



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΧΗΜΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΟΡΓΑΝΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ

**Μελέτη Επίδρασης Ατμοσφαιρικών Ρύπων Χοιροτροφικής
Μονάδας στα Φύλλα Ελιάς με Οπτικό Μικροσκόπιο, με
Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο και με Περίθλαση Ακτίνων Χ**

Διπλωματική Εργασία

Σταύρου Αλέξανδρος-Γεώργιος

Επιβλέπων Καθηγητής: Στυλιανός Λιοδάκης

Αθήνα, Ιούλιος 2014

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω κάποιους ανθρώπους για την υποστήριξη και την καθοδήγηση τους για την υλοποίηση της διπλωματικής μου εργασίας. Πρώτα από όλους θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου Δρ. Στυλιανό Λιοδάκη για την πολύτιμη καθοδήγησή και τη συμπαράσταση του καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας μου, χωρίς την οποία η υλοποίησή της θα ήταν ανέφικτη. Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Δρ. Κωνσταντίνο Φασσέα για την καθοδήγησή του σχετικά με τη χρησιμοποίηση του Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου και για τις πολύτιμες γνώσεις και συμβουλές που μου παρείχε πάνω στο γνωστικό του αντικείμενο. Επίσης, πολύ σημαντική συμβολή στην εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας είχε ο Δρ. Γεώργιος Κατσιγιάννης και θέλω να τον ευχαριστήσω πολύ για τις κατευθυντήριες οδηγίες και τις επιστημονικές του συμβουλές σχετικά με τη μέθοδο της ανάλυσης με περίθλαση ακτίνων χ, αλλά και την καθοδήγησή του στη συνολική εξαγωγή συμπερασμάτων και την τελική μορφοποίηση της εργασίας. Ευχαριστώ πολύ ακόμα την υποψήφια διδάκτωρα Ελπίδα Ευθυμίου για την καθοδήγησή της στα πρώτα στάδια εκπόνησης της εργασίας και την βοήθεια της στην διενέργηση των πειραμάτων της διπλωματικής μου. Παράλειψη θα ήταν να μην ευχαριστήσω τα μέλη της τριμελούς μου επιτροπής Δρ. Κορδάτο και Δρ. Τζαμτζή για την ευκαιρία που μου έδωσαν να τους παρουσιάσω την εργασία μου. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την αμέριστη συμπαράστασή τους καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε η επίδραση ή μη ατμοσφαιρικών ρύπων που εκλύονται από βιομηχανικό χοιροτροφείο στην Κρήτη στα φύλλα της ευρωπαϊκής ελιάς (*Olea Europaea*). Η μελέτη της επιμόλυνσης των φύλλων της ελιάς παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθότι συνιστά ένα είδος που συναντάται σε αφθονία στην Ελλάδα και πληρεί όλες τις προδιαγραφές ώστε να χρησιμοποιείται ως μέρος ζωνών προστασίας φυτικής σύστασης (VEBs) για τον περιορισμό των εκλυόμενων ρύπων από κτηνοτροφικές μονάδες. Η έρευνα στηρίχτηκε στη χρήση τριών Φυσικών Μεθόδων Ανάλυσης δηλαδή, στην μορφολογική εξωτερική εξέταση με οπτικό μικροσκόπιο, στη μορφολογική εξέταση με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM), και στον προσδιορισμό των κυριότερων χημικών ενώσεων με περίθλαση ακτίνων X (XRD).

Με το οπτικό μικροσκόπιο μελετήθηκαν δείγματα φύλλων ελιάς, στις πάνω και κάτω επιφάνειες και στην τομή, σε διάφορες μεγεθύνσεις, από δέντρα που απείχαν διαφορετικές αποστάσεις από τους ανεμιστήρες εξαέρωσης της μονάδας. Στα δείγματα αυτά παρατηρήθηκαν μαύρα στίγματα, που υποδεικνύουν πιθανή συσσώρευση σωματιδιακών ρύπων, αλλά και τραυματισμοί. Ωστόσο, λόγω της μάλλον χαμηλής ποιότητας των εικόνων του οπτικού μικροσκοπίου η μέθοδος δεν κρίθηκε επαρκής για την εξαγωγή σαφών συμπερασμάτων.

Το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο χρησιμοποιήθηκε για την μελέτη της επιμόλυνσης φύλλων ελιάς από δέντρα σε διαφορετικές αποστάσεις από τους ανεμιστήρες του χοιροτροφείου σε τρεις εποχές (χειμώνα, άνοιξη, καλοκαίρι) και την εκτίμηση του βαθμού εξάρτησης της ρύπανσης των φυτών από την απόσταση από τη βιομηχανική εγκατάσταση μέσω μίας μεθόδου μέτρησης των ασπιδοειδών τριχών ανά mm^2 του φύλλου σε συνάρτηση με την απόσταση από τους ανεμιστήρες εξαέρωσης του χοιροτροφείου. Λήφθηκαν φωτογραφίες πάνω και κάτω επιφανειών των φύλλων σε μεγεθύνσεις από 100x έως και 1200x. Αναμενόταν μία ενδεχόμενη αύξηση του αριθμού των τριχών και στις τρεις εποχές, καθώς απομακρυνόμαστε από το βιομηχανικό χοιροτροφείο, όπου και η ρύπανση των φυτών είναι μικρότερη, ωστόσο οι μετρήσεις μας για τα δείγματα που μας προσκομίστηκαν για εξέταση δεν μαρτυρούν κάτι τέτοιο. Είναι εμφανής η αναγκαιότητα διερεύνησης περισσότερων δειγμάτων από αυτά που προσκομίστηκαν προς μελέτη σε αυτή την εργασία, αλλά και η δειγματοληψία σε φυτά που απέχουν μικρότερες αποστάσεις από τη μονάδα π.χ. 20 μ, καθώς και σε δείγματα αναφοράς σε πολύ μεγαλύτερες αποστάσεις από την πηγή των ρύπων, π.χ. 2 χλμ, για την εξαγωγή κάποιων σαφέστερων συμπερασμάτων. Ακόμα, πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπ' όψη οι μετεωρολογικές συνθήκες και κυρίως η κυρίαρχη φορά των ανέμων.

Σχετικά με την μελέτη της πιθανής συσσώρευσης ρύπων στα φύλλα παρατηρήθηκαν σωματίδια με ακανόνιστο σχήμα, τα οποία φάνηκαν να είναι σκόνες και σωματιδιακοί ρύποι, μύκητες και κονιδιοφόροι μυκητών, καθώς και φαινόμενα που οφείλονται στη ρύπανση αυτή, όπως κατεστραμμένες ασπιδοειδείς τρίχες, επικαλυμμένα στόματα φύλλων και ρύποι που έχουν εισχωρήσει στην εφυμενίδα των φύλλων. Η ρύπανση αυτή πιθανόν να οφείλεται σε άλλες πηγές

ρύπανσης, πλην του χοιροτροφείου, καθώς στην περιοχή υφίστανται βιομηχανικές μονάδες παραγωγής αδρανών υλικών (λατομεία).

Αναφορικά με το XRD, δείγματα φύλλων ελιάς υπέστησαν ξηρή τεφροποίηση ώστε να προσδιοριστούν με περίθλαση ακτίνων Χ οι κυριότερες χημικές ενώσεις που περιέχονται σε αυτά. Στόχος αυτής της σειράς πειραμάτων ήταν να αναλυθούν τα φύλλα, ως προς τη χημική τους σύσταση για την διερεύνηση της μεταβλητότητας ορισμένων περιεχόμενων ενώσεων (αζωτούχων, θειούχων, φωσφορικών, κ.α.), που πιθανώς να προέρχονται από αέριους ρύπους που εκλύονται από το βιομηχανικό χοιροτροφείο, σε συνάρτηση με την απόσταση από την κτηνοτροφική μονάδα, αλλά και την εποχή. Η διερεύνηση αυτή πραγματοποιήθηκε μέσω της σύγκρισης των αντίστοιχων ταυτοποιημένων διαγραμμάτων των ενώσεων. Από τη σύγκριση των διαγραμμάτων των δειγμάτων που απείχαν διαφορετικές αποστάσεις από το βιομηχανικό χοιροτροφείο την ίδια εποχή προέκυψαν μερικές παρατηρήσεις σχετικά με την ποιοτική διαφοροποίηση των δειγμάτων στις περιεχόμενες ενώσεις, αλλά και με ποσοτικές διαφοροποιήσεις συγκεκριμένων τύπων ενώσεων. Από τη σύγκριση των διαγραμμάτων των δειγμάτων που απείχαν ίδιες αποστάσεις από το βιομηχανικό χοιροτροφείο και είχαν συλλεχθεί σε διαφορετικές εποχές παρατηρήθηκαν ποσοτικές διαφοροποιήσεις συγκεκριμένων τύπων ενώσεων. Η αναγκαιότητα διερεύνησης περισσότερων δειγμάτων από αυτά που προσκομίστηκαν προς μελέτη σε αυτή την εργασία, αλλά και η δειγματοληψία σε φυτά που απέχουν μικρότερες αποστάσεις από τη μονάδα, καθώς και σε δείγματα αναφοράς σε πολύ μεγαλύτερες αποστάσεις από την πηγή των ρύπων, είναι και εδώ εμφανής.

ABSTRACT

In this thesis we studied the effect or not of air pollutants emitted from an industrial pig farm in Crete on the leaves of the European Olive (*Olea Europaea*). The study of contamination of olive leaves is of particular interest since it is a species that is found in abundance in Greece and meets all standards to be used as part of vegetative environmental buffers (VEBs) to reduce the release of pollutants from industrial farms. The research was based on the use of three Natural Analytical Methods i.e. the external morphological examination by optical microscopy, the morphological examination by electron microscopy (SEM), and the identification of the main compounds using X-ray diffraction (XRD).

With the optical microscope we studied samples of olive leaves, on both adaxial and abaxial surfaces and the intersection, at various magnifications, from trees that abstained different distances from the industrial hog farm's exhaust fans. Black spots were observed on the samples, indicating possible accumulation of particulate pollutants. In various samples this possibly led to injuries. However, due to the rather low quality of the images of the optical microscope, this method was not deemed sufficient to extract clear conclusions.

The electron microscope was used to study the contamination of olive leaves from trees at different distances from the industrial hog farm's exhaust fans in three seasons (winter, spring, summer) and to assess the degree of dependence of the plant pollution from the distance from the industrial unit through a measurement method of peltate hairs per mm² of leaves in relation to the distance from the exhaust fans. Photographs of both adaxial and abaxial surfaces were taken at magnifications from 100x to 1200x. We expected a possible increase in the number of hairs in all three seasons, as we move away from the industrial pig farm, where plant pollution is smaller, but our measurements on the samples submitted for our examination did not reveal something like that. The necessity of investigating more samples than those submitted for consideration in this work and the sampling in plants, from the same area, spaced shorter distances from the unit e.g. 20 m as well as reference samples at much greater distances from the source of pollutants e.g. 2 km, is evident in order to export some clearer conclusions. Still, the meteorological conditions, and especially the dominant direction of the wind, must be taken seriously into account.

Regarding the study of the possible accumulation of pollutants in the leaves, there were observed irregularly shaped particles, which appeared to be dust and particulate matter, fungus and fungal conidiophores, as well as phenomena, due to the pollution, like damaged peltate hair, coated stomata of the leaves and pollutants that have penetrated the cuticle of the leaves. This pollution may be due to other sources, other than the industrial hog farm, as quarries exist at the area.

Referring to XRD, olive leaf samples were dry ashed in order to study the main chemical compounds contained in them by X-ray diffraction. The aim of this series of experiments was to analyze the leaves chemical composition in order to investigate the variability of certain compounds contained (nitrogen, sulfur, phosphates, etc.), which probably originate from gaseous pollutants emitted from the industrial pig farm, depending on the distance from the unit and the season. The investigation was conducted by comparing the corresponding diagrams of the identified compounds. From the comparison of the diagrams of samples that abstained different distances from the industrial pig farm the same season a few comments on both the qualitative differentiation of the samples contained compounds and the quantitative differences of specific types of compounds emerged. From the comparison of the diagrams of samples that abstained same distances from the industrial pig farm and were collected at different seasons quantitative variations of specific types of compounds were observed. The need to investigate more samples than those submitted for consideration in this work and the sampling in plants, from the same area, spaced shorter distances from the unit, as well as reference samples at much greater distances from the source of pollutants, is evident here.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες.....	1
Περίληψη.....	2
Abstract.....	4
Περιεχόμενα.....	6
1 ^ο Μέρος: Θεωρητικό Μέρος.....	10
1. Βιομηχανική Χοιροτροφία.....	10
1.1. Χοιροτροφία.....	10
1.2. Βιομηχανικά Χοιροτροφεία (Ορισμός-Χαρακτηριστικά).....	10
1.2.1. Ευρωπαϊκοί Κανονισμοί.....	10
1.2.2. Αμερικάνικοι Κανονισμοί.....	11
1.3. Βιομηχανική Χοιροτροφία στην Ευρωπαϊκή Ένωση.....	12
1.3.1. Ευρωπαϊκά Στοιχεία Αγοράς.....	12
1.3.2. Δομή των Χοιροτροφικών Μονάδων.....	13
1.3.3. Γεωγραφική Κατανομή των Χοίρων.....	13
1.4. Η Χοιροτροφία στην Ελλάδα.....	14
1.4.1. Γενικά Στοιχεία.....	14
1.4.2. Ζωϊκό Κεφάλαιο-Εκμεταλεύσεις.....	15
2. Ρύπανση των Βιομηχανικών Χοιροτροφείων.....	17
2.1. Εισαγωγή-Τύποι Αέριων Ρύπων.....	17
2.2. Αμμωνία (NH ₃).....	18
2.2.1. Αμμωνία, Ένας από τους Σημαντικότερους Αέριους Ρύπους.....	18
2.2.2. Αμμωνία Προερχόμενη από Βιομηχανικά Κτηνοτροφεία: Φύση και Συνέπειες.....	19
2.2.3. Κρίσιμα Όρια Αμμωνίας.....	20

2.2.4. Παράγοντες που Επηρεάζουν τις Εκπομπές Αμμωνίας στα Βιομηχανικά Χοιροτροφεία.....	20
2.2.5. Πηγές Εκπομπής Αμμωνίας στα Βιομηχανικά Χοιροτροφεία.....	22
2.3. Υδρόθειο (H ₂ S) και Οσμές.....	24
2.4. Αέρια του Θερμοκηπίου.....	25
2.4.1. Μεθάνιο (CH ₄).....	25
2.4.2. Υποξείδιο του Αζώτου (N ₂ O).....	26
2.5. Σκόνη και Σωματιδιακή Ρύπανση.....	26
2.5.1. Σκόνη από Βιομηχανικά Κτηνοτροφεία.....	26
2.5.2. Μικροοργανισμοί Μεταφερόμενοι με τη Σκόνη.....	28
2.6. Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (VOCs), Νιτρικά Οξείδια (NO _x) και Όζον (O ₃).....	29
3. Περιορισμός της Αέριας Ρύπανσης των Βιομηχανικών Χοιροτροφείων.....	30
3.1. Εισαγωγή.....	30
3.2. Ζώνες Προστασίας Φυτικής Σύστασης: Μία Νέα Προοπτική για την Αντιμετώπιση της Αέριας Ρύπανσης των Βιομηχανικών Κτηνοτροφείων.....	30
3.3. Οφέλη από την Χρησιμοποίηση Ζωνών Προστασίας Φυτικής Σύστασης.....	32
3.3.1. Τα Βασικά Πλεονεκτήματα της Χρησιμοποίησης των Ζωνών Προστασίας Φυτικής Σύστασης.....	32
3.3.2. Ανάλυση των Πλεονεκτημάτων Χρησιμοποίησης των Ζωνών Προστασίας Φυτικής Σύστασης.....	33
3.3.3. Διεργασίες Πρόσληψης, Αποτοξίνωσης και Αφομοίωσης Αμμωνίας και Αμμωνίου των Φυτών και οι Επιδράσεις τους σε αυτά.....	35
3.4. Επιδράσεις των Αέριων Ρυπαντών των Βιομηχανικών Χοιροτροφείων στις Ζώνες Προστασίας Φυτικής Σύστασης.....	41
3.5. Συμπεράσματα που Έχουν Προκύψει από Προγράμματα Εγκατάστασης Ζωνών Προστασίας Φυτικής Σύστασης για την Αποδοτικότερη Χρήση τους.....	41
3.6. Ευρωπαϊκή Ελιά (Olea Europaea), Ένα Φυτό Κατάλληλο για Χρησιμοποίηση σε Ζώνες Προστασίας Φυτικής Σύστασης στην Ελλάδα.....	43

2 ^ο Μέρος: Πειραματικό Μέρος.....	45
1. Μελέτη Φύλλων Olea Europaea με Οπτικό Μικροσκόπιο.....	45
1.1. Στόχος της Μελέτης Φύλλων Olea Europaea στο Οπτικό Μικροσκόπιο.....	45
1.2. Αρχή Λειτουργίας Οπτικού Μικροσκοπίου.....	45
1.2.1. Οπτικά Μικροσκόπια-Εισαγωγή.....	45
1.2.2. Κοινό Σύνθετο Οπτικό Μικροσκόπιο Διελεύσεως.....	46
1.3. Μέθοδος Πειράματος-Υλικά.....	51
1.3.1. Δείγματα Φύλλων Ελιάς.....	51
1.3.2. Προετοιμασία Δειγμάτων.....	52
1.3.3. Μελέτη Δειγμάτων στο Οπτικό Μικροσκόπιο.....	52
1.4. Αποτελέσματα.....	54
2. Μελέτη Φύλλων Olea Europaea με Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης.....	107
2.1. Στόχος της Μελέτης Φύλλων Olea Europaea στο Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης.....	107
2.2. Αρχή Λειτουργίας Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου Σάρωσης (SEM).....	107
2.2.1. Ηλεκτρονικά Μικροσκόπια-Εισαγωγή.....	107
2.2.2. Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης (ΗΜΣ, Scanning Electron Microscope, SEM).....	108
2.2.2.1. Ορισμός ΗΜΣ – Οργανολογία.....	108
2.2.2.2. Αλληλεπιδράσεις Δέσμης – Δείγματος.....	109
2.2.3. Εφαρμογές ΗΜΣ.....	115
2.3. Μέθοδος Πειράματος-Υλικά.....	115
2.3.1. Δείγματα Φύλλων Ελιάς.....	115
2.3.2. Προετοιμασία Δειγμάτων.....	116
2.3.3. Μελέτη Δειγμάτων στο Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης.....	116
2.4. Αποτελέσματα.....	118

3. Ανάλυση Φύλλων Olea Europaea με Περίθλαση Ακτίνων Χ.....	138
3.1. Στόχος της Ανάλυσης Φύλλων Olea Europaea με Περίθλαση Ακτίνων Χ.....	138
3.2. Αρχή Λειτουργίας της Μεθόδου Ανάλυσης με Περίθλαση Ακτίνων Χ.....	138
3.2.1. Ανάλυση με Περίθλαση Ακτίνων Χ-Εισαγωγή.....	138
3.2.2. Οργανολογία.....	139
3.2.2.1. Σχηματική Διάταξη-Βασικά Μέρη XRD.....	139
3.2.2.2. Πηγή Ακτινοβολίας.....	140
3.2.2.3. Φίλτρο.....	141
3.2.2.4. Δείγμα.....	141
3.2.2.5. Ανιχνευτής.....	142
3.2.2.6. Ρυθμίσεις Οργάνου XRD.....	142
3.3. Μέθοδος Πειράματος-Υλικά.....	143
3.3.1. Συλλογή Φύλλων Ελιάς.....	143
3.3.2. Προετοιμασία Δειγμάτων Προς Ανάλυση με Περίθλαση Ακτίνων Χ.....	143
3.3.3. Ανάλυση Δειγμάτων με Περίθλαση Ακτίνων Χ.....	145
3.4. Αποτελέσματα.....	147
4. Συζήτηση-Συμπεράσματα.....	151
4.1. Συμπεράσματα Μελέτης Φύλλων Olea Europaea με Οπτικό Μικροσκόπιο.....	151
4.2. Συμπεράσματα της Μελέτης Φύλλων Olea Europaea στο Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης.....	152
4.3. Συμπεράσματα Ανάλυσης Φύλλων Olea Europaea με Περίθλαση Ακτίνων Χ.....	153
5. Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα.....	157
Βιβλιογραφία.....	159

1^ο ΜΕΡΟΣ: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1. ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΧΟΙΡΟΤΡΟΦΙΑ

1.1 ΧΟΙΡΟΤΡΟΦΙΑ

Η εκτροφή χοίρων γίνεται με σκοπό την παροχή κρέατος και μπορεί να είναι περισσότερο ή λιγότερο οργανωμένη. Ο παραγωγικός κύκλος χωρίζεται σε δύο μέρη:

- Γέννηση χοιριδίων από χοιρομητέρες με σκοπό να απογαλακτιστούν.
- Εκτροφή των χοιριδίων για μελλοντικές χοιρομητέρες ή για σφαγή.

Στις μη οργανωμένες μονάδες, η γενετική επιλογή γίνεται στην κάθε αγέλη ξεχωριστά. Οι χοίροι προς αναπαραγωγή βρίσκονται σε ξεχωριστό τμήμα από τους μεγαλωμένους χοίρους (χοιρομητέρες αντικατάστασης).

Σε πιο πολύπλοκες και μεγάλες μονάδες, οι χοίροι προς αναπαραγωγή παράγονται σε ειδικούς στάβλους ως μέρος ενός ενδεδειγμένου συστήματος επιλογής (νεογέννητα – ζώα πολλαπλασιασμού – χοιρομητέρες). Οι χοιρομητέρες συνήθως γονιμοποιούνται τεχνητά. Ανάλογα με την αποτελεσματικότητα του επιλεγόμενου σχεδίου, η διαδικασία πάχυνσης χοίρων βελτιώνεται.

Η στέγαση των χοίρων ποικίλει από εγκαταστάσεις υψηλής συγκέντρωσης για ταχύτατη τυποποιημένη παραγωγή μέχρι και σε εξωτερικό χώρο για εκτατική παραγωγή.

Το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής βασίζεται στις βελτιστοποιημένες εντατικές μεθόδους, και η εκτεταμένη εκτροφή μπορεί να είναι είτε αποτέλεσμα των απαιτήσεων των καταναλωτών (πχ βιολογική εκτροφή) ή για προσωπική κατανάλωση.[a]

1.2 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΟΙΡΟΤΡΟΦΕΙΑ (ΟΡΙΣΜΟΣ-ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ)

1.2.1 Ευρωπαϊκοί Κανονισμοί

Σύμφωνα με οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ως «Βιομηχανικά Χοιροτροφεία» ορίζονται οι εγκαταστάσεις εντατικής εκτροφής χοίρων οι οποίες διαθέτουν:

- α) πάνω από 2000 θέσεις για χοίρους παραγωγής (άνω των 30 kg) ή
- β) πάνω από 750 θέσεις για χοιρομητέρες.[1]

1.2.2 Αμερικάνικοι Κανονισμοί

Στις ΗΠΑ, η Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος (EPA), ορίζει ως «Βιομηχανικά Χοιροτροφεία» τις μονάδες ή εγκαταστάσεις εντατικής εκτροφής χοίρων που πληρούν τα παρακάτω δύο κριτήρια:

- Τα ζώα είναι συγκεντρωμένα και τροφοδοτούνται στην ίδια μονάδα για διάστημα τουλάχιστον 45 ημερών, ή μεγαλύτερο κατά τη διάρκεια ενός έτους.
- Δεν υπάρχει γρασίδι ή άλλη βλάστηση στη μονάδα κατά τη διάρκεια της περιόδου εκτροφής των ζώων.[b]

καθώς και έναν από τους εξής κανονιστικούς ορισμούς:

- *Μεγάλο «Βιομηχανικό Χοιροτροφείο»:* είναι εκείνο που συγκεντρώνει τουλάχιστον τον αριθμό των ζώων που περιγράφεται παρακάτω στον πίνακα 1.1.
- *Μέτριο «Βιομηχανικό Χοιροτροφείο»:* είναι εκείνο που βρίσκεται στα όρια που περιγράφονται στον πίνακα 1.1 και:
 - Έχει κατασκευασμένη τάφρο που μεταφέρει χοιρολύματα ή ακαθαρσίες σε επιφανειακά ύδατα, ή
 - Τα ζώα που στεγάζονται σε αυτό έρχονται σε επαφή με τα επιφανειακά ύδατα τα οποία διασχίζουν την περιοχή της μονάδας.
- Αν μία μονάδα έχει θεωρηθεί ως σημαντικός συντελεστής ρύπων, οι αρμόδιες αρχές είναι δυνατό να τη χαρακτηρίσουν ως «Βιομηχανικό Χοιροτροφείο» και σύμφωνα με αυτό: *Μικρό «Βιομηχανικό Χοιροτροφείο»* θεωρείται η χοιροτροφική μονάδα η οποία συγκεντρώνει αριθμό ζώων μικρότερο των ορίων που περιγράφονται στον πίνακα 1.1, αλλά έχει χαρακτηριστεί ως «Βιομηχανικό Χοιροτροφείο» από τις αρμόδιες αρχές, όντας σημαντικός συντελεστής ρύπων.[c]

Πίνακας 1.1: Ταξινόμηση τύπων Βιομηχανικών Χοιροτροφείων [b,c]

Τύπος Χοίρων	Αριθμός Χοίρων		
	Μεγάλο Βιομηχανικό Χοιροτροφείο	Μέτριο Βιομηχανικό Χοιροτροφείο	Μικρό Βιομηχανικό Χοιροτροφείο
Χοίροι βαρύτεροι των 25 kg	2500 ή περισσότεροι	750-2499	Λιγότεροι από 750
Χοίροι ελαφρύτεροι των 25 kg	10000 ή περισσότεροι	3000-9999	Λιγότεροι από 3000

Οι μονάδες αυτές, υψηλής πυκνότητας ζώων, που έχουν ως στόχο την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων κρέατος με χαμηλό κόστος, εγκαθίστανται σε πολύ αραιοκατοικημένες περιοχές, ώστε να υπάρχει σε αφθονία (χαμηλό κόστος) Γη, νερό και ζωοτροφές και να βρίσκονται σχετικά απομακρυσμένες από οικισμούς, στους κατοίκους των οποίων μπορούν να προξενήσουν προβλήματα υγείας λόγω των εκπομπών τους.

Στην εικόνα 1.1 που ακολουθεί φαίνονται οι εγκαταστάσεις ενός Βιομηχανικού Χοιροτροφείου:



Εικόνα 1.1: Βιομηχανικό Χοιροτροφείο

1.3 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΧΟΙΡΟΤΡΟΦΙΑ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΈΝΩΣΗ

Το χοιρινό κρέας παράγεται στην ΕΕ σε διάφορα είδη χοιροτροφικών μονάδων με σημαντικές διαφοροποιήσεις από το ένα κράτος – μέλος στο άλλο. Τα τρία τέταρτα των χοίρων εκτρέφονται από το 1,5% των μεγαλύτερων χοιροτροφικών μονάδων. Οι μικροί χοιροτρόφοι βρίσκονται κυρίως στα νέα κράτη – μέλη της ΕΕ.[d]

1.3.1 Ευρωπαϊκά στοιχεία αγοράς

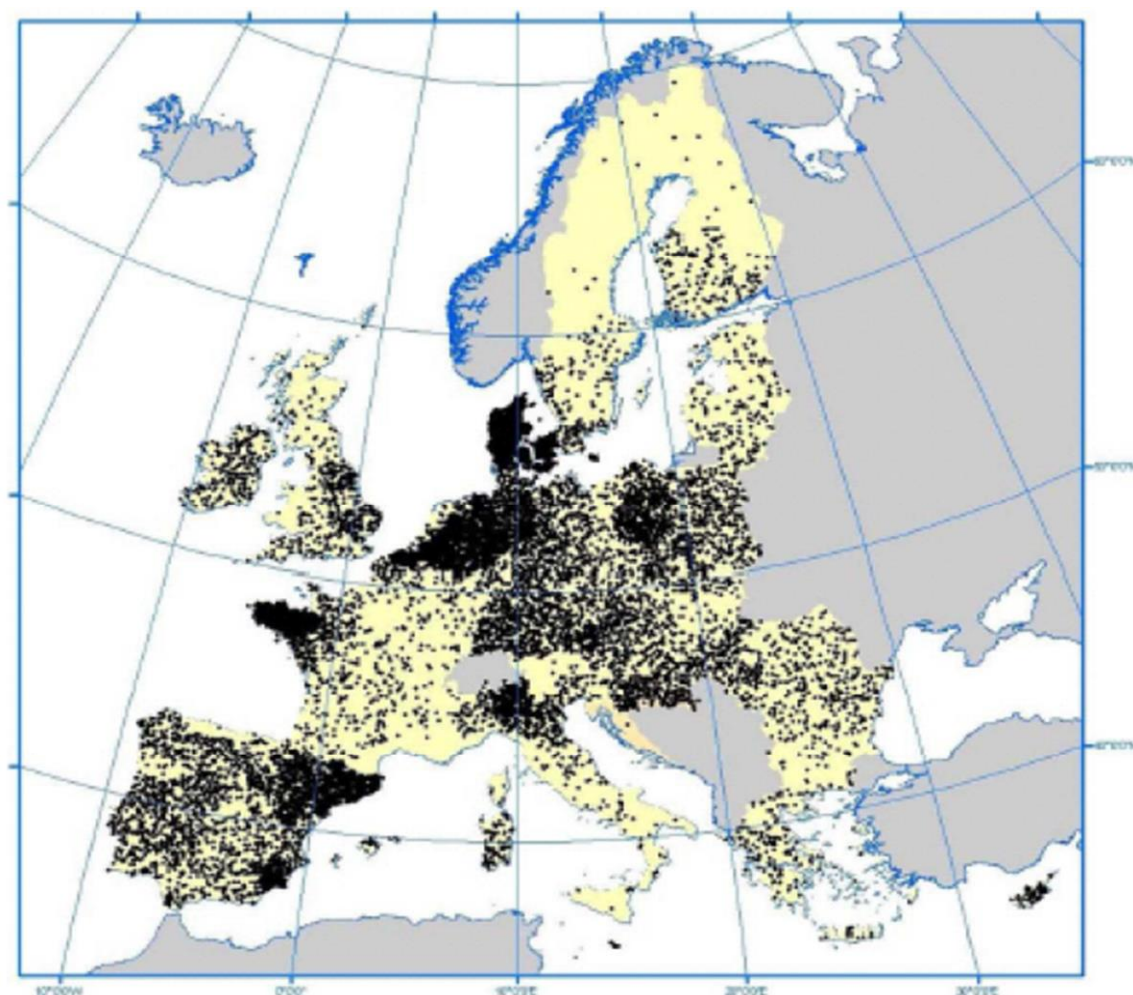
Η Ε.Ε παράγει 17,8 εκατομμύρια τόνους χοίρειου κρέατος ετησίως και είναι ο δεύτερος μεγαλύτερος παραγωγός στον κόσμο μετά την Κίνα. Το 2004 η παραγωγή ανήλθε σε 21,2 εκατομμύρια τόνους (Ε.Ε-25). Η υψηλή παραγωγή κατά το δεύτερο μισό της δεκαετίας του 1990 είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση των τιμών. Από τότε, η παραγωγή μειώθηκε και σταθεροποιήθηκε, με ευνοϊκότερη ανταπόκριση των τιμών. Οι κυριότερες χώρες παραγωγής χοίρειου κρέατος το 2002 ήταν: Γερμανία (23,1 % της παραγωγής), Ισπανία (17,5 %), Γαλλία (13,2 %), Κάτω Χώρες (7,7 %) και Δανία (9,9 %). Η ετήσια κατά κεφαλή κατανάλωση στην Ε.Ε ανέρχεται κατά μέσο όρο σε 43 κιλά.[2,3]

1.3.2 Δομή των χοιροτροφικών μονάδων

Η κατανομή των στάβλων σε εθνικό επίπεδο, ανά μέγεθος γίνεται από την Έρευνα Δομής Αγροκτήματος. Οι χοίροι χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες, χοιρίδια, χοιρομητέρες και άλλου είδους χοίροι. Οι χοιρομητέρες αποτελούν το μόνιμο κοπάδι χοίρων, ενώ οι άλλοι χοίροι υποβάλλονται σε διεργασία πάχυνσης πριν σφαχθούν.

1.3.3 Γεωγραφική κατανομή των χοίρων

Η εκτροφή χοίρων στην Ε.Ε. συγκεντρώνεται σε λίγες χώρες, με τη Δανία, Γερμανία, Ισπανία, Γαλλία, Ολλανδία και Πολωνία να έχουν περισσότερα από τα δύο τρίτα των χοίρων που εκτρέφονται (έρευνα του Δεκεμβρίου 2008), όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.1. Σε περιφερειακό επίπεδο, οι μισοί χοίροι που εκτρέφονται συγκεντρώνονται σε έντεκα περιφέρειες, όπου όλες μαζί βρίσκονται σε έξι χώρες. Φυσικά, το μέγεθος των χωρών και των περιφερειών παίζει ρόλο σε αυτή την κατάταξη. Σε σχετικούς όρους, το μέσο μερίδιο της χοιροτροφίας στη απόδοση της αγροτικής παραγωγής είναι σε υψηλότερο ποσοστό στη Δανία (29%), και ακολουθείται από το Βέλγιο (20%), την Πολωνία (15%) τη Μάλτα και την Κύπρο (και οι δύο από 14%) και από τη Γερμανία (13%).[d,e]



Σχήμα 1.1: Αριθμός χοιρομητέρων ανά περιοχή (2008) 1 κουκίδα = 1000 χοιρομητέρες [d]

1.4 Η ΧΟΙΡΟΤΡΟΦΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

1.4.1 Γενικά στοιχεία

Το μεγαλύτερο μέρος της εγχώριας παραγωγής χοιρινού κρέατος συγκεντρώνεται στις περιφέρειες της Κεντρικής Μακεδονίας, της Ηπείρου, της Στερεάς Ελλάδας (συμπεριλαμβανομένης της Εύβοιας - εκτός της Αττικής), της Θεσσαλίας, της Δυτικής Ελλάδας, και της Αν. Μακεδονίας/Θράκης. Ειδικότερα, το 2004 παρήχθησαν στην Κεντρική Μακεδονία 24.466 τόνοι χοιρινού κρέατος (μερίδιο 18% επί του συνόλου) και στην Ήπειρο 21.491 τόνοι μερίδιο 15,8%). Ακολουθεί η Θεσσαλία με μερίδιο παραγωγής 14,4% και η Στερεά Ελλάδα με ποσοστό της τάξης του 12%. Οι τέσσερις προαναφερθείσες περιφέρειες κάλυψαν από κοινού το 70,1% της συνολικής εγχώριας παραγωγής χοιρινού κρέατος κατά το 2004. Σημαντικά μείωση (σε απόλυτες τιμές) παρουσιάστηκε κατά την εξεταζόμενη περίοδο στην παραγωγή της Στερεάς

Ελλάδας, η οποία από 23.365 τόνους το 2000 διαμορφώθηκε σε 16.260 τόνους το 2004, καθώς και στην περιοχή της Πελοποννήσου (2000: 12.718 τόνοι, 2004: 9.085 τόνοι). Ωστόσο, αύξηση της παραγωγής τους για την περίοδο 2000 – 2004 εμφάνισαν οι περιφέρειες της Θεσσαλίας, της Αττικής και της Δυτικής Μακεδονίας.

Πίνακας 1.2: Εξέλιξη της παραγωγής χοιρινού κρέατος ανά περιφέρεια (2004) [3]

Περιφέρεια	2000	2001	2002		2003		2004	
	Τόνοι	Τόνοι	Τόνοι	Κεφάλια	Τόνοι	Κεφάλια	Τόνοι	Κεφάλια
Κεντρ.Μακεδ.	23.883	23.013	22.572	360.410	19.121	402.884	24.466	394.535
Ήπειρος	21.163	21.367	21.781	306.925	21.655	306.925	21.491	304.925
Θεσσαλία	16.855	18.887	16.256	322.650	19.924	341.100	19.580	333.640
Στερεά Ελλάδα	23.365	22.656	26.073	341.796	18.181	243.666	16.260	237.756
Ανατ.Μακεδ. & Θράκη	13.343	12.879	13.782	181.600	9.713	330.581	13.386	183.795
Δυτ. Ελλάδα	14.927	14.069	14.588	256.360	13.330	249.460	14.462	254.560
Πελοπόννησο	12.718	9.073	8.883	153.335	8.054	134.540	9.085	143.845
Κρήτη	4.362	4.594	5.342	108.100	5.288	110.800	5.400	119.000
Νότιο Αιγαίο	2.870	2.870	269	42.985	2.874	42.165	3.839	65.935
Δυτική Μακεδ.	1.928	2.698	2.817	43.929	3.194	36.789	3.308	50.506
Αττική	2.796	2.269	199	63.980	2.909	55.242	3.400	68.762
Ιόνιοι Νήσοι	601	594	582	10.565	798	16.330	769	16.221
Νότιο Αιγαίο	152	195	375	5.365	247	3.780	380	6.200
Σύνολο Χώρας	138.963	135.164	135.311	2198.000	125.289	2274.262	135.826	2179.680

Στην Ελλάδα, οι επιχειρήσεις εκτροφής χοίρων και παραγωγής χοιρινού κρέατος είναι κυρίως μικρομεσαίου μεγέθους. Η παραγωγική τους δυναμικότητα είναι αξιόλογη και καλύπτουν σε ποσοστό 37%- 38% περίπου τις ανάγκες της ελληνικής αγοράς σε χοιρινό κρέας. Αρκετές από τις εν λόγω επιχειρήσεις διαθέτουν σφαγείο (για αποκλειστική χρήση ή μη). Σύμφωνα με στοιχεία του Υπ.Α.Α.Τ. η παραγωγή χοιρινού κρέατος για την περίοδο 2000-04 παρουσιάζεται σταθεροποιημένη περίπου στους 135.000 τόνους με μικρές διακυμάνσεις κατά το έτος 2000 (~139.000) και το 2003 (~125.000 τόνους).[3]

1.4.2 Ζωικό Κεφάλαιο – εκμεταλλεύσεις

Ο συνολικός αριθμός των χοίρων παρουσίασε αύξηση την τριετία 1998-2000 και το 2000 διαμορφώθηκε σε 1.498.295 από 1.403.693 το 1998. Το 2004 ο συνολικός αριθμός χοίρων ανήλθε σε 1.392.393 Το μεγαλύτερο μέρος αυτών εκτρέφεται στην Ήπειρο, στην Κεντρική Μακεδονία, στη Δυτική Ελλάδα και στη Στερεά Ελλάδα. Οι περιοχές αυτές κάλυψαν από κοινού το 65,5% του συνόλου των εκτρεφόμενων χοίρων το 2000. Ο μεγαλύτερος αριθμός χοίρων συγκεντρώνεται στην Εύβοια, στο νομό Πρεβέζης, καθώς και στο νομό Αιτωλοακαρνανίας.

Επισημάνεται ότι, μέρος του εκτρεφόμενου ζωικού κεφαλαίου εισάγεται και προορίζεται είτε για αναπαραγωγή, είτε για πάχυνση και/ή για σφαγή. Οι εξαγωγές σε ζωντανά ζώα κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα.[3]

2. ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΟΙΡΟΤΡΟΦΕΙΩΝ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΤΥΠΟΙ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ

Ως ρυπαντές μπορούν να χαρακτηριστούν ουσίες οι οποίες μπορεί να περιέχονται στην ατμόσφαιρα, στο νερό ή στο έδαφος και έχουν δυσμενή επίδραση στους οργανισμούς.[4]

Οι βιομηχανικές κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις, λόγω της υψηλής πυκνότητας των ζώων σε αυτές και των διαδικασιών και διεργασιών εκτροφής και παραγωγής τους, αποτελούν σημαντικές πηγές αέριων ρυπαντών. Οι συνέπειες των εκπομπών αυτών γίνονται διακριτές τόσο σε τοπικό, όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο. Οι εκλύσεις αυτές μπορούν να επηρεάσουν την υγεία των εργαζομένων στα χοιροτροφεία και των κατοίκων των γειτονικών οικισμών, καθώς και την ποιότητα ζωής των τελευταίων, αλλά και να επιφέρουν περιβαλλοντικές επιπτώσεις στα γειτονικά οικοσυστήματα, δηλαδή στην ατμόσφαιρα, το έδαφος, τα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα, αλλά και την χλωρίδα και την πανίδα που αποτελούν μέρος αυτών. Πολλές από τις ουσίες που εκλύονται από τα συστήματα εξαερισμού των βιομηχανικών αυτών μονάδων έχουν τη δυνατότητα να μεταφερθούν σε μεγάλες αποστάσεις και να έχουν αντίστοιχες επιπτώσεις σε μακρινές περιοχές, αλλά και να συντελέσουν σε παγκόσμιες κλιματικές αλλαγές με χαρακτηριστικό παράδειγμα το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Οι αέριες εκπομπές από την κτηνοτροφική παραγωγή είναι πολυάριθμες και μπορεί να περιλαμβάνουν σκόνη, σωματίδια (PM), οσμηρές ουσίες, πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC), ενδοτοξίνες, μεθάνιο (CH_4), υδρόθειο (H_2S), διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και αζωτούχες ενώσεις, με κυριότερη την αμμωνία (NH_3).[5]

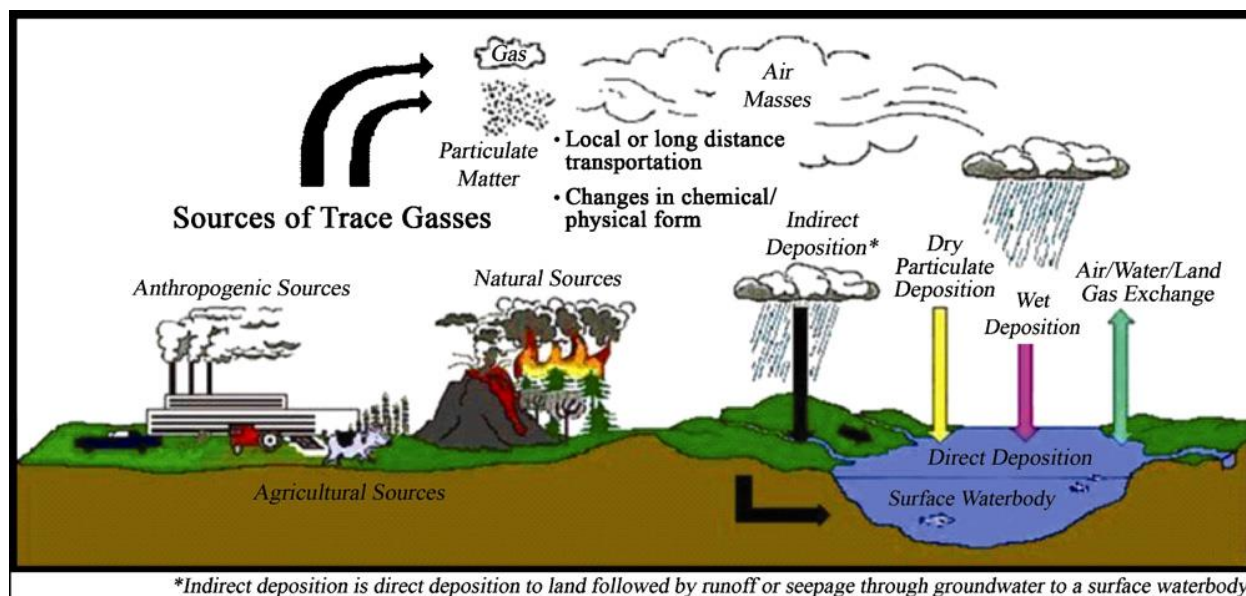
Οι βασικοί αέριοι ρύποι των βιομηχανικών κτηνοτροφείων, καθώς και το μέγεθος ανησυχίας που προκαλούν και οι κύριες επιδράσεις τους δίνονται στον πίνακα 2.1, που έχει δημοσιευθεί από την Εθνική Ακαδημία Επιστημών των Η.Π.Α.

Πίνακας 2.1: Βασικές Αέριες εκπομπές βιομηχανικών κτηνοτροφείων και οι επιδράσεις τους [5]

	Περιοχή και Μέγεθος ανησυχίας		
Τύπος εκπομπής	Παγκόσμιο, εθνικό και περιφεριακό	Τοπικό	Κύριες επιδράσεις
NH_3	Μείζον	Μικρό	Ατμοσφαιρική εναπόθεση, ομίχλη
N_2O	Σημαντικό	Ασήμαντο	Παγκόσμιες κλιματικές αλλαγές
NO_x	Σημαντικό	Μικρό	Ομίχλη, ατμοσφαιρική εναπόθεση, νέφος
CH_4	Ασήμαντο	Ασήμαντο	Παγκόσμιες κλιματικές αλλαγές

VOC	Ασήμαντο	Μικρό	Υποβάθμιση ποιότητας ανθρώπινης ζωής
H ₂ S	Ασήμαντο	Ασήμαντο	Υποβάθμιση ποιότητας ανθρώπινης ζωής
Σκόνη, PM ₁₀	Ασήμαντο	Ασήμαντο	Ομίχλη
PM _{2.5}	Ασήμαντο	Ασήμαντο	Υγεία, ομίχλη
Οσμές	Ασήμαντο	Μείζον	Υποβάθμιση ποιότητας ανθρώπινης ζωής

Το παρακάτω σχήμα 2.1 δίνει μία γενική εικόνα της πορείας των αέριων ρύπων των βιομηχανικών κτηνοτροφείων, απεικονίζοντας την εκπομπή τους, τη μεταφορά τους, την ενδεχόμενη αλλαγή της μορφής τους και τέλος την εναπόθεση τους σε διάφορα οικοσυστήματα :



Σχήμα 2.1: Η πορεία που ακολουθούν οι εκλύόμενοι από τα CAFOs αέριοι ρύποι [16]

Στο ακόλουθο τμήμα της εργασίας αναλύεται η φύση, οι πηγές και οι επιπτώσεις των σημαντικότερων εκ των προαναφερθέντων αέριων ρύπων που εκλύονται από τις μονάδες εντατικής κτηνοτροφίας.

2.2 AMΜΩΝΙΑ (NH₃)

2.2.1 Αμμωνία, ένας από τους σημαντικότερους αέριους ρύπους

Ένας από τους σημαντικότερους αέριους ρύπους σε παγκόσμιο, εθνικό και περιφερειακό επίπεδο είναι η αμμωνία, με την κύρια πηγή εκπομπής της να αποτελούν τα βιομηχανικά κτηνοτροφεία. Η αμερικανική Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος εκτιμά ότι το 64% έως και το 71% των εκπομπών αμμωνίας προέρχονται από την κτηνοτροφία και την πτηνοτροφία.

Οι εκπομπές αμμωνίας στην ατμόσφαιρα είναι σημαντικό πρόβλημα, κυρίως λόγω:

- (1) της εναπόθεσης θρεπτικών συστατικών σε ευαίσθητα σε αυτά οικοσυστήματα
- (2) του σχηματισμού φωτοσκεδαζόμενων αερολυμάτων που έχουν σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία ομίχλης και προβλημάτων όρασης
- (3) του σχηματισμού εισπνεόμενων σωματιδίων αερολυμάτων τα οποία είναι επικίνδυνα για την υγεία.

Σε τοπικό επίπεδο, η αμμωνία που παράγεται από τις επιχειρήσεις εκτροφής ζώων δεν προκαλεί ιδιαίτερη ανησυχία, καθώς είναι σπάνια αντιληπτή στις χαμηλές συγκεντρώσεις που απαντώνται εκτός των βιομηχανικών μονάδων, ως αποτέλεσμα διάλυσης και διασποράς μετά την εξάντληση της από το κτίριο. Ωστόσο, μια σημαντική ανησυχία σε τοπικό επίπεδο είναι η μυρωδιά λόγω των συνεπειών της για την ποιότητα της ζωής των ανθρώπων που κατοικούν στην περιοχή αυτή. [3,e]

2.2.2 Αμμωνία προερχόμενη από βιομηχανικά κτηνοτροφεία: φύση και συνέπειες

Η αμμωνία είναι ένα παραπροϊόν της μικροβιακής αποσύνθεσης των οργανικών ενώσεων της κοπριάς και το άζωτο εμφανίζεται ως θρεπτικό συστατικό στην κοπριά που δεν έχει απορροφηθεί, καθώς και ως ουρία στα ούρα.[6]

Η αμμωνία αποτελεί τον πιο σημαντικό αέριο ρύπο που εκλύεται από κτηνοτροφικές μονάδες. Η τροφή των ζώων είναι η κύρια πηγή εκπομπής της, αφού από εκεί χάνεται το 18-40% του αζώτου με τη μορφή αμμωνίας.[7]

Η αμμωνία που απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα από πηγές κοντά στην επιφάνεια του εδάφους (δηλαδή τα βιομηχανικά κτηνοτροφεία και λιμνοθάλασσες επεξεργασίας αποβλήτων) έχει γενικά μια σχετικά σύντομη διάρκεια ζωής, περίπου 1-5 ημέρες και μπορεί να εναποτεθεί κοντά στην πηγή μέσω ξηρών ή υγρών διεργασιών εναπόθεσης και να μολύνει τα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα.

Η αμμωνία μπορεί επίσης να συμμετάσχει σε ατμοσφαιρικές αντιδράσεις (π.χ.,μετατροπή από αέριο σε σωματίδια), σχηματίζοντας αερολύματα αμμωνίου, όπως θειικό αμμώνιο, νιτρικό αμμώνιο, χλωρικό αμμώνιο, τα οποία τείνουν να έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ατμοσφαιρικής παραμονής (1-15 ημέρες) λόγω της μείωσης της ταχύτητας της ξηρής εναπόθεσης και ως εκ τούτου μπορεί να μεταφέρονται και να αποτίθενται περαιτέρω κατάντη της πηγής.

Ενώσεις οξειδίου του αζώτου και του θείου (NO_x , SO_x) μπορούν να μετατραπούν σε νιτρικό και θειικό οξύ και έτσι να αποτελέσουν παράγοντες σχηματισμού όξινης βροχής. Η αμμωνία είναι, ωστόσο, ουσιαστικά η μόνη βάση στην αέρια φάση της ατμόσφαιρας και αντιδρά ταχέως με διαθέσιμα οξέα, κυρίως θειικό, νιτρικό και μερικές φορές υδροχλωρικό, σχηματίζοντας τα αντίστοιχα άλατα. Εάν η μοριακή συγκέντρωση της αμμωνίας είναι μικρότερη από το διπλάσιο

του επιπέδου του θειϊκού οξέος, όλη η διαθέσιμη αμμωνία μεταφέρεται στη σωματιδιακή φάση για να εξουδετερώσει σύννεφα θειϊκού οξέος και σταγονίδια σχηματίζοντας όξινο θειϊκό αμμώνιο. Εάν η συγκέντρωση της αμμωνίας είναι μεγαλύτερη από το διπλάσιο του επιπέδου θειϊκού οξέος, η περίσσεια είναι διαθέσιμη για να αντιδράσει με άλλους όξινους ατμούς. Τα νιτρικά και τα θειϊκά ανταγωνίζονται για τη διαθέσιμη αμμωνία, σχηματίζοντας σωματιδιακά αερολύματα που, ανάλογα με τη συγκέντρωσή τους, μπορούν να επηρεάσουν τα επίπεδα της ανόργανης σωματιδιακής ύλης στην ατμόσφαιρα.

Ένας επιπλέον περιβαλλοντικός κίνδυνος που συνδέεται με αερολύματα αμμωνίου είναι η εναπόθεση σε ευαίσθητα παράκτια συστήματα ποταμών, όπου το άζωτο μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένο ευτροφισμό, σε μειωμένα επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου στα ρεύματα και τις λίμνες και σε όξινη του εδάφους, το οποίο με τη σειρά του μπορεί να ανατρέψει τις ισορροπίες θρεπτικών στοιχείων των φυτών κοντά στις πηγές και να τα βλάψει. Τέλος, μπορεί να επιφέρει αλλαγές στη βιοποικιλότητα σε διάφορων ειδών οικοσυστήματα.[5,6,8]

2.2.3 Κρίσιμα όρια αμμωνίας

Σε αρκετές χώρες, η Επιθεώρηση Εργασίας έχει καθιερώσει πρότυπα για τις συγκεντρώσεις αμμωνίας, οι λεγόμενες τιμές κατωφλίου που δεν πρέπει να υπερβαίνονται, καθώς μετά από αυτή τη συγκέντρωση η εκλυόμενη αμμωνία επηρεάζει σημαντικά την παραγωγή, το περιβάλλον, την υγεία των ζώων και των εργαζομένων σε αυτές τις βιομηχανικές μονάδες, αλλά και των κατοίκων των γειτονικών οικισμών. Σε πολλές χώρες, το κρίσιμο όριο είναι 25 ppm ή 30 ppm (χρονικά σταθμισμένο) για μία εργάσιμη ημέρα (8 ώρες δουλειάς), για το προσωπικό και για το περιβάλλον διαβίωσης των ζώων. Υψηλότερο όριο εφαρμόζεται συχνά για βραχυπρόθεσμες εκθέσεις, π.χ. 35 p.p.m. επί 15 λεπτά στην Αγγλία. Ωστόσο, μερικές φορές το όριο είναι αυστηρότερο, π.χ. 10 p.p.m. για τους κτηνοτρόφους στη Σουηδία. Η κρίσιμη συγκέντρωση της αμμωνίας δεν είναι απόλυτη, αλλά εξαρτάται από την απόδοση των ανεμιστήρων εξάτμισης του βιομηχανικού κτηνοτροφείου, την ταχύτητα του αέρα, την απόσταση μέτρησης της από τους ανεμιστήρες και την ύπαρξη βλάστησης έξω από το εργοστάσιο.[7,9]

2.2.4 Παράγοντες που επηρεάζουν τις εκπομπές αμμωνίας στα βιομηχανικά χοιροτροφεία

Ο πίνακας 2.2 δίνει μια συνολική εικόνα των διαδικασιών και των παραγόντων που εμπλέκονται στην εκπομπή αμμωνίας.

Πίνακας 2.2: Σχηματική επισκόπηση των διαδικασιών και παραγόντων που εμπλέκονται στην απελευθέρωση αμμωνίας από τις κτηνοτροφικές επιχειρήσεις [9]

Διεργασίες (με τη σειρά που πραγματοποιούνται)	Ενώσεις αζώτου που εμφανίζονται	Παράγοντες που επηρεάζουν
1. Παραγωγή κοπράνων	Ουρικό οξύ, αχώνευτες πρωτεΐνες	Ζώα

2. Υποβάθμιση	Αμμωνία/αμμώνιο στην κοπριά	Συνθήκες διεργασίας (στην κοπριά): θερμοκρασία, ΡΗ, ενεργότητα νερού
3. Εξάτμιση	Αμμωνία στον αέρα	Συνθήκες διεργασίας και η αλληλεπίδρασή τους με το τοπικό κλίμα
4. Εξαερισμός	Αμμωνία στο χώρο του κτηνοτροφείου	Τοπικό κλίμα: θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ταχύτητα ανέμου
5. Έκλυση	Αμμωνία στο έξω περιβάλλον	Καθαρισμός του αέρα

Η γνώση των πηγών αζώτου και των διεργασιών της αποικοδόμησης και της εξαέρωσης οδηγεί στην ακόλουθη κατηγοριοποίηση των παραγόντων που επηρεάζουν τις εκπομπές αμμωνίας:

Σύστημα στέγασης: Το σύστημα στέγασης μπορεί να οριστεί ως ένας συνδυασμός του τυπικού συστήματος στέγασης για ένα είδος ζώου και του συστήματος επεξεργασίας των αποβλήτων ή / και του συστήματος αφαίρεσης και του συστήματος αποθήκευσης.

Ζώα: Η πρόσληψη τροφής, η σύνθεση της τροφής και η κατακράτηση αζώτου καθορίζει το άζωτο που αποβάλλεται. Κατά συνέπεια, η ηλικία, το βάρος και οι μέθοδοι ζωικής παραγωγής είναι σχετικά.

Η διατροφή των χοίρων μπορεί να επηρεάσει την ποσότητα της αμμωνίας που εκπέμπεται από όλες τις πτυχές μίας βιομηχανικής χοιροτροφικής μονάδας. Τροφές πλούσιες σε άζωτο ευνοούν υψηλότερες εκπομπές αμμωνίας. Η εξάτμιση της αμμωνίας μπορεί να μειωθεί ελαχιστοποιώντας την απέκκριση του Ν μέσα από τροφές χαμηλές σε πρωτεϊνικό περιεχόμενο. Με την προσεκτική επιλογή των ζωοτροφών στις θρεπτικές ανάγκες του ζώου μπορούμε να μειώσουμε την απέκκριση Ν χωρίς να επηρεαστεί η απόδοση των χοίρων. Βελτιώνοντας την σύνθεση των ζωοτροφών με τον περιορισμό απαραίτητων αμινοξέων μπορούμε να επιτύχουμε την ενίσχυση της πρόσληψης Ν από τις ζωοτροφές. Οι τροφές των ζώων μπορούν να συνδυαστούν για να δημιουργήσουν την επιθυμητή ισορροπία αμινοξέων, ή μπορούν να συμπληρωθούν με τεχνητές πηγές περιορισμού αμινοξέων. Η διατροφή μπορεί να προσαρμοστεί ανάλογα με την ηλικία, το μέγεθος, ή το φύλο των ζώων. Προκειμένου να εφαρμοστούν αποτελεσματικά τροποποιήσεις της διατροφής με στόχο τη μείωση των εκπομπών αμμωνίας, οι αλλαγές θα πρέπει να είναι πρακτικές αλλά και οικονομικά συμφέρουσες.[10]

Οι εκπομπές αμμωνίας μπορούν επίσης να μειωθούν με τη μείωση του pH των ούρων ή και της κοπριάς. Σε κτίρια εκμεταλλεύσεων χοίρων όπου ένα μεγάλο μέρος της εκπομπής NH_3 προέρχεται από τα ούρα που εναποτίθενται στο πάτωμα και όχι από την κοπριά κάτω από τις σχάρες, η αλλαγή του pH των ούρων είναι πιο αποτελεσματική. Το pH των ούρων - κοπράνων μπορεί να μειωθεί με την αντικατάσταση του CaCO_3 στη διατροφή των χοίρων με CaSO_4 ή CaCl_2 ή με προσθήκη στην τροφή αδιπικού ή φωσφορικού οξέος. Μια άλλη δυνατότητα για τη

μείωση των εκπομπών NH_3 στα βιομηχανικά χοιροτροφεία είναι η αλλαγή της αναλογίας της απέκκρισης N στα ούρα και τα κόπρανα με την προσθήκη ζυμώσιμων υδατανθράκων στη διατροφή. Ωστόσο, η μετατόπιση της απέκκρισης N από τα ούρα στα περιττώματα μπορεί να μειώσει τις συνολικές εκλύσεις NH_3 . [10]

Εσωτερικό κλίμα: Το εξωτερικό κλίμα, ιδίως θερμοκρασία, έχει σημαντική επίδραση στη θερμοκρασία, τη σχετική υγρασία και το ρυθμό ανταλλαγής του αέρα στο εσωτερικό ενός κτιρίου. Ο ρυθμός εξαερισμού και το σύστημα εξαερισμού (φυσικό ή μηχανικό), μαζί με την τοποθέτηση των ανοιγμάτων εισόδου και εξόδου καθορίζουν το μοτίβο ροής του αέρα και ως εκ τούτου, την ταχύτητα και τη θερμοκρασία του αέρα πάνω από τις επιφάνειες που εκλύουν αμμωνία

Διαχείριση: Παραδείγματα των παραγόντων διαχείρισης περιλαμβάνουν τη διαχείριση των απορριμμάτων, του εξαερισμού και τη φροντίδα του ζώα. [9]

2.2.5 Πηγές εκπομπής αμμωνίας στα βιομηχανικά χοιροτροφεία

Η αμμωνία εκπέμπεται από τρεις κύριες πηγές στις βιομηχανικές χοιροτροφικές μονάδες:

- Από τη στέγαση των χοίρων
- Από την αποθήκευση και την επεξεργασία της κοπριάς και
- Από την εφαρμογή της κοπριάς στη γη

Στέγαση χοίρων και διαχείριση κοπριάς

Ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος τύπος στέγασης στα βιομηχανικά χοιροτροφεία είναι ο πλήρους εγκλεισμού, όπου εκτρέφονται χοίροι σε στάβλους σε περιβαλλοντικά ελεγχόμενα κτίρια. Ωστόσο, σε μικρότερες επιχειρήσεις, οι χοίροι μπορεί να εκτρέφονται σε βοσκότοπους, σε ανοιχτούς χώρους, ή ανοικτά κτίρια με ή χωρίς εξωτερική πρόσβαση. Επί του παρόντος στις ΗΠΑ στις χοιροτροφικές επιχειρήσεις επικρατεί ολοένα και περισσότερο η χρησιμοποίηση του τύπου στέγασης πλήρους εγκλεισμού λόγω των πλεονεκτημάτων στις οικονομίες κλίμακας, ιδίως στους τομείς της εργασίας, των ζωοτροφών, και της διαχείρισης των εγκαταστάσεων.

Η αμμωνία που εκπέμπεται από τα κτίρια προέρχεται από την αποσύνθεση του αζώτου στα κόπρανα, τα ούρα, και τα απόβλητα ζωοτροφών στο πάτωμα. Επιπλέον, η NH_3 προέρχεται από την αποθήκευση κοπριάς σε υπόγεια συστήματα δικτυωτού δαπέδου (σχάρες). Οι εκπομπές λόγω της στέγασης απομακρύνονται εύκολα από τη βιομηχανική μονάδα με τον εξαερισμό.

Οι εγκαταστάσεις στις οποίες γίνεται η εκτροφή των χοίρων κατά κύριο λόγο χαρακτηρίζονται από το σύστημα εξαερισμού (φυσικό ή μηχανικό) και τις πρακτικές διαχείρισης κοπριάς. Η κοπριά μπορεί να αντιμετωπιστεί είτε ως υγρό είτε ως στερεό. Σε εγκαταστάσεις πλήρους εγκλεισμού με συστήματα διαχείρισης υγρών, χρησιμοποιούνται στην πράξη τέσσερα είδη συστημάτων διαχείρισης κοπριάς, των εξής τύπων: deep pit, pull plug, pit recharge και flush. Οι εγκαταστάσεις ολικού εκλεισμού συνήθως έχουν δικτυωτά δάπεδα για να διαχωρίζεται η κοπριά

από τα ζώα, με εξαίρεση ορισμένα που μπορεί να έχουν στερεά δάπεδα και ανοιχτές υδρορροές. Η κοπριά πέφτει μέσα από τις σχάρες, όπου αποθηκεύεται για ένα χρονικό διάστημα που κυμαίνεται από μερικές ώρες έως αρκετούς μήνες. Έπειτα, η κοπριά απομακρύνεται περιοδικά σε μία εγκατάσταση αποθήκευσης / σταθεροποίησης / επεξεργασίας ή απευθείας σε μια περιοχή εφαρμογής της στη γη. Μερικά υπολείμματα κοπριάς μένουν στο πάτωμα, στις σχάρες και στους τοίχους και οι εκλύσεις αμμωνίας από αυτές τις πηγές μπορεί να είναι σημαντικές.

Τα συστήματα διαχείρισης στερεάς κοπριάς περιλαμβάνουν τα συστήματα τύπου open building with lots, τύπου open building with scraped lots, τύπου hoop houses, τύπου deep bed or litter και τύπου High-Rise hog houses. Η στερεά κοπριά αποθηκεύεται σε στοίβες ή καλύπτεται μέχρι να χρησιμοποιηθεί ως λίπασμα. Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα στερεά κομποστοποιούνται πριν από την εφαρμογή τους στη γη.

Οι εκπομπές αμμωνίας από τα κτίρια αυξάνονται με την ηλικία των χοίρων και την αύξηση των ακαθαρσιών τους. Η πρόσληψη νερού και ζωοτροφών επίσης αυξάνει με την ηλικία των χοίρων. Εν γένει, υψηλότερη πρόσληψη τροφής οδηγεί σε απέκκριση περισσότερου N στα ούρα, η οποία με τη σειρά της ενισχύει τις εκπομπές NH_3 . Οι ακαθαρσίες των χοίρων αυξάνονται προς το τέλος της περιόδου ανάπτυξης τους, οπότε και οι χοίροι γίνονται βαρύτεροι. Μερικές φορές, λόγω έλλειψης χώρου, ιδιαίτερα σε κτίρια με δικτυωτά δάπεδα και υπόγεια αποθήκευση κοπριάς, οι χοίροι ξαπλώνουν στο δικτυωτό δάπεδο, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει αύξηση της θερμοκρασίας ροής του αέρα στους λάκκους και κατ' επέκταση αύξηση στις εκπομπές NH_3 .

Αποθήκευση και επεξεργασία της κοπριάς

Τα βιομηχανικά χοιροτροφεία έχουν συνήθως χωρητικότητα αποθήκευσης κοπριάς για 3 έως 12 μήνες. Τυπικά συστήματα αποθήκευσης περιλαμβάνουν δεξαμενές, πηλίνες λεκάνες, υπόγεια φρεάτια, αποθέματα, και αναερόβιες λιμνοθάλασσες. Οι αναερόβιες λιμνοθάλασσες παρέχουν τόσο την αποθήκευση όσο και την επεξεργασία της κοπριάς. Η χρήση δεξαμενών και λιμνών αποθήκευσης περιορίζεται συνήθως σε επιχειρήσεις όπου η κοπριά αντιμετωπίζεται ως πολτός.

Οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης κοπριάς περιλαμβάνουν λιμνοθάλασσες και χωνευτήρια (αερόβια και αναερόβια) και διεργασίες κομποστοποίησης. Οι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την εξάτμιση NH_3 από τα συστήματα αποθήκευσης και επεξεργασίας της κοπριάς περιλαμβάνουν την ταχύτητα του ανέμου πάνω από την επιφάνεια της κοπριάς, την υγρασία, τη θερμοκρασία, το εμβαδόν της επιφάνειας, τη διάρκεια αποθήκευσης, την κάλυψη της επιφάνειας, και το είδος της διαδικασίας επεξεργασίας (αερόβια ή αναερόβια). Οι απώλειες αμμωνίας είναι πολύ υψηλότερες από την κοπριά που αποθηκεύεται σε ανοικτές δεξαμενές και λιμνοθάλασσες από ό,τι από την κοπριά που αποθηκεύεται σε δεξαμενές και λιμνοθάλασσες που καλύπτονται. Με την αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνεται η ανοργανοποίηση του οργανικού N στον πολτό, αυξάνοντας έτσι την παραγωγή και εκπομπή NH_3 .

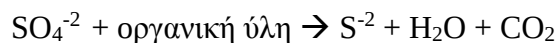
Πολλά βιομηχανικά χοιροτροφεία στις ΗΠΑ χρησιμοποιούν αναερόβιες δεξαμενές για την επεξεργασία και τη προσωρινή αποθήκευση. Η συγκέντρωση του αζώτου στις λιμνοθάλασσες που λειτουργούν σωστά, θα πρέπει να είναι αρκετά χαμηλότερη συγκριτικά με την ακατέργαστη κοπριά, λόγω της διάλυσης, της διευθέτησης των στερεών και της εξάτμισης των αζωτούχων αερίων. Ωστόσο, η διαχείριση και οι κλιματικές μεταβολές έχουν μεγάλη επιρροή στις συγκεντρώσεις θρεπτικών ουσιών. Η ροή της αμμωνίας από τις λιμνοθάλασσες εμφανίζει ημερήσιες και εποχιακές διακυμάνσεις, με τη μέγιστη να προκύπτει κατά τη διάρκεια της ημέρας και το καλοκαίρι, αντίστοιχα.

Εφαρμογή της κοπριάς στο έδαφος

Η κοπριά που παράγεται από τις εγκαταστάσεις εγλεισμού μπορεί να εφαρμοστεί στη γη υπό τη μορφή υγρού αλλά και πολτού. Στις νότιες και νοτιοανατολικές περιοχές των ΗΠΑ, όπου χρησιμοποιούνται συνήθως λιμνοθάλασσες για την αποθήκευση και την επεξεργασία της κοπριάς των χοίρων, τα λύματα αρδεύονται σε κοντινή καλλιέργεια χρησιμοποιώντας συστήματα ψεκασμού ή εξατμίζονται στην ατμόσφαιρα σε λίμνες εξάτμισης. Η εξάτμιση της αμμωνίας είναι μια σημαντική διαδικασία για την απώλεια N από την κοπριά που χρησιμοποιούμε σε εφαρμογές στη γη. Η χαμένη NH₃ οδηγεί σε αναποτελεσματικότητα και αβεβαιότητα στη διαχείριση του N στις μονάδες. Η απώλεια αμμωνίας από την κοπριά που εφαρμόζεται στη γη εξαρτάται από μετεωρολογικούς παράγοντες, από τα χαρακτηριστικά της κοπριάς, την τεχνική εφαρμογής της, και τις παραμέτρους του εδάφους. Οι μετεωρολογικοί παράγοντες περιλαμβάνουν τη θερμοκρασία, τη βροχόπτωση, τη σχετική υγρασία και την ταχύτητα του ανέμου. Τα χαρακτηριστικά της κοπριάς περιλαμβάνουν τη συγκέντρωση TAN, την περιεκτικότητα σε στερεά, και το pH. Τα χαρακτηριστικά του εδάφους περιλαμβάνουν την περιεκτικότητα σε υγρασία, την ικανότητα απορρόφησης νερού, την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, το pH, και τη ρυθμιστική ικανότητα.[10]

2.3 ΥΔΡΟΘΕΙΟ (H₂S) ΚΑΙ ΟΣΜΕΣ

Το υδρόθειο είναι ένα άχρωμο, δυνητικά επιβλαβές αέριο που απελευθερώνεται από την κοπριά των χοίρων. Παράγεται καθώς η κοπριά αποσυντίθεται υπό αναερόβιες συνθήκες, προερχόμενο από την ανοργανοποίηση των οργανικών θειούχων ενώσεων, καθώς και από την αναγωγή των οξειδωμένων ανόργανων ενώσεων του θείου, όπως το θειικό, από βακτήρια που ανάγουν το θείο, όπως το *Vibrio desulfuricans*. Η τελευταία διεργασία παραγωγής του γίνεται μέσω των ακόλουθων αντιδράσεων:



Με ένα χαμηλό όριο οσμής που κυμαίνεται από τα 0,0005 έως τα 0,3 ppm , είναι ένα από τα κύρια αέρια που απελευθερώνονται από τις εγκαταστάσεις των χοιροτροφείων και σχετίζεται με πολλές καταγγελίες οσμής εξαιτίας της χαρακτηριστικής του μυρωδιάς σαν σάπιο αυγό.

Ωστόσο, σημειώνεται ότι το υδρόθειο είναι μόνο ένα εκ των πολλών οσμηρών αερίων που εκλύονται από τα χοιροτροφεία. Με παρόμοιο τρόπο με το υδρόθειο, όταν οξειδωμένες οργανικές ενώσεις ανάγονται σε οργανικά οξέα, όπως το οξικό, το βουτυρικό, βαλερικά οξέα, σε ινδόλες, σε σκατόλες, σε μερκαπτάνες, σε μεθυλαμίνες, σε αμμωνία , παράγουν δυσάρεστες οσμές.

Οι πιθανές αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία, των συνολικών οσμηρών εκπομπών από τις εγκαταστάσεις εκτροφής χοίρων έχουν εντοπιστεί σε εργαζόμενους σε αυτά και τους γειτονικούς κατοίκους, και περιλαμβάνουν ασθένειες του αναπνευστικού συστήματος, όπως βρογχίτιδα και άσθμα, αλλά και αύξηση του ψυχολογικού στρες.[6,11]

2.4 ΑΕΡΙΑ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

2.4.1 Μεθάνιο (CH₄)

Το μεθάνιο είναι ένα δραστικό αέριο του θερμοκηπίου, το οποίο βρίσκεται στην ατμόσφαιρα σε συγκέντρωση 1,7 ppm και έχει μεγάλο χρόνο παραμονής σε αυτή (5-10 χρόνια). Τα βιομηχανικά χοιροτροφεία εκλύουν τεράστιες ποσότητες μεθανίου ετησίως το οποίο κυρίως προέρχεται από την εντερική ζύμωση των ζώων και από τη διαχείριση της κοπριάς τους.

Μεθάνιο από την εντερική ζύμωση

Το μεθάνιο είναι ένα άμεσο προϊόν του μεταβολισμού των ζώων που παράγεται κατά τη διαδικασία της πέψης. Η ποσότητα του μεθανίου που παράγεται και εκκρίνεται εξαρτάται από το πεπτικό σύστημα των ζώων και την ποσότητα και το είδος της ζωοτροφής. Τα γαλακτοπαραγωγικά βοοειδή είναι η μεγαλύτερη πηγή εκπομπών μεθανίου από εντερικές ζυμώσεις, ωστόσο και οι χοίροι αποτελούν μία σημαντική πηγή.

Μεθάνιο από τη διαχείριση κοπριάς

Το μεθάνιο παράγεται υπό τις συνθήκες της αναερόβιας αποσύνθεσης της κοπριάς. Οι μέθοδοι αποθήκευσης της κοπριάς, στις οποίες οι αναερόβιες συνθήκες υπερισχύουν (υγρή κοπριά ζώων σε σηπτικούς λάκκους) είναι ευνοϊκές για την αναερόβια αποσύνθεση των οργανικών ουσιών και την απελευθέρωση του μεθανίου.

Ακόμα, εδάφη με μεγάλη υγρασία, συμπεριλαμβανομένων των CAFOs και των δεξαμενών αποβλήτων, εκπέμπουν τεράστιες ποσότητες μεθανίου.

Το μεθάνιο αντιδρά με ρίζες υδροξυλίου •OH για να σχηματίσει φορμαλδεΰδη, HCHO. Η φορμαλδεΰδη υπόκειται σε φωτολυτική οξείδωση για να σχηματίσει μονοξείδιο του άνθρακα, και τελικά διοξείδιο του άνθρακα το οποίο είναι ένα από τα βασικότερα αέρια του θερμοκηπίου με επίσης μεγάλη χρονική διάρκεια παραμονής στην ατμόσφαιρα.[8,12,13]

2.4.2 Υποξείδιο του αζώτου (N₂O)

Το 2011, το υποξείδιο του αζώτου αντιπροσώπευε περίπου το 5 % του συνόλου των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από ανθρώπινες δραστηριότητες στις Η.Π.Α.. Το υποξείδιο του αζώτου υπάρχει στη φύση, στην ατμόσφαιρα, ως μέρος του κύκλου του αζώτου της Γης και προέρχεται από ποικίλες φυσικές πηγές. Ωστόσο, οι ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως η γεωργία, η κτηνοτροφία, η καύση ορυκτών καυσίμων, η διαχείριση υδατικών αποβλήτων, καθώς και βιομηχανικές διαδικασίες είναι υπεύθυνες για την αύξηση του ποσού του N₂O στην ατμόσφαιρα. Το υποξείδιο του αζώτου παραμένει στην ατμόσφαιρα για κατά μέσο όρο 120 χρόνια. Ο αντίκτυπος από μισό κιλό N₂O στην αύξηση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας είναι πάνω από 300 φορές μεγαλύτερος συγκρινόμενος με μισό κιλό CO₂. [f]

Το 2011, ακόμα, στις Η.Π.Α, υπολογίστηκε ότι το 69% των εκπομπών υποξειδίου του αζώτου προέρχονται από την γεωργία και την κτηνοτροφία. Συγκεκριμένα, όσον αφορά την κτηνοτροφία το N₂O εκπέμπεται από:

- όλα τα συστήματα διαχείρισης ζωικών αποβλήτων. Αυτό περιλαμβάνει τις εκπομπές από αναερόβιες λιμνοθάλασσες, υγρά συστήματα, συστήματα αποθήκευσης στερεών, καθώς και άλλα συστήματα.
- την εφαρμογή συνθετικών λιπασμάτων σε καλλιέργειες από τις οποίες τρέφονται τα ζώα
- από την ανοργανοποίηση εδαφών που αποτελούνται κυρίως από οργανική ύλη
- από την κοπριά και τα ούρα των ζώων

Η συνεισφορά των κτηνοτροφικών μονάδων, μέσω των ζωικών αποβλήτων και των χρησιμοποιούμενων λιπασμάτων στην εκπομπή του υποξειδίου του αζώτου έχει υπολογιστεί στο 8 % περίπου των παγκόσμιων εκπομπών.[12,f]

2.5 ΣΚΟΝΗ ΚΑΙ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

2.5.1 Σκόνη από βιομηχανικά κτηνοτροφεία

Η σκόνη που εκπέμπεται από τις κτηνοτροφικές μονάδες υψηλής πυκνότητας προέρχεται από την τροφή των ζώων, το υλικό που χρησιμοποιείται για να δημιουργήσουν κρεβάτια για τα ζώα και από τα ίδια τα ζώα. Η σκόνη των βιομηχανικών κτηνοτροφείων και πτηνοτροφείων αποτελείται έως και 90% από οργανική ύλη. Οι οργανικές, συγκεκριμένα, σκόνες των

κτηνοτροφικών μονάδων περιλαμβάνουν σιτηρά και άλλα, προερχόμενα από φυτά, σωματίδια, ζωικές τρίχες, ούρα, κόπρανα, μικροοργανισμούς και άλλων ειδών σωματίδια. Ένα μικρό ποσό εισέρχεται στις εγκαταστάσεις με τον εισερχόμενο αέρα εξαερισμού. Τα σωματίδια σκόνης είναι φορείς αερίων, μικροοργανισμών, ενδοτοξινών και διάφορων άλλων ουσιών, όπως δερματικά κύτταρα και σωματίδια κοπριάς.

Το ποσό της αιωρούμενης σκόνης σε μία κτηνοτροφική εγκατάσταση παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια της ημέρας και ανάλογα με το είδος του ζώου. Τα όρια έκθεσης που έχει θέσει η Διοίκηση Επαγγελματικής Ασφάλειας και Υγείας στις Η.Π.Α για τη σκόνη είναι 15 mg/m^3 , για μία εργάσιμη μέρα (8 εργάσιμες ώρες), για το προσωπικό στο χώρο του κτηνοτροφείου, ωστόσο πολλοί επιστήμονες θεωρούν ότι αυτά τα όρια είναι ιδιαίτερος υψηλά και λαμβάνοντας υπόψη τους τη συνδυαστική επίδραση σκόνης και αμμωνίας συνιστούν όρια της τάξης των $2,5 \text{ mg/m}^3$. Πρόσφατες έρευνες που διεξήχθησαν σε 329 εγκαταστάσεις, σε τέσσερις διαφορετικές χώρες της Ε.Ε. οδήγησαν στις συγκεντρώσεις σκόνης που δίνονται στον πίνακα 2.3. Τα αποτελέσματα δίνονται σε μέσες τιμές για 24 ώρες για εισπνεύσιμη και αναπνεύσιμη σκόνη. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις σκόνης εντοπίστηκαν σε εγκαταστάσεις πουλερικών, ακολουθούμενες από τις εγκαταστάσεις χοίρων και βοοειδών. [11,14,15]

Πίνακας 2.3: Μέσες συγκεντρώσεις σκόνης σε βιομηχανικά κτηνοτροφεία ανάλογα με το είδος των εκτρεφόμενων ζώων (σε mg/m^3) [14]

Είδος ζώων	Εισπνεύσιμη σκόνη	Αναπνεύσιμη σκόνη
Βοοειδή	0,15-1,01	0,04-0,09
Μοσχάρια	0,26-0,33	0,03-0,08
Αγελάδες	0,10-1,22	0,03-0,17
Χοίροι Πάχυνσης	1,21-2,67	0,10-0,29
Χοιρομητέρες	0,63-3,49	0,09-0,46
Χοιρίδια	2,80-5,50	0,15-0,43
Κοτόπουλα	3,83-10,4	0,42-1,14
Κότες ωοπαραγωγοί	0,75-8,78	0,03-1,26

Η εισπνεύσιμη σκόνη και η αναπνεύσιμη σκόνη είναι δύο τύποι κλασμάτων σωματιδίων. Κυρίως όμως οι περιβαλλοντικοί επιστήμονες μετρούν δύο άλλα κλάσματα σωματιδίων, τα $\text{PM}_{2.5}$ και τα PM_{10} που είναι σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από $2.5 \mu\text{m}$ και $10 \mu\text{m}$ αντίστοιχα και έχουν τις ίδιες επιδράσεις με την εισπνεύσιμη και την αναπνεύσιμη σκόνη.

Το μεγαλύτερο μέρος της σκόνης διασπείρεται στο περιβαλλόν μέσω των ανεμιστήρων εξαερισμού των βιομηχανικών κτηνοτροφείων και χοιροτροφείων. Εάν υποθεθεί ότι η μέση συγκέντρωση σκόνης είναι 2 mg/m^3 στον εξερχόμενο αέρα ενός χοιροστασίου που στεγάζει 1000 χοίρους πάχυνσης και ο μέσος ρυθμός εξαερισμού είναι $200 \text{ m}^3/\text{LU}$ ανά ώρα (LU = κτηνοτροφική μονάδα, και ισούται με 500 kg ζώντος βάρους) σε όλο το έτος, οι συνολικές

εκπομπές σκόνης ανά έτος θα είναι περίπου 500 κιλά. Ο ρυθμός εκπομπής της εισπνεόμενης σκόνης από βιομηχανικά κτηνοτροφεία είναι περίπου 60 mg/LU ανά ώρα. [11,14,15]

2.5.2 Μικροοργανισμοί μεταφερόμενοι με τη σκόνη

Μαζί με τα σωματίδια σκόνης μπορούν να μεταφερθούν και σωματίδια βιολογικής προέλευσης, όπως επικίνδυνοι μικροοργανισμοί για το αναπνευστικό σύστημα και προϊόντα που μπορούν να παράγουν. Τέτοιοι είναι παθογόνα βακτηρίδια, ιοί, μύκητες, αεροαλλεργιογόνα, σπόρια μυκήτων και βακτηρίων, αλλά και τα προϊόντα τους, όπως ενδοτοξίνες, βακτηριακό DNA ή άλλες οργανικές ουσίες και να προκαλέσουν μολύνσεις. Στα σωματίδια σκόνης μπορούν ακόμα να προσροφηθούν αμμωνία και οσμές. Τα βιώσιμα βακτήρια και ιοί που μεταφέρονται στον αέρα από τα σωματίδια σκόνης μπορεί να έχουν μεγαλύτερη ικανότητα να επιβιώσουν και να προκαλέσουν κάποιο είδος μόλυνσης στους οργανισμούς που θα έρθουν σε επαφή μαζί τους. Οι ενδοτοξίνες, είναι ιδιαίτερα σημαντικές, καθώς μπορούν να προκαλέσουν αλλεργικές αντιδράσεις στους αεραγωγούς των ευαίσθητων ανθρώπων, ακόμη και σε χαμηλές συγκεντρώσεις.

Συνήθως οι μικροοργανισμοί και οι ενδοτοξίνες (λιποπολυσακχαρίτες, LPS) που σχετίζονται με τη σωματιδιακή ύλη αντιπροσωπεύουν ένα βιολογικώς δραστικό αεροζόλ (βιοαεροζόλ). Τα σωματίδια σκόνης βιολογικής προέλευσης (βιοαεροζόλ) παρουσιάζουν βιολογική δράση που υποδεικνύεται από τη βιωσιμότητα, τη μολυσματικότητα, την αλλεργιογόνο δράση, τη τοξικότητα ή τη φαρμακολογική δραστηριότητα τους.

Χαρακτηριστικά παραδείγματα βιοαεροζόλ είναι από βακτήρια τα *Enterobacter*, *Acinetobacter*, *Enterococcus*, *Moraxella*, *Pseudomonas*, *Escherichia coli*, *Enterococcus*, *Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Bacillus*, *Aerococcus*, *Micrococcus*, από μύκητες οι *Aspergillus*, *Scopulariopsis*, *Penicillium*, *Geotrichum*, *Mucor*, *Fusarium* και από ζύμες οι *Candida*, *Cryptococcus*, *Toruiopsis*, *Trichosporon*, *Rhodotorula*, *Hansenula*.

Οι μικροοργανισμοί και οι ενδοτοξίνες ανήκουν στους εξέχοντες αέριους ρύπους των βιομηχανικών κτηνοτροφικών εγκαταστάσεων που έχουν συνδεθεί με διάφορες ασθένειες της παραγωγής και οι οποίοι αποτελούν κίνδυνο για την υγεία των εργαζομένων και των κατοίκων των γειτονικών περιοχών. Συγκρίνοντας τους διαφόρους τύπους κτηνοτροφικών βιομηχανιών, οι συγκεντρώσεις των αερομεταφερόμενων μικροοργανισμών έχει βρεθεί ότι είναι ιδιαίτερα υψηλές σε εγκαταστάσεις εκτροφής χοίρων και πουλερικών. Οι συγκεντρώσεις των μικροοργανισμών αυτών στη σωματιδιακή ύλη των χοιροτροφικών εγκαταστάσεων έχουν βρεθεί να είναι δέκα έως εκατό φορές μεγαλύτερες από αυτές που συναντώνται συνήθως στη φύση.

Οι ποσότητες π.χ. των βακτηρίων στον αέρα των εγκαταστάσεων μπορούν να είναι πολύ υψηλές κατά καιρούς, αλλά παρουσιάζουν τεράστιες διακυμάνσεις που εξαρτώνται από καθημερινές και εποχιακές επιδράσεις, καθώς και από τα είδη των ζώων και το σύστημα στέγασης και διαχείρισης. Πρόσφατες μελέτες έχουν δείξει ότι οι εκπομπές βιοαεροζόλ μπορούν να μειωθούν με την εγκατάσταση βιολογικών φίλτρων ή bioscrubbers. Αυτές οι συσκευές έχουν δημιουργηθεί

κυρίως με σκοπό τη μείωση των οσμών και των εκπομπών αμμωνίας, αλλά μπορούν επίσης να ελέγξουν τις εκπομπές των βιοαεροζόλ. [11,14,15]

2.6 ΠΤΗΤΙΚΕΣ ΟΡΓΑΝΙΚΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ (VOCs), ΝΙΤΡΙΚΑ ΟΞΕΙΔΙΑ (NO_x) ΚΑΙ ΟΖΟΝ (O_3)

Οι πτητικές οργανικές ενώσεις που εκλύονται από τα βιομηχανικά κτηνοτροφεία, μέσω της αλληλεπίδρασής τους με τις εκπομπές των νιτρικών οξειδίων διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην ατμοσφαιρική φωτοχημεία. Αυτές οι ενώσεις μπορεί να δράσουν ως πρόδρομοι για το σχηματισμό του όζοντος στην τροπόσφαιρα. Οι υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος ενισχύουν το ατμοσφαιρικό φαινόμενο του θερμοκηπίου και η απόθεση του μπορεί να μειώσει την παραγωγικότητα καλλιεργειών, δασών και των φυσικών οικοσυστημάτων. Το όζον έχει επίσης σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου.[16]

3. ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΤΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΟΙΡΟΤΡΟΦΕΙΩΝ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι εκπομπές αμμωνίας, σκόνης, οσμηρών αερίων αλλά και άλλων αερίων ρυπαντών αποτελούν μια αυξανόμενη ανησυχία για τα χοιροτροφεία τόσο από περιβαλλοντική άποψη όσο και από άποψη σχέσεων με το προσωπικό τους και τους γειτονικούς οικισμούς. Το καλοκαίρι ιδιαίτερα, είναι μία κρίσιμη εποχή, καθώς λόγω της εντατικότερης λειτουργίας των συστημάτων εξαερισμού των μονάδων οι εκλύσεις μεγιστοποιούνται και έρχονται στην επιφάνεια πολλές καταγγελίες για τις εκλύσεις των χοιροτροφείων από γειτονικούς οικισμούς, αφού ο καιρός είναι ζεστός και οι γείτονες επιδίδονται σε περισσότερες υπαίθριες δραστηριότητες. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών υπήρξε μία αύξηση του αριθμού των νομικών υποθέσεων που αφορούν καταγγελίες ενόχλησης των γειτόνων κτηνοτροφικών βιομηχανιών. Οι ανησυχίες για αυτό το ζήτημα έχουν γίνει εντονότερες με την αστικοποίηση, καθώς όλο και περισσότεροι άνθρωποι καταφεύγουν στην εξοχή και μένουν κοντά σε τέτοιες μονάδες, αλλά κυρίως λόγω της αύξησης του μεγέθους των μονάδων αυτών.

Τα βιομηχανικά χοιροτροφεία έχουν επενδύσει τα τελευταία χρόνια σε διάφορες μεθόδους και στρατηγικές με στόχο τη μείωση των εκλύσεων όλων των αερίων ρύπων τους, με τον κυριότερο στόχο να αποτελεί η αμμωνία. Οι πιο χαρακτηριστικές εξ αυτών είναι οι ακόλουθες:

- η εφαρμογή ειδικών διαίτων των ζώων με μειωμένα κάποια συστατικά που είναι υπαίτια για τις εκλύσεις των ρύπων, ή χρησιμοποιώντας συμπληρώματα και πρόσθετα
- η τακτική παρακολούθηση μέσω διαφόρων συστημάτων της πυκνότητας των ζώων
- η εγκατάσταση διαφόρων τύπων φίλτρων και παγίδων εξαερισμού
- η χρησιμοποίηση σπρέι γαλακτώματος.
- η εφαρμογή ειδικών συστημάτων διαχείρισης των αποβλήτων των ζώων και γενικότερα των απορριμμάτων της βιομηχανίας [7,g]

3.2 ΖΩΝΕΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΣΥΣΤΑΣΗΣ: ΜΙΑ ΝΕΑ ΠΡΟΟΠΤΙΚΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΗΣ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΤΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΕΙΩΝ

Οι διάφορες διατροφικές στρατηγικές αλλά και οι υπόλοιπες τεχνολογικές λύσεις για τον περιορισμό των εκπομπών αμμωνίας, σκόνης και άλλων αερίων ρυπαντών των βιομηχανικών κτηνοτροφείων δεν έχουν κανένα αποτέλεσμα από τη στιγμή που οι ρύποι περάσουν από τους ανεμιστήρες εξαέρωσης και βγουν στην ατμόσφαιρα. Έτσι τα τελευταία χρόνια, και λόγω της προσπάθειας της βιομηχανικής κτηνοτροφίας για χρησιμοποίηση όσο το δυνατόν οικονομικά

συμφερουσών πρακτικών, αρχίζει να υιοθετείται μία νέα πρακτική-τεχνολογία με πολλές προοπτικές, η στρατηγική φύτευση δέντρων ή άλλων ειδών βλάστησης γύρω από τους ανεμιστήρες εξαέρωσης των βιομηχανικών κτηνοτροφείων. Οι σειρές των δέντρων που φυτεύονται με αυτό το στόχο μπορούν να αποδοθούν ως ζώνες προστασίας φυτικής σύστασης για την απορρόφηση ή την παρεμπόδιση μεταφοράς ρύπων, με την διεθνή ονομασία τους να είναι vegetative shelterbelts/vegetative environmental buffers (σε συντομογραφία VEBs). Στην εικόνα 3.1 φαίνεται ένα παράδειγμα ζώνης προστασίας φυτικής σύστασης :



Εικόνα 3.1: Ζώνη προστασίας φυτικής σύστασης

Αυτή η μέθοδος βασίζεται σε έρευνες που έχουν δείξει ότι η φύτευση δέντρων γύρω από κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις βοήθησε στην ελαχιστοποίηση της διασποράς της αμμωνίας και της σκόνης από τις εγκαταστάσεις των κτηνοτροφείων, αλλά προσέφερε και άλλα πλεονεκτήματα σε περιβαλλοντικό, ενεργειακό, οικονομικό και κοινωνικό επίπεδο. Πριν από κάποιο καιρό οι βιομηχανίες κτηνοτροφίας δεν συνιστούσαν τη φύτευση δέντρων ή θάμνων γύρω από τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις, καθώς υπήρχε ο φόβος ότι θα επηρεάσει την περίοδο του καλοκαιριού το φυσικό εξαερισμό στις εγκαταστάσεις ανοικτού πλευρικού τοιχώματος. Τώρα όμως ο τύπος των εγκαταστάσεων άλλαξε και χρησιμοποιούνται συστήματα τύπου σήραγγας, blackout και χωρίς παράθυρα, έτσι ο φόβος αυτός έχει εξαλειφθεί και η βιομηχανική κτηνοτροφία γνωρίζοντας πλέον τα πολύπλευρα οφέλη της, από τις συστηματικές μελέτες που διενεργούνται πάνω σε αυτή την πρακτική, αρχίζει να την υιοθετεί όλο και περισσότερο. [7,g]

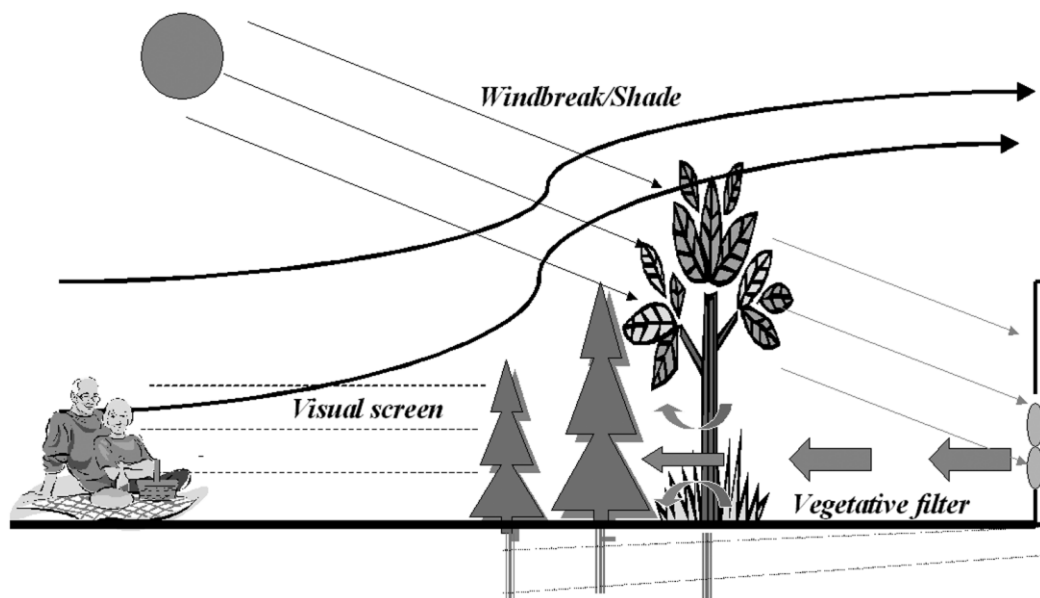
3.3 ΟΦΕΛΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΖΩΝΩΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΣΥΣΤΑΣΗΣ

3.3.1 Τα βασικά πλεονεκτήματα της χρησιμοποίησης των ζωνών προστασίας φυτικής σύστασης

Στα πλαίσια της προστασίας του περιβάλλοντος, της βελτίωσης των σχέσεων της βιομηχανικής κτηνοτροφίας με τους γειτονικούς οικισμούς, αλλά και της ενίσχυσης της βιοασφάλειας των ίδιων των εγκαταστάσεων υπάρχουν τρία κύρια πλεονεκτήματα ενός προγράμματος δενδροφύτευσης έξω από τους ανεμιστήρες εξαέρωσης των βιομηχανικών κτηνοτροφείων:

- τα δέντρα έχουν τη δυνατότητα να φιλτράρουν και να μειώσουν τις εκπομπές αμμωνίας, διαφόρων άλλων οσμηρών αερίων, σκόνης και σωματιδίων, αλλά και την απόθεση θρεπτικών συστατικών που μπορεί να βλάψουν τα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα
- λειτουργούν σαν οπτικό τείχος ως προς τις δραστηριότητες της εγκατάστασης για τα γειτονικά σπίτια και περιορίζουν τους ήχους των εργασιών της εγκατάστασης, συνεισφέροντας έτσι στη βελτίωση της δημόσιας εικόνας του κλάδου, όντας μία περιβαλλοντική πρωτοβουλία
- λειτουργούν ως ανεμοφράκτες και σκιά [g]

Στο παρακάτω σχήμα 3.1 φαίνονται σχηματικά τα προαναφερθέντα οφέλη χρησιμοποίησης ζωνών προστασίας φυτικής σύστασης :



Σχήμα 3.1: Τρία κεντρικά πλεονεκτήματα της χρησιμοποίησης ζωνών προστασίας φυτικής σύστασης [g]

3.3.2 Ανάλυση των πλεονεκτημάτων χρησιμοποίησης των ζωνών προστασίας φυτικής σύστασης

Σε αυτή την υποενότητα θα αναλυθούν οι κύριες λειτουργίες τις οποίες εξυπηρετούν οι ζώνες προστασίας φυτικής σύστασης :

VEBs ως οπτικό τείχος

Η φύτευση δέντρων δημιουργεί μια θετική εικόνα και βοηθά την επιχείρηση να αποκτήσει μία ωραιότερη εμφάνιση. Καθώς μεγαλώνουν τα δέντρα λειτουργούν σαν οπτικό φράγμα και δεν είναι πλέον ορατές από τα γειτονικά σπίτια οι δραστηριότητες της βιομηχανικής εγκατάστασης, γεγονός που βελτιώνει πολύ την εικόνα της στην κοινωνία. Ακόμα, περιορίζουν τους ήχους των ζώων και των διαφόρων βιομηχανικών διαδικασιών συντελώντας στην βελτίωση της εικόνας της κτηνοτροφικής βιομηχανίας. Επίσης, σύμφωνα με μελέτες, η φύτευση δέντρων από την κτηνοτροφική βιομηχανία δίνει στους κατοίκους των γειτονικών περιοχών την εντύπωση περιβαλλοντικής συνείδησης της βιομηχανίας, γεγονός που ενισχύει σε σημαντικό βαθμό το προφίλ της βιομηχανίας. Τέλος, ένα έμμεσο κέρδος από την χρησιμοποίηση των ζωνών προστασίας φυτικής σύστασης είναι πως λόγω της υψηλής αισθητικής αξίας τους, η παρουσία τους έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της αξίας των ακινήτων, τόσο του εργοστασίου όσο και των γειτονικών κατοικιών, που σύμφωνα με εκτιμήσεις ανέρχεται κατά μέσο όρο σε 5-20%.[g]

VEBs για σκιά

Η υιοθέτηση της τεχνολογίας των ζωνών προστασίας φυτική σύστασης όσον αφορά τη χρηστικότητα τους ως σκιά έχει ιδιαίτερη σημασία από ενεργειακής άποψης. Έρευνες έχουν δείξει πως συμβάλλουν αποδοτικά στην εξοικονόμηση ενέργειας από τις κτηνοτροφικές βιομηχανίες. Μία σωστά εγκατεστημένη ζώνη προστασίας έχει βρεθεί ότι μπορεί να λειτουργήσει ως ένα ενεργειακά αποδοτικό φυσικό σύστημα, το οποίο μπορεί να μειώσει το κόστος θέρμανσης το χειμώνα από 10 έως 40%, καθώς και το κόστος ψύξης το καλοκαίρι κατά 20%, ωστόσο η ακριβής ενεργειακή απόδοση των προστατευτικών ζωνών δέντρων έξω από σύγχρονες κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις δεν είναι ακόμα γνωστή. Ο Malone, ένας από τους επιστήμονες που έχουν διενεργήσει σημαντικές μελέτες για τις ζώνες προστασίας φυτικής σύστασης, σε μία από αυτές συγκέντρωσε μερικά προκαταρκτικά στοιχεία από δύο ξύλινες κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις, σε διάστημα μίας εβδομάδας, τόσο το καλοκαίρι όσο και το χειμώνα. Παρατήρησε ότι η σκιά γύρω από τις εγκαταστάσεις, τις απογευματινές ώρες του καλοκαιριού μπορεί να μειώσει τη θερμοκρασία του εδάφους κατά 20 F και του αέρα κατά 7 F. Ακόμα, παρατήρησε μία αύξηση της σχετικής υγρασίας, συμπέρασμα το οποίο υποστηρίζεται και από τους Brandle και Finch, οι οποίοι ανέφεραν ότι, ανάλογα με το πορώδες των δέντρων, η σχετική υγρασία μπορεί να είναι από 2 έως 4 τοις εκατό υψηλότερη σε προστατευμένες περιοχές σε σύγκριση με τις ανοικτές περιοχές.[g]

Φιλτράρισμα και μείωση της διασποράς ρύπων στο περιβάλλον – Ανεμοφράκτες

Την τελευταία δεκαετία έχει διενεργηθεί μία πληθώρα ερευνών για τη χρησιμοποίηση διαφόρων δέντρων αλλά και άλλων ειδών βλάστησης ως φίλτρα για τον περιορισμό ρυπογόνων εκπομπών από τις κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις. Τα αποτελέσματα αυτών των μελετών έδειξαν μείωση της καθοδικής μεταφοράς σκόνης και αερολυμάτων από 35 % έως 56 % από μία ζώνη τριών σειρών δέντρων, αφού λειτουργούν ως ανεμοφράκτες και με τη φυσική παρεμπόδιση που παρέχουν αποτίθεται μεγάλο μέρος της σκόνης και των αερολυμάτων στα φύλλα τους και δεν διασπείρεται σε μεγάλη απόσταση από τις εγκαταστάσεις του εργοστασίου. Τα συστατικά των οσμηρών αερίων, ακόμα, συνδέονται πάνω στα σωματίδια της σκόνης. Έχει διαπιστωθεί ότι το φιλτράρισμα της σκόνης από τον αέρα του εξαερισμού θα μπορούσε να μειώσει τις οσμές από τις εγκαταστάσεις των ζώων έως και 65 %. Η ανέξοδη αυτή τεχνολογία άμβλυνσης των οσμών δεν οδηγεί στη μείωση τους μόνο λόγω της σύνδεσης τους στα σωματίδια της σκόνης, αλλά κυρίως επειδή τα δέντρα έχουν τη δυνατότητα να τις αραιώνουν και να ενεργούν ως καταβόθρα για τα χημικά συστατικά τους.

Έχουν τεκμηριωθεί καλά μέσω των διενεργηθέντων μελετών και τα οφέλη της φύτευσης δέντρων για το φιλτράρισμα θρεπτικών συστατικών στην απορροή και τα υπόγεια ύδατα, καθώς και τη δέσμευση διοξειδίου του άνθρακα, που αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα αέρια του θερμοκηπίου. Έχει εκτιμηθεί ότι μία ζώνη προστασίας φυτικής σύστασης, μέσω της απορρόφησης από τις ρίζες των δέντρων ή τη μείωση με τη φυσική παρουσία της της χερσαίας ροής μπορεί να αφαιρέσει πάνω από το 80 % του αζώτου και του φωσφόρου, αποτρέποντας έτσι αυτές τις θρεπτικές ουσίες από την είσοδο τους στα γειτονικά υδάτινα ρεύματα και κατ' επέκταση την εμφάνιση φαινομένων ευτροφισμού στα γειτονικά υδάτινα οικοσυστήματα.[g]

Η πιο σημαντική ωστόσο χρήση των ζωνών προστασίας φυτικής σύστασης ως φίλτρα για τον περιορισμό ρύπων βασίζεται στην ικανότητα των φυτών να απορροφούν μέσω της επιδερμίδας των φύλλων τους το άζωτο N, όταν αυτό βρίσκεται στη μορφή του αμμωνίου NH_4^+ , ενώ όταν αυτό βρίσκεται υπό τη μορφή αμμωνίας NH_3 το απορροφούν μέσω των στομάτων των φύλλων τους. Έτσι, μειώνουν τις εκλύσεις αμμωνίας και γενικότερα τις αζωτούχες εκλύσεις των βιομηχανικών κτηνοτροφείων που όπως έχει αναφερθεί είναι οι πιο σημαντικές και επικίνδυνες.

Η ατμοσφαιρική αμμωνία εισέρχεται στα φυτά μέσω των στομάτων τους και αφομοιώνεται από τα φυτικά κύτταρα, μέσω των μεταβολικών οδών της συνθετάσης της γλουταμίνης και της συνθετάσης του γλουταμινικού, με έως $5.4 \mu\text{mol NH}_3 \text{ mol}^{-1}$ αέριου ($3.825 \text{ mg NH}_3 \text{ m}^{-3}$ αέριου) να μπορούν χρησιμοποιηθούν για μικρά χρονικά διαστήματα χωρίς να διαταραχθεί η φωτοσύνθεση της διαπνοής. Η παραπάνω συγκέντρωση με κατάλληλη μετατροπή μονάδων αντιστοιχεί σε 5.51 ppm. Έχει διαπιστωθεί ακόμα ότι ευνοϊκές συγκεντρώσεις NH_y ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$) είναι δυνατό να επάγουν την ανάπτυξη των φυτών. Υπάρχει όμως ένα κρίσιμο όριο πάνω από το οποίο η NH_3 μπορεί να προκαλέσει μείωση της ανάπτυξης των φυτών, νέκρωση, αυξημένη ευαισθησία στον πάγο και τη ξηρασία, συνέπειες που εξαρτώνται από το είδος και την ποικιλία των φυτών. Από κάποιους επιστήμονες έχει προταθεί το εύρος 397-864 ppb NH_3 ως κρίσιμο όριο για την

πρόκληση ζημιών σε κάποια επίγεια φυτά. Η ευαισθησία των φυτών στην πρόσληψη NH_3 μπορεί να ποικίλει, όμως η ικανότητα τους να αποτοξινώσουν την αμμωνία κατά την απορρόφηση μέσω των στομάτων, που εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα υδατανθράκων είναι κοινή. Διεξοδικότερη ανάλυση των μηχανισμών και των διεργασιών των αζωτούχων ενώσεων στα φυτά και τι επίδραση θετική ή αρνητική μπορεί να έχουν σε αυτά θα πραγματοποιηθεί στην παρακάτω υποενότητα.[7,g]

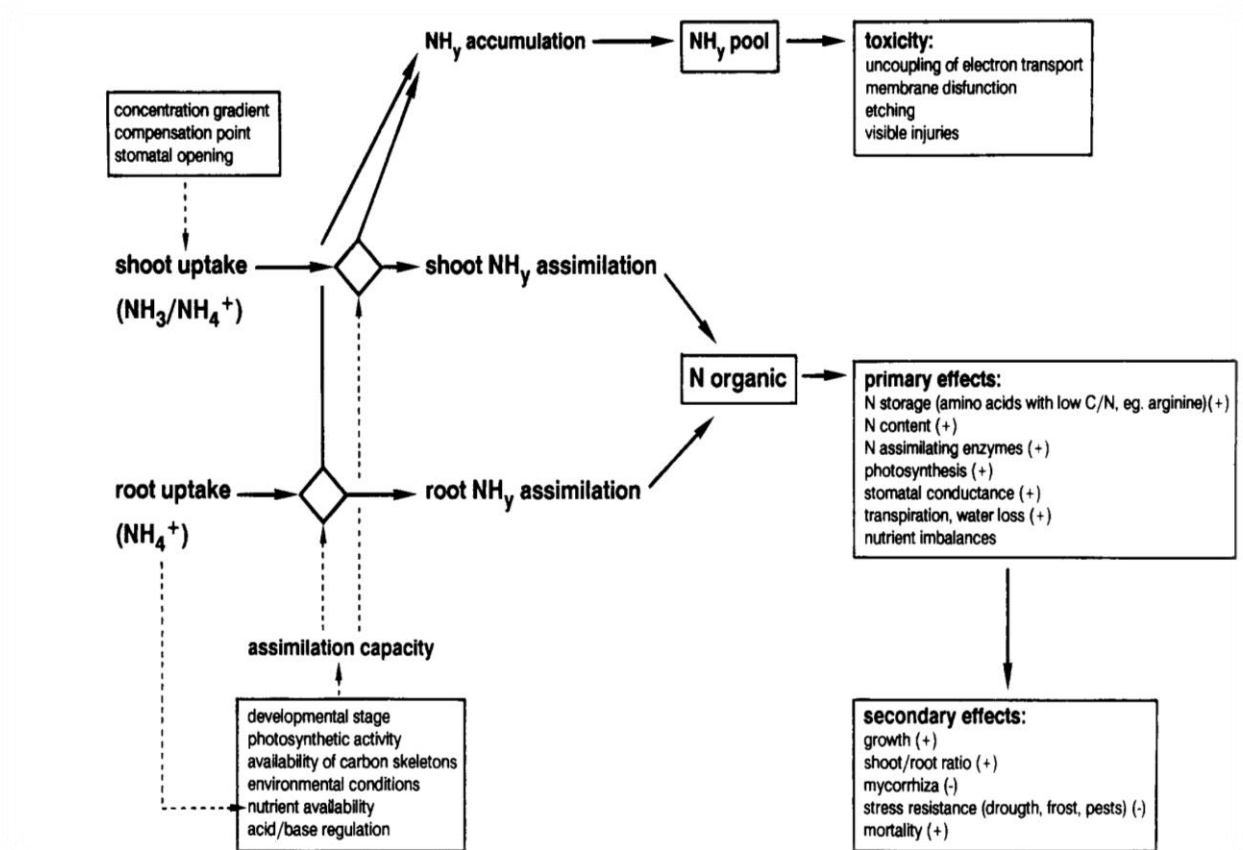
3.3.3 Διεργασίες πρόσληψης, αποτοξίνωσης και αφομοίωσης αμμωνίας και αμμώνιου των φυτών και οι επιδράσεις τους σε αυτά

Και η ανθρωπογενής αμμωνία και το αμμώνιο που προέρχεται από αυτή επηρεάζουν σημαντικά τον κύκλο του αζώτου στα οικοσυστήματα. Επειδή οι συνέπειες που προκαλούνται στα φυτά από την έκλυση NH_3 και NH_4^+ δεν είναι εύκολο να διαχωριστούν, στο εξής θα τις ονομάζουμε επιδράσεις των NH_y . Πρώτα θα μελετηθεί ο μεταβολισμός πρόσληψής τους, οι επιπτώσεις τους στα φυτά και θα διευκρινιστούν οι παράγοντες που τροποποιούν την ευαισθησία τους. Έπειτα, θα μελετηθεί ο ρόλος της εναπόθεσης τους στον ευτροφισμό των οικοσυστημάτων.

Οι επιδράσεις των NH_y στα φυτά εξαρτώνται από διάφορες διεργασίες:

- πρόσληψη
- αποτοξίνωση/αφομοίωση
- εξάπλωση των τραυματισμών σε περίπτωση που η πρόσληψη υπερβεί την ικανότητα αποτοξίνωσης
- μεταβολικές αλλαγές που σχετίζονται με την αποτοξίνωση/αφομοίωση
- δευτερογενή αποτελέσματα, αφού τα NH_y έχουν προσληφθεί και επιτυχώς αποτοξινωθεί [17]

και οι οποίες απεικονίζονται στο σχήμα 3.2



Σχήμα 3.2: Διεργασίες των NH_y στα φυτά [17]

Παρακάτω αναλύονται οι προαναφερθείσες διεργασίες:

-Πρόσληψη των NH_y

Πρόσληψη της NH_3 από τους βλαστούς

Η αμμωνία εισέρχεται στα φύλλα των ανώτερων φυτών σχεδόν αποκλειστικά από τα στόματα και διαλύεται στο φιλμ νερού των μεσόφυλλων κυττάρων για να σχηματιστεί αμμώνιο.

Πρόσληψη του NH_4^+ από τους βλαστούς

Το αμμώνιο συσσωρεύεται στις επιφάνειες των φύλλων τόσο με ξηρή, όσο και με υγρή εναπόθεση.

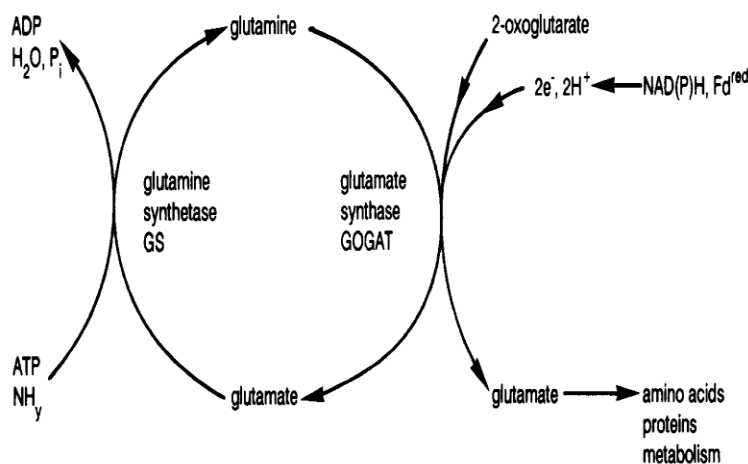
Πρόσληψη NH_y από τις ρίζες

Η αμμωνία δεν προσλαμβάνεται από τις ρίζες συνήθως, καθώς αφού έχει κατατεθεί στο έδαφος διαλύεται πολύ γρήγορα για να σχηματιστεί αμμώνιο, στις συνθήκες pH που επικρατούν συνήθως. Η κινητικότητα του NH_4^+ στο έδαφος είναι μικρότερη από του NO_3 , αλλά είναι εύκολα προσβάσιμο από τα φυτά. Οι προσλήψεις αυτών των δύο είναι ανταγωνιστικές και η

πρόσληψη του ενός εμποδίζει την πρόσληψη του άλλου. Η πρόσληψη του αμμωνίου προκαλεί την οξύνιση τις περιοχής των ριζών, αφού ανταλλάσσεται με πρωτόνια που προέρχονται από τις ρίζες.[17]

-Αφομοίωση και αποτοξίνωση των NH_y

Τόσο η NH_3 που προσλαμβάνεται από τους βλαστούς, η οποία σχηματίζει εύκολα μια ισορροπία με το NH_4^+ στο φιλμ νερού των μεσόφυλλων κυττάρων στην οποία κυριαρχεί έντονα το NH_4^+ , όσο και το NH_4^+ που προσλαμβάνεται από τους βλαστούς αφομοιώνονται στα μεσόφυλλα των φύλλων, ενώ το NH_4^+ που προσλαμβάνεται από τις ρίζες, μεταβολίζεται εκεί. Και στις δύο περιπτώσεις το αμμώνιο αφομοιώνεται μέσω της μεταβολικής οδού της συνθετάσης της γλουταμίνης και του γλουταμινικού, γνωστή και ως GS/GOGAT. Το σύστημα αυτό ανακαλύφθηκε από τους Lea και Mifflin το 1974 και φαίνεται στο σχήμα 3.3 :



Σχήμα 3.3: μεταβολική οδός συνθετάσης της γλουταμίνης και του γλουταμινικού [17]

Παράγοντες που επηρεάζουν την τοξικότητα των NH_y

Η ικανότητα ενός φυτού να αποτοξινώνει και να αφομοιώνει NH_y εξαρτάται από διάφορους εσωτερικούς και εξωτερικούς παράγοντες και έχει βρεθεί ότι αυτές οι διαδικασίες γίνονται με γρηγορότερο ρυθμό σε στάδια ζωής του φυτού που συνδέονται με υψηλή μεταβολική δραστηριότητα, δηλαδή κατά την ανάπτυξη του και σε συνθήκες που ευνοούν υψηλούς ρυθμούς φωτοσύνθεσης (θερμοκρασία, ακτινοβολία, διαθεσιμότητα νερού). Έτσι, τα φυτά μπορεί να τραυματιστούν ευκολότερα το χειμώνα από ότι την άνοιξη και τη νύχτα από την ημέρα και όταν εκτίθεται ένα φυτό σε έκλυση αμμωνίας θα τραυματιστούν και θα νεκρωθούν πρώτα τα γηραιότερα φύλλα του παρότι τα αναπτυσσόμενα.[17]

-Εξάπλωση των τραυματισμών, όταν η πρόσληψη υπερβεί την ικανότητα αποτοξίνωσης

Στην περίπτωση της έκθεσης ενός φυτού σε υψηλές συγκεντρώσεις NH_y , για μικρό χρονικό διάστημα, είναι πολύ πιθανό να παρατηρηθούν ορατοί τραυματισμοί του φυτού. Αν η έκθεση αυτή συνεχιστεί για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα ακόμα και τη νέκρωση του φυτού.[17]

-Μεταβολικές αλλαγές λόγω της αφομοίωσης-αποτοξίνωσης των NH_y

Μεταβολισμός αζώτου

Η αποτοξίνωση των NH_y από το φυτό μπορεί να οδηγήσει σε δραστική αύξηση του περιεχόμενου οργανικού αζώτου. Οι μεγαλύτερες αυξήσεις παρατηρούνται σε φυτά που βρίσκονται σε στάδιο της ζωής τους με υψηλή μεταβολική δραστηριότητα και όχι τόσο στα γηρασμένα.

Εάν η πρόσληψη NH_y υπερβεί την ικανότητα του φυτού αφομοίωσης τους, αυτά συσσωρεύονται στους ιστούς του φυτού και έχουν τοξικές συνέπειες. Έχουν διαχωριστεί τρία στάδια διατροφής με άζωτο του Σκωτσέζικου πεύκου ανάλογα με το περιεχόμενο άζωτο στις βελόνες του: α) η «έλλειψη» (1,0-1,8%), που είναι η συνηθισμένη κατάσταση που συναντάμε σε αυτό το είδος, β) ο «κορεσμός» (1,8-2,35%), που οδηγεί στη μέγιστη ανάπτυξη και αποτελεί το φυσιολογικό βέλτιστο επίπεδο (το οικολογικό βέλτιστο επίπεδο είναι κάτω από 1.8%), γ) η «υπέρβαση» (2.35-3.5%), που προκαλεί μείωση της ανάπτυξης και μετά από κάποιο χρονικό διάστημα τραυματισμούς.

Ακόμα, η έκθεση σε NH_y οδηγεί στην αύξηση της συγκέντρωσης μερικών αμινοξέων και διαλυτών πρωτεϊνών, αλλά και άλλων κυτταρικών ενώσεων που περιέχουν άζωτο.

Ανταλλαγή αερίων μέσω φύλλων

Η πρόσληψη αμμωνίας μπορεί να προκαλέσει την αυτοκαταλυτική αύξηση της ροής περαιτέρω αμμωνίας στα φύλλα επάγοντας το εσωτερικό επίπεδο διοξειδίου του άνθρακα και έτσι να ενισχυθεί η ικανότητα φωτοσύνθεσης του φυτού.

Μεταβολισμός θρεπτικών συστατικών

Με την πρόσληψη NH_y δημιουργούνται ανισορροπίες θρεπτικών στο φυτό, λόγω του αυξημένου περιεχόμενου αζώτου και προσανξήσεις ανάπτυξης που σχετίζονται με την ανεπαρκή αύξηση της πρόσληψης άλλων θρεπτικών. Για παράδειγμα η πρόσληψη αμμωνίου είναι ανταγωνιστική με αυτή άλλων κατιόντων όπως κάλιο, μαγνήσιο, ασβέστιο και μπορεί να οδηγήσει στην έκπλυση αυτών.

Συνέπειες στην επιδερμίδα του φυτού

Η πρόσληψη NH_y μπορεί να οδηγήσει στη διάβρωση της κρυσταλλικής δομής των επιφυμενιδικών κηρών της επιδερμίδας. Αυτό συμβαίνει όμως και με τη γήρανση του φυτού και έτσι δεν μπορεί εύκολα να διαπιστωθεί το κατά πόσο οφείλεται στη ρύπανση.[17]

-Δευτερεύουσες επιδράσεις από την πρόσληψη και την συσσώρευση των NH_y

Ανάπτυξη των φυτών

Η πρώτη δευτερεύουσα συνέπεια που μπορεί να παρατηρηθεί στα φυτά από την πρόσληψη NH_y είναι η ενισχυμένη ανάπτυξη. Αυτό δεν αποτελεί έκπληξη δεδομένου ότι το άζωτο πρέπει να θεωρείται περιοριστικό (υπό την έννοια της παραγωγής βιομάζας) για την ανάπτυξη των φυτών. Ενισχυμένη ανάπτυξη έχει παρατηρηθεί σε πολλά πειράματα, όσο οι συγκεντρώσεις των NH_y δεν ήταν τοξικές. Σε τοξικές συγκεντρώσεις αμμωνίας όμως, η ανάπτυξη περιορίζεται. Η ενισχυμένη αυτή ανάπτυξη των φυτών δεν πρέπει να θεωρείται υποχρεωτικά ευεργετική, αλλά μάλλον επιβλαβής αν συνυπολογιστούν και άλλες συνέπειες που συνδέονται με αυτή, όπως μειωμένη αντίσταση των φυτών σε περιβαλλοντικά στρεσαρίσματα.

Αντίσταση στην ξηρασία

Η πρόσληψη NH_y οδηγεί σε απώλειες νερού, σε δραστική αύξηση της διαπνοής του φυτού, σε μείωση του υδατικού δυναμικού και τελικά στην αύξηση της ευαισθησίας του φυτού στην ξηρασία.

Αντίσταση στον πάγο

Έχει βρεθεί ότι η αμμωνία σε χαμηλές έως μέτριες συγκεντρώσεις παρατείνει τη φάση ανάπτυξης των φυτών το φθινόπωρο και προκαλεί την ανάπτυξη της ανθεκτικότητας το χειμώνα με πολύ αργό ρυθμό, η οποία μπορεί να έχει αρνητικές συνέπειες εάν η πρώτη περίοδος παγετού συμβεί στις αρχές του έτους. Γενικά η αμμωνία αυξάνει την ευαισθησία των φυτών στον πάγο.

Έντομα και μύκητες

Αυξημένα επίπεδα αζώτου στα φυτά οδηγούν στη αποδυνάμωση της άμυνας τους έναντι των εντόμων, των παρασίτων και των μυκήτων.

Συνέπειες στα μυκόριζα

Η πρόσληψη NH_y προκαλεί την μείωση των μυκοριζών, οι οποίες είναι πολύ σημαντικές για την πρόσληψη ιόντων από το φυτό και κατ' επέκταση στην αύξηση των ανισορροπιών θρεπτικών συστατικών.

Αλληλεπίδραση με άλλους αέριους ρύπους

Μέχρι σήμερα, έχουν διεξαχθεί λίγα πειράματα με στόχο να μελετηθούν τα αποτελέσματα του συνδυασμού της αμμωνίας με άλλους ατμοσφαιρικούς ρύπους όπως το SO₂ ή το όζον.

Αφού μία από τις δράσεις του όζοντος είναι η επιτάχυνση της γήρανσης και δεδομένου ότι τα NH_y μπορούν να επιμηκύνουν τη φάση της ανάπτυξης και να επιβραδύνουν τη γήρανση, θα αναμέναμε το όζον και τα NH_y να έχουν ανταγωνιστική δράση. Ωστόσο, οι τρόποι δράσης αυτών των ενώσεων είναι εντελώς διαφορετικοί. Το όζον είναι τοξικό ανεξάρτητα από τη συγκέντρωσή του και οι επιδράσεις του εξαρτώνται από το ποσό της πρόσληψης και της αποτοξίνωσης από το αντιοξειδωτικό σύστημα άμυνας των φυτών. Δεδομένου ότι το αντιοξειδωτικό σύστημα απαιτεί ενέργεια για να λειτουργήσει, η επιτυχής αποτοξίνωση του όζοντος μπορεί να αυξήσει την ευαισθησία στα NH_y μειώνοντας την ποσότητα της ενέργειας που διατίθεται για την αφομοίωσή τους. Μία άλλη επίδραση που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι ότι η έκθεση στην αμμωνία επιφέρει στοματικό άνοιγμα. Έτσι, η ποσότητα του όζοντος που προσλαμβάνεται αυξάνεται λόγω της παρουσίας της αμμωνίας.

Η περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά όπως κάλλιο, μαγνήσιο, φώσφορος έχει βρεθεί από πειράματα ότι μειώνεται με την παρουσία της αμμωνίας και του όζοντος.

Η αμμωνία και το SO₂ συγκατατίθενται, καθώς η κατάθεση της μίας ένωσης ενισχύει την κατάθεση της άλλης και επομένως δρουν συνεργικά για τα περισσότερα είδη φυτών.

Επιδράσεις σε οικοσυστήματα

Η εναπόθεση αζώτου μπορεί να έχει σοβαρές συνέπειες για την ποικιλότητα των ειδών και τη διατήρηση της φύσης. Μπορεί να οδηγήσει στον ευτροφισμό και την οξύνιση και κατ' επέκταση να προκληθούν χλωριδικές αλλοιώσεις όπως έχει αποδειχθεί σε δάση φυλλοβόλων και σε βαλτότοπους.

Ο κορεσμός σε άζωτο και η οξύνιση του εδάφους είναι συμπτώματα των μεταβολών σε ένα πολύπλοκο δίκτυο αλληλεπιδρώντων διεργασιών που επηρεάζεται από εναπόθεση αζώτου με πολλούς τρόπους. Η χημική σύνθεση του εδάφους επηρεάζεται άμεσα από την ατμοσφαιρική είσοδο και έμμεσα από τις συνέπειες της βλάστησης και της μικροχλωρίδας και μικροπανίδας του εδάφους. Ο πληθυσμός της μικροπανίδας του εδάφους γενικά μειώνεται λόγω της οξύνισης και κατά συνέπεια η αποσύνθεση και η ανοργανοποίηση του οργανικού υλικού επιβραδύνεται. Η αποσύνθεση και η ανοργανοποίηση του οργανικού υλικού επηρεάζεται επίσης από την εναπόθεση αζώτου μέσω της επίδρασής του στην παραγωγή βιομάζας και τη χημική σύνθεση της βλάστησης.[17]

3.4 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΑΝΤΩΝ ΤΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΟΙΡΟΤΡΟΦΕΙΩΝ ΣΤΙΣ ΖΩΝΕΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΣΥΣΤΑΣΗΣ

Οι ζώνες προστασίας φυτικής σύστασης, όπως προαναφέρθηκε, έχουν την ιδιότητα να συγκρατούν αζωτούχους ρύπους, σκόνες, σωματιδιακούς ρύπους και αναλύθηκαν οι επιδράσεις των NH_y , μόνων τους ή σε αλληλεπίδραση με άλλους ρύπους, σε αυτές. Σχετικά με την κατακράτηση μεγάλων ποσοτήτων σκόνης και σωματιδίων, φράσσονται οι στοματικοί πόροι των φύλλων των φυτών και έτσι μειώνεται η αγωγιμότητά τους ως προς το CO_2 και κατά συνέπεια επηρεάζεται άμεσα ή έμμεσα η φωτοσυνθετική τους λειτουργία. Ακόμα, προκαλούν αλλοίωση των επιεφυμενιδικών κηρών των φύλλων.

Ωστόσο, όπως αναλύθηκε στην δεύτερη ενότητα, η ρύπανση των βιομηχανικών χοιροτροφείων δεν περιορίζεται στους αζωτούχους ρύπους και στη σωματιδιακή ρύπανση, αλλά περιλαμβάνει πολλά και επικίνδυνα για τα φυτά αέρια. Το διοξείδιο του θείου (SO_2) σε υψηλές συγκεντρώσεις προκαλεί ζημιές στις μεμβράνες των χλωροπλαστών των φυτών και αν προκληθεί ρήξη των μεμβρανών και αποδομηθούν οι φωτοσυνθετικές χρωστικές εμφανίζονται συμπτώματα αποχρωματισμού και νέκρωσης φύλλων. Ακόμα, μπορεί να προκαλέσει κλείσιμο στοματίων και να ελαττώσει την φωτοσυνθετική ικανότητα και την ανάπτυξη του φυτού. Επίσης οι πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs) που εκλύονται από τις χοιροτροφικές εγκαταστάσεις αντιδρούν με το NO στη ατμόσφαιρα και οδηγούν στο σχηματισμό του τοξικού για τα φυτά όζοντος (O_3). Σε συνθήκες αυξημένης ατμοσφαιρικής ρύπανσης λοιπόν, οι αντιοξειδωτικοί μηχανισμοί δεν είναι επαρκείς σε πολλά είδη φυτών ώστε να διατηρούνται υψηλοί ρυθμοί αποτοξίνωσης του και έτσι εμφανίζονται τα πρώτα συμπτώματα τοξικότητας, ο σχηματισμός νεκρωτικών κηλίδων στο έλασμα των φυτών. Το όζον ενοχοποιείται για εκτεταμένες απώλειες δασικής βλάστησης στη Βόρειο Αμερική, αλλά και την Ευρώπη.[4]

3.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΠΡΟΚΥΨΕΙ ΑΠΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΖΩΝΩΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΣΥΣΤΑΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΕΡΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥΣ

Η επιλογή των δέντρων, η διάταξή τους και η απόσταση από τους ανεμιστήρες εξάτμισης που φυτεύονται είναι όλοι κρίσιμοι παράγοντες που καθορίζουν τη χρονική διάρκεια επιβίωσης των φυτών και κυρίως το κατά πόσο η ζώνη προστασίας θα είναι αποδοτική.

Οι παρατηρήσεις μέχρι σήμερα δείχνουν ότι οι φυτεύσεις πρέπει να γίνονται σε απόσταση τουλάχιστον 10 φορές τη διάμετρο του ανεμιστήρα για να αποφευχθούν ενδεχόμενοι τραυματισμοί των φυτών.

Σχετικά με το ποιά είδη δέντρων είναι καταλληλότερα για τη δημιουργία ενός επιθυμητού προγράμματος εγκατάστασης VEBs έχει βρεθεί ότι κυρίως τα αειθαλή δέντρα, όπως η ερυθρελάτη, η χαρουπιά, το κυπαρίσσι είναι ικανότερα για την συγκράτηση των αζωτούχων ρύπων συγκριτικά με φυλλοβόλα δέντρα, όπως η λεύκα, ο κέδρος και η ιτιά. Ακόμα έχει

διαπιστωθεί ότι τα κωνοφόρα δέντρα έχουν μικρές αντοχές στην έκθεση σε αζωτούχους ρύπους και ότι έπειτα από κάποιο διάστημα έκθεσης γίνονται πολύ ευαίσθητα. Το μέγεθος της επιφάνειας των φύλλων (πχ πλατιά ή βελόνες) είναι καθοριστικός παράγοντας σχετικά με την ικανότητα του φυτού για την κατακράτηση της αμμωνίας. Ακόμα τα αειθαλή δέντρα έχει βρεθεί ότι είναι σημαντικά αποτελεσματικότερες παγίδες σκόνης και σωματιδίων συγκριτικά με τα φυλλοβόλα με χαρακτηριστικό παράδειγμα την Νορβηγική ερυθρελάτη η οποία συγκρατεί τρεις φορές περισσότερα PM από την ιτιά. Αν και τα αειθαλή δέντρα με περίπλοκο σχήμα φύλλων είναι ιδανικά για τη σύλληψη σωματιδίων, σε απόσταση μικρότερη από 10 φορές τη διάμετρο του ανεμιστήρα είναι δυνατό να κινδυνεύσουν από τις υπερβολικά μεγάλες συγκεντρώσεις ρύπων. Μία καλή επιλογή για την αποφυγή της θνησιμότητας δέντρων είναι η φύτευση φυλλοβόλων δέντρων στην πρώτη σειρά της ζώνης που βρίσκεται πλησιέστερα προς τους ανεμιστήρες εξερισμού. Τα σωματίδια που συσσωρεύονται κατά την έντονη λειτουργία των ανεμιστήρων, όταν δηλαδή ο καιρός είναι ζεστός πέφτουν το φθινόπωρο μαζί με τα φύλλα των δέντρων και έτσι το φίλτρο ανανεώνεται για την άνοιξη. Τα αειθαλή δέντρα με κηρώδη φύλλα (π.χ. πουνάρια) που φυτεύονται σε απόσταση μικρότερη από 10 φορές τη διάμετρο του ανεμιστήρα στην πρώτη σειρά της ζώνης έχει βρεθεί να έχουν ιδιαίτερη αντοχή σε μεγάλα φορτία ρύπων που εκπέμπονται από τους ανεμιστήρες. Γενικά συνιστάται από τους επιστήμονες η φύτευση μεικτών ζωνών προστασίας, δηλαδή που να εμπεριέχουν και αειθαλή και φυλλοβόλα δέντρα, για αποδοτικότερα αποτελέσματα. Για την αντιμετώπιση δυνητικών ανησυχιών πρόκλησης θερμικού στρες στα δέντρα λόγω του θερμού αέρα που βγαίνει από τους ανεμιστήρες, έχουν πραγματοποιηθεί μετρήσεις για ανεμιστήρα 48 ιντσών και βρέθηκε πως δεν υπάρχει σχετική ανησυχία για δέντρα σε αποστάσεις 12, 22 και 42 πόδια από τους προαναφερθέντες ανεμιστήρες.

Η άρδευση είναι απαραίτητη για την εξασφάλιση της επιβίωσης των φυτών και τη μεγιστοποίηση της πρώιμης ανάπτυξης τους και είναι μια απαίτηση για τους παραγωγούς που λαμβάνουν οικονομική βοήθεια για την εγκατάσταση ζωνών προστασίας φυτικής σύστασης στην περιοχή τους. Ομοίως, η καταπολέμηση των ζιζανίων έχει κρίσιμη σημασία κατά τα πρώτα χρόνια της δημιουργίας μίας VEB.

Οι κτηνοτροφικές μονάδες που έχουν εφαρμόσει εσφαλμένες φυτεύσεις, οι οποίες απέτυχαν να ελέγξουν τα ζιζάνια ή δεν είχαν την κατάλληλη άρδευση οδήγησαν στη δημιουργία VEBs με περιορισμένη αποτελεσματικότητα. Ως εκ τούτου, είναι επιτακτική ανάγκη για τις βιομηχανικές κτηνοτροφικές μονάδες να ζητούν τεχνική βοήθεια στον σχεδιασμό, την υλοποίηση και τη συντήρηση μίας VEB. Η επιλογή του φυτικού υλικού και η διάταξη των δέντρων σε ένα σχέδιο VEB πρέπει να είναι σχεδιασμένα κατάλληλα για κάθε πλευρά της μονάδας ώστε να μπορούν να υλοποιηθούν οι τρεις κύριοι στόχοι μίας VEB: φίλτρο ρύπων, οπτικό τείχος και σκιά-ανεμοφράκτης. Η εκ των υστέρων τοποθέτηση VEBs γύρω από ήδη υπάρχουσες βιομηχανικές μονάδες δημιουργεί πολλές προκλήσεις λόγω διάφορων περιορισμών χρήσης γης.[7,18,19,20,21]

3.6 ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΛΙΑ (OLEA EUROPAEA), ΕΝΑ ΦΥΤΟ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟ ΓΙΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΣΕ ΖΩΝΕΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΣΥΣΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Στην Ελλάδα, ένα φυτό που θα μπορούσε να χρησιμοποιείται ως μέρος των ζωνών προστασίας φυτικής σύστασης έξω από τους ανεμιστήρες εξαέρωσης για τον περιορισμό των αέριων ρύπων των βιομηχανικών χοιροτροφείων είναι η ευρωπαϊκή ελιά (*Olea europaea*), η οποία πληρεί τις βασικές προδιαγραφές για να φυτευτεί ως VEB και συναντάται σε αφθονία στη χώρα.

Η ποικιλία της ευρωπαϊκής ελιάς είναι φυτό που ανήκει στο γένος Ελαία (*Olea*) της οικογένειας Ελαιίδες (*Oleaceae*). Ανήκει στα αειθαλή δέντρα, τα οποία όπως έχουμε αναφέρει αποτελούν ιδιαίτερα καλές παγίδες σκόνης και σωματιδιακών ρύπων και έχουν καλή ικανότητα συγκράτησης αζωτούχων ρύπων. Η ελιά αυτοφύεται στις εύκρατες και θερμές χώρες της Ευρώπης, μεταξύ των οποίων συγκαταλέγεται και η Ελλάδα και έτσι μειώνονται οι δυνητικές ανησυχίες πρόκλησης θερμικού στρες στο φυτό από τις θερμοκρασίες που λειτουργούν οι ανεμιστήρες των βιομηχανικών χοιροτροφείων το καλοκαίρι. Η καλλιεργούμενη ελιά είναι μεγάλο, υπεραιώνιο δένδρο που το ύψος της μπορεί να φτάσει και τα 20 μέτρα. Ο κορμός της σκεπάζεται από σταχτόχρωμο περιδερμα (φλοιό) που φέρει κατά περιοχές χαρακτηριστικά εξογκώματα. Το ριζικό της σύστημα έχει τη δυνατότητα να αναπτύσσεται τόσο προς τα κάτω όσο και προς τα πλάγια. Αναζητά νερό σε πολύ χαμηλούς ορίζοντες του εδάφους και δεν είναι τυχαίο ότι έχουν βρεθεί ρίζες ελιάς σε εκσκαφές δρόμων ή σηράγγων και σε βάθος 60 ή 70 μέτρα μέσα στο έδαφος. Για να είναι σε θέση να επιβιώσουν σε ένα ζεστό και ξηρό κλίμα, τα ελαιόδεντρα έχουν μικρά φύλλα, αντίθετα, βραχύμισχα, ωοειδή, με μία προστατευτική επικάλυψη και τριχωτά στην κάτω πλευρά, και έτσι επιβραδύνεται η διαπνοή. Έχουν σκουροπράσινο χρώμα από πάνω και αργυρόλευκο από κάτω. Το αργυρό χρώμα στο κάτω μέρος του φύλλου της ελιάς οφείλεται στο μεγάλο αριθμό πολυκύτταρων λεπιοειδών τριχών που υπάρχουν στην κάτω επιδερμίδα. Η ελιά τείνει να αυξάνεται με πυκνά, λεπτά κλαδιά. Τα άνθη της εμφανίζονται σε ταξιανθίες τύπου βότρυ. Είναι μικρά με κιτρινόλευκο χρώμα και μόνο το 1-5% των πολυάριθμων ανθέων θα δώσει τους γνωστούς μελανόχρωμους καρπούς, που είναι πολύ βασικοί για τη Μεσογειακή διατροφή, τόσο ως εδώδιμοι όσο και επειδή από αυτούς παράγεται το ελαιόλαδο. Η καλλιεργούμενη ελιά καρποφορεί κάθε δύο χρόνια. Το λάδι στον καρπό αρχίζει να συγκεντρώνεται κατά το τέλος του καλοκαιριού, δηλαδή γύρω στον Αύγουστο.[h]

Στην εικόνα 3.2 φαίνεται ένα δέντρο ευρωπαϊκής ελιάς:



Εικόνα 3.2: *Olea europaea*

Η υπέρμετρη έκθεση της ελιάς σε αζωτούχους ρύπους έχει αρνητικές επιπτώσεις για το ελαιόλαδο. Ο κύκλος του αζώτου στην ελιά είναι ιδιαίτερα σύνθετος. Η περιεκτικότητα σε πολυφαινόλες, ένα συστατικό με μεγάλη σημασία στην ποιότητα του ελαιολάδου, λόγω της αντιοξειδωτικής δράσης του, μειώνεται όταν το άζωτο είναι περισσότερο από τις ανάγκες των φυτών. Η σταθερότητα του λαδιού και η πικρή γεύση, τα οποία σχετίζονται άμεσα με την περιεκτικότητα σε πολυφαινόλες, μειώνονται ως συνέπεια των μη αποδεκτών επιπέδων αζώτου. Οι μεγάλες συγκεντρώσεις σε N οδηγούν επίσης στη μείωση της διάρκειας ζωής του ωαρίου της ελιάς και καθυστερούν την ωρίμανση των καρπών της.[22]

2^ο ΜΕΡΟΣ: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1. ΜΕΛΕΤΗ ΦΥΛΛΩΝ *OLEA EUROPAEA* ΜΕ ΟΠΤΙΚΟ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ

1.1 ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΦΥΛΛΩΝ *OLEA EUROPAEA* ΣΤΟ ΟΠΤΙΚΟ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ

Στην παρούσα σειρά πειραμάτων συλλέχθηκαν δείγματα φύλλων ευρωπαϊκής ελιάς (*Olea europaea*) από δέντρα σε σημεία που απείχαν διαφορετικές αποστάσεις από βιομηχανική κτηνοτροφική μονάδα στη Κρήτη. Σκοπός ήταν να μελετηθούν τα φύλλα στο οπτικό μικροσκόπιο για την εύρεση πιθανής συσσώρευσης ρύπων σε αυτά και ενδεχόμενων μορφολογικών αλλοιώσεων και τραυματισμών που μπορεί να έχουν προκληθεί από διάφορα είδη ρύπων που εκλύονται από το βιομηχανικό χοιροτροφείο.

1.2 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΟΠΤΙΚΟΥ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟΥ

1.2.1 Οπτικά Μικροσκόπια - Εισαγωγή

Ως Οπτικά ή Φωτονικά αναφέρονται τα μικροσκόπια εκείνα που χρησιμοποιούν το τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που είναι ορατό, δηλαδή από 380 - 760 nm. Η διάκριση των οπτικών μικροσκοπίων γίνεται ανάλογα με τη διάταξη των φακών και τον τρόπο παρατήρησης τους και έτσι κατατάσσονται στις ανάλογες κατηγορίες.

Η μεγέθυνση ενός οπτικού μικροσκοπίου δίνεται από το τύπο $M=m_1 \cdot m_2$, όπου m_1 και m_2 είναι οι εγκάρσιες μεγεθύνσεις των δυο φακών, δηλαδή του προσοφθάλμιου και του αντικειμενικού. Επομένως, θεωρητικά, βάζοντας δυνατότερους φακούς θα ήταν δυνατό να επιτευχθούν μεγαλύτερες μεγεθύνσεις. Έτσι, το παρασκευάσμα μας φαίνεται μεγαλύτερο χωρίς όμως η ευκρίνεια της εικόνας να είναι μεγαλύτερη ("άδεια μεγέθυνση"), όπως ακριβώς συμβαίνει όταν μεγεθύνουμε πολύ μια φωτογραφία έτσι που να φαίνονται οι κόκκοι του film. Υπάρχει, δηλαδή, μια μέγιστη χρήσιμη μεγέθυνση που είναι συνάρτηση της διακριτικής ικανότητας του οργάνου που ορίζεται ως η ικανότητά του να διακρίνει δυο σημειακές φωτεινές πηγές που βρίσκονται πολύ κοντά η μια με την άλλη

Η διακριτική ικανότητα d ενός οπτικού συστήματος δίνεται από το τύπο:

$$d = 0.61 \frac{\lambda}{n \sin \alpha}$$

,όπου d είναι η διακριτική ικανότητα, 0.61 ένας σταθερός αριθμός, λ το μήκος κύματος του φωτός (ή της ακτινοβολίας) που χρησιμοποιούμε, n ο δείκτης διάθλασης του μέσου μεταξύ παρασκευάσματος και φακού και α το μισό της γωνίας του φωτεινού κώνου που δέχεται ο φακός.

Η ακόλουθη σχέση δίνει το αριθμητικό άνοιγμα A του φακού και εξαρτάται αποκλειστικά από τη κατασκευή του φακού:

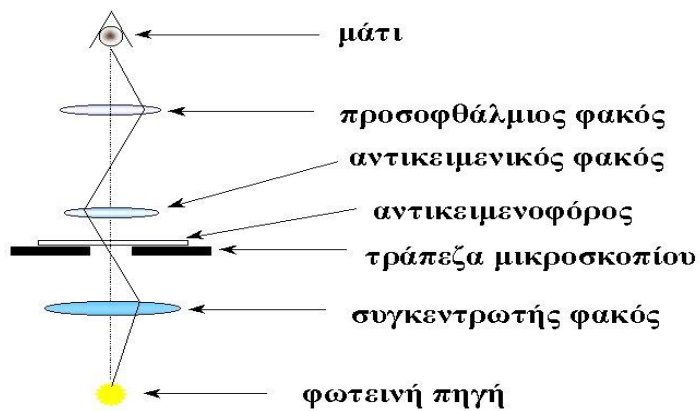
$$A = nsina$$

Εφόσον λοιπόν το φως που χρησιμοποιούν τα οπτικά μικροσκόπια συνήθως έχει ένα μέσο μήκος κύματος $\lambda=500\text{ nm}$ και το αριθμητικό άνοιγμα A ενός πολύ καλού φακού είναι 1.6, τότε η διακριτική ικανότητα του οπτικού μικροσκοπίου δε μπορεί να ξεπεράσει τα $d=200\text{ nm}=0.2\text{ }\mu\text{m}$ και η "χρήσιμη μεγέθυνση" περίπου τη τιμή 1600x. Ένας πρόχειρος, πρακτικός τρόπος υπολογισμού της "χρήσιμης μεγέθυνσης" που μπορεί να μας δώσει ένας αντικειμενικός φακός, δίνεται από το τύπο $x.\mu.=1000*A$. Από τον τύπο που δίνει την διακριτική ικανότητα λοιπόν φαίνεται ότι για να βελτιώσουμε τη διακριτική ικανότητα θα πρέπει να μικρύνουμε το λ και να αυξήσουμε το A . Επειδή όμως οι οπτικοί (γυάλινοι) φακοί, από πλευράς ποιότητας κατασκευής, είναι σχεδόν τέλειοι, το A δε μπορεί να αυξηθεί άλλο. Έτσι, μας μένει μόνο το μήκος κύματος του φωτός (ή της ακτινοβολίας) το οποίο όμως όταν μικρύνει πολύ γίνεται αόρατο. Κατά καιρούς γίνανε διάφορες προσπάθειες βελτίωσης της διακριτικής ικανότητας του μικροσκοπίου χρησιμοποιώντας ακτινοβολίες με μήκος κύματος μικρότερο εκείνου του ορατού φωτός με αποτέλεσμα τη κατασκευή διαφόρων τύπων μικροσκοπίων όπως το υπεριώδες μικροσκόπιο, το μικροσκόπιο ακτίνων X και άλλων μεταξύ των οποίων και το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο στις διάφορες παραλλαγές του.

Στη πράξη τα μικροσκόπια που συναντάμε συνήθως σ' ένα εργαστήριο έχουν φακούς που στη καλύτερη περίπτωση έχουν αριθμητικό άνοιγμα $A = 1.4$. Οι φακοί με μεγαλύτερο αριθμητικό άνοιγμα ($A = 1.6$) έχουν δυο μεγάλα μειονεκτήματα, τη πολύ υψηλή τιμή αγοράς αλλά και το πολύ μικρό βάθος εστίασης, κάτι που τους κάνει ιδιαίτερα δύσχρηστους.[i]

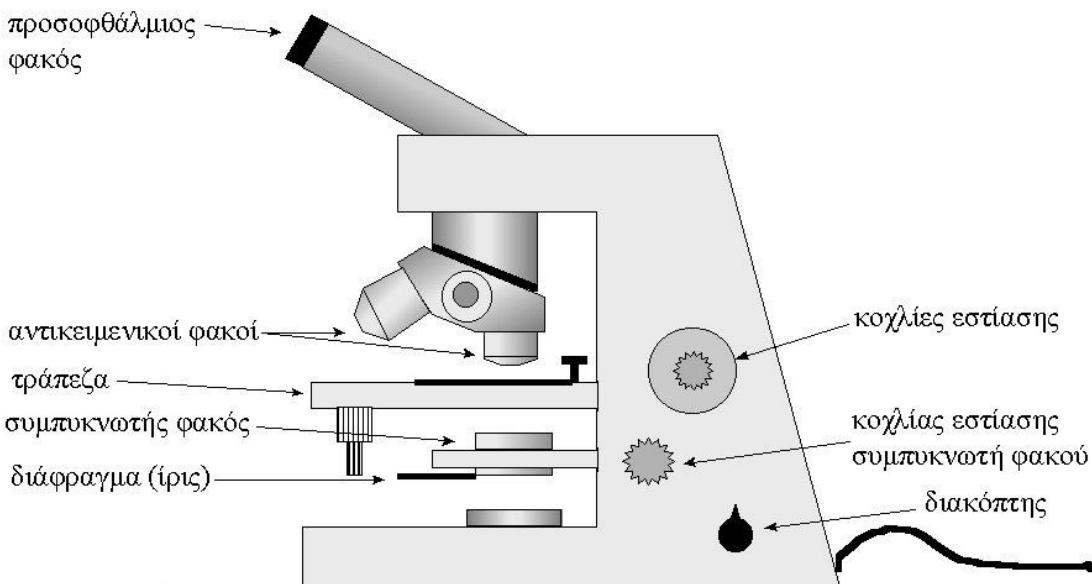
1.2.2 Κοινό σύνθετο οπτικό μικροσκόπιο διελεύσεως

Η πρόοδος της ηλεκτρονικής και των μικροϋπολογιστών δεν άφησε ανέπαφη και τη μικροσκοπία. Τα σύγχρονα οπτικά μικροσκόπια διαθέτουν πλήθος αυτοματισμών και άλλων μηχανισμών που κάνουν τα μικροσκόπια πιο εύκολα στη χρήση ακόμα και από άτομα χωρίς ειδικές γνώσεις. Στο σχήμα 1.1 φαίνεται η πορεία των φωτεινών ακτίνων στο σύνθετο οπτικό μικροσκόπιο, γνωστό και ως οπτικό μικροσκόπιο φωτεινού πεδίου. [i]



Σχήμα 1.1: Πορεία φωτεινών ακτινών στο οπτικό μικροσκόπιο φωτεινού πεδίου

Στο σχήμα 1.2, που ακολουθεί, φαίνονται τα τμήματα ενός σύγχρονου οπτικού μικροσκοπίου, τα οποία αναλύονται ακολούθως.



Σχήμα 1.2: Τα τμήματα ενός σύγχρονου οπτικού μικροσκοπίου.

-Προσοφθάλμιος φακός, τοποθετημένος στο πάνω μέρος του σωλήνα

Υπάρχουν τέσσερις τύποι: Huygens, Ramsden, Kellner και αντισταθμιστικοί (compensating). Οι τελευταίοι είναι και οι πιο σύγχρονοι και επιτρέπουν την παρατήρηση χωρίς το μάτι να είναι σε επαφή με φακό. Ο χαραγμένος αριθμός π.χ. 10x δείχνει τη μεγέθυνση του φακού που αν τον πολλαπλασιάσουμε με τη μεγέθυνση του αντικειμενικού φακού μας δίνει την τελική μεγέθυνση του μικροσκοπίου. Σε όλους σχεδόν τους

προσοφθάλμιους φακούς υπάρχει δυνατότητα τοποθέτησης κλίμακας μέτρησης μέσα στο φακό αφού τον ξεβιδώσουμε. Ο σωλήνας στην κορυφή του οποίου βρίσκεται ο προσοφθάλμιος φακός (κατακόρυφος στα παλιότερα μικροσκόπια και υπό γωνία στα πιο σύγχρονα), μπορεί να είναι μονός, στα μονοφθάλμια μικροσκόπια και διπλός στα διοφθάλμια για πιο άνετη (όχι στερεοσκοπική) παρατήρηση. Ο σωλήνας συνήθως μπορεί να αφαιρεθεί για να τοποθετηθεί σωλήνας άλλου τύπου π.χ. σωλήνας με υποδοχή για φωτογραφική μηχανή video camera κλπ, ή να περιστραφεί για χρήση του μικροσκοπίου από εμπρός ή από πίσω.

-Περιστρεφόμενη κεφαλή με τους αντικειμενικούς φακούς

Συνήθως έχει θέσεις για 3-6 φακούς. Σε ορισμένα ερευνητικά μικροσκόπια η περιστρεφόμενη κεφαλή μπορεί να αφαιρεθεί εύκολα και να αντικατασταθεί με άλλη που έχει διαφορετικό set φακών. Έτσι σχετικά εύκολα μπορεί το μικροσκόπιο να μετατραπεί σε αντίθεσης φάσης, φθορισμού κλπ. Οι αντικειμενικοί φακοί είναι τα πιο σημαντικά εξαρτήματα του συστήματος σχηματισμού εικόνας του μικροσκοπίου γιατί από αυτούς εξαρτάται η τελική διακριτική ικανότητα και η αρχική μεγέθυνση. Οι φακοί αυτοί έχουν κατασκευαστεί έτσι που οι εικόνες να μην έχουν σφαιρικά ή χρωματικά σφάλματα, και να μην έχουν αστιγματισμό. Ο φακοί αυτοί έχουν χαραγμένες στο σώμα τους διάφορες ενδείξεις π.χ. Plan 40/0.65 160/0.17, που σημαίνει φακός επίπεδος μεγέθυνσης 40x, αριθμητικό άνοιγμα 0.65, για χρήση σε μικροσκόπιο με σωλήνα μήκους 160 mm, και με καλυπτρίδα πάχους 0.17+0.01 mm. Η ένδειξη d=0 σημαίνει ότι ο φακός είναι σχεδιασμένος για να χρησιμοποιείται χωρίς καλυπτρίδα. Επειδή οι διάφοροι κατασκευαστές μικροσκοπίων μπορεί να χρησιμοποιούν διαφορετικούς συμβολισμούς θα πρέπει πάντα να διαβάζουμε τις οδηγίες χρήσης του συγκεκριμένου οργάνου. Το χρώμα των γραμμάτων και συμβόλων που είναι χαραγμένα πάνω στον αντικειμενικό φακό επίσης είναι ενδεικτικά του οπτικού τύπου του φακού π.χ. κόκκινα γράμματα συμβολίζουν φακό για πολωμένο φως ενώ πράσινα γράμματα συμβολίζουν φακό αντίθεσης φάσης.

Πολλές φορές ο τύπος του φακού και η μεγέθυνσή του συμβολίζονται και με χρωματιστά δαχτυλίδια χαραγμένα πάνω τους όπως αναφέρεται στον παρακάτω πίνακα 1.1.

Πίνακας 1.1: Τι σημαίνουν τα χρωματιστά δαχτυλίδια που είναι χαραγμένα στους αντικειμενικούς φακούς. [i]

Μεγέθυνση	Χρώμα
1-1.25	μαύρο
1.6-2	γκρι
2.5-3.2	καφέ
4.0-5.0	κόκκινο
6.3-8	πορτοκαλί

10-12.5	κίτρινο
16-20	ανοιχτό πράσινο
25-32	σκούρο πράσινο
40-50	ανοιχτό μπλε
63-80	σκούρο μπλε
100, 125, 160	άσπρο
Υγρό καταδυτικού φακού	Χρώμα
λάδι	μαύρο
νερό	άσπρο
γλυκερίνη	πορτοκαλί
άλλα υγρά	κόκκινο

Άλλα σύμβολα που μπορεί να είναι χαραγμένα πάνω στους αντικειμενικούς φακούς:

PH: φακός για διάταξη αντίθεσης φάσης, ο αριθμός που συνήθως ακολουθεί π.χ. PH2 σημαίνει ότι ο φακός αυτός πρέπει να χρησιμοποιηθεί σε συνεργασία με το διάφραγμα νούμερο 2 του συμπυκνωτή φακού.

PLAN: σημαίνει ότι ο φακός είναι επίπεδος, δηλαδή όλα τα σημεία του οπτικού πεδίου εστιάζουν στο ίδιο επίπεδο, αντίθετα σε φακούς χωρίς αυτή την ένδειξη όταν το κέντρο του οπτικού πεδίου είναι εστιασμένο τα σημεία στην περιφέρεια δεν είναι εστιασμένα. Είναι απαραίτητο να χρησιμοποιούνται τέτοιοι φακοί όταν πρόκειται να γίνει φωτογράφιση του παρασκευάσματος.

APO: σημαίνει ότι ο φακός είναι αποχρωματικός, δηλαδή τα χρωματικά σφάλματα του φακού έχουν ελαχιστοποιηθεί για τρία τουλάχιστον μήκη κύματος (450, 550 και 650 nm), ενώ τα σφαιρικά σφάλματα έχουν ελαχιστοποιηθεί για μήκος κύματος περίπου 550 nm.

Achromat: λίγο κατώτερης ποιότητας από τους φακούς APO γιατί τα χρωματικά σφάλματα είναι ελαχιστοποιημένα για δυο μόνο μήκη κύματος (περίπου 500 και 600 nm) ενώ η διόρθωση για σφαιρικά σφάλματα είναι η ίδια με εκείνη των φακών APO.

POL: σημαίνει ότι ο φακός είναι για πολωτικό μικροσκόπιο.

Semi-apochromat: φακοί ποιότητας ενδιάμεσης μεταξύ του APO και του Achromat.

Fluorite, Neofluor: σημαίνει ότι το γυαλί από το οποίο είναι κατασκευασμένος ο φακός δεν απορροφά την υπεριώδη ακτινοβολία και δεν φθορίζει. Αυτοί οι φακοί είναι κατάλληλοι για μικροσκοπία φθορισμού ενώ μπορούν να χρησιμοποιηθούν και με κοινό φωτισμό.

-Η τράπεζα του μικροσκοπίου

Μπορεί να είναι τετράγωνη σταθερή ή στρογγυλή περιστρεφόμενη (για πολωτικά μικροσκόπια) και με σύστημα μικρομετρικών κοχλιών για τη μετακίνηση του παρασκευάσματος. Το υλικό κατασκευής της τράπεζας είναι συνήθως κάποιο μέταλλο, ενώ σε κάποια σύγχρονα καλά μικροσκόπια μπορεί να είναι από κεραμικό που είναι ανθεκτικό σε διάφορες διαβρωτικές ουσίες. Σε ορισμένα μικροσκόπια υπάρχει μηχανισμός αυτόματης μετακίνησης της αντικειμενοφόρου πλάκας με δυνατότητα συστηματικής σάρωσής της ή και ακόμα με τη δυνατότητα εναλλαγής αντικειμενοφόρων πλακών. Τα συστήματα αυτά είναι ιδιαίτερα χρήσιμα σε αυτοματοποιημένες αιματολογικές και κυτταρολογικές εξετάσεις και βιοψίες.

-Μοχλός ρύθμισης της ίριδας (διαφράγματος)

Η ίριδα περιορίζει τον φωτεινό κώνο που φωτίζει το παρασκεύασμα έτσι που αυτό να δέχεται τις ακτίνες που δεν προέρχονται από περίθλαση ή διάθλαση. Η ίριδα δεν πρέπει ποτέ να χρησιμοποιείται για την αύξηση ή ελάττωση της φωτεινής έντασης. Η ρύθμισή της είναι πολύ σημαντική κυρίως όταν πρόκειται να φωτογραφίσουμε το παρασκεύασμα. Ο τρόπος ρύθμισης διαφέρει από κατασκευαστή σε κατασκευαστή και θα πρέπει πάντα να συμβουλευόμαστε τις οδηγίες χρήσης του οργάνου.

-Συγκεντρωτής (ή συμπυκνωτής) φακός

Σκοπός του εξαρτήματος αυτού είναι η εστίαση της φωτεινής πηγής στο επίπεδο του παρασκευάσματος. Η κακή ρύθμιση του συμπυκνωτή έχει σαν αποτέλεσμα τον κατά πολύ περιορισμό της διακριτικής ικανότητας του οργάνου. Για συνεχή παρατήρηση σε χαμηλή μεγέθυνση (π.χ. 4x ή 10x) ο φακός αυτός μπορεί να αφαιρεθεί.

Κουμπί εστίασης (μεγάλο εξωτερικό για αδρή και μικρό στο κέντρο για λεπτή εστίαση). Σε πολλά μικροσκόπια υπάρχουν ξεχωριστά αυτοί οι δυο κοχλίες. Η κλίμακα που είναι χαραγμένη στο μικρομετρικό κοχλία εστίασης μας δείχνει την κατακόρυφη μετακίνηση του αντικειμενικού φακού και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση του ύψους (βάθους) ενός παρασκευάσματος.

-Βάση μικροσκοπίου με (συνήθως) ενσωματωμένο σύστημα φωτισμού

Στα περισσότερα μικροσκόπια σήμερα υπάρχει ρεοστάτης για τη ρύθμιση της έντασης του φωτός. Προσοχή όμως γιατί αλλάζοντας τη φωτεινή ένταση με αυτόν τον τρόπο αλλάζουν και τα μήκη κύματος που απαρτίζουν το φως. Αυτό δεν επηρεάζει την απλή παρατήρηση ή την ασπρόμαυρη φωτογράφιση, επηρεάζει όμως σημαντικά την έγχρωμη φωτογράφιση. Στην τελευταία περίπτωση χρησιμοποιούμε τον φωτισμό στη μέγιστη ένταση και για τον περιορισμό της φωτεινής έντασης χρησιμοποιούμε ουδέτερα φίλτρα.[i]

1.3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ – ΥΛΙΚΑ

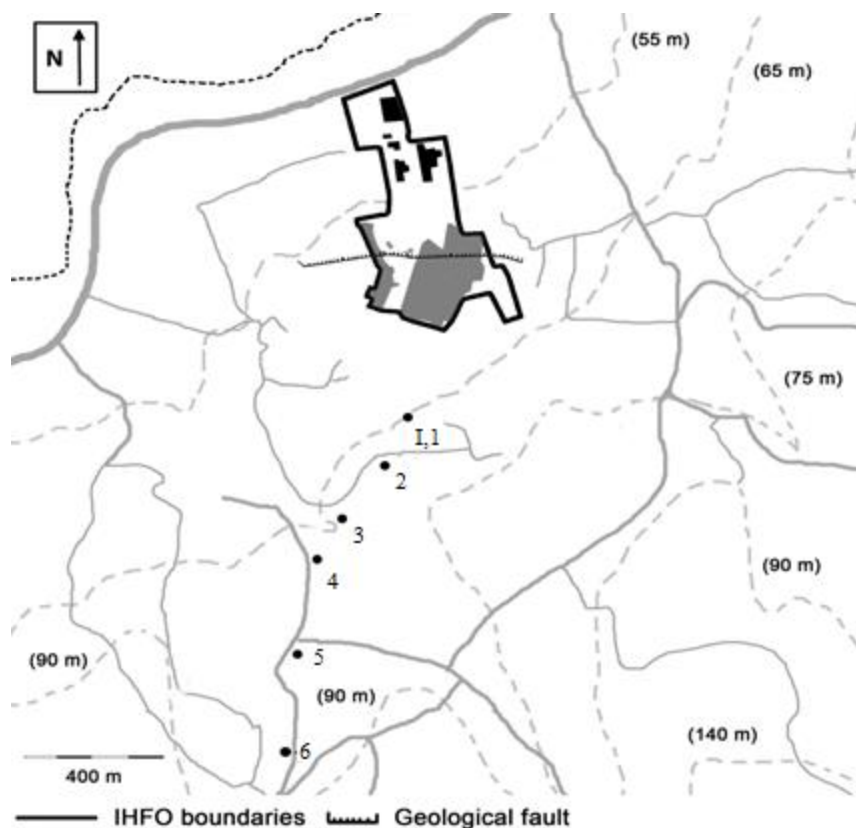
1.3.1 Δείγματα φύλλων ελιάς

Τα σημεία δειγματοληψίας για την συλλογή των φύλλων ελιάς του πειράματός ήταν δέντρα ελιάς σε σημεία που απείχαν πέντε διαφορετικές αποστάσεις από τους ανεμιστήρες εξαέρωσης μίας κτηνοτροφικής μονάδας στην Κρήτη. Τα πέντε δείγματα συλλέχθηκαν στις 18 Δεκεμβρίου του 2012, ενώ το ένα είχε συλλεχθεί στις 6 Φεβρουαρίου του 2012. Στον παρακάτω Πίνακα 1.2 φαίνονται οι αποστάσεις που απείχαν τα έξι δείγματα που συλλέχθηκαν έξω από το βιομηχανικό χοιροτροφείο στην Κρήτη από τους ανεμιστήρες εξαέρωσης της μονάδας.

Πίνακας 1.2: Αποστάσεις δειγματοληψίας από τους ανεμιστήρες εξαέρωσης του βιομηχανικού χοιροτροφείου.

Αριθμός δείγματος	Απόσταση δείγματος από τους ανεμιστήρες εξαέρωσης του βιομηχανικού χοιροτροφείου (m)
I (6/2/2012)	300
1 (18/12/2012)	300
2 (18/12/2012)	400
3 (18/12/2012)	600
4 (18/12/2012)	800
5 (18/12/2012)	1100

Παρακάτω φαίνονται στο σχήμα 1.3 κατά προσέγγιση οι θέσεις των σημείων δειγματοληψίας έξω από το βιομηχανικό κτηνοτροφείο. Οι θέσεις δειγματοληψίας του χάρτη είναι ίδιες και για τα δείγματα που μελετήθηκαν με τις μεθόδους του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου και του XRD, οι οποίες θα αναλυθούν σε παρακάτω ενότητες του πειραματικού μέρους.



Σχήμα 1.3: Θέσεις των σημείων δειγματοληψίας έξω από το βιομηχανικό χοιροτροφείο

Τα συλλεγμένα δείγματα διατηρήθηκαν σε καλά σφραγισμένα γυάλινα βάζα, το καθένα ξεχωριστά. Τα βάζα είχαν πλυθεί ώστε να αποφευχθεί τυχόν επιπρόσθετη μόλυνσή των δειγμάτων.

1.3.2 Προετοιμασία δειγμάτων

Τα δείγματα προτού μελετηθούν στο οπτικό μικροσκόπιο υποβλήθηκαν σε ξήρανση σε φούρνο στους 80°C για 24 ώρες. Έπειτα από κάθε δείγμα πάρθηκαν τρία φύλλα και πριν τοποθετηθούν, ένα τη φορά, υπό εξέταση στο μικροσκόπιο, κόπηκαν με ψαλίδι ώστε να ληφθούν τετραγωνικά κομμάτια διαστάσεων περίπου 0.5cm x 0.5cm.

1.3.3 Μελέτη δειγμάτων στο οπτικό μικροσκόπιο

Για τα πειράματά μας χρησιμοποιήθηκε το οπτικό μικροσκόπιο Zeiss Axiotech 100HD, ως οπτικό μικροσκόπιο φωτεινού πεδίου, το οποίο διέθετε τέσσερις φακούς : 5x,10x,20x,50x. Από κάθε δείγμα πάρθηκαν τρία φύλλα και συγκεκριμένα τετραγωνικά κομμάτια, όπως προαναφέρθηκε, με λαβίδα από τα γυάλινα βάζα στα οποία φυλάσσονταν και μελετήθηκε η πάνω επιφάνεια, η κάτω επιφάνεια και η τομή κάθε φύλλου σε κάθε μία από τις μεγεθύνσεις. Για

κάθε μία από τις εξεταζόμενες επιφάνειες λήφθηκε φωτογραφία μέσω του αντίστοιχου λογισμικού του μικροσκοπίου. Τα λογισμικά αυτά ήταν εγκατεστημένα σε ηλεκτρονικό υπολογιστή με τον οποίο ήταν συνδεδεμένο το μικροσκόπιο. Σε κάθε περίπτωση, μέσω ρυθμίσεων εστίασης και φωτεινότητας, επιχειρήθηκε η λήψη φωτογραφιών με τη μέγιστη δυνατή ευκρίνεια. Το οπτικό μικροσκόπιο που χρησιμοποιήθηκε, καθώς και ο ηλεκτρονικός υπολογιστής που είχε εγκατεστημένο το λογισμικό του μικροσκοπίου φαίνονται στην παρακάτω εικόνα 1.1:



Εικόνα 1.1: Οπτικό μικροσκόπιο Zeiss Axiotech 100HD συνδεδεμένο με ηλεκτρονικό υπολογιστή που έχει εγκατεστημένο το λογισμικό του μικροσκοπίου

Από κάθε δείγμα πάρθηκαν τρία φύλλα και συγκρίθηκαν μεταξύ τους με σκοπό την πιστοποίηση της ομοιογένειας των δειγμάτων και έπειτα συγκρίθηκαν δείγματα από διαφορετικές αποστάσεις.

1.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

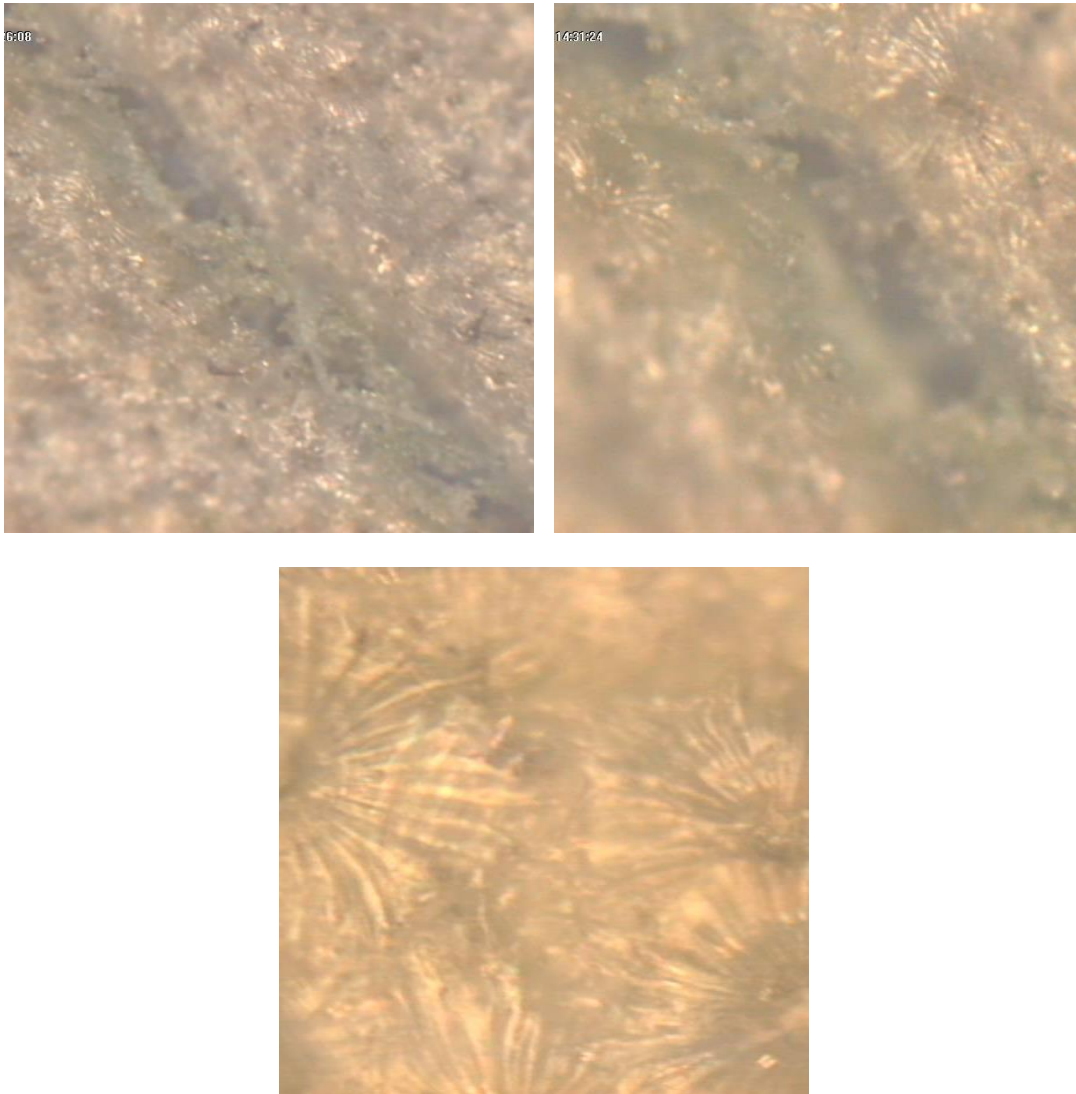
Παρακάτω παρατίθενται οι φωτογραφίες που ελήφθησαν με το οπτικό μικροσκόπιο ανά δείγμα. Τα τρία φύλλα κάθε δειγματοληψίας ονομάζονται με τα μικρά γράμματα του ελληνικού αλφαβήτου α,β,γ. Οι φωτογραφίες με το φακό 50x δεν συμπεριλήφθηκαν στην εργασία, καθότι ήταν ιδιαιτέρως θολές και δεν γινόταν να οδηγήσουν στην εξαγωγή οποιουδήποτε είδους συμπεράσματος. Χαρακτηριστικά παρατίθεται μία:



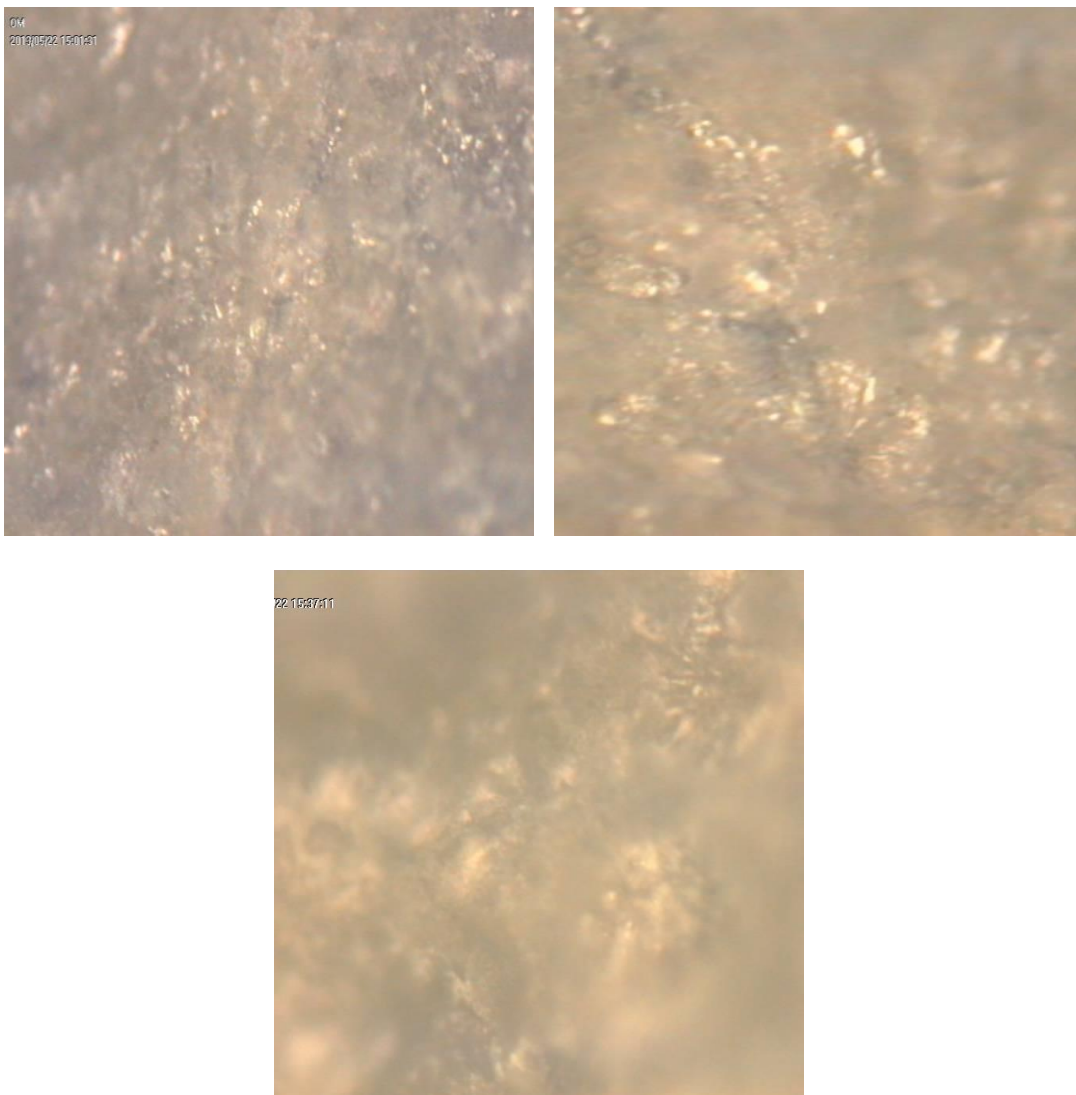
Δείγμα 1γ (Απόσταση από τη μονάδα: 300m),

κάτω επιφάνεια φύλλου, φακός 50x

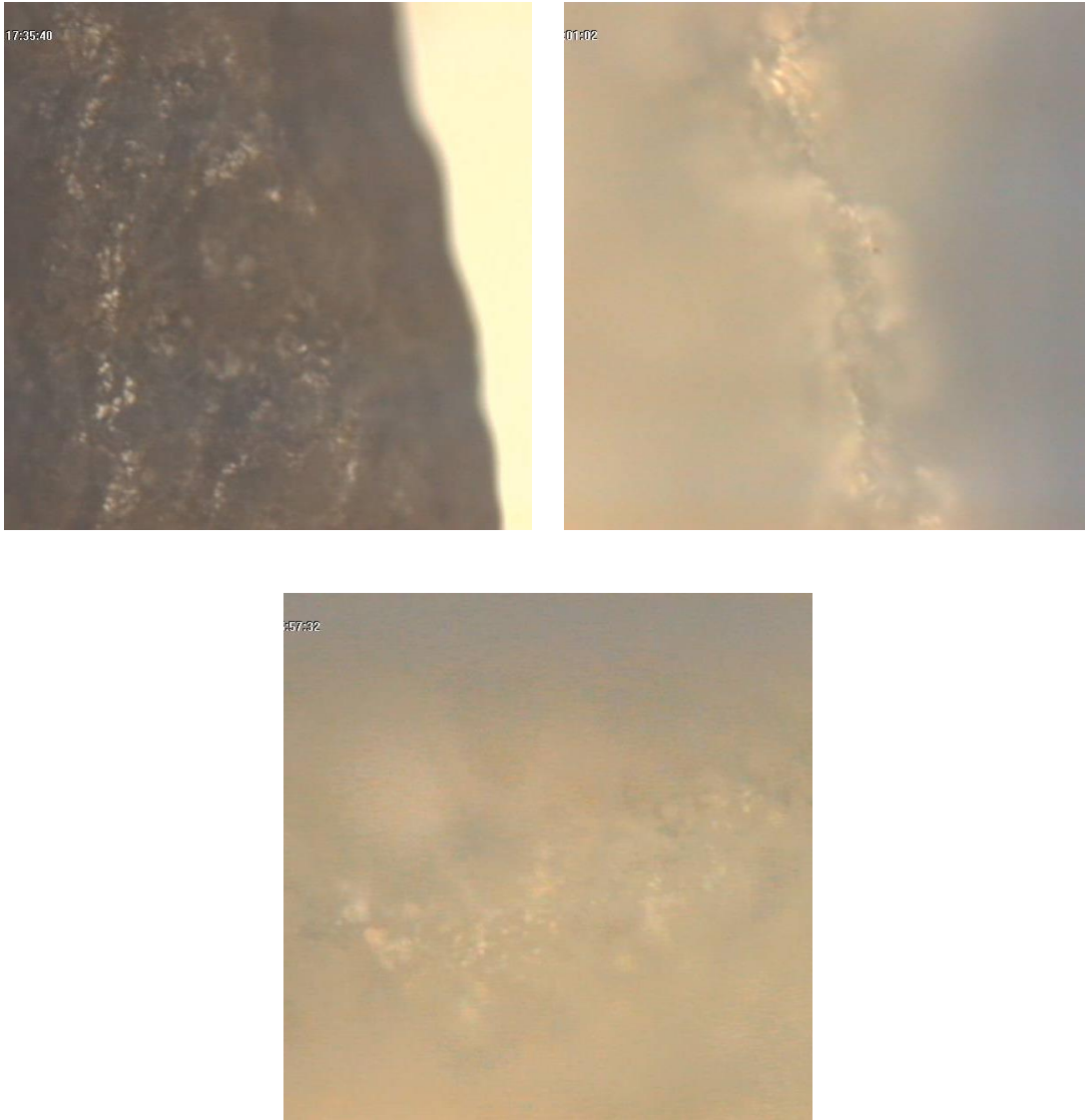
Δείγμα Ι (Ημερομηνία δειγματοληψίας 6/2/2012)



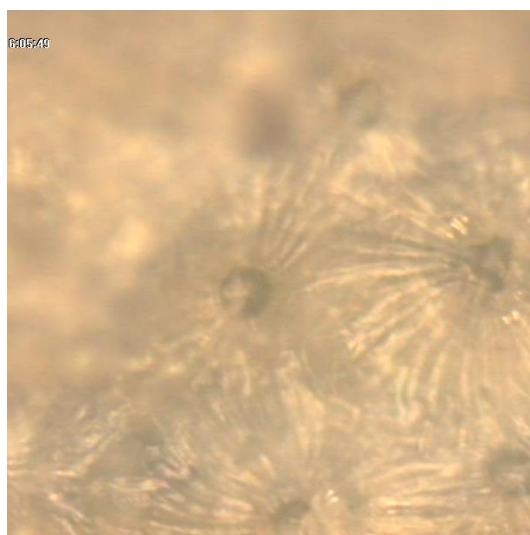
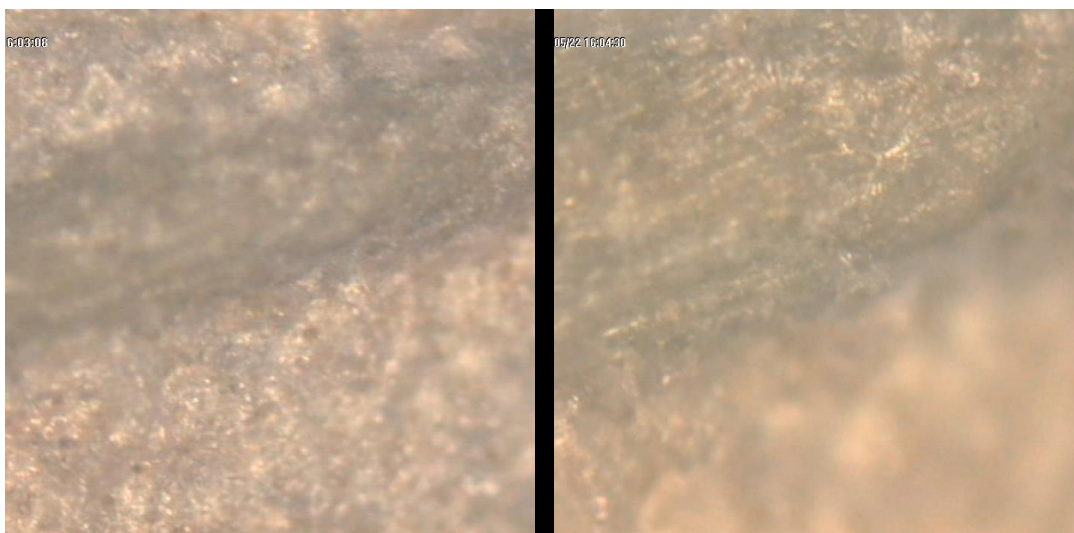
Δείγμα Ια (Απόσταση από τη μονάδα: 300m), κάτω επιφάνεια φύλλου , με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά οι φωτογραφίες με τους φακούς 5x,10x,20x αντίστοιχα.



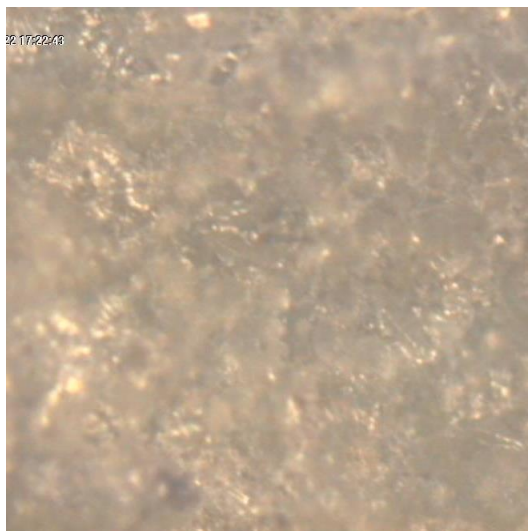
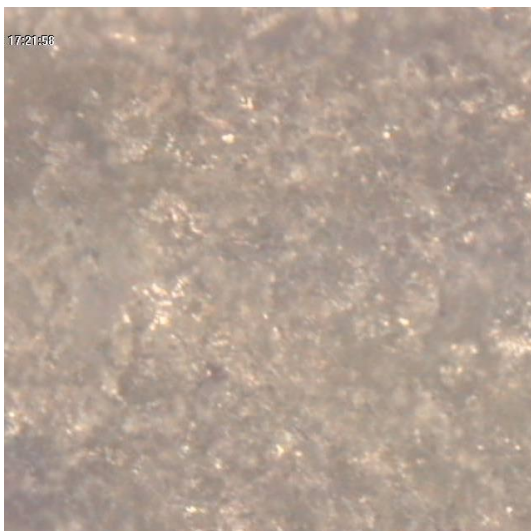
Δείγμα Ια (Απόσταση από τη μονάδα: 300m), πάνω επιφάνεια φύλλου , με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά οι φωτογραφίες με τους φακούς 5x,10x,20x αντίστοιχα.



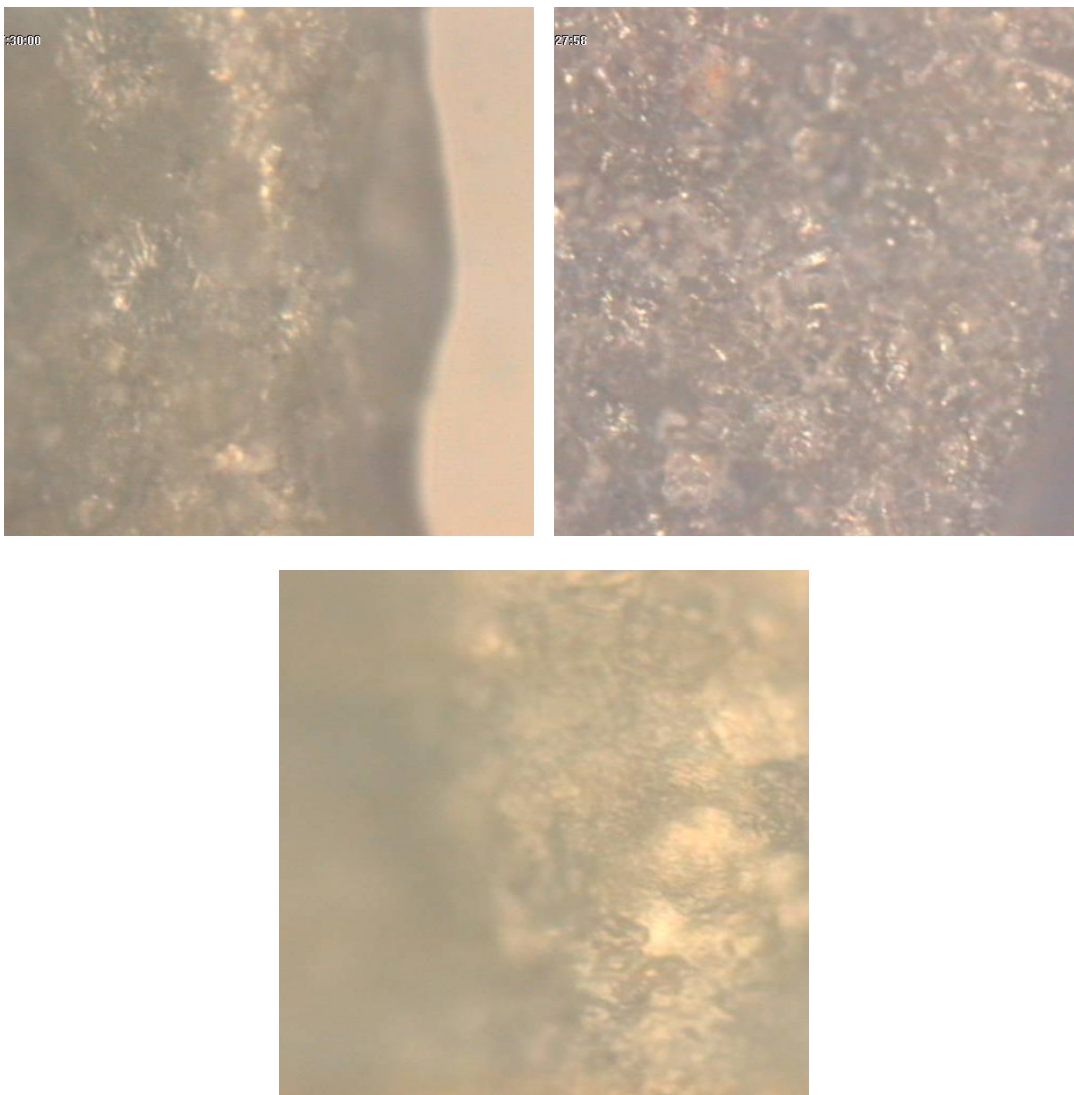
Δείγμα Ια (Απόσταση από τη μονάδα: 300m), τομή φύλλου , με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά οι φωτογραφίες με τους φακούς 5x,10x,20x αντίστοιχα.



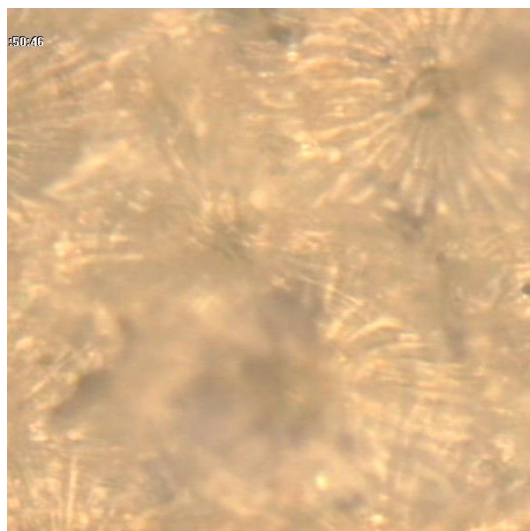
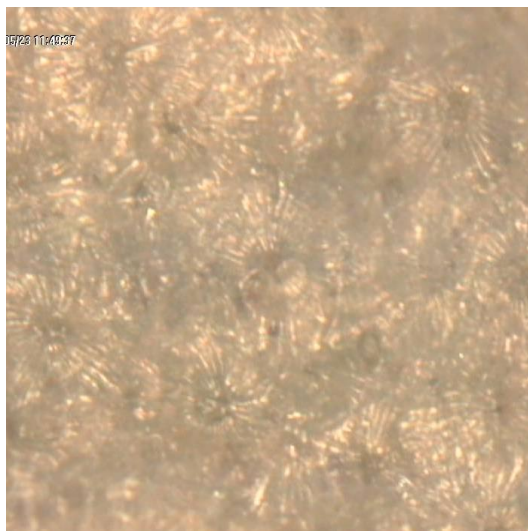
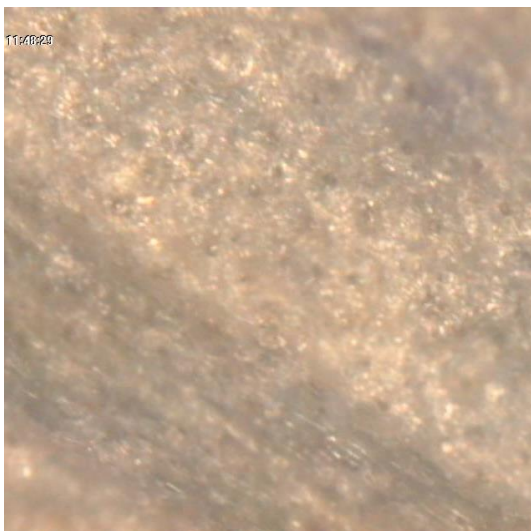
Δείγμα Ιβ (Απόσταση από τη μονάδα: 300m), κάτω επιφάνεια φύλλου, με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά οι φωτογραφίες με τους φακούς 5x,10x,20x αντίστοιχα.



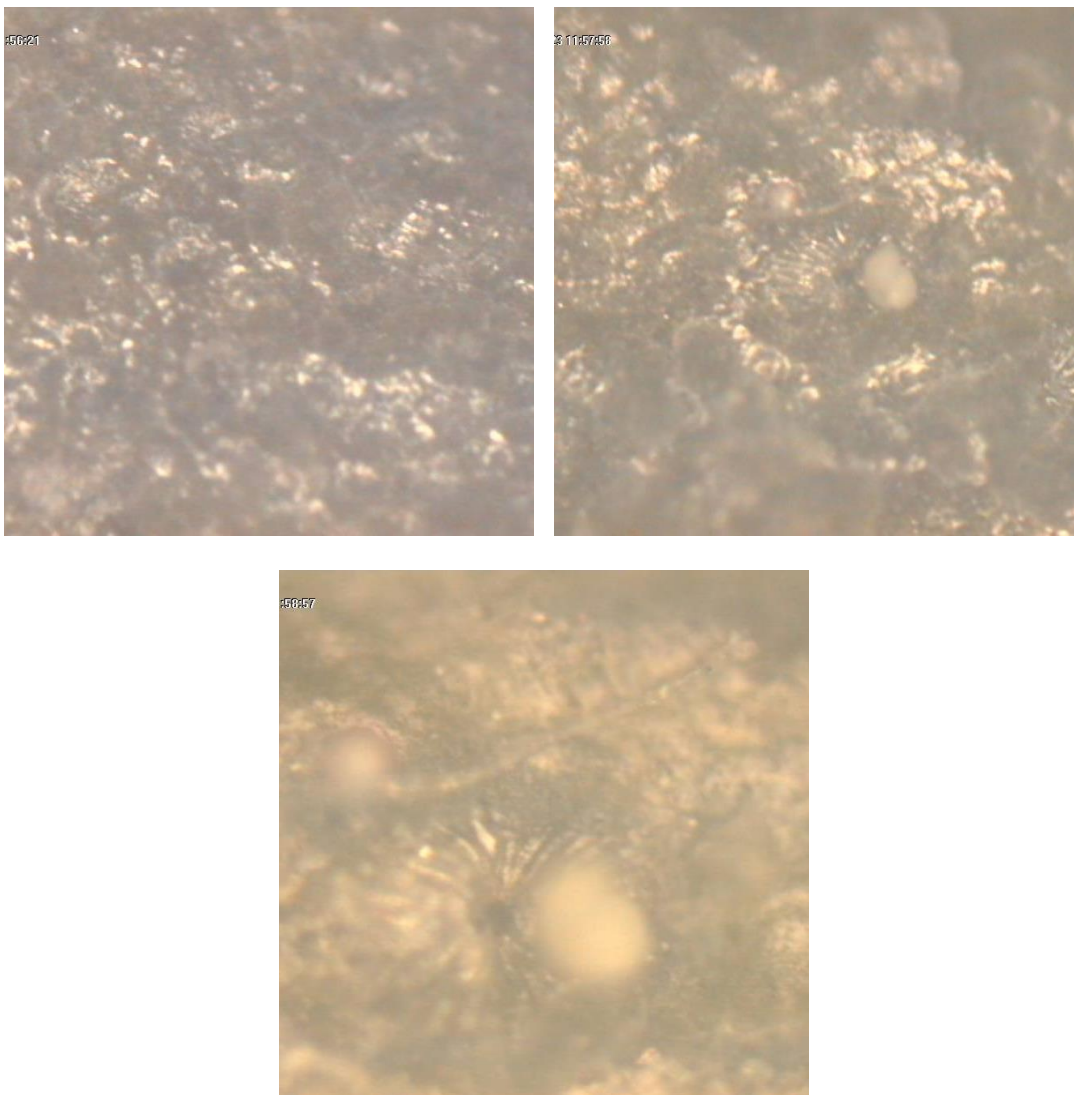
Δείγμα Ιβ (Απόσταση από τη μονάδα: 300m), πάνω επιφάνεια φύλλου, με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά οι φωτογραφίες με τους φακούς 5x,10x,20x αντίστοιχα.



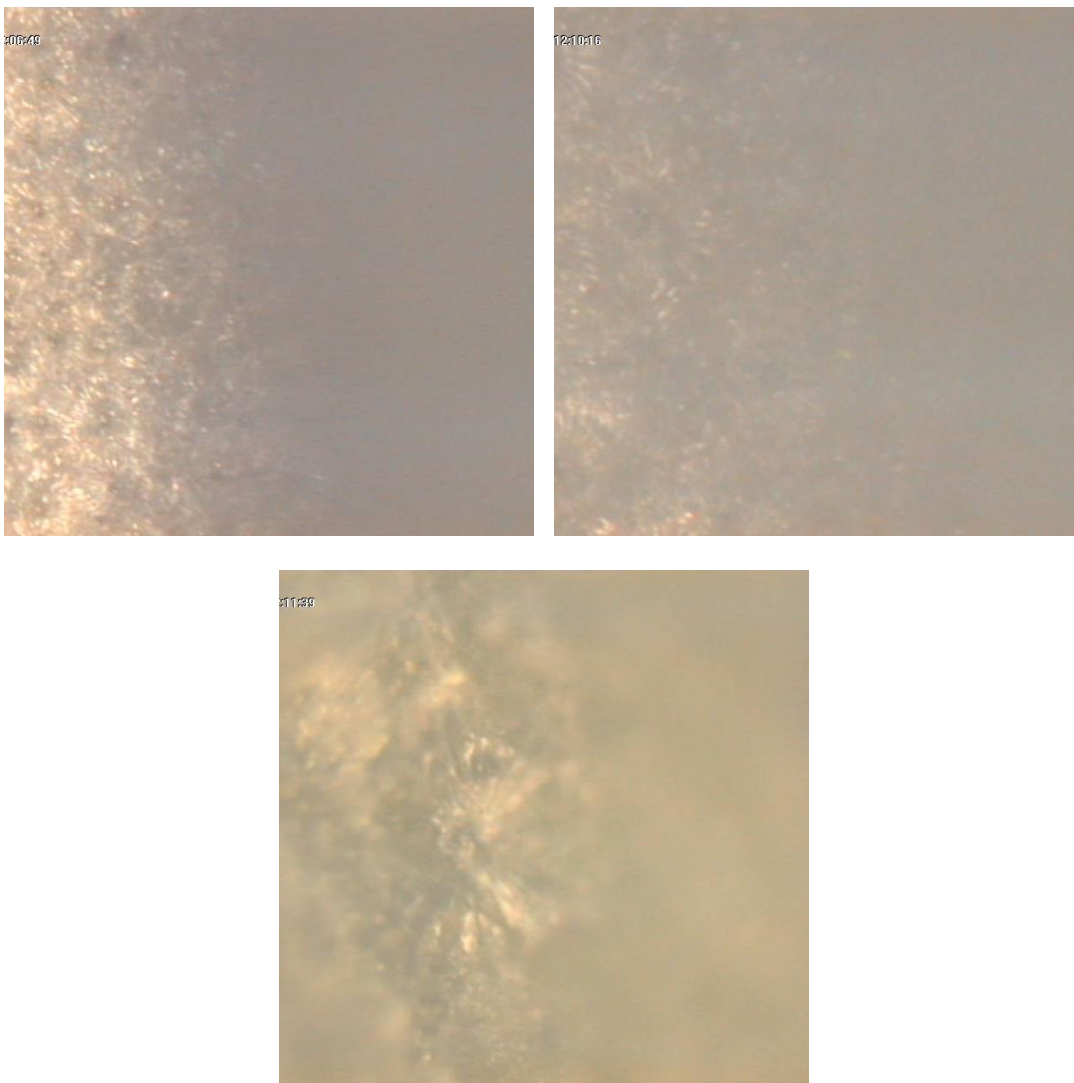
Δείγμα Ιβ (Απόσταση από τη μονάδα: 300m), τομή φύλλου, με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά οι φωτογραφίες με τους φακούς 5x,10x,20x αντίστοιχα.



Δείγμα Ιγ (Απόσταση από τη μονάδα: 300m), κάτω επιφάνεια φύλλου, με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά οι φωτογραφίες με τους φακούς 5x,10x,20x αντίστοιχα.

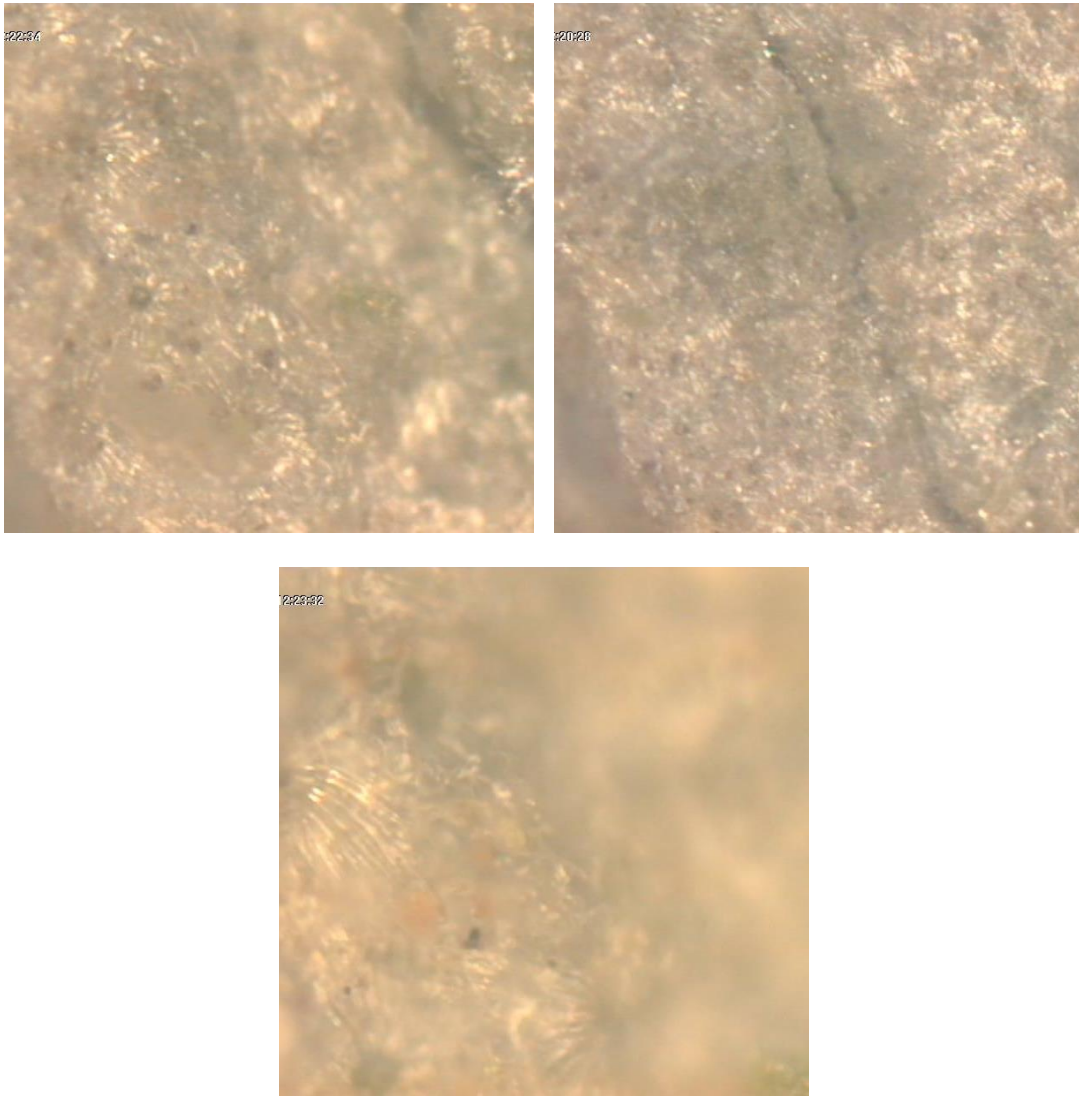


Δείγμα Ιγ (Απόσταση από τη μονάδα: 300m), πάνω επιφάνεια φύλλου, με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά οι φωτογραφίες με τους φακούς 5x,10x,20x αντίστοιχα.

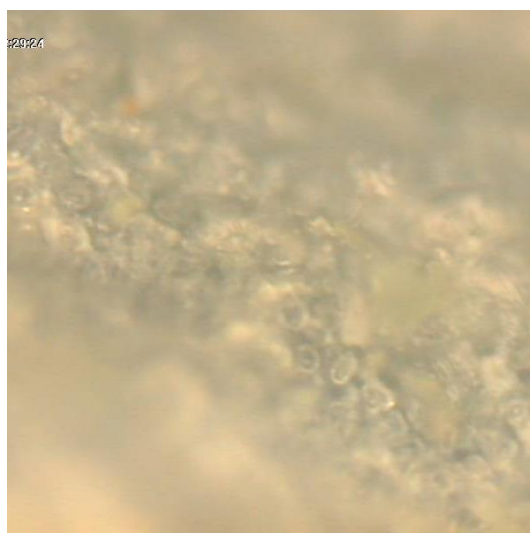
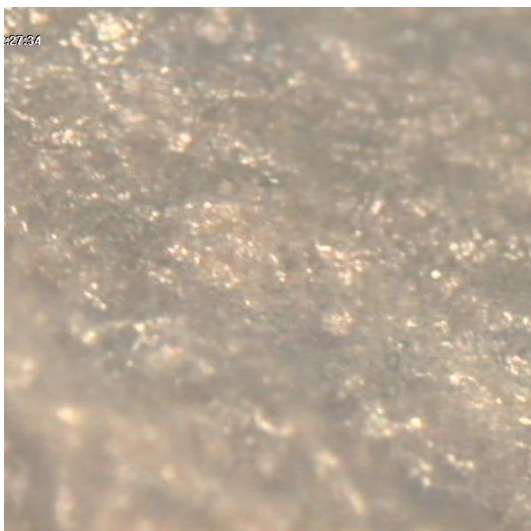


Δείγμα Ιγ (Απόσταση από τη μονάδα: 300m), τομή φύλλου, με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά οι φωτογραφίες με τους φακούς 5x,10x,20x αντίστοιχα.

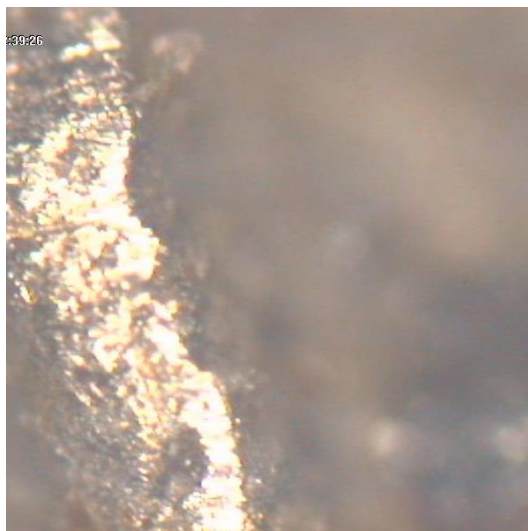
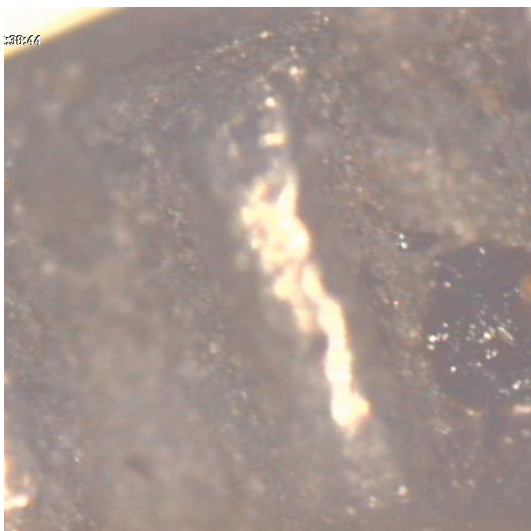
Δείγμα 1 (Ημερομηνία δειγματοληψίας 18/12/2012)



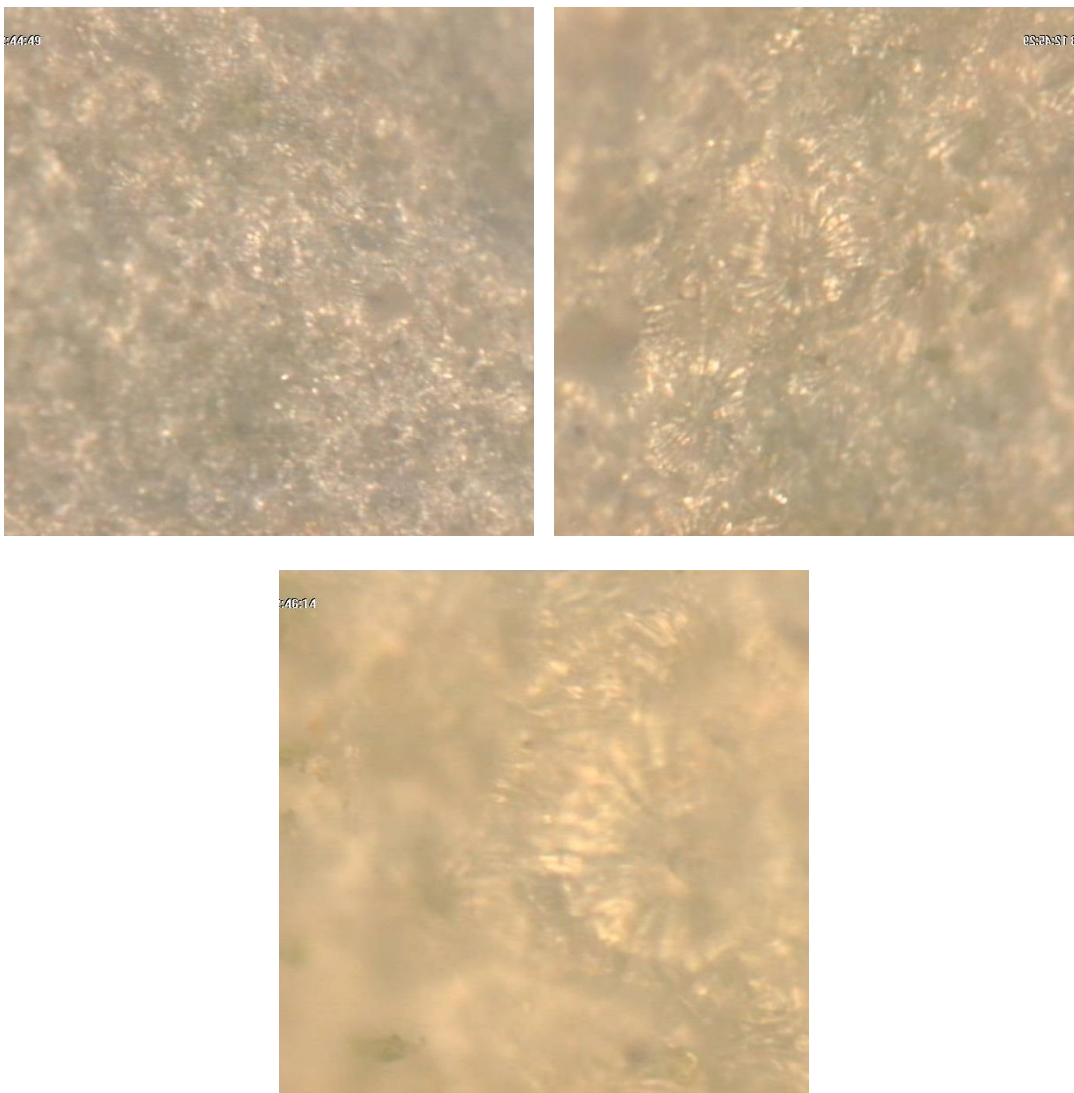
Δείγμα 1α (Απόσταση από τη μονάδα: 300m), κάτω επιφάνεια φύλλου, με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά οι φωτογραφίες με τους φακούς 5x,10x,20x αντίστοιχα.



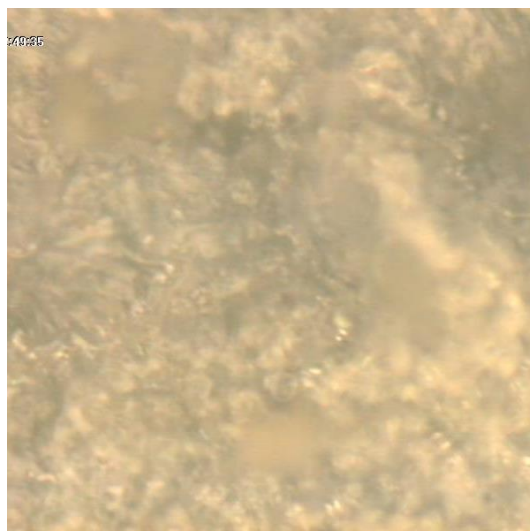
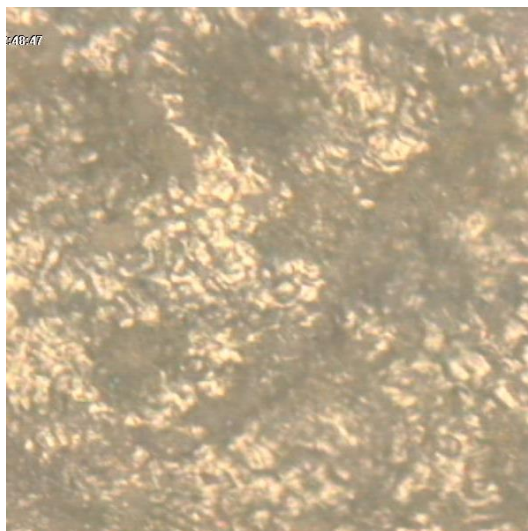
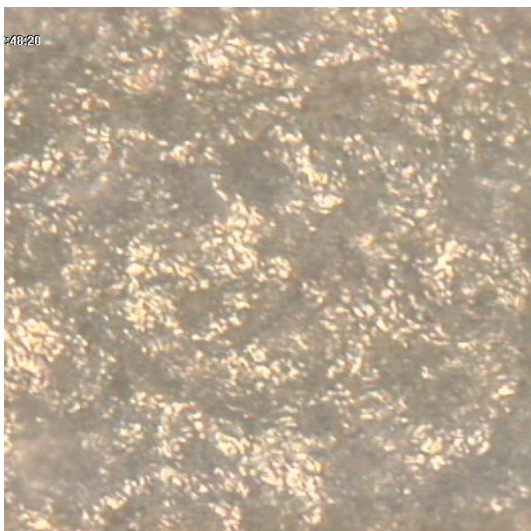
Δείγμα 1α (Απόσταση από τη μονάδα: 300m), πάνω επιφάνεια φύλλου, με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά οι φωτογραφίες με τους φακούς 5x,10x,20x αντίστοιχα.



Δείγμα 1α (Απόσταση από τη μονάδα: 300m), τομή φύλλου, με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά οι φωτογραφίες με τους φακούς 5x,10x,20x αντίστοιχα.

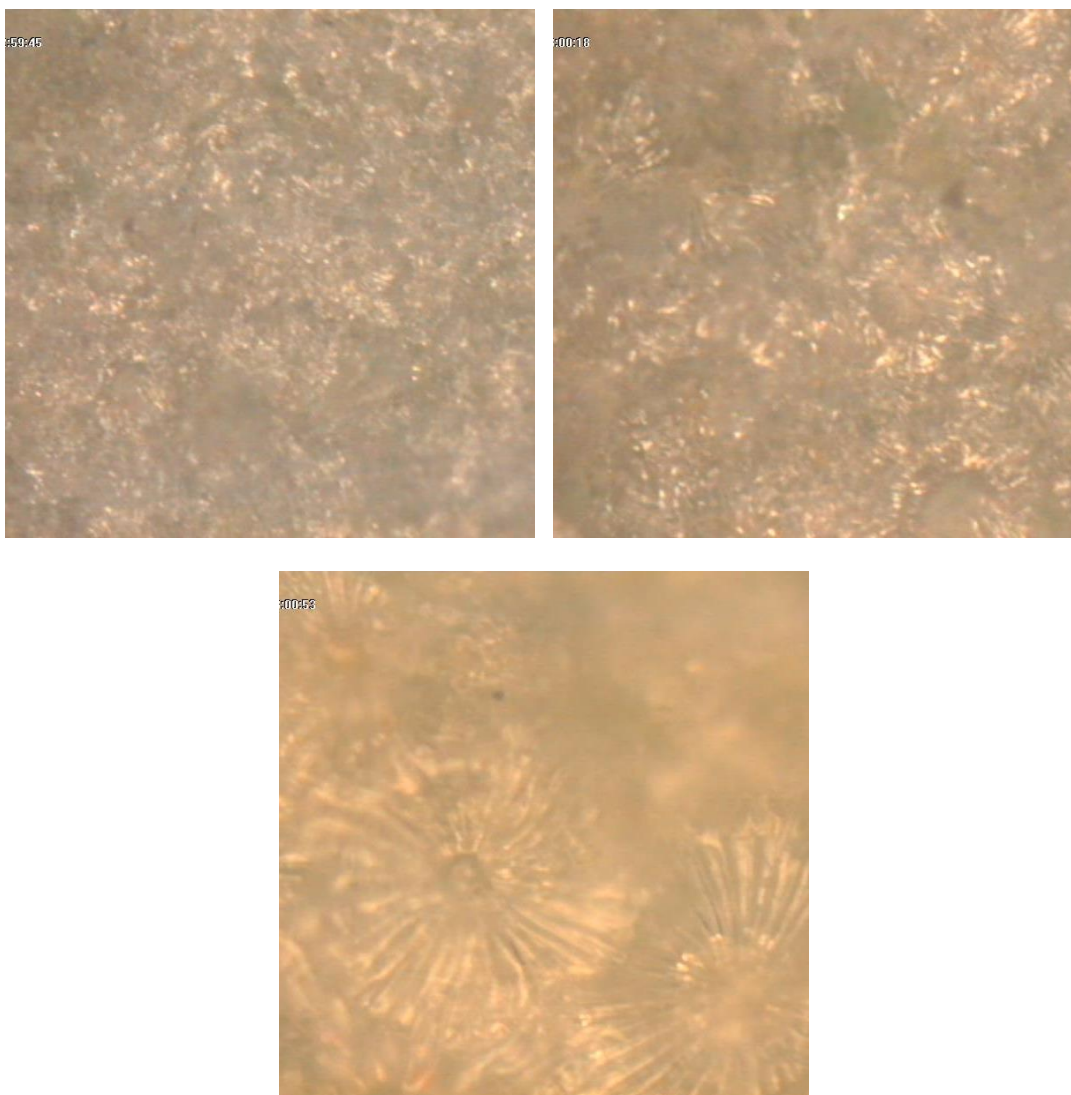


Δείγμα 1β (Απόσταση από τη μονάδα: 300m), κάτω επιφάνεια φύλλου, με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά οι φωτογραφίες με τους φακούς 5x,10x,20x αντίστοιχα.

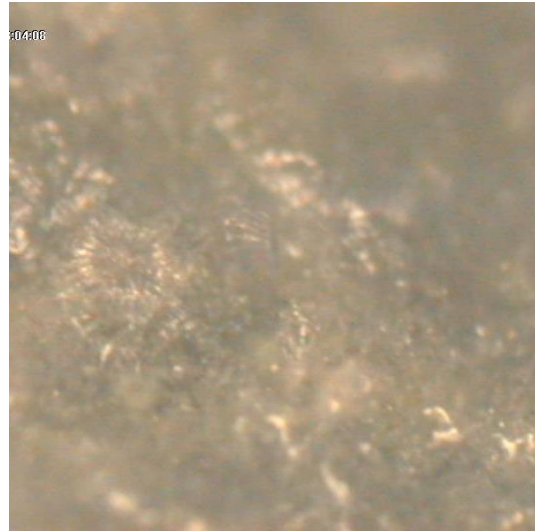


Δείγμα 1β (Απόσταση από τη μονάδα: 300m), πάνω επιφάνεια φύλλου, με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά οι φωτογραφίες με τους φακούς 5x,10x,20x αντίστοιχα.

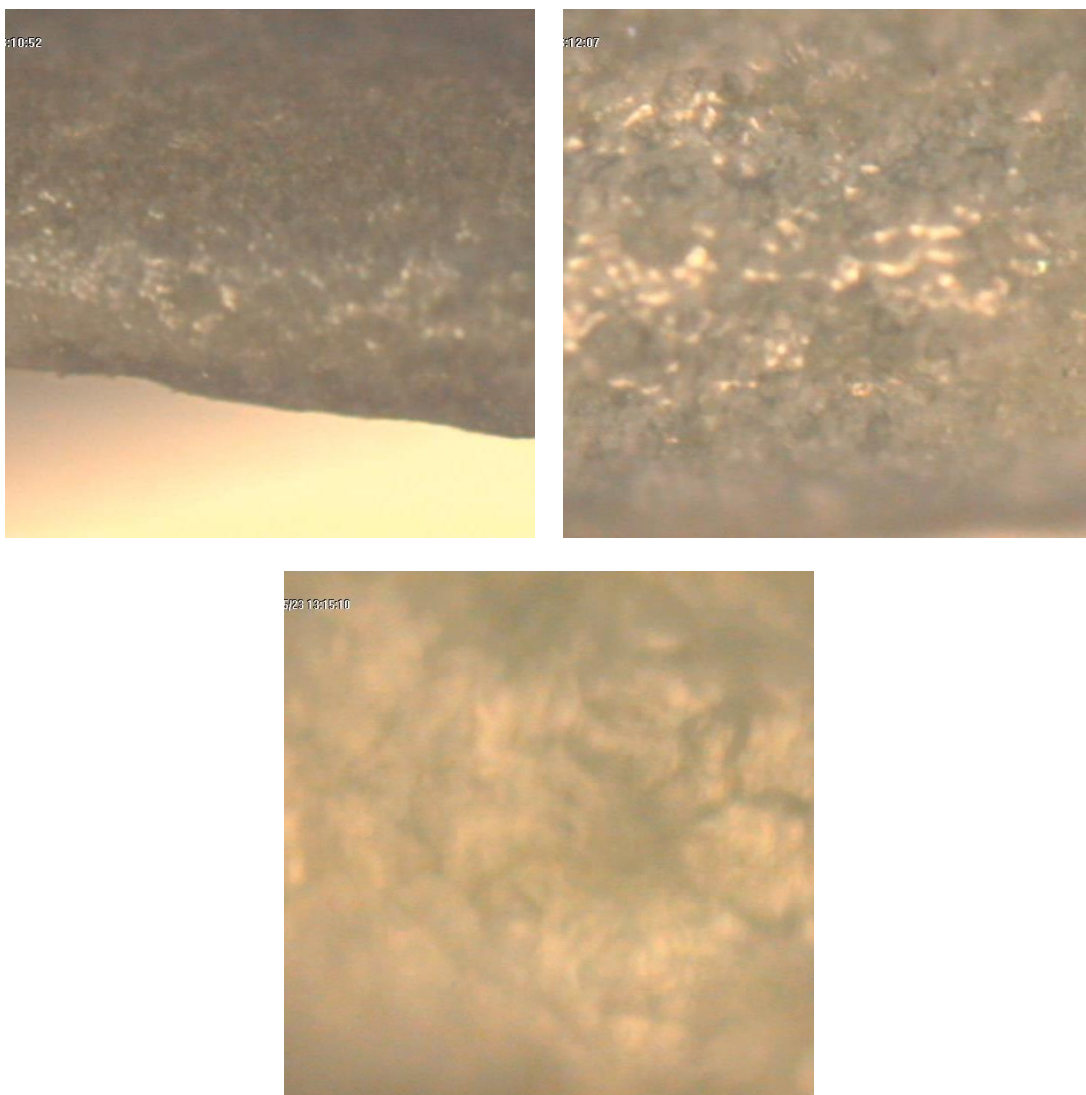
Οι φωτογραφίες της τομής αυτού του δείγματος ήταν ιδιαίτερα θολές και δεν περιλήφθηκαν στην εργασία.



Δείγμα 1γ (Απόσταση από τη μονάδα: 300m), κάτω επιφάνεια φύλλου, με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά οι φωτογραφίες με τους φακούς 5x,10x,20x αντίστοιχα.

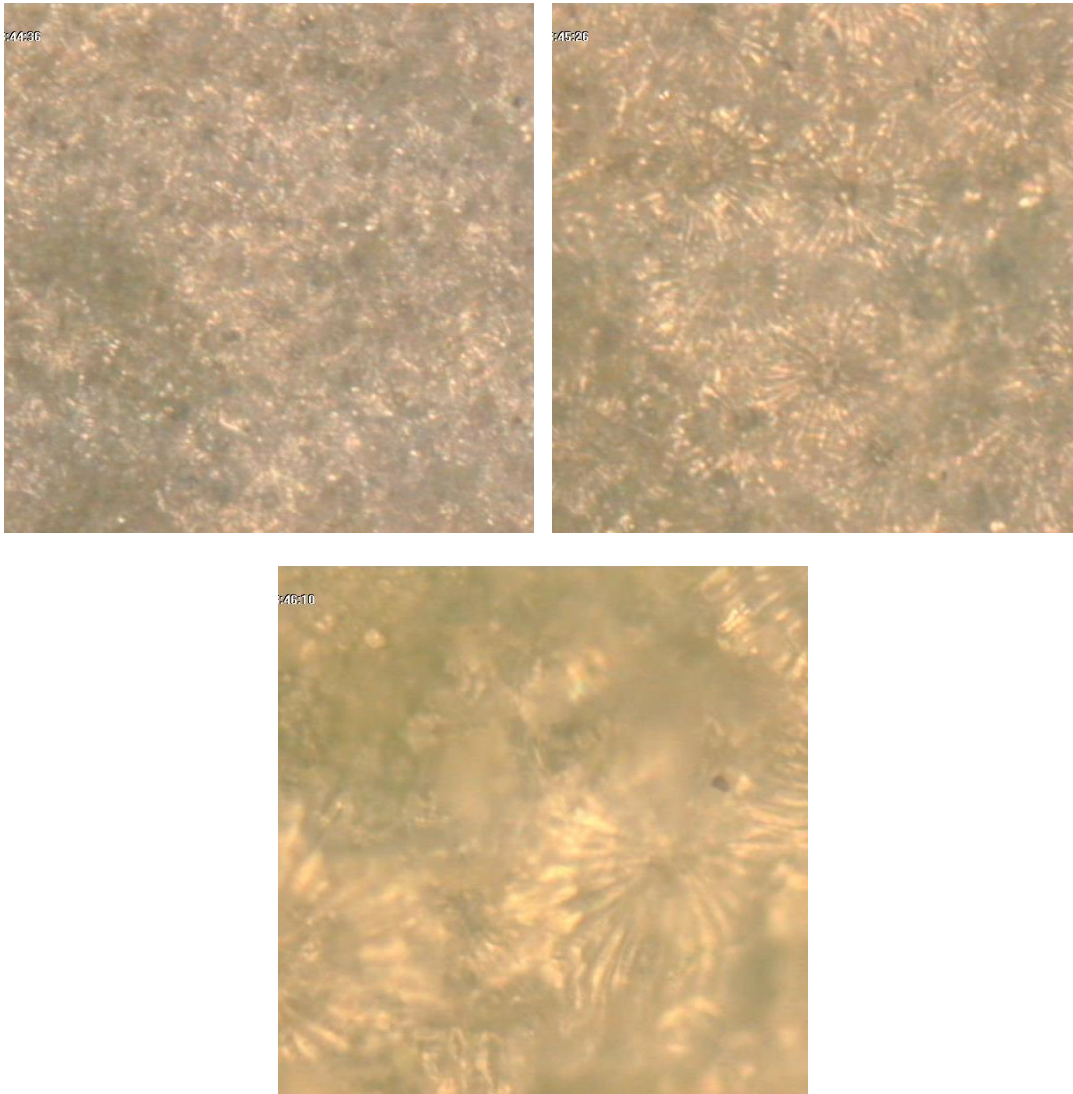


Δείγμα 1γ (Απόσταση από τη μονάδα: 300m), πάνω επιφάνεια φύλλου, με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά οι φωτογραφίες με τους φακούς 5x,10x,20x αντίστοιχα.

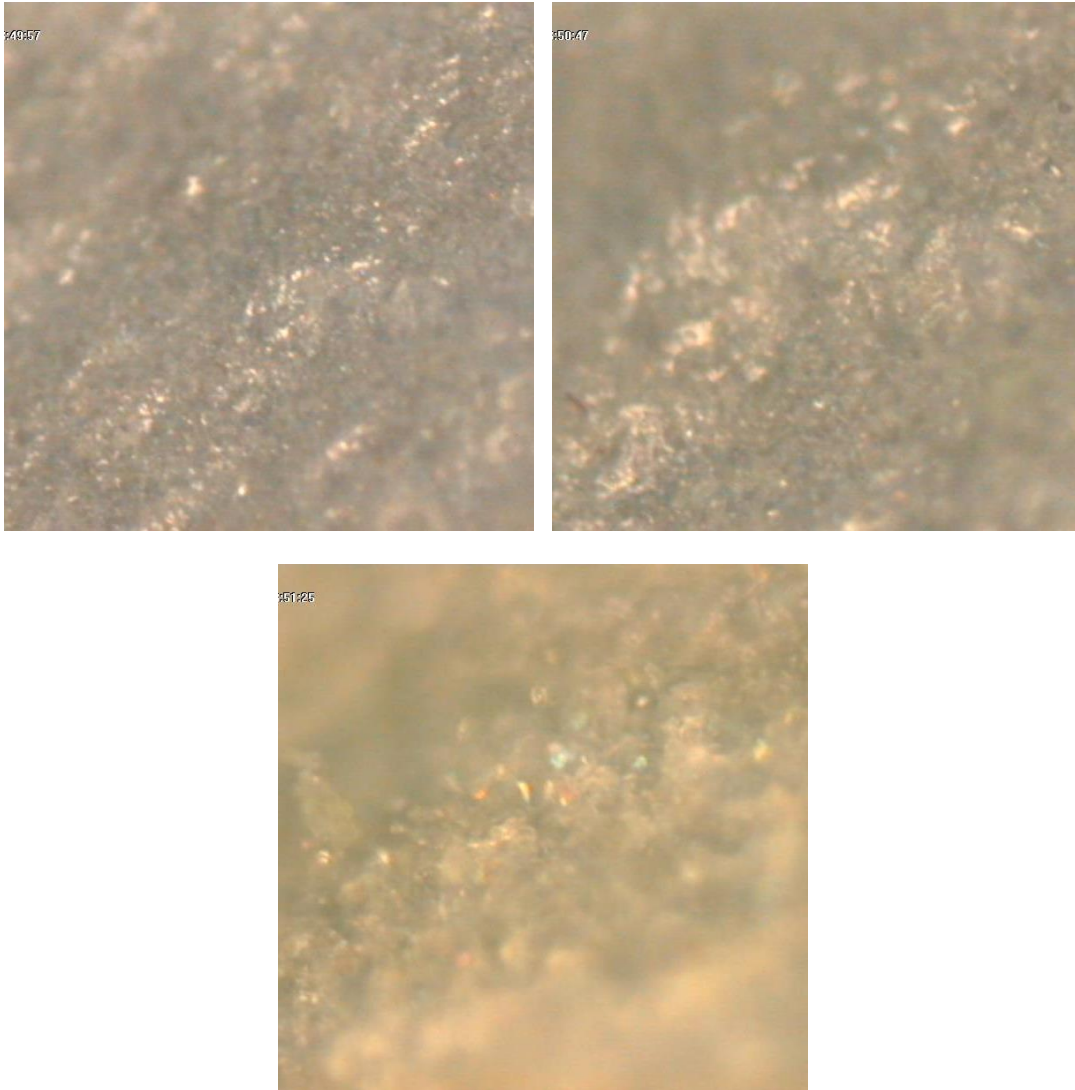


Δείγμα 1γ (Απόσταση από τη μονάδα: 300m), τομή φύλλου, με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά οι φωτογραφίες με τους φακούς 5x,10x,20x αντίστοιχα.

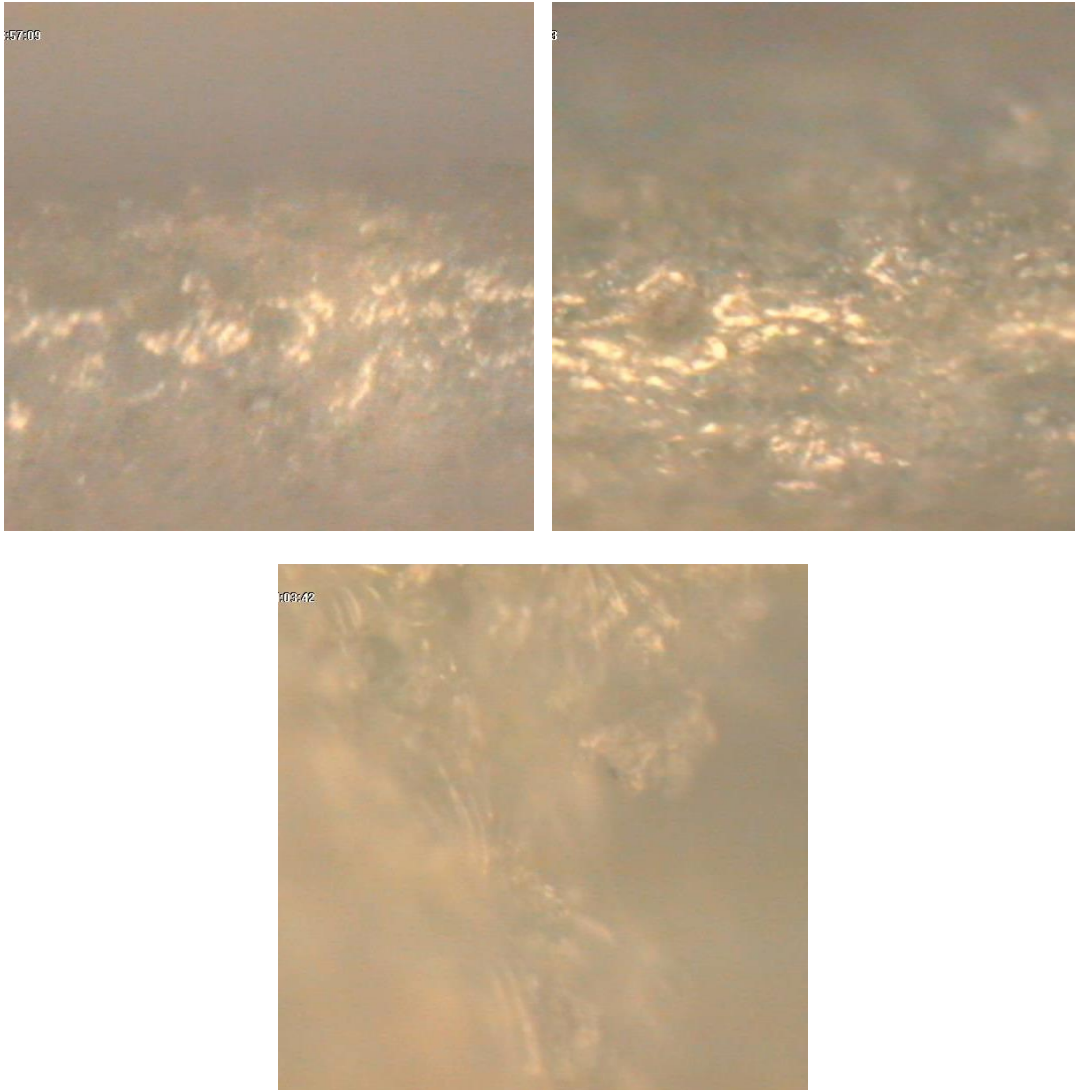
Δείγμα 2 (Ημερομηνία δειγματοληψίας 18/12/2012)



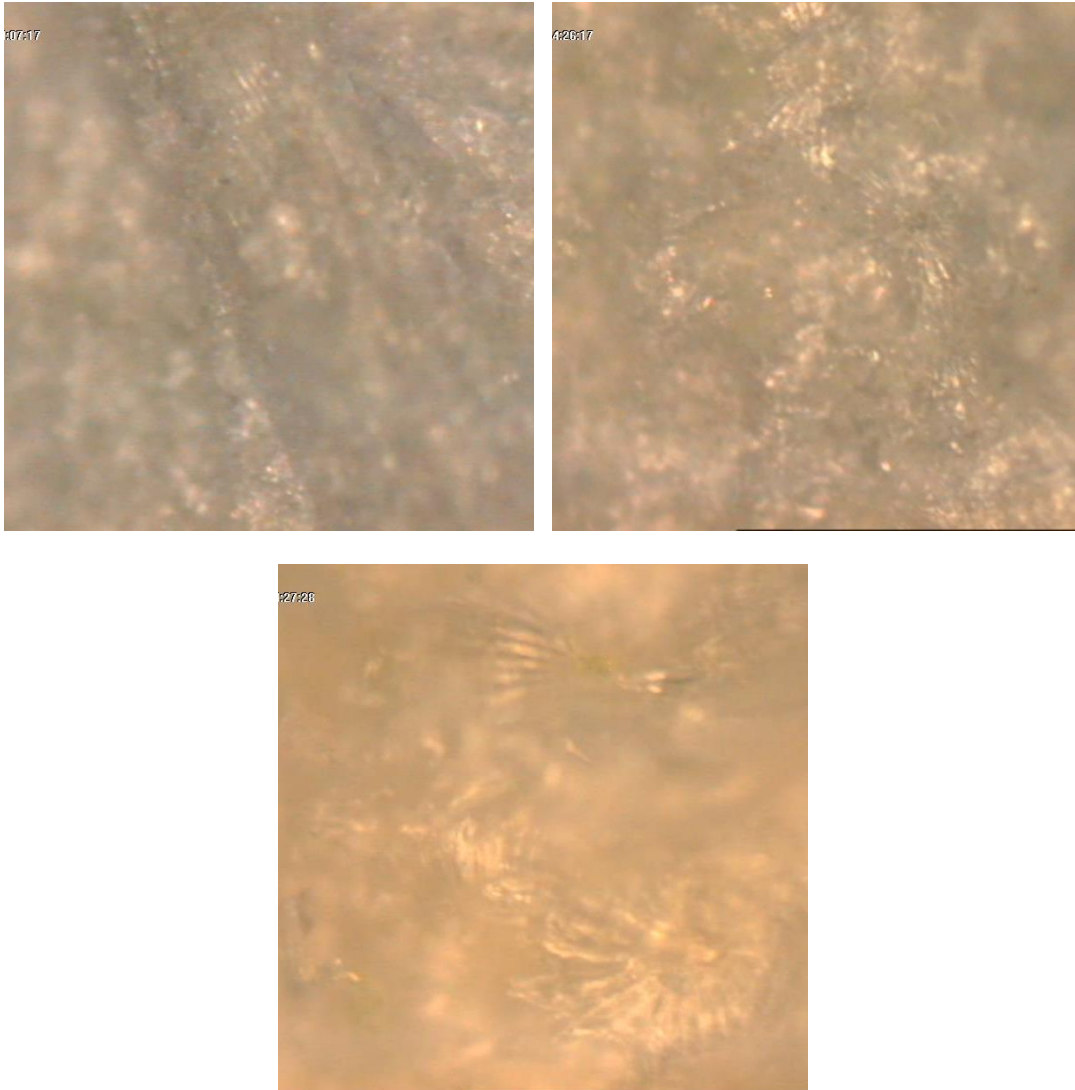
Δείγμα 2α (Απόσταση από τη μονάδα: 400m), κάτω επιφάνεια φύλλου, με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά οι φωτογραφίες με τους φακούς 5x,10x,20x αντίστοιχα.



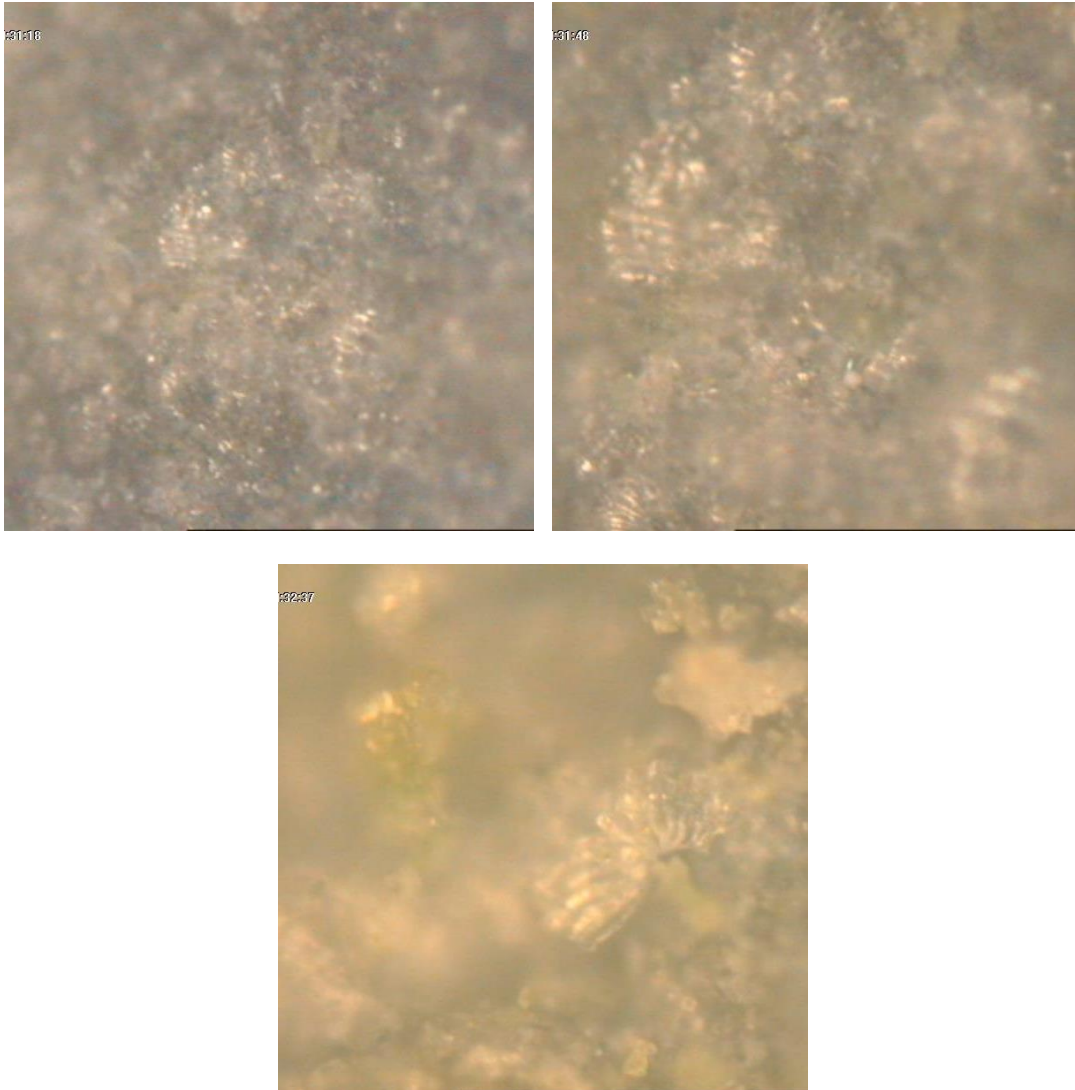
Δείγμα 2α (Απόσταση από τη μονάδα: 400m), πάνω επιφάνεια φύλλου, με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά οι φωτογραφίες με τους φακούς 5x,10x,20x αντίστοιχα.



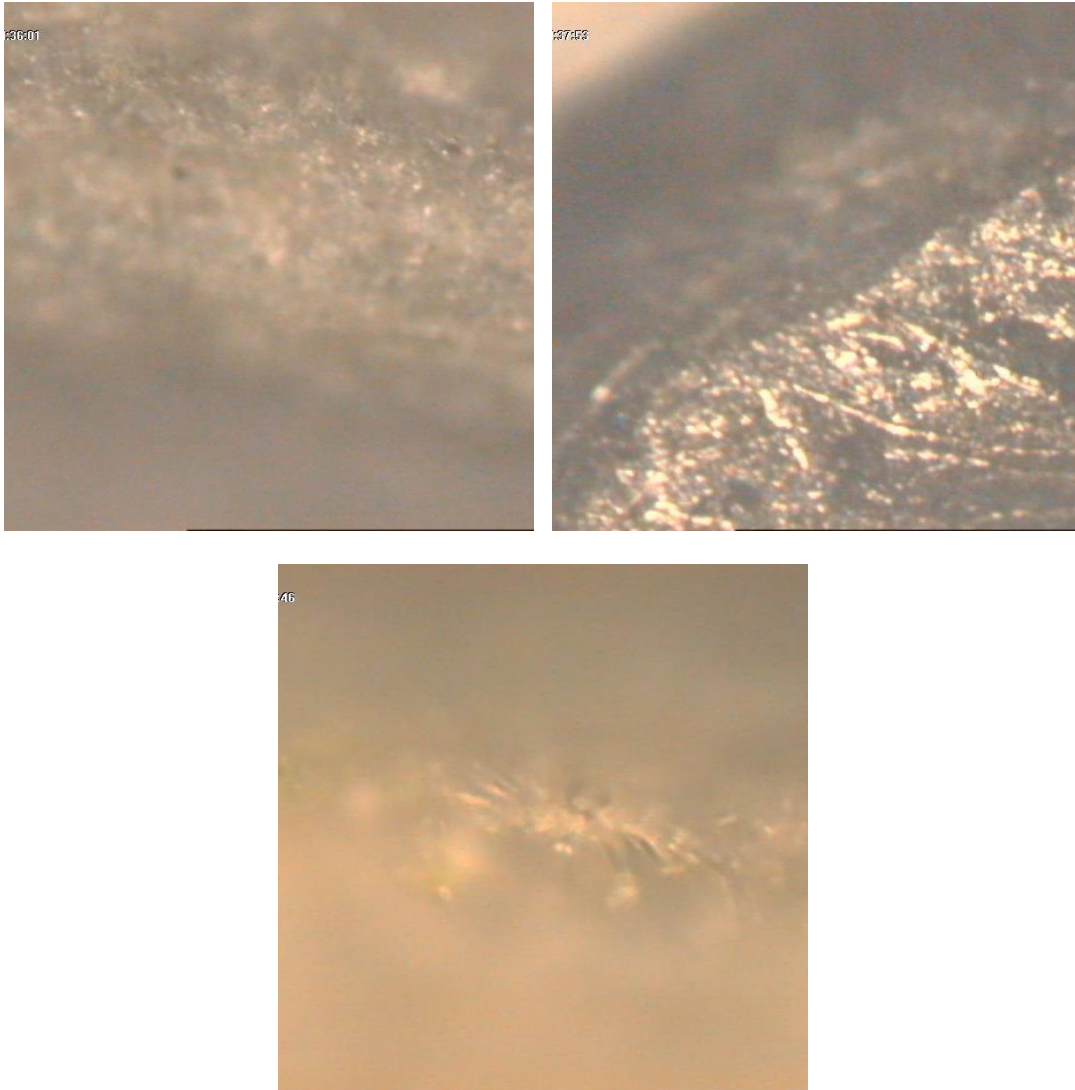
Δείγμα 2α (Απόσταση από τη μονάδα: 400m), τομή φύλλου, με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά οι φωτογραφίες με τους φακούς 5x,10x,20x αντίστοιχα.



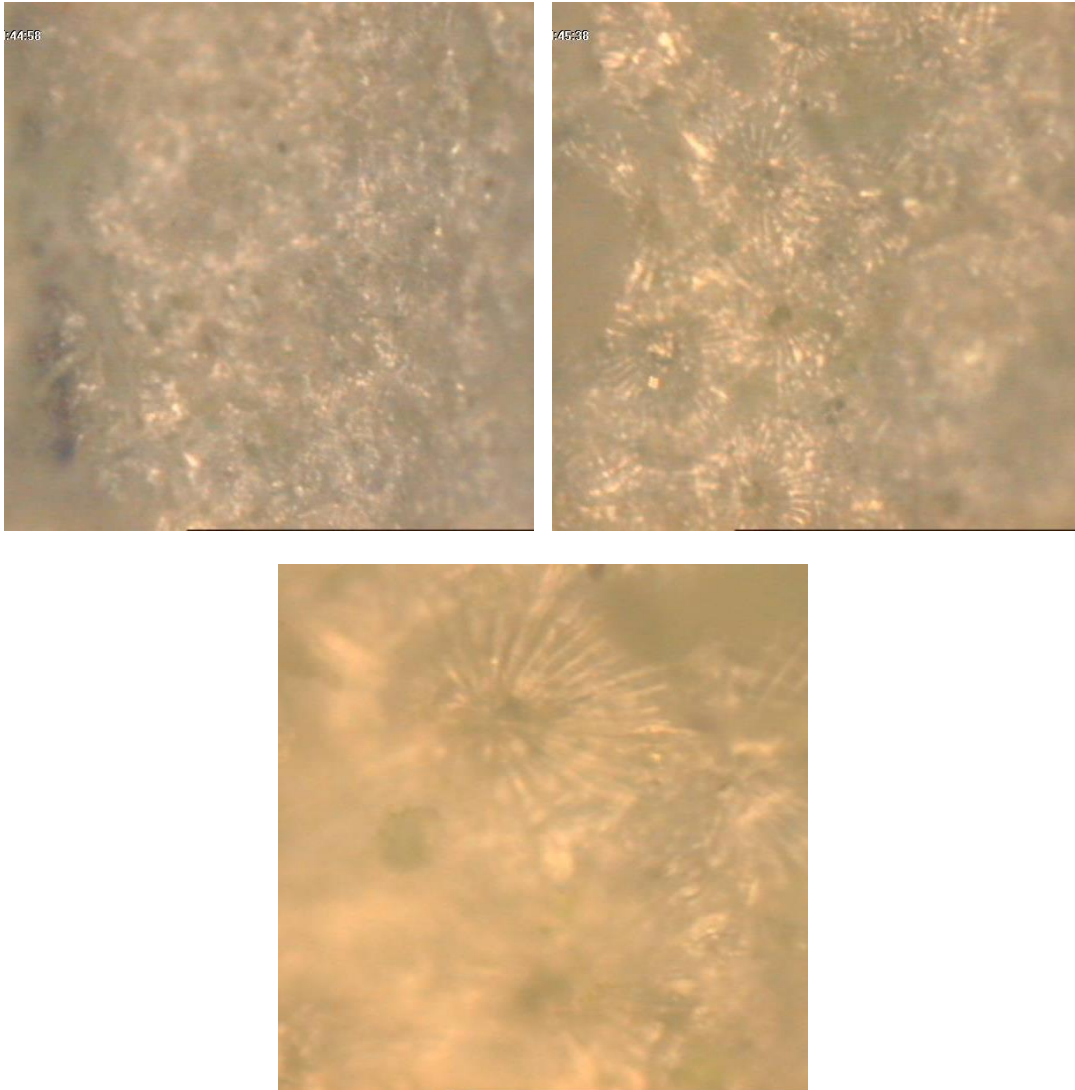
Δείγμα 2β (Απόσταση από τη μονάδα: 400m), κάτω επιφάνεια φύλλου, με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά οι φωτογραφίες με τους φακούς 5x,10x,20x αντίστοιχα.



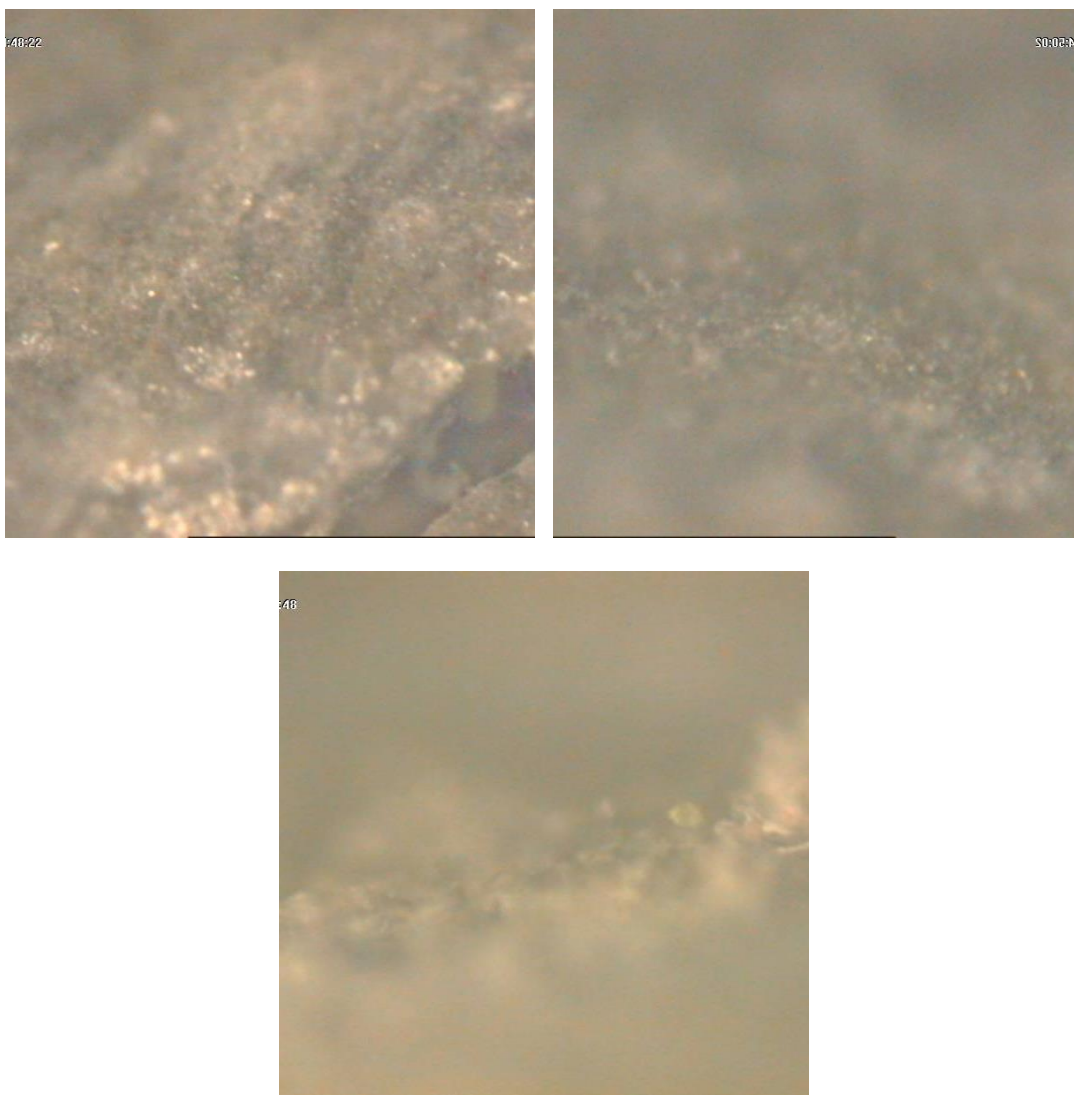
Δείγμα 2β (Απόσταση από τη μονάδα: 400m), πάνω επιφάνεια φύλλου, με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά οι φωτογραφίες με τους φακούς 5x,10x,20x αντίστοιχα.



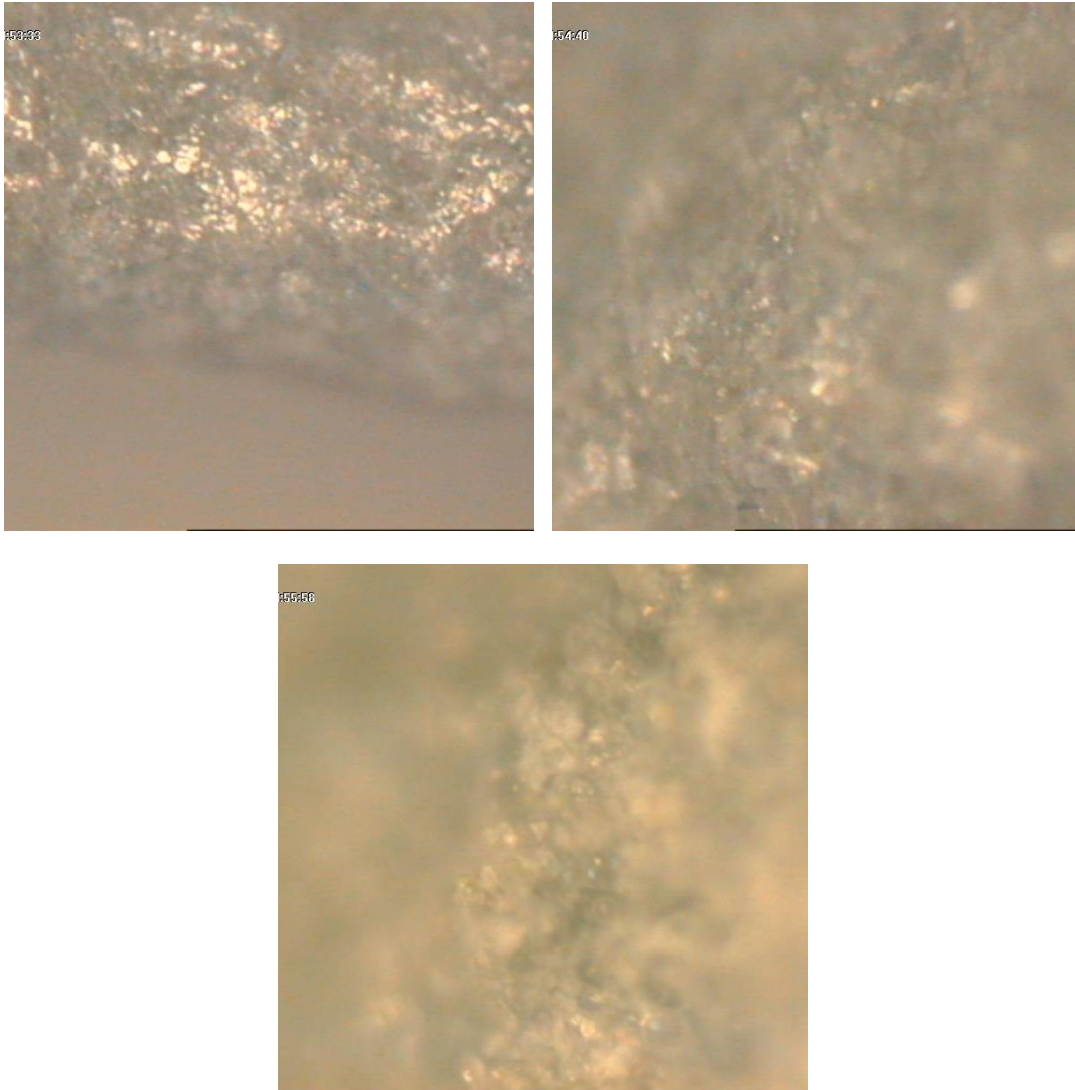
Δείγμα 2β (Απόσταση από τη μονάδα: 400m), τομή φύλλου, με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά οι φωτογραφίες με τους φακούς 5x,10x,20x αντίστοιχα.



Δείγμα 2γ (Απόσταση από τη μονάδα: 400m), κάτω επιφάνεια φύλλου, με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά οι φωτογραφίες με τους φακούς 5x,10x,20x αντίστοιχα.



Δείγμα 2γ (Απόσταση από τη μονάδα: 400m), πάνω επιφάνεια φύλλου, με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά οι φωτογραφίες με τους φακούς 5x,10x,20x αντίστοιχα.

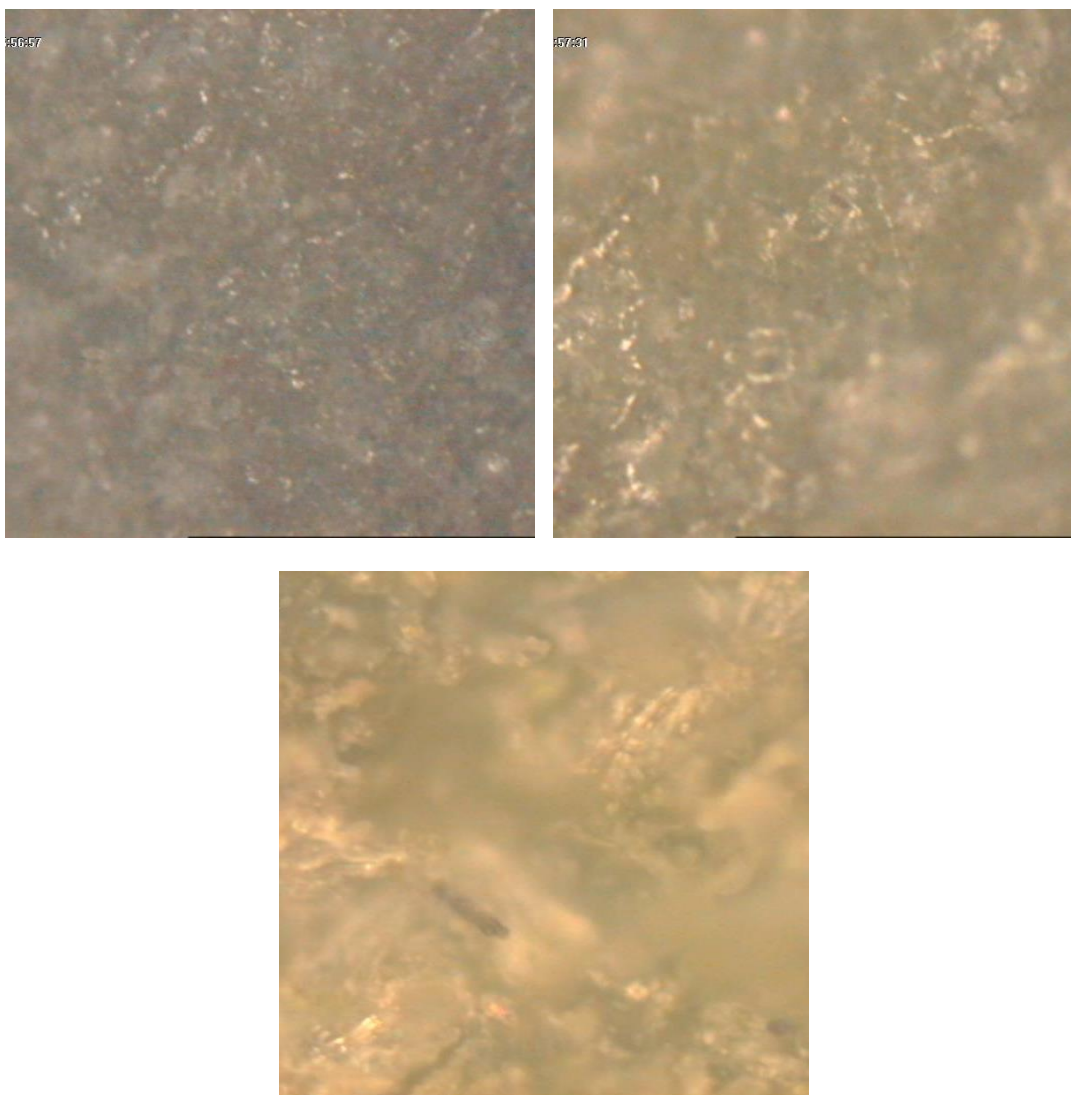


Δείγμα 2γ (Απόσταση από τη μονάδα: 400m), τομή φύλλου, με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά οι φωτογραφίες με τους φακούς 5x,10x,20x αντίστοιχα.

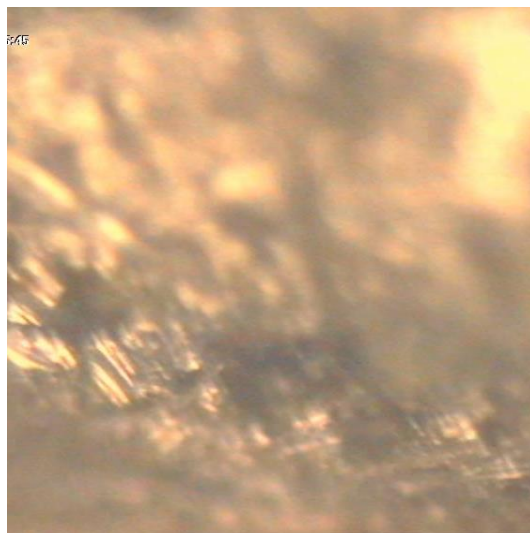
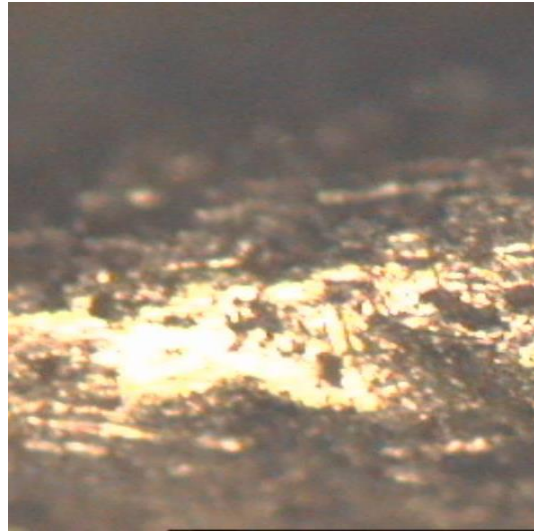
Δείγμα 3 (Ημερομηνία δειγματοληψίας 18/12/2012)



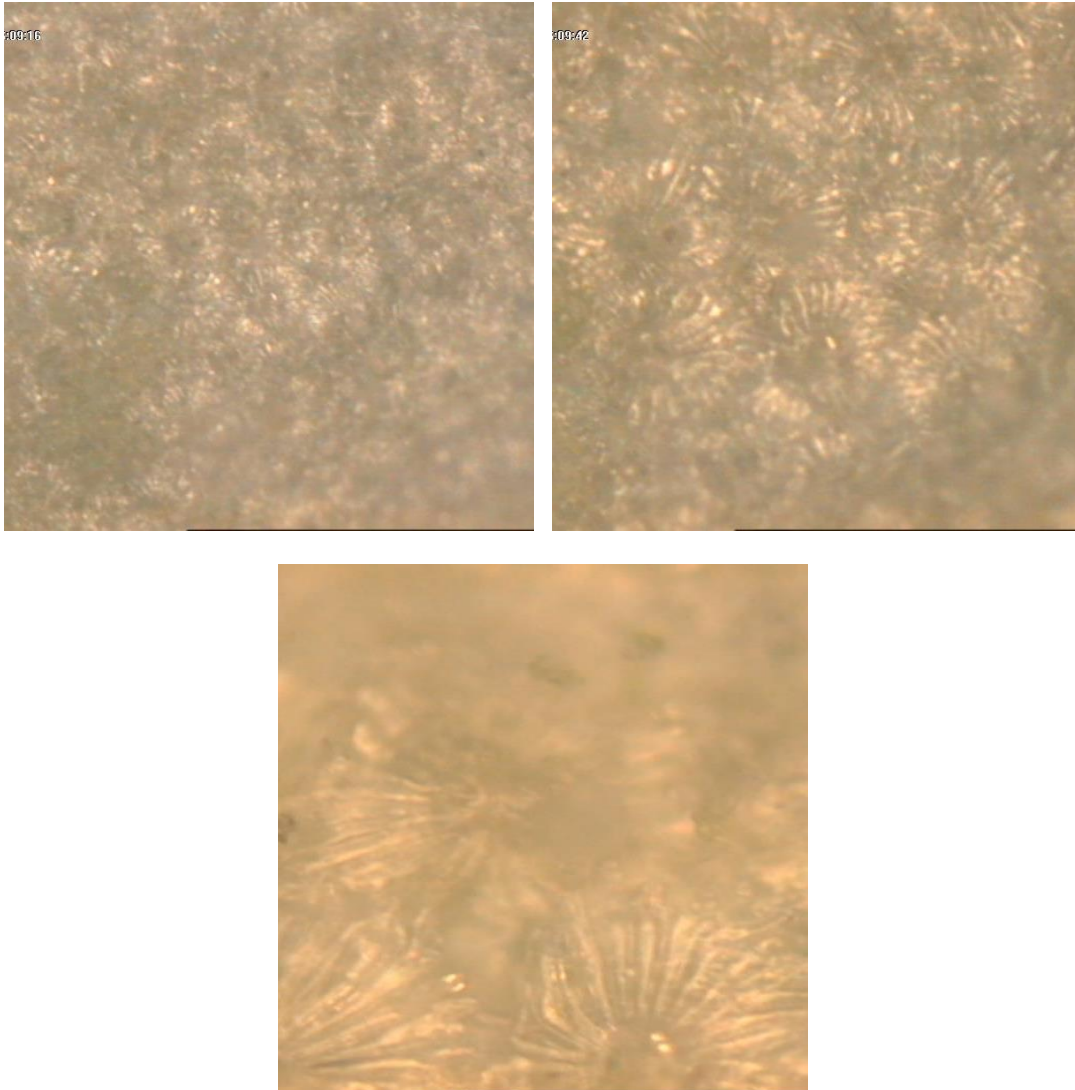
Δείγμα 3α (Απόσταση από τη μονάδα: 600m), κάτω επιφάνεια φύλλου, με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά οι φωτογραφίες με τους φακούς 5x,10x,20x αντίστοιχα.



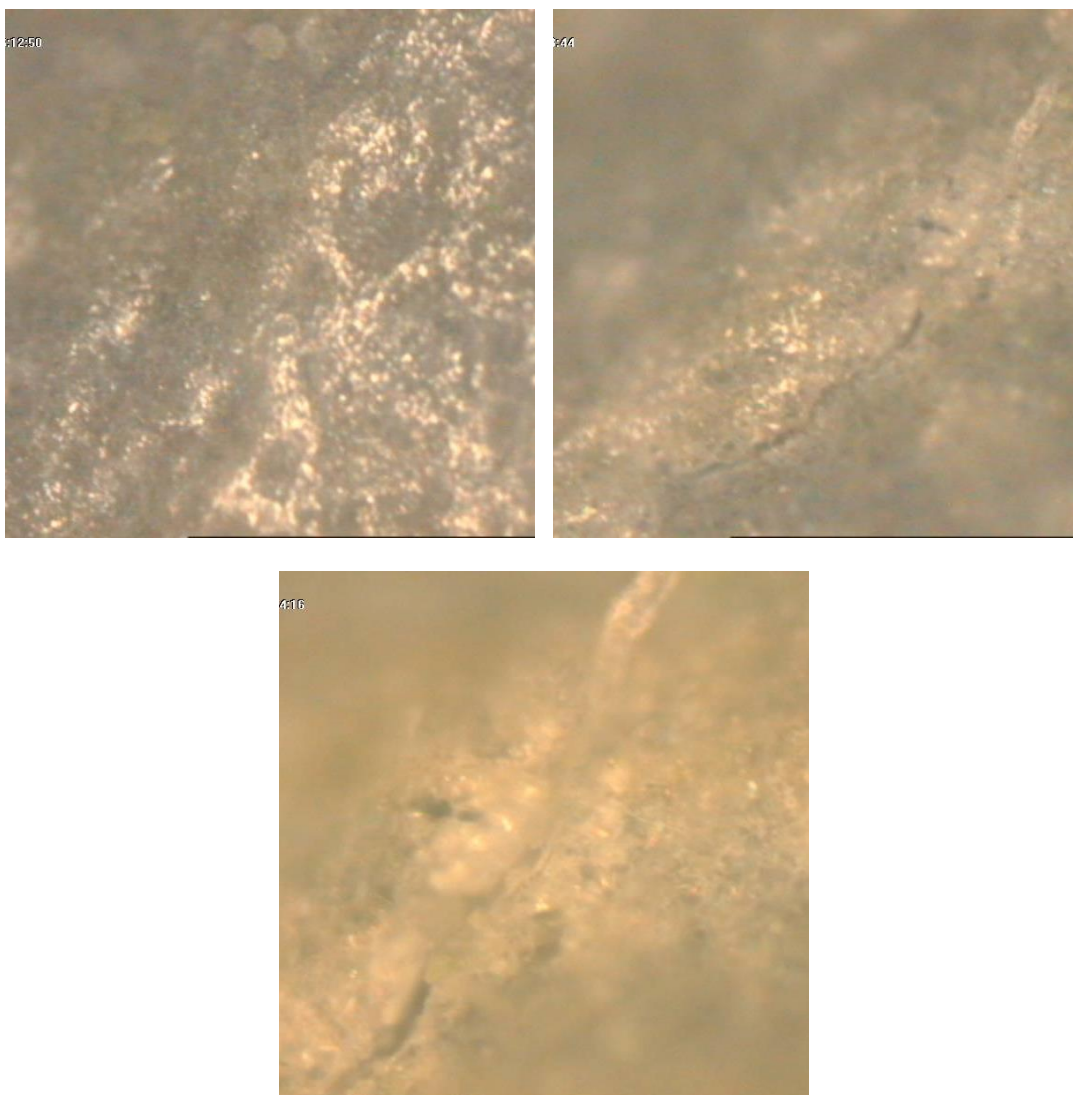
Δείγμα 3α (Απόσταση από τη μονάδα: 600m), πάνω επιφάνεια φύλλου, με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά οι φωτογραφίες με τους φακούς 5x,10x,20x αντίστοιχα.



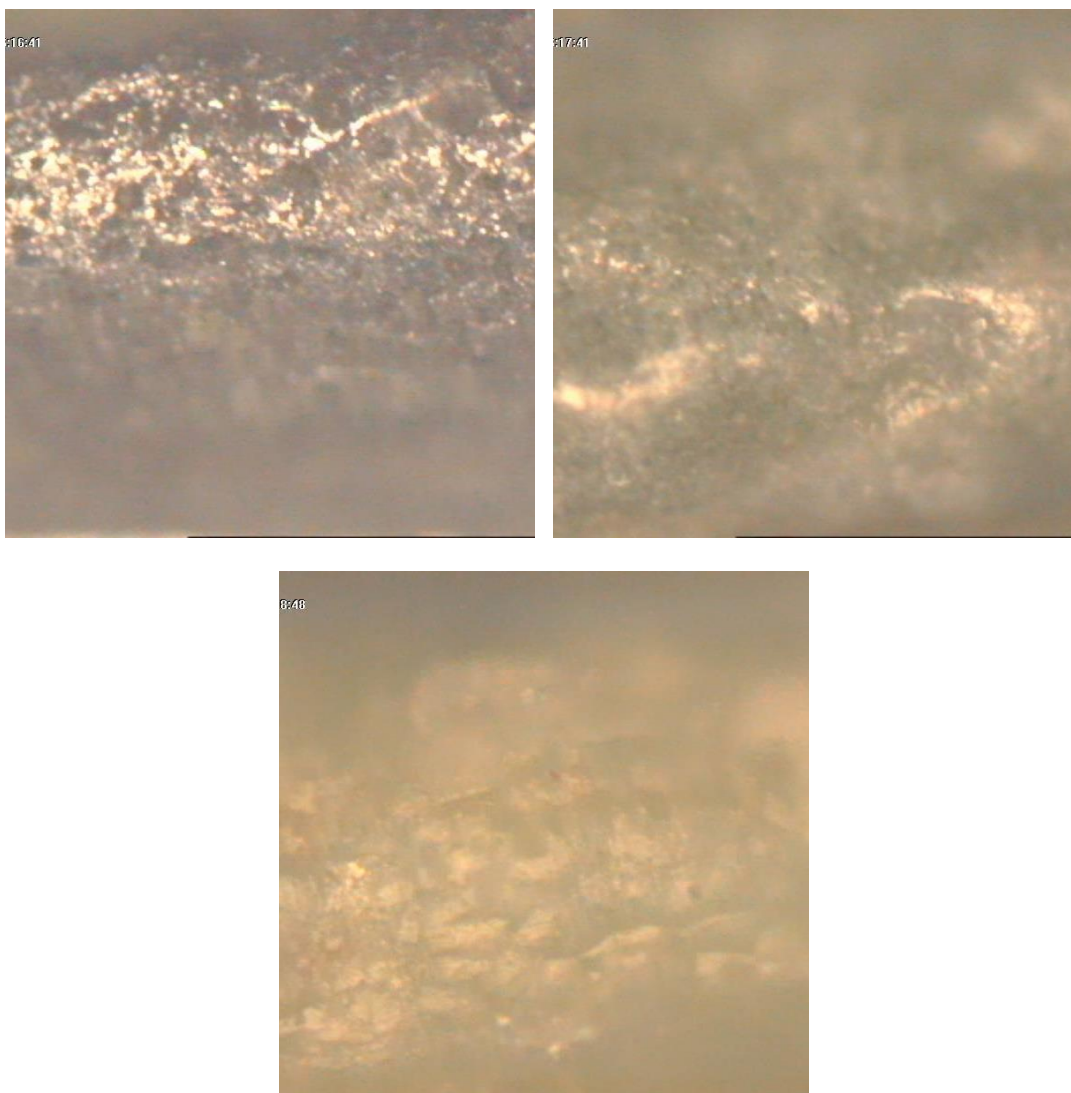
Δείγμα 3α (Απόσταση από τη μονάδα: 600m), τομή φύλλου, με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά οι φωτογραφίες με τους φακούς 5x,10x,20x αντίστοιχα.



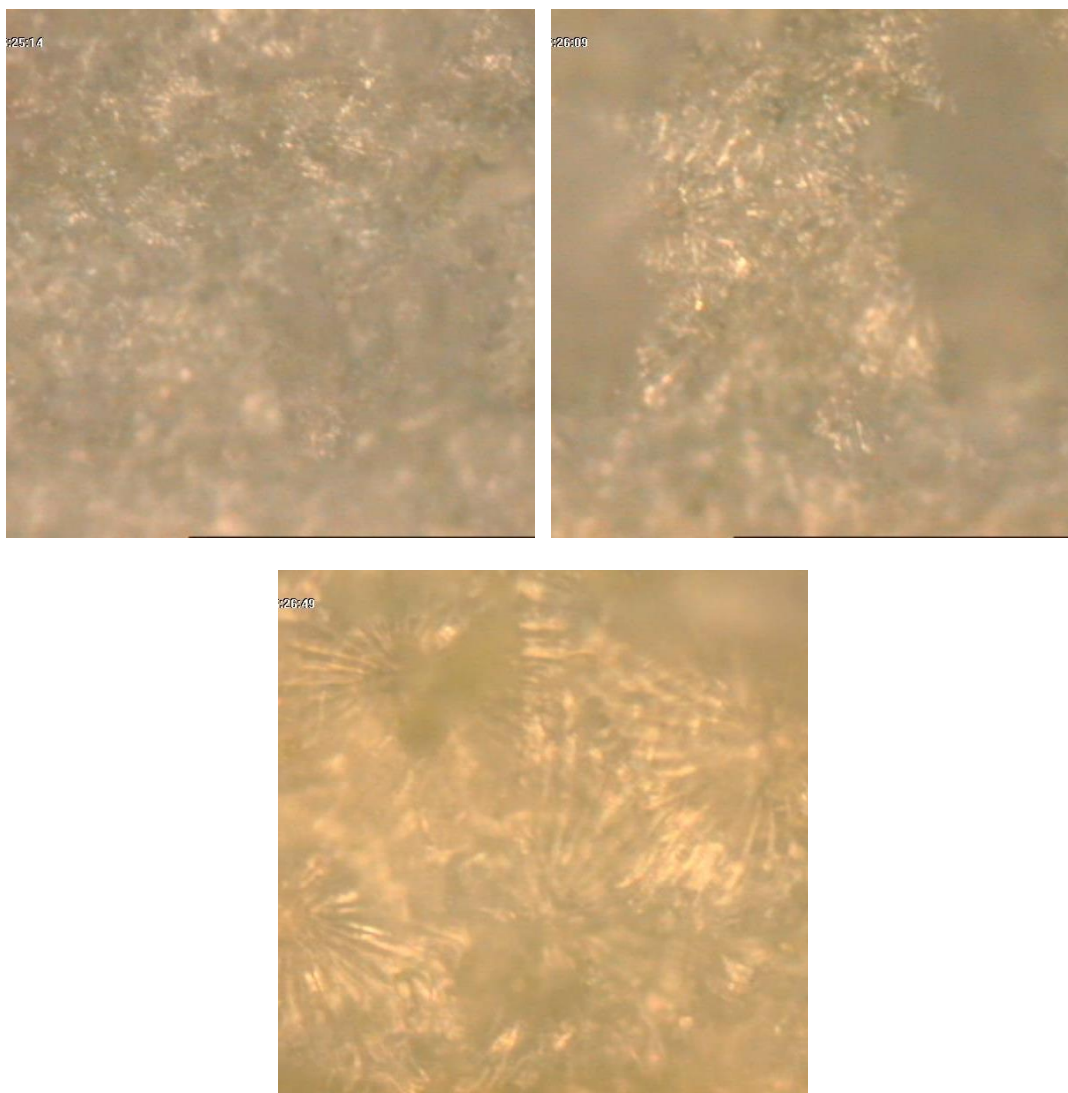
Δείγμα 3β (Απόσταση από τη μονάδα: 600m), κάτω επιφάνεια φύλλου, με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά οι φωτογραφίες με τους φακούς 5x,10x,20x αντίστοιχα.



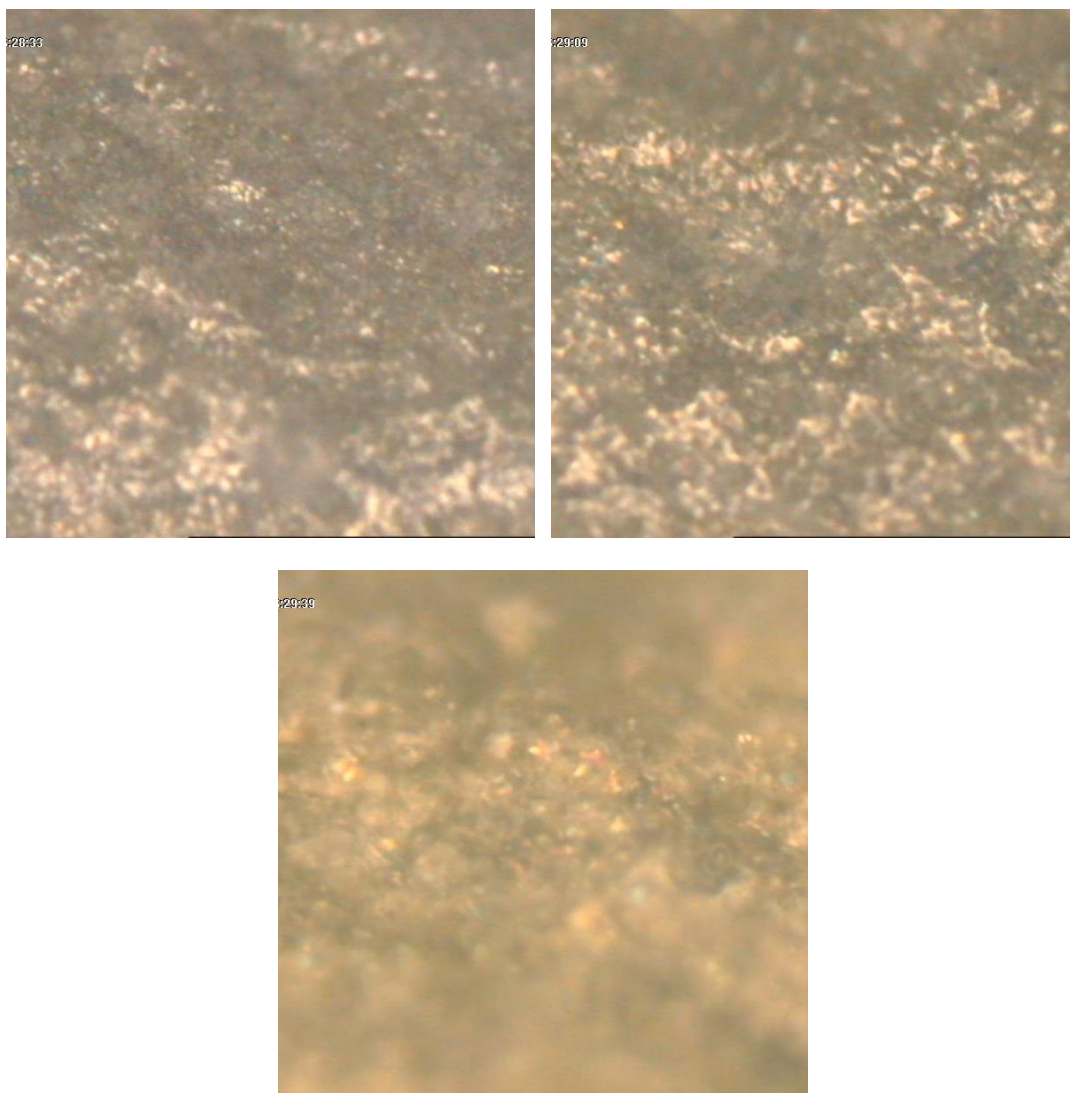
Δείγμα 3β (Απόσταση από τη μονάδα: 600m), πάνω επιφάνεια φύλλου, με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά οι φωτογραφίες με τους φακούς 5x,10x,20x αντίστοιχα



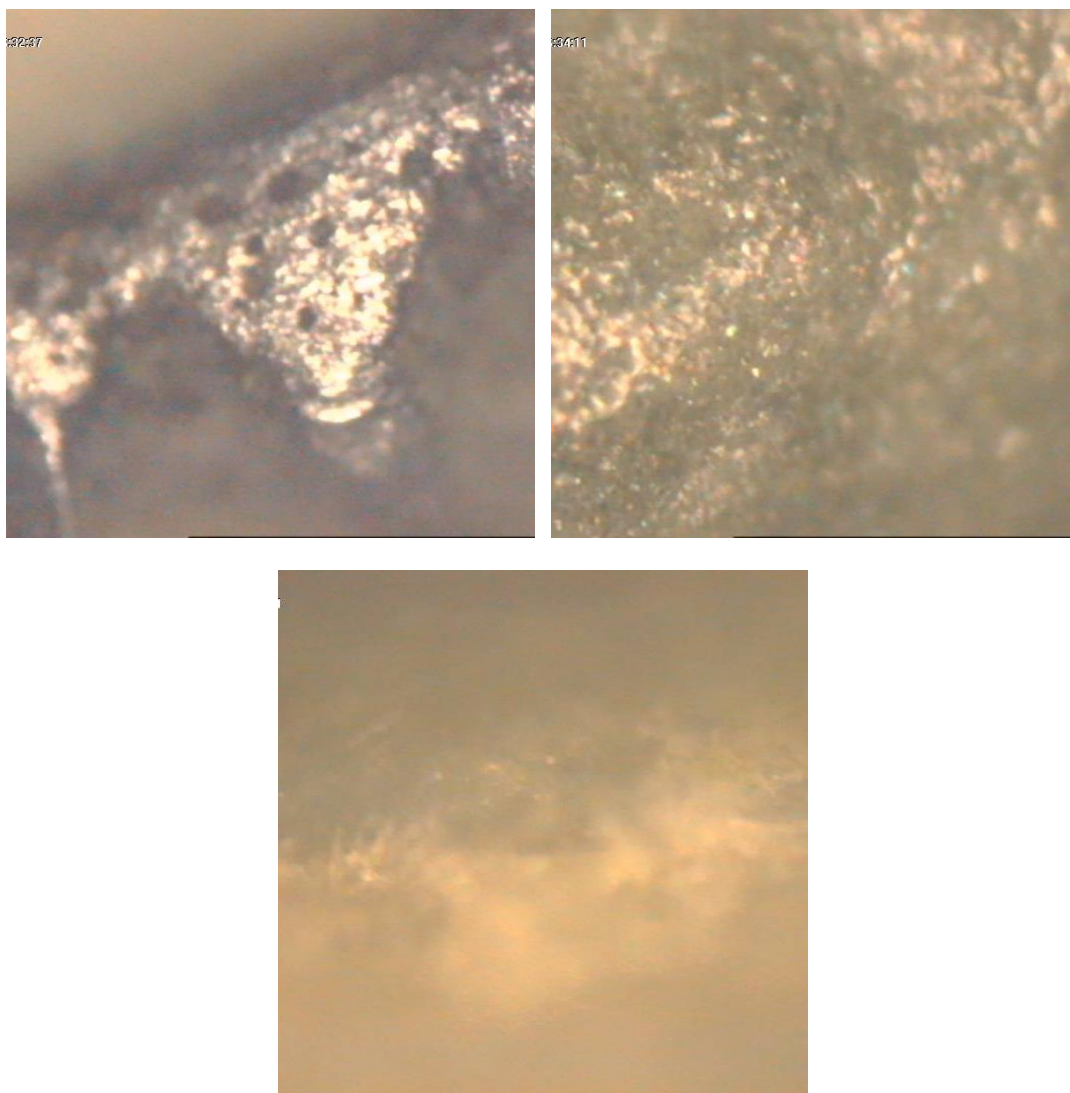
Δείγμα 3β (Απόσταση από τη μονάδα: 600m), τομή φύλλου, με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά οι φωτογραφίες με τους φακούς 5x,10x,20x αντίστοιχα.



Δείγμα 3γ (Απόσταση από τη μονάδα: 600m), κάτω επιφάνεια φύλλου, με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά οι φωτογραφίες με τους φακούς 5x,10x,20x αντίστοιχα.

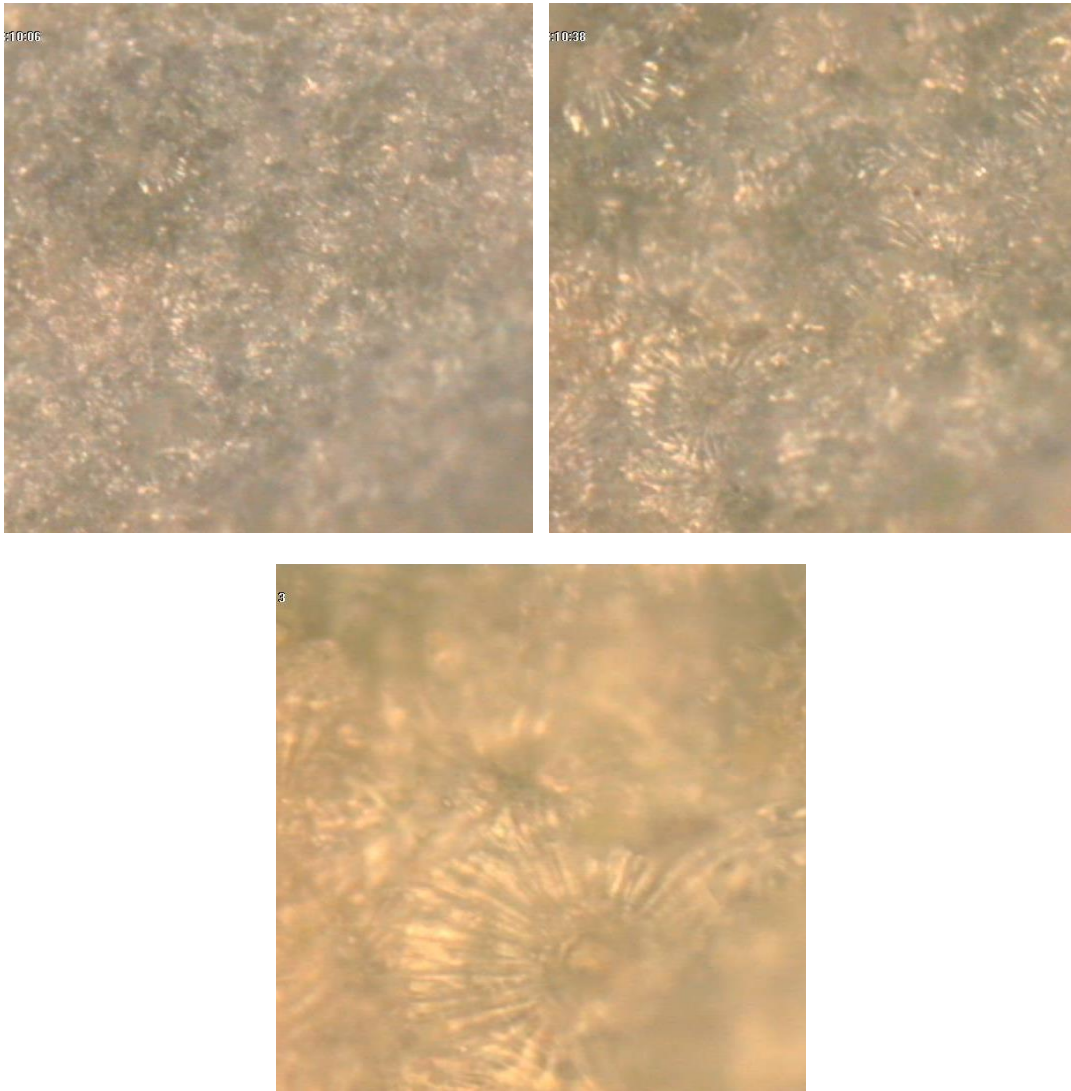


Δείγμα 3γ (Απόσταση από τη μονάδα: 600m), πάνω επιφάνεια φύλλου, με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά οι φωτογραφίες με τους φακούς 5x,10x,20x αντίστοιχα.

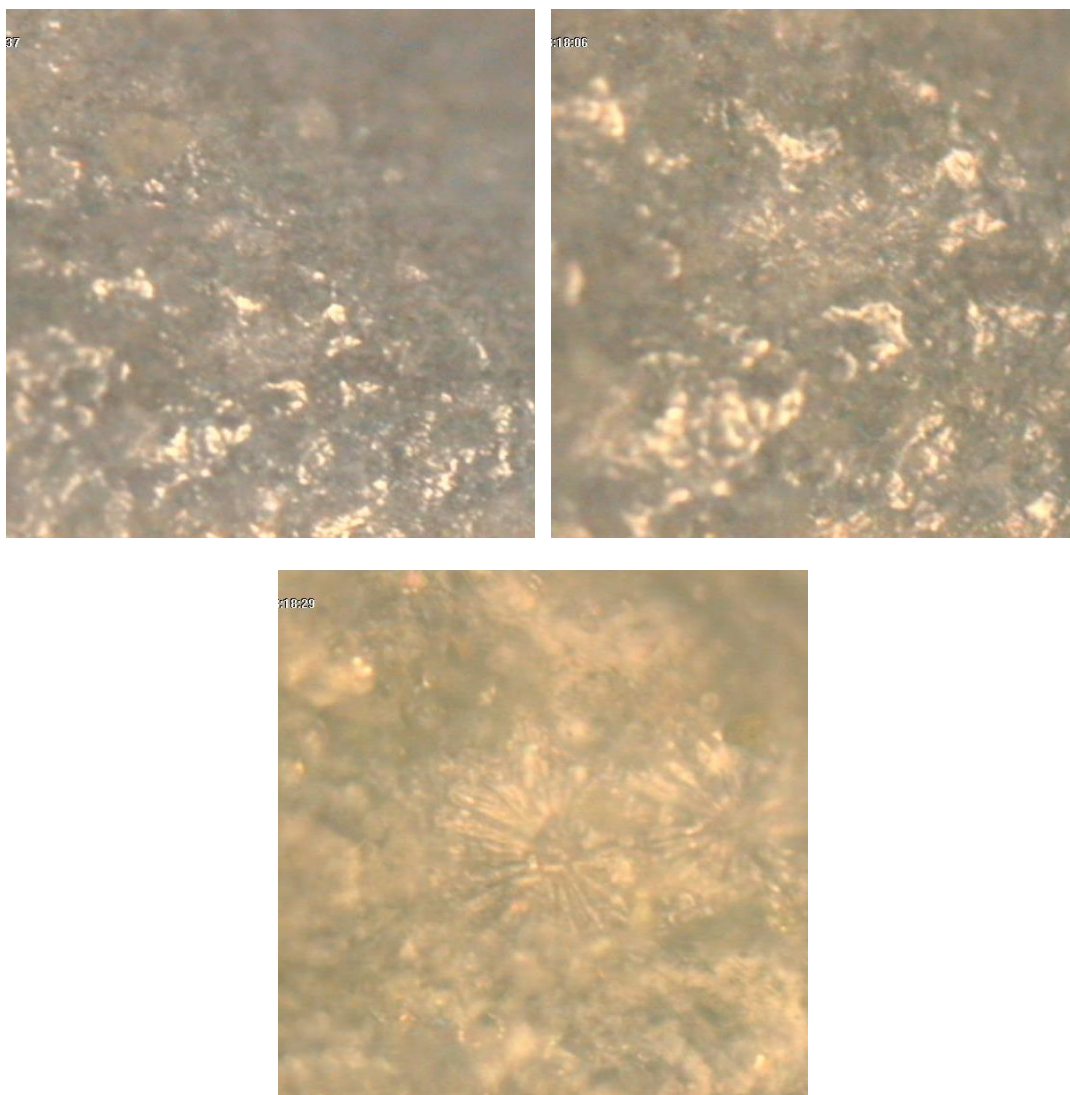


Δείγμα 3γ (Απόσταση από τη μονάδα: 600m), τομή φύλλου, με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά οι φωτογραφίες με τους φακούς 5x,10x,20x αντίστοιχα.

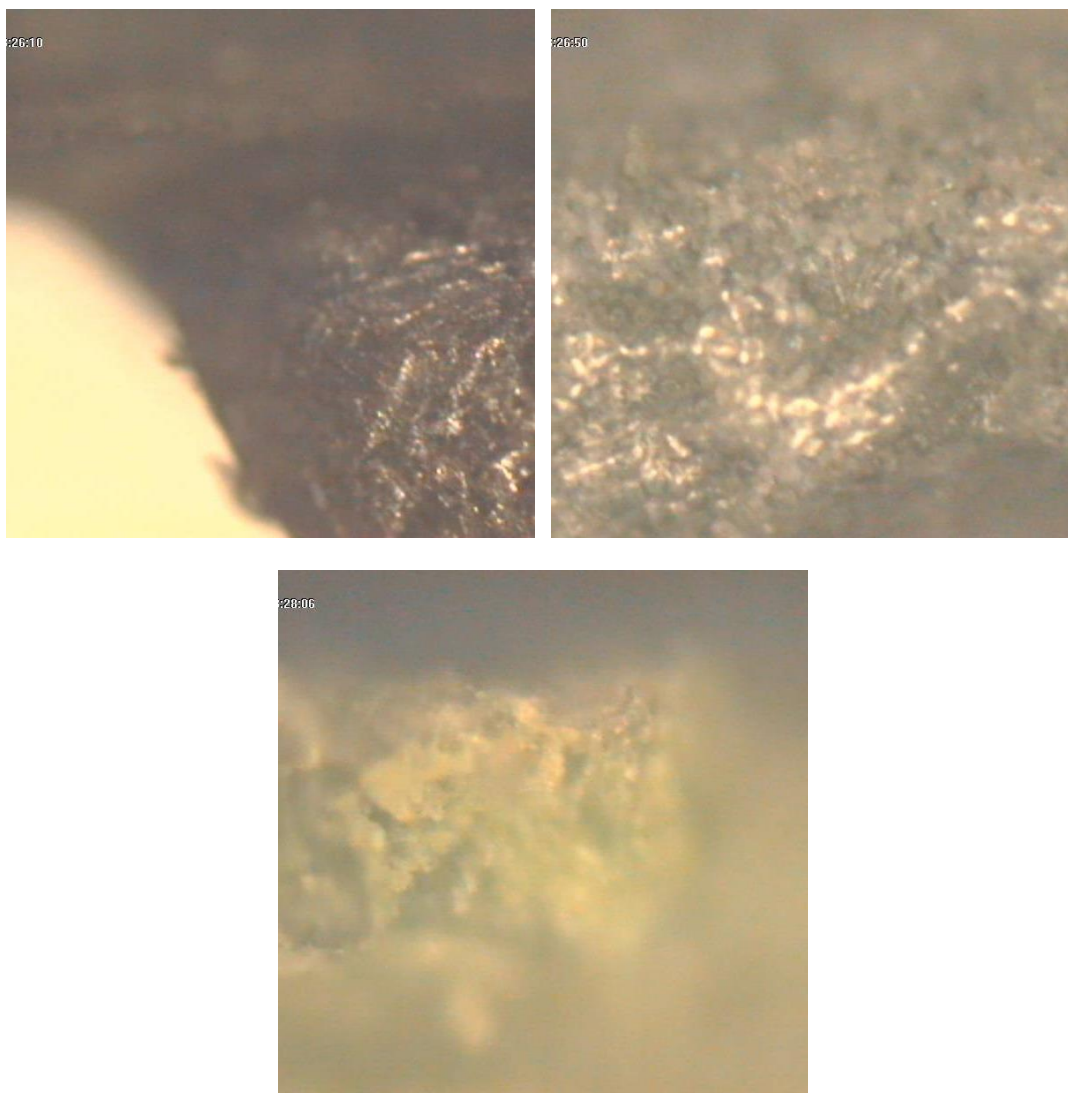
Δείγμα 4 (Ημερομηνία δειγματοληψίας 18/12/2012)



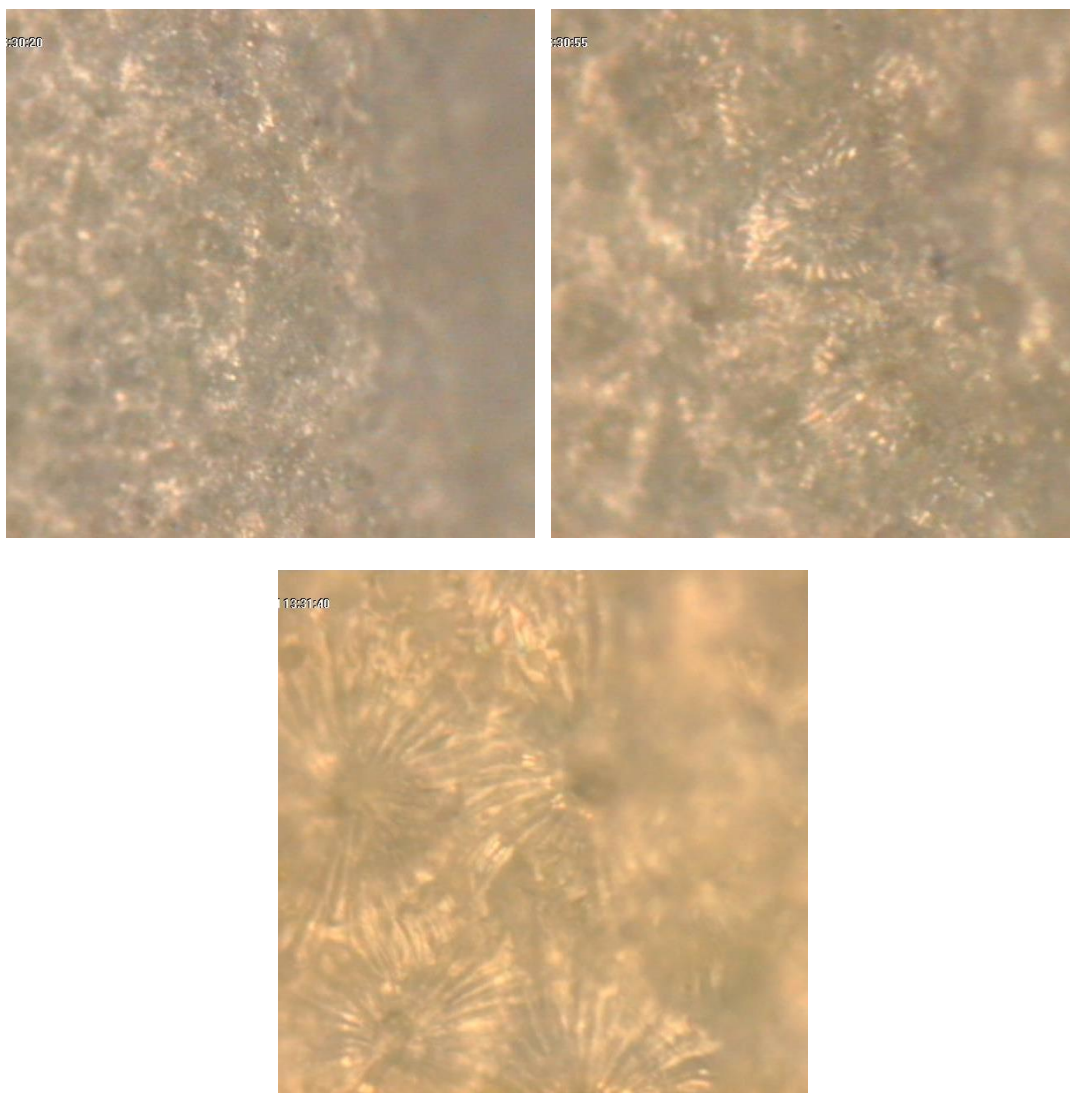
Δείγμα 4α (Απόσταση από τη μονάδα: 800m), κάτω επιφάνεια φύλλου, με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά οι φωτογραφίες με τους φακούς 5x,10x,20x αντίστοιχα.



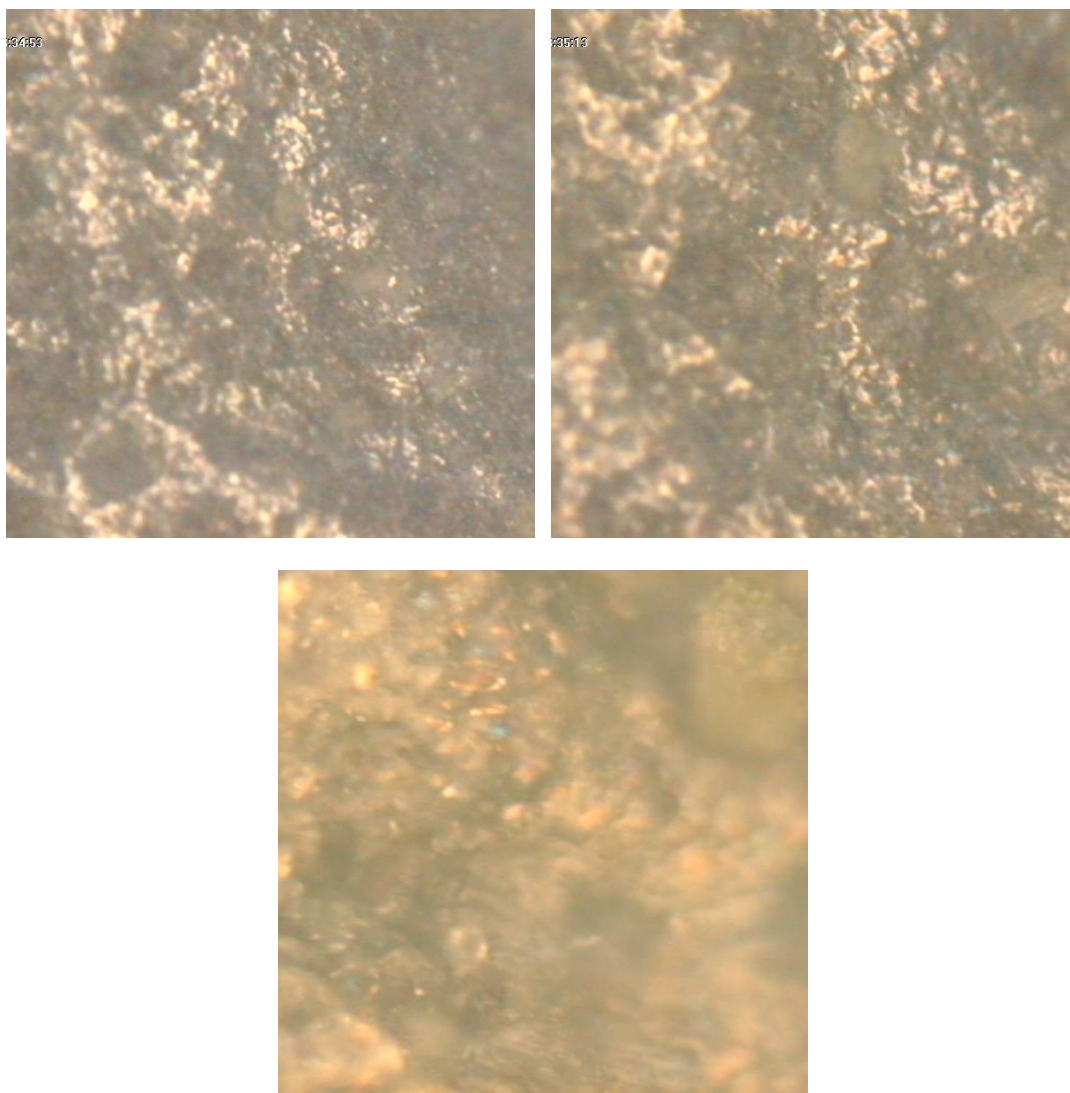
Δείγμα 4α (Απόσταση από τη μονάδα: 800m), πάνω επιφάνεια φύλλου, με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά οι φωτογραφίες με τους φακούς 5x,10x,20x αντίστοιχα.



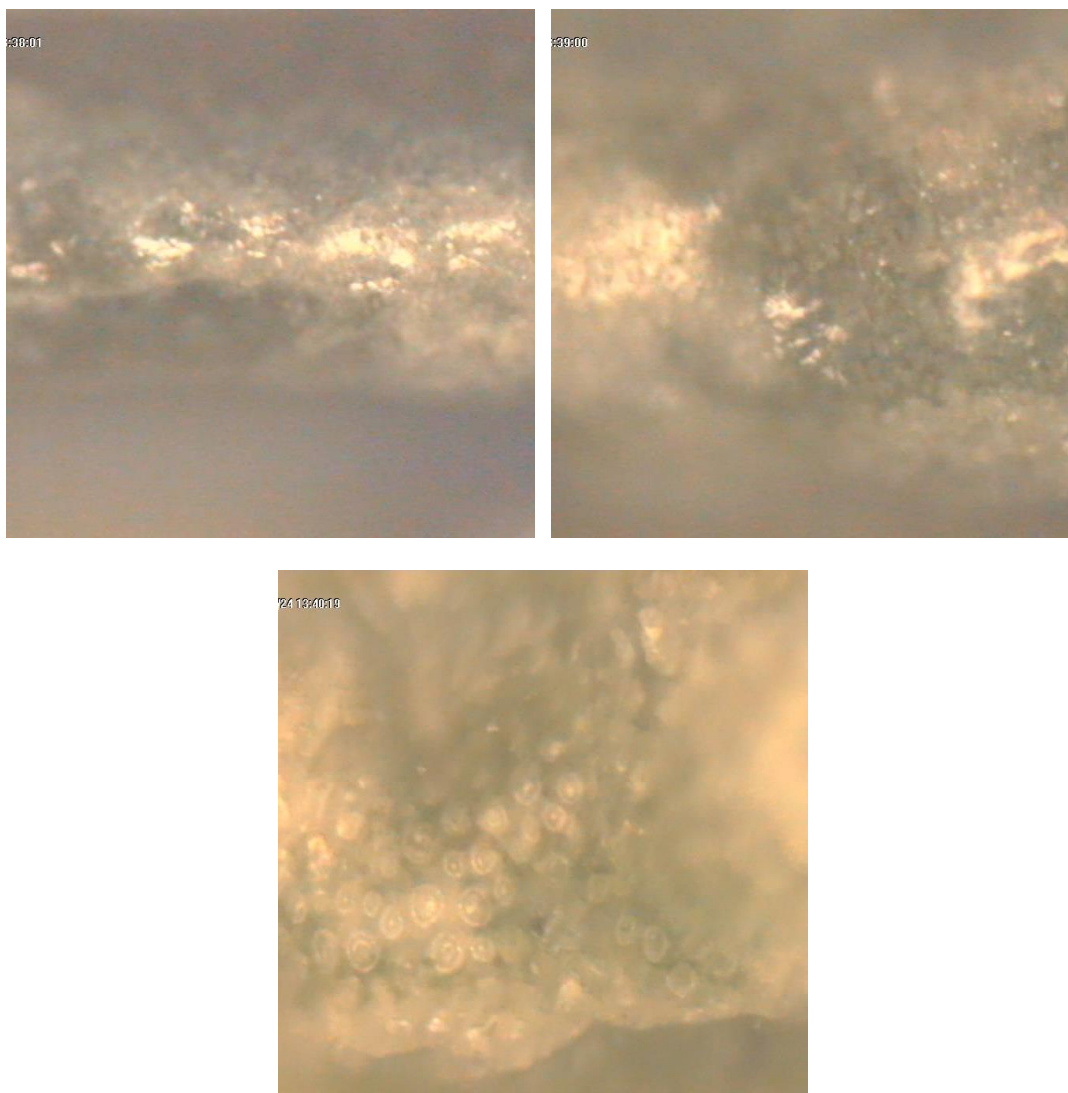
Δείγμα 4a (Απόσταση από τη μονάδα: 800m), τομή φύλλου, με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά οι φωτογραφίες με τους φακούς 5x,10x,20x αντίστοιχα.



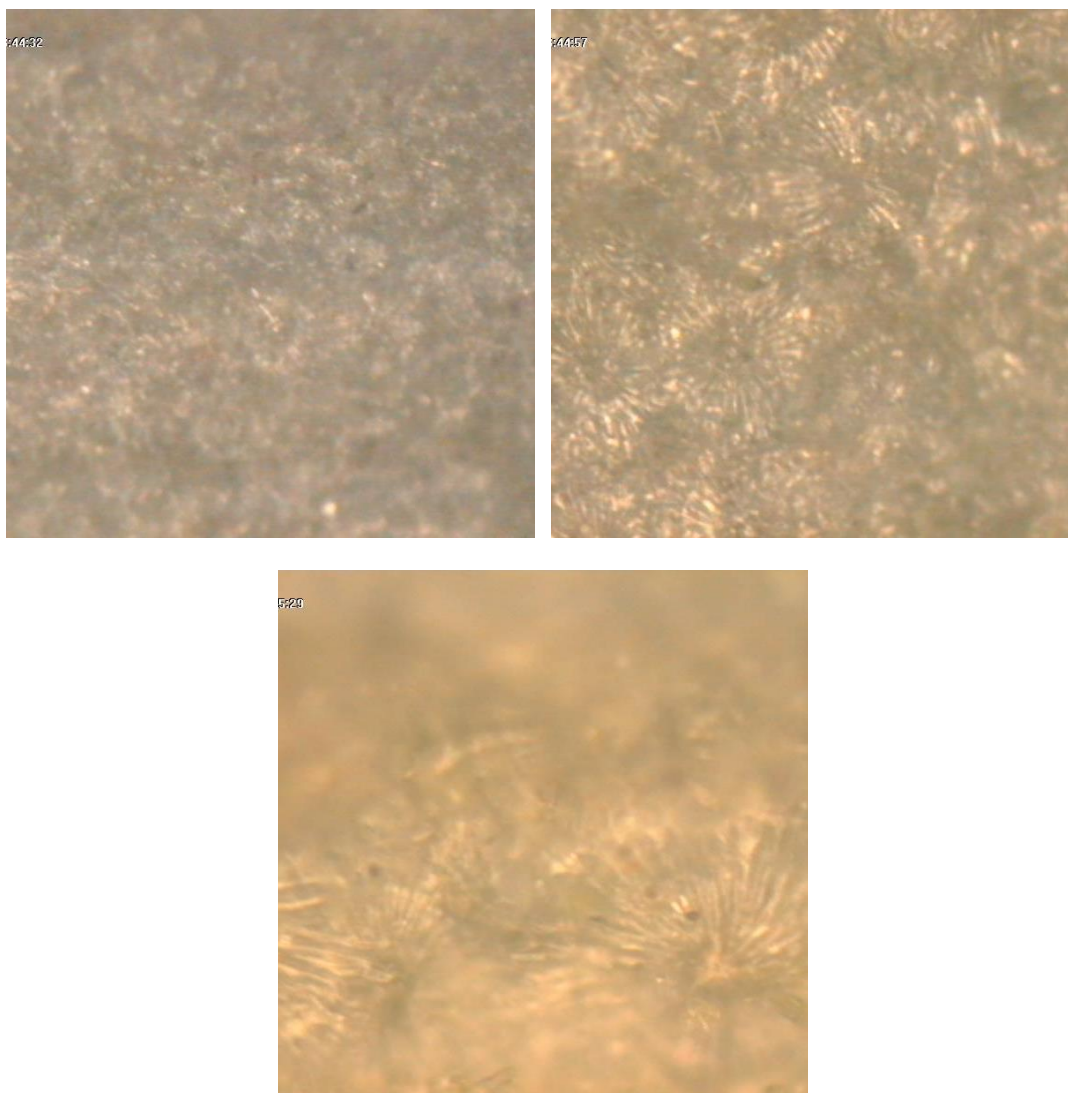
Δείγμα 4β (Απόσταση από τη μονάδα: 800m), κάτω επιφάνεια φύλλου, με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά οι φωτογραφίες με τους φακούς 5x,10x,20x αντίστοιχα.



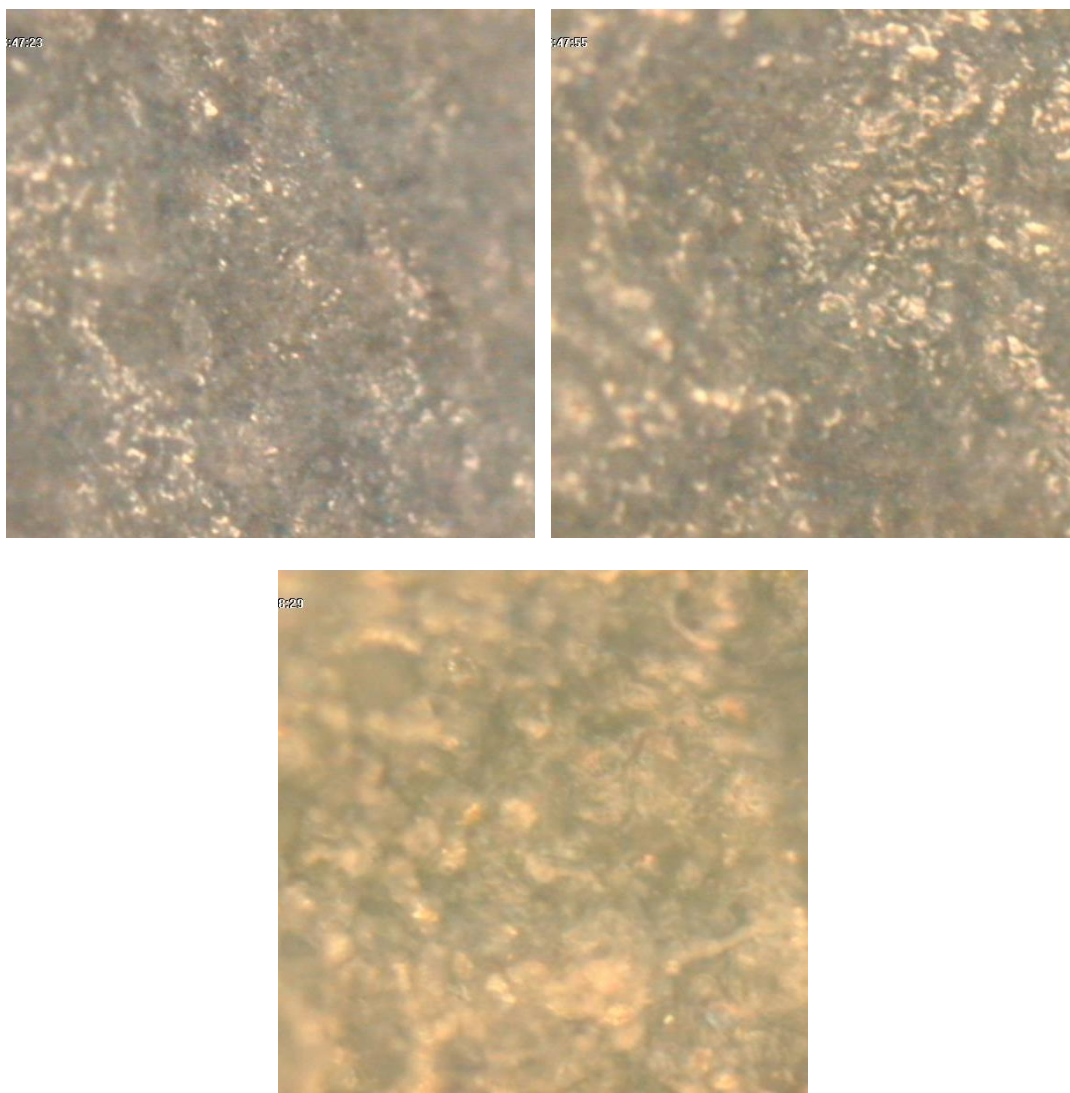
Δείγμα 4β (Απόσταση από τη μονάδα: 800m), πάνω επιφάνεια φύλλου, με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά οι φωτογραφίες με τους φακούς 5x,10x,20x αντίστοιχα.



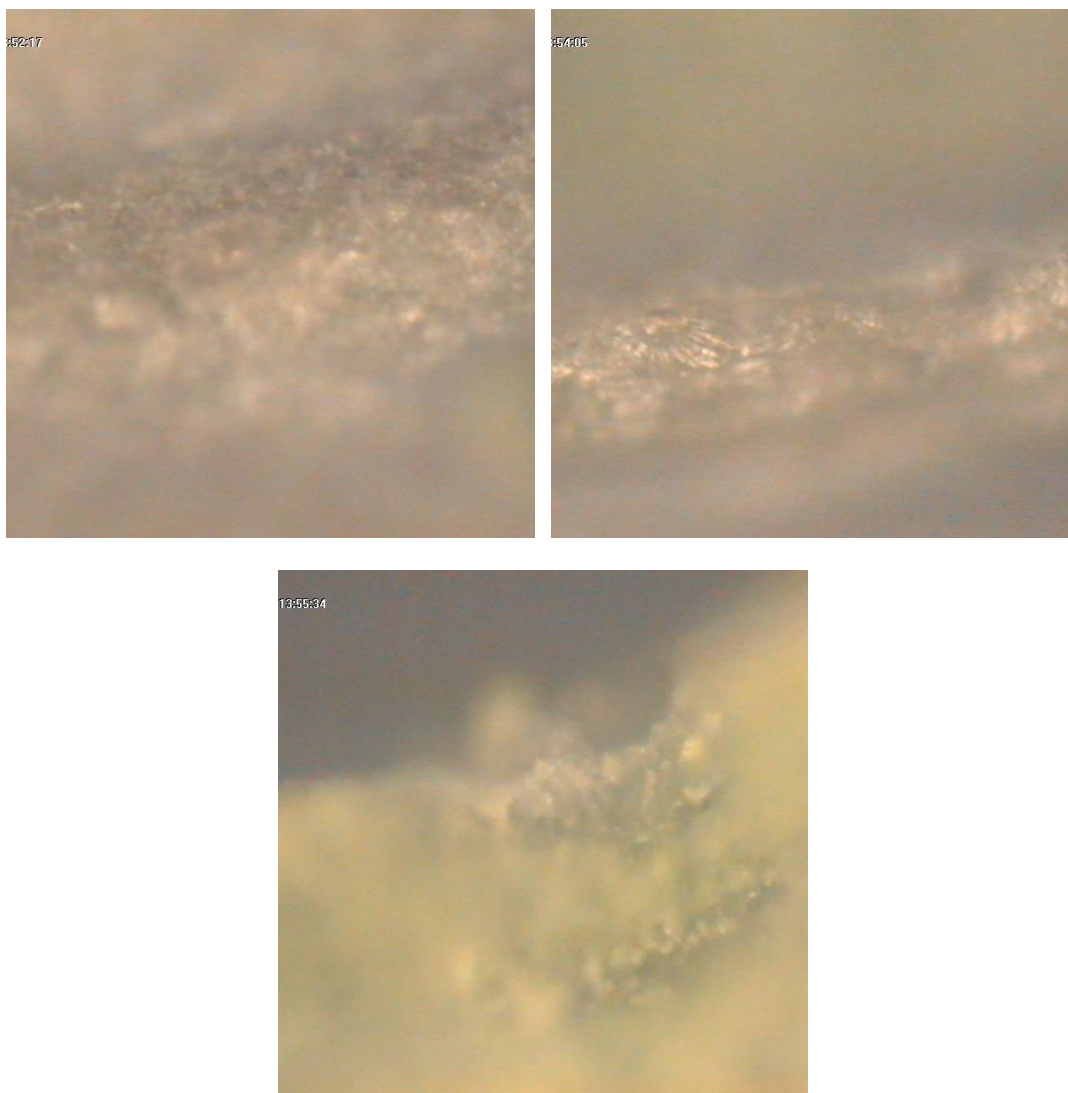
Δείγμα 4β (Απόσταση από τη μονάδα: 800m), τομή φύλλου, με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά οι φωτογραφίες με τους φακούς 5x,10x,20x αντίστοιχα.



Δείγμα 4γ (Απόσταση από τη μονάδα: 800m), κάτω επιφάνεια φύλλου, με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά οι φωτογραφίες με τους φακούς 5x,10x,20x αντίστοιχα.

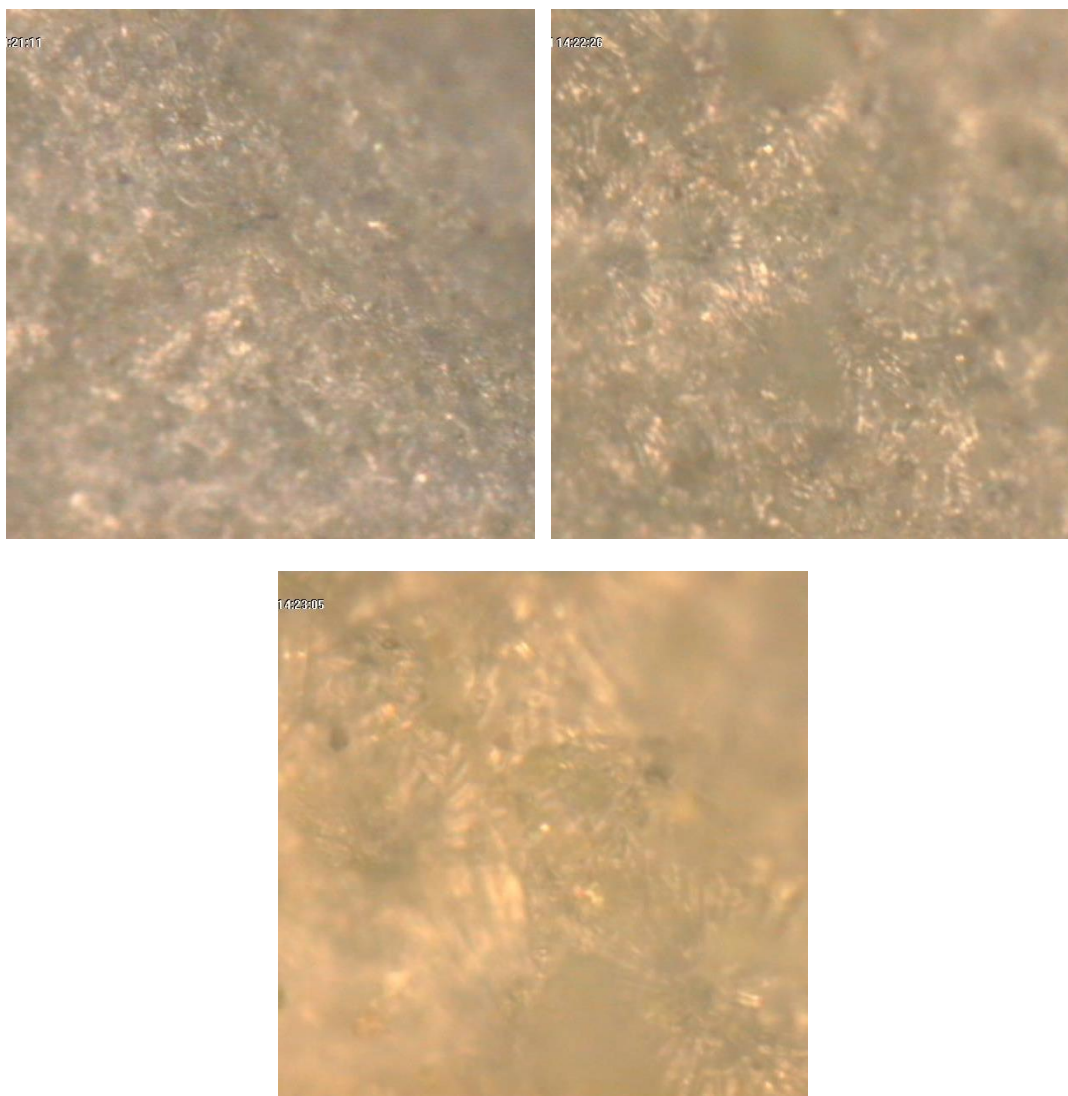


Δείγμα 4γ (Απόσταση από τη μονάδα: 800m), πάνω επιφάνεια φύλλου, με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά οι φωτογραφίες με τους φακούς 5x,10x,20x αντίστοιχα.

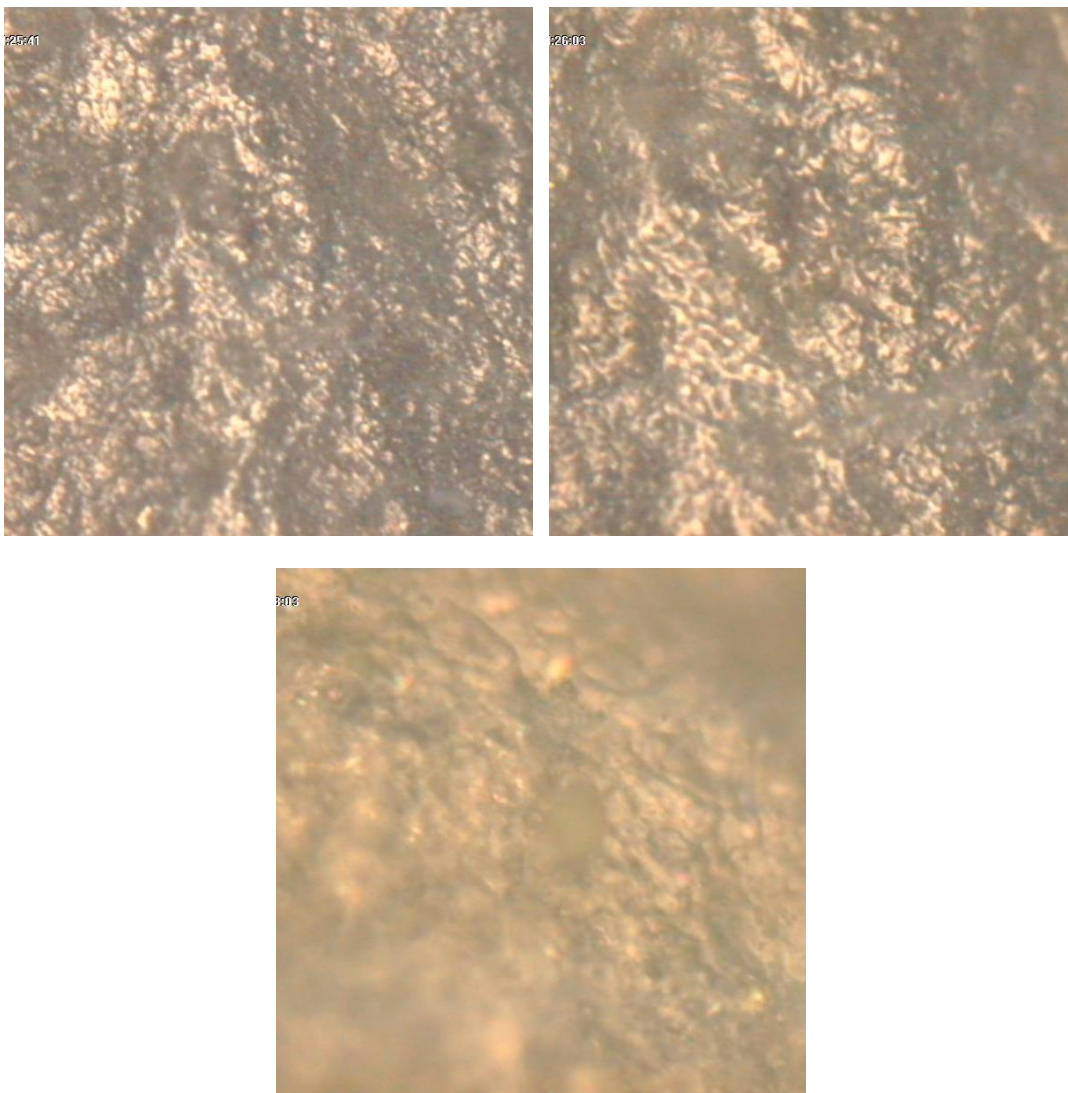


Δείγμα 4γ (Απόσταση από τη μονάδα: 800m), τομή φύλλου, με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά οι φωτογραφίες με τους φακούς 5x,10x,20x αντίστοιχα.

Δείγμα 5 (Ημερομηνία δειγματοληψίας 18/12/2012)

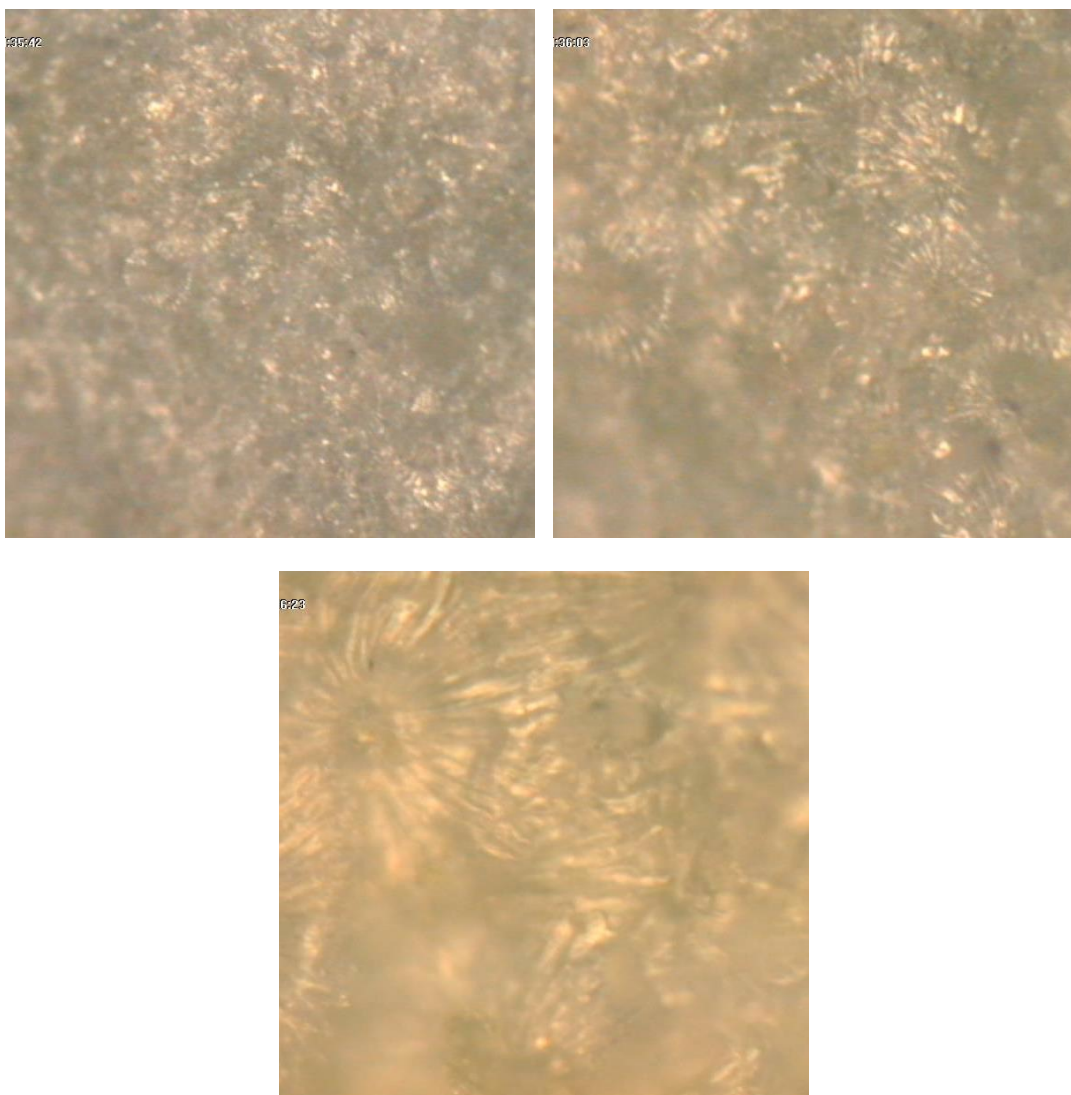


Δείγμα 5α (Απόσταση από τη μονάδα: 1100m), κάτω επιφάνεια φύλλου, με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά οι φωτογραφίες με τους φακούς 5x,10x,20x αντίστοιχα.

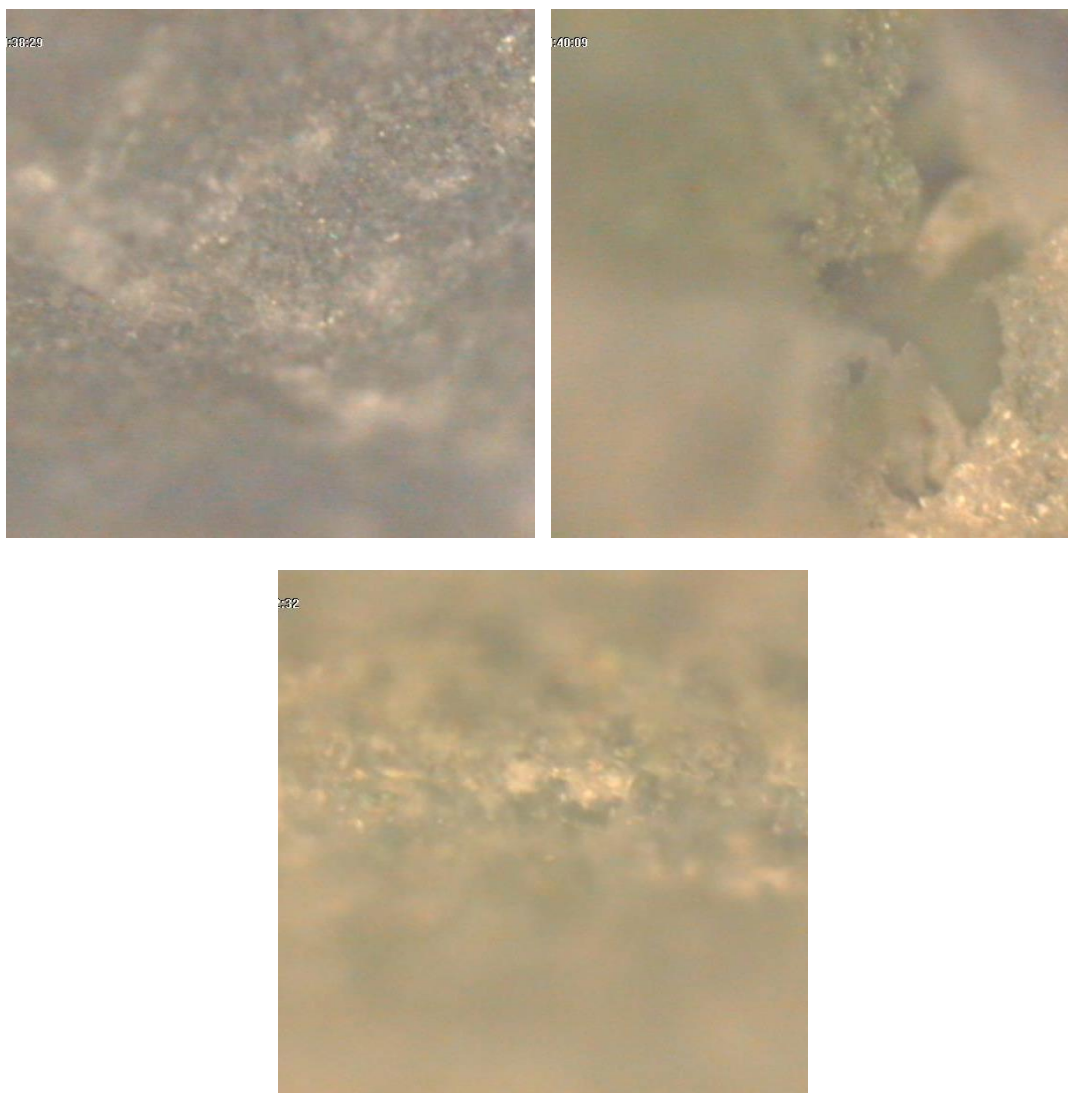


Δείγμα 5α (Απόσταση από τη μονάδα: 1100m), πάνω επιφάνεια φύλλου, με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά οι φωτογραφίες με τους φακούς 5x,10x,20x αντίστοιχα.

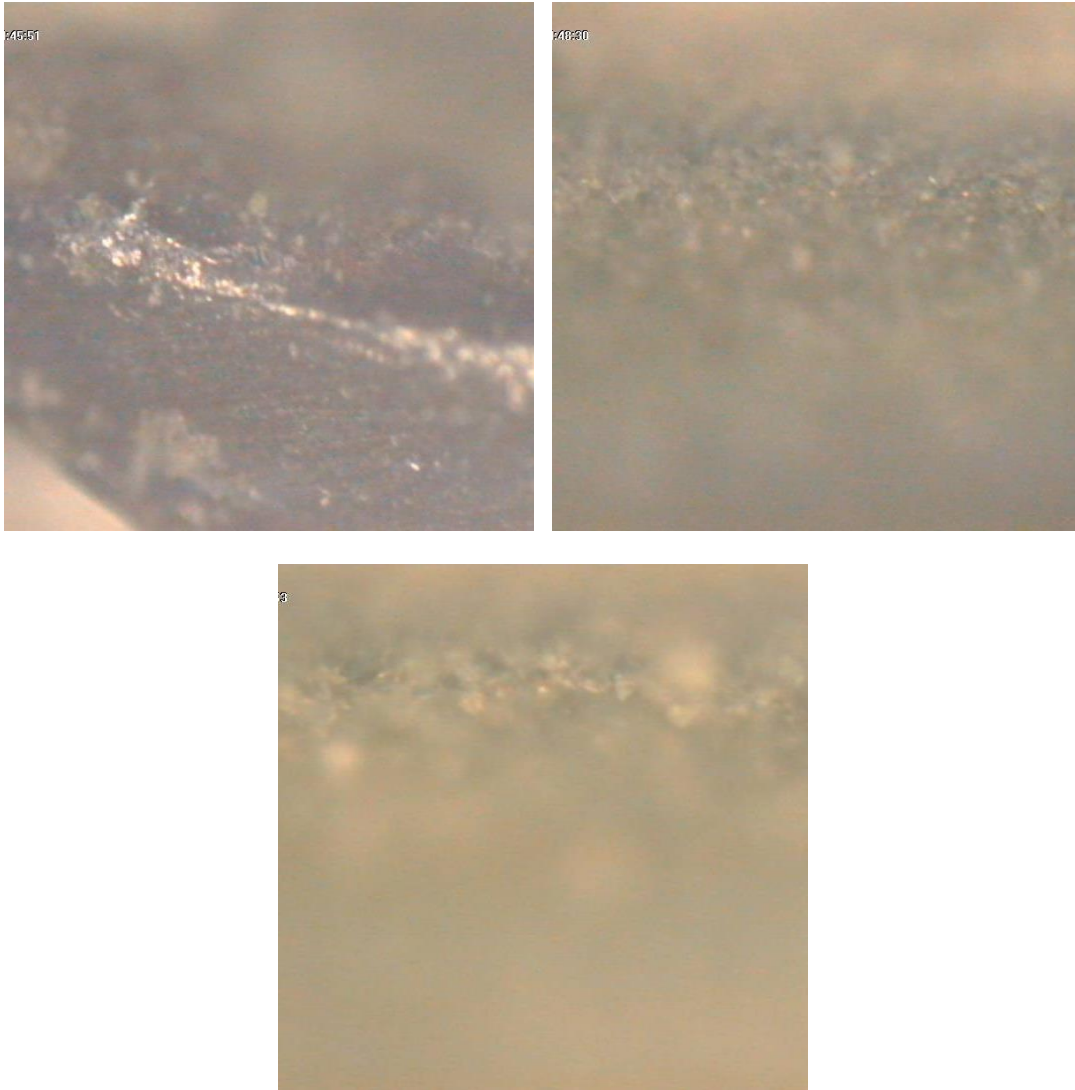
Οι φωτογραφίες της τομής του δείγματος αυτού δεν περιλήφθηκαν στην εργασία καθότι ήταν ιδιαίτερα θολές.



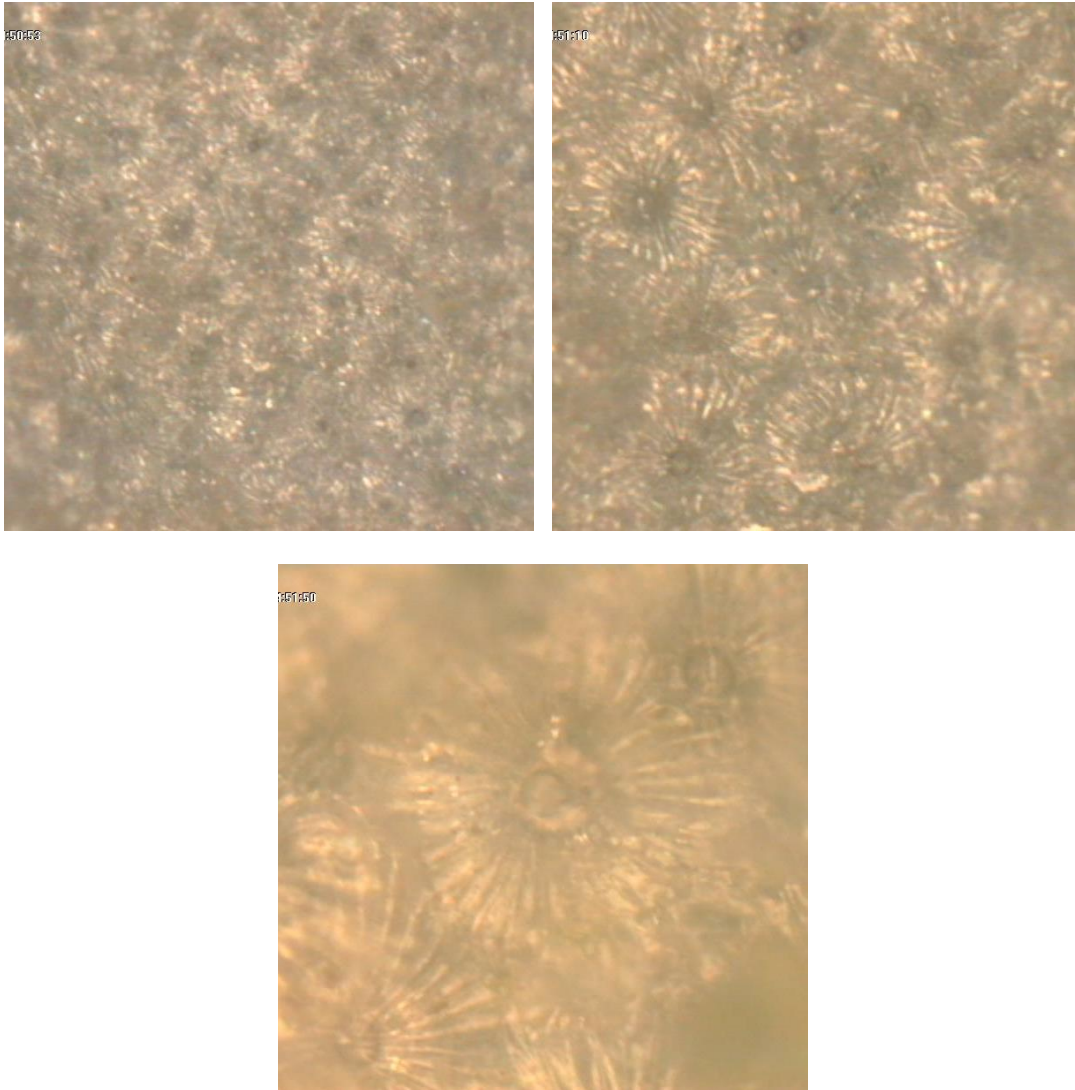
Δείγμα 5β (Απόσταση από τη μονάδα: 1100m), κάτω επιφάνεια φύλλου, με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά οι φωτογραφίες με τους φακούς 5x,10x,20x αντίστοιχα.



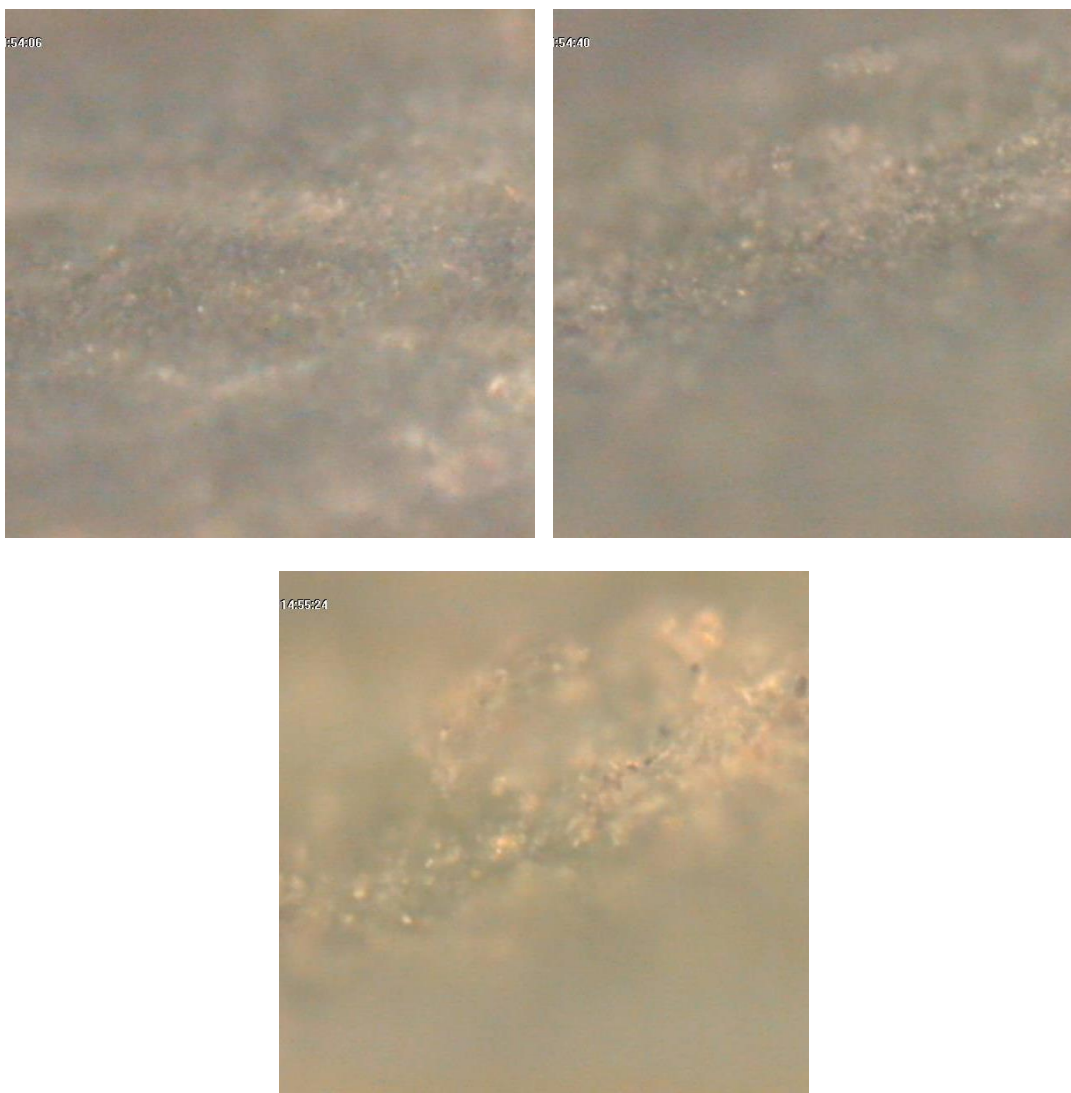
Δείγμα 5β (Απόσταση από τη μονάδα: 1100m), πάνω επιφάνεια φύλλου, με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά οι φωτογραφίες με τους φακούς 5x,10x,20x αντίστοιχα.



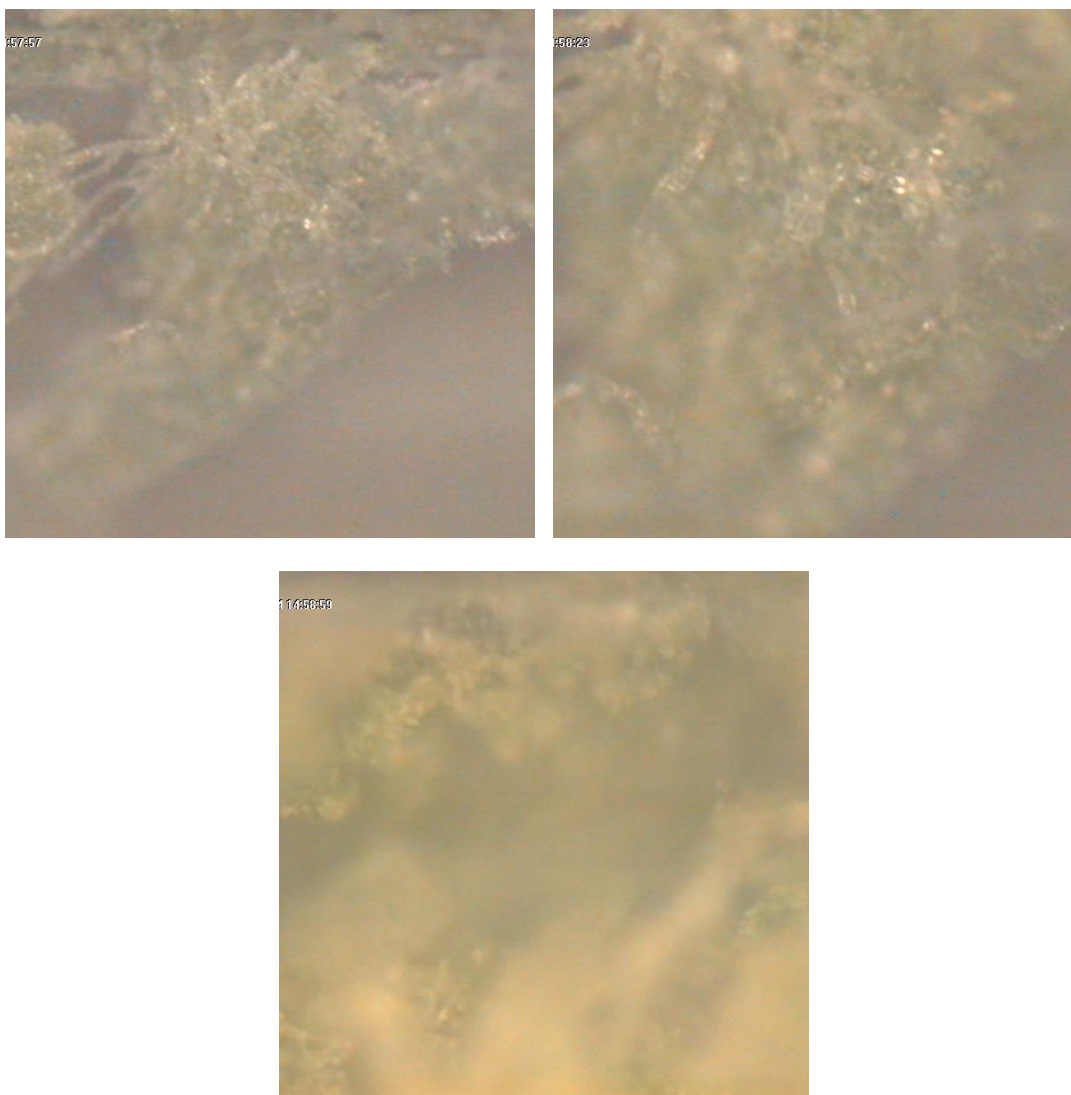
Δείγμα 5β (Απόσταση από τη μονάδα: 1100m), τομή φύλλου, με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά οι φωτογραφίες με τους φακούς 5x,10x,20x αντίστοιχα.



Δείγμα 5γ (Απόσταση από τη μονάδα: 1100m), κάτω επιφάνεια φύλλου, με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά οι φωτογραφίες με τους φακούς 5x,10x,20x αντίστοιχα.



Δείγμα 5γ (Απόσταση από τη μονάδα: 1100m), πάνω επιφάνεια φύλλου, με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά οι φωτογραφίες με τους φακούς 5x,10x,20x αντίστοιχα.



Δείγμα 5γ (Απόσταση από τη μονάδα: 1100m), τομή φύλλου, με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά οι φωτογραφίες με τους φακούς 5x,10x,20x αντίστοιχα.

2. ΜΕΛΕΤΗ ΦΥΛΛΩΝ *OLEA EUROPAEA* ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ ΣΑΡΩΣΗΣ

2.1 ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΦΥΛΛΩΝ *OLEA EUROPAEA* ΣΤΟ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ ΣΑΡΩΣΗΣ

Στην παρούσα σειρά πειραμάτων συλλέχθηκαν δείγματα φύλλων ευρωπαϊκής ελιάς (*Olea europaea*) σε τρεις εποχές (χειμώνα, άνοιξη, καλοκαίρι) από δέντρα σε σημεία που απείχαν διαφορετικές αποστάσεις από βιομηχανική κτηνοτροφική μονάδα στη Κρήτη. Ο σκοπός ήταν να μελετηθούν τα φύλλα στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης για την εκτίμηση του βαθμού εξάρτησης της ρύπανσης των φυτών από την απόσταση από τη βιομηχανική εγκατάσταση και για την εύρεση πιθανής συσσώρευσης ρύπων στα φύλλα και ενδεχόμενων μορφολογικών αλλοιώσεων και τραυματισμών που μπορεί να έχουν προκληθεί από διάφορα είδη ρύπων που εκλύονται από το βιομηχανικό χοιροτροφείο.

2.2 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟΥ ΣΑΡΩΣΗΣ (SEM)

2.2.1 Ηλεκτρονικά Μικροσκόπια-Εισαγωγή

Ο όρος Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο, αν και λανθασμένος, έχει επικρατήσει στην Ελληνική ορολογία. Πιο σωστά θα έπρεπε να ονομάζεται Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο επειδή η ακτινοβολία που χρησιμοποιεί είναι επιταχυνμένα ηλεκτρόνια. Η λέξη ηλεκτρονικό, όπως έχει επικρατήσει στην Ελληνική γλώσσα, σημαίνει απλά ότι είναι μια ηλεκτρονική συσκευή. Ο αντίστοιχος Αγγλικός όρος είναι Electron Microscope και όχι Electronic όπως λάθος πολλοί το αναφέρουν. Στη Γαλλική γλώσσα ο όρος είναι ο ίδιος, και για τις δυο έννοιες και μάλλον από αυτή προήλθε και ο αντίστοιχος Ελληνικός.

Σύμφωνα με τη θεωρία του De Broglie, το μήκος κύματος λ των ηλεκτρονίων υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\lambda = 0.1 \frac{150}{V}$$

,όπου V είναι η τάση επιτάχυνσης των σωματιδίων σε Volts και λ το μήκος κύματος των επιταχυνμένων ηλεκτρονίων. Έτσι, για μια τάση επιτάχυνσης 80 kV, το μήκος κύματος λ γίνεται $\lambda=0.004$ nm.

Ακόμα, ύμφωνα με τον τύπο

$$d = 0.61 \frac{\lambda}{A}$$

,όπου A είναι το αριθμητικό άνοιγμα του φακού, η διακριτική ικανότητα (d) γίνεται περίπου 0.15 nm.

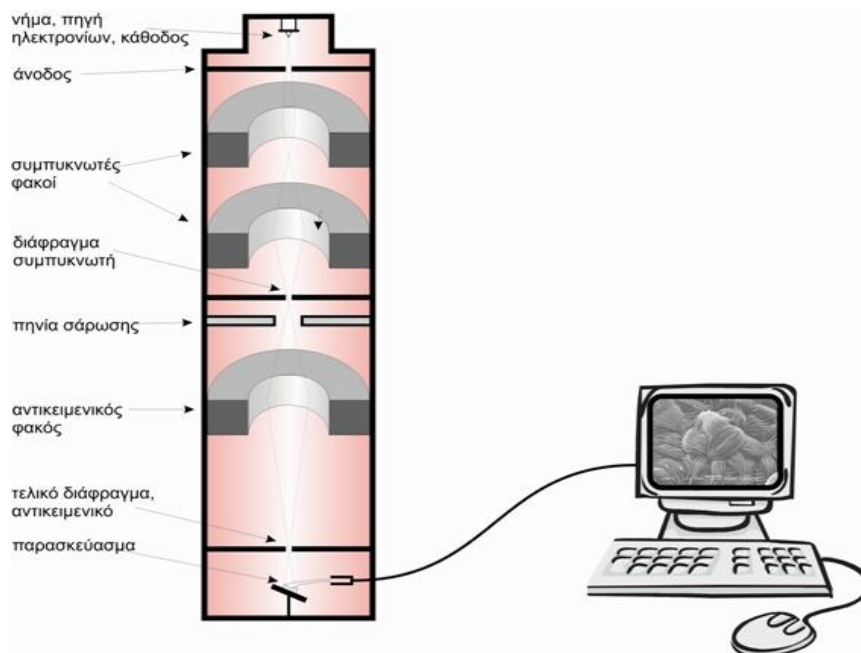
Η ικανότητα των οπτικών μικροσκοπίων περιορίζεται λόγω της φύσης του φωτός σε επίπεδα μεγεθύνσεων έως 1000x και σε διακριτική ικανότητα έως 0.2 μm . Στις αρχές της δεκαετίας του '30 υπήρχε ήδη ανάγκη για εξέταση του εσωτερικού του κυττάρου που απαιτούσε μεγεθύνσεις μεγαλύτερες του 10,000x. Η απαίτηση αυτή οδήγησε στην ανακάλυψη και εφαρμογή των ηλεκτρονικών μικροσκοπίων. Το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο διέλευσης ή διαπερατότητας (TEM, Transmission Electron Microscope) ήταν το πρώτο είδος ηλεκτρονικού μικροσκοπίου και στη συνέχεια ακολούθησε το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM, Scanning Electron Microscope).[j]

2.2.2 Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης (ΗΜΣ, Scanning Electron Microscope, SEM)

2.2.2.1 Ορισμός ΗΜΣ - Οργανολογία

Το Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης (συντομογραφικά ΗΜΣ) παράγει καλά εστιασμένες τρισδιάστατες εικόνες με μεγάλη λεπτομέρεια. Ένα σύγχρονο ΗΜΣ έχει διακριτική ικανότητα που φτάνει τα 3 nm. Το ΗΜΣ χρησιμοποιεί μια δέσμη ηλεκτρονίων υψηλής ενέργειας που σαρώνει την επιφάνειά του δείγματος με πολύ μεγάλη ταχύτητα και αλληλεπιδρά με αυτή. Από την αλληλεπίδραση αυτή προκύπτουν πληροφορίες σε σχέση με τα άτομα των στοιχείων που απαρτίζουν το εξεταζόμενο υλικό. Τα ηλεκτρόνια λόγω της κυματικής τους φύσης μπορούν να εστιαστούν όπως και τα φωτεινά κύματα αλλά σε πολύ μικρότερη επιφάνεια (π.χ. κόκκος υλικού). Στο Σχήμα 2.1 απεικονίζονται τα διάφορα τμήματα ενός ΗΜΣ. Η δέσμη των ηλεκτρονίων παράγεται από ένα νήμα, και ένα σύστημα ανόδου καθόδου όπου εφαρμόζεται υψηλή τάση, συνήθως της τάξης των 15-40 kV, για την επιτάχυνση των ηλεκτρονίων. Η δέσμη των ηλεκτρονίων αφού εστιαστεί από σύστημα συγκεντρωτών φακών βομβαρδίζει το παρασκευάσμα με αποτέλεσμα κάποια από τα ηλεκτρόνια να το διαπερνούν, κάποια να σκεδάζονται ή να άγονται, ενώ συγχρόνως να προκαλείται η παραγωγή δευτερογενών ηλεκτρονίων, ακτινών X και ηλεκτρονίων Auger. Τα δευτερογενή ηλεκτρόνια, που προέρχονται από την επιφάνεια του παρασκευάσματος έχουν μικρή σχετικά ενέργεια που σχετίζεται με τη τοπογραφία του. Αυτά τα δευτερογενή ηλεκτρόνια συλλέγονται και στέλνονται σαν ένα ηλεκτρονικό σήμα μέσω ενός ενισχυτή εικόνας σ' ένα καθοδικό σωλήνα (CRT). Στα σύγχρονα ΗΜΣ, το αναλογικό σήμα από το μικροσκόπιο μετατρέπεται σε ψηφιακό και η παρατήρηση γίνεται σε οθόνη H/Y. Τα υπόλοιπα ηλεκτρόνια ή ακτινοβολίες που παράγονται μπορούν να μας δώσουν άλλες πληροφορίες σχετικές με την υφή και σύσταση του παρασκευάσματος.

Η ένταση των εκπεμπόμενων ηλεκτρονίων επηρεάζεται από τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας. Έτσι, το SEM δίνει πληροφορίες που αφορούν κυρίως στη μορφολογία και στη σύσταση της επιφανείας. Επομένως το SEM χρησιμοποιείται για την εξέταση μικροδομής στερεών δειγμάτων και για να δίνει εικόνες υψηλού βαθμού διεύθυνσης.



Σχήμα 2.1: Σχηματική παράσταση των διαφόρων τμημάτων ενός ΗΜΣ.

Σχετικά με την προετοιμασία παρασκευασμάτων για το ΗΜΣ, ένα παρασκεύασμα για να παρατηρηθεί με το κλασικό ΗΜΣ θα πρέπει να έχει ορισμένες ιδιότητες που είναι:

- α. να αντέχει στο υψηλό κενό,
- β. να αντέχει στο βομβαρδισμό ηλεκτρονίων, και
- γ. να είναι αχώσιμο.

Έχοντας αυτές τις ιδιότητες υπ' όψη μπορούμε να κρίνουμε τι επεξεργασία χρειάζεται κάποιο παρασκεύασμα ανάλογα με την υφή του.[j]

2.2.2.2 Αλληλεπιδράσεις δέσμης - δείγματος

Η βασική αρχή λειτουργίας περιλαμβάνει την ακτινοβολία του δείγματος με μια καλά εστιασμένη δέσμη ηλεκτρονίων. Η περιοχή όπου ενεργητικά ηλεκτρόνια αλληλεπιδρούν με το στερεό, εναποθέτοντας ενέργεια και παράγοντας εκείνες τις μορφές δευτερεύουσας ακτινοβολίας που μετράμε ονομάζεται *όγκος αλληλεπίδρασης*.

Η διεύθυνση της δέσμης στο δείγμα καθορίζεται από τις παρακάτω παραμέτρους και κυρίως τις δύο τελευταίες.

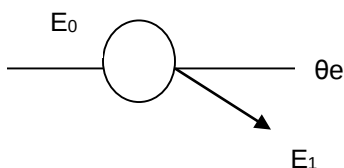
- Πόσα ηλεκτρόνια έχουμε στην δέσμη (emission current)
- Διάμετρο της δέσμης (spot size)
- Ταχύτητα / Ενέργεια των ηλεκτρονίων (accelerating voltage)
- Είδος του δείγματος (Μέσος ατομικός αριθμός του δείγματος)

Οι αλληλεπιδράσεις που συμβαίνουν ανάμεσα στο δείγμα και τα ηλεκτρόνια της δέσμης παρουσιάζονται στο σχήμα 2.2 και περιλαμβάνουν:

1) *Φόρτιση (Charging)* Συσσώρευση φορτίου ηλεκτρονίων στο δείγμα (Για να μην συμβαίνει αυτό το δείγμα θα πρέπει να είναι αγωγίμο και συνδεδεμένο με γείωση ή να χρησιμοποιείται χαμηλό δυναμικό επιτάχυνσης)

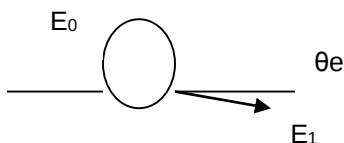
2) *Ελαστική σκέδαση ηλεκτρονίων*

(Μεγαλύτερη γωνία, μικρότερη απώλεια ενέργειας)

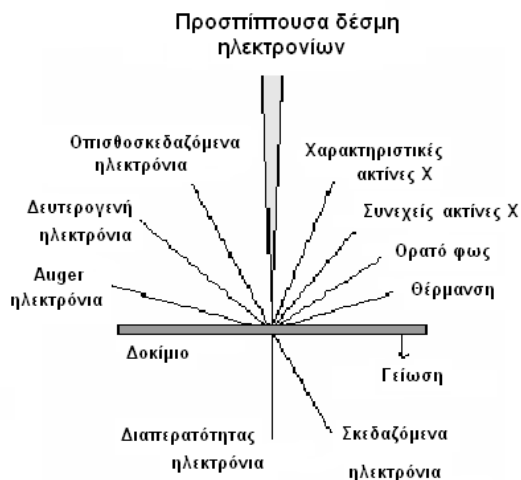


3) *Μη ελαστική σκέδαση ηλεκτρονίων*

(Μικρότερη γωνία, μεγαλύτερη απώλεια ενέργειας)



4) *Θέρμανση του δείγματος*



Σχήμα 2.2: Φαινόμενα αλληλεπίδρασης δέσμης – δείγματος [23]

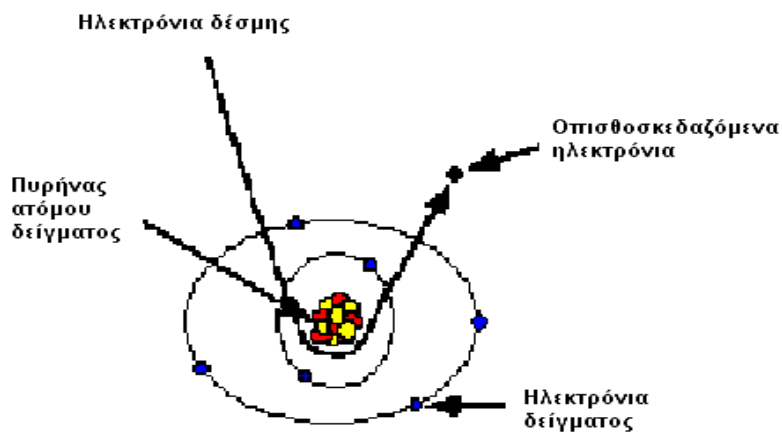
Ακολουθώς πραγματοποιείται λεπτομερειακή ανάλυση των προαναφερθέντων αλληλεπιδράσεων:

-Ελαστική σκέδαση

Τα ηλεκτρόνια που συμμετέχουν σε αυτό τον τύπο αλληλεπίδρασης είναι τα:

- 1) Ελαστικά σκεδαζόμενα ηλεκτρόνια δέσμης (Elastically scattered primary electrons) τα οποία δεν ανιχνεύονται από το σύστημα.
- 2) Οπισθοσκεδαζόμενα ηλεκτρόνια (Backscattered Electrons)

Όταν τα ηλεκτρόνια της δέσμης με ενέργεια πχ 30 KeV φθάσουν στην επιφάνεια του δείγματος διεισδύουν σε βάθος που εξαρτάται από τον ατομικό αριθμό. Τα ηλεκτρόνια ταξιδεύουν προς τυχαίες κατευθύνσεις μέσα στο δείγμα και συγκρούονται με τα άτομα του δείγματος. Τα ηλεκτρόνια συγκρούονται ελαστικά με τον πυρήνα του ατόμου (ειδικά σε μεγάλα άτομα) και σκεδάζονται προς οποιαδήποτε κατεύθυνση χωρίς σημαντική απώλεια της ενέργειάς τους (κρατούν το 50 με 80% της αρχικής ενέργειας). Εκείνα τα ηλεκτρόνια που σκεδάζονται προς τα πίσω με γωνία 180° λέγονται οπισθοσκεδαζόμενα (Backscattered electrons, BSE). Έχουν μεγαλύτερη ενέργεια και εκπέμπονται από μεγαλύτερο βάθος από το δείγμα. Τα οπισθοσκεδαζόμενα ηλεκτρόνια φαίνονται στο σχήμα 2.3.



Σχήμα 2.3: Οπισθοσκεδαζόμενα ηλεκτρόνια

Το ποσοστό των ηλεκτρονίων που εκπέμπονται οπισθοσκεδαζόμενα, εξαρτάται από τον ατομικό αριθμό του ατόμου του δείγματος. Για τα ελαφρά στοιχεία είναι ~6% ενώ για τα βαρύτερα ~50%. Επομένως, η αλλαγή του ποσοστού των BSE δίνει διαφοροποίηση στην εικόνα ανάλογα με τον ατομικό αριθμό. Οι βαρύτερες φάσεις φαίνονται λαμπρότερες από τις ελαφρύτερες. Έτσι έχουμε πληροφορίες για την σύσταση του δείγματος.

Η ανίχνευση γίνεται χρησιμοποιώντας ως ανιχνευτή τον ημιαγωγό στερεάς κατάστασης (solid state semiconductor) σχήματος donut, ο οποίος είναι προσαρμοσμένος στην έξοδο της κολώνας. Μετρώνται οι κτύποι των ηλεκτρονίων στον ανιχνευτή οι οποίοι μετατρέπονται σε ένταση των ψηφίδων και εμφανίζονται στον σωλήνα σχηματίζοντας την εικόνα.[23]

-Μη ελαστική σκέδαση

Τα ηλεκτρόνια που συμμετέχουν σε αυτό τον τύπο αλληλεπίδρασης είναι τα:

- 1) Μη ελαστικά σκεδαζόμενα ηλεκτρόνια (Inelastically scattered electrons), τα οποία δεν ανιχνεύονται από το σύστημα
- 2) Δευτερογενή ηλεκτρόνια (Secondary electrons, SE)

Όταν τα ηλεκτρόνια της δέσμης συγκρούονται με τα ηλεκτρόνια του ατόμου μερικά από τα χαλαρά συγκρατούμενα ηλεκτρόνια μπορεί να φύγουν από το άτομο και ονομάζονται δευτερογενή ηλεκτρόνια. (Κάθε προσπίπτον ηλεκτρόνιο μπορεί να παράγει αρκετά δευτερογενή).

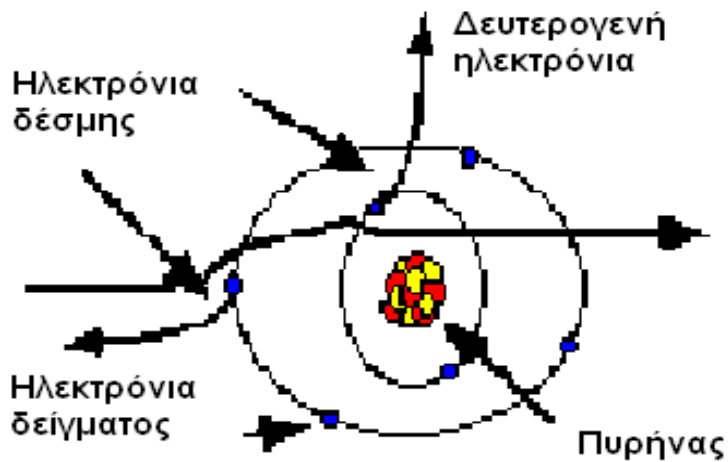
Κάθε ηλεκτρόνιο που εγκαταλείπει το άτομο μετά από σύγκρουση με άλλο υψηλής ενέργειας είναι θεωρητικά ένα δευτερογενές ηλεκτρόνιο.

Τα δευτερογενή ηλεκτρόνια είναι χαμηλής ενέργειας (50eV) και εκπέμπονται κοντά στην επιφάνεια του δείγματος αφού αυτά που εκπέμπονται από μεγαλύτερο βάθος, απορροφούνται εύκολα από την μάζα του δείγματος. Γι'αυτό τα δευτερογενή ηλεκτρόνια είναι χρήσιμα για την απεικόνιση της επιφάνειας του δείγματος.

Τα δευτερογενή ηλεκτρόνια παράγονται με δύο κυρίως μηχανισμούς

- Καθώς η δέσμη εισέρχεται στην επιφάνεια
- Καθώς η οπισθοσκεδαζόμενη δέσμη εξέρχεται από την επιφάνεια

Ο δεύτερος μηχανισμός είναι δέκα φορές πιο πιθανός από τον πρώτο. Επομένως, είναι αναμενόμενο να υπάρχει μεγαλύτερη εκπομπή δευτερογενών ηλεκτρονίων εκεί που είναι μεγάλη και η εκπομπή οπισθοσκεδαζόμενων. Γι'αυτό οι εικόνες των δευτερογενών και των οπισθοσκεδαζόμενων δεν διαφέρουν πολύ. Τα δευτερογενή ηλεκτρόνια φαίνονται στο σχήμα 2.4.



Σχήμα 2.4: Δευτερογενή ηλεκτρόνια

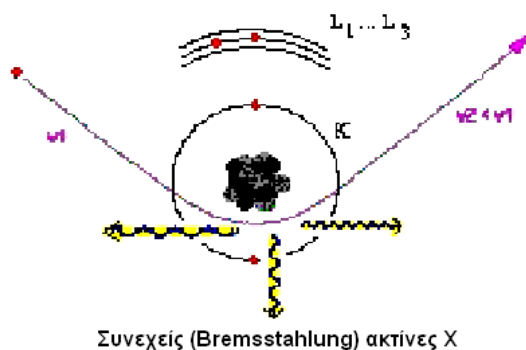
Η συλλογή των δευτερογενών ηλεκτρονίων γίνεται με την βοήθεια ενός «συλλέκτη» που δεν είναι άλλο από ένα πλέγμα με θετικό δυναμικό (+100V) που βρίσκεται μπροστά από τον ανιχνευτή και έλκει τα αρνητικά ηλεκτρόνια τα οποία μετρώνται από τους κτύπους που παράγουν στον ανιχνευτή. Η ένταση των εκπεμπόμενων ηλεκτρονίων επηρεάζεται από τα χαρακτηριστικά της μορφολογίας της επιφανείας. Η διακύμανση στην ένταση των ηλεκτρονίων επηρεάζει την φωτεινότητα ενός καθοδικού σωλήνα (CRT), ο οποίος σαρώνεται συγχρονισμένα με την δέσμη ηλεκτρονίων. Με αυτόν τον τρόπο παράγεται η εικόνα της επιφανείας στην οθόνη του καθοδικού σωλήνα.[23]

-Ακτίνες X

Οι ακτίνες X περιλαμβάνουν:

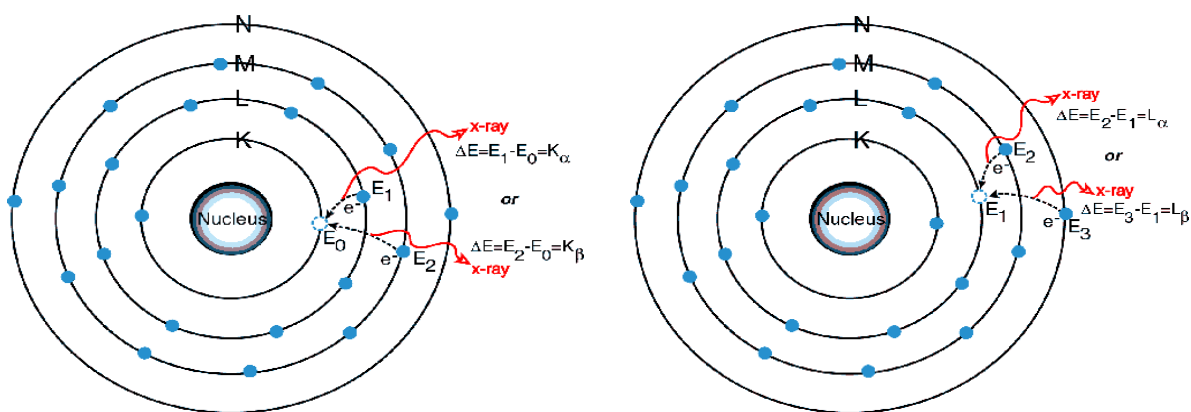
- 1) Τις Συνεχείς (Bremsstrahlung) και Χαρακτηριστικές (Characteristic) ακτίνες X (X-Rays):

Όταν ένα ηλεκτρόνιο σκεδάζεται μη ελαστικά σε αλληλεπίδραση με τον πυρήνα ενός ατόμου, επιβραδύνεται και μέρος (έως και το σύνολο) της ενέργειάς του αποδίδεται σαν ακτίνες X που ονομάζονται Bremsstrahlung και φαίνονται στο σχήμα 2.5. Αποτέλεσμα αυτού είναι ένα ευρύ φάσμα ακτινών X με μέγιστη ενέργεια εκείνη του προσπίπτοντος ηλεκτρονίου. Το φάσμα αυτό δεν χρησιμεύει στην στοιχειακή ανάλυση γιατί δεν είναι χαρακτηριστικό του στοιχείου.



Σχήμα 2.5: Συνεχές φάσμα ακτίνων X

Οι χαρακτηριστικές ακτίνες X δημιουργούνται με έναν τελείως διαφορετικό μηχανισμό. Όταν φεύγει ένα ηλεκτρόνιο από εσωτερική στοιβάδα, τότε ένα ηλεκτρόνιο από υψηλότερη ενεργειακή στοιβάδα καλύπτει το κενό πέφτοντας στην χαμηλότερη στοιβάδα και εκπέμποντας την διαφορά ενεργείας σαν ακτίνες X. Η ενέργεια αυτών των ακτίνων είναι χαρακτηριστική της μετάπτωσης και κατά συνέπεια του ατόμου. Στο σχήμα 2.6 φαίνονται οι K και L γραμμές χαρακτηριστικών ακτίνων X.



Σχήμα 2.6: K και L γραμμές χαρακτηριστικών ακτίνων X

Ο ανιχνευτής ακτίνων X είναι ένας κρύσταλλος πυριτίου (με λίθιο) ο οποίος αλλάζει την αντίστασή του ανάλογα με την απορρόφηση της ενέργειας των ακτίνων X. Αυτό καταγράφεται σαν μέτρηση της ακτίνας, χαρακτηριστικής της προέλευσής της, το μέγεθος της οποίας μετράται

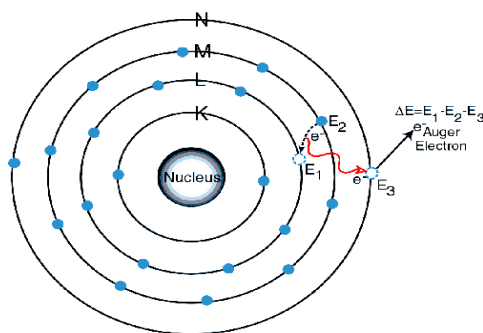
σε eV από έναν πολυκάναλο αναλυτή (Multi Channel Analyzer). Ο ανιχνευτής χρησιμοποιεί έναν πίνακα (Look Up Table) για να προσδιορίσει την προέλευση.

Ο ανιχνευτής δεν μετρά μόνον την χαρακτηριστική ενέργεια των ακτίνων αλλά παρόμοια με τον ανιχνευτή δευτερογενών ηλεκτρονίων, μπορεί να «φανταστεί» την θέση των ατόμων προέλευσης και να δημιουργήσει ένα χάρτη ακτίνων X.

Όλοι οι ανιχνευτές παρουσιάζουν θερμική απώλεια ρεύματος και για τον λόγο αυτό πρέπει να ψύχονται με υγρό άζωτο.

2) Τα ηλεκτρόνια Auger

Τα ηλεκτρόνια Auger παράγονται όταν οι εκπεμπόμενες από το δείγμα ακτίνες X εκδιώξουν ηλεκτρόνια από άλλη στιβάδα κατά την έξοδό τους από το δείγμα και φαίνονται στο σχήμα 2.7.[24]



Σχήμα 2.7: Ηλεκτρόνια Auger

2.2.2.3 Εφαρμογές ΗΜΣ

Η Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης (Scanning Electron Microscopy, SEM) είναι μία από τις σύγχρονες και ευέλικτες μεθόδους ανάλυσης της μικροδομής μεγάλου αριθμού υλικών. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μία μεγάλη ποικιλία δειγμάτων όπως, βιολογικά υλικά, φιλμ, μεμβράνες, φίλτρα, ίνες, ρητίνες, τέφρες, τσιμέντα, χρώματα, μεταλλικές επιφάνειες, κλπ. Η μεγάλη δυνατότητα εστίασης και αλλαγής μεγέθυνσης σε ένα ευρύ πεδίο, η ελάχιστη προετοιμασία του δείγματος και τα τρισδιάστατα διαγράμματα που μας προσφέρει το SEM το έχουν κάνει ένα απαραίτητο όργανο έρευνας.[23]

2.3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ - ΥΛΙΚΑ

2.3.1 Δείγματα φύλλων ελιάς

Τα σημεία δειγματοληψίας για την συλλογή των φύλλων ελιάς του πειράματός ήταν δέντρα ελιάς σε έξι σημεία που απείχαν διαφορετικές αποστάσεις από τους ανεμιστήρες εξαέρωσης μίας κτηνοτροφικής μονάδας στην Κρήτη την άνοιξη και το καλοκαίρι, ενώ σε δέντρα ελιάς σε πέντε σημεία που απείχαν διαφορετικές αποστάσεις από τη μονάδα έγινε η δειγματοληψία για την

εποχή του χειμώνα. Τα πέντε δείγματα του χειμώνα συλλέχθηκαν στις 18 Δεκεμβρίου του 2012, τα έξι δείγματα τις άνοιξης συλλέχθηκαν στις 26 Απριλίου του 2013, ενώ τα έξι δείγματα του καλοκαιριού στις 26 Ιουνίου του 2013. Τα συλλεγμένα δείγματα διατηρήθηκαν σε καλά σφραγισμένα γυάλινα βάζα, το καθένα ξεχωριστά. Τα βάζα είχαν πλυθεί ώστε να αποφευχθεί τυχόν επιπρόσθετη μόλυνσή των δειγμάτων.

2.3.2 Προετοιμασία δειγμάτων

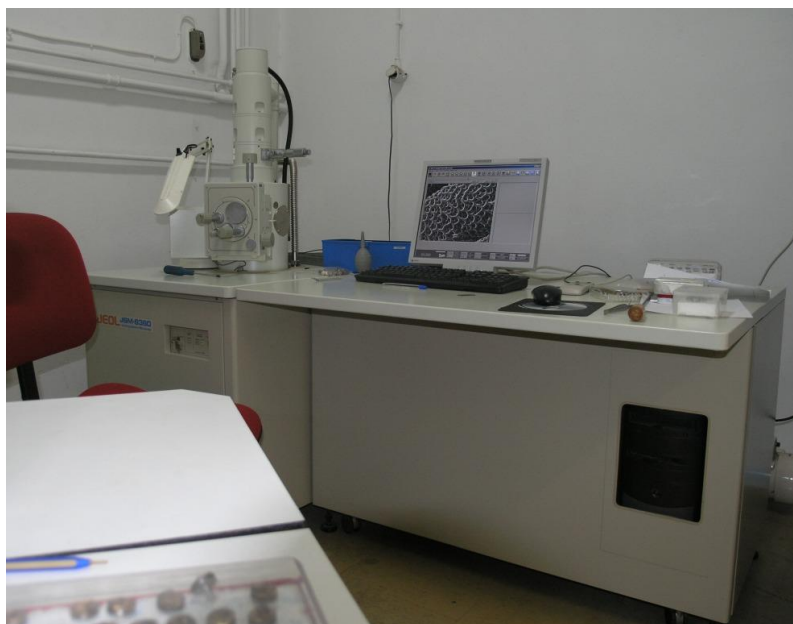
Αρχικά, τα συλλεγμένα δείγματα υποβλήθηκαν σε ξήρανση σε φούρνο στους 80°C για 24 ώρες. Έπειτα, κόπηκε με ψαλίδι ένα φύλλο από κάθε δείγμα σε τετραγωνικά κομμάτια διαστάσεων περίπου 0,5 cm x 0,5 cm και τοποθετήθηκαν από δύο κομμάτια κάθε δείγματος, το ένα με την πάνω επιφάνεια και το άλλο με την κάτω επιφάνεια, σε ειδικά stubs με κολλοειδή άργυρο. Στη συνέχεια, τα ειδικά stubs αφέθηκαν να στεγνώσουν για 2 ώρες. Τέλος, τα δείγματα επικαλύφθηκαν με καθαρό χρυσό με εκκένωση αίγλης σε ατμόσφαιρα αργού (Sputter coating) σε συσκευή Denton Vacuum DV 502 εφοδιασμένη με τα κατάλληλα εξαρτήματα, η οποία φαίνεται στην εικόνα 2.1. [k]



Εικόνα 2.1: Συσκευή Denton Vacuum DV 502

2.3.3 Μελέτη δειγμάτων στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης

Το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης που χρησιμοποιήθηκε για την μελέτη των φύλλων ελιάς είναι το JEOL JSM-6360 και απεικονίζεται στην ακόλουθη εικόνα 2.2.



Εικόνα 2.2: Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης JEOL JSM-6360

Τα δείγματα παρατηρήθηκαν στο ΗΜΣ σε τάση επιτάχυνσης των ηλεκτρονίων 20 kV, αφού πρώτα είχε γίνει προκαταρκτική παρατήρηση σε μη επικαλυμμένα δείγματα σε τάση επιτάχυνσης 2,5 kV. Λήφθηκαν φωτογραφίες της πάνω και της κάτω επιφάνειας κάθε δείγματος φύλλου, που ήταν τοποθετημένα σε κάθε ένα από τα ειδικά stub, σε μεγέθυνση 100x, 200x, 400x, 800, 1200x για την κάθε μία. Οι παράμετροι των φωτογραφιών ήταν: τάση επιτάχυνσης ηλεκτρονίων 20 kV και απόσταση εργασίας (WD: Working Distance) 14 mm.

Για να καθορίσουμε το μέγεθος της μόλυνσης κάθε δείγματος ακολουθήσαμε μία μέθοδο μέτρησης των ασπιδοειδών πολυκύτταρων τριχών της πάνω επιφάνειας των φύλλων ανά mm² στις φωτογραφίες της μεγέθυνσης 100x. Οι ασπιδοειδείς τρίχες προστατεύουν το φύλλο από την υπεριώδη ακτινοβολία, τους μύκητες και τα έντομα και η ρύπανση των φύλλων του φυτού προκαλεί την καταστροφή τους. [24,25]

Στην παρακάτω εικόνα 2.3 φαίνεται μία ασπιδοειδής τρίχα.



Εικόνα 2.3: Ασπιδοειδής τρίχα

Η μέτρηση των τριχών έγινε στην πάνω επιφάνεια, καθώς στην κάτω επιφάνεια των φύλλων υπάρχουν δύο με τρεις στρώσεις ασπιδοειδών τριχών που αλληλεπικαλύπτονται και έτσι δεν συνίσταται για την εξαγωγή κάποιου συμπεράσματος.

Η μέθοδος που ακολουθήθηκε έχει ως εξής:

Σύμφωνα με την κλίμακα των 100 μm του οργάνου στις φωτογραφίες σε μεγέθυνση 100x, τα 100 μm στην φωτογραφία αντιστοιχούν σε πραγματικό μήκος 27 mm. Φέραμε τις φωτογραφίες αυτές σε πλήρη οθόνη και μετρήσαμε με χάρακα το μήκος τους στα 335 mm και το ύψος τους στα 230 mm. Επομένως, αφού βάσει της κλίμακας των εικόνων του μικροσκοπίου, τα 100 μm σε μία εικόνα μικροσκοπίου αντιστοιχούν σε 27 mm στην πραγματικότητα, το πραγματικό μήκος των 335 mm της εικόνας αντιστοιχεί σε 1240 μm ή 1,240 mm στο μικροσκόπιο και το πραγματικό ύψος των 230 mm αντιστοιχεί σε 851 μm ή 0,851 mm στο μικροσκόπιο. Άρα, στο μικροσκόπιο πολλαπλασιάζοντας το μήκος επί το ύψος: $1,240 \text{ mm} \times 0,851 \text{ mm} = 1,05 \text{ mm}^2$ εμβαδόν, περίπου ίσο με 1 mm^2 . Μετρώντας λοιπόν των αριθμό των ασπιδοειδών τριχών σε μία φωτογραφία μεγέθυνσης 100x στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης μετράμε επί της ουσίας αριθμό ασπιδοειδών τριχών ανά 1 mm^2 .

Από τις τρίχες που δεν φαίνονταν ολόκληρες στην οθόνη, αλλά μόνο ένα μέρος τους συμπεριλήφθηκαν στη μέτρηση όσες ήταν στη δεξιά και στην κάτω πλευρά της φωτογραφίας και απορρίφθηκαν όσες ήταν στην αριστερή και στην πάνω πλευρά της φωτογραφίας.

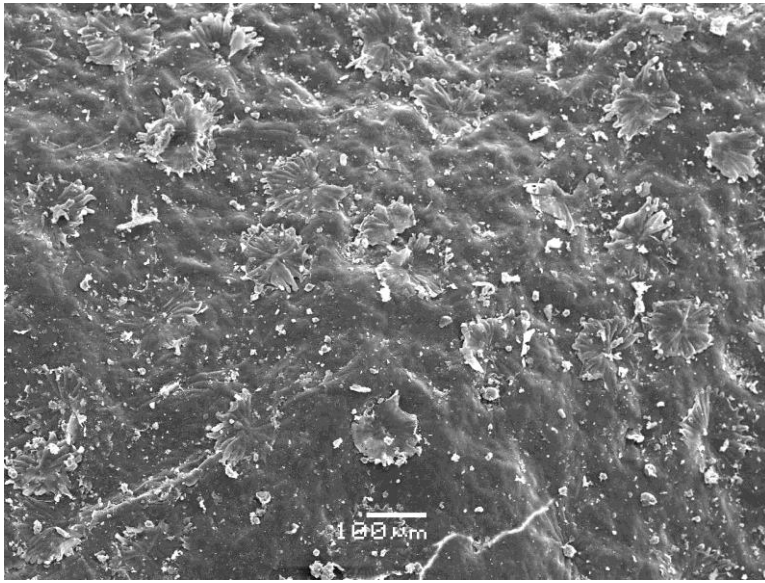
Στη μέθοδο μετρησής που αναλύθηκε χρησιμοποιήθηκε απόκλιση ± 3 τρίχες ανά mm^2 .

Οι φωτογραφίες των μεγαλύτερων μεγεθύνσεων, δηλαδή στα 200x, 400x, 800x, 1200x, κυρίως, καθώς και ορισμένες στα 100x, χρησιμοποιήθηκαν για την παρατήρηση ρύπων και σωματιδίων πάνω στο φύλλο, αλλά και ενδεχόμενων μορφολογικών αλλοιώσεων και θα παρατεθούν μερικές ενδεικτικά παρακάτω.

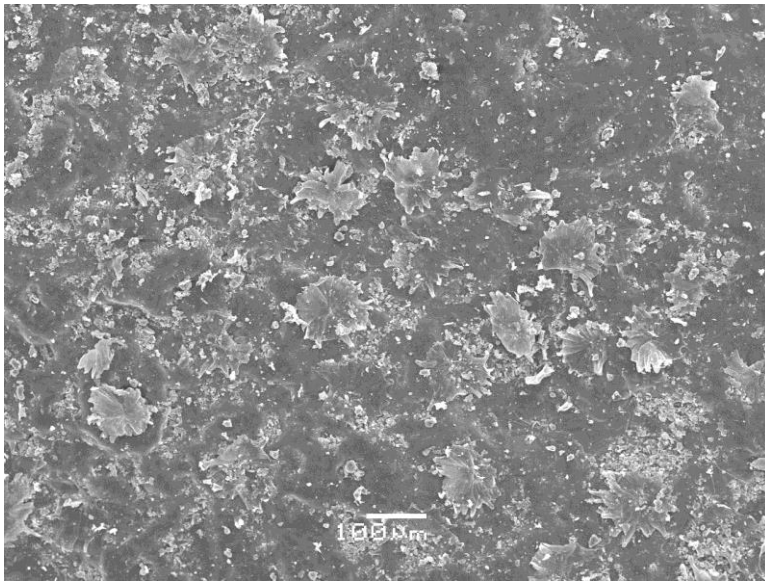
2.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Αρχικά παρατίθενται οι φωτογραφίες των δειγμάτων της μεγέθυνσης 100x κατά εποχή και σε αύξουσα σειρά ως προς την απόσταση δειγματοληψίας από τους ανεμιστήρες εξαέρωσης της βιομηχανικής κτηνοτροφικής μονάδας. Στη συνέχεια παρατίθενται χαρακτηριστικές φωτογραφίες μεγεθύνσεων 200x, 400x, 800x, 1200x από κάποια από τα δείγματα που μελετήθηκαν στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης.

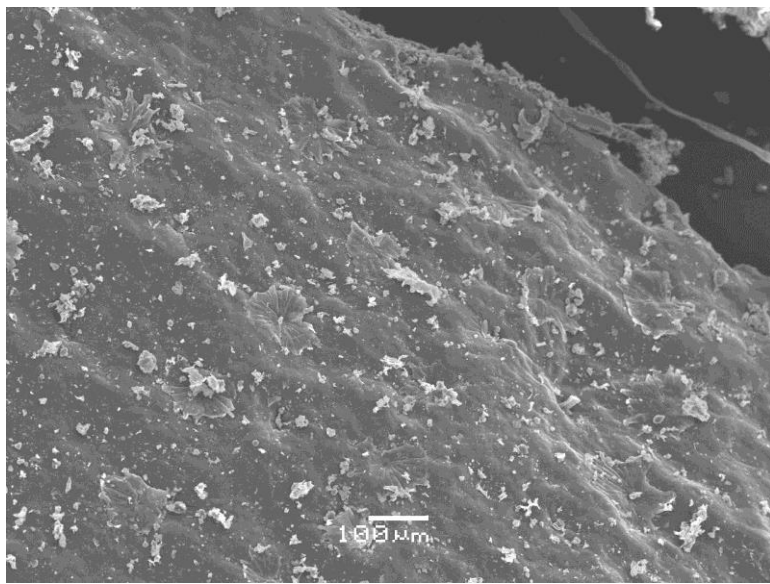
Φωτογραφίες πάνω επιφάνειας φύλλων χειμώνα (Ημερομηνία δειγματοληψίας 18/12/2012)



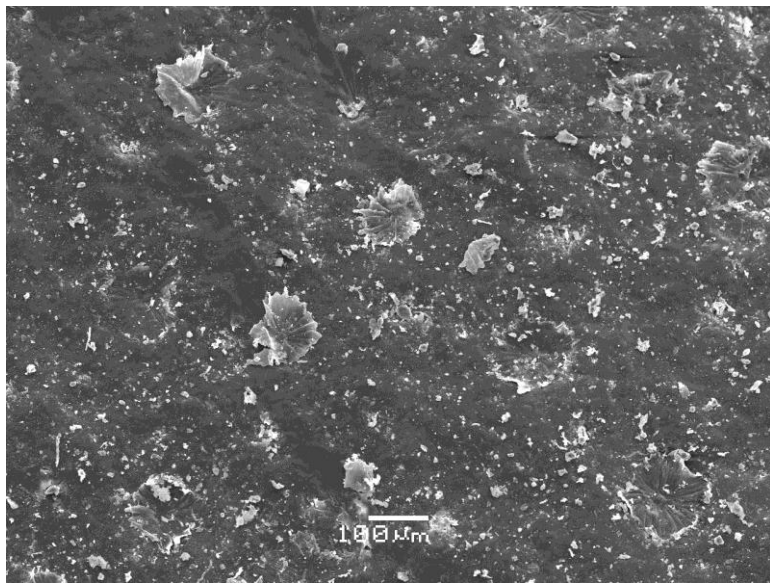
1^ο δείγμα χειμώνα (Απόσταση από τη μονάδα: 300m)



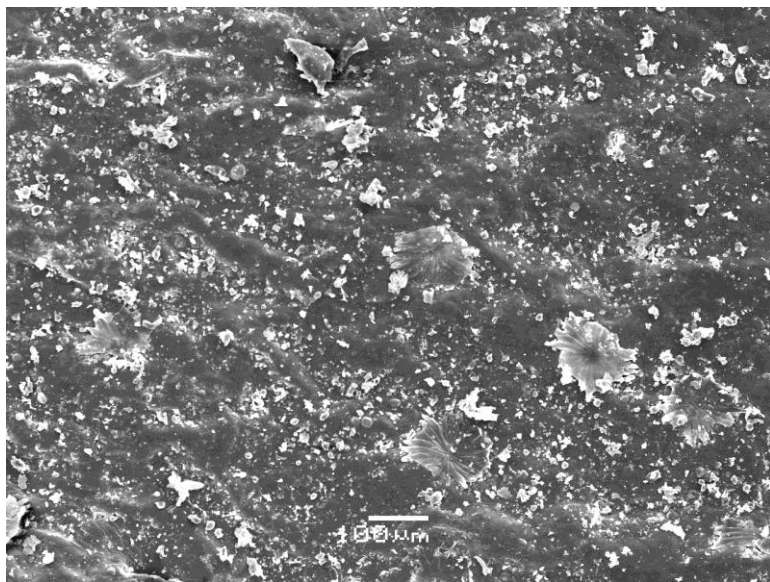
2^ο δείγμα χειμώνα (Απόσταση από τη μονάδα: 400m)



3^ο δείγμα χειμώνα (Απόσταση από τη μονάδα: 600m)



4^ο δείγμα χειμώνα (Απόσταση από τη μονάδα: 800m)



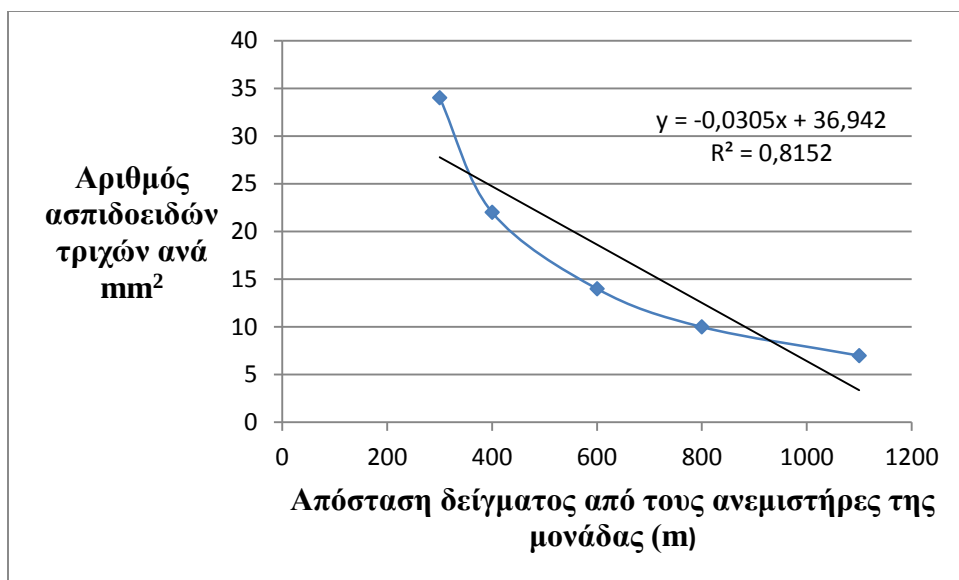
5^ο δείγμα χειμώνα (Απόσταση από τη μονάδα: 1100m)

Στον ακόλουθο πίνακα 2.1 παρουσιάζεται ο αριθμός ασπιδοειδών τριχών ανά mm² που μετρήθηκε για κάθε δείγμα χειμώνα, καθώς και η απόσταση των δειγμάτων αυτών από τους ανεμιστήρες εξαέρωσης της μονάδας.

Πίνακας 2.1: Αριθμός ασπιδοειδών τριχών ανά mm² που μετρήθηκε για κάθε δείγμα χειμώνα και η απόσταση των δειγμάτων αυτών από τους ανεμιστήρες εξαέρωσης της μονάδας.

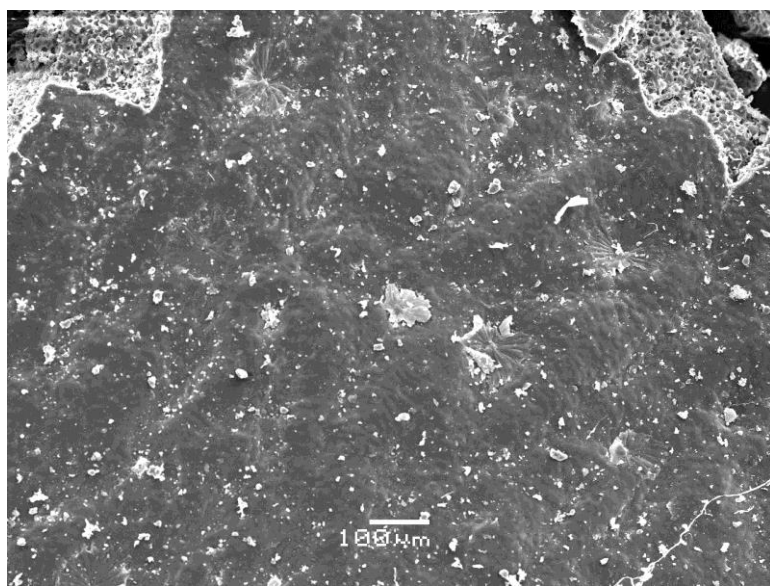
Δείγμα	Απόσταση δείγματος από τους ανεμιστήρες εξαέρωσης του βιομηχανικού χοιροτροφείου (m)	Αριθμός ασπιδοειδών τριχών ανά mm ²
1 ^ο Χειμώνα	300	34
2 ^ο Χειμώνα	400	22
3 ^ο Χειμώνα	600	14
4 ^ο Χειμώνα	800	10
5 ^ο Χειμώνα	1100	7

Ακολούθως παρουσιάζεται στο σχήμα 2.8 ο αριθμός ασπιδοειδών τριχών ανά mm² που μετρήθηκαν για τα δείγματα του χειμώνα συναρτήσει της απόστασης από τους ανεμιστήρες εξαέρωσης του χοιροτροφείου:

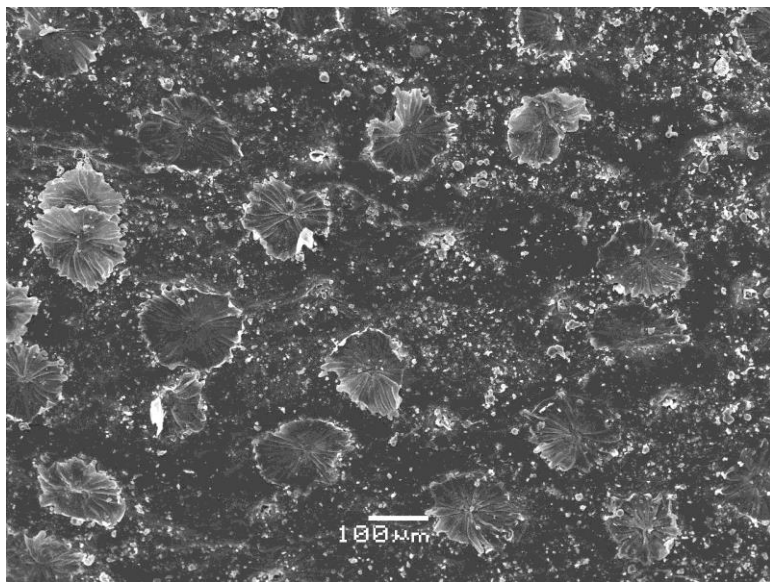


Σχήμα 2.8: Γράφημα αριθμού ασπιδοειδών τριχών ανά mm² που μετρήθηκαν για τα δείγματα του χειμώνα συναρτήσει της απόστασης από τους ανεμιστήρες εξαέρωσης του χοιροτροφείου.

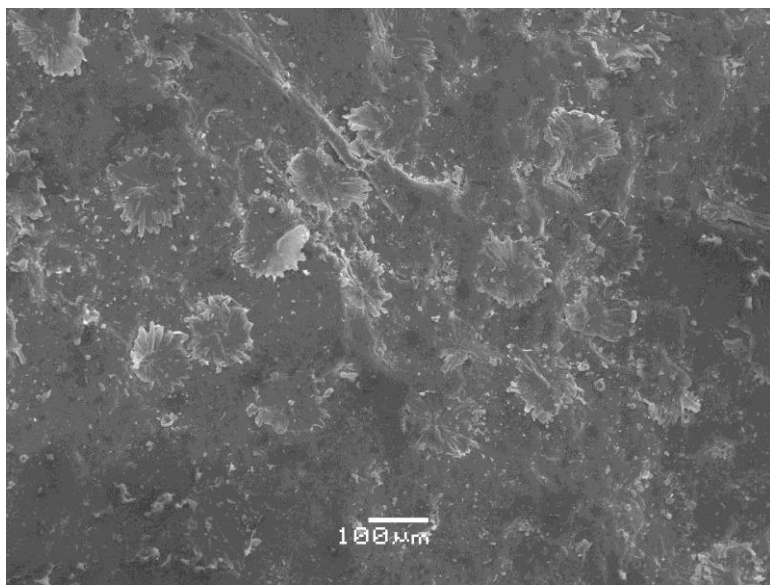
Φωτογραφίες άνοιξης (Ημερομηνία δειγματοληψίας 26/4/2013)



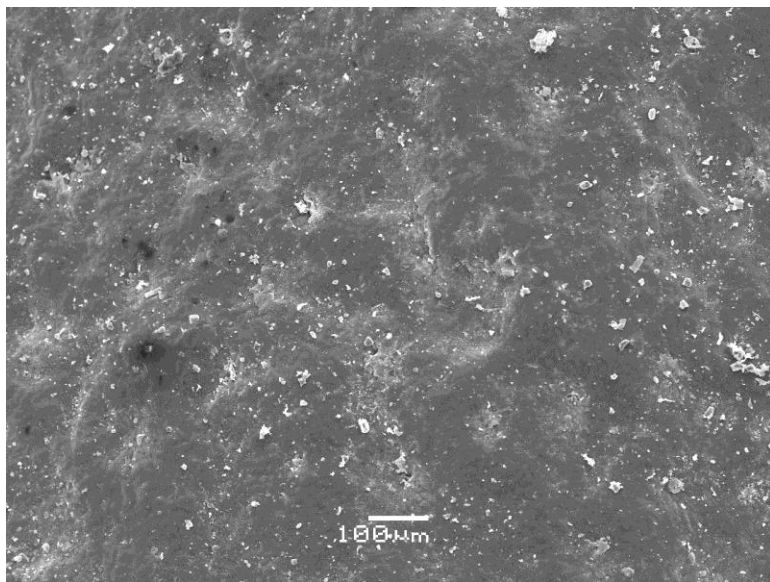
1^ο δείγμα άνοιξης (Απόσταση από τη μονάδα: 300m)



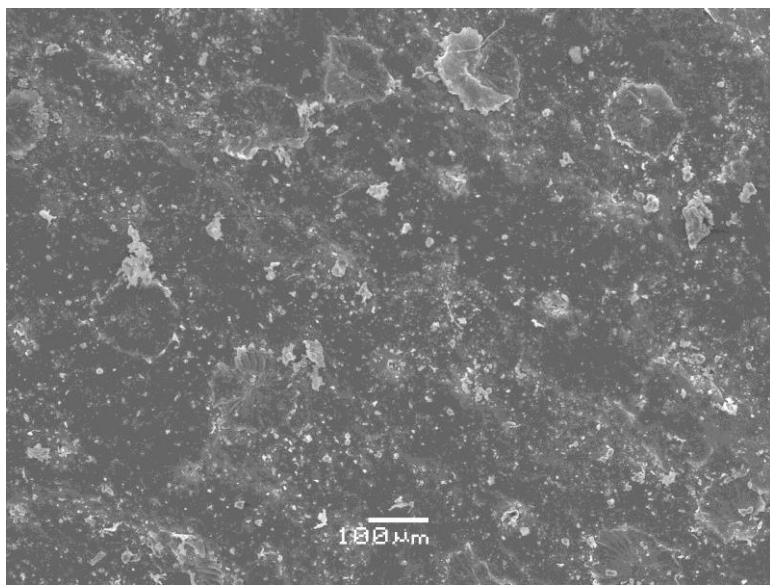
2^ο δείγμα άνοιξης (Απόσταση από τη μονάδα: 400m)



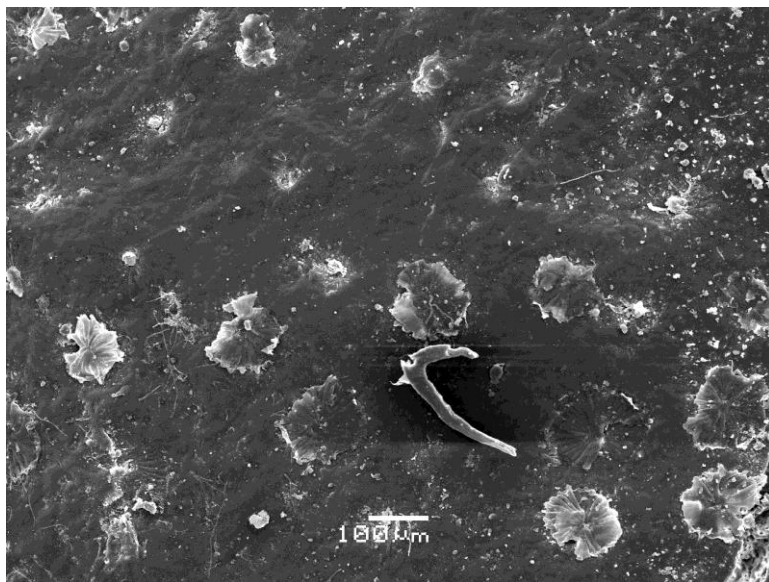
3^ο δείγμα άνοιξης (Απόσταση από τη μονάδα: 600m)



4^ο δείγμα άνοιξης (Απόσταση από τη μονάδα: 800m)



5^ο δείγμα άνοιξης (Απόσταση από τη μονάδα: 1100m)



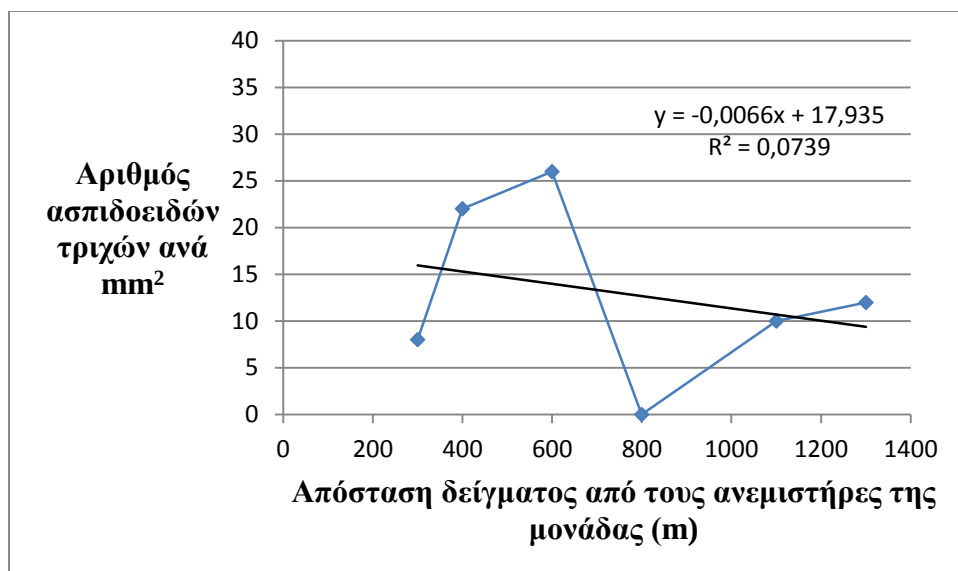
6^ο δείγμα άνοιξης (Απόσταση από τη μονάδα: 1300m)

Στον ακόλουθο πίνακα 2.2 παρουσιάζεται ο αριθμός ασπιδοειδών τριχών ανά mm² που μετρήθηκε για κάθε δείγμα άνοιξης, καθώς και η απόσταση των δειγμάτων αυτών από τους ανεμιστήρες εξαέρωσης της μονάδας.

Πίνακας 2.2: Αριθμός ασπιδοειδών τριχών ανά mm² που μετρήθηκε για κάθε δείγμα άνοιξης και η απόσταση των δειγμάτων αυτών από τους ανεμιστήρες εξαέρωσης της μονάδας.

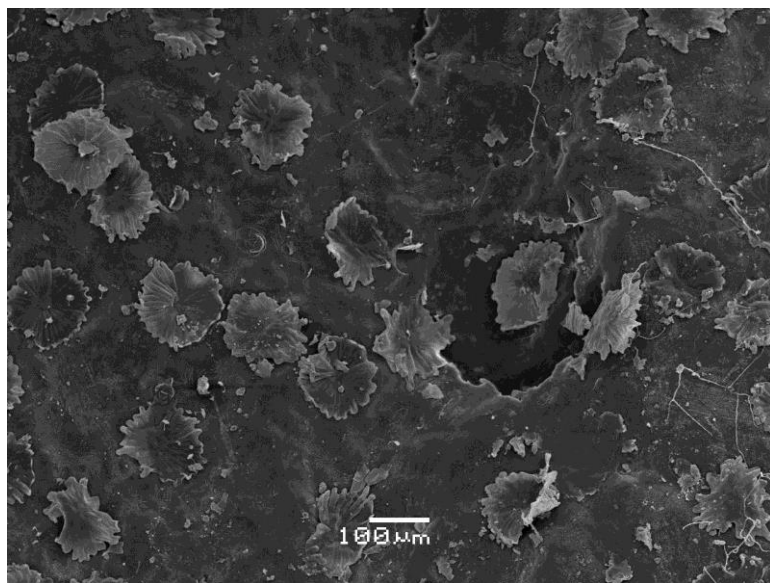
Δείγμα	Απόσταση δείγματος από τους ανεμιστήρες εξαέρωσης του βιομηχανικού χοιροτροφείου (m)	Αριθμός ασπιδοειδών τριχών ανά mm ²
1 ^ο Άνοιξης	300	8
2 ^ο Άνοιξης	400	22
3 ^ο Άνοιξης	600	26
4 ^ο Άνοιξης	800	0
5 ^ο Άνοιξης	1100	10
6 ^ο Άνοιξης	1300	12

Ακολούθως παρουσιάζεται στο σχήμα 2.9 ο αριθμός ασπιδοειδών τριχών ανά mm² που μετρήθηκαν για τα δείγματα της άνοιξης συναρτήσει της απόστασης από τους ανεμιστήρες εξαέρωσης του χοιροτροφείου:

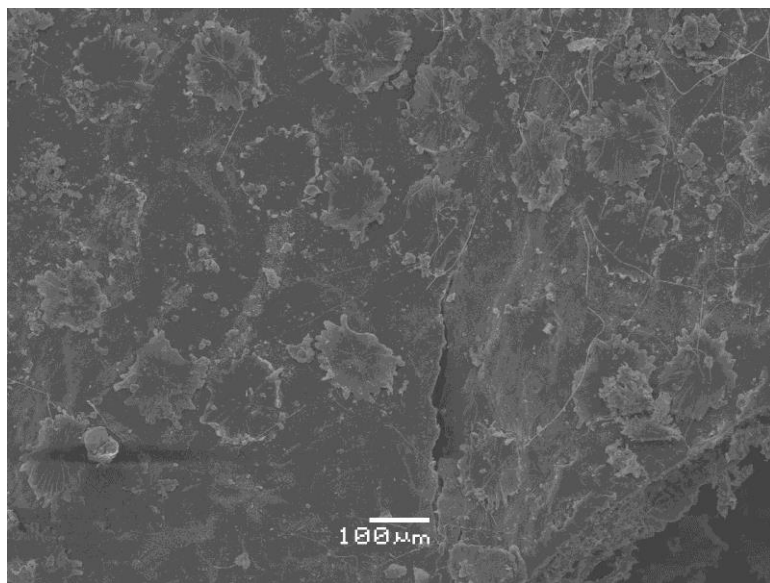


Σχήμα 2.9: Γράφημα αριθμού ασπιδοειδών τριχών ανά mm² που μετρήθηκαν για τα δείγματα της άνοιξης σε συνάρτηση με την απόσταση από τους ανεμιστήρες εξαέρωσης του χοιροτροφείου.

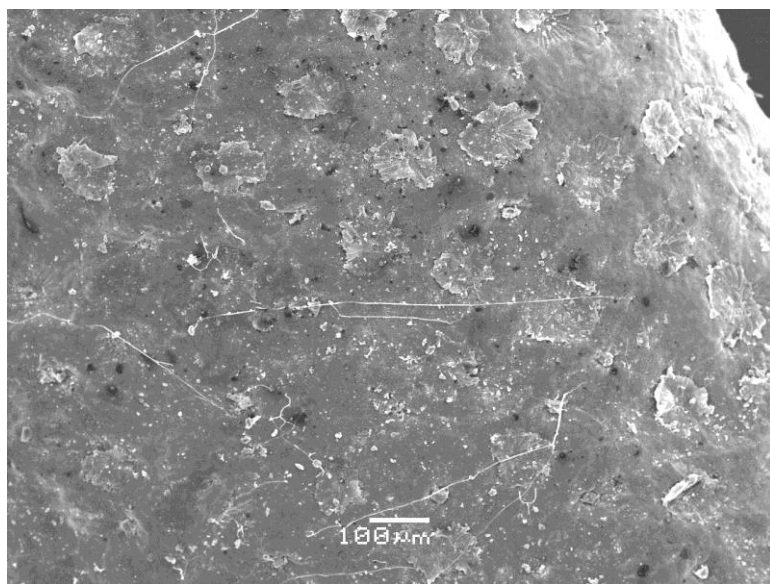
Φωτογραφίες καλοκαιριού (Ημερομηνία δειγματοληψίας 26/6/2013)



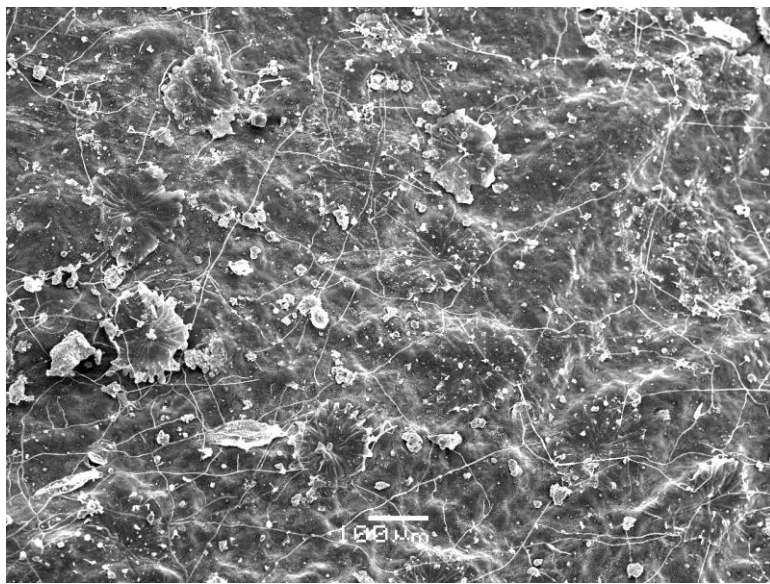
1^ο δείγμα καλοκαιριού (Απόσταση από τη μονάδα: 300m)



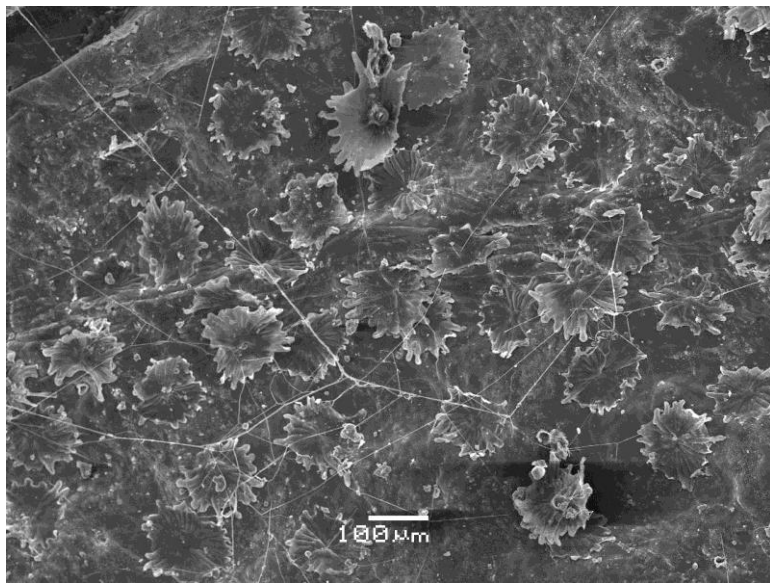
2^ο δείγμα καλοκαιριού (Απόσταση από τη μονάδα: 400m)



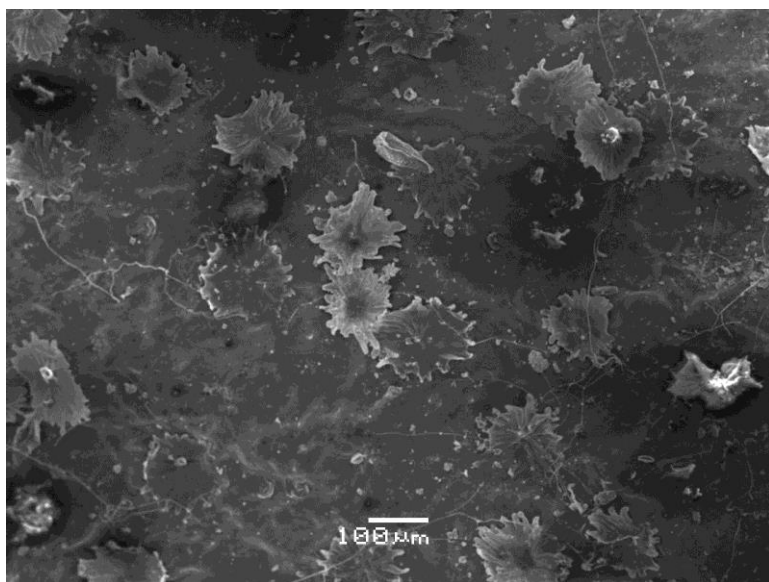
3^ο δείγμα καλοκαιριού (Απόσταση από τη μονάδα: 600m)



4^ο δείγμα καλοκαιριού (Απόσταση από τη μονάδα: 800m)



5^ο δείγμα καλοκαιριού (Απόσταση από τη μονάδα: 1100m)



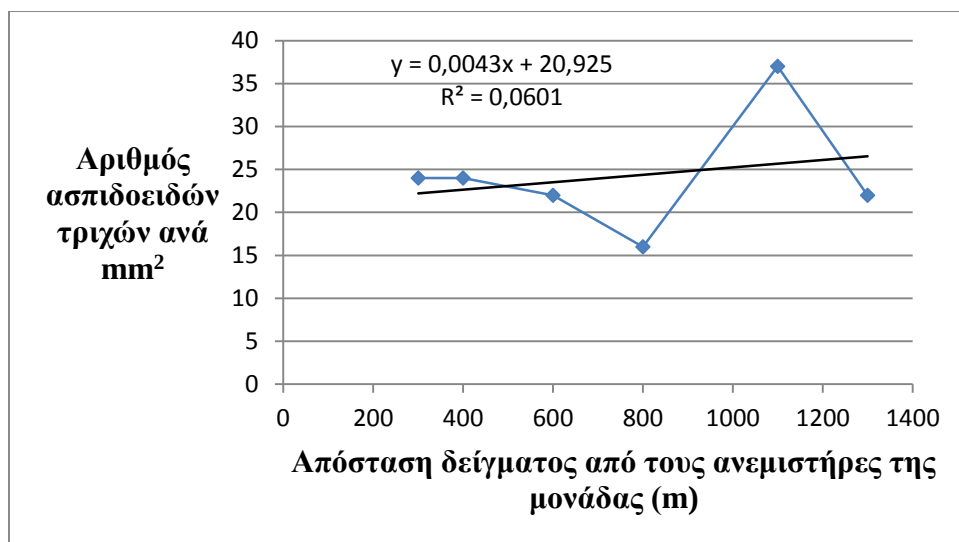
6^ο δείγμα καλοκαιριού (Απόσταση από τη μονάδα: 1300m)

Στον ακόλουθο πίνακα 2.3 παρουσιάζεται ο αριθμός ασπιδοειδών τριχών ανά mm² που μετρήθηκε για κάθε δείγμα καλοκαιριού, καθώς και η απόσταση των δειγμάτων αυτών από τους ανεμιστήρες εξαέρωσης της μονάδας.

Πίνακας 2.3: Αριθμός ασπιδοειδών τριχών ανά mm² που μετρήθηκε για κάθε δείγμα καλοκαιριού και η απόσταση των δειγμάτων αυτών από τους ανεμιστήρες εξαέρωσης της μονάδας.

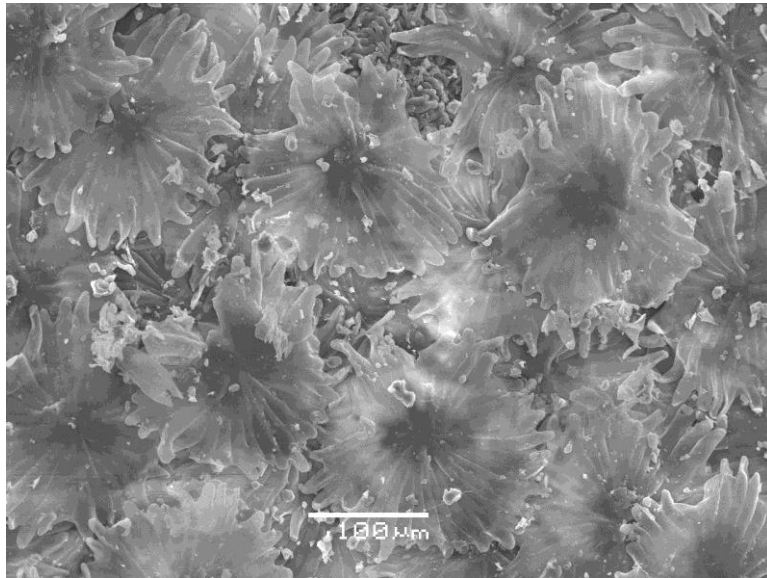
Δείγμα	Απόσταση δείγματος από τους ανεμιστήρες εξαέρωσης του βιομηχανικού χοιροτροφείου (m)	Αριθμός ασπιδοειδών τριχών ανά mm ²
1 ^ο Καλοκαιριού	300	24
2 ^ο Καλοκαιριού	400	24
3 ^ο Καλοκαιριού	600	22
4 ^ο Καλοκαιριού	800	16
5 ^ο Καλοκαιριού	1100	37
6 ^ο Καλοκαιριού	1300	22

Ακολούθως παρουσιάζεται στο σχήμα 2.10 ο αριθμός ασπιδοειδών τριχών ανά mm² που μετρήθηκαν για τα δείγματα του καλοκαιριού συναρτήσει της απόστασης από τους ανεμιστήρες εξαέρωσης του χοιροτροφείου:



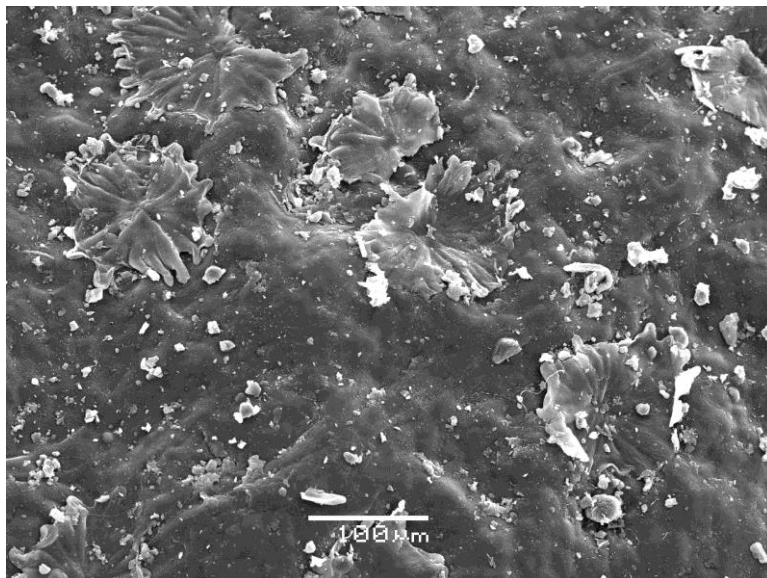
Σχήμα 2.10: Γράφημα αριθμού ασπιδοειδών τριχών ανά mm² που μετρήθηκαν για τα δείγματα του καλοκαιριού συναρτήσει της απόστασης από τους ανεμιστήρες εξαέρωσης του χοιροτροφείου.

Φωτογραφίες όλων των μεγεθύνσεων (100x, 200x, 400x, 800x, 1200x) διαφόρων δειγμάτων



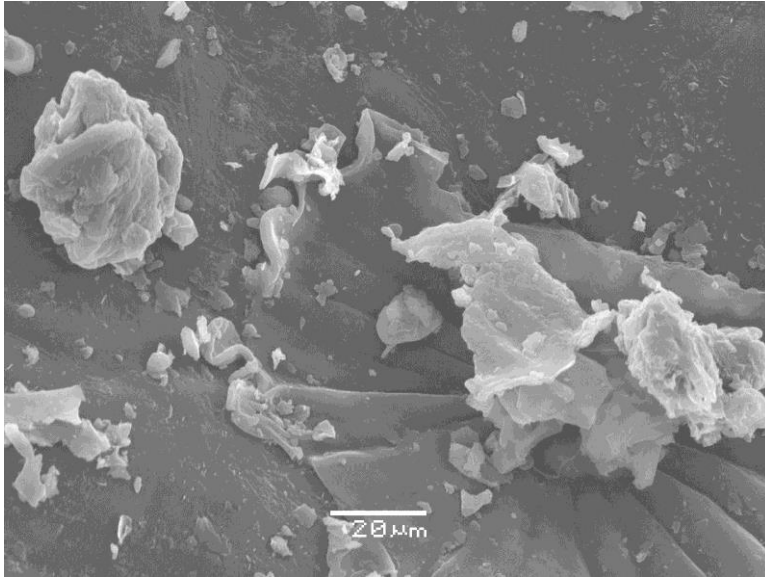
2^ο δείγμα χειμώνα (Απόσταση από τη μονάδα: 400m), κάτω επιφάνεια, μεγέθυνση 200x

Αυτή είναι μία χαρακτηριστική φωτογραφία κάτω επιφάνειας φύλλου στην οποία φαίνονται αλληλεπικαλυμμένες ασπιδοειδείς τρίχες και δικαιολογεί επί της ουσίας γιατί δεν συνιστάται η μέτρηση των τριχών στην κάτω επιφάνεια για την εξαγωγή κάποιου συμπεράσματος σχετικά με την εξάρτηση του βαθμού ρύπανσης από την απόσταση δειγματοληψίας από τους ανεμιστήρες εξαέρωσης της κτηνοτροφικής μονάδας.



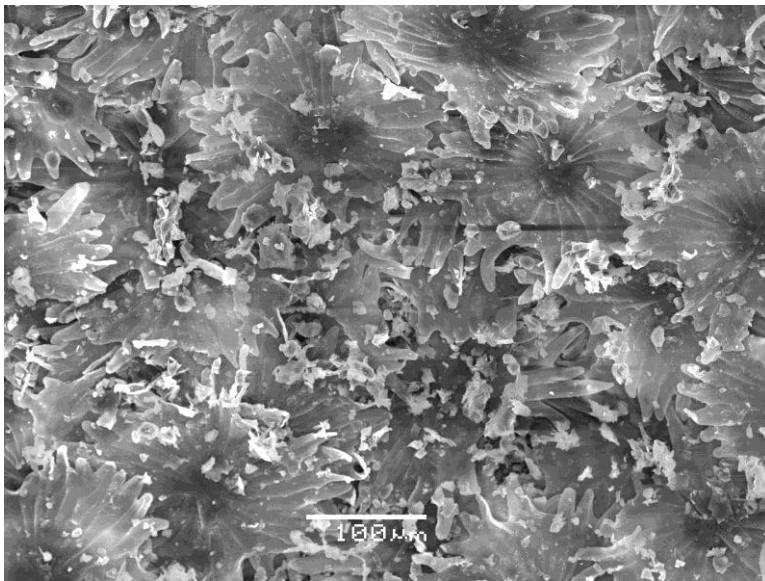
1^ο δείγμα χειμώνα (Απόσταση από τη μονάδα: 300m), πάνω επιφάνεια, μεγέθυνση 200x

Σε αυτή τη φωτογραφία φαίνονται πολλά σωματίδια με ακανόνιστο σχήμα πάνω στην επιφάνεια του φύλλου, τα οποία κατά πάσα πιθανότητα είναι σκόνες και σωματιδιακοί ρύποι. Είναι δυνατό ορισμένα από αυτά να είναι υπολείμματα από το ίδιο το φυτό ή από έντομα.[26]



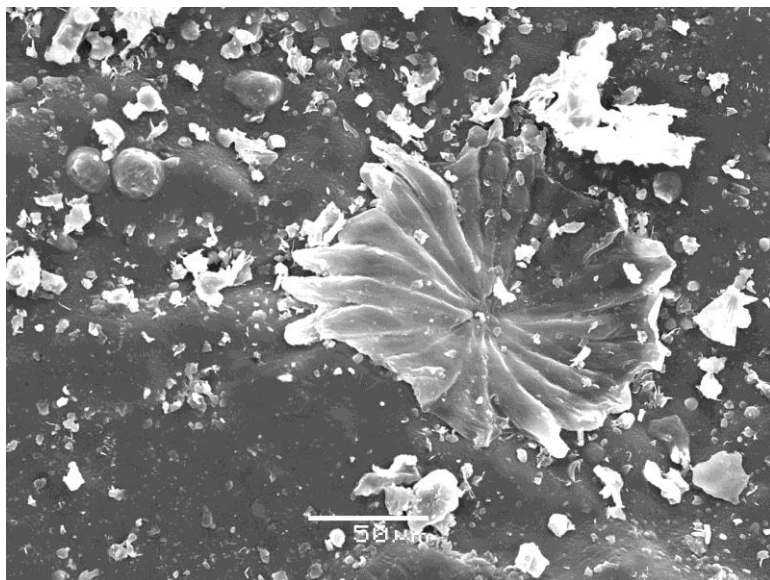
3^ο δείγμα χειμώνα (Απόσταση από τη μονάδα: 600m), πάνω επιφάνεια, μεγέθυνση 800x

Σε αυτή τη φωτογραφία είναι ορατοί διάφοροι σωματιδιακοί ρύποι σε μεγαλύτερη μεγέθυνση, οι οποίοι ποικίλουν σε μέγεθος.



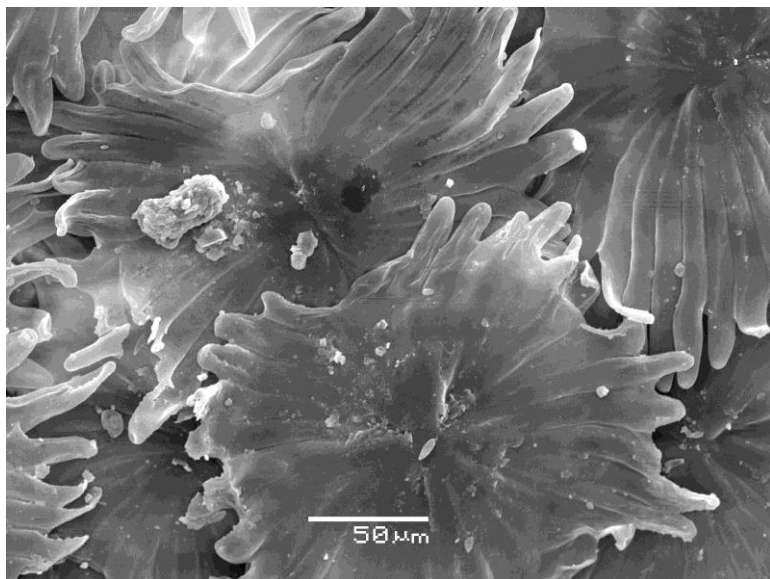
4^ο δείγμα χειμώνα (Απόσταση από τη μονάδα: 800m), κάτω επιφάνεια, μεγέθυνση 200x

Αυτή η φωτογραφία απεικονίζει μία ιδιαιτέρως μολυσμένη κάτω επιφάνεια φύλλου.



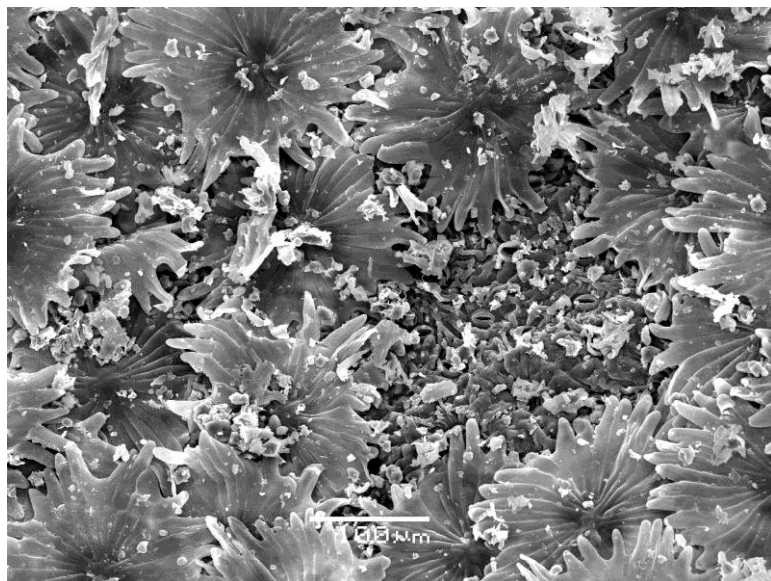
5^ο δείγμα χειμώνα (Απόσταση από τη μονάδα: 1100m), πάνω επιφάνεια, μεγέθυνση 400x

Τα διαφανή σφαιρικά ολοστρογγύλα σωματίδια που φαίνονται σε αυτή τη φωτογραφία έχουν εισχωρήσει στην εφυμενίδα, η οποία είναι μία λεπτή διαφανής μεμβράνη που καλύπτει την επιδερμίδα των φύλλων και τα προφυλλάσει από την εξάτμιση, την υπεριώδη ακτινοβολία και μολύνσεις βακτηρίων και μυκήτων και έτσι το φύλλο είναι ευάλωτο στην ξηρασία. Πιθανότατα αυτό έχει συμβεί λόγω διάβρωσης της εφυμενίδας.[27]



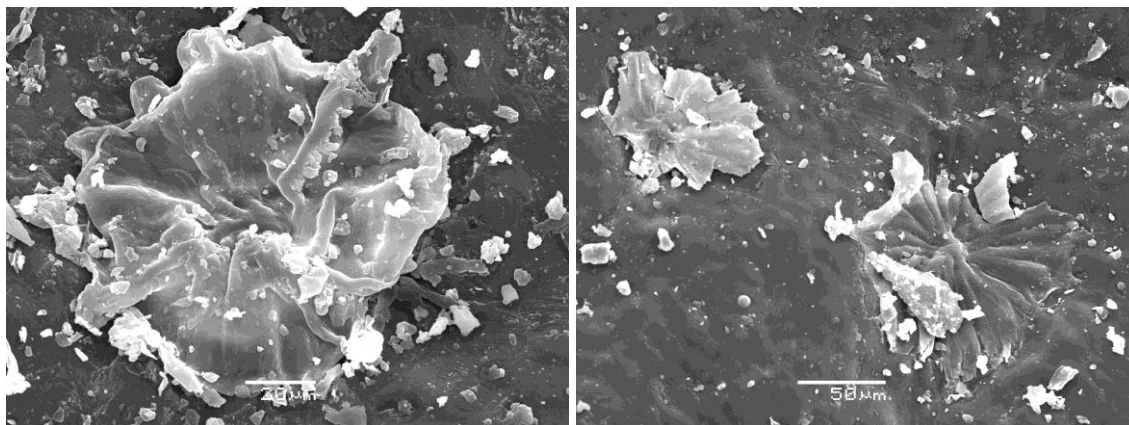
4^ο δείγμα καλοκαιριού (Απόσταση από τη μονάδα: 800m), κάτω επιφάνεια, μεγέθυνση 400x

Το μαύρο στίγμα που είναι ορατό πάνω σε μία ασπιδοειδή τρίχα σε αυτή τη φωτογραφία πιθανότατα αποτελεί διάβρωση της εφυμενίδας του φύλλου που έχει προκληθεί λόγω όξινων ή αλκαλικών ρύπων.



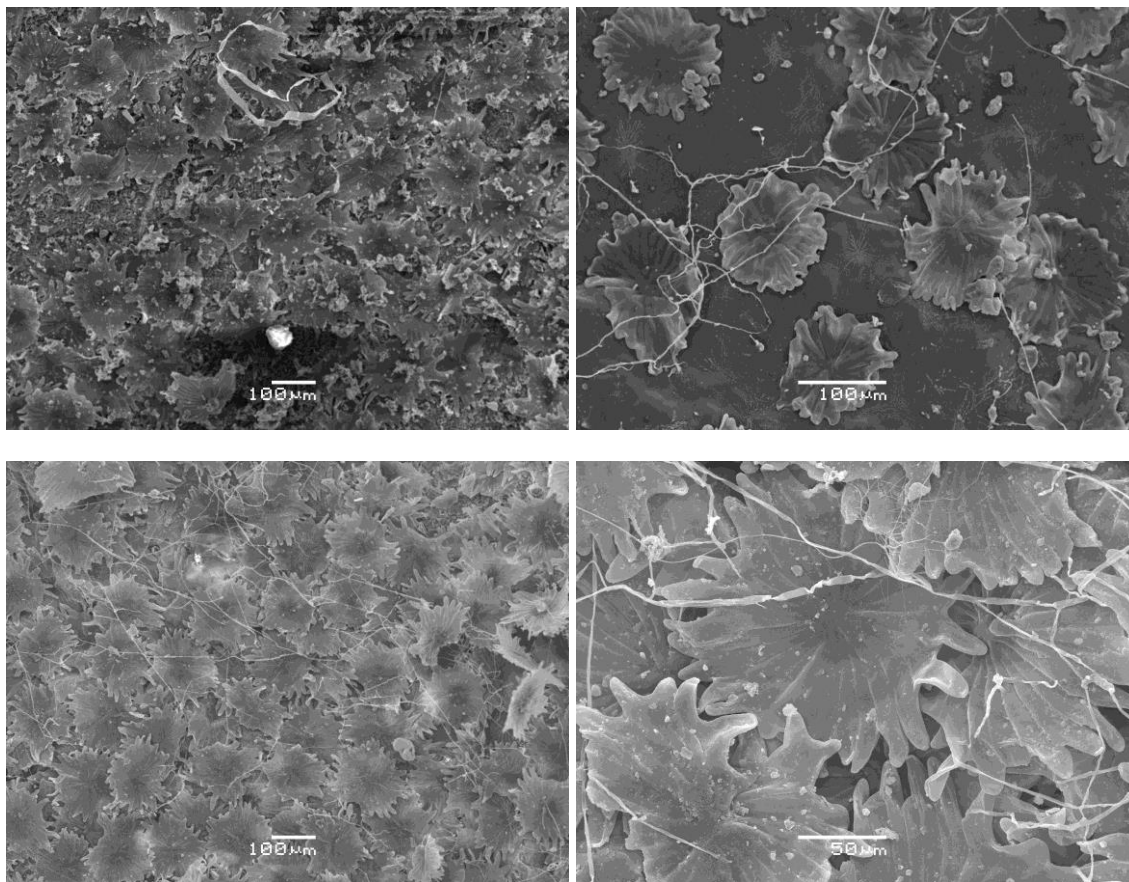
5^ο δείγμα χειμώνα (Απόσταση από τη μονάδα: 1100m), κάτω επιφάνεια, μεγέθυνση 400x

Σε αυτή τη φωτογραφία και συγκεκριμένα στο κέντρο και προς τα δεξιά της φωτογραφίας παρατηρούνται μερικά από τα στόματα του φύλλου. Τα στόματα έχουν οβάλ σχήμα και είναι μικροσκοπικά ανοίγματα στην επιφάνεια των φύλλων, τα οποία με το άνοιγμα και το κλεισμό τους ελέγχουν την ανταλλαγή αερίων του φυτού, δηλαδή κατ' επέκταση την φωτοσύνθεση, την αναπνοή, τη διαπνοή και άλλες λειτουργίες, και ρυθμίζουν τις απώλειες νερού. Στα περισσότερα φυτά συναντώνται μόνο στην κάτω επιφάνεια των φύλλων, όπως στην πάνω φωτογραφία, ενώ σε μερικά φυτά υπάρχουν και στην πάνω επιφάνεια. Σε αυτή τη φωτογραφία παρατηρούνται ρύποι να έχουν επικαλύψει μερικά στόματα του φύλλου εμποδίζοντας έτσι την ανταλλαγή αερίων και θέτοντας σε κίνδυνο σημαντικές λειτουργίες του φυτού.[1]



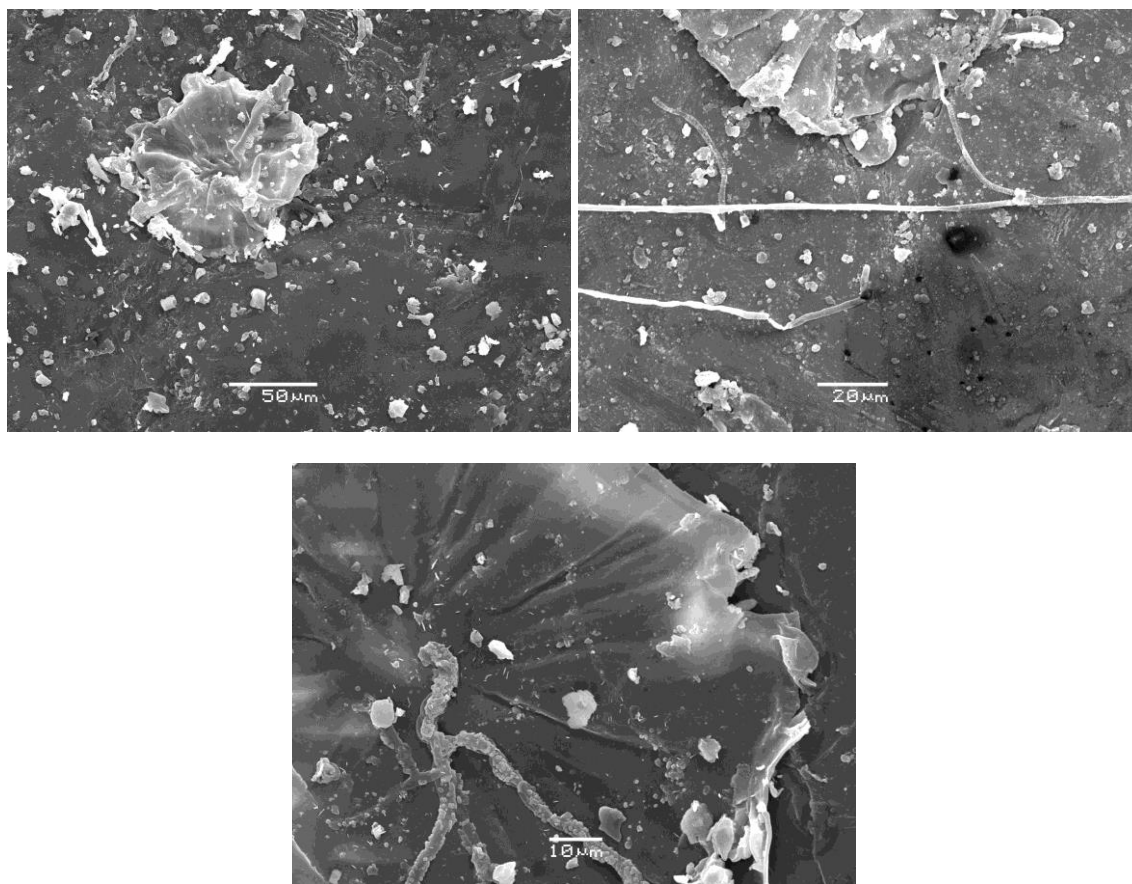
Αριστερά: 4^ο δείγμα χειμώνα (Απόσταση από τη μονάδα: 800m), πάνω επιφάνεια, μεγέθυνση 800x, δεξιά: 1^ο δείγμα άνοιξης (Απόσταση από τη μονάδα: 300m), πάνω επιφάνεια, μεγέθυνση 400x

Στην αριστερή από τις παραπάνω φωτογραφίες φαίνεται μία ασπιδοειδής τρίχα που επάνω της έχει συσσωρευθεί μεγάλος αριθμός ρύπων, ενώ στη δεξιά φωτογραφία φαίνονται δύο κατεστραμμένες, σε μεγάλο βαθμό, από τη ρύπανση ασπιδοειδείς τρίχες.



Πάνω αριστερά: 3^ο δείγμα άνοιξης (Απόσταση από τη μονάδα: 600m), κάτω επιφάνεια, μεγέθυνση 100x, πάνω δεξιά: 1^ο δείγμα χειμώνα (Απόσταση από τη μονάδα: 300m), πάνω επιφάνεια, μεγέθυνση 200x, κάτω αριστερά: 3^ο δείγμα καλοκαιριού (Απόσταση από τη μονάδα: 600m), κάτω επιφάνεια, μεγέθυνση 100x, κάτω δεξιά: 3^ο δείγμα καλοκαιριού (Απόσταση από τη μονάδα: 600m), κάτω επιφάνεια, μεγέθυνση 400x

Οι μακρόστενοι σχηματισμοί που παρατηρούνται σε αυτές τις φωτογραφίες και μοιάζουν με κλωστές είναι πιθανότατα υφές από μύκητες. Στην κάτω δεξιά φωτογραφία και συγκεκριμένα στο πάνω μέρος της μπορούμε να παρατηρήσουμε κάποιους σχηματισμούς λεπτότερων «κλωστών» που όμως έχουν μία συγκεκριμένη δομή και διάρθρωση. Αυτές οι «κλωστές» φαίνονται να είναι ιστοί από αρθρόποδα που ήταν ή είναι ακόμα, ενδεχομένως, πάνω στο φύλλο, και όχι υφές μυκητών.[m]



Πάνω αριστερά: 4^ο δείγμα καλοκαιριού (Απόσταση από τη μονάδα: 800m), πάνω επιφάνεια, μεγέθυνση 400x, πάνω δεξιά: 3^ο δείγμα καλοκαιριού (Απόσταση από τη μονάδα: 600m), πάνω επιφάνεια, μεγέθυνση 800x, κάτω: 6^ο δείγμα καλοκαιριού (Απόσταση από τη μονάδα: 1300m), πάνω επιφάνεια, μεγέθυνση 1200x

Στις παραπάνω φωτογραφίες είναι ευδιάκριτοι μακρόστενοι διαφανείς σχηματισμοί, οι οποίοι είναι κονιδιοφόροι μυκητών. Οι μύκητες αναπαράγονται αγενώς με διασπορά των σπορίων τους, που ονομάζονται κονίδια, σε κοντινή περιοχή από όπου βρίσκονται. Ακόμα, είναι ορατές οι αλληλουχίες από κονίδια μέσα στους κονιδιοφόρους.[m]

3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΥΛΛΩΝ OLEA EUROPAEA ΜΕ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΑΚΤΙΝΩΝ X

3.1 ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΦΥΛΛΩΝ OLEA EUROPAEA ΜΕ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΑΚΤΙΝΩΝ X

Στην παρούσα σειρά πειραμάτων συλλέχθηκαν δείγματα φύλλων ευρωπαϊκής ελιάς (*Olea europaea*) σε τρεις εποχές (χειμώνα, άνοιξη, καλοκαίρι) από δέντρα σε σημεία που απείχαν διαφορετικές αποστάσεις από βιομηχανική κτηνοτροφική μονάδα στη Κρήτη. Ο σκοπός ήταν να αναλυθούν τα φύλλα, ως προς τη χημική τους σύσταση, με περίθλαση ακτίνων X για την διερεύνηση της μεταβλητότητας ορισμένων περιεχόμενων ενώσεων (αζωτούχων, θειούχων, φωσφορικών, κ.α.), που πιθανώς να προέρχονται από αέριους ρύπους που εκλύονται από το βιομηχανικό χοιροτροφείο, σε συνάρτηση με την απόσταση από την κτηνοτροφική μονάδα, αλλά και την εποχή.

3.2 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΜΕ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΑΚΤΙΝΩΝ X

3.2.1 Ανάλυση με περίθλαση ακτίνων X-Εισαγωγή

Η μέθοδος της ανάλυσης με περίθλαση ακτίνων X (XRD: X Ray Diffraction) βασίζεται στην περίθλαση μονοχρωματικής ακτινοβολίας ακτίνων X, γνωστού μήκους κύματος λ , επάνω στα επίπεδα του κρυσταλλικού πλέγματος των εξεταζόμενων ενώσεων και στη συνέχεια στον προσδιορισμό μέσω της αντίστοιχης γωνίας θ , των εσωτερικών διαστημάτων d των επιπέδων με εφαρμογή του γνωστού τύπου του Bragg:

$$n\lambda = 2d\sin\theta$$

,όπου $n:1,2,3,\dots$, η τάξη της περίθλασης, ανάλογα με το επίπεδο στο οποίο γίνεται η ενίσχυση συνήθως $n=1$

λ : μήκος κύματος (συνήθως σταθερό)

θ : η γωνία πρόσπτωσης που σχηματίζεται μεταξύ επιπέδου και ακτινοβολίας

Τα προσδιορισθέντα d είναι χαρακτηριστικά για κάθε κρυσταλλική ένωση και με τον προσδιορισμό τους γίνεται αναγνώριση της ένωσης ή των ενώσεων που συνιστούν την εξεταζόμενη ουσία (Ποιοτική Ανάλυση).

Η ένταση της περιθλώμενης ακτινοβολίας σε κάθε γωνία θ είναι συνάρτηση της ποσότητας της κρυσταλλικής ένωσης. Έτσι μπορεί να γίνει Ποσοτική Ανάλυση μίας ένωσης με κατάλληλη μέτρηση της έντασης της ακτινοβολίας σε επιλεγμένη γωνία θ . [23]

3.2.2 Οργανολογία

3.2.2.1 Σχηματική Διάταξη-Βασικά Μέρη XRD

Στο ακόλουθο Σχήμα 3.1 απεικονίζεται σχηματικά η διάταξη ενός περιθλασίμετρου ακτίνων X (γωνιόμετρο), όπου:

F: εστιακή γραμμή

X: σχισμή παραγωγής ακτίνων χ

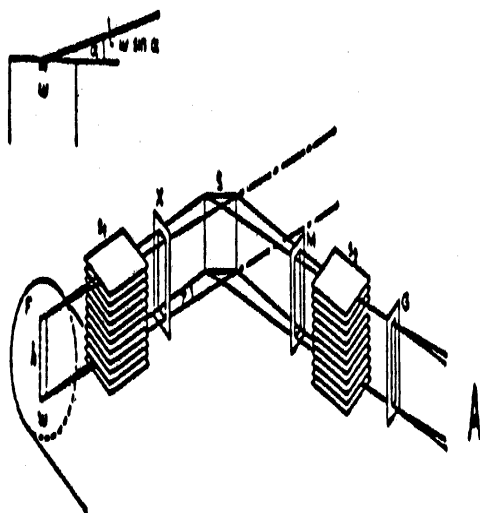
G: σχισμή υποδοχής ακτινοβολίας

M: σχισμή αντιδιασκορπισμού

S1, S2: Σχισμές Soller

S: Δείγμα

A: Ανιχνευτής



Σχήμα 3.1: Σχηματική διάταξη περιθλασίμετρου ακτίνων X

Τα βασικά μέρη του περιθλασιόμετρου ακτίνων X είναι τα ακόλουθα:

- Η πηγή ακτινοβολίας
- Το φίλτρο
- Το δείγμα
- Ο ανιχνευτής

Το εκπεμπόμενο από τον ανιχνευτή και φωτοπολλαπλασιαστή σήμα καταγράφεται με κάποιον επιλεγμένο τρόπο καταγραφής. Συνηθέστερος τρόπος καταγραφής είναι η λήψη ακτινοδιαγράμματος Χ-Ψ. Από τα διαγράμματα αυτά είναι δυνατό να γίνει ταυτοποίηση των κρυσταλλικών ενώσεων που περιέχονται στο δείγμα με σύγκριση του διαγράμματος με πρότυπα ακτινοδιαγράμματα ουσιών, τα οποία είναι αποθηκευμένα στη μνήμη ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή.[23]

3.2.2.2 Πηγή ακτινοβολίας

Σαν πηγή ακτινοβολίας ακτινών Χ χρησιμοποιείται καθοδική λυχνία, όπου η άνοδος (αντικάθοδος) αποτελείται από στοιχεία όπως Cu, Co, Fe, Cr, Ag, Mo. Η κάθοδος αποτελείται συνήθως από νήμα W. Η λυχνία είναι συνήθως λυχνία κενού ($P < 10^{-6}$ mmHg).

Είναι εξαιρετικά σημαντική η επιλογή αυτής της μονοχρωματικής ακτινοβολίας εφόσον η λήψη ενός ικανοποιητικού διαγράμματος περίθλασης ακτινών Χ εξαρτάται κύρια από την επιλογή της χαρακτηριστικής ακτινοβολίας Ka. Αναφέρεται η Ka γιατί λόγω της έντασής της έχει μεγαλύτερη εφαρμογή. Αν η επιλογή της ακτινοβολίας δεν είναι σωστή μπορεί να προκληθούν φαινόμενα φθορισμού που υπεισέρχονται στο ακτινοδιάγραμμα και οδηγούν σε λανθασμένα συμπεράσματα.

Φθορισμός προκαλείται όταν η προσπίπτουσα ακτινοβολία έχει μήκος κύματος λίγο μικρότερο από το οριακό μήκος κύματος απορρόφησης των στοιχείων του δείγματος. Για να αποφευχθεί ο φθορισμός συνήθως επιλέγεται σαν άνοδος της λυχνίας στοιχείο που δίνει ακτινοβολία με μήκος κύματος απομακρυσμένο από τα K και L οριακά μήκη απορρόφησης των στοιχείων του δείγματος.

Κατά την επιλογή του μήκους κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας Χ, πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν η περιοχή των εσωτερικών διαστημάτων d της συγκεκριμένης εφαρμογής.

Επειδή το ημθ στην εξίσωση Bragg δεν υπερβαίνει το 1,00 μόνο διαστήματα $d > \lambda/2$ μπορούν να ανιχνευθούν. Στην ποιοτική ανάλυση προτιμούνται:

- μικρού μήκους κύματος ακτινοβολίες (λυχνίες Ag ή Mo) για ανόργανα ή μεταλλικά υλικά που έχουν συνήθως μεγάλη συμμετρία και μικρό μέγεθος στοιχειώδους κρυστάλλου.
- Μέσου μήκους κύματος ακτινοβολία (Cu ή Co) χρησιμοποιείται για δομές με χαμηλότερη συμμετρία, για μίγματα ουσιών και για μεγαλύτερους στοιχειώδεις κρυστάλλους.
- Μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίες (Fe ή Cr) χρησιμοποιούνται για οργανικές ενώσεις ή αργιλικά ορυκτά όπου υπάρχουν δομές χαμηλής συμμετρίας με μεγάλους στοιχειώδεις κρυστάλλους.

Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή της λυχνίας είναι η διαχωριστικότητα και η ευαισθησία.

Όσο αυξάνει το λ αυξάνει και η διαχωριστικότητα. Όσο όμως η γωνία πλησιάζει τις 90° τόσο παρατηρείται μικρότερη μεταβολή του d συναρτήσει του λ . Επομένως, για να έχουμε

μεγαλύτερη ευαισθησία στην ανίχνευση των αιχμών πρέπει το λ της λυχνίας να επιλέγεται έτσι ώστε να καταγράφονται, στις μεγάλες γωνίες, οι ανακλάσεις της χαμηλότερης σειράς (hkl).[23]

3.2.2.3 Φίλτρο

Το φίλτρο χρησιμοποιείται προκειμένου να υπάρχει αυστηρά καθορισμένη ποιότητα και ποσότητα μονοχρωματικής ακτινοβολίας από την πηγή (λυχνία). Η αρχή λειτουργίας του στηρίζεται στην ιδιότητα κάθε στοιχείου να απορροφά ακτινοβολίες με μήκος κύματος μεγαλύτερο του οριακού μήκους κύματος απορρόφησης του στοιχείου.

Η επιλογή λειτουργίας ενός φίλτρου βρίσκεται μεταξύ της λειτουργίας απλού φίλτρου ή ισοσταθμικών φίλτρων (Balanced) ή ακόμη ενός κρυσταλλικού μονοχρωμάτορα για τις περιπτώσεις που οι απαιτήσεις για μονοχρωματική ακτινοβολία είναι πολύ αυστηρές.

Τα απλά φίλτρα απορροφούν την ανεπιθύμητη ακτινοβολία της πηγής και τοποθετούνται στο παράθυρο της λυχνίας. Ο βαθμός απορρόφησης ενός τέτοιου φίλτρου πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη και υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$I / I_0 = e^{-(\mu / \rho) \rho t}$$

,όπου: μ/ρ : ο συντελεστής απορρόφησης μάζας

ρ : η πυκνότητα του υλικού

t : το πάχος του φίλτρου

Τα φίλτρα ισοστάθμισης (balanced) αποτελούνται από δύο φίλτρα παραπλήσιου οριακού μήκους κύματος απορρόφησης που επιλέγονται έτσι ώστε να είναι πάνω και κάτω από το επιθυμητό μήκος κύματος της λυχνίας.

Η ισοστάθμιση των δύο φίλτρων γίνεται με ρύθμιση του πάχους του δεύτερου φίλτρου ώστε να απορροφάται ίδια $K\beta$ με το πρώτο φίλτρο.

Ο διαχωρισμός της επιθυμητής ακτινοβολίας από τις υπόλοιπες (στην περίπτωση χρησιμοποίησης κρυσταλλικού μονοχρωμάτορα) γίνεται με χρησιμοποίηση σαν προσπίπτουσας ακτινοβολίας, μίας δέσμης που διαθλάται πάνω στο κρύσταλλο.[23]

3.2.2.4 Δείγμα

Το κυριότερο πεδίο εφαρμογής της μεθόδου είναι η εξέταση στερεών υλικών, τα οποία πρέπει να είναι ομοιογενή, συμπαγή και να έχουν λεία και επίπεδη επιφάνεια. Οι παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την προετοιμασία του προς εξέταση δείγματος είναι:

-Η κοκκομετρία του υλικού

-Το πάχος του δείγματος

-Ο αυτοπροσανατολισμός των κρυστάλλων

-Κατά πόσο η επιφάνεια είναι επίπεδη

Το μέγεθος και η ομοιομορφία των κόκκων επηρεάζουν την διαχωριστικότητα της μέτρησης. Μια καλή κοκκομετρία είναι εκείνη που βρίσκεται κάτω από τα 25μ. Το πάχος του δείγματος θα πρέπει να πληρεί την σχέση:

$$t \geq (3,2/\mu) (\rho/\rho') \eta\mu\theta$$

,όπου: t: το πάχος δείγματος,

μ: ο γραμμικός συντελεστής απορρόφησης,

ρ και ρ' : η πραγματική και φαινόμενη πυκνότητα του δείγματος.

Ο αυτοπροσανατολισμός των κρυστάλλων δημιουργεί προβλήματα διαχωριστότητας της έντασης στα ακτινοδιαγράμματα και εντοπίζεται στη μορφή με την οποία μπαίνει το δείγμα στον υποδοχέα του οργάνου. Το πρόβλημα δεν έχει συγκεκριμένη λύση. Η μείωση όμως του μεγέθους των κόκκων πιθανώς να μειώνει την επίδραση αυτού του παράγοντα.

Όσον αφορά τις αποκλίσεις από τη μη επίπεδη επιφάνεια του δείγματος, αυτές οδηγούν στο <<πλάτεμα>> και τη μετατόπιση των αιχμών του στο ακτινοδιάγραμμα.[23]

3.2.2.5 Ανιχνευτής

Ο ανιχνευτής, που είναι ο τελικός αποδέκτης της περιθλόμενης από το δείγμα ακτινοβολίας, είναι συνήθως μετρητής σπινθήρων και αποτελείται από ένα κρύσταλλο NaI ενεργοποιημένο με θάλιο. Ο παραπάνω κρύσταλλος είναι τοποθετημένος στο παράθυρο ενός σωλήνα φωτοπολλαπλασιαστή για την ενίσχυση του δημιουργηθέντος σήματος.[23]

3.2.2.6 Ρυθμίσεις Οργάνου XRD

Η επιτυχημένη λειτουργία του περιθλασίμετρου εξαρτάται από τις επιλεγόμενες ρυθμίσεις λειτουργίας του. Έτσι ο αναλυτής ρυθμίζει τις τιμές στις ακόλουθες παραμέτρους:

- Την ακτινοβολία της πηγής
- Το φίλτρο
- Την τάση και την ένταση της λυχνίας
- Τις σχισμές παροχής και υποδοχής
- Τη σταθερά του χρόνου και τη ταχύτητα του γωνιομέτρου
- Τη ταχύτητα του καταγραφικού χαρτιού
- Το μετρητή δια σπινθηροβολισμού και τη τάση του
- Το παράθυρο και το κατώτερο κατώφλι παλμών

Ακόμα, τα οπτικά τμήματα που συνιστούν το περιθλασίμετρο πρέπει να είναι πλήρως ευθυγραμμισμένα έτσι ώστε να επιτυγχάνεται περιθλόμενη δέσμη ορθής γωνίας και η μέγιστη δυνατή ένταση και διαχωριστότητα.[23]

3.3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ - ΥΛΙΚΑ

3.3.1 Συλλογή φύλλων ελιάς

Τα σημεία δειγματοληψίας για την συλλογή των φύλλων ελιάς του πειράματός ήταν δέντρα ελιάς σε έξι σημεία που απείχαν διαφορετικές αποστάσεις από τους ανεμιστήρες εξαέρωσης μίας κτηνοτροφικής μονάδας στην Κρήτη την άνοιξη και το καλοκαίρι, ενώ σε δέντρα ελιάς σε πέντε σημεία που απείχαν διαφορετικές αποστάσεις από τη μονάδα έγινε η δειγματοληψία για την εποχή του χειμώνα. Τα πέντε δείγματα του χειμώνα συλλέχθηκαν στις 18 Δεκεμβρίου του 2012, τα έξι δείγματα τις άνοιξης συλλέχθηκαν στις 26 Απριλίου του 2013, ενώ τα έξι δείγματα του καλοκαιριού στις 26 Ιουνίου του 2013. Στον παρακάτω πίνακα 3.1 φαίνονται οι αποστάσεις των δειγμάτων που συλλέχθηκαν έξω από το βιομηχανικό χοιροτροφείο στην Κρήτη από τους ανεμιστήρες εξαέρωσης της μονάδας.

Πίνακας 3.1: Αποστάσεις δειγματοληψίας από τους ανεμιστήρες εξαέρωσης του βιομηχανικού χοιροτροφείου.

Αριθμός δείγματος	Απόσταση δείγματος από τους ανεμιστήρες εξαέρωσης του βιομηχανικού χοιροτροφείου (m)
1	300
2	400
3	600
4	800
5	1100
6	1300

Τα συλλεγμένα δείγματα διατηρήθηκαν σε καλά σφραγισμένα γυάλινα βάζα, το καθένα ξεχωριστά. Τα βάζα είχαν πλυθεί ώστε να αποφευχθεί τυχόν επιπρόσθετη μόλυνσή των δειγμάτων.

3.3.2 Προετοιμασία δειγμάτων προς ανάλυση με περίθλαση ακτίνων X

Τα δείγματα για να εξεταστούν στο περιθλασιόμετρο πρέπει να είναι ομοιογενή, συμπαγή και να έχουν λεία και επίπεδη επιφάνεια. Σύμφωνα με αυτό ακολουθήθηκε η μέθοδος της ξηρής τεφροποίησης των δειγμάτων.[28]

Αρχικά για κάθε δείγμα έγινε διαλογή μίας ποσότητας φύλλων από τα τυχόν υπόλοιπα μέρη δασικής ύλη. Ακολούθως αυτή η ποσότητα φύλλων εισήχθη σε ένα Mixer και στη

συνέχεια σε μύλο για λειοτρίβηση. Με την λειοτρίβηση παράγονται από μεγαλύτερα σωματίδια μικρότερα και επιτυγχάνεται ομογενοποίηση του δείγματος. Ο μύλος άλεσης που χρησιμοποιήθηκε ήταν το μοντέλο MF 10 basic του οίκου IKA WERKE και λειτούργησε στις 4000 στροφές ανά λεπτό. Ο χρησιμοποιηθείς μύλος άλεσης φαίνεται στην εικόνα 3.1:



Εικόνα 3.1: Μύλος άλεσης MF 10 basic

Προκειμένου να ληφθεί ένα συγκεκριμένο κλάσμα του κονιοποιημένου δείγματος ακολούθησε διαδικασία κοσκίνισης. Η κοσκίνιση αποτελεί την απλούστερη και συνηθέστερη μέθοδο διαχωρισμού δειγμάτων κατά μέγεθος. Η διεργασία του κοσκινίσματος εκτελέστηκε από ηλεκτροκίνητο αυτόματο τάρακτρο και λήφθηκε το κλάσμα του κοκκοποιημένου δείγματος με διαστάσεις μικρότερες των 250 μm . Στη συνέχεια τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε ποτήρια ζέσεως.

Τα δείγματα για να τεφροποιηθούν πρέπει να τοποθετηθούν σε χωνευτήρια που είναι ανθεκτικά στις ακραίες θερμοκρασίες. Τα χωνευτήρια που χρησιμοποιήθηκαν στο πειράμα μας πλήθηκαν καλά και τοποθετήθηκαν στο φούρνο μαζί με το κάλυμμά τους, στους 600°C, για περίπου 1,5 ώρα. Κατόπιν, απομακρύνθηκαν από το φούρνο και αφέθηκαν μέσα σε ξηραντήρα ώστε να κρυώσουν στη θερμοκρασία περιβάλλοντος και ζυγίστηκαν άδεια στον αναλυτικό ζυγό. Ακολούθως, εισήχθησαν τα δειγματά μας στα χωνευτήρια, τα οποία καλύφθηκαν με τα καλύμματά τους και αφού ζυγίστηκαν στον αναλυτικό ζυγό, οδηγήθηκαν στο φούρνο για τεφροποίηση στους 600°C για 24 ώρες. Η θερμοκρασιακή ροή του φούρνου ρυθμίζεται σε χαμηλά επίπεδα, ώστε να αποφεύγεται τυχόν εκτίναξη υλικού κατά την απότομη αυτανάφλεξη

του. Μετά το πέρας του χρονικού αυτού διαστήματος τα δείγματα βγήκαν από το φούρνο και ζυγίστηκαν.[28]

Στον παρακάτω πίνακα 3.2 φαίνεται η απώλεια βάρους που υπολογίστηκε σε κάθε δείγμα μετά την διαδικασία της ξηρής τεφροποίησης.

Πίνακας 3.2: Απώλεια βάρους δείγματος μετά την ξηρή τεφροποίηση

Δείγμα	βάρος χωνευτηρίου (gr)	βάρος χωνευτηρίου με δείγμα πρίν την τεφροποίηση (gr)	βάρος χωνευτηρίου με δείγμα μετά την τεφροποίηση (gr)	Απώλεια βάρους λόγω τεφροποίησης (gr)
1 ^ο Χειμώνα	35,6938	46,1569	36,3999	9,7570
2 ^ο Χειμώνα	67,8181	78,1039	68,5544	9,5495
3 ^ο Χειμώνα	66,1586	82,7672	67,1797	15,5875
4 ^ο Χειμώνα	96,2012	110,5899	97,1618	13,4281
5 ^ο Χειμώνα	65,7668	76,1560	66,4128	9,7432
1 ^ο Άνοιξης	96,8271	108,5992	96,0011	12,5981
2 ^ο Άνοιξης	67,8842	75,6260	68,3312	7,2948
3 ^ο Άνοιξης	66,5308	78,6560	68,3290	10,3270
4 ^ο Άνοιξης	39,2682	48,3555	40,0857	8,2698
5 ^ο Άνοιξης	65,5268	78,6482	66,6085	12,0397
6 ^ο Άνοιξης	35,2292	45,3265	36,3651	8,9614
1 ^ο Καλοκαιριού	66,5308	76,6290	66,5360	10,0930
2 ^ο Καλοκαιριού	65,5256	73,6026	66,5306	7,0720
3 ^ο Καλοκαιριού	38,2599	44,3152	39,2641	5,0511
4 ^ο Καλοκαιριού	39,2668	45,3218	39,2716	6,0502
5 ^ο Καλοκαιριού	35,2297	41,2827	36,2342	5,0485
6 ^ο Καλοκαιριού	67,5465	72,5952	68,5492	4,0460

3.3.3 Ανάλυση δειγμάτων με περίθλαση ακτίνων X

Το στάδιο της τεφροποίησης ακολουθεί το στάδιο της χημικής ανάλυσης της τέφρας. Το περιθλασιόμετρο που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση των δειγμάτων μας ήταν το Siemens D5000 X-Ray Diffractometer που φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα 3.2.



Εικόνα 3.2: Siemens D5000 X-Ray Diffractometer

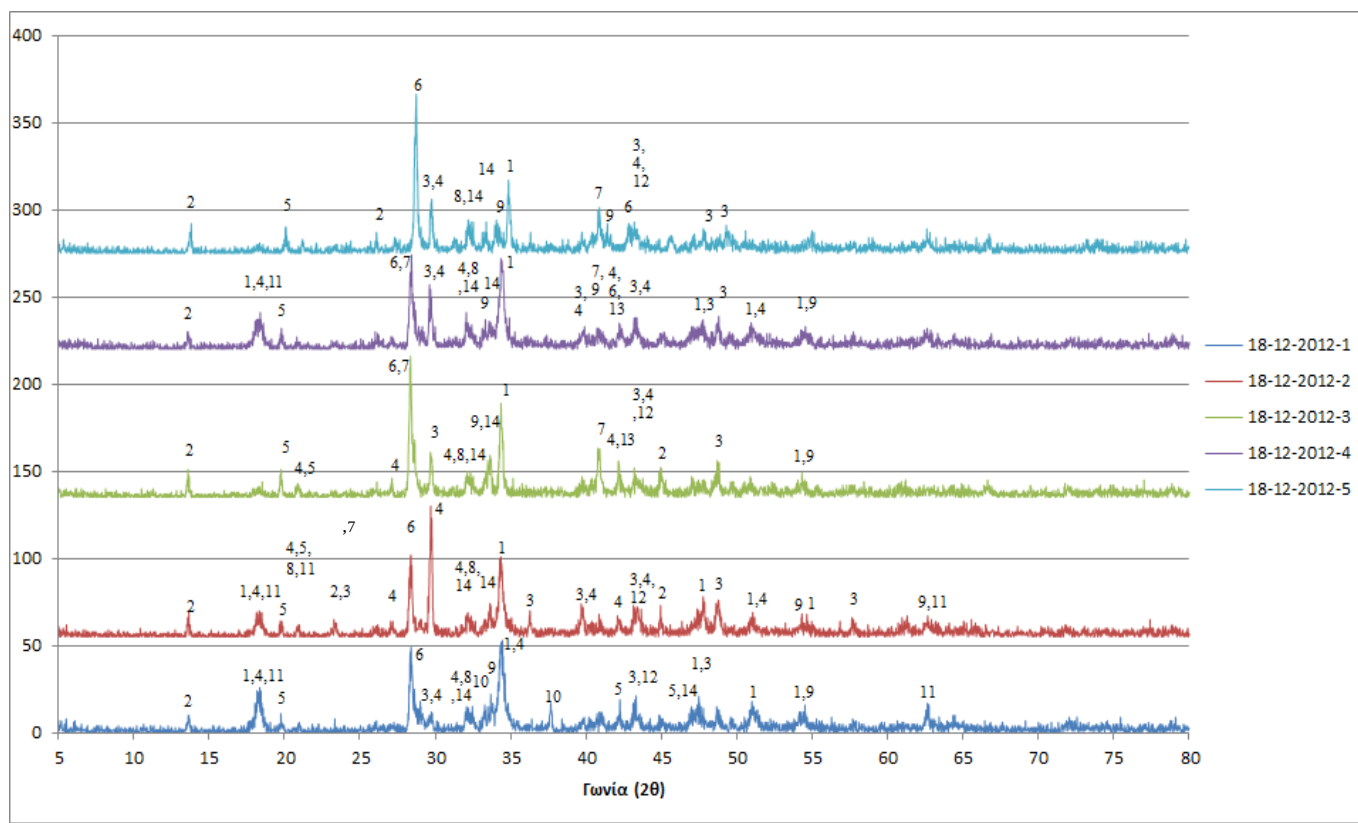
Το περιθλασίμετρο ήταν συνδεδεμένο με ηλεκτρονικό υπολογιστή που είχε εγκατεστημένο το λογισμικό XRD Commander για την ταυτοποίηση των περιεχόμενων κρυσταλλικών ενώσεων των δειγμάτων μέσω της σύγκρισης των προκύπτοντων από την ανάλυσή μας ακτινοδιαγραμμάτων με πρότυπα ακτινοδιαγράμματα ουσιών, τα οποία είναι αποθηκευμένα στη βάση δεδομένων του λογισμικού.

Για κάθε ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, το εκάστοτε δείγμα εισήχθη στο δειγματοφορέα με τέτοιο τρόπο, ώστε να διασφαλιστεί επαρκής ποσότητα κρυστάλλων και να δημιουργηθούν ανιχνεύσιμα σήματα από όλες τις προβλεπόμενες γωνίες. Κατ' αυτό τον τρόπο, μειώνεται στο ελάχιστο ο θόρυβος του οργάνου.[28]

3.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των δειγμάτων με περίθλαση ακτίνων X είναι διαγράμματα με άξονα χ τη γωνία 2θ περίθλασης των ακτίνων X στο δείγμα, σε μοίρες, και άξονα ψ σε counts. Κάθε κορυφή των προκύπτόντων ακτινοδιαγραμμάτων ταυτοποιήθηκε κάνοντας χρήση του XRD Commander και παρακάτω δίνονται για κάθε εποχή τα διαγράμματα των δειγμάτων. Ανά εποχή υποδεικνύεται με την ημερομηνία δειγματοληψίας και τον αριθμό του δείγματος δίπλα από τα διαγράμματα το δείγμα που αντιστοιχεί το εκάστοτε γράφημα. Οι σημειωμένοι αριθμοί πάνω από κάθε κορυφή αντιστοιχούν σε χημικές ενώσεις που βρέθηκαν ότι περιέχει το εκάστοτε δείγμα, όπως υποδεικνύει ο σχετικός πίνακας κάθε φορά για τα δείγματα κάθε εποχής.

Διαγράμματα δειγμάτων χειμώνα



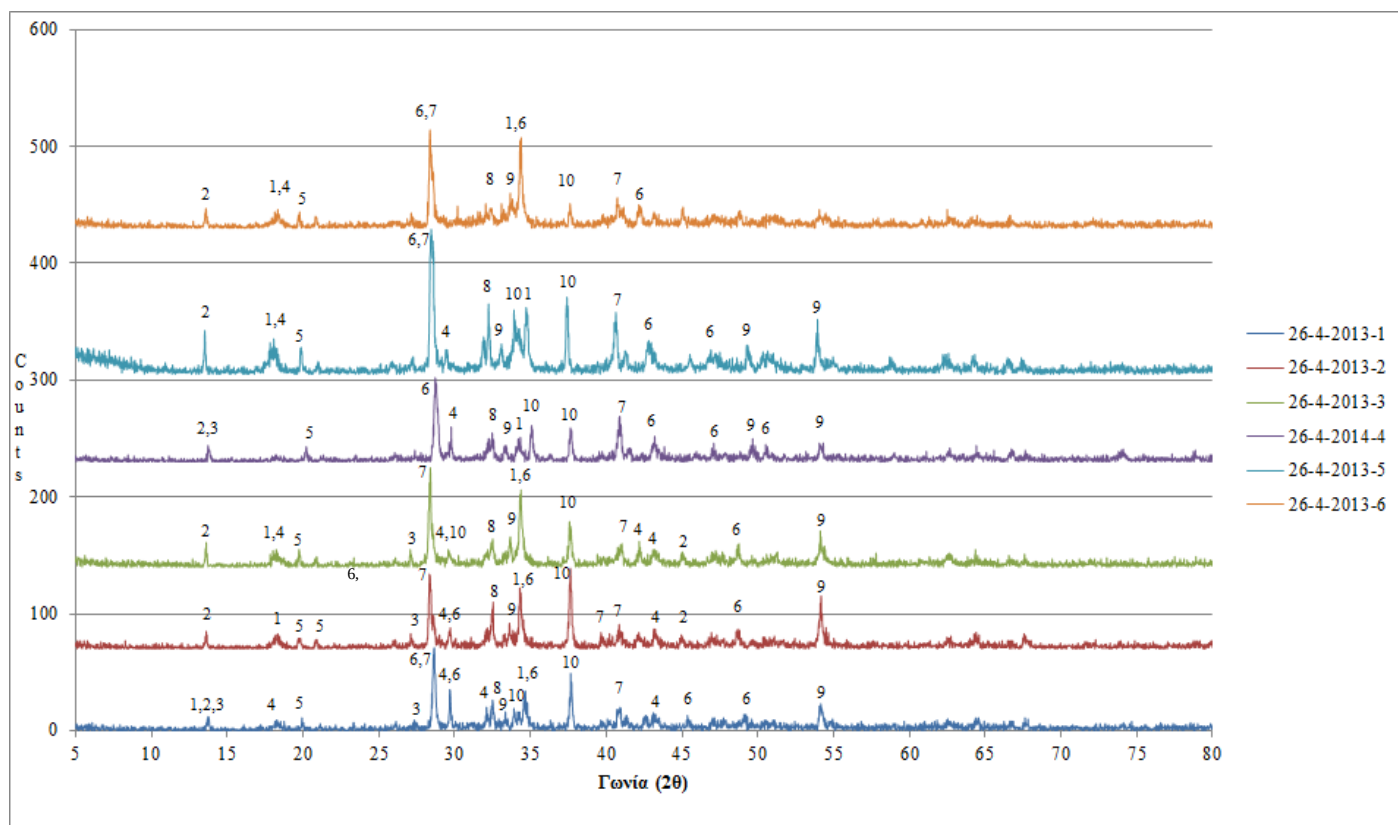
Ακτινοδιαγράμματα δειγμάτων χειμώνα με αύξουσα απόσταση από τη μονάδα από κάτω προς τα πάνω

Ακολούθως παρατίθεται ο πίνακας 3.3 αντιστοίχισης των σημειωμένων αριθμών στις κορυφές των διαγραμμάτων του χειμώνα με τις χημικές ενώσεις που ταυτοποιήθηκαν σε αυτές:

Πίνακας 3.3: Αντιστοίχιση των σημειωμένων αριθμών στις κορυφές των διαγραμμάτων του χειμώνα με τις χημικές ενώσεις που ταυτοποιήθηκαν σε αυτές.

Αριθμός	Αντιστοιχούσα Χημική Ένωση
1	Ca(OH) ₂ Calcium hydroxide
2	KP ₆ O ₁₈ Potassium Phosphate
3	CaCO ₃ Calcium Carbonate
4	SiO ₂ Silicon dioxide
5	Na ₂ S ₂ O ₃ Sodium thiosulfate
6	CaSO ₃ Calcium sulfite
7	CaP Calcium monophosphide
8	K ₃ (NO ₄) Potassium Nitrate
9	Fe ₂ O ₃ Iron(III) oxide
10	Na ₂ (N ₂ O ₂) Sodium Nitrate
11	Fe ₃ O ₄ Iron(II,III) oxide
12	Fe _{0.985} S Iron sulfide
13	Fe _{0.902} O Wustite
14	NaO ₂ Sodium oxide

Διαγράμματα δειγμάτων άνοιξης



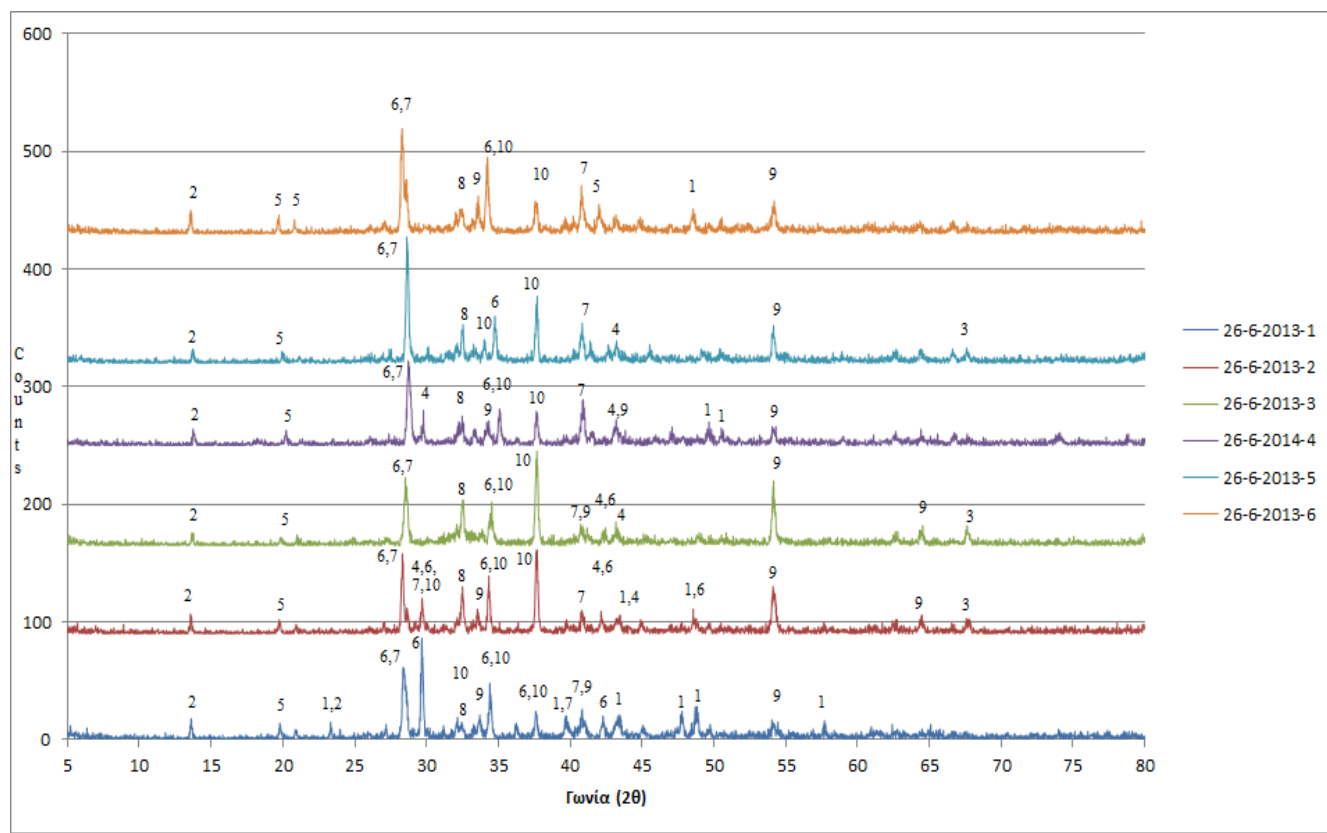
Ακτινοδιαγράμματα δειγμάτων άνοιξης με αύξουσα απόσταση από τη μονάδα από κάτω προς τα πάνω

Ακολούθως παρατίθεται ο πίνακας 3.4 αντιστοίχισης των σημειωμένων αριθμών στις κορυφές των διαγραμμάτων της άνοιξης με τις χημικές ενώσεις που ταυτοποιήθηκαν σε αυτές:

Πίνακας 3.4: Αντιστοίχιση σημειωμένων αριθμών στις κορυφές των διαγραμμάτων της άνοιξης με τις χημικές ενώσεις που ταυτοποιήθηκαν σε αυτές.

Αριθμός	Αντιστοιχούσα Χημική Ένωση
1	Ca(OH) ₂ Calcium hydroxide
2	KP ₆ O ₁₈ Potassium Phosphate
3	Fe ₂ O ₃ *H ₂ O Lepidocrocite
4	SiO ₂ Silicon dioxide
5	Na ₂ S ₂ O ₃ Sodium thiosulfate
6	CaSO ₃ Calcium sulfite
7	CaP Calcium monophosphide
8	K ₃ (NO ₄) Potassium Nitrate
9	Fe ₂ O ₃ Iron(III) oxide
10	Na ₂ (N ₂ O ₂) Sodium Nitrate

Διαγράμματα δειγμάτων καλοκαιριού



Ακτινοδιαγράμματα δειγμάτων καλοκαιριού με αύξουσα απόσταση από τη μονάδα από κάτω προς τα πάνω

Ακολουθώς παρατίθεται ο πίνακας 3.5 αντιστοίχισης των σημειωμένων αριθμών στις κορυφές των διαγραμμάτων του καλοκαιριού με τις χημικές ενώσεις που ταυτοποιήθηκαν σε αυτές:

Πίνακας 3.5: Αντιστοίχιση σημειωμένων αριθμών στις κορυφές των διαγραμμάτων του καλοκαιριού με τις χημικές ενώσεις που ταυτοποιήθηκαν σε αυτές.

Αριθμός	Αντιστοιχούσα Χημική Ένωση
1	CaCO ₃ Calcium Carbonate
2	KP ₆ O ₁₈ Potassium phosphate
3	Fe ₂ O ₃ *H ₂ O Lepidocrocite
4	SiO ₂ Silicon dioxide
5	Na ₂ S ₂ O ₃ Sodium thiosulfate
6	CaSO ₃ Calcium sulfite
7	CaP Calcium monophosphide
8	K ₃ (NO ₄) Potassium Nitrate
9	Fe ₂ O ₃ Iron(III) oxide
10	Na ₂ (N ₂ O ₂) Sodium Nitrate

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

4.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΦΥΛΛΩΝ *OLEA EUROPAEA* ΜΕ ΟΠΤΙΚΟ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ

Ο στόχος της συγκεκριμένης σειράς πειραμάτων ήταν να μελετηθούν τα φύλλα της ευρωπαϊκής ελιάς στο οπτικό μικροσκόπιο για την εύρεση πιθανής συσσώρευσης ρύπων σε αυτά αλλά και ενδεχόμενων μορφολογικών αλλοιώσεων και τραυματισμών που μπορεί να έχουν προκληθεί από διάφορα είδη ρύπων που εκλύονται από γειτνιάζον βιομηχανικό χοιροτροφείο. Σε κάθε περίπτωση, επιχειρήθηκε η λήψη φωτογραφιών με τη μέγιστη δυνατή ευκρίνεια, με ρύθμιση βέλτιστης εστίασης και φωτεινότητας.

Εξετάζοντας αρχικά τις φωτογραφίες δειγμάτων της σειράς I (Απόσταση 300m από τη μονάδα), (συγκεκριμένα της Ia), είναι ορατή μία μεγάλη μαύρη σχισμή, που πιθανότατα πρόκειται για κάποιο τραυματισμό του φυλλώματος. Μπορούμε επίσης, να παρατηρήσουμε από τη φωτογραφία του δείγματος Ia με το φακό 20x κύτταρα με μη αλλοιωμένη δομή, γεγονός που μαρτυρά ότι το φύλλο δεν φαίνεται να έχει επηρεαστεί από τη ρύπανση σε κυτταρικό επίπεδο. Στο δείγμα Iγ όμως, παρατηρούνται αρκετά μαύρα στίγματα στην επιφάνεια του φύλλου, καθώς και ογκώδεις πράσινοι σχηματισμοί, οι οποίοι μπορεί να είναι ενδείξεις σωματιδιακής ρύπανσης των φυτών από την γειτονική βιομηχανική μονάδα.

Ενδεχόμενος τραυματισμός προκύπτει και από τη μελέτη των φωτογραφιών της κάτω επιφάνειας του δείγματος 1α (Απόσταση 300m από τη μονάδα). Μαύρα στίγματα που υποδεικνύουν πιθανή συσσώρευση σωματιδιακών ρύπων συνεχίζουν να είναι ορατά και σε αυτή τη σειρά δειγμάτων όπως φαίνεται από τις φωτογραφίες της κάτω επιφάνειας των δειγμάτων 1α και 1γ (Απόσταση 300m από τη μονάδα).

Συνεχίζοντας με την εξέταση των φωτογραφιών της σειράς δειγμάτων 2 (Απόσταση 400m από τη μονάδα) παρατηρούμε στο σύνολο τους ορισμένα μαύρα στίγματα, αλλά όχι σε διαφορετικό βαθμό από τα δείγματα I,1 που βρίσκονται πλησιέστερα στους ανεμιστήρες της μονάδας.

Ακολούθως, αυτό που αξιολογείται από την εξέταση της σειράς δειγμάτων 3 (Απόσταση 600m από τη μονάδα) είναι μία μεγάλη μαύρη κηλίδα, στο δείγμα 3α συγκεκριμένα, στην κάτω επιφάνεια του φύλλου. Κατά την προετοιμασία του δείγματος για την εξέταση του στο οπτικό μικροσκόπιο δεν είχε καταγραφεί κάποιο τραύμα οπότε δεν μπορούμε να αποφανθούμε με βεβαιότητα εάν πρόκειται για σχίσμο του φύλλου ή αν έχει σωματιδιακή προέλευση.

Στις σειρές δειγμάτων 4 (Απόσταση 800m από τη μονάδα) και 5 (Απόσταση 1100m από τη μονάδα), είναι ευδιάκριτα πολλά μαύρα στίγματα από τις φωτογραφίες των κάτω επιφανειών των φύλλων, ενώ δεν παρατηρείται τραυματισμός κάποιου δείγματος. Στα δείγματα αυτά

φαίνεται να έχουν συσσωρευτεί περισσότεροι σωματιδιακοί ρύποι συγκριτικά με τα προηγούμενα που βρίσκονται πλησιέστερα της πηγής ρύπανσης. Το φαινόμενο αυτό εξηγείται με το γεγονός ότι οι ανεμιστήρες εξαέρωσης της μονάδας είναι εγκατεστημένοι σε μεγαλύτερο ύψος από το ύψος των φυτών και έτσι η διασπορά των ρύπων από αυτούς δεν επηρεάζει τα πολύ κοντινά σε αυτούς φυτά, αλλά ξεκινάει να επιβαρύνει τα αμέσως επόμενα.

Συμπερασματικά, πιστεύω ότι το οπτικό μικροσκόπιο βοήθησε στη μελέτη ρύπων αλλά δεν εξήγησε με σαφήνεια την επίδραση των ρύπων πάνω στα φύλλα της ελιάς, καθότι οι εικόνες του είναι μάλλον χαμηλής ποιότητας για να μπορέσουν να γίνουν αιτιολογημένες παρατηρήσεις και να εξαχθούν ανάλογα σαφή συμπεράσματα. Πιθανότατα κάποιες άλλες μέθοδοι ενόργανης ανάλυσης να δίνουν αποτελέσματα τα οποία να οδηγήσουν σε σαφή συμπεράσματα.

4.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΦΥΛΛΩΝ *OLEA EUROPAEA* ΣΤΟ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ ΣΑΡΩΣΗΣ

Σκοπός αυτής της σειράς πειραμάτων ήταν να μελετηθούν τα φύλλα στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης για την εκτίμηση του βαθμού εξάρτησης της ρύπανσης των φυτών από την απόσταση από τη βιομηχανική εγκατάσταση αλλά και για την εύρεση πιθανής συσώρευσης ρύπων στα φύλλα ως και ενδεχόμενων μορφολογικών αλλοιώσεων και τραυματισμών που μπορεί να έχουν προκληθεί από διάφορα είδη ρύπων που εκλύονται από το βιομηχανικό χοιροτροφείο.

Αναφορικά με την διερεύνηση του βαθμού εξάρτησης της ρύπανσης των φυτών από την απόσταση από τη βιομηχανική εγκατάσταση και εξετάζοντας τα γραφήματα του αριθμού ασπιδοειδών τριχών ανά mm^2 σε συνάρτηση με την απόσταση από τους ανεμιστήρες εξαέρωσης του χοιροτροφείου για τα δείγματα και των τριών εποχών δεν προκύπτει κάποιο ξεκάθαρο συμπέρασμα. Θα αναμέναμε μία ενδεχόμενη αύξηση του αριθμού των τριχών και στις τρεις εποχές, καθώς απομακρυνόμαστε από το βιομηχανικό χοιροτροφείο, όπου και η ρύπανση των φυτών είναι μικρότερη, ωστόσο οι μετρήσεις μας για τα δείγματα που μας προσκομίστηκαν για εξέταση δεν μαρτυρούν κάτι τέτοιο. Επιπλέον, βάσει βιβλιογραφίας, η συγκέντρωση της σκόνης το καλοκαίρι είναι μεγαλύτερη από το χειμώνα. Άρα, θα αναμενόταν κατά μέσο όρο ο αριθμός των ασπιδοειδών τριχών στα δείγματα του καλοκαιριού να είναι μικρότερος λόγω της μεγαλύτερης συσώρευσης σκόνης στα φύλλα συγκριτικά με τις άλλες εποχές. Ωστόσο για τα δείγματα που εξετάστηκαν δεν προέκυψε αυτό το συμπέρασμα, όπως φαίνεται και από τους σχετικούς πίνακες. Ενδεχομένως, η μελέτη περισσότερων δειγμάτων από αυτά που προσκομίστηκαν προς μελέτη σε αυτή την εργασία και η δειγματοληψία σε φυτά που απέχουν μικρότερες αποστάσεις από τη μονάδα π.χ. 20 μ, καθώς και σε δείγματα αναφοράς σε πολύ μεγαλύτερες αποστάσεις από την πηγή των ρύπων, π.χ. 2 χλμ, να οδηγήσει στην εξαγωγή κάποιου σαφέστερου συμπεράσματος σχετικά με το βαθμό εξάρτησης της ρύπανσης των φυτών από την απόσταση από το βιομηχανικό χοιροτροφείο. Ακόμα, πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπ' όψη οι μετεωρολογικές συνθήκες και κυρίως η κυρίαρχη φορά των ανέμων.

Σχετικά με την μελέτη πιθανής συσσώρευσης σωματιδιακών ρύπων στα φύλλα, όπως φαίνεται από τις εικόνες διαφόρων μεγεθύνσεων από 200x έως και 1200x που παρατίθενται στα αποτελέσματα του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου, παρατηρήθηκαν σωματίδια με ακανόνιστο σχήμα πάνω στην επιφάνεια των φύλλων, τα οποία φαίνεται να είναι σκόνες και σωματιδιακοί ρύποι. Είναι δυνατό ορισμένα από αυτά να είναι υπολείμματα από τα ίδια τα φυτά ή έντομα. Ακόμα, παρατηρήθηκαν ρύποι οι οποίοι έχουν εισχωρήσει στην εφυμενίδα φύλλων, την έχουν διαβρώσει και έτσι τα φύλλα να έχουν καταστεί ευάλωτα στην ξηρασία. Σε πολλά δείγματα, οι περισσότερες ασπιδοειδείς τρίχες έχουν καταστραφεί λόγω της πολύ μεγάλης συσσώρευσης σωματιδιακών ρύπων. Επίσης, παρατηρήθηκαν επικαλυμμένα στόματα των φύλλων από ρύπους, με συνέπεια να εμποδίζονται σημαντικές λειτουργίες ανταλλαγής αερίων των φυτών και κατ' επέκταση να τίθενται σε άμεσο κίνδυνο. Τέλος, παρατηρήθηκαν υφές από μύκητες, οι οποίοι είναι πιθανό να έχουν μεταφερθεί με τα σωματίδια σκόνης πάνω στα φύλλα. Μάλιστα ήταν ευδιάκριτοι με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο και κονιδιοφόροι μυκήτων, διαφανείς σχηματισμοί που φέρουν τα κονίδια, τα σπόρια των μυκήτων και είναι υπεύθυνοι για την αναπαραγωγή τους. Οι μικροοργανισμοί αυτοί μπορεί να είναι ιδιαίτερα επικίνδυνοι για την υγεία των ανθρώπων (μπορεί να προκληθούν πολλές ασθένειες), αν οι άνθρωποι έρθουν σε επαφή με το μολυσμένο φυτό. Η ρύπανση αυτή που παρατηρήθηκε είναι πιθανόν και να οφείλεται σε άλλες πηγές ρύπανσης, πλην του χοιροτροφείου, καθώς στην περιοχή υφίστανται βιομηχανικές μονάδες παραγωγής αδρανών υλικών (λατομεία).

4.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΦΥΛΛΩΝ OLEA EUROPAEA ΜΕ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ

Στόχος αυτής της σειράς πειραμάτων ήταν να αναλυθούν τα φύλλα, ως προς τη χημική τους σύσταση, με περίθλαση ακτίνων Χ για την διερεύνηση της μεταβλητότητας ορισμένων περιεχόμενων ενώσεων (αζωτούχων, θειούχων, φωσφορικών, κ.α.), που πιθανώς να προέρχονται από αέριους ρύπους που εκλύονται από το βιομηχανικό χοιροτροφείο, σε συνάρτηση με την απόσταση από την κτηνοτροφική μονάδα, αλλά και την εποχή. Η μελέτη των διαγραμμάτων που προέκυψαν και ταυτοποιήθηκαν έγινε σε δύο βασικούς άξονες:

- Σύγκριση των διαγραμμάτων των δειγμάτων που απείχαν διαφορετικές αποστάσεις από το βιομηχανικό χοιροτροφείο την ίδια εποχή.
- Σύγκριση των διαγραμμάτων των δειγμάτων που απείχαν ίδιες αποστάσεις από το βιομηχανικό χοιροτροφείο και είχαν συλλεχθεί σε διαφορετικές εποχές.

Παρακάτω αναφέρεται η προαναφερθείσα ανάλυση των αποτελεσμάτων των διαγραμμάτων.

Με βάση τον πρώτο άξονα προσέγγισης των αποτελεσμάτων:

Για τα δείγματα του χειμώνα:

Εξετάζοντας τις κορυφές των διαγραμμάτων των δειγμάτων του χειμώνα παρατηρείται αρχικά μία ποιοτική διαφοροποίηση στις περιεχόμενες χημικές ενώσεις, με την αύξηση της απόστασης της δειγματοληψίας από τη μονάδα. Χαρακτηριστικά στο διάστημα από τις 25° έως και τις 38° στο διάγραμμα του δείγματος 1, που είναι το πλησιέστερο στη μονάδα, παρατηρούμε τις χημικές ενώσεις: CaCO_3 , CaSO_3 , $\text{K}_3(\text{NO}_4)$, $\text{Na}_2(\text{N}_2\text{O}_2)$, NaO_2 . Στο διάγραμμα του δείγματος 5, που είναι το πιο απομακρυσμένο από τη μονάδα παρατηρούμε τις χημικές ενώσεις: KP_6O_{18} , CaCO_3 , CaSO_3 , $\text{K}_3(\text{NO}_4)$, NaO_2 .

Η φωσφορική ένωση CaP , ακόμα, στα διαγράμματα των δειγμάτων που βρίσκονται πλησιέστερα στη μονάδα φαίνεται να μην υπάρχει σε αρκετή ποσότητα (δεν δίνει κορυφή στις 28° και στις 42° περίπου), ενώ εμφανίζεται στα διαγράμματα των πιο απομακρυσμένων δειγμάτων.

Επίσης, ορατές είναι και ποσοτικές διαφορές ορισμένων τύπων ενώσεων. Οι θειούχες ενώσεις $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ και CaSO_3 φαίνεται (σε μερικές περιπτώσεις) να παρουσιάζουν ποσοτική ελάττωση όσο η απόσταση από τη βιομηχανική μονάδα μεγαλώνει.

Για τα δείγματα της άνοιξης:

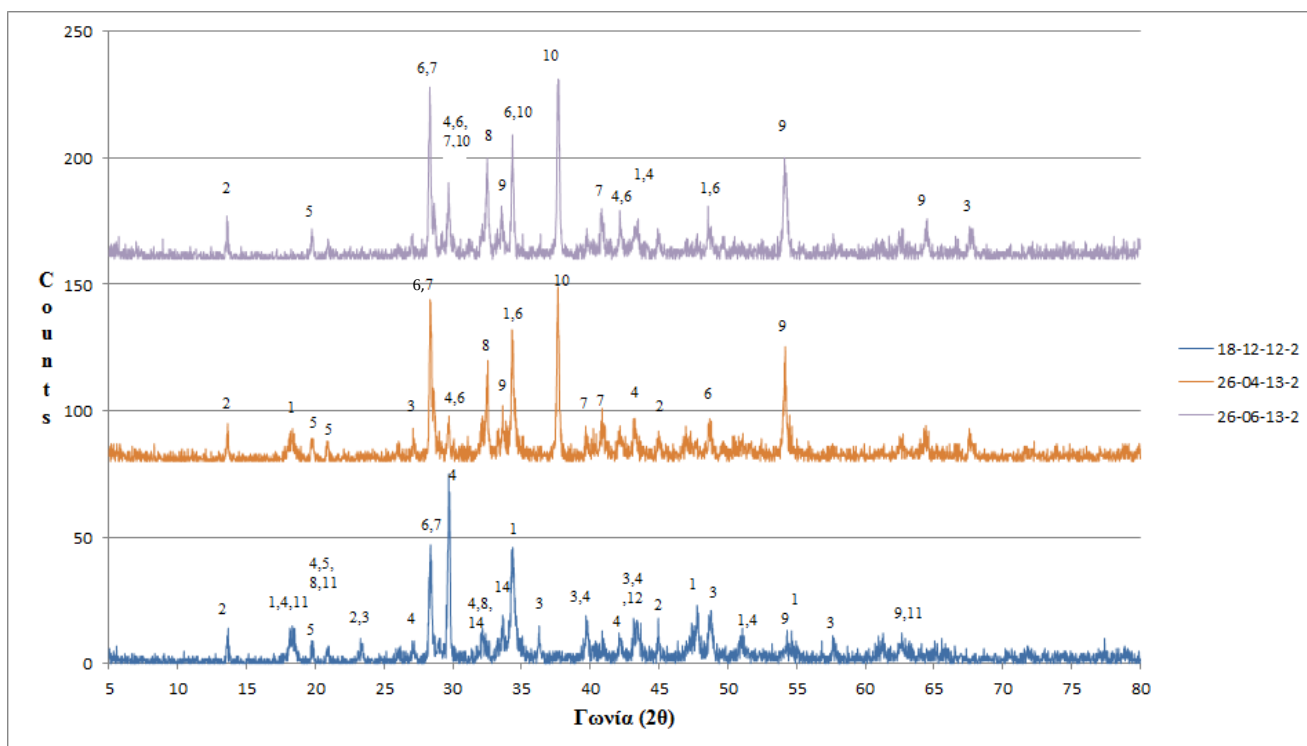
Μελετώντας τις κορυφές των γραφημάτων της άνοιξης παρατηρούμε ότι στην περιοχή από 25° έως και 38° περίπου, φαίνεται να μειώνονται οι ποσότητες των ενώσεων CaSO_3 , CaP , $\text{K}_3(\text{NO}_4)$, $\text{Na}_2(\text{N}_2\text{O}_2)$.

Για τα δείγματα του καλοκαιριού:

Παρατηρείται ότι περίπου και στα δείγματα της άνοιξης, δηλαδή, φαίνεται να μειώνονται οι ποσότητες των ενώσεων CaSO_3 , CaP , $\text{K}_3(\text{NO}_4)$, $\text{Na}_2(\text{N}_2\text{O}_2)$.

Με βάση τον δεύτερο άξονα προσέγγισης των αποτελεσμάτων:

Χαρακτηριστικά παρατίθενται για την ίδια απόσταση, τα 400 μέτρα, τα διαγράμματα των δειγμάτων του χειμώνα, της άνοιξης και του καλοκαιριού:



Ακτινοδιαγράμματα δειγμάτων και των τριών εποχών (κατά σειρά από κάτω προς τα πάνω: χειμώνα, άνοιξης, καλοκαιριού) που απέχουν 400m από τη μονάδα

Να σημειωθεί ότι οι σημειωμένοι αριθμοί στα παραπάνω διαγράμματα αντιστοιχούν ανάλογα με την εποχή που ανήκουν στις ενώσεις που υποδεικνύει ο αντίστοιχος πίνακας της κάθε εποχής στο πειραματικό μέρος.

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρείται ότι οι συγκεντρώσεις ενώσεων του S και του P με Ca ή άλλα μέταλλα αυξάνονται καθώς η εποχή αλλάζει από το χειμώνα προς το καλοκαίρι. Στα παραπάνω διαγράμματα στις 29° περίπου το CaSO_3 έχει πολύ μικρή συγκέντρωση το χειμώνα. Την άνοιξη η συγκέντρωση του παρουσιάζει σχετική αύξηση και το καλοκαίρι αυξάνεται ακόμα περισσότερο.

Μία ακόμα παρατήρηση στην οποία οδηγεί η μελέτη των παραπάνω διαγραμμάτων είναι η σχετική με τις ενώσεις του N, (π.χ. το $\text{Na}_2(\text{N}_2\text{O}_2)$) οι οποίες λόγω της υδατοδιαλυτότητάς τους, στα δείγματα του χειμώνα παρουσιάζουν μικρές συγκεντρώσεις, οι οποίες αυξάνονται έντονα καθώς πηγαίνουμε από το χειμώνα προς το καλοκαίρι. Το ίδιο συμπέρασμα προκύπτει και από την μελέτη των ενώσεων του K με το N, π.χ. το $\text{K}_3(\text{NO}_4)$.

Ανάλογα συμπεράσματα που εξάγονται από την εξέταση των δειγμάτων των τριών εποχών στην ίδια απόσταση, (των 400 μέτρων) από το βιομηχανικό χοιροτροφείο ισχύουν και για τις υπόλοιπες αποστάσεις που μελετήθηκαν με μερικές διαφοροποιήσεις:

- Για την απόσταση των 600 μέτρων παρατηρείται ότι οι συγκεντρώσεις ενώσεων του S και του P με Ca ή άλλα μέταλλα αυξάνονται καθώς η εποχή αλλάζει από το καλοκαίρι προς το χειμώνα.
- Για την απόσταση των 800 μέτρων παρατηρείται ότι οι συγκεντρώσεις των ενώσεων του K με το N, π.χ. το $K_3(NO_4)$ διατηρούνται περίπου σταθερές σε όλες τις εποχές.
- Για την απόσταση των 1100 μέτρων οι συγκεντρώσεις ενώσεων του S και του P με Ca ή άλλα μέταλλα αυξάνονται από το χειμώνα στην άνοιξη και μειώνονται από την άνοιξη στο καλοκαίρι. Η ίδια διακύμανση παρατηρείται και για τις ενώσεις του N, (π.χ. το $Na_2(N_2O_2)$), αλλά και του K με το N, π.χ. το $K_3(NO_4)$.

Η αναγκαιότητα διερεύνησης περισσότερων δειγμάτων από αυτά που προσκομίστηκαν προς μελέτη σε αυτή την εργασία, αλλά και η δειγματοληψία σε φυτά που απέχουν μικρότερες αποστάσεις από τη μονάδα, καθώς και σε δείγματα αναφοράς σε πολύ μεγαλύτερες αποστάσεις από την πηγή των ρύπων, είναι και εδώ εμφανής

5. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Σε αυτή την εργασία μελετήθηκαν φύλλα *Olea europaea* από δέντρα περιοχής γύρω από ένα βιομηχανικό χοιροτροφείο στην Κρήτη με στόχο την εύρεση πιθανής συσσώρευσης ρύπων που εκλύονται από τη βιομηχανική μονάδα, ενδεχόμενων μορφολογικών αλλοιώσεων που έχουν υποστεί τα φύλλα από τις εκπομπές ρύπων και την μελέτη της εξάρτησης της ρύπανσης των φυτών σε σχέση με την απόσταση από τη κτηνοτροφική μονάδα αλλά και την εποχή που συλλέχτηκαν.

Η έρευνα στηρίχτηκε στη χρήση τριών Φυσικών Μεθόδων Ανάλυσης δηλαδή, στην μορφολογική εξωτερική εξέταση με οπτικό μικροσκόπιο, στη μορφολογική εξέταση με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM), και στον προσδιορισμό των κυριότερων χημικών ενώσεων με περίθλαση ακτίνων X (XRD).

Η έρευνα στηρίχτηκε στο πλαίσιο της μελέτης της αέριας ρύπανσης των CAFOs μέσω των ζωνών προστασίας φυτικής σύστασης που είναι εγκατεστημένες έξω από τις βιομηχανικές μονάδες. Τα διενεργηθέντα πειράματα οδήγησαν σε ορισμένα συμπεράσματα τα οποία αναλύθηκαν στην προηγούμενη ενότητα της εργασίας, ωστόσο ο προαναφερθείς τομέας ερευνών, απαιτεί πληρέστερη μελέτη γι' αυτό και χρήζει περαιτέρω σχολαστικής διερεύνησης.

Με βάση τα παραπάνω,

Για την εξέλιξη της έρευνας με τις μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή την εργασία προτείνεται σε μελλοντικούς μελετητές:

- Η λήψη μετρήσεων σε αποστάσεις πλησιέστερες της κτηνοτροφικής μονάδας π.χ. 20-30 μ και κατά τη φορά των κυρίαρχων ανέμων π.χ. Β ή Ν της μονάδας, όπου οι συγκεντρώσεις των ρύπων φαίνεται να είναι σαφέστατα υψηλότερες και επομένως οι επιδράσεις τους στο φύλλωμα των δέντρων είναι εμφανείς. Έχει βρεθεί κατακόρυφη μείωση της συγκέντρωσης διαφόρων ρύπων σε απόσταση 100 μ από τα CAFOs.
- Η πραγματοποίηση μεγαλύτερου αριθμού δειγματοληψιών π.χ. 30-40 δειγματοληψίες και η συσχέτιση των αποτελεσμάτων με αυτά της εδαφικής επιβάρυνσης κοντά στα CAFOs λόγω της εναπόθεσης των ρύπων, που έχει ήδη μελετηθεί.[29]
- Να επικεντρωθούν οι μετρήσεις την καλοκαιρινή περίοδο, αφού οι ρυθμοί εξαέρωσης των ανεμιστήρων των βιομηχανικών κτηνοτροφείων μεγιστοποιούνται και ο κίνδυνος έκπλυσης των φύλλων με το νερό της βροχής ελαχιστοποιείται.
- Η μελέτη της ρύπανσης και άλλων φυτών πέραν της *Olea europaea* που φυτεύονται έξω από βιομηχανικές κτηνοτροφικές μονάδες στην Ελλάδα.

Για την έρευνα του ζητήματος με τη χρησιμοποίηση άλλων μεθόδων-οργάνων προτείνεται:

- Ο συνδυασμός του SEM με φασματόμετρο ακτίνων X ενεργειακής διασποράς (EDAX) που παρέχει τη δυνατότητα για στοιχειακή ανάλυση σε ένα σημείο του δείγματος, αλλά και σε μία ευρύτερη περιοχή.
- Η φασματομετρία φθορισμού ακτίνων X (XRF) για την εκτέλεση ποσοτικών-ημιποσοτικών στοιχειακών αναλύσεων στα δείγματα των φύλλων για μεγαλύτερη ακρίβεια αποτελεσμάτων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] ΟΔΗΓΙΑ 2008/1/ΕΚ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 15^{ης} Ιανουαρίου 2008 σχετικά με την ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχο της ρύπανσης, Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, Ελληνική Έκδοση, τ. 24 σελ. 8 – 22, 29 – 1 – 2008.
- [2] European Commission Agriculture and Rural Development, «Agriculture in the European Union Statistical and economic information 2003»
- [3] Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων, Προοπτικές Τομέα Χοίρειου Κρέατος (με βάση προτάσεις & συμπεράσματα των περιφερειακών μελετών της νέας ΚΑΠ), Σεπτέμβριος 2007
- [4] Γεώργιος Α. Καραμπουρνιώτης, «Φυσιολογία Καταπονήσεων των Φυτών», Εκδόσεις Έμβρυο, Αθήνα 2003, σελ.151-158
- [5] P.H. Patterson and Adrizal, «Management Strategies to Reduce Air Emissions: Emphasis-Dust and Ammonia», 2005 J. Appl. Poult. Res. 14:638–650
- [6] Jessica Blunden et al, «Measurement and analysis of ammonia and hydrogen sulfide emissions from a mechanically ventilated swine confinement building in North Carolina», Atmospheric Environment 42 (2008), 3315–3331
- [7] Adrizal et al, «Growth and Foliar Nitrogen Status of Four Plant Species Exposed to Atmospheric Ammonia», Journal of Environmental Science and Health, Part B, 41:6, 1001-1018 (2006)
- [8] N.M. Marcillac et al, «Air Emissions from Dairy CAFOs: Multi-scale Measurements and Process Based Modeling», Workshop on Agricultural Air Quality, Washington, DC, USA, June 5-8, 2006
- [9] P. W. G. Groot Koerkamp et al, «Concentrations and Emissions of Ammonia in Livestock Buildings in Northern Europe», J. agric. Engng Res. (1998) 70, 79-95
- [10] J. Arogo et al, «Transactions of the ASAE», American Society of Agricultural Engineers 2003, ISSN 0001–2351, Vol. 46(3): 805–817
- [11] Peter S. Thorne, Ph.D., Chapter 3.0 «Air Quality Issues», The University of Iowa

- [12] Milan Mesic et al, «Agricultural Emissions of Greenhouse Gases in Croatia», Workshop on Agricultural Air Quality, Washington, DC, USA, June 5-8, 2006
- [13] L. Schnoor, P.S. Thorne, W. Powers, Chapter 5. «Fate and Transport of Air Pollutants from CAFOs», Iowa State University and The University of Iowa Study Group, Iowa Concentrated Animal Feeding Operations Air Quality Study Final Report, p. 86 – 94, February 2002
- [14] J. Seedorf and J. Hartung, «Emission of Airborne Particulates from Animal Production», School of Veterinary Medicine Hannover, September 28 - 29, 2000
- [15] H. Takai et al, «Concentrations and Emissions of Airborne Dust in Livestock Buildings in Northern Europe», J. agric. Engng Res. (1998) 70, 59-77
- [16] Viney P. Aneja et al, Workshop on Agricultural Air Quality: State of the science, Atmospheric Environment 42 (2008), 3195–3208
- [17] Andreas Fangmeier et al, «Effects of Atmospheric Ammonia – A Review», Environmental Pollution 86 (1994), 43-82
- [18] P.H. Patterson et al, «Plant Foliar Nitrogen and Temperature on Commercial Poultry Farms in Pennsylvania», Workshop on Agricultural Air Quality, Washington, DC, USA, June 5-8, 2006
- [19] P.H. Patterson et al, «Vegetative buffers for fan emissions from poultry farms:1. Temperature and foliar nitrogen», Journal of Environmental Science and Health Part B (2008) 43, 199-204
- [20] A. Adrizal et al, «Vegetative buffers for fan emissions from poultry farms: 2. ammonia, dust and foliar nitrogen», Journal of Environmental Science and Health Part B (2008) 43:1, 96-103
- [21] George Malone, Jay Windsor, Dorothy Abbott and Stephen Collier, «Establishment of Vegetative Environmental Buffers Around Poultry Farms», Workshop on Agricultural Air Quality, Washington, DC, USA, June 5-8, 2006
- [22] R. Fernández-Escobar et al, «Long-term effects of N fertilization on cropping and growth of olive trees and on N accumulation in soil profile», Europ. J. Agronomy 31 (2009), 223–232
- [23] Συλλογική Έκδοση Εργαστηρίου Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας, Συντονισμός και επιμέλεια έκδοσης: Μ. Όξενκιουν-Πετροπούλου, Α. Παππά, «Φυσικές Μέθοδοι Ανάλυσης :Εργαστηριακές Ασκήσεις», 3^η Έκδοση, Αθήνα 2009, σελ.21-29,189-207
- [24] S.K. Agarwal , «Air Pollution», S.B. Nangia, A P H Publishing Corporation, New Delhi 2009, p.180

[25] Marie Caye G. Duldulao and Romeo A. Gomez, Ph.D., «Effects of Vehicular Emission On Morphological Characteristics of Young and Mature Leaves of Sunflower (*Tithonia diversifolia*) and Napier Grass (*Pennisetum purpureum*)», Research Journal, Volume XVI - 2008 Edition

[26] S.G. Lu, Y.W. Zheng, S.Q. Bai, «A Hrtm/Edx Approach to Identification of the Source of Dust Particles on Urban Tree Leaves», Atmospheric Environment 42 (2008), 6431–6441

[27] Γ. Αϊβαλάκης, Γ. Καραμπουρνιώτης, Κ. Φασσέας, «Εργαστηριακές Ασκήσεις Γενικής Βοτανικής», Τμήμα Γεωπονικής Βιοτεχνολογίας, Τομέας Βιολογίας Φυτών, Αθήνα 2008

[28] Διδακτορική Διατριβή Γεωργίου Α. Κατσιγιάννη, «Ιδιότητες τέφρας Μεσογειακής δασικής ύλης παρουσία ή μη χημικών επιβραδυντών καύσης», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Τομέας Ι: Χημικών Επιστημών, Εργαστήριο Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας, Αθήνα 2008

[29] Διδακτορική Διατριβή Χαράλαμπου Α. Μιχαλόπουλου, «Περιβαλλοντικές επιπτώσεις μεγάλης δυναμικότητας κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων στο γειτνιάζον μεσογειακό οικοσύστημα», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Τομέας Ι: Χημικών Επιστημών, Εργαστήριο Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας, Αθήνα 2013

Ηλεκτρονική βιβλιογραφία:

[a] Eurostat, Glossary: Pig farming,
http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Glossary:Pig_farming

[b] Environmental Protection Agency, Region 7 Concentrated Animal Feeding Operations
<http://www.epa.gov/region7/water/cafo/>

[c] Environmental Protection Agency, Regulatory Definitions of Large CAFOs, Medium CAFO, and Small CAFOs http://www.epa.gov/npdes/pubs/sector_table.pdf

[d] Eurostat, Pig farming statistics
http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Pig_farming_statistics

[e] Eurostat, «Agricultural statistics, Main results», 2008–09, Pocketbooks, ISSN 1830-463X, 2010 edition

[f] US EPA, Nitrous Oxide Emissions,
<http://epa.gov/climatechange/ghgemissions/gases/n2o.html>

[g] George Malone and Garrett Van Wicklen, «Trees as a Vegetative Filter», Poultry Digest Online Volume 3, Number 1, <http://www.nrem.iastate.edu/research/vdb/link.treesfilter.pdf>

[h] http://mde-didaktiki.biol.uoa.gr/mde8/gargeraki/ekti_selida.html

[i] Κωνσταντίνος Φασσέας, Καθηγητής Γ.Π.Α. , Οπτικά (Φωτονικά) Μικροσκόπια. Γενικές Αρχές. , <http://www.aua.gr/fasseas/optika%20mikroskopia.htm>

[j] Κωνσταντίνος Φασσέας, Καθηγητής Γ.Π.Α. , Τα Ηλεκτρονικά Μικροσκόπια. , <http://www.aua.gr/fasseas/electron%20microscopes.htm>

[k] Κωνσταντίνος Φασσέας, Καθηγητής Γ.Π.Α. , Ανοσοσήμανση με Κolloειδή Χρυσό (Immunogold labelling). , <http://www.aua.gr/fasseas/protokolo%20IGL.pdf>

[l] <http://kpe-kastor.kas.sch.gr/leaf/texts/stomata.htm>

[m] users.teiath.gr/amavridou/9277/1258/Mykhtes.ppt