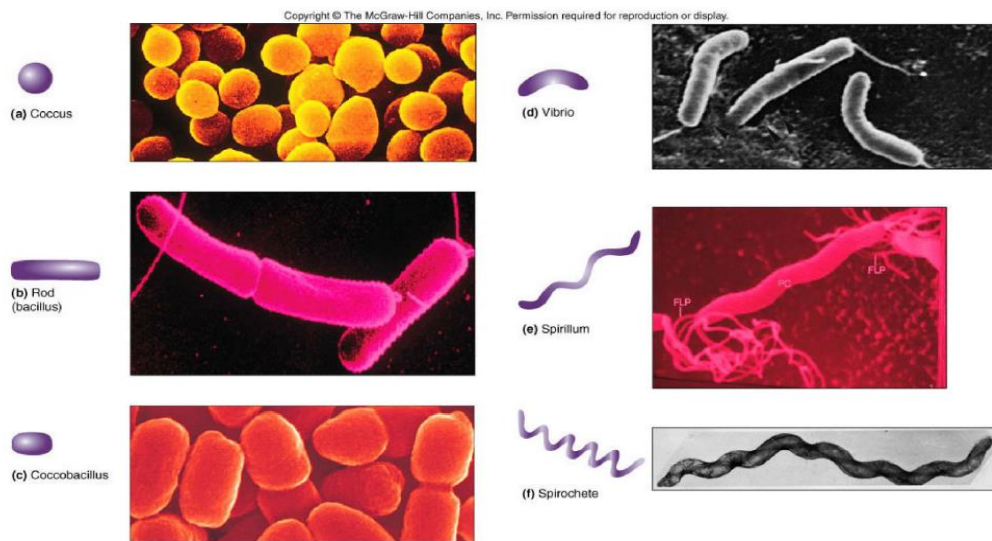
Τα πρωτόζωα τρέφονται με φαγοκυττάρωση (εγκόλπωση και αφομοίωση στερεών σωματιδίων άλλων κυττάρων), και έτσι μπορούν να καταναλώσουν και βακτήρια ή μικρά ευκαρυωτικά κύτταρα μέσω του οισοφάγου. Η πρόσληψη των στερέων ουσιών πραγματοποιείται με τη χρήση των ψευδοποδίων, των μαστίγιων ή των βλεφαρίδων που διαθέτουν, έτσι ώστε στη συνέχεια η τροφή να καταλήξει στον οισοφάγο [31].

Η αναπαραγωγή τους είναι είτε αγενής - μονογονική είτε εγγενής - αμφιγονική. Στην πρώτη περίπτωση η αναπαραγωγή γίνεται με διχοτόμηση, εκβλάστηση, πολλαπλή διαίρεση ή σχιζογονία, ενώ στη δεύτερη περίπτωση σε δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες διατηρούν τη γενετική ποικιλομορφία εντός του πληθυσμού και ενισχύουν την ικανότητα για επιβίωση [31].

3.2.2 Προκαρυωτικοί Οργανισμοί

3.2.2.1 Βακτήρια (Ευβακτήρια)

Τα βακτήρια είναι προκαρυωτικοί, μονοκύτταροι οργανισμοί που παρουσιάζουν απλούστερη δομή και σχήμα σε σχέση με αυτή των ευκαρυωτικών. Το γενετικό τους υλικό ως προκαρυωτικοί οργανισμοί δεν περιβάλλεται από ειδική μεμβράνη, όπως και τα νουκλεϊκά οξέα και τα οργανίδια τους δεν περικλείονται από μεμβράνες. Η επιβίωση και η ταυτοποίηση ενός βακτηρίου γίνεται μέσω της παρουσίας του κυτταρικού τοιχώματος, παρόλο που συχνά εξωτερικά αυτού του τοιχώματος υπάρχουν βοηθητικά οργανίδια (βλεφαρίδες - ινίδια) που παίζουν σημαντικό ρόλο στην παθογόνα δράση του βακτηρίου. Το μέγεθος τους είναι μικρό και κυμαίνεται από 0,2 έως 5 μm και δημιουργούν αποικίες που καλλιεργούνται πάνω σε στερεά θρεπτικά υποστρώματα με τα κατάλληλα θρεπτικά υλικά. Τα βακτήρια συνήθως εμφανίζονται υπό την μορφή ράβδων (βακίλων), και κόκκων, όμως παρουσιάζονται και ως ελικοειδή (σπειρίλια και σπειροχαίτες) ή αστεροειδή βακτήρια και βακτήρια σε σχήμα δονακίου [32].

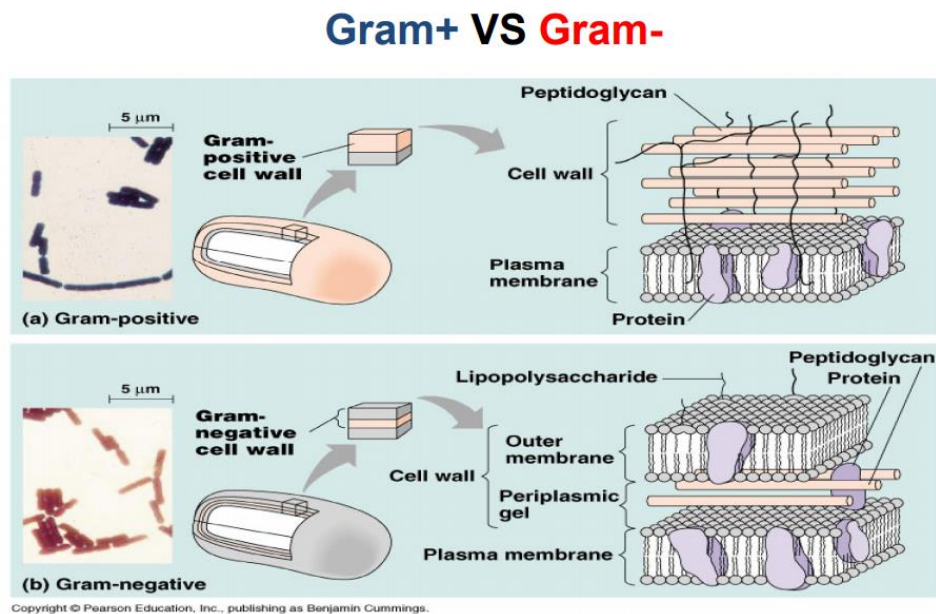


Εικόνα 3.4: Απεικόνιση βακτηρίων με βάση τη μορφή που παρουσιάζονται [32].

Το κυριότερο χαρακτηριστικό των βακτηρίων είναι ότι το κυτταρικό τους τοίχωμα αποτελείται από πεπτιδογλυκάνη⁵. Επίσης ο χώρος μεταξύ του κυτταρικού τοιχώματος και της κυτταροπλασματικής μεμβράνης ονομάζεται περιπλασματικός χώρος και με βάση την σύσταση του παρουσιάζονται δύο τύποι κυτταρικού τοιχώματος. Με βάση αυτό διακρίνονται σε Gram (+) & Gram (-) βακτήρια [32].

⁵ **Πεπτιδογλυκάνη** είναι το κυριότερο συστατικό του βακτηριακού κυτταρικού τοιχώματος και αποτελείται από ένα επαναλαμβανόμενο σκελετό μακρών αλυσίδων γλυκάνης που συνδέονται με μικρά πεπτιδία [33].

Το κυτταρικό τοίχωμα των Gram (+) βακτηρίων διαθέτει παχύ στρώμα πεπτιδογλυκάνης και πολύ μικρό περιπλασματικό χώρο. Επίσης περιλαμβάνει τειχοϊκά και λιποτειχοϊκά οξέα. Το κυτταρικό τοίχωμα των Gram (-) βακτηρίων αποτελείται από ένα λεπτό στρώμα πεπτιδογλυκάνης και μεγάλο περιπλασματικό χώρο, ο οποίος είναι γεμάτος με ζελατινώδη ουσία. Εξωτερικά της πεπτιδογλυκάνης βρίσκεται μια δεύτερη μεμβράνη ίδιας δομής με αυτή της κυτταροπλασματικής (χαρακτηρίζεται ως εξωτερική μεμβράνη). Η εξωτερική μεμβράνη φέρει ανοίγματα και λιποπολυσακχαρίτες [32].



Εικόνα 3.5: Απεικόνιση της σύστασης των δύο τύπων κυτταρικών τοιχωμάτων των βακτηρίων. Στην πάνω εικόνα είναι τα Gram θετικά βακτήρια ενώ στην κάτω τα Gram αρνητικά βακτήρια [32].

Γενικά το κυτταρικό τοίχωμα συμβάλει στο να μένει σταθερό το σχήμα των βακτηρίων και προστατεύει μηχανικά την εύθραυστη κυτταροπλασματική μεμβράνη από την ωσμωτική πίεση που ασκείται από το κυτταρόπλασμα. Συμμετέχει στο μεταβολισμό του μικροβίου, αφού επιτρέπει τη διόδο των ουσιών προς το εσωτερικό ή το εξωτερικό του κυττάρου (στα Gram (-) μέσω των πορίνων) και διεγείρει το ανοσοποιητικό σύστημα του ξενιστή [33].

3.2.2.2 Αρχαιοβακτήρια ή Αρχαία

Τα αρχαιοβακτήρια ή αρχαία είναι ένας ιδιόμορφος τύπος προκαρυωτικού κυττάρου. Τα περισσότερα αρχαιοβακτήρια ζουν σε ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες, στις οποίες καμία σύγχρονη μορφή ύπαρξης δεν μπορεί να επιβιώσει, όμως πιθανώς να αποτέλεσε κυρίαρχο περιβάλλον για την πρωταρχική εξέλιξη των προκαρυωτικών οργανισμών. Δημιουργούν αποικίες σε περιβάλλοντα με ακραίες θερμοκρασίες, οξύτητας, πίεσης και αλατότητας. Έχουν για παράδειγμα εντοπιστεί σε αλμυρό νερό, σε θερμές και όξινες ηφαιστειακές πηγές, στον πυθμένα της θάλασσας, σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών και στερεών αποβλήτων (όπως σε αναερόβιους χωνευτές και χώρους υγειονομικής ταφής). Μερικά αρχαιοβακτήρια είναι αερόβιοι, άλλα δυνητικά αναερόβιοι και κάποια άλλα αυστηρώς αναερόβιοι οργανισμοί. Σε σχέση με τον τρόπο ανάπτυξης τους, παρατηρούνται χημειοαυτότροφα, φωτοαυτότροφα και χημειοετερότροφα αρχαιοβακτήρια [34].

Τα κύτταρα τους έχουν συνήθως την μορφή κόκκων, ράβδων ή έλικας, ενώ ορισμένα παρουσιάζουν ιδιόμορφα σχήματα. Κάποια από αυτά είναι Gram αρνητικά, ενώ κάποια άλλα είναι Gram θετικά, ενώ υπάρχουν κάποια που δεν διαθέτουν κυτταρικό τοίχωμα. Η μέθοδος χρώσης κατά Gram δεν έχει χρησιμότητα στα Αρχαία καθώς η τεχνική δίνει ποικίλα αποτελέσματα, ανάλογα με τις φυλογενετικές τους ομάδες. Τα κύτταρα τους εμφανίζουν διάμετρο από 0,1 έως 15 μm. Το κυτταρικό τους τοίχωμα δεν περιέχει πεπτιδογλυκάνη, και διαθέτουν αλληλουχίες rRNA διαφορετικές από αυτές που έχουν τα βακτήρια και οι ευκαρυωτικοί οργανισμοί. Επίσης η λιπιδιακή σύσταση των πλασματικών μεμβρανών διαφέρει σε σχέση με εκείνη οποιοδήποτε άλλου οργανισμού [34].

3.2.3 Ιοί

Οι ιοί ορίζονται ως η μικρή οργανωμένη συνάθροιση μακρομορίων⁶ που εξαρτάται από ένα έμβιο σύστημα για την ανάπτυξη και την αναπαραγωγή του, όπως επίσης και από τους μικροϊούς (miniviruses). Οι ιοί θεωρούνται παράσιτα που χρειάζονται τον κατάλληλο ξενιστή για να διατηρήσουν τον κύκλο ζωής τους. Το μέγεθός τους κυμαίνεται από 20 έως 400 nm, είναι ορατοί μόνο με τη χρήση ηλεκτρονιολογικού μικροσκοπίου [36].

Οι ιοί μπορούν να μολύνουν όλες τις μορφές ζωής, μεταξύ αυτών περιλαμβάνονται τα σπονδυλωτά, ασπόνδυλα, μύκητες, φυτά και βακτήρια. Τα βασικά μέρη από τα οποία αποτελείται ένας ιός είναι το γονιδίωμα (αποτελείται από νουκλεϊκά οξέα, DNA ή RNA) και το πρωτεϊνικό περίβλημα (καψίδιο). Ορισμένοι ιοί περιλαμβάνουν μια επιπλέον μεμβράνη ή

⁶ **Μακρομόρια** (macromolecule): πολυμερές που συνίσταται από ομοιοπολικώς συνδεδεμένα μονομερή [35].

φάκελο που τους περιβάλλει, ενώ κάποιοι άλλοι έχουν τη δυνατότητα να πακετάρουν δικά τους ένζυμα, τα οποία χρειάζονται για την αναπαραγωγή του γονιδιώματος τους [36].

Όπως όλοι οι οργανισμοί έτσι και οι ιοί πρέπει να αντιγραφούν, ώστε να συνεχιστεί ο κύκλος μόλυνσης τους και να εξαπλωθούν σε καινούριους ξενιστές. Όλοι οι ιοί χρειάζονται ένα ζωντανό κύτταρο, έτσι ώστε να τους παρέχει τουλάχιστον ένα τμήμα των μηχανισμών που απαιτείται για αυτή τη διαδικασία. [36]

Η διαγνωστική ιολογία αποτέλεσε έναν νέο τομέα της επιστήμης, του οποίου η σημαντικότητα του έγινε ορατή στα τέλη της δεκαετίας του '40, και συνέβαλε σημαντικά στην εξέλιξη των μεθόδων διάγνωσης των ιών [36].

Οι μέθοδοι της διαγνωστικής ιολογίας μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο είδη:

1. Αυτές που εντοπίζουν τον ιό ή τμήματα του (άμεσες)
2. Αυτές που εντοπίζουν την απόκριση του οργανισμού σε μια ιική μόλυνση.

Η αναπαραγωγή των ιών *in vitro* πραγματοποιείται με τη βοήθεια γονιμοποιημένων ωαρίων ή πειραματόζωων. Στη σημερινή εποχή η κυτταρική καλλιέργεια χρησιμοποιείται στις περισσότερες περιπτώσεις. Η απομόνωση των ιών διενεργείται σε συγκεκριμένα εργαστήρια αναφοράς. Οι κυτταρικές καλλιέργειες χωρίζονται σε πολλά είδη, όμως δεν υπάρχει κάποια συγκεκριμένη κυτταρική σειρά που να υποστηρίζει την ανάπτυξη όλων των σημαντικών ιών. Από τις πιο βασικές μεθόδους διάγνωσης παρουσίας ιών στην κυτταρική καλλιέργεια είναι η ανίχνευση αλλαγών της κυτταρικής δομής με τη βοήθεια ηλεκτρονικού μικροσκοπίου [36].

3.3 Κατηγορίες μικροοργανισμών ανάλογα με τον τρόπο θρέψης τους

3.3.1 Ως προς τη πηγή άνθρακα

Οι μικροοργανισμοί που χρησιμοποιούν ως τρόπο θρέψης τους τον άνθρακα χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες: τους αυτότροφους και τους ετερότροφους.

Αυτότροφοι είναι οι μικροοργανισμοί που χρησιμοποιούν ως μοναδική ή κύρια πηγή το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂).

Ετερότροφοι είναι οι μικροοργανισμοί που χρησιμοποιούν οργανικές ενώσεις ως κύρια πηγή άνθρακα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι δεν υπάρχει οργανική ένωση στη φύση, η οποία να μην μπορεί να αξιοποιηθεί ως πηγή άνθρακα ή ενέργειας από κάποιο μικροοργανισμό [37].

3.3.2 Ως προς τη πηγή ενέργειας

Οι πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούν οι μικροοργανισμοί είναι το φως, το οποίο παγιδεύεται κατά την διαδικασία της φωτοσύνθεσης και η οξείδωση οργανικών και ανόργανων ουσιών. Έτσι διαχωρίζονται στους *φωτότροφους* μικροοργανισμούς, οι οποίοι παραλαμβάνουν την ενέργεια τους από το φως, ενώ αυτοί που παραλαμβάνουν την ενέργεια τους από την οξείδωση οργανικών και ανόργανων ουσιών ονομάζονται *χημειότροφοι*. Η τελευταία κατηγορία μικροοργανισμών που αξιοποιούν τις οργανικές ενώσεις ως πηγή ενέργειας χαρακτηρίζονται *χημειοοργανότροφοι*, ενώ αυτοί που αξιοποιούν τις ανόργανες ενώσεις ως πηγή ενέργειας λέγονται *χημειολιθότροφοι* [37].

3.3.3 Ως προς την πηγή ηλεκτρονίων ή/και υδρογόνου

Οι μικροοργανισμοί κατηγοριοποιούνται επίσης με βάση την πηγή ατόμων υδρογόνου ή/και ηλεκτρονίων. Έτσι διακρίνονται σε *λιθότροφους*, οι οποίοι χρησιμοποιούν αναγωγικές ανόργανες ουσίες ως πηγή ηλεκτρονίων, και σε *οργανότροφους*, οι οποίοι προσλαμβάνουν τα ηλεκτρόνια τους ή τα άτομα υδρογόνου τους από οργανικές ουσίες [37].

3.3.4 Ως προς το συνδυασμό απαιτήσεων σε άνθρακα, ενέργεια, υδρογόνο ή/και ηλεκτρονίων

Οι μικροοργανισμοί διαθέτουν τη δυνατότητα να καταταχθούν με βάση τον συνδυασμό πηγής άνθρακα, ενέργειας, υδρογόνου ή/και πηγής ηλεκτρονίων σε μια από τις εξής θρεπτικές ομάδες:

1. *Φωτολιθοτροφικοί αυτότροφοι ή φωτοαυτότροφοι*, οι οποίοι χρησιμοποιούν το φως ως πηγή ενέργεια και το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) ως πηγή άνθρακα.
2. *Φωτοοργανότροφοι ετερότροφοι ή φωτοετερότροφοι*, οι οποίοι εκτελούν τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης, χρησιμοποιούν ως πηγή ενέργειας το φως και αξιοποιούν τις οργανικές ουσίες ως πηγή ηλεκτρονίων και άνθρακα. Σε αυτή την κατηγορία υπάγονται και οι φωτοαυτότροφοι οργανισμοί που χρησιμοποιούν τα άτομα υδρογόνου ως δότη ηλεκτρονίου.
3. *Χημειολιθοτροφικοί αυτότροφοι ή χημειοαυτότροφοι*, οι οποίοι οξειδώνουν αναγωγικές ανόργανες ενώσεις (αζώτου, θείου και σιδήρου) ως πηγή

ενέργειας και ηλεκτρονίων και χρησιμοποιούν διοξείδιο του άνθρακα ως πηγή άνθρακα.

4. *Χημειολιθοτροφικοί ετερότροφοι ή χημειοετερότροφοι*, οι οποίοι αξιοποιούν οργανικές ουσίες σαν πηγή ενέργειας, υδρογόνου, ηλεκτρονίων και άνθρακα. Συνήθως τέτοιοι μικροοργανισμοί είναι όλοι παθογόνοι και το ίδιο υλικό ικανοποιεί όλες τις απαιτήσεις.

Επίσης στη φύση συναντώνται μερικά βακτήρια, τα οποία χρησιμοποιούν ανόργανες και οργανικές ενώσεις για πηγή ενέργειας και ονομάζονται *μυζότροφα*, διότι συνδέουν την αυτότροφη και ετερότροφη μεταβολική διαδικασία [37].

3.4 Παθογένεια μικροβίων

Ως παθογένεια ενός μικροβίου χαρακτηρίζεται η ικανότητα του να προκαλέσει ασθένεια στον αποδέκτη – ξενιστή. Όσον αφορά την παθογένεια τα μικρόβια διακρίνονται σε τρεις ομάδες. Η πρώτη περιέχει τα πρωτογενή παθογόνα μικρόβια, τα οποία απομονώνονται από ασθενείς και θεωρούνται πιθανοί λοιμογόνοι παράγοντες. Η δεύτερη εμπεριέχει τα ευκαιριακά παθογόνα μικρόβια, τα οποία απομονώνονται από ασθενείς, των οποίων οι μηχανισμοί άμυνας είχαν μερικώς ή πλήρως ανασταλεί. Η τρίτη κατηγορία αφορά τα μη παθογόνα μικρόβια, όπως π.χ. το βακτήριο ο *Lactobacillus acidophilus* που κατατάσσεται στα μη παθογόνα διότι σπάνια προκαλεί ασθένειες, όμως αυτό μπορεί να αλλάξει λόγω της προσαρμοστικότητας του βακτηρίου και της επιβλαβούς επίδρασης της σύγχρονης ακτινοθεραπείας, της χημειοθεραπείας και της ανοσοθεραπείας στους μηχανισμούς ανοχής. Επίσης υπάρχουν μη παθογόνα βακτήρια, τα οποία πλέον προκαλούν ασθένειες στους οργανισμούς, όπως για παράδειγμα το βακτήριο του εδάφους *Serratia marcescens* που προκαλεί πνευμονία και λοίμωξη ουροποιητικού συστήματος κ.ά [39].

Στο μέτρο της παθογένειας ενός μικροβίου παίζει ρόλο η μολυσματικότητα του και λιγότερο ο μηχανισμός ανοχής του ξενιστή. Η μολυσματικότητα επηρεάζεται από τον αριθμό των μικροβίων, τον τρόπο εισόδου στο σώμα, τους ειδικούς και μη μηχανισμούς ανοχής του ξενιστή και από τους παράγοντες μολυσματικότητας του μικροβίου. Η μολυσματικότητα μπορεί να προσδιοριστεί πειραματικά, μέσω του αριθμού των μικροβίων που χρειάζονται για τη δημιουργία ασθένειας ή βλάβης ή/και θανάτου μετά τη χορήγηση των μικροβίων. Η παθογένεση έχει άμεση σχέση τόσο με τον μηχανισμό λοίμωξης όσο και με τον μηχανισμό ανάπτυξης και εξέλιξης της ασθένειας [39].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΑΕΡΟΜΕΤΑΦΕΡΟΜΕΝΩΝ ΜΙΚΡΟΒΙΩΝ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ ΚΑΙ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Όπως έχει προαναφερθεί και σε προηγούμενα κεφάλαια αερομεταφερόμενοι παθογόνοι μικροοργανισμοί μπορούν να προσβάλουν, τόσο την ανθρώπινη υγεία, όσο και την υγεία των ζώων και των φυτών. Ο κάθε μικροοργανισμός επηρεάζει διαφορετικά τον ξενιστή του.

4.1 Αερογενής μεταφορά μικροβίων

Η αερογενής μεταφορά μικροβίων λαμβάνει χώρα όταν διασπείρονται σταγονίδια ή αερομεταφερόμενα σωματίδια με εισπνεύσιμη αεροδυναμική διάμετρο (κυρίως μικρότερη από 5μm) που εμπεριέχουν παθογόνους μικροοργανισμούς και άλλους λοιμογόνους παράγοντες, οι οποίοι παραμένουν αιωρούμενοι και διασπειρόμενοι στην ατμόσφαιρα. Οι αερομεταφερόμενοι μικροοργανισμοί μπορούν να διασκορπιστούν από ρεύματα αέρα και να εισπνευσθούν από ευάλωτα άτομα που βρίσκονται στο ίδιο δωμάτιο με έναν ασθενή ή ακόμα και να αερομεταφερθούν σε μεγαλύτερη απόσταση εάν το επιτρέπουν οι επικρατούσες περιβαλλοντικές συνθήκες [38].

Η μετάδοση των σταγονιδίων αποτελεί θεωρητικά μια μετάδοση εξ επαφής μέσω του βήχα ή του φτερνίσματος ή ακόμα και της ομιλίας από τον πάσχοντα οργανισμό. Η μετάδοση σταγονιδίων είναι επιτυχής αν η απόσταση του πάσχοντα με κάποιον αποδέκτη είναι πολύ μικρή (μικρότερη από 1 μέτρο). Σε αυτή την περίπτωση τα σταγονίδια εναποτίθενται στον ρινικό βλεννογόνο ή / και στη στοματική κοιλότητα. Τα αερομεταφερόμενα σταγονίδια αεροδυναμικής διαμέτρου μικρότερης των 10 μm παραμένουν για μεγάλο χρονικό διάστημα στον αέρα και χρειάζονται ειδικά συστήματα εξαερισμού, που συμβάλουν στην πρόληψη της μετάδοσης των σταγονιδίων. Στις περιπτώσεις που η μετάδοση με σταγονίδια πραγματοποιείται εξ επαφής, δεν πρέπει να συγχέεται με την αερογενή μετάδοση [38].

Η ποιότητα αέρα των εσωτερικών χώρων, αλλά και του εξωτερικού ατμοσφαιρικού αέρα επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την ανθρώπινη υγεία. Η καλή ποιότητα του αέρα όσον αφορά μολυσματικούς παράγοντες, επηρεάζεται θετικά από τα χαμηλά επίπεδα υγρασίας και θρεπτικών συστατικών σε συνδυασμό με την υψηλή υπεριώδη ακτινοβολία (UV), παράμετροι οι οποίοι δεν ευνοούν την ανάπτυξη των μικροβίων. Επίσης η ανανέωση του εσωτερικού αέρα με πολλαπλάσιο όγκο εξωτερικού αέρα αραιώνει την συγκέντρωση και τα επίπεδα έκθεσης σε μικρόβια [39].

Γενικότερα οι αερομεταφερόμενοι μύκητες με την σειρά τους δύσκολα προκαλούν ασθένειες σε υγιείς οργανισμούς. Αναπτύσσουν συχνά μηχανισμούς μολυσματικότητας και διαθέτουν μορφολογικές δομές, οι οποίες διευκολύνουν τον πολλαπλασιασμό τους εντός του ξενιστή. Η μετάδοση τους εντός του σώματος του ξενιστή δείχνει ανεπάρκεια ανοσοποιητικής άμυνας. Οι μύκητες είναι άφθονοι στη φύση και υπάρχουν ως παράσιτα ανθρώπων ή ζώων και συναντώνται στην ατμόσφαιρα. Η μόλυνση οργανισμού από μύκητα ορίζεται ως η είσοδος του στους ιστούς και ο πολλαπλασιασμός του. Οι πιο συχνές ασθένειες προσβάλλουν το δέρμα (π.χ. μυκητιακές λοιμώξεις), τα μαλλιά και τα νύχια [39].

4.2 Νοσήματα αερογενούς μεταφοράς

Όπως αναφέρθηκε, η αερογενής μεταφορά σταγονιδίων ή σωματιδίων που πραγματοποιείται στην ατμόσφαιρα, μπορεί να προκαλέσει διάφορες ασθένειες και αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Οι πιο γνωστές ασθένειες που μεταδίδονται με σταγονίδια μέσω του αέρα είναι η φυματίωση, η ιλαρά, η ανεμοβλογιά, η διφθερίτιδα, η ερυθρά, ο κοκκύτης, και όλες οι λοιμώξεις του ανωτέρου και του κατωτέρου αναπνευστικού (κοινό κρυολόγημα, γρίπη, φαρυγγίτιδα, αμυγδαλίτιδα, λαρυγγίτιδα, τραχειίτιδα, βρογχίτιδα, ιγμορίτιδα, ωτίτιδα, πνευμονία κ.ά.). [38].

Στην περίπτωση ιώσεων, όπως της γρίπης και του Οξέος Αναπνευστικού Συνδρόμου (SARS-CoV, MERS-CoV), που μπορούν να οδηγήσουν σε επιδημία ή πανδημία, όλοι οι εργαζόμενοι υγειονομικής περίθαλψης, οι ηλικιωμένοι, οι ευπαθείς ομάδες με υποκείμενα νοσήματα, και οι έγκυοι θα πρέπει να εμβολιαστούν πρώτοι και να επαναλάβουν την αντίστοιχη δόση κάθε χρόνο πριν από την εποχή εμφάνισης της. Επίσης η κοινότητα σε περίοδο επιδημίας θα πρέπει να μην έρχονται σε επαφή με τους εργαζόμενους στην υγειονομική περίθαλψη, αν φέρουν οξεία εμπύρετη λοίμωξη του αναπνευστικού, η οποία πιθανώς να έχει δημιουργηθεί από την φροντίδα ασθενών υψηλού κινδύνου. Τέλος σαν μέτρα προστασίας που πρέπει να επιβάλλονται είναι η απομόνωση του ασθενούς για επτά έως δεκαπέντε ημέρες, ο περιορισμός των μετακινήσεων, η χρήση μάσκας όταν έρχεται σε επαφή με κάποιον και η απόσταση τήρησης του πάσχοντα με κάποιον υγιή που θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη του ενός μέτρου [38].

4.3 Λοιμώδη νοσήματα

Τα λοιμώδη νοσήματα αποτελούν την σημαντικότερη αιτία νοσηρότητας και θνησιμότητας του εκάστοτε πληθυσμού, όπου επηρέασε δραματικά την ανθρώπινη ιστορία. Η πανώλη (πανούκλα) με τις μεγάλες επιδημίες της για πολλούς αιώνες (μαύρος θάνατος) άλλαξε την κοινωνική δομή της Δυτικής και Κεντρικής Ευρώπης, ενώ ολόκληροι πληθυσμοί αποδεκατίστηκαν από τον τύφο, τη δυσεντερία, τη χολέρα και άλλες λοιμώδεις ασθένειες. Την σήμερα ημέρα τα λοιμώδη νοσήματα αποτελούν τα κυριότερα αίτια νοσηρότητας και θνησιμότητας στις αναπτυσσόμενες χώρες όπου οι υγειονομικές συνθήκες και η εμβολιαστική κάλυψη είναι ανεπαρκείς. Αντίθετα στις ανεπτυγμένες χώρες έχουν μειωθεί σημαντικά πολλά λοιμώδη νοσήματα λόγω του υποχρεωτικού εμβολιασμού των παιδιών, και εμφανίζονται καινούρια νοσήματα για τα οποία δεν έχουν αναπτυχθεί εμβόλια, όπως π.χ. το AIDS, η νόσος «των τρελών αγελάδων» κ.ά. [40].

Τα κρούσματα των λοιμωδών νοσημάτων μπορεί να είναι σποραδικά (λίγα σε αριθμό και μεμονωμένα σε τόπο και χρόνο) ή να εμφανίζουν μορφή επιδημίας, προσβάλλοντας ταυτόχρονα ή διαδοχικά μεγάλο αριθμό ατόμων σε μια συγκεκριμένη περιοχή (π.χ. επιδημία μηνιγγίτιδας σε ένα στρατόπεδο ή επιδημία γρίπης σε μία χώρα). Τέλος αν σε μία περιοχή προκύπτουν διαρκώς κρούσματα από ένα λοιμώδες νόσημα, τότε αναφερόμαστε σε μια ενδημία [40].

4.4 Νοσοκομειακές λοιμώξεις

Οι νοσοκομειακές λοιμώξεις αποτελούν σε παγκόσμιο επίπεδο το σημαντικότερο πρόβλημα δημόσιας υγείας που θέτει σε κίνδυνο την ασφάλεια των ασθενών και εκφράζεται με τη σημαντική αύξηση των δεικτών της νοσηρότητας, της θνησιμότητας καθώς και το κόστος νοσηλείας. Οι περισσότερες ενδονοσοκομειακές λοιμώξεις προέρχονται από την νοσηλεία βαρέως πασχόντων ασθενών και προσβάλλουν το ουροποιητικό σύστημα, το ανώτατο και κατώτερο αναπνευστικό σύστημα, το χειρουργικό πεδίο, το αίμα, το δέρμα και τα μαλακά μόρια. Αντίστοιχα προβλήματα παρουσιάζουν και τα ελληνικά νοσοκομεία, τα οποία το τελευταίο διάστημα αντιμετωπίζουν ολοένα και περισσότερες νοσοκομειακές λοιμώξεις, που βασίζονται σε πολυανθεκτικά Gram – αρνητικά βακτήρια [40].

Η αυξημένη επίπτωση των λοιμώξεων που οφείλονται σε αυτά, συνιστούν ένα καθημερινό πρόβλημα των κλινικών ιατρών που επιβάλλει την άμεση εφαρμογή μέτρων ελέγχου λοιμώξεων [41].

4.5 Μέτρα περιορισμού της διασποράς των λοιμογόνων παραγόντων

Η μεταδοτικότητα των λοιμογόνων παραγόντων μπορεί να περιοριστεί με [40]:

1. Ευρεία εμβολιαστική κάλυψη του πληθυσμού
2. Απομόνωση των μολυσματικών ατόμων που νοσούν.
3. Εφαρμογή απολύμανσης, δηλαδή εξόντωσης των λοιμογόνων παραγόντων με την χρήση χημικών ή φυσικών μέσων, έξω από το ανθρώπινο σώμα.
4. Εφαρμογή μέτρων εντομοκτονίας - μυοκτονίας (π.χ. θανάτωση αρουραίων, κουνουπιών, μυγών, κατσαρίδων κλπ.).
5. Εφαρμογή μέτρων εξυγίανσης συστημάτων ύδρευσης και αποχέτευσης (π.χ. χλωρίωση νερού, κατάργηση βόθρων κλπ.).
6. Εφαρμογή μέτρων πρόσληψης τροφιμογενών λοιμώξεων, για παράδειγμα η παστερίωση του γάλατος, ο έλεγχος στην παραγωγή τροφίμων και η τήρηση των υγειονομικών κανόνων κατά τον χειρισμό των τροφίμων).
7. Εφαρμογή μέτρων πρόσληψης αερογενών λοιμώξεων, όπως για παράδειγμα η κάλυψη της μύτης και του στόματος κατά τον βήχα, η ελάττωση του συνωστισμού, ο καλός αερισμός των χώρων και η καταπολέμηση της σκόνης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Η πειραματική διαδικασία περιελάμβανε την παρασκευή των στερεών θρεπτικών υποστρωμάτων, τη δειγματοληψία των αερομεταφερόμενων μικροβίων, την καλλιέργεια αυτών, την καταμέτρηση των αναπτυσσόμενων αποικιών, τον υπολογισμό της συγκέντρωσης τους ανά κυβικό μέτρο αέρα και τέλος την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων [43].

5.1 Περιγραφή των δειγματοληψιών

Στα πλαίσια αυτής της πτυχιακής εργασίας υλοποιήθηκαν δειγματοληψίες αερομεταφερόμενων μικροβίων για τον προσδιορισμό και την συσχέτιση των μικροοργανισμών αυτών που υπάρχουν στον αέρα του εσωτερικού περιβάλλοντος αιθουσών διδασκαλίας και εκπαίδευσης (αίθουσες διδασκαλίας και βιβλιοθήκη), καθώς και στον ατμοσφαιρικό αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος, δηλαδή στο προαύλιο χώρο του Τμήματος Ηλεκτρονικών Μηχανικών του Ελληνικού Μεσογειακού Πανεπιστημίου (ΕΛΜΕΠΑ) στα Χανιά. Το Παράρτημα Χανίων του ΕΛΜΕΠΑ (πρώην Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης - Τ.Ε.Ι Κρήτης) βρίσκεται στην περιοχή Χαλέπα στην πόλη των Χανίων και έχει μακρόχρονη ιστορία στην τεχνολογική και πανεπιστημιακή εκπαίδευση.

Πραγματοποιήθηκαν συνολικά 3 δειγματοληψίες συνολικά, η πρώτη κατά το= μήνα Φεβρουάριο 2020 και οι επόμενες κατά το μήνα Μάρτιο 2020, πριν την έναρξη της καραντίνας και της εξ αποστάσεως εκπαίδευσης λόγω της πανδημίας Covid-19. Όλες οι δειγματοληψίες είχαν το ίδιο σημείο αναφοράς (ΕΛΜΕΠΑ), για τις μετρήσεις στο εσωτερικό περιβάλλον επελέγησαν μια αίθουσα διδασκαλίας και η βιβλιοθήκη, ενώ για τις μετρήσεις στο εξωτερικό περιβάλλον επιλέχθηκε ο προαύλιος χώρος του Ιδρύματος. Οι ώρες που πραγματοποιήθηκαν οι δειγματοληψίες ήταν κυρίως πρωινές και μεσημεριανές από 09:00 έως 16:00. Στο μεγαλύτερο μέρος των δειγματοληψιών υλοποιήθηκαν τριπλές μετρήσεις (τρεις επαναλήψεις) όλων των βακτηρίων και μυκήτων με το όργανο MAS 100 και το δειγματολήπτη Andersen 6 επιπέδων. Στόχος αυτών των δειγματοληψιών είναι ο ποσοτικός προσδιορισμός της συγκέντρωσης και του μεγέθους της αεροδυναμικής διαμέτρου των ετερότροφων, δυνητικά παθογόνων βακτηρίων, των χημειοαυτότροφων βακτηρίων, των βακτηρίων που μεταβολίζουν γλυκόζη, των οξεογόνων βακτηρίων και των γρήγορα αναπτυσσόμενων μυκήτων.

Το ζητούμενο είναι εάν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των μικροοργανισμών, της παρουσίας ατόμων, των περιβαλλοντικών συνθηκών αλλά και των συγκεντρώσεων στο εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον. Η μονάδα μέτρησης που χρησιμοποιήθηκε για τα βιοαεροζόλ ήταν ο αριθμός αποικιών ανά κυβικό μέτρο ($m^3=1.000 L$) αέρα, (Colony Forming Units per cubic meter - CFU/ m^3).

Παράλληλα με τις δειγματοληψίες πραγματοποιούνταν μέτρηση τριών περιβαλλοντικών παραμέτρων, της ταχύτητας του ανέμου (v) σε m/sec, της θερμοκρασίας (T) σε °C και της σχετικής υγρασίας (RH) σε (%) του περιβάλλοντος στα σημεία δειγματοληψίας, για να διαπιστώσουμε εάν επηρεάζουν τις συγκεντρώσεις των αερομεταφερόμενων μικροβίων. Οι τιμές των περιβαλλοντικών παραμέτρων στο εξωτερικό περιβάλλον καταγράφονταν μία φορά στην αρχή της δειγματοληψίας, ενώ στο εσωτερικό περιβάλλον γινόταν ξεχωριστή καταγραφή σε κάθε μέτρηση διαφορετικής κατηγορίας μικροοργανισμών.

Στον πίνακα 5.1 παρουσιάζονται οι ημερομηνίες των δειγματοληψιών, οι μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούσαν, οι κατηγορίες των αερομεταφερόμενων μικροβίων που προσδιορίστηκαν και άλλες ιδιαίτερες συνθήκες των χώρων δειγματοληψίας.

Πίνακας 5.1: Στοιχεία και συνθήκες των δειγματοληψιών.

Ημερομηνία & Ωρα	Σημείο Δειγματοληψίας	Μετεωρολογικές συνθήκες (ταχύτητα ανέμου, θερμοκρασία, σχετική υγρασία)	Αερομεταφερόμενα Μικρόβια	Συνθήκες
24/02/2020 10:50 – 11:20 & 12:50- 13:20	Εσωτερικό Περιβάλλον (αίθουσα διδασκαλίας)	1) 0 m/sec, 18,4 °C, 50,5% 2) 19,4 °C, 0,2 m/s, 56,8 %	Ετερότροφα βακτήρια, Μύκητες	1) Πριν το μάθημα: Κλειστή αίθουσα για 72h. 2) Κατά την διάρκεια του μαθήματος: αίθουσα με 42 φοιτητές, φυσικός αερισμός με παράθυρα ανοιχτά.
	Εξωτερικό Περιβάλλον (προαύλιο)	0,70 m/sec , 20 °C , 43.5%		Ήλιος & ελαφρύ αεράκι.
03/03/2020	Εσωτερικό Περιβάλλον (βιβλιοθήκη)	0,13 m/sec, 20,8 °C, 43,5%	Ετερότροφα βακτήρια, Χημειοαυτότροφα βακτήρια,	Υπήρχαν βιβλία, Η/Υ (ανοιχτοί & κλειστοί) & 3-9 άτομα που διάβαζαν & φυσικός αερισμός

12:50- 14:40			Βακτήρια που μεταβολίζουν τη γλυκόζη, Οξεογόνα - βακτήρια, Μύκητες	με ένα παράθυρο ανοιχτό.
	Εξωτερικό Περιβάλλον (πίσω μέρος βιβλιοθήκης)	0.25 m/sec, 20.3 °C, 49.5% RH		Σκιά & ελαφρύ αεράκι.
09/03/2020 10:20- 12:00	Εσωτερικό Περιβάλλον (αίθουσα διδασκαλίας)	1) 0 m/sec, 17,8 °C, 57,4% 2) 0 m/s, 20.9 °C, 63.5 %	Ετερότροφα βακτήρια, Χημειοαυτότροφα βακτήρια, Βακτήρια που μεταβολίζουν τη γλυκόζη, Οξεογόνα - βακτήρια, Μύκητες	1) Πριν το μάθημα: Κλειστή αίθουσα για 72h. 2) Κατά την διάρκεια του μαθήματος: φυσικός αερισμός από τα παράθυρα στην αρχή μετά ήταν κλειστά με αίθουσα γεμάτη μαθητές.
	Εξωτερικό Περιβάλλον (προαύλιο ΤΕΙ)	0.19 m/sec, 13.1 °C, 70.8%		Σκιά & βροχόπτωση & ελαφρύ αεράκι.

5.2 Όργανα δειγματοληψιών



Εικόνα 5.1: Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν στις δειγματοληψίες. Από αριστερά προς τα δεξιά απεικονίζονται τα όργανα: 1) VelociCalc (TSD), 2) MAS 100 (Merck Γερμανίας), 3) Andersen 6 επιπέδων.

Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για την πραγματοποίηση των δειγματοληψιών που αφορούν στη συλλογή μικροβιακού φορτίου του αέρα, είναι ο δειγματολήπτης Andersen των 6 επιπέδων και ο δειγματολήπτης MAS 100 (Merck Γερμανίας). Το κυριότερο συγκριτικό πλεονέκτημα που έχει ο δειγματολήπτης Andersen είναι ότι διαθέτει 6 επίπεδα συλλογής μικροβίων, στα οποία διαχωρίζονται οι μικροοργανισμοί διαφορετικών αεροδυναμικών διαμέτρων. Το επίπεδο 1 αντιπροσωπεύει μικροοργανισμούς με μέγεθος $\geq 7,1$ μm , το επίπεδο 2 αφορά μικροοργανισμούς με αεροδυναμική διάμετρο από 4,7 έως 7,1 μm , το επίπεδο 3 από 3,3 έως 4,7 μm , το επίπεδο 4 από 2,1 έως 3,3 μm , το επίπεδο 5 από 1,1 έως 2,1 μm και το επίπεδο 6 από 0,65 έως 1,1 μm .

Οι όγκοι των αέριων δειγμάτων που συλλέχθηκαν με το δειγματολήπτη Andersen 6 επιπέδων ήταν 500 L για όλες τις κατηγορίες βακτηρίων στους εσωτερικούς χώρους και 750 L στον εξωτερικό αέρα, ενώ οι όγκοι για τους μύκητες ήταν 750 L στους εσωτερικούς χώρους και 500 L στο εξωτερικό περιβάλλον. Οι όγκοι συλλογής με το δειγματολήπτη MAS 100 για τα βακτήρια ήταν 50 και 100 L στους εσωτερικούς χώρους και 250 L στο εξωτερικό περιβάλλον, ενώ 100 L αέρα συλλέχθηκε για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των μυκήτων σε όλα τα σημεία δειγματοληψίας.

Το όργανο που αφορά στις μετρήσεις των περιβαλλοντικών παραμέτρων, δηλαδή της ταχύτητας ανέμου, της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας του αέρα, και χρησιμοποιήθηκε ήταν το φορητό όργανο VelociCalc (TSI).

Όλα τα όργανα ήταν τοποθετημένα επάνω σε ένα τραπέζι στο προαύλιο, και σε ένα θρανίο ή γραφείο στην αίθουσα διδασκαλίας και στην βιβλιοθήκη αντίστοιχα, ύψους περίπου ενός μέτρου.

5.3 Θρεπτικά υποστρώματα και καλλιέργεια μικροοργανισμών

Για την συλλογή και ανάλυση των δειγμάτων του μικροβιακού φορτίου ήταν απαραίτητα τα κατάλληλα θρεπτικά υποστρώματα και η καλλιέργεια σε συγκεκριμένες συνθήκες, ανάλογα με τον οργανισμό.

Ως μικροβιακό θρεπτικό υπόστρωμα ορίζεται κάθε στερεό ή υγρό μέσο, το οποίο χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη και τον πολλαπλασιασμό των διαφόρων οργανισμών. Τα θρεπτικά υποστρώματα πρέπει να περιέχουν αμινοξέα, νουκλεοτίδια, πηγές άνθρακα και αζώτου, παράγοντες αύξησης, καθώς και ανόργανα άλατα. Οι παραπάνω ουσίες είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη των περισσότερων βακτηρίων. Για την ανάπτυξη των βακτηρίων, απαιτούνται επίσης οι κατάλληλες συνθήκες θερμοκρασίας, υγρασίας και pH μέσα στο περιβάλλον του θρεπτικού υποστρώματος [42].

Η παρασκευή θρεπτικών υποστρωμάτων παρουσιάζεται με τα εξής βήματα:

Πρώτο βήμα αποτελούσε η παρασκευή των θρεπτικών υποστρωμάτων. Για τον προσδιορισμό των ετερότροφων βακτηρίων χρησιμοποιήθηκε το Tryptone Soya Broth, από το οποίο προστέθηκαν 3 g σε 100 ml απιονισμένου νερού και αφού διαλυθούν καλά προστίθεται 1,5 % κ.β. άγαρ. Για τον προσδιορισμό των χημειοαυτότροφων βακτηρίων χρησιμοποιήθηκε ένα θρεπτικό υπόστρωμα αλάτων χωρίς πηγή άνθρακα, το Minimum Mineral Tris Phosphate Agar (TAP). Το θρεπτικό υπόστρωμα TAP παρασκευάστηκε σύμφωνα με τις οδηγίες της Γερμανικής Συλλογής Μικροοργανισμών και Κυτταροκαλλιεργειών [44].

Για τον προσδιορισμό των βακτηρίων που μεταβολίζουν γλυκόζη αλλά και των οξειδωτικών βακτηρίων χρησιμοποιήθηκαν το θρεπτικό υπόστρωμα *Glucobacter oxydans* Medium (Gluco), το οποίο παρασκευάστηκε σύμφωνα με τις οδηγίες της Γερμανικής Συλλογής Μικροοργανισμών και Κυτταροκαλλιεργειών [45].

Τέλος για τον προσδιορισμό των μυκήτων χρησιμοποιήθηκε το θρεπτικό υπόστρωμα Malt Extract Broth (MEA), από το οποίο προστέθηκαν 2 g σε 100 ml απιονισμένου νερού και αφού διαλυθούν καλά προστίθεται το 1,5 % κ.β. άγαρ. Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζεται η σύσταση των θρεπτικών υποστρωμάτων.

Πίνακας 5.2: Η αναλυτική σύνθεση των θρεπτικών υποστρωμάτων TSA, Gluco, TAP⁺ και MEA που χρησιμοποιήθηκαν στις μετρήσεις.

TSA		MEA	
Συστατικά	Συγκέντρωση (g/L)	Συστατικά	Συγκέντρωση (g/L)
Tryptone Soya Broth	30	Malt Extract Broth	20
Άγαρ	15	Άγαρ	15
Gluco		TAP ⁺	
Συστατικά	Συγκέντρωση (g/L)	Συστατικά	Συγκέντρωση (g/L)
Glucose	100	Trizma Base	2,42
CaCO ₃	20	Ρυθμιστικό διάλυμα Φωσφορικών	1ml
Yeast	10	Διάλυμα Hutners	1ml
Άγαρ	15	Διάλυμα EDTA	10 ml
pH	6,8	Πυκνό HCl	1ml
		Άγαρ	15
		pH	7,2
		Απιονισμένο νερό	987ml

Δεύτερο βήμα αποτελεί η τοποθέτηση των θρεπτικών υποστρωμάτων στον κλίβανο υγρής αποστείρωσης σε θερμοκρασία 121 °C και πίεση 1,2 bar για 15 λεπτά. Όταν ολοκληρωθεί η αποστείρωση και μηδενιστεί η πίεση ανοίγει ο κλίβανος.

Τρίτο βήμα: μόλις κρυσώσουν οι φιάλες με τα θρεπτικά υποστρώματα τόσο όσο να πιάνονται με γυμνό χέρι (\approx 40 έως 50 °C), τοποθετούνται σε αποστειρωμένα τριβλία στο θάλαμο κάθετης νηματικής ροής. Μόλις σταθεροποιηθούν τα υποστρώματα και εξατμιστούν πλήρως οι υδρατμοί, τοποθετούνται σε αποστειρωμένα σακουλάκια και διατηρούνται περίπου 24 ώρες σε θερμοκρασία δωματίου. Την επόμενη ημέρα, εάν δεν χρησιμοποιηθούν, τοποθετούνται στο ψυγείο μέχρι την ημέρα της δειγματοληψίας.

Μετά το πέρας της δειγματοληψίας, πραγματοποιήθηκε η καλλιέργεια των μικροοργανισμών. Τα ετερότροφα βακτήρια, τα χημειοανότροφα βακτήρια, τα οξεογόνα βακτήρια και τα βακτήρια που μεταβολίζουν τη γλυκόζη (όλες οι κατηγορίες βακτηρίων) τοποθετήθηκαν σε επωαστικό θάλαμο στους 37 °C για 24 ώρες (h), 48 h έως και μερικές ημέρες (το μέγιστο 10 ημέρες) ανάλογα την κατηγορία μικροοργανισμών. Η καταμέτρηση των αποικιών των ετερότροφων βακτηρίων πραγματοποιήθηκε μετά από 24 h και 48 h, ενώ η καταμέτρηση των υπόλοιπων βακτηριακών καλλιεργειών πραγματοποιούνταν και μετά από 72 h, καθώς και 5 ημέρες (d), 8 d και 10 d. Η επιλογή των 37°C, είχε ως στόχο την καταμέτρηση των διαφόρων βακτηρίων που βρίσκονται στον ατμοσφαιρικό αέρα και μπορεί να είναι δυνητικά παθογόνοι ή να επιβιώνουν στο ανθρώπινο σώμα, το οποίο έχει την ίδια θερμοκρασία. Οι μύκητες τοποθετούνταν σε επωαστικό θάλαμο στους 20 °C για 72 h. Η καταμέτρηση των αποικιών τους πραγματοποιούνταν μετά από 48 h και 72 h.

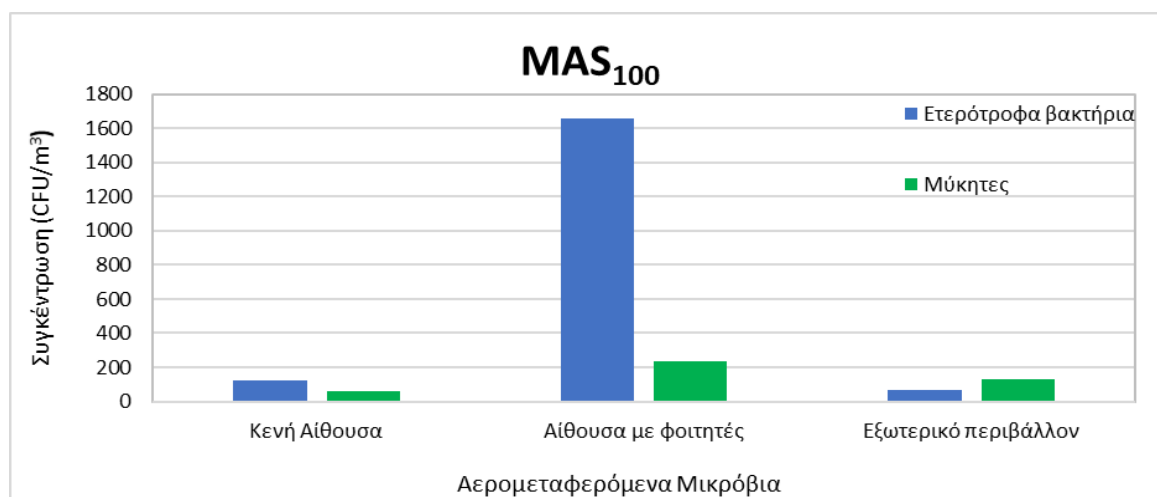
Μετά την ολοκλήρωση της καλλιέργειας των αερομεταφερόμενων μικροβίων και της καταμέτρησης των αποικιών, τα τριβλία συλλέγονται σε ειδικούς θερμοανθεκτικούς σάκους και αποστειρώνονται στον κλίβανο υγρής αποστείρωσης σε 121 °C και 1,2 bar για 20 λεπτά πριν απορριφθούν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6**ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ****6.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων**

Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δειγματοληψιών που πραγματοποιήθηκαν.

1^η Δειγματοληψία σε Αίθουσα Διδασκαλίας

Η συγκεκριμένη δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε 24/02/2020 από 10:00 π.μ. έως 13:20 μ.μ. σε αίθουσα διδασκαλίας πριν και κατά την διάρκεια μαθήματος καθώς και στον εξωτερικό προαύλιο χώρο του ΕΛΜΕΠΑ. Η θερμοκρασία περιβάλλοντος ήταν 19,8 °C, η σχετική υγρασία 42,8 %, η ταχύτητα ανέμου 0,70 m/sec, , υπήρχε ηλιοφάνεια και ένα ελαφρύ αεράκι. Όταν η αίθουσα διδασκαλίας ήταν κενή μετρήθηκε ταχύτητα ανέμου 0 m/sec διότι τα παράθυρα ήταν κλειστά, θερμοκρασία 18,4 °C και σχετική υγρασία 50,5 %, ενώ μετά την έναρξη της διδασκαλίας και με φυσικό αερισμό με ανοιχτά παράθυρα και 42 φοιτητές παρόντες η θερμοκρασία ήταν 19,4 °C, ταχύτητα ανέμου 0,2 m/s και σχετική υγρασία 56,8 %.



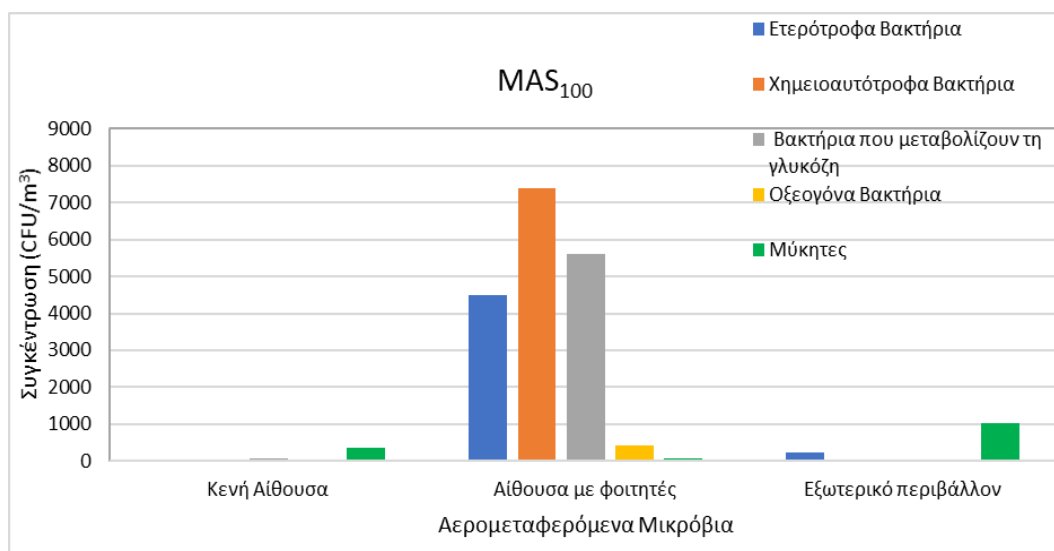
Διάγραμμα 6.1 Συγκεντρώσεις αερομεταφερόμενων μικροβίων κατά την 1^η δειγματοληψία (24/02/2020) στην αίθουσα διδασκαλίας.

Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 6.1, η συγκέντρωση των αερομεταφερόμενων ετερότροφων βακτηρίων στην αίθουσα με παρόντες τους φοιτητές είναι κατά 14 φορές υψηλότερη σε σχέση με την αντίστοιχη στην κενή αίθουσα και κατά 26 φορές σε σχέση με τη συγκέντρωση στον αέρα στο εξωτερικό περιβάλλον. Από την άλλη η συγκέντρωση των αερομεταφερόμενων μυκήτων στην αίθουσα διδασκαλίας παρουσία των φοιτητών ήταν

κατά 5 φορές υψηλότερη σε σχέση με την αντίστοιχη στην κενή αίθουσα και 2 φορές σε σχέση με τη συγκέντρωση στο εξωτερικό περιβάλλον.

2^η Δειγματοληψία σε Αίθουσα διδασκαλίας

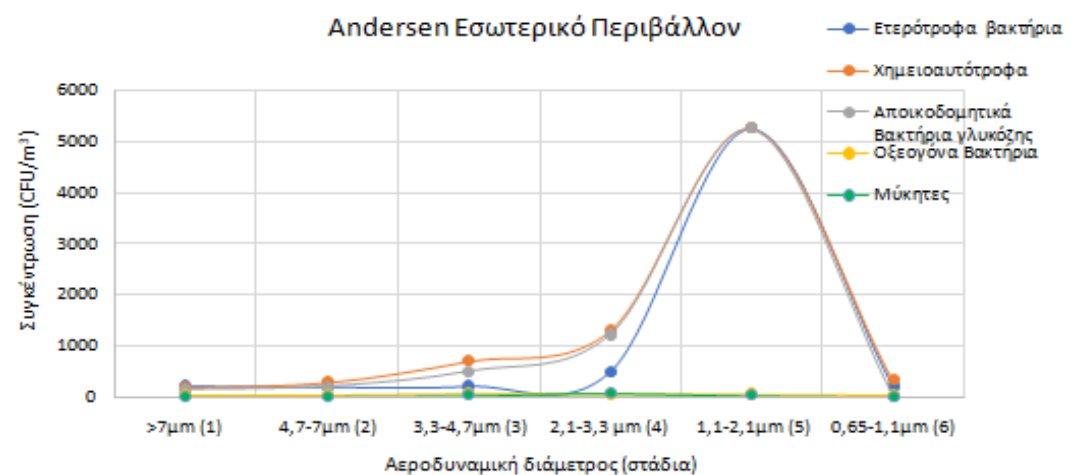
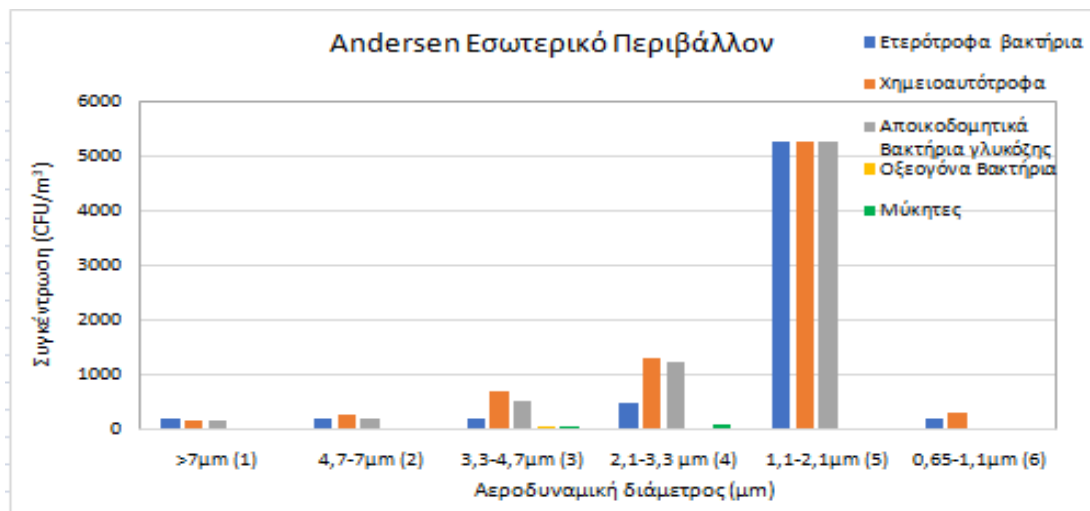
Αυτή η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε 09/03/2020, από τις 09:00-14:00μμ. Η θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος ήταν 13,1 °C, η σχετική υγρασία 70,8%, η ταχύτητα του ανέμου 0,19 m/sec, ενώ στην κενή αίθουσα η ταχύτητα ανέμου ήταν 0 m/sec, η θερμοκρασία 17,8 °C και η σχετική υγρασία 57,4%. Κατά τη διάρκεια του μαθήματος παρουσία 35 φοιτητών διατηρήθηκαν τα παράθυρα κλειστά και οι συνθήκες ήταν οι ακόλουθες: 20,9 °C, σχετική υγρασία 63,5 % και ταχύτητα ανέμου 0 m/s. Παρατηρήθηκε υψηλότερη τιμή στην σχετική υγρασία παρουσία πολλών ατόμων, λόγω του ότι τη συγκεκριμένη ημέρα που πραγματοποιήθηκε η δειγματοληψία, ο καιρός ήταν βροχερός και μεταφέρθηκε υγρασία στο εσωτερικό της αίθουσας.



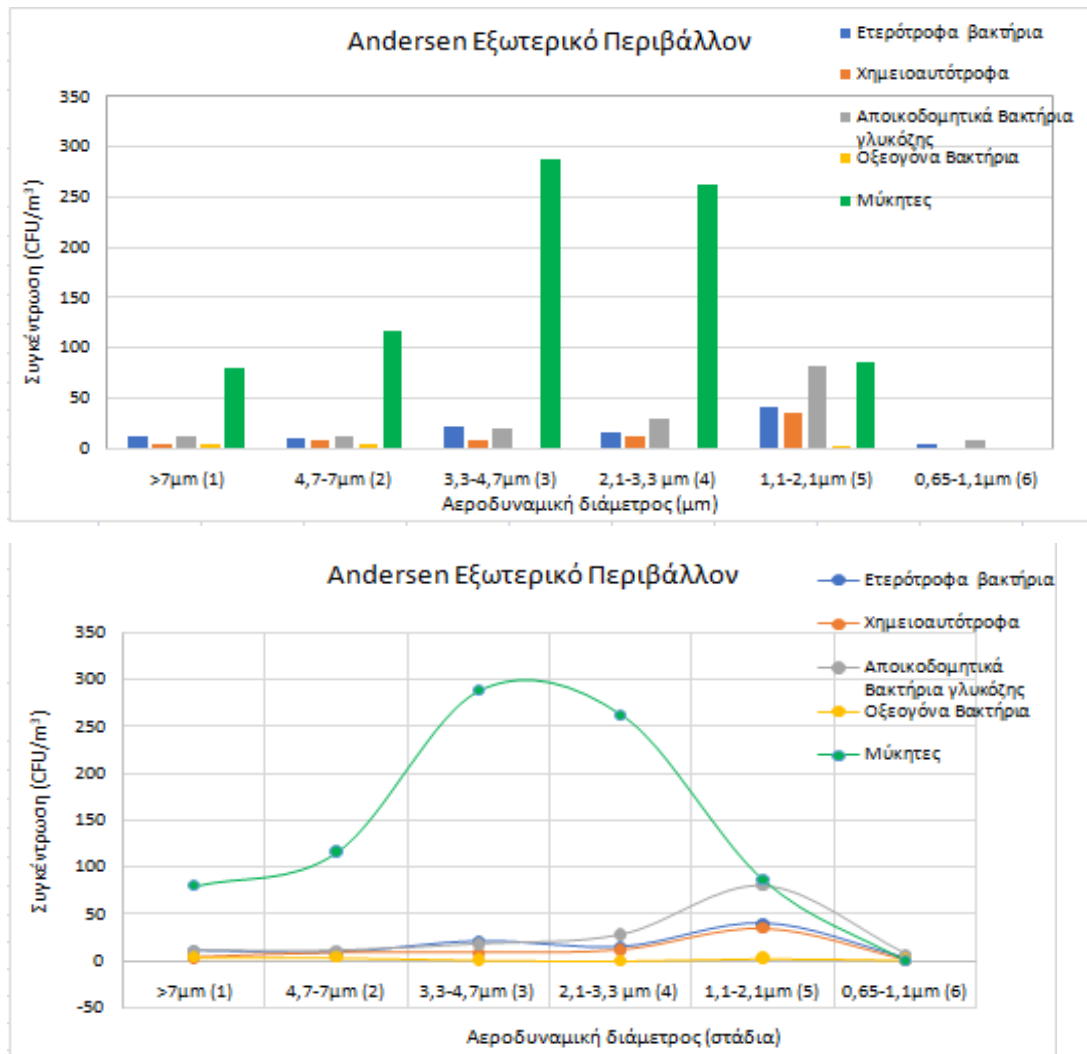
Διάγραμμα 6.2 Συγκεντρώσεις αερομεταφερόμενων μικροβίων κατά τη 2^η δειγματοληψία (09/03/2020) στην αίθουσα διδασκαλίας με και χωρίς φοιτητές και στον εξωτερικό ατμοσφαιρικό αέρα με τον δειγματολήπτη MAS 100.

Αναλύοντας τις μετρήσεις των παραπάνω αερομεταφερόμενων μικροοργανισμών παρατηρείται ότι οι συγκεντρώσεις των δυνητικά παθογόνων ετερότροφων βακτηρίων αυξήθηκαν 105 φορές παρουσία φοιτητών σε σχέση με τη συγκέντρωση πριν την είσοδο των ατόμων στην άδεια αίθουσα. Επίσης η συγκέντρωση αυτή είναι 20 φορές υψηλότερη σε σύγκριση με τη συγκέντρωση στο εξωτερικό περιβάλλον. Επίσης παρόμοια η συγκέντρωση των χημειοαυτότροφων βακτηρίων αυξήθηκε κατά 140 φορές παρουσία 32 ατόμων σε

σύγκριση με τη συγκέντρωση στην κενή αίθουσα και 322 φορές σε σχέση με τη συγκέντρωση του εξωτερικού αέρα αντίστοιχα. Ομοίως αύξηση παρατηρήθηκε και στη συγκέντρωση των αερομεταφερόμενων βακτηρίων που μεταβολίζουν τη γλυκόζη, η οποία αυξήθηκε κατά 68 και 108 φορές αντίστοιχα. Μια ελαφρά αύξηση μετρήθηκε επίσης στη συγκέντρωση των οξεογόνων βακτηρίων, η οποία αυξήθηκε κατά 18 και 10 φορές αντίστοιχα. Αντίθετα η συγκέντρωση των μυκήτων στον εξωτερικό ατμοσφαιρικό αέρα ήταν κατά 3 φορές υψηλότερη σε σύγκριση με τη συγκέντρωση στην άδεια αίθουσα διδασκαλίας και 13 φορές υψηλότερη σε σχέση με τη συγκέντρωση που μετρήθηκε στη γεμάτη αίθουσα. Αυτό σημαίνει ότι όλες οι κατηγορίες βακτηρίων επηρεάζονται από την παρουσία ανθρώπων παρουσιάζοντας τις μέγιστες συγκεντρώσεις στην γεμάτη αίθουσα, ενώ οι μύκητες αντίθετα είναι αριθμητικά περισσότεροι στο εξωτερικό περιβάλλον.



Διαγράμματα 6.3 & 6.4 Κατανομή των συγκεντρώσεων των αερομεταφερόμενων μικροβίων σε σχέση με την αεροδυναμική τους διάμετρο στην αίθουσα διδασκαλίας παρουσία φοιτητών κατά τη 2^η δειγματοληψία (09/03/2020) με τον δειγματολήπτη Andersen 6 επιπέδων.



Διαγράμματα 6.5 & 6.6 Κατανομή των συγκεντρώσεων των αερομεταφερόμενων μικροβίων σε σχέση με την αεροδυναμική τους διάμετρο στον εξωτερικό ατμοσφαιρικό αέρα κατά την δειγματοληψία (09/03/2020) με τον δειγματολήπτη Andersen 6 επιπέδων.

Στον αέρα του εσωτερικού περιβάλλοντος, δηλαδή στην αίθουσα διδασκαλίας παρουσία 35 ατόμων με τον δειγματολήπτη Andersen παρατηρείται ότι τα ετερότροφα βακτήρια, τα χημειοαυτότροφα βακτήρια και τα βακτήρια που μεταβολίζουν τη γλυκόζη παρουσιάζουν μέγιστες συγκεντρώσεις στο 5^ο στάδιο με αεροδυναμική διάμετρο 1,1 έως 2,1 μm. Αντίθετα τα οξεογόνα βακτήρια και οι μύκητες σημειώνουν μέγιστες συγκεντρώσεις στο 3^ο (3,3-4,7 μm) και 4^ο στάδιο (2,1-3,3 μm) αντίστοιχα. Αυτό είναι πιο ευκρινές στα διαγράμματα 6.3 και 6.4. Επίσης θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι συγκεντρώσεις των τριών βακτηριακών κατηγοριών που παρουσιάζουν το μέγιστο τους στο 5^ο στάδιο είναι οι μέγιστες τιμές συγκέντρωσης που μπορεί να λάβει το όργανο και είναι η ίδια και για τις τρεις κατηγορίες βακτηρίων. Αυτό σημαίνει ότι επειδή η συγκεκριμένες μετρήσεις είναι στα όρια

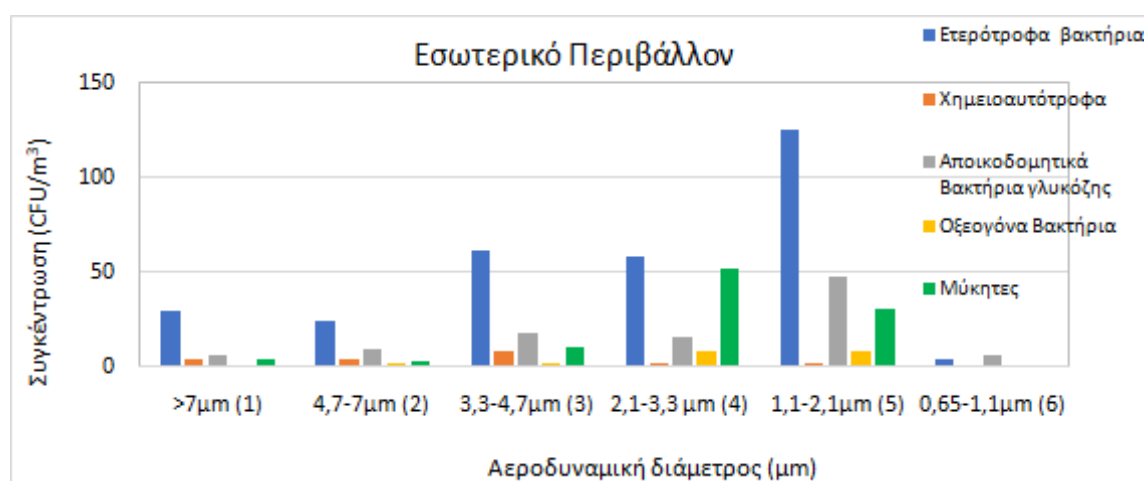
αξιοπιστίας του οργάνου μέτρησης, θα πρέπει στην επόμενη δειγματοληψία να συλλεχθεί μικρότερος όγκος αέρα.

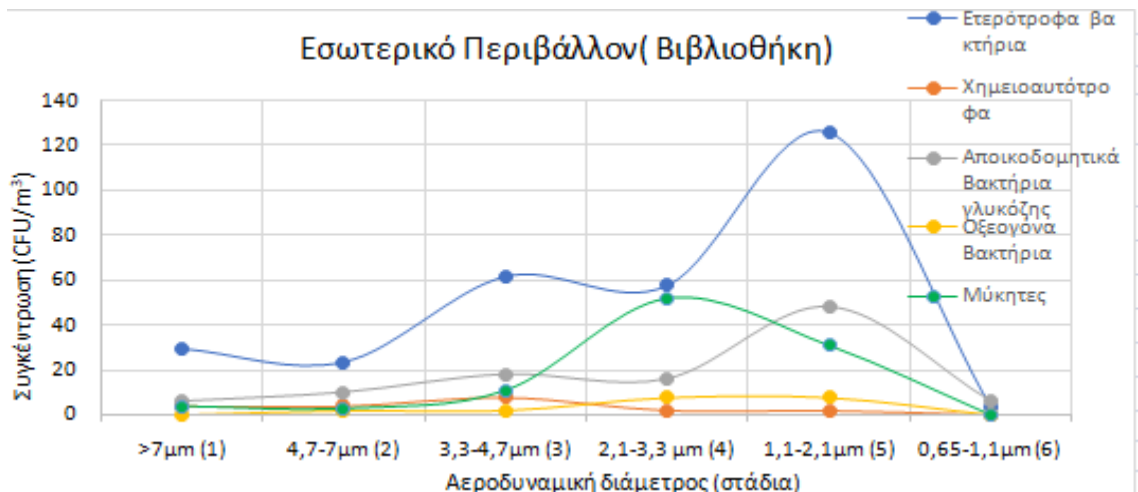
Όπως φαίνεται στα παραπάνω διαγράμματα στο εξωτερικό περιβάλλον παρατηρείται ότι στο 3^ο στάδιο (3,3-4,7 μm) καταγράφεται η μέγιστη συγκέντρωση στους μύκητες και ταυτόχρονα η υψηλότερη συγκέντρωση όλων των αερομεταφερόμενων μικροβίων. Αντίθετα τα ετερότροφα βακτήρια, τα αποικοδομητικά βακτήρια της γλυκόζης και τα χημειοαυτότροφα βακτήρια παρουσιάζουν μέγιστο στο 5^ο στάδιο (1,1-2,1 μm), όπως και στην αίθουσα διδασκαλίας, αλλά με συγκριτικά πολύ χαμηλότερες συγκεντρώσεις, οι οποίες κυμαίνονται στο ίδιο εύρος τιμών και είναι μικρότερες από 90 CFU/m³, ενώ οι μύκητες καταγράφουν τιμές 4 φορές μεγαλύτερες από αυτές των βακτηρίων.

Τα οξεογόνα βακτήρια παρουσιάζουν μια ισοκατανομή χωρίς μέγιστο με πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις σε όλα τα κλάσματα των αεροδυναμικών διαμέτρων.

3^η Δειγματοληψία στη Βιβλιοθήκη

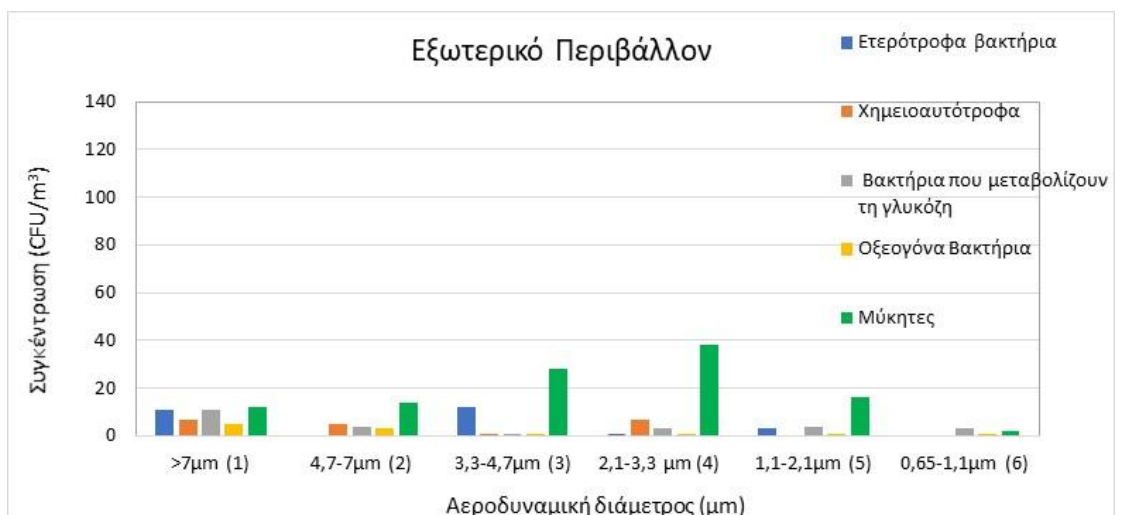
Η δειγματοληψία αυτή έλαβε χώρα 03/03/2020, από τις 11:00-15:00 μμ. Η θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος ήταν 20,3 °C, η σχετική υγρασία 49,5 % η ταχύτητα του ανέμου 0,25 m/sec, ενώ στο εσωτερικό περιβάλλον της βιβλιοθήκης η θερμοκρασία ήταν 20,8 °C, η σχετική υγρασία ήταν 43,5 % και η ταχύτητα ανέμου ήταν 0 m/sec. Στην δειγματοληψία αυτή χρησιμοποιήθηκε αποκλειστικά ο δειγματολήπτης Andersen 6 επιπέδων.

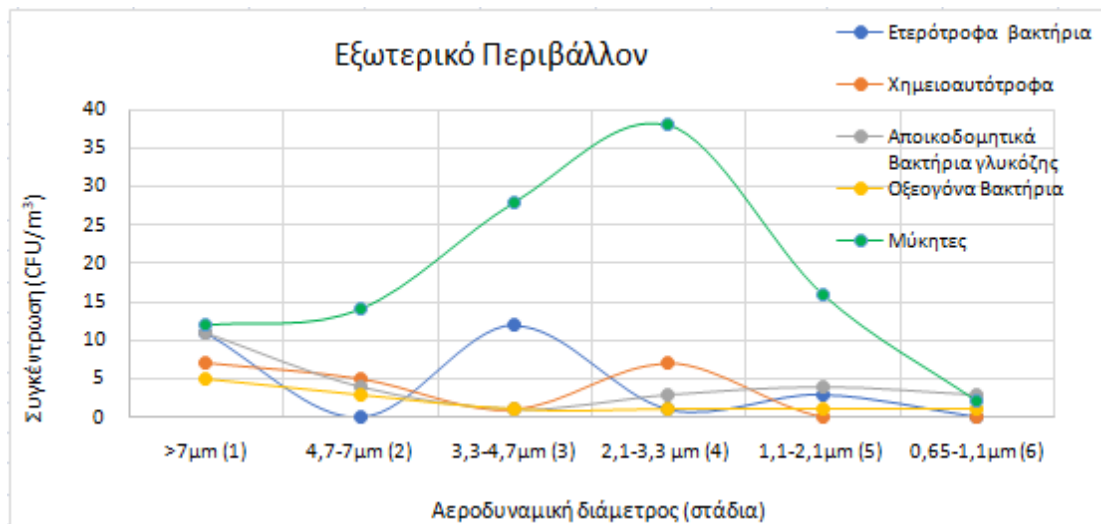




Διαγράμματα 6.7 & 6.8 Κατανομή των συγκεντρώσεων των αερομεταφερόμενων μικροβίων σε σχέση με την αεροδυναμική τους διάμετρο στο εσωτερικό της βιβλιοθήκης (03/03/2020) με τον δειγματολήπτη Andersen 6 επιπέδων.

Σύμφωνα με τα διαγράμματα 6.7 και 6.8 αναλύθηκαν οι αερομεταφερόμενοι μικροοργανισμοί με βάση το μέγεθος των αεροδυναμικών τους διαμέτρων στο εσωτερικό περιβάλλον και διαπιστώθηκε ότι τα χημειοαυτότροφα βακτήρια παρουσιάζουν τη μέγιστη συγκέντρωση στο 3^ο στάδιο του Andersen (3,3-4,7 μm), οι μύκητες στο 4^ο στάδιο (2,1-3,3 μm), ενώ τα ετερότροφα βακτήρια, τα αποικοδομητικά βακτήρια της γλυκόζης και τα οξεογόνα βακτήρια στο 5^ο στάδιο (1,1-2,1 μm). Αυτό αποτυπώνεται καλύτερα στο διάγραμμα 6.8.





Διαγράμματα 6.9 & 6.10 Κατανομή των συγκεντρώσεων των αερομεταφερόμενων μικροβίων σε σχέση με την αεροδυναμική τους διάμετρο στον εξωτερικό ατμοσφαιρικό αέρα (03/03/2020) με τον δειγματολήπτη Andersen 6 επιπέδων.

Στα παραπάνω διαγράμματα 6.9 και 6.10 απεικονίζονται οι συγκεντρώσεις των αερομεταφερόμενων μικροοργανισμών στον εξωτερικό ατμοσφαιρικό αέρα. Όπως φαίνεται η κατανομή μεγέθους των αεροδυναμικών διαμέτρων των βακτηρίων είναι διαφορετική εκείνων του αέρα στο εσωτερικό της βιβλιοθήκης. Η μέγιστη συγκέντρωση των ετερότροφων βακτηρίων μετρήθηκε στο 3^ο στάδιο (3,3-4,7 µm), των χημειοαυτότροφων βακτηρίων στο 1^ο (> 7 µm) και το 4^ο στάδιο (2,1-3,3 µm), των αποικοδομητικών βακτηρίων γλυκόζης και των οξεογόνων βακτηρίων στο 1^ο στάδιο του Andersen (> 7 µm). Οι μύκητες κατέγραψαν μέγιστη συγκέντρωση στο 4^ο στάδιο του Andersen (2,1-3,3 µm), όπως και στο εσωτερικό της βιβλιοθήκης. Επίσης σύμφωνα με το διάγραμμα 6.10 παρατηρήθηκε ότι τα βακτήρια είχαν σε παρόμοιο εύρος τιμών συγκεντρώσεις, ενώ η μέγιστη συγκέντρωση των μυκήτων ήταν 3 φορές υψηλότερη σε σχέση με εκείνες των αερομεταφερόμενων βακτηρίων.

Παρατηρώντας λίγο καλύτερα τις δύο δειγματοληψίες κατά τον μήνα Μάρτιο (03/03/2020 & 09/03/2020) που διενεργήθηκαν με τον δειγματολήπτη Andersen, δεν είναι δυνατόν να συγκριθούν τα αποτελέσματα στο εσωτερικό περιβάλλον διότι τόσο το σημείο δειγματοληψίας όσο και ο αριθμός των παρευρισκόμενων ατόμων δεν ήταν ίδια, ενώ αυτό δεν ισχύει για το εξωτερικό περιβάλλον. Επομένως συγκρίνοντας τις συγκεντρώσεις των αερομεταφερόμενων μικροοργανισμών στον εξωτερικό ατμοσφαιρικό αέρα διαπιστώθηκε ότι την ημέρα 09/03/2020 είναι αρκετά υψηλότερες εκείνων από την ημέρα 03/03/2020. Αυτό πιθανότατα να οφείλεται και στις περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως φαίνεται και από τις περιβαλλοντικές παραμέτρους που μετρήθηκαν, διότι την ημέρα 03/03/2020 επικρατούσε

σκιά και ελαφρύ αεράκι ενώ την ημέρα 09/03/2020 υπήρξε βροχόπτωση με υψηλή υγρασία και ελαφρύ αεράκι.

6.2 Συσχέτιση παραμέτρων

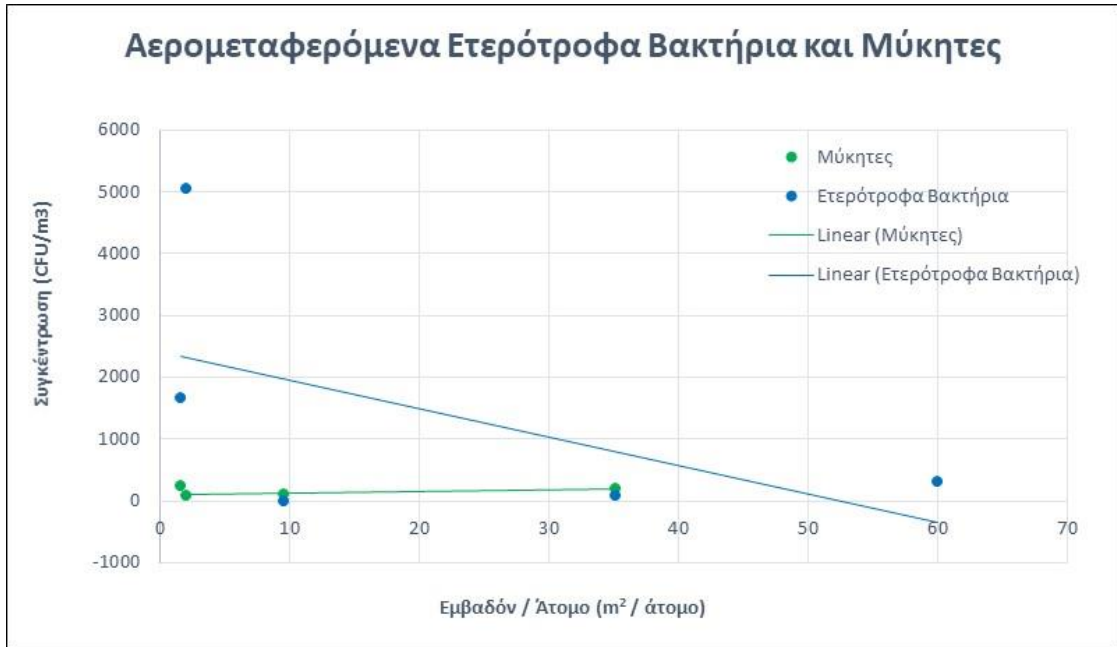
Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιάζονταν οι συσχετίσεις των διαφόρων παραμέτρων , που όμως λόγω της πανδημίας του κορονοϊού (COVID-19) και λόγω του ότι δεν ήταν δυνατόν να διενεργηθούν περισσότερες δειγματοληψίες, τα δεδομένα είναι ιδιαίτερα περιορισμένα για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων. Πιο συγκεκριμένα οι δειγματοληψίες που παρουσιάστηκαν παραπάνω, αφορούν στις δύο σειρές μετρήσεων με διαφορετικά όργανα δειγματοληψίας σε διαφορετικές ημέρες, ενώ η τρίτη δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε με χρήση όλων των οργάνων δειγματοληψίας, γεγονός που καθιστά την μεταξύ τους σύγκριση ιδιαίτερα παρακινδυνευμένη.

Παρόλα αυτά και παρόλο που τα δεδομένα είναι περιορισμένα, διαφαίνεται μια τάση συσχέτισης μεταξύ της συγκέντρωσης των αερομεταφερόμενων μικροβίων και του αριθμού των παρευρισκόμενων ατόμων στις αίθουσες διδασκαλίας ανά τετραγωνικό μέτρο των χώρων αυτών, όπως παρουσιάζεται στη συνέχεια.

6.2.1. Συσχέτιση συγκέντρωσης αερομεταφερόμενων μικροβίων με εμβαδόν χώρου ανά παρευρισκόμενο άτομο

Στο παρακάτω διάγραμμα 6.10 συσχετίστηκε η μέση συγκέντρωση των αερομεταφερόμενων ετερότροφων βακτηρίων και μυκήτων στους δύο εσωτερικούς χώρους του Πανεπιστημίου (στην αίθουσα διδασκαλίας και στο εσωτερικό χώρο της βιβλιοθήκης) με το εμβαδόν του χώρου ανά άτομο. Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 6.10, η μέση συγκέντρωση των αερομεταφερόμενων δυνητικά παθογόνων, ετερότροφων βακτηρίων αυξάνεται όσο μειώνεται το έμβαδόν του χώρου που αντιστοιχεί σε κάθε παρευρισκόμενο άτομο. Η συγκέντρωση των αερομεταφερόμενων βακτηρίων όταν αντιστοιχούν 35 τετραγωνικά μέτρα ανά άτομο είναι τουλάχιστον δέκα φορές χαμηλότερη σε σύγκριση με την συγκέντρωση των βακτηρίων που αντιστοιχεί σε 2 τετραγωνικά μέτρα ανά άτομο. Το αποτέλεσμα ότι η συγκέντρωση των δυνητικά παθογόνων, ετερότροφων βακτηρίων είναι αντιστρόφως ανάλογη του εμβαδού του χώρου ανά παρευρισκόμενο άτομο, επιβεβαιώνει τις προτάσεις των λοιμωξιολόγων σχετικά με τον ανώτατο επιτρεπτό αριθμό ατόμων σε εσωτερικούς χώρους (ένα άτομο ανά 25 τετραγωνικά μέτρα σύμφωνα με την Κοινή

Υπουργική Απόφαση Δια/ΓΠ.οικ. 66436/2021 - ΦΕΚ 4919/Β/24-10-2021). Αντίθετα στην περίπτωση των αερομεταφερόμενων μυκήτων δεν παρατηρήθηκε κάποια παρόμοια συσχέτιση στη συγκεκριμένη έρευνα, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 6.10.



Διάγραμμα 6.10 Κατανομή των μέσων συγκεντρώσεων των αερομεταφερόμενων ετερότροφων βακτηρίων και μυκήτων σε σχέση με το εμβαδόν ανά άτομο (σε τετραγωνικά μέτρα ανά άτομο) στις αίθουσες διδασκαλίας και στο εσωτερικό της βιβλιοθήκης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όπως έχει προαναφερθεί και σε προηγούμενα κεφάλαια, η συγκεκριμένη εργασία είχε ως στόχο τη συσχέτιση της συγκέντρωσης των αερομεταφερόμενων μικροβίων με την παρουσία ανθρώπων στους εσωτερικούς χώρους και τη μελέτη της κατανομής του μεγέθους της αεροδυναμικής διαμέτρου των αερομεταφερόμενων βακτηρίων και μυκήτων που συλλέχθηκαν σε εσωτερικούς χώρους εκπαίδευσης και στον εξωτερικό ατμοσφαιρικό αέρα. Επίσης πραγματοποιήθηκε η μέτρηση των μετεωρολογικών συνθηκών που επικρατούσαν (θερμοκρασία περιβάλλοντος, σχετική υγρασία και ταχύτητα του ανέμου) στα συγκεκριμένα σημεία δειγματοληψίας.

Η συγκεκριμένη εργασία υλοποιήθηκε στο Εργαστήριο Περιβαλλοντικών Τεχνολογιών και Εφαρμογών του Τμήματος Ηλεκτρονικών Μηχανικών, το οποίο είναι το επισπεύδον Τμήμα του πρώην Τμήματος Μηχανικών Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος Τ.Ε., και ανήκει στη Σχολή Μηχανικών του Ελληνικού Μεσογειακού Πανεπιστημίου (ΕΛΜΕΠΑ). Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τον προσδιορισμό των αερομεταφερόμενων βακτηρίων και μυκήτων περιλάμβανε αρκετά στάδια. Το αρχικό ήταν η παρασκευή των κατάλληλων θρεπτικών υποστρωμάτων και οι δειγματοληψίες των αερομεταφερόμενων μικροοργανισμών από τον αέρα. Μετά το πέρας των δειγματοληψιών τα συλλεχθέντα μικρόβια σε τριβλία με θρεπτικά υποστρώματα τοποθετούνταν στους κατάλληλους επωαστικούς θαλάμους σε συγκεκριμένες θερμοκρασίες (20°C οι μύκητες και 37°C τα ετερότροφα βακτήρια, τα μεταβολίζοντα γλυκόζη βακτήρια, τα οξεογόνα βακτήρια και τα χημειοαυτότροφα βακτήρια) για συγκεκριμένο χρόνο επώασης. Τέλος μετά την καταμέτρηση των αναπτυχθέντων αποικιών και την επεξεργασία των δεδομένων όλων των βακτηρίων και μυκήτων, σχηματίζονταν τα κατάλληλα διαγράμματα απεικόνισης και εξήχθησαν τα σημαντικότερα συμπεράσματα που παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Γενικά παρατηρήθηκε ότι οι συγκεντρώσεις των αερομεταφερόμενων βακτηρίων και των μυκήτων που προσδιορίστηκαν με τους δύο διαφορετικούς δειγματολήπτες που χρησιμοποιήθηκαν, ήταν στο ίδιο εύρος τιμών και με μικρή απόκλιση παρά τις διαφορές που παρουσιάζουν οι δύο αυτοί δειγματολήπτες. Η κυριότερη διαφορά των δειγματοληπτών είναι ότι ο δειγματολήπτης MAS 100 διαθέτει ένα επίπεδο συλλογής με συγκεκριμένη διάμετρο διατομής των οπών του, ενώ ο δειγματολήπτης Andersen 6

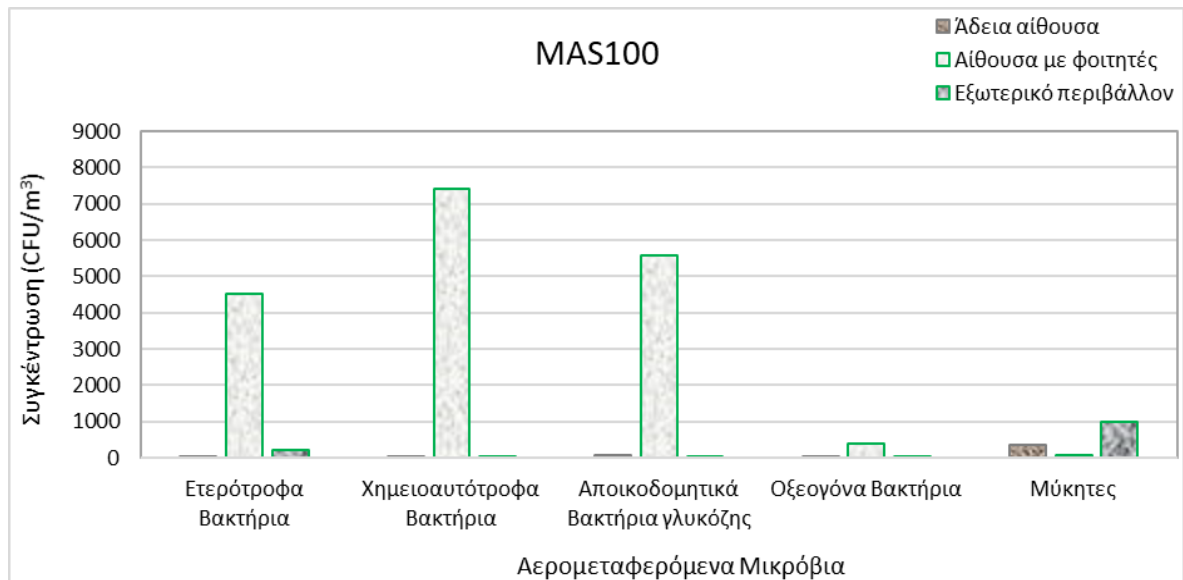
επιπέδων, όπως φαίνεται και από την ονομασία του, διαθέτει 6 επίπεδα συλλογής με διαφορετικές διαμέτρους διατομής των οπών, τα οποία είναι:

- 1ο. Μεγαλύτερο από 7 μm
- 2ο. Από 4,7 έως 7 μm
- 3ο. Από 3,3 έως 4,7 μm
- 4ο. Από 2,1 έως 3,3 μm
- 5ο. Από 1,1 έως 2,1 μm
- 6ο. Από 0,65 έως 1,1 μm

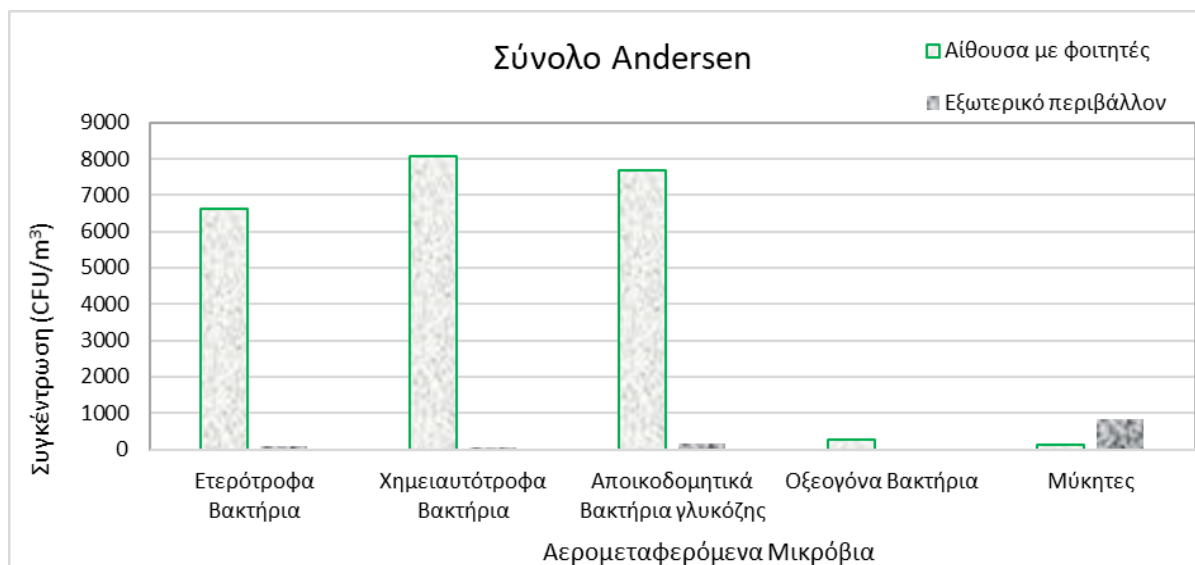
Οι δειγματοληψίες όπως αναφέρθηκαν στα δύο προηγούμενα κεφάλαια, αφορούσαν μεταξύ άλλων, τη μελέτη της επίδρασης της παρουσίας ανθρώπων σαν πηγή εκπομπής αερομεταφερόμενων μικροβίων. Συγκρίνοντας τις μέσες τιμές των αερομεταφερόμενων μικροβίων στην αίθουσα διδασκαλίας διαπιστώθηκε ότι:

- 1) στην άδεια αίθουσα χωρίς αερισμό και στο εξωτερικό περιβάλλον οι μύκητες είχαν την υψηλότερη συγκέντρωση (Μέση τιμή 176 CFU/m³ & 520 CFU/m³ αντίστοιχα).
- 2) αντίθετα στην αίθουσα όπου υπήρχαν φοιτητές που παρακολουθούσαν τη διάλεξη, οι συγκεντρώσεις όλων των κατηγοριών των βακτηρίων αυξήθηκαν από 14 έως 218 φορές σε σχέση με το εξωτερικό περιβάλλον και 18 έως 140 φορές σε σχέση με την κενή αίθουσα. Η υψηλότερη συγκέντρωση διαπιστώθηκε στα χημειοαυτότροφα βακτήρια (7.400 CFU/m³) με το δειγματολήπτη MAS 100, ενώ με το δειγματολήπτη Andersen 6 επιπέδων η συγκέντρωση ήταν ακόμα υψηλότερη (8.086 CFU/m³)
- 3) στην αίθουσα διδασκαλίας με τους φοιτητές, εκτός των χημειοαυτότροφων, τα ετερότροφα βακτήρια και τα μεταβολίζοντα τη γλυκόζη βακτήρια, είχαν πολύ υψηλές συγκεντρώσεις που κυμαίνονταν από 4.507 έως 7.384 CFU/m³.

Τα παραπάνω αποτελέσματα που αναφέρθηκαν για τα αερομεταφερόμενα μικρόβια (βακτήρια και μύκητες) συνοπτικά, παρουσιάζονται παρακάτω με τα κατάλληλα διαγράμματα απεικόνισης της 2^{ης} δειγματοληψίας στην αίθουσα διδασκαλίας για τον κάθε δειγματολήπτη ξεχωριστά.



Διάγραμμα 7.1 Συγκεντρώσεις των αερομεταφερόμενων βακτηρίων και των μυκητών στην αίθουσα διδασκαλίας, με και χωρίς παρουσία φοιτητών, καθώς και στο εξωτερικό περιβάλλον με τον δειγματολήπτη MAS 100.

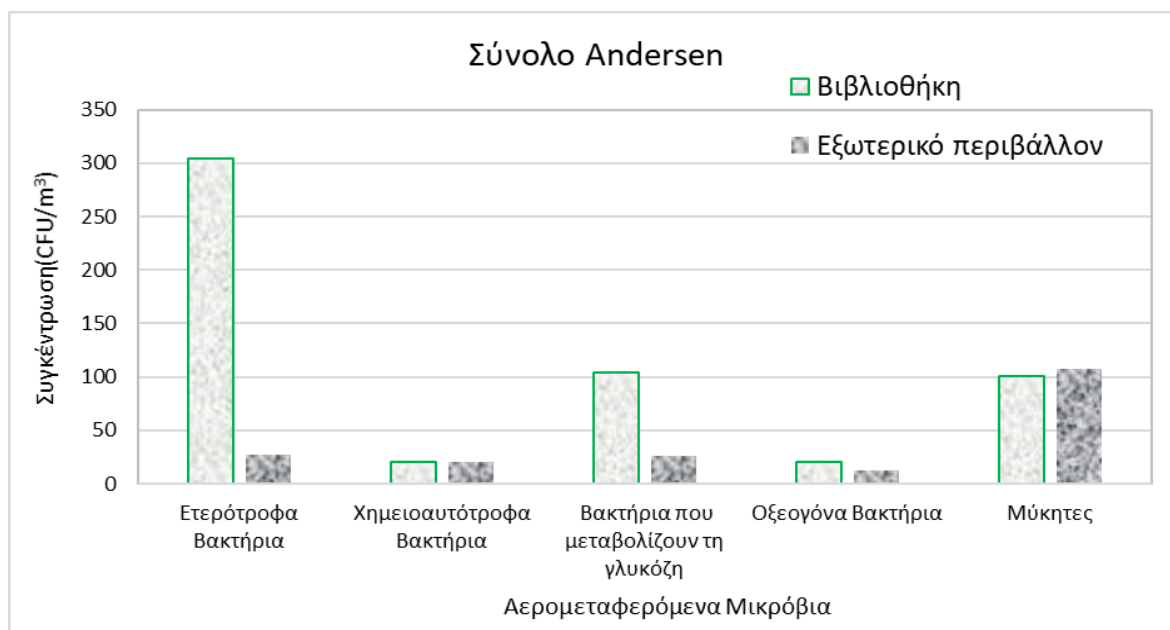


Διάγραμμα 7.2: Συγκεντρώσεις των αερομεταφερόμενων βακτηρίων και των μυκητών στην αίθουσα διδασκαλίας με την παρουσία φοιτητών και στο εξωτερικό περιβάλλον με τον δειγματολήπτη Andersen 6 επιπέδων.

Στα δύο παραπάνω ραβδογράμματα παρατηρείται ότι στην αίθουσα με την παρουσία φοιτητών τα ετερότροφα, τα χημειοαυτότροφα και τα αποικοδομητικά βακτήρια γλυκόζης κατέχουν τις υψηλότερες συγκεντρώσεις με αυτή των χημειοαυτότροφων βακτηρίων να προπορεύεται άνω των 7.000 CFU/m³ ενώ οι μύκητες να παρουσιάζουν τη μικρότερη συγκέντρωση (80 CFU/m³). Από την άλλη στην κενή αίθουσα διδασκαλίας χωρίς φοιτητές και χωρίς τον αερισμό της αίθουσας για δύο ημέρες

παρατηρείται ότι οι τιμές όλων των μικροοργανισμών είναι πολύ χαμηλότερες και βρίσκονται στο ίδιο εύρος τιμών. Τέλος στο εξωτερικό περιβάλλον οι μύκητες κυριαρχούν με την συγκέντρωσή τους να είναι στο εύρος των 1.000 CFU/m³, ενώ τα υπόλοιπα αερομεταφερόμενα βακτήρια παρουσιάζουν αρκετά μικρότερες συγκεντρώσεις από αυτές των μυκήτων, με αποτέλεσμα να φαίνονται οριακά στα διαγράμματα αυτά.

Σε αυτή την 2^η δειγματοληψία οι συγκεντρώσεις των βακτηρίων (ετερότροφων, χημειοαυτότροφων και αποικοδομητικών της γλυκόζης) στο εσωτερικό την αίθουσα διδασκαλίας με την παρουσία φοιτητών είναι αρκετά υψηλότερες από το ανώτατο όριο που θέτουν τα όργανα δειγματοληψίας. Αυτό προφανώς οφείλεται στο ότι αφενός υπήρχαν αρκετά άτομα κατά την διάρκεια της δειγματοληψίας και αφετέρου, όπως εκ των αποτελεσμάτων φαίνεται, στο ότι οι συνθήκες αερισμού/εξαερισμού κατά την διάρκεια του μαθήματος δεν ήταν οι κατάλληλες λόγω του ότι τα παράθυρα και η πόρτα ήταν κλειστά με αποτέλεσμα να μην υπάρχει επαρκής φυσικός αερισμός, παρόλο που μετά από 75 λεπτά διδασκαλίας πραγματοποιήθηκε ένα διάλειμμα 15 λεπτών έτσι ώστε να γίνει αερισμός της αίθουσας, χωρίς να επιτευχθεί κάποια αλλαγή στα δεδομένα, όπως φάνηκε από τις μετρήσεις.



Διάγραμμα 7.3: Συγκεντρώσεις αερομεταφερόμενων βακτηρίων και μυκήτων στο εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον της βιβλιοθήκης με τον δειγματολήπτη Andersen 6 επιπέδων.

Η ποιότητα του αέρα στο αναγνωστήριο της βιβλιοθήκης ήταν σαφώς λιγότερο επιβαρυνμένη λόγω του χαμηλού αριθμού των παρόντων ατόμων (3-9 άτομα) σε μεγαλύτερους χώρους. Η υψηλότερη συγκέντρωση μεταξύ των αερομεταφερόμενων βακτηρίων ήταν εκείνη των ετερότροφων βακτηρίων (304 CFU/m^3), ενώ συγκριτικά οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις ήταν αυτές των χημειοαυτότροφων (20 CFU/m^3) και οξεογόνων βακτηρίων (20 CFU/m^3). Αντίθετα με την αίθουσα διδασκαλίας, στη βιβλιοθήκη διαπιστώθηκε συγκέντρωση αερομεταφερόμενων μυκήτων στο ίδιο εύρος τιμών στο εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον (101 και 108 CFU/m^3 αντίστοιχα).

Σε σχέση με το μέγεθος των αερομεταφερόμενων μικροβίων διαπιστώθηκε ότι:

- 1) Η κατανομή του μεγέθους των μικροοργανισμών στον εξωτερικό ατμοσφαιρικό αέρα μεταβαλλόταν ανάλογα με την ημερομηνία δειγματοληψίας. Εκτός αυτού διαπιστώθηκε ότι η κατανομή του μεγέθους των αεροδυναμικών διαμέτρων των μικροοργανισμών στον εξωτερικό ατμοσφαιρικό αέρα σε σημείο χωρίς καθόλου παρουσία ανθρώπων (στο προαύλιο πίσω από τη βιβλιοθήκη) ήταν διαφορετική από εκείνη στον αέρα στον εσωτερικό προαύλιο χώρο του Παραρτήματος, όπου υπάρχει συχνή διέλευση / παρουσία ανθρώπων. Έτσι διαπιστώθηκε στο προαύλιο πίσω από τη βιβλιοθήκη ότι τα επικρατέστερα μεγέθη της αεροδυναμικής διαμέτρου στα ετερότροφα βακτήρια ήταν στα κλάσματα τιμών >7 και $3,3-4,7 \mu\text{m}$, στα χημειοαυτότροφα βακτήρια στα κλάσματα τιμών >7 και $2,1-3,3 \mu\text{m}$, στα βακτήρια που μεταβολίζουν τη γλυκόζη στο κλάσμα τιμών $>7 \mu\text{m}$, στα οξεογόνα βακτήρια στο κλάσμα τιμών $>7 \mu\text{m}$, και στους μύκητες στα κλάσματα τιμών $3,3-4,7$ και $2,1-3,3 \mu\text{m}$. Αντίθετα στο σημείο δειγματοληψίας στον εσωτερικό προαύλιο χώρο του Παραρτήματος, παρατηρήθηκε μια μετατόπιση του μεγέθους της αεροδυναμικής διαμέτρου των περισσότερων βακτηρίων ως επί το πλείστον σε μικρότερα μεγέθη. Η αεροδυναμική διάμετρος στα ετερότροφα βακτήρια, στα χημειοαυτότροφα και στα βακτήρια που μεταβολίζουν τη γλυκόζη μετατοπίστηκε στο κλάσμα τιμών $1,1-2,1 \mu\text{m}$, ενώ στα οξεογόνα βακτήρια (κλάσματα τιμών >7 και $4,7-7 \mu\text{m}$) και στους μύκητες (κλάσματα τιμών $3,3-4,7$ και $2,1-3,3 \mu\text{m}$) παρέμεινε σχεδόν σταθερή.
- 2) Όσον αφορά την κατανομή των αεροδυναμικών διαμέτρων των αερομεταφερόμενων μικροβίων στους εσωτερικούς χώρους παρατηρήθηκε μια σταθερή κατανομή μεγεθών. Οι αντίστοιχες τιμές αεροδυναμικών διαμέτρων στο εσωτερικό περιβάλλον της αίθουσας με παρουσία μεγάλου αριθμού φοιτητών (2 m^2 ανά άτομο) στα ετερότροφα βακτήρια, στα χημειοαυτότροφα και στα βακτήρια που μεταβολίζουν τη

γλυκόζη ήταν στο κλάσμα τιμών 1,1-2,1 μm , στα οξεογόνα βακτήρια στο κλάσμα τιμών 3,3-4,7 μm και στους μύκητες στο κλάσμα τιμών 2,1-3,3 μm .

- 3) Συγκρίνοντας τις τιμές των αεροδυναμικών διαμέτρων στο εσωτερικό περιβάλλον της βιβλιοθήκης με παρουσία λίγων ατόμων (35 m^2 ανά άτομο) παρατηρήθηκαν μερικώς κάποιες διαφοροποιήσεις. Έτσι διαπιστώθηκε ότι η μέγιστη κατανομή στα ετερότροφα βακτήρια ήταν επίσης στο κλάσμα τιμών 1,1-2,1 (παρόλο που υπήρχαν και δύο μικρότερες κορυφές στα κλάσματα 3,3-4,7 και > 7 μm), στα χημειοαυτότροφα βακτήρια στο κλάσμα τιμών 3,3-4,7 μm , στα βακτήρια που μεταβολίζουν τη γλυκόζη στο κλάσμα τιμών 1,1-2,1 μm , στα οξεογόνα βακτήρια στο κλάσμα τιμών 2,1-3,3 και 1,1-2,1 μm , και στους μύκητες στο κλάσμα τιμών 2,1-3,3 και 1,1-2,1 μm .
- 4) Τέλος διαπιστώθηκε ότι η κατανομή του μεγέθους των αεροδυναμικών διαμέτρων των δυνητικά παθογόνων ή / και άμεσα σχετιζόμενων με τον άνθρωπο βακτηρίων (κυρίως ετερότροφα βακτήρια και βακτήρια που μεταβολίζουν τη γλυκόζη στη παρούσα εργασία) επηρεάζεται ιδιαίτερα από την παρουσία ανθρώπων και παρατηρήθηκε η μετατόπιση της αεροδυναμικής τους διαμέτρου προς πολύ μικρότερα μεγέθη (1,1-2,1 μm). Αυτό το γεγονός καθιστά τα εν λόγω αερομεταφερόμενα βακτήρια δυνητικά πιο επιβλαβή για την υγεία των ανθρώπων λόγω μεγαλύτερης διεισδυτικότητας στους πνεύμονες.. Κάτι παρόμοιο δεν παρατηρήθηκε στους μεσόφιλους, γρήγορα αναπτυσσόμενους μύκητες που μετρήθηκαν στην παρούσα εργασία.

Η σημαντικότητα αυτών των αποτελεσμάτων στην επιστήμη είναι η συμβολή τους στη μελέτη και στη κατανόηση της παρουσίας των αερομεταφερόμενων βακτηρίων και μυκήτων, που είναι τμήμα των βιοαεροζόλ, και αποτελούν τον σημαντικότερο παράγοντα για τον έλεγχο και την ποιότητα αέρα των εσωτερικών χώρων εκπαίδευσης και γενικότερα διαβίωσης.

Επομένως από τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν σχετικά με τους αερομεταφερόμενους μικροοργανισμούς γενικότερα σε εσωτερικούς χώρους εκπαίδευσης, αυτό που φάνηκε είναι ότι καθ' όλη την διάρκεια της ανθρώπινης παραμονής σε εσωτερικούς χώρους, και ιδιαίτερα όταν υπάρχει μεγάλη πυκνότητα, είναι ότι θα πρέπει να αερίζονται επαρκώς συνεχόμενα ή σε τακτά χρονικά διαστήματα τόσο κατά την διάρκεια της εκπαίδευσης-εργασίας όσο και πριν την είσοδο στον χώρο (στην αρχή της εκπαιδευτικής διαδικασίας), αλλά και κατά τη διάρκεια των διαλειμμάτων και μετά το πέρας της παραμονής στους χώρους. Επίσης θα πρέπει να τηρούνται αυστηρά οι

κανόνες ατομικής υγιεινής και καθαριότητας των χώρων (π.χ. τακτικός καθαρισμός για την αποφυγή συσσώρευσης σκόνης και μικροβίων στις επιφάνειες, αλλά και παρουσίας αερομεταφερόμενων μικροοργανισμών) Όλες αυτές οι πρακτικές κατανοήθηκαν καλύτερα αυτή την περίοδο που διανύουμε (πανδημία του κορωνοϊού-COVID-19) λόγω της αποφυγής της διασποράς του παθογόνου αερομεταφερόμενου κορωνοϊού SARS-COV-2.

<u>BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</u>

1. Καραγκούνη-Κύρτσου Α., 2012. *Γενική Μικροβιολογία*, Εκδόσεις Αθ. Σταμούλη Α.Ε., Αθήνα.
2. World Health Organization (Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας), 2021. *Coronavirus disease (COVID-19)* [online]. Διαθέσιμο από: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/question-and-answers-hub/q-a-detail/coronavirus-disease-covid-19> [προσβάσιμο στις 24 Απριλίου 2021].
3. Ντούγιας Σπ., Αϊβαζίδης Αλ., Μελίδης Π., 2012. *Περιβαλλοντική Μικροβιολογία*, Εκδόσεις Έμβρυο, Αθήνα
4. [online], 2021. Διαθέσιμο από: https://www.google.gr/search?q=%CE%BA%CE%BF%CF%81%CE%BF%CE%BD%CE%BF%CF%8A%CF%8C%CF%83+covid+19+%CF%80%CE%BB%CE%B7%CF%81%CE%BF%CF%86%CE%BF%CF%81%CE%AF%CE%B5%CF%83&sxsrf=ALeKk03xcvLbAaAfX_KXci5g7jvwvIIoVg%3A1618325350095&ei=Zq91YPqOBZH97_UPn_yLqA0&oq=%CE%BA%CE%BF%CF%81%CE%BF%CE%BD%CE%BF%CF%8A%CF%8C%CF%82+covid+19+%CF%80%CE%BB%CE%B7&gs_lcp=Cgdnd3Mtd2l6EAEYADIICCEQFhAdEB4yCAghEBYQHRAeMggIIRAWEB0QHjIICCEQFhAdEB4yCAghEBYQHRAeMggIIRAWEB0QHjIICCEQFhAdEB46BwgAELADEEM6BAgjECc6BAgAEB46BwgAEMkDEB46BggAEAoQHjoGCAAQFhAeOggIABAWEAoQHICkClibV2DoZmgBcAB4AIABnwGIAacNkgEEMC4xNJgBAKABAaoBB2d3cy13aXrIAQrAAQE&scient=gws-wiz#wptab=s:H4sIAAAAAAAAAAONgVuLVT9c3NMwySk6OL8zJecTozS3w8sc9YSm nSWtOXmO04eIKzsgvd80rySypFNLjYoOyVLgEpVB1ajBI8XOhCvHsYuLzSE3MKckIrswtKMnPLV7Eqn6--XzruT3nG863nO87t-fcxvMt5zYqnNt1bv_5xvOd5_YC6S4g7gUABNWLWpoAAAA, (προσβάσιμο στις 12 Μαΐου 2021).
5. Πουλλή Μ., MSc Διαιτολόγος- Διατροφολόγος, Ιούλιος 2019. *Τι είναι οι μυκοτοξίνες* [online], Διαθέσιμο από: <https://thehealthlab.gr/mageiriki/trofima/ti-einai-oi-mukotoksines>, (προσβάσιμο 14 Μαΐου 2021).
6. Ε.Μαυρικάκη, Μ.Γκούβρα, Α.Καμπούρη, *Βιολογία Β' & Γυμνασίου* [online], Διαθέσιμο από: http://ebooks.edu.gr/ebooks/v/html/8547/2210/Biologia_B-G-Gymnasiou_html-empl/index4_2.html, (προσβάσιμο 14 Μαΐου 2021).

7. Βιολογία Γ' Λυκείου Γενικής Παιδείας, Διαθέσιμο από: http://ebooks.edu.gr/ebooks/v/html/8547/2724/Biologia_G-Lykeiou_html-apli/index1_2.html, (προσβάσιμο 17 Μαΐου 2021).
8. Iatropedia, 25 Αυγούστου 2015. *Ενδονοσοκομειακές λοιμώξεις: Πώς προκαλούνται και πώς προλαμβάνονται*, [online], Διαθέσιμο από: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKewjngYn2xNDwAhX9gf0HHSAWCWQQFjABegQIAxAD&url=https%3A%2F%2Fwww.medicalmate.gr%2Fwp-content%2Fuploads%2F2020%2F05%2F%25CE%2591%25CE%25A1%25CE%2598%25CE%25A1%25CE%2591-%25CE%2595%25CE%259D%25CE%2594%25CE%259F%25CE%259D%25CE%259F%25CE%25A3%25CE%259F%25CE%259A%25CE%259F%25CE%259C%25CE%2595%25CE%2599%25CE%2591%25CE%259A%25CE%2595%25CE%25A3-%25CE%259B%25CE%259F%25CE%2599%25CE%259C%25CE%25A9%25CE%259E%25CE%2595%25CE%2599%25CE%25A3.pdf&usg=AOvVaw2wp8mLYDNPVyfpAr7HcYPO>, (προσβάσιμο: 17 Μαΐου 2021).
9. C. David Cooper - F. C. Alley, *Air Pollution Control, A Design Approach 3rd Edition, Έλεγχος Αέριας Ρύπανσης, Σχεδιασμός Αντιρρυπαντικής Τεχνολογίας*.
10. Κατσίβελα Ε., Μαρουκλή Δ. και Παντίδου Α., 2018, *Τεχνολογία και Έλεγχος Ποιότητας Αέρα*, Εργαστηριακές Σημειώσεις, Τμήμα Μηχανικών Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος Τεχνολογικής Εκπαίδευσης, Εκδόσεις Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Χανιά.
11. Κατσίβελα Ε, 2021. *Αερομεταφερόμενοι μικροοργανισμοί και αιωρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα της Ανατολικής Μεσογείου*, [online], σελ. 64, Διαθέσιμο από: <https://docplayer.gr/30121766-Aerometafaferomenoi-mikroorganismoi-kai-aioroymena-somatidia-stin-atmosfaira-tis-anatolikis-mesogeioy.html>, (προσβάσιμο στις 17 Μαΐου 2021).
12. Κοντομήτρου Β., Μαραγκού Α., 2009. *Προσδιορισμός αερομεταφερόμενου μικροβιακού φορτίου σε κλιματιζόμενους χώρους*, Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Χανιά.
13. Πατρίκης Ν., 2011. *Ανθεκτικότητα αερομεταφερόμενων μικροοργανισμών σε αντιβιοτικά & μυκητοκτόνα*, Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Χανιά.
14. Χατζηαγγελάκης Σ., 2010. *Μετρήσεις επιπέδων σωματιδιακής ρύπανσης σε εσωτερικό χώρο*, Διπλωματική Εργασία, Τομέας εφαρμογών φυσικής και φυσικής περιβάλλοντος.

15. Colman, R., Wilson, J. & Rainer, R. (2003). *The economic impact of smoke free workplaces: An assessment for Newfoundland and Labrador*. Διαθέσιμο από: <http://www.gpiatlantic.org/pdf/health/tobacco/smoke-free-nf.pdf>, (προσβάσιμο στις 2 Ιουνίου 2021).
16. Samet, J.M., Neta, G.I. & Wang, S.S., *Exposure to second-hand smoke', Environmental toxicants: human exposures and their health effects*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, 2009, σ. 705-709.
17. Τσίππρας Κ.Σ, 2021. *Το Παδόνιο* [online], Διαθέσιμο από: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwicqZCOgPnwAhW2_7sIHejpCmoQFjAAegQIAxAD&url=https%3A%2F%2Fedy.gov.gr%2Fwp-content%2Fuploads%2F2019%2F01%2Fradonio.pdf&usg=AOvVaw0SCDDPTdEB0rZ6h6MvSIKE, (προσβάσιμο από 2 Ιούνη 2021).
18. [online], 2021. Διαθέσιμο από: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjT0IKOkvnmAhWshv0HHXUHBecQFjADegQIDRAD&url=http%3A%2F%2Fwww.mlsi.gov.cy%2Fmlsi%2Fdli%2Fdliup.nsf%2FAA15464D2FE5770FC2257E0A003C76A3%2F%24file%2FPOIOTHHTA_AERA.pdf&usg=AOvVaw0hD2dDt7NtI0ISWcxoQjMF, (προσβάσιμο στις 5 Ιουλίου 2021).
19. Παυλίδης Γ., 2019. *Ποιότητα αέρα εσωτερικών χώρων- Περίπτωση σχολικών κτηρίων*, Διπλωματική εργασία, Ελληνικό Ανοιχτό Πανεπιστήμιο, Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας.
20. *Η υγρασία της ατμόσφαιρας*, 2021. [online], Διαθέσιμο από: https://www.google.gr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwi019Xlk87xAhXGKewKHQHaDo8QFjADegQIDhAD&url=http%3A%2F%2Fwww.geo.auth.gr%2Fcourses%2Fgmc%2Fgmc318y%2Fxf%2Fpdf%2FGeo_Humidity.pdf&usg=AOvVaw3JYTCuGjf9_5NRaH8ftDVK, (προσβάσιμο στις 6 Ιουλίου 2021).
21. Επίσημη Εφημερίδα της Δημοκρατίας, 2014. *Κώδικας Πρακτικής για την Ποιότητα του Αέρα Εσωτερικού Χώρου*, [online], Διαθέσιμο από: https://www.google.gr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwix8bSJM87xAhW7_7sIHcJDB5YQFjACegQIBRAD&url=http%3A%2F%2Fwww.mlsi.gov.cy%2Fmlsi%2Fdli%2Fdliup.nsf%2FAA15464D2FE5770FC2257E0A003C76A3%2F%24file%2FPOIOTHHTA_AERA.pdf&usg=AOvVaw0hD2dDt7NtI0ISWcxoQjMF, (προσβάσιμο στις 6 Ιουλίου 2021).

22. Παπαθανασίου Α.Φ, 2020. *Ποιότητα Αναπνεύσιμου Αέρα Εσωτερικών Χώρων: Πειράματα και Εφαρμογές*, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
23. Νέξης Ι, 2013, *Το σύνδρομο του άρρωστου κτιρίου, το εργασιακό στρες και οι επιδράσεις τους στην υγεία*, Πάντειο Πανεπιστήμιο, [online], Διαθέσιμο από: https://www.google.gr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwilzd6uzsfzAhXSg_0HHU_fA7sQFnoECAMQAAQ&url=https%3A%2F%2Fpergamos.lib.uoa.gr%2Fuoa%2Fdl%2Ffrontend%2Ffile%2Flib%2Fdefault%2Fdata%2F1314300%2FtheFile&usg=AOvVaw1jDPmkgbWyktYPo-4CPOwm, (προσβάσιμο στις 13 Οκτώβρη 2021).
24. Παπαγλάστρα Μ, 2021. *Επίδραση των προβλημάτων ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος στην υγεία, Υγιεινή εσωτερικού περιβάλλοντος*, Τμήμα Φυσικής και Τομέας εφαρμογών φυσικής, Πανεπιστήμιο Αθηνών, [online], Διαθέσιμο από: https://www.google.gr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwilzd6uzsfzAhXSg_0HHU_fA7sQFnoECAIQAAQ&url=http%3A%2F%2Frepository.edulll.gr%2Fedulll%2Fretrieve%2F5400%2F1476.pdf&usg=AOvVaw00gaft3FVV-A9sJLdws81K, (προσβάσιμο στις 13 Οκτώβρη 2021).
25. Καλλιακμάνης Ν, 2021. *Κυτοχρώματα*, Ελεύθερη Ζώνη, [online], Διαθέσιμο από: <http://www.elzoni.gr/html/ent/899/ent.101899.asp>, (προσβάσιμο στις 1 Αυγούστου 2021).
26. Τσακρής Α, 2021. *Μικροβιακή εξέλιξη- Ονοματολογία και ταξινόμηση των μικροοργανισμών- Ιστορική αναδρομή*, Εργαστήριο Μικροβιολογίας, [online], Διαθέσιμο από: https://www.google.gr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwip6t_jhpLyAhVKwKQKHbkwBQsQFjAlegQICxAD&url=https%3A%2F%2Fclass.uoa.gr%2Fmodules%2Fdocument%2Ffile.php%2FMED738%2F%25CE%259C%25CE%2591%25CE%2598%25CE%2597%25CE%259C%25CE%2591%25CE%25A4%25CE%2591%2520%25CE%2591%25CE%259C%25CE%25A6%25CE%2599%25CE%2598%25CE%2595%25CE%2591%25CE%25A4%25CE%25A1%25CE%259F%25CE%25A5%2F%25CE%259F%25CE%25941.%2520%25CE%259C%25CE%25B9%25CE%25BA%25CF%2581%25CE%25BF%25CE%25B2%25CE%25B9%25CE%25B1%25CE%25BA%25CE%25AE%2520%25CE%25B5%25CE%25BE%25CE%25AD%25CE%25BB%25CE%25B9%25CE%25BE%25CE%25B7%2520-%2520%25CE%259F%25CE%25BD%25CE%25BF%25CE%25BC%25CE%25B1%25CF%2584%25CE%25BF%25CE%25BB%25CE%25BF%25CE%25B3%25CE%25AF%25CE%25B1%2520-

- [%2520%25CE%25A4%25CE%25B1%25CE%25BE%25CE%25B9%25CE%25BD%25CF%258C%25CE%25BC%25CE%25B7%25CF%2583%25CE%25B7%2520-%25CE%25A4%25CE%25A3%25CE%2591%25CE%259A%25CE%25A1%25CE%2597%25CE%25A3%2520%25CE%2591.pdf&usg=AOvVaw0W6SSJ_5gZudHDpcACoDTI](#), (προσβάσιμο στις 2 Αυγούστου 2021).
27. Ψηφιακά εκπαιδευτικά βοηθήματα, Βιολογία Γ' Λυκείου, 2021. *Γλωσσάρι*, [online], Διαθέσιμο από: <http://www.study4exams.gr/biology/mod/glossary/view.php?id=1223&mode=date&hook=&sortkey=CREATION&sortorder=asc&fullsearch=0&page=-1>, (προσβάσιμο στις 2 Αυγούστου 2021).
28. Βρυώνη Γ, 2021. *Ευκαρυωτικοί οργανισμοί: Μύκητες Χαρακτηριστικά μυκήτων, δομή, κύκλος ζωής, αναπαραγωγή, μύκητες ιατρικής σημασίας, λοιμώξεις από μύκητες, οικονομικές επιπτώσεις μυκήτων*, [online], Διαθέσιμο από: [, \(προσβάσιμο στις 3 Αυγούστου 2021\).](https://www.google.gr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwj2rIytlJLyAhWOGP0HHVNFBr8QFjAAegQIBBAD&url=https%3A%2F%2Fclass.uoa.gr%2Fmodules%2Fdocument%2Ffile.php%2FMED735%2F%25CE%259C%25CE%2591%25CE%2598%25CE%2597%25CE%259C%25CE%2591%25CE%25A4%25CE%2591%2520%25CE%2591%25CE%259C%25CE%25A6%25CE%2599%25CE%2598%25CE%2595%25CE%2591%25CE%25A4%25CE%25A1%25CE%259F%25CE%25A5%2F%25CE%259C%25CF%258D%25CE%25BA%25CE%25B7%25CF%2584%25CE%25B5%25CF%2582_%25CE%25B9%25CE%25B1%25CF%2584%25CF%2581%25CE%25B9%25CE%25BA%25CE%25AE_%25CE%2592%25CF%2581%25CF%2585%25CF%258E%25CE%25BD%25CE%25B7.pdf&usg=AOvVaw2ZFEw-v-TrY1XZ7AP90QDv, (προσβάσιμο στις 3 Αυγούστου 2021).</p>
<p>29. Πολέμης Η, 2021. <i>Τα μανιτάρια της Άνδρου, η «κρυμμένη», άγνωστη βιοποικιλότητα</i>, [online], Διαθέσιμο από: <a href=)
30. Γκιαούρης Ε, 2021. *Γενική μικροβιολογία, Ευκαρυωτικοί μικροοργανισμοί (μύκητες, φύκη, πρωτόζωα και έλμινθες)*, [online], Διαθέσιμο από: <https://www.google.gr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjjevKyg4sfzAhXR4KQKHS5uAQ0QFnoECAIQAO&url=https%3A%2F%2Fclass.aegean.gr%2Fmodules%2Fdocument%2Ffile.php%2FFNS145%2F8%25CE>

https://www.google.gr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj42_fU0pTyAhUtgP0HHb1GA6wQFjAGegQIFBAD&url=https%3A%2F%2Fclass.uth.gr%2Fmodules%2Fdocument%2Ffile.php%2FBIO_U_130%2F%25CE%2594%25CE%2599%25CE%2591%25CE%259B%25CE%2595%25CE%259E%25CE%2595%25CE%2599%25CE%25A3%2F%25CE%2595%25CE%259C%25CE%25A0%25CE%2592%25CE%2594%25CE%2599%25CE%2591%25CE%259B%25CE%2595%25CE%259E%25CE%2597%25209.pdf&usg=AOvVaw1N3h7P9MJWfaDU8s0ONlv4,

(προσβάσιμο στις 13 Οκτώβρη 2021).

31. Παπαδοπούλου Ε, 2021. *Πρωτόζωα, Ο οικολογικός τους ρόλος και οι αλληλεπιδράσεις με άλλους μικροοργανισμούς στην τροφική αλυσίδα*, Ειδικά Μαθήματα Περιβαλλοντικής Μικροβιολογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, [online], Διαθέσιμο από: https://www.google.gr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj42_fU0pTyAhUtgP0HHb1GA6wQFjAGegQIFBAD&url=https%3A%2F%2Fclass.uth.gr%2Fmodules%2Fdocument%2Ffile.php%2FBIO_U_130%2F%25CE%2594%25CE%2599%25CE%2591%25CE%259B%25CE%2595%25CE%259E%25CE%2595%25CE%2599%25CE%25A3%2F%25CE%2595%25CE%259C%25CE%25A0%25CE%2592%25CE%2594%25CE%2599%25CE%2591%25CE%259B%25CE%2595%25CE%259E%25CE%2597%25209.pdf&usg=AOvVaw1RsGb36AaTx4gcu1XGiU5b, (προσβάσιμο στις 3 Αυγούστου 2021).
32. Φιλίουσης Γ, Επ. Καθηγητής, 2021. *Δομή του βακτηριακού κυττάρου*, Τμήμα Κτηνιατρικής ΑΠΘ, [online], Διαθέσιμο από: https://www.google.gr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiQj-Lgh5fyAhWL_7sIHXNMBWUQFnoECCAQAaw&url=https%3A%2F%2Flearning.auth.gr%2Fpluginfile.php%2F346909%2Fcourse%2Foverviewfiles%2F%25CE%2593.%25CE%25A6%25CE%2599%25CE%259B%25CE%2599%25CE%259F%25CE%25A5%25CE%25A3%25CE%2597%25CE%25A3.%2520%25CE%2592%25CE%2591%25CE%259A%25CE%25A4%25CE%2597%25CE%25A1%25CE%2599%25CE%259F%25CE%259B%25CE%259F%25CE%2593%25CE%2599%25CE%2591.pdf%3Fforcedownload%3D1&usg=AOvVaw3v6yLiJxFsVQ91TvDoYfN1, (προσβάσιμο 4 Αυγούστου 2021).
33. Βλάμης Α, 2021, *Μικροβιολογία*, Τμήμα Χημείας, Πανεπιστήμιο Πατρών, [online], Διαθέσιμο από: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwij2Pirk5fyAhUNzaQKHxHIANwQFnoECAYQAaw&url=https%3A%2F%2Fclass.upatras.gr%2Fmodules%2Fdocument%2Ffile.php%2FCHEM2049%2FEvot>

- [nta%25202.pdf&usg=AOvVaw0mejXu-kRK3Tnc4F2VgZhk](#), (προσβάσιμο στις 4 Αυγούστου 2021).
34. Τζώρτζη Α, 2021. *Αρχαιοβακτήρια, τι γνωρίζουμε και ποια η σημασία τους στη ζωή*, [online], Διαθέσιμο από: <https://docplayer.gr/4824394-Arhaiovaktiria-ti-gnorizoyue-kai-poia-i-siuasia-toys-sti-zoi.html>, (προσβάσιμο στις 4 Αυγούστου 2021).
35. Απόσπασμα από ηλεκτρονικό βιβλίο, 2021. *Μακρομόρια*, [online], Διαθέσιμο από: [, \(προσβάσιμο στις 5 Αυγούστου 2021\).](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjrn5z6z5nyAhURgv0HHU4DAooQFnoECBAQAw&url=http%3A%2F%2Flegacy.cup.gr%2Fdownloads%2FPDF%2FBROCK_03_45-64.pdf&usg=AOvVaw2YAQNonkwmYNkV4ugCPPUo, (προσβάσιμο στις 5 Αυγούστου 2021).</p><p>36. Σουρβίνος Κ. Γ, 2017. <i>Ιολογία: Έγχρωμο Εικονογραφημένο Εγχειρίδιο</i>, Βασιλειάδης Ιατρικές Εκδόσεις, Απόσπασμα ηλεκτρονικού βιβλίου, [online], Διαθέσιμο από: <a href=)
37. [online], 2021. *Μικροβιακή Θρέψη*, Διαθέσιμο από: [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiCj8fD45nyAhXHs6QKHfADBe0QFnoECA0QAw&url=https%3A%2F%2Fopencourses.ionio.gr%2Fmodules%2Fdocument%2Ffile.php%2FDFO103%2F%25CE%2598%25CF%2581%25CE%25AD%25CF%2588%25CE%25B7%2520%25CE%259C%25CE%25B9%25CE%25BA%25CF%2581%25CE%25BF%25CE%25BF%25CF%2581%25CE%25B3%25CE%25B1%25CE%25BD%25CE%25B9%25CF%2583%25CE%25BC%25CF%258E%25CE%25BD.pdf&usg=AOvVaw1nq9CpiB_0k2bkPGPIOOpi, (προσβάσιμο στις 5 Αυγούστου 2021).</p><p>38. Πεφάνης Α, 2021. <i>Αερογενώς μεταδιδόμενα νοσήματα</i>, [online], Διαθέσιμο από: <a href=)

- [8&ved=2ahUKEwj85dXitOrzAhXJzqQKHZljAYgQFnoECAUQAQ&url=https%3A%2F%2Feody.gov.gr%2Fwp-content%2Fuploads%2F2018%2F12%2Fnosimata_metadidontai_aerogenos_pefanis.pdf&usg=AOvVaw2TtsyBy3U-PMS1HIXNdLcl](https://www.eody.gov.gr/wp-content/uploads/2018/12/2Fnosimata_metadidontai_aerogenos_pefanis.pdf&usg=AOvVaw2TtsyBy3U-PMS1HIXNdLcl), (προσβάσιμο στις 27 Οκτώβρη 2021).
39. Κούτσαλου Χ, 2020. *Η χρήση των Omics technologies στον έλεγχο του αέρα*, Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, [online], Διαθέσιμο από: <https://nemertes.library.upatras.gr/jspui/handle/10889/14359>, (προσβάσιμο τις 8 Οκτωβρίου 2021).
40. Μαρίνης Ε, Βογιατζάκης Ε, Γκίκα Ε, 2021. *Μικροβιολογία Ι*, [online], Διαθέσιμο από: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiMroDxu-3zAhUVHuwKHR9OCWUQFnoECAoQAQ&url=http%3A%2F%2Febooks.edu.gr%2Fbooks%2Fd%2F8547%2F4280%2F24-0224-02_Mikrobiologia-I_B-EPAL_Vivlio-Mathiti.pdf&usg=AOvVaw1YFPN_qJSW_QEebFjITLlj, (προσβάσιμο στις 28 Οκτώβρη 2021).
41. Εθνικός Οργανισμός Δημόσιας Υγείας (ΕΟΔΥ), 2021. [online], Διαθέσιμο από: <https://eody.gov.gr/disease/nosokomeiakies-loimoxeis/>, (προσβάσιμο στις 28 Οκτώβρη 2021).
42. Σκεπαστιανός Π, Καραμητρούσης Ε, 2012, *Θρεπτικά Υποστρώματα και Μεταβολισμός Μικροοργανισμών*, Βασιλειάδης Ιατρικές Εκδόσεις, Απόσπασμα ηλεκτρονικού βιβλίου, [online], Διαθέσιμο από: <https://www.vasiliadis-books.gr/shop/%CE%B8%CF%81%CE%B5%CF%80%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AC-%CF%85%CF%80%CE%BF%CF%83%CF%84%CF%81%CF%8E%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CE%BC%CE%B5%CF%84%CE%B1%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CE%B9%CF%83%CE%BC/>, (προσβάσιμο 30 Δεκεμβρίου 2020).
43. Κατσίβελα Ε., 2008, Κεφάλαιο 3 «*Βιοαεροζόλ*». στο βιβλίο Μ. Λαζαρίδης «*Ποιότητα Αέρα σε Εσωτερικούς Χώρους*», Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, ISBN. 978-960-418-151-3, σελ. 121-136
44. Leibniz Institute DSMZ– German Collection of Microorganisms and Cell Cultures, 2012. 457. *Mineral Medium (Brunner)* [online]. Διαθέσιμο από: http://www.dsmz.de/microorganisms/medium/pdf/DSMZ_Medium457.pdf (προσβάσιμο 30 Δεκεμβρίου 2020).

45. Leibniz Institute DSMZ– German Collection of Microorganisms and Cell Cultures (2012). *105. Gluconobacter oxydans Medium*. [online]. Διαθέσιμο από: http://www.dsmz.de/microorganisms/medium/pdf/DSMZ_Medium105.pdf (προσβάσιμο 30 Δεκεμβρίου 2020).
46. Dreamstime, 2021. *Κύτταρο Μυκήτων*, [online], Διαθέσιμο από: <https://gr.dreamstime.com/%CE%B1%CF%80%CE%B5%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CE%BD%CE%B9%CF%83%CE%B7-%CE%B1%CF%80%CE%BF%CE%B8%CE%B5%CE%BC%CE%AC%CF%84%CF%89%CE%BD-%CE%BA%CF%8D%CF%84%CF%84%CE%B1%CF%81%CE%BF-%CE%BC%CF%85%CE%BA%CE%AE%CF%84%CF%89%CE%BD-image49947916>, (προσβάσιμο στις 17 Νοέμβρη 2021).
47. HealthyLiving, 2021. *Τι είναι τα πρωτόζωα*, [online], Διαθέσιμο από: <https://www.healthyliving.gr/2016/03/05/protozoa/>, (προσβάσιμο στις 17 Νοέμβρη 2021).