



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΧΗΜΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΟΡΓΑΝΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ

**ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΗΣ
ΜΟΝΑΔΑΣ ΜΕΓΑΛΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΕΛΑΦΟΣ**

**«ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ pH, ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ, K, Ca,
Mg ΣΤΟ ΕΛΑΦΟΣ ΠΛΗΣΙΟΝ ΧΟΙΡΟΤΡΟΦΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ
ΜΕΓΑΛΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗ ΒΟΡΕΙΑ ΚΡΗΤΗ»**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΚΟΝΤΟΓΙΑΝΝΗΣ ΟΡΕΣΤΗΣ

Επιβλέπων καθηγητής : ΛΙΟΔΑΚΗΣ ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ

ΑΘΗΝΑ, Ιανουάριος 2011

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το πειραματικό μέρος της παρούσης εργασίας πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας, της σχολής Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ και αποτελεί μέρος ενός ερευνητικού έργου που αφορά την μελέτη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της λειτουργίας κτηνοτροφικής μονάδας μεγάλης δυναμικότητας.

Εκφράζω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέπων καθηγητή της σχολής Χημικών Μηχανικών κ. Σ.Λιοδάκη, για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Χαράλαμπο Μιχαλόπουλο για την καθοριστική συμβολή του στη διεξαγωγή του πειραματικού σκέλους της εργασίας, καθώς και για τις εύστοχες υποδείξεις του στην συγγραφή του θεωρητικού μέρους.

Εκφράζω τις ευχαριστίες μου στον συμφοιτητή μου Αλέξανδρο Ζαφειρόπουλο, που εργάστηκε σε συναφές θέμα, για τη συνεργασία μας στη συγγραφή του θεωρητικού μέρους της διπλωματικής εργασίας.

Τα συμπεράσματα της εργασίας αυτής αποτελούν το αποτέλεσμα πολλών ωρών μελέτης, εργασίας και δημιουργικής ενασχόλησης. Αν και καταβλήθηκε κάθε δυνατή προσπάθεια για όσο το δυνατόν πληρέστερη αντιμετώπιση του θέματος, είναι πιθανόν να υπάρχουν παραλείψεις. Τυχόν επισημάνσεις ή διορθώσεις από τρίτους θα χαροποιούσαν ιδιαίτερα τον συγγραφέα, αφού θα είχαν ως αποτέλεσμα ένα άρτιο επιστημονικό αποτέλεσμα.

Η παρούσα συγγραφική προσπάθεια αφιερώνεται κατά μεγάλο ποσοστό στην οικογένειά μου, για την αμέριστη συμπαράστασή τους σε όλα τα χρόνια των σπουδών μου.

Αθήνα, Ιανουάριος 2011

Κοντογιάννης Ορέστης

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η λειτουργία μιας κτηνοτροφικής μονάδας υψηλής δυναμικότητας έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή μεγάλης ποσότητας ζωικών, υγρών και στερεών αποβλήτων καθώς επίσης και την εκπομπή πολλών αέριων ρύπων τα οποία μπορούν να προκαλέσουν σοβαρά προβλήματα ρυπάνσεως, μόλυνσης και υποβάθμισης του περιβάλλοντος.

Από τους αέριους ρύπους που εκπέμπονται ο κυριότερος είναι η αμμωνία, η επίδραση της οποίας στο περιβάλλον έχει επιπτώσεις, όπως οξίνιση του εδάφους και των επιφανειακών υδάτων, ευτροφισμό οικοσυστημάτων, αυξημένη ευπάθεια των φυτών και επίδραση στις ατμοσφαιρικές διεργασίες.

Πολλές εργασίες έχουν γίνει σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της λειτουργίας κτηνοτροφικών μονάδων μεγάλης δυναμικότητας. Ωστόσο, ελάχιστες αναφέρονται σε Μεσογειακού τύπου οικοσυστήματα και ειδικότερα της Ελλάδος.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε η υποβάθμιση του εδάφους προερχόμενη από τις μονάδες παραγωγής κρέατος και πάχυνσης της βιομηχανικής σταβλικής εγκατάστασης. Η εξεταζόμενη χοιροτροφική μονάδα βρίσκεται σε ασβεστολιθικά εδάφη, δίπλα σε ακτογραμμή, με θάλασσα στα βόρεια και λόφους στα νότια. Το γεγονός αυτό επηρεάζει την εξάπλωση της εκπεμπόμενης αμμωνίας. Εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών των μεσογειακών οικοσυστημάτων, έχει εκτιμηθεί ότι η εξάπλωση των εκπεμπόμενων ρύπων είναι εντονότερη και κατά συνέπεια η υποβάθμιση του γειτνιάζοντος εδάφους μεγαλύτερη σε σχέση με άλλες βορειότερες ευρωπαϊκές χώρες. Για τις ανάγκες της παρούσης εργασίας, εδαφικά επιφανειακά δείγματα (0-30 cm) ελήφθησαν σε διάφορες περιόδους και αποστάσεις από τα όρια χοιροτροφικής μονάδας (10-1500 m) σε διαφορετικούς προσανατολισμούς (Νότια, ανατολικά και δυτικά). Στα εδαφικά δείγματα μετρήθηκε το πε-χα (pH), η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) και οι περιεκτικότητες των K, Ca, Mg. Παράλληλα, έγινε κοκκομετρική ανάλυση του εδάφους από όπου πάρθηκαν τα δείγματα, καθώς επίσης και προσδιορισμός της περιεχόμενης υγρασίας τους. Τα εξεταζόμενα δείγματα ελήφθησαν από την περιοχή Λατζιμά του Νομού Ρεθύμνης (στη Βόρεια Κρήτη), όπου βρίσκεται βιομηχανική χοιροτροφική μονάδα δυναμικότητας 1.800 χοιρομητέρων.

Η εναπόθεση της αμμωνίας επηρέασε τις μέσες τιμές του εδαφικού πε-χα (pH), οι οποίες κυμαίνονται μεταξύ 7,1 και 8,2, και είναι μειωμένες πλησίον της χοιροτροφικής μονάδας. Οι μέσες τιμές του εδαφικού πε-χα (pH) ενδέχεται να επηρεάσουν την απορροή των κατιόντων K^+ , Ca^{2+} και Mg^{2+} πλησίον της μονάδας.

ABSTRACT

Animal production has changed from subsistence to an industrial model, lowering production costs but giving rise to higher potential environmental impact. One of the main environmental impacts of concentrated animal feeding operations (CAFOs) is the soil degradation in vicinity with the livestock breeding facilities due to substances, such as ammonia, emitted from the various stages of the process. In this research, the soil degradation effects of a large meat producing (pigs rearing), processing and packaging unit have been investigated. The investigated hog industry is located at a limestone soil coastal area with sea to the north and hills to the south. This fact has an important influence to the dispersion of ammonia emitted from the various compartments of the facility. Owing to the high temperatures of the Mediterranean ecosystems, it has been estimated that the dispersion of the emitted gases is more extensive and the soil degradation is consequently more severe than those obtained in northern European countries. For the needs of the present study soil samples of the upper mineral soil (0-30 cm) were taken in various distances and directions (10-1500 m) from the CAFO boundaries. The soil samples were analysed on pH values, electrical conductivity (EC), Ca, Mg and K concentrations by applying standard methods. The mean pH values of the soil, which varied between 7.1 and 8.2, were lower near the farm. The mean pH value decrease is very likely to affect the leaching of cations such as Ca^{2+} , K^+ and Mg^{2+} in vicinity with the hog industry.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	<i>σελ.</i>
<i>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</i>	1
<i>Ι.ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ</i>	3
1. ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΖΩΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	4
1.1 Γενικά.....	4
1.2 Ορισμός.....	4
1.3 Χαρακτηριστικά.....	4
1.4 Ανάπτυξη της βιομηχανίας ζωικής παραγωγής.....	5
1.5 Ηθικά ζητήματα.....	6
1.6 Πλεονεκτήματα –μειονεκτήματα βιομηχανικών κτηνοτροφικών μονάδων.....	7
1.7 Ρύπανση.....	8
1.7.1 Ρύπανση προερχόμενη από υγρά και στερεά απόβλητα.....	9
1.7.2 Ρύπανση προερχόμενη από εκλυόμενα αέρια.....	10
1.8 Επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου.....	13
2. ΕΛΔΑΦΟΣ	14
2.1 Γενικά.....	14
2.2 Σχηματισμός του εδάφους.....	14
2.3 Κατηγορίες εδαφών.....	15
2.4 Εδαφικοί μικροοργανισμοί και γεωσκόληκες.....	16
2.5 Ορίζοντες του εδάφους.....	16
2.6 Φυσικές ιδιότητες – Χαρακτηριστικά.....	17
2.6.1 Σύσταση.....	18
2.6.2 Υφή.....	18
2.6.3 Δομή.....	19
2.6.4 Πορώδες και ειδικό βάρος.....	21
2.6.5 Υγροσκοπικότητα.....	21
2.6.6 Ειδική θερμοχωρητικότητα.....	21
2.6.7 Οργανική ουσία εδαφών.....	22
2.7 Φυσικοχημικές ιδιότητες.....	22
2.7.1 Ο δείκτης (pH) του εδάφους.....	22
2.7.2 Ανταλλαγή κατιόντων.....	22
2.7.3 Ανταλλαγή ανιόντων.....	22
2.7.4 Διαλυτότητα – pH.....	23

2.7.5 Οξύτητα του εδάφους.....	23
2.7.6 Αλκαλικότητα του εδάφους.....	25
2.7.7 Ταξινόμηση εδαφών βάση του pH.....	26
2.7.8 Ρυθμιστική ικανότητα του εδάφους.....	27
2.7.9 Έκπλυση των βάσεων στα όξινα εδάφη	28
2.7.10 Οικολογική σημασία του pH του εδάφους	29
2.7.11 Ηλεκτρική Αγωγιμότητα.....	29
2.8 Έδαφος και νερό.....	31
2.8.1 Υδρολογικός κύκλος.....	32
2.8.2 Καταστάσεις νερού στο έδαφος.....	33
2.8.3 Εδαφικό υδατικό δυναμικό.....	33
2.8.4 Εδαφική κυκλοφορία του νερού.....	34
2.8.5 Συντελεστής διαπερατότητας.....	34
2.8.6 Εδαφικό διάλυμα.....	35
2.8.7 Είδη και τροφοδοσία υδρολογικών συστημάτων.....	36
2.8.8 Υδατικές μεταφορές.....	37
2.8.9 Η τροφοδοσία της βλάστησης σε θρεπτικά συστατικά.....	38
2.8.10 Προσρόφηση στο προσροφητικό πλέγμα του εδάφους.....	38
2.8.11 Οριζόντια ή κάθετη μεταφορά.....	39
2.9 Οι Κυριότερες Αιτίες Ρύπανσης των Εδαφών.....	41
3.ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΣΧΕΤΙΚΗ ΜΕ ΤΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ.....	43
3.1 Εισαγωγή.....	43
3.2 Νόμοι για προστασία του περιβάλλοντος.....	43
3.3 Μέτρα για την προστασία του εδάφους.....	43
3.4 Μέτρα για τη διαχείριση στερεών αποβλήτων.....	43
4. ΜΑΚΡΟΘΡΕΠΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	47
4.1 Εισαγωγή.....	47
4.2 Κάλιο.....	47
4.2.1 Εδαφικό Κάλιο	47
4.2.2 Το δυναμικό σύστημα εδαφικού Καλίου.....	48
4.2.3 Κάλιο εδαφικού διαλύματος.....	49
4.2.4 Ανταλλάξιμο Κάλιο.....	49
4.2.5 Το μη ανταλλάξιμο Κάλιο των κρυσταλλικών αργίλων.....	50
4.2.6 Το Δομικό Κάλιο των πρωτογενών ορυκτών.....	50
4.2.7 Ροή και διαθεσιμότητα εδαφικού Καλίου.....	51
4.2.8 Απώλειες Καλίου με την έκπλυση του εδάφους.....	51

4.2.9 Πρόσληψη του Καλίου από τα φυτά.....	52
4.2.10 Ο ρόλος του Καλίου στη φυσιολογία των φυτών.....	53
4.2.11 Συμπτώματα έλλειψης Καλίου στα φυτά.....	54
4.2.12 Αλληλεπίδραση K και N.....	55
4.3 Ασβέστιο.....	56
4.3.1 Μορφές Ασβεστίου στο έδαφος.....	57
4.3.2 Απώλειες Ασβεστίου με την έκπλυση του εδάφους.....	58
4.3.3 Πρόσληψη του Ασβεστίου από τα φυτά.....	58
4.3.4 Ο ρόλος του Ασβεστίου στη φυσιολογία των φυτών.....	58
4.3.5 Συμπτώματα έλλειψης Ασβεστίου στα φυτά.....	59
4.3.6 Ο ρόλος της σχέσης Ca/Mg στη θρέψη των φυτών.....	59
4.4 Μαγνήσιο.....	60
4.4.1 Μορφές Μαγνησίου στο έδαφος.....	61
4.4.2 Απώλειες Μαγνησίου με την έκπλυση του εδάφους.....	62
4.4.3 Πρόσληψη του Μαγνησίου από τα φυτά.....	62
4.4.4 Συμπτώματα έλλειψης Μαγνησίου.....	62
5. ΑΖΩΤΟ.....	64
5.1 Εισαγωγή.....	64
5.2 Γενικά.....	64
5.3 Μορφές αζώτου του εδάφους.....	65
5.3.1 Ανόργανες μορφές.....	65
5.3.2 Οργανικές μορφές.....	66
5.4 Μετασχηματισμοί αζώτου στο έδαφος.....	66
5.5 Διεργασίες εδαφικού αζώτου.....	66
5.5.1 Ανοργανοποίηση (Mineralization) και Ακινητοποίηση (Immobilization).....	66
5.5.2 Νιτροποίηση.....	68
5.5.3 Απονιτροποίηση.....	69
5.6 Απώλειες αζώτου από το έδαφος.....	70
5.6.1 Εξαέρωση αμμωνίας.....	70
5.6.2 Έκπλυση NO ₃ ⁻	70
5.7 Προέλευση και Ποσότητες εκπομπών αμμωνίας.....	72
5.8 Επιδράσεις στον Τύπο της Φυσικής Χλωρίδας.....	73
II. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	75
1. ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ.....	76

2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΛΑΒΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ..	77
2.1 Δειγματοληψία εδαφικών δειγμάτων.....	77
3. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	79
3.1 Προσδιορισμός περιεχόμενης υγρασίας.....	79
3.2 Κοκκομετρική ανάλυση.....	79
3.3 Μετρήσεις pH και ηλεκτρικής αγωγιμότητας.....	80
3.4 Στοιχειακή ανάλυση.....	80
<i>III. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....</i>	<i>82</i>
1. ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ.....	83
2. ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	84
2.1 Συνδυασμός κοκκομετρικής ανάλυσης με κόσκινα με κοκκομετρική ανάλυση με Laser.....	84
2.2 Μέθοδος αραιόμετρου.....	84
3. pH.....	86
4. ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ.....	88
5. ΣΤΟΙΧΕΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	90
5.1 Μέθοδος XRF.....	90
5.1.1 Κάλιο.....	90
5.1.2 Ασβέστιο.....	91
5.1.3 Μαγνήσιο.....	92
5.2 Μέθοδος SEM/EDAX.....	93
<i>VI. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</i>	<i>96</i>
1. pH.....	97
2. Ηλεκτρική αγωγιμότητα.....	98
3. Βασικά Μεταλλικά κατιόντα.....	98
4. Συζήτηση.....	100
5. Θέματα για διερεύνηση - Προοπτικές.....	101
<i>V. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</i>	<i>103</i>
<i>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....</i>	<i>111</i>

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ζωική παραγωγή, έχει αλλάξει ουσιωδώς τα τελευταία σαράντα χρόνια, από την πατροπαράδοτη ελεύθερη βοσκή, στην εκτροφή σε μεγάλης δυναμικότητας οργανωμένες σταβλικές εγκαταστάσεις. Η επαναστατική αυτή μέθοδος ζωικής παραγωγής και η σοβαρά οικονομική τους σημασία οδήγησαν στην παροχή διοικητικών και οικονομικών διευκολύνσεων με αποτέλεσμα τη γρήγορη ανάπτυξη των κτηνοτροφικών μονάδων, χωρίς όμως να δοθεί παράλληλα η δέουσα προσοχή στους επικίνδυνους ρύπους, οι οποίοι εκπέμπονται.

Πολύ σύντομα, με την ανάπτυξη των υψηλής δυναμικότητας κτηνοτροφικών μονάδων (από το 1965), διεθνώς (Concentrated Animal Feeding Operations, CAFOs), διαπιστώθηκαν σοβαρά προβλήματα υγείας (κυρίως αναπνευστικά) στους εργαζόμενους στις βιομηχανικές αυτές μονάδες. Οι αέριοι ρύποι, που παράγονται από την λειτουργία των κτηνοτροφικών μονάδων, αλλά και ο κίνδυνος εξέλιξης ή διάδοσης επιβλαβών ασθενειών, αποτελούν απειλή όχι μόνο για την υγεία των εργαζομένων, αλλά και των κατοίκων που ζουν πλησίον βιομηχανικών κτηνοτροφικών μονάδων.

Επιπλέον, λόγω της μεγάλης ποσότητας των υγρών και στερεών αποβλήτων που παράγονται, καθώς και των αερίων που εκλύονται από αυτές, μπορούν να προκληθούν σοβαρά προβλήματα ρύπανσης, μόλυνσης και υποβάθμισης του περιβάλλοντος.

Σύμφωνα με μελέτες που έχουν γίνει τις σοβαρότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, από τους αέριους ρύπους που παράγονται από τις βιομηχανικές κτηνοτροφικές μονάδες, προκαλεί η αμμωνία (NH_3). Η αμμωνία αποτελεί ένας από τους σημαντικότερους αέριους ρυπαντές και τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί αύξηση των εκπομπών αμμωνίας στην Ευρώπη κατά 50%, το οποίο οφείλεται κυρίως στην εντατικοποίηση της κτηνοτροφικής παραγωγής, αντιπροσωπεύοντας το 80% των ετήσιων εκπομπών. Οι επιπτώσεις από την εκπομπή της αμμωνίας στο περιβάλλον περιλαμβάνουν οξίνιση του εδάφους και των επιφανειακών υδάτων, ευτροφισμό οικοσυστημάτων, αυξημένα ευπάθεια των φυτών και επίδραση στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον (λόγω δευτερογενών αντιδράσεων).

Έχουν ήδη αναφερθεί στη βιβλιογραφία, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της λειτουργίας κτηνοτροφικών μονάδων μεγάλης δυναμικότητας. Έχουν πραγματοποιηθεί πολλά πειράματα, ώστε να γίνει εκτίμηση των πιθανών οικολογικών επιπτώσεων σε χερσαία και υδατικά οικοσυστήματα. Όμως, οι μελέτες αυτές κατά το πλείστον δεν αφορούν Μεσογειακού τύπου οικοσυστήματα και ειδικά της Ελλάδος.

Σκοπός της παρούσης εργασίας είναι η εκτίμηση των επιπτώσεων που έχουν οι βιομηχανικές δραστηριότητες μεγάλης χοιροτροφικής μονάδας στη ρύπανση του εδάφους. Οι περιβαλλοντικές αυτές επιβαρύνσεις οφείλονται στην μεταβολή των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του εδάφους, οι οποίες επηρεάζονται από τους διάφορους ρύπους των

χοιροτροφικών μονάδων. Πιο συγκεκριμένα εκτιμάται η ρύπανση που προκαλείται στο έδαφος με βάση τις τιμές pH, εδαφικής αγωγιμότητας και εδαφικών συγκεντρώσεων των K, Ca και Mg σε συνάρτηση με την θέση δειγματοληψίας από τα όρια της χοιροτροφικής μονάδας. Επιπλέον έγινε κοκκομετρική ανάλυση του εδάφους, από όπου πάρθηκαν τα δείγματα, καθώς και προσδιορισμός της περιεχόμενης υγρασίας του. Τα εξεταζόμενα δείγματα ελήφθησαν από τη περιοχή του Λατζιμά του Νομού Ρεθύμνης, όπου βρίσκεται μεγάλη χοιροτροφική μονάδα, δυναμικότητας 2392 ζωικών μονάδων (1800 χοιρομητέρες με παραγωγή 35.000 χοιριδίων)

Στο θεωρητικό μέρος της εργασίας γίνεται μια γενική ανασκόπηση στη βιομηχανία ζωικής παραγωγής, στους ρύπους και τα απόβλητα τα οποία παράγονται, καθώς και στις περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις που προκαλούν. Ακολουθεί περιγραφή της σύστασης του εδάφους και των εδαφικών υδατικών συστημάτων και γίνεται αναφορά στις πηγές ρύπανσης τους. Δίνεται έμφαση στα στοιχεία κάλιο, ασβέστιο, μαγνήσιο και άζωτο που περιέχονται σε εδαφικά συστήματα, αναφορικά με τη μορφή στην οποία βρίσκονται και τη χρησιμότητα τους.

Το πειραματικό μέρος χωρίζεται σε τρία μέρη:

Στο **πρώτο μέρος** γίνεται εκτενής περιγραφή της πειραματικής διαδικασίας. Αναφέρεται η τεχνική λήψης των δειγμάτων και η διαδικασία ανάλυσής τους. Επίσης, περιγράφονται οι διαδικασίες της κοκκομετρικής ανάλυσης και του προσδιορισμού του pH, της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και της υγρασίας του εδάφους, καθώς και οι πρότυπες αναλυτικές μέθοδοι προσδιορισμού του καλίου, ασβεστίου και μαγνησίου.

Στο **δεύτερο μέρος** γίνεται παράθεση, επεξεργασία και σχολιασμός των αποτελεσμάτων.

Τέλος, στο **τρίτο μέρος**, γίνεται η εξαγωγή των συμπερασμάτων.

I. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1. ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΖΩΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

1.1 Γενικά

Η ζωική παραγωγή, έχει αλλάξει ουσιωδώς τα τελευταία σαράντα χρόνια: από την πατροπαράδοτη ελεύθερη βοσκή στην εκτροφή σε οργανωμένες σταβλικές εγκαταστάσεις. Η εργοστασιακή αυτή καλλιέργεια είναι η πρακτική της εκτροφής ζώων σε περιορισμό με υψηλό δείκτη πυκνότητας, όπου ένα αγρόκτημα λειτουργεί ως εργοστάσιο, με βασικό στόχο τη παραγωγή κτηνοτροφικών προϊόντων για την ανθρώπινη κατανάλωση [1].

Ο περιορισμός των ζώων σε τόσο υψηλό δείκτη πυκνότητας είναι ένα μέρος μιας συστηματικής προσπάθειας να παραχθεί υψηλότερη παραγωγή με χαμηλότερο κόστος στηριζόμενη στις οικονομίες κλίμακας, τα σύγχρονα μηχανήματα, τη βιοτεχνολογία, και το σφαιρικό εμπόριο. Υπάρχει, όμως, μια συνεχής συζήτηση που αφορά τα οφέλη αλλά και τους κινδύνους από τα εργοστάσια εκτροφής ζώων. Τα ζητήματα περιλαμβάνουν: την αποδοτικότητα της παραγωγής τροφίμων, την ευημερία των ζώων, τη σημασία της βιομηχανίας αυτής για τη σίτιση του αυξανόμενου παγκόσμιου ανθρώπινου πληθυσμού, τη περιβαλλοντική επιβάρυνση και τους κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία.[2].

1.2 Ορισμός

Σύμφωνα με το διεθνή Οργανισμό Προστασίας Περιβάλλοντος EPA (Environmental Protection Agency), υψηλής δυναμικότητας εκτροφείο ζώων (Confined Animal Feeding Operations, CAFO) ορίζεται εκείνο που διαθέτει τουλάχιστον 1000 ζωικές μονάδες, για παράδειγμα 2500 αναπτυγμένα γουρούνια ή 100.000 κοτόπουλα (ισοδύναμα περίπου με 600 χοιρομητέρες)[3].

1.3 Χαρακτηριστικά

Τα βιομηχανικά εκτροφεία ζώων (CAFOs) εγκαθίστανται σε πολύ αραιοκατοικημένες περιοχές όπου υπάρχει σε αφθονία (χαμηλό κόστος) Γη, νερό και ζωοτροφές (π.χ. καλαμπόκι ή σιτηρά) [4]. Αποτελούνται από μεγάλους αριθμούς ζώων, όπως αγελάδες, χοίροι, γαλοπούλες ή κοτόπουλα, συχνά σε εσωτερικές εγκαταστάσεις, και σε σχετικά υψηλές πυκνότητες. Ο στόχος της λειτουργίας των εργοστασίων αυτών είναι να παραχθεί κρέας, αυγά και γάλα με το χαμηλότερο δυνατό κόστος. Ο περιορισμός, όμως, αυτός σε τόσο υψηλό δείκτη πυκνότητας απαιτεί αντιβιοτικά και φυτοφάρμακα για να μετριάσει την εξάπλωση ασθενειών που επιδεινώνονται από αυτές τις συσσωρευμένες συνθήκες διαβίωσης. Έτσι, μια ευρεία ποικιλία τεχνητών μεθόδων υιοθετείται για να διατηρήσει την υγεία των ζώων και να βελτιώσει την παραγωγή. Αυτές οι μέθοδοι είναι η χρήση αντιμικροβιακών εμβολίων, συμπληρωματικών βιταμινών, και ορμονών αύξησης [2].

Αν και υπάρχουν διαφορές στις τεχνικές και τις μεθόδους μεταξύ των διαφόρων εργοστασίων εκτροφής ζώων που υπάρχουν σε όλο τον κόσμο, τα βασικά χαρακτηριστικά

είναι ίδια. Αυτά είναι η αύξηση του μεγέθους των μονάδων (πχ. παραγωγή 35.000 χοιριδίων ετησίως), η υψηλή συγκέντρωση των ζώων ανά μονάδα επιφάνειας (π.χ. από 200 m²/ κεφ. σε βοσκότοπο σε 2 m²/ κεφ. σε στεγασμένο στάβλο με σχαρωτό δάπεδο) και η εντατική χρησιμοποίηση της τεχνολογίας με στόχο τη μεγάλη αποδοτικότητα και σταθερότητα του παραγόμενου κρέατος. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι σε ένα αγρόκτημα της εταιρείας Carrolls Foods της βόρειας Καρολίνας, η οποία είναι η δεύτερη μεγαλύτερη παραγωγός χοίρων στις ΗΠΑ, είκοσι χοίροι φιλοξενούνται ανά μάνδρα και κάθε στάβλος περιλαμβάνει 25 μάνδρες [1,5].



Σχήμα 1.1: Εσωτερικό χοιροστασίου [2]

1.4 Ανάπτυξη της βιομηχανίας ζωικής παραγωγής

Η παγκόσμια ζωική παραγωγή υπεροκταπλασιάστηκε μεταξύ του διαστήματος 1820-2004 για να καλύψει τις ανάγκες ενός εκατομμυρίου ανθρώπων το 1800, έναντι των έξι και μισό στο αντίστοιχο διάστημα.

Κατά την ίδια περίοδο, ο αριθμός των ανθρώπων, οι οποίοι απασχολούνταν με τις καλλιέργειες, μειώθηκε λόγω τις αυτοματοποίησης που επήλθε. Τη δεκαετία του 1930, το 24% του αμερικανικού πληθυσμού εργαζόταν στη γεωργία, ενώ το 2002 το ποσό αυτό μειώθηκε στο 1,5% [5].

Ο αριθμός των αγροκτημάτων μειώθηκε και η κυριότητά τους συγκεντρώθηκε σε λίγους. Στις ΗΠΑ, τέσσερις εταιρείες παράγουν το 81% των αγελάδων, 73% των προβάτων, 57% των χοίρων και το 50% των πουλερικών [5]. Ενδεικτικά αναφέρεται η μείωση κατά 90% των χοιροτροφικών μονάδων στις Ηνωμένες Πολιτείες την περίοδο 1970 – 2000 και η αντικατάστασή τους με υψηλής συγκέντρωσης μονάδες (CAFOs), ενώ η παραγόμενη ποσότητα χοιρινού κρέατος παρέμεινε σχεδόν σταθερή [6]. Παγκοσμίως, σύμφωνα με το Worldwatch Institute, το 74% των πουλερικών, το 43% του βοδινού κρέατος, και το 68% των αυγών παράγονται με αυτό τον τρόπο [7].

Αν και, η Ευρώπη έχει γίνει όλο και περισσότερο δύσπιστη για αυτού του είδους αναπαραγωγής ζώων, μετά από μια σειρά ασθeneιών όπως η EBS (νόσος τρελών αγελάδων) και ο αφθώδης πυρετός, οι οποίες είχαν επιπτώσεις στις κτηνοτροφικές βιομηχανίες, υπάρχουν ενδείξεις ότι η βιομηχανοποιημένη παραγωγή των ζώων θα αυξηθεί ακόμα περισσότερο.

Σύμφωνα με τον Denis Avery του Ινστιτούτου Hudson, στην Ασία αυξήθηκε η κατανάλωση του χοιρινού κρέατος κατά 18 εκατομμύρια τόνους στη δεκαετία του 1990. Η παγκόσμια παραγωγή χοιριδίων προβλέπεται να ανέλθει από 900 εκατομμύρια (1997), σε 2,5 δισεκατομμύρια 2050 .

Τα Ηνωμένα Έθνη και ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας των Ζώων εκτιμούν ότι στις ερχόμενες δεκαετίες θα υπάρξουν δισεκατομμύρια πρόσθετων καταναλωτών στις αναπτυσσόμενες χώρες που θα σιτίζονται με «εργοστασιακό κρέας» που θα παράγεται στις αναπτυσσόμενες χώρες [8].

1.5 Ηθικά ζητήματα

Η μεγάλη συγκέντρωση ζώων και ζωικών αποβλήτων σε μικρό χώρο θέτει ηθικά ζητήματα. Αναγνωρίζεται ότι ορισμένες τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τη διατήρηση της εντατικής ζωικής παραγωγής μπορεί να βασανίζουν τα ζώα. Καθώς όμως η συνειδητοποίηση των προβλημάτων των εντατικών τεχνικών έχει αυξηθεί, έχουν γίνει κάποιες προσπάθειες από τις κυβερνήσεις και τη βιομηχανία για την άρση των ακατάλληλων τεχνικών.

Στο Ηνωμένο Βασίλειο το 1979, συστήθηκε ειδική κυβερνητική συμβουλευτική επιτροπή για την καλή μεταχείριση των ζώων η οποία υιοθέτησε τα εξής πέντε σημεία για την καλή μεταχείριση των ζώων: όχι στην πείνα και δίψα, όχι στην ταλαιπωρία, όχι στον πόνο, όχι στον τραυματισμό ή ασθένεια, όχι στο φόβο, ναι στην ελευθερία να εκφράζουν κανονική συμπεριφορά.

Υπάρχουν διαφορές σε όλο τον κόσμο ως προς το ποιες πρακτικές είναι αποδεκτές και εξακολουθούν να υπάρχουν αλλαγές στους κανονισμούς, με την καλή μεταχείριση των ζώων να αποτελεί ισχυρό κίνητρο για τη βελτίωση των συνθηκών εκτροφής τους. Ωστόσο, αναγνωρίζεται ότι ορισμένες φαινομενικά σκληρές τεχνικές είναι δύσκολο να αντικατασταθούν. Για παράδειγμα το 60-70% των έξι εκατομμυρίων χοιρομητέρων στις ΗΠΑ περιορίζονται κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης, καθώς και για το μεγαλύτερο μέρος της ενήλικης ζωής τους, σε κλουβιά κύησης διαστάσεων 0,61 επί 2,1 m. Σύμφωνα με τους παραγωγούς χοιρινού κρέατος, αλλά και πολλούς κτηνίατρους, οι χοιρομητέρες αναπτύσσουν εχθρική συμπεριφορά όταν στεγάζονται σε τόσο μικρούς χώρους. Ο μεγαλύτερος παραγωγός χοιρινού κρέατος στις ΗΠΑ, αναγνωρίζοντας την σκληρότητα τις μεθόδου, ανακοίνωσε τον Ιανουάριο του 2007 ότι θα καταργήσει σταδιακά τη χρήση κλουβιών κύησης μέχρι το 2017. Η χρήση των κλουβιών κύησης μετά την τέταρτη εβδομάδα της κύησης των χοιρομητέρων

καταργείται σταδιακά και στην Ευρωπαϊκή Ένωση, με απαγόρευση η οποία θα ισχύει από το 2013 [2,9].

Ωστόσο, λόγω των εκστρατειών καλής μεταχείρισης των ζώων, υπάρχει μια αυξανόμενη συνειδητοποίηση επί των θεμάτων αυτών από το ευρύ κοινό. Ως αποτέλεσμα, τα κλουβιά κύησης, μία από τις πιο αμφισβητούμενες πρακτικές, έχουν αποτελέσει αντικείμενο νομοθετικών διατάξεων στις ΗΠΑ, Ευρώπη και όλο τον κόσμο για τη σταδιακή κατάργησή τους [10].

1.6 Πλεονεκτήματα –μειονεκτήματα βιομηχανικών κτηνοτροφικών μονάδων

Η επαναστατική μέθοδος ζωικής παραγωγής και η σοβαρά οικονομική τους σημασία οδήγησαν στην παροχή διοικητικών και οικονομικών διευκολύνσεων με αποτέλεσμα τη γρήγορη ανάπτυξη των κτηνοτροφικών μονάδων, χωρίς όμως να δοθεί παράλληλα η δέουσα προσοχή για την προστασία του περιβάλλοντος από τα απόβλητά τους. Τα αποτελέσματα της λειτουργίας αυτών των αγροκτημάτων είναι :

- **Χαμηλό κόστος προϊόντων:** η εντατική γεωργία τείνει να παράγει τρόφιμα σε χαμηλό κόστος για τους καταναλωτές. Αυτό επιτυγχάνεται με τη μείωση του κόστους γης, διαχείρισης και ζωοτροφών, μέσω επιδοτούμενων προγραμμάτων.
- **Τυποποίηση:** οι μέθοδοι εργοστασιακής καλλιέργειας επιτρέπουν καλύτερο έλεγχο των παραγόμενων προϊόντων.
- **Αποδοτικότητα:** τα ζώα σε περιορισμό μπορούν να επιτηρούνται πιο στενά από ό, τι αυτά της ελεύθερης βοσκής, και οι ασθένειες που προκύπτουν μπορούν να αντιμετωπίζονται πιο γρήγορα. Περαιτέρω, η αποτελεσματική παραγωγή των ζωικών προϊόντων (κρέατος, γάλακτος, αυγών) οδηγεί σε εκτροφή λιγότερων ζώων.
- **Οικονομική συνεισφορά:** το υψηλό κόστος εισροών των κτηνοτροφικών μονάδων έχει ως αποτέλεσμα την μεγάλη εισροή και διανομή κεφαλαίου σε μια ευρύτερη περιοχή από μακρινούς αγοραστές και όχι απλά την ανακυκλοφορία των ήδη υπαρχόντων κεφαλαίων.
- **Ασφάλεια τροφίμων:** η μείωση του αριθμού και τις ποικιλίας των κτηνοτροφικών μονάδων καθιστά την εποπτεία και τη ρύθμιση της ποιότητας των τροφίμων ευκολότερη.
- **Υγεία των ζώων:** οι μεγάλες κτηνοτροφικές μονάδες μπορούν να διαθέτουν περισσότερους πόρους για τη διατήρηση υψηλού επιπέδου υγείας των ζώων. Οι μεγαλύτερες μονάδες μπορούν να προσλαμβάνουν εξειδικευμένους υπαλλήλους που να αφιερώνουν τις ώρες εργασίας τους για την αξιολόγηση της υγείας των ζώων, ένα έργο για το οποίο το κόστος είναι απαγορευτικό για τις μικρές μονάδες. Οι μεγαλύτερες μονάδες είναι σε θέση να κάνουν τακτική χρήση των κτηνιάτρων και των πόρων των κρατικών και ομοσπονδιακών υπηρεσιών. Στη βιομηχανική κτηνοτροφία παρέχονται γενικά περισσότεροι μηχανισμοί για τη χρήση αντιβιοτικών για την πρόληψη και τη θεραπεία ασθενειών από τη μη βιομηχανική

κτηνοτροφία.

▪ **Ασθένειες:** η εντατική εκτροφή ευνοεί την εξάπλωση επιβλαβών ασθενειών. Πολλές μεταδοτικές ασθένειες εξαπλώνονται ταχύτατα σε πυκνά διαβιούντων πληθυσμών ζώων με χαμηλή γενετική ποικιλότητα. Τα ζώα που εκτρέφονται με χρήση αντιβιοτικών μπορούν να αναπτύξουν ανθεκτικά στα αντιβιοτικά στελέχη των παθογόνων βακτηρίων ("superbugs"). Η χρήση εμβολίων στα ζώα μπορεί να δημιουργήσει νέους ιούς επικίνδυνους για τον άνθρωπο και να προκαλέσει πανδημία γρίπης. Ο ιός H5N1 είναι ένα παράδειγμα όπου αυτό θα μπορούσε να έχει ήδη συμβεί.

▪ **Ρύπανση:** λόγω τις λειτουργίας των κτηνοτροφικών μονάδων υψηλής δυναμικότητας μεγάλες ποσότητες και συγκεντρώσεις αποβλήτων παράγονται. Λίμνες, ποτάμια, και υπόγεια ύδατα βρίσκονται σε κίνδυνο όταν τα ζωικά απόβλητα δεν επεξεργάζονται σωστά. Οι υψηλές συγκεντρώσεις των ζώων μπορούν να παράγουν αρκετά δυσάρεστες οσμές, σε αντίθεση με τις ανεκτές οσμές της υπαίθρου όπου οι λιγότερο εντατικές συνθήκες έχουν ως αποτέλεσμα την ευκολότερη διάσπαση των πιθανών ρύπων. Οι μεγαλύτερες μονάδες όμως μπορούν να διατηρούν και να λειτουργούν εξελιγμένα συστήματα για τον έλεγχο των αποβλήτων. Αντίθετα, οι μικρότερες μονάδες δεν είναι σε θέση να επενδύσουν για τον έλεγχο της ρύπανσης.

▪ **Ηθικά ζητήματα – σκληρότητα απέναντι στα ζώα:** περιορισμός, χορήγηση φαρμάκων καθώς και χειρουργικές επεμβάσεις στα ζώα. Ο περιορισμός των χοίρων σε μικρούς χώρους μπορεί να οδηγήσει σε σωματικά προβλήματα, όπως την οστεοπόρωση και πόνους στις αρθρώσεις, καθώς και ψυχολογικά προβλήματα.

▪ **Καταστροφή της βιοποικιλότητας:** η τάση προς τη χρήση μοναδικά προσαρμοσμένων πληθυσμών (μονοκαλλιέργεια) έχει ως αποτέλεσμα τη παραγωγή ενιαίου προϊόντος σχεδιασμένου για υψηλές αποδόσεις, με αυξημένο, όμως κίνδυνο ευαισθησίας σε ασθένειες. Η απώλεια του αποθέματος γονιδίων των οικόσιτων ζώων περιορίζει την ικανότητα προσαρμογής σε μελλοντικά προβλήματα.

▪ **Τρόφιμα φτωχά σε θρεπτικά συστατικά:** η μεγάλη εξάρτηση στους γενετικά προσαρμοσμένους πληθυσμούς έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των θρεπτικών συστατικών των παραγόμενων τροφίμων [2].

1.7 Ρύπανση

Μια χοιροτροφική μονάδα υψηλής δυναμικότητας μπορεί να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα ρυπάνσεως, μόλυνσης και υποβάθμισης του περιβάλλοντος λόγω της μεγάλης ποσότητας των ζωικών, υγρών και στερεών αποβλήτων που παράγει, καθώς επίσης και των αερίων που εκλύονται από αυτή. Χαρακτηριστική είναι η επίσημη αναφορά που έγινε το 1995 από τη Γερουσία των Η.Π.Α. της επιτροπής Γεωργίας διατροφής και Δασών με θέμα «Η ρύπανση ζωικών αποβλήτων στην Αμερική: Επείγον Εθνικό πρόβλημα», όπου ως παράδειγμα

δίνεται η διαρροή από δεξαμενή αποβλήτων μεγάλης δυναμικότητας χοιροτροφικής μονάδας στη Βόρεια Καρολίνα που έχει ως αποτέλεσμα να προκαλέσει το θάνατο 10 εκατομμυρίων ψαριών [11]. Επίσης ο διεθνής *Οργανισμό Προστασίας Περιβάλλοντος EPA (Environmental Protection Agency)*, ανακοινώνει ότι η κύρια ρύπανση επιφανειακών υδάτων στις Η.Π.Α. προκαλείται από τις υψηλής δυναμικότητας κτηνοτροφικές μονάδες (CAFOs) και προειδοποιεί ότι επιχειρήσεις με περισσότερες από 1000 ζωικές μονάδες παράγουν τέτοιο όγκο υγρών αποβλήτων και αέριων ρύπων που η ποιότητα νερών και η δημόσια Υγεία δεν μπορεί να διασφαλιστεί με οποιαδήποτε τεχνολογική διαχείριση αποβλήτων [3].

1.7.1 Ρύπανση προερχόμενη από υγρά και στερεά απόβλητα

Η ρύπανση που προκαλείται από τα απόβλητα χοιροτροφείων που διατίθενται στους εδαφικούς αποδέκτες και καταλήγουν στην απορροή και τα υπόγεια ύδατα μπορεί να χωριστεί σε οργανική και ανόργανη ρύπανση.

- **Οργανική ρύπανση** αναφέρεται στις επιπτώσεις από τα οργανικά συστατικά των αποβλήτων. Συνιστά την αμεσότερη μορφή ρύπανσης από τα απόβλητα των χοιροτροφικών μονάδων, γιατί οι επιπτώσεις της γίνονται αισθητές σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα (οσμές κλπ.).

- **Ανόργανη Ρύπανση** προκαλείται από τα διάφορα ανόργανα συστατικά των αποβλήτων των χοιροτροφικών μονάδων, όπως είναι το άζωτο (π.χ. νιτρικά, νιτρώδη, αμμωνιακά), ο φωσφόρος, το κάλιο, τα άλατα ασβεστίου, μαγνησίου και νατρίου και κάποια βαρέα μέταλλα (π.χ., χαλκός, σίδηρος, μαγγάνιο, ψευδάργυρος κλπ.) [12].

Τα πρωτογενή (ακατέργαστα) απόβλητα των χοιροτροφικών μονάδων είναι πολύ μεγάλου ρυπαντικού φορτίου (π.χ. 12.400 mg/l BOD₅, 38.400 mg/l COD) συγκρινόμενα με αυτά των αστικών λυμάτων που είναι κατά μέσο όρο 310 mg/l BOD₅ και COD 650 mg/l [13].

Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις

Τα οργανικά συστατικά, το άζωτο και ο φωσφόρος αποτελούν τις κατεξοχήν πηγές ρύπανσης. Αυτό γιατί κάθε υδάτινος φορέας, αλλά και τα ίδια τα απόβλητα περιέχουν αερόβιους μικροοργανισμούς που καταναλώνουν τα οργανικά συστατικά των αποβλήτων, καθώς επίσης το άζωτο και το φώσφορο για να τραφούν και να πολλαπλασιαστούν καταναλώνοντας το οξυγόνο που βρίσκεται διαλυμένο στο νερό. Ο ρυθμός με τον οποίο καταναλώνεται το οξυγόνο υπερέχει του ρυθμού αναπλήρωσης του. Αποτέλεσμα αυτού είναι η δημιουργία έλλειψης οξυγόνου και ο θάνατος από ασφυξία των ανώτερων αερόβιων οργανισμών, καθώς επίσης και η μόνιμη ή προσωρινή διατάραξη της ισορροπίας του υδάτινου οικοσυστήματος. Το άζωτο και ο φώσφορος ευθύνονται επίσης για το φαινόμενο του *ευτροφισμού* που εκδηλώνεται με την υπερβολική ανάπτυξη των φυκιών στον υδάτινο

φορέα. Άλλες επιπτώσεις της ρύπανση που προκαλείται από τα απόβλητα των χοιροτροφείων είναι η **αύξηση αλατότητας** στα νερά ή το έδαφος και η **τοξικότητα** από υπερβολική συγκέντρωση ορισμένων συστατικών, π.χ. αμμωνιακών, νιτρικών, χαλκού, ψευδαργύρου κλπ.[12,14].

1.7.2 Ρύπανση προερχόμενη από εκλύμενα αέρια

Τα αέριο μίγμα που εκλύεται σε μια χοιροτροφική μονάδα μεγάλης δυναμικότητας (CAFO) είναι εξαιρετικά δύσοσμο και συνίσταται από 330 τουλάχιστον πτητικές ουσίες. Η έκλυση οσμών από μια τέτοια μονάδα είναι μια από τις πιο συνηθισμένες αιτίες προστριβών με τους περιοίκους. Για το λόγο αυτό θα πρέπει οι εγκαταστάσεις της χοιροτροφικής μονάδας να βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση από κατοικημένες περιοχές. Η βιβλιογραφία παρέχει μεθόδους υπολογισμού ελάχιστων απαιτούμενων αποστάσεων κτιρίων σταβλισμού από γειτονικούς οικισμούς για την αντιμετώπιση των οσμών. Για παράδειγμα η απαιτούμενη ζώνη απομόνωσης για την προστασία του περιβάλλοντος (από οσμές), γύρω από κτίριο σταβλισμού 1200 χοίρων παχύνσεως φτάνει τα 1800 m (ανάλογα με τη φορά και την ένταση των ανέμων) [1].

Τα σπουδαιότερα οσμηρά πτητικά συστατικά τα οποία έχουν ανιχνευθεί στα απόβλητα χοιροτροφείων είναι:

- **Πτητικά λιπαρά οξέα:** Η περιεκτικότητα των υγρών ζωικών αποβλήτων σε πτητικά λιπαρά οξέα κυμαίνεται από 4-27 g L⁻¹. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται όλα τα οξέα από C₁ έως C₁₃ (κυρίως το οξικό οξύ, προπανικό οξύ, βουτυρικό, ισοβουτυρικό οξύ), το βενζοϊκό οξύ, το φαινυλαιθανικό και το 3-φαινυλοπροπανικό οξύ.
- **Φαινόλες και ινδόλες:** Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει τη φαινόλη, π-κρεσόλη (μεθυλοφαινόλη), 3-μεθυλοϊνδόλη, ινδόλη και αιθυλοφαινόλη.
- **Θειούχες ενώσεις (υδρόθειο, μερκαπτάνες, σουλφίδια και δισουλφίδια):** Το υδρόθειο και η μεθυλική μερκαπτάνη είναι τα πιο αντιπροσωπευτικά συστατικά αυτής της ομάδας. Το υδρόθειο παρουσιάζει θανατηφόρο δράση σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες των 100.000 ppb οι οποίες παρατηρούνται συνήθως κατά τη διάρκεια της ανάδευσης των αποβλήτων πριν την απομάκρυνση τους από τα κτήρια εκτροφής σε συνδυασμό με ανεπαρκή αερισμό. Επίσης, το 50% των συστατικών που χαρακτηρίζονται ως κύριοι συντελεστές για την έκλυση οσμών στις χοιροτροφικές μονάδες περιέχουν θείο. Τα αέρια που παράγονται κατά την αναερόβια αποικοδόμηση ζωικών αποβλήτων περιέχουν συνήθως 0,01-1% υδρόθειο.
- **Αμμωνία και αμίνες:** Οι κυριότερες αμίνες που ανιχνεύονται στα απόβλητα των χοίρων είναι η διμεθυλαμίνη και η μεθυλαμίνη. Η αμμωνία και τα αμμωνιακά ιόντα προέρχονται από την αποικοδόμηση της ουρίας. Αύξηση του pH, εξαιτίας της οξείδωσης των πτητικών λιπαρών οξέων, που παρατηρείται κατά τη διάρκεια του αερισμού των αποβλήτων, μεταβάλλει το λόγο αμμωνιακά /αμμωνία προς όφελος σχηματισμού αμμωνίας. Τα αέρια που

παράγονται κατά την αναερόβια αποικοδόμηση ζωικών αποβλήτων περιέχουν συνήθως 2-6% αμμωνιακό άζωτο. Πρόσφατες εκτιμήσεις των εκπομπών αμμωνίας από αναερόβιες δεξαμενές χοιροστασιών στη Νότια Καρολίνα αναφέρουν ότι διαφεύγουν περίπου 150 kg N/ στρέμμα –μέρα με τη μορφή αμμωνίας. Η αμμωνία είναι πολύ πτητική και μετακινείται γρήγορα προς τα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας. Η αμμωνία προσροφάται από τα σταγονίδια που βρίσκονται στα σύννεφα, εξουδετερώνοντας τα οξέα που υπάρχουν σε αυτά. σχηματίζοντας αερολύματα. Τα αερολύματα αυτά με την εξάτμιση τους δημιουργούν μικρά εισπνεύσιμα σωματίδια τα οποία επηρεάζουν άμεσα την υγεία του ανθρώπου.

- **Αλκοόλες, αλδεύδες, κετόνες και εστέρες:** Οι ενώσεις αυτές ανιχνεύονται σε μικρά ποσοστά στα ζωικά απόβλητα.
- **Διοξίνες και φουράνια:** Οι διοξίνες (πολυχλωριομένες διβενζοδιοξίνες, PCDD) και τα φουράνια (PCDF) είναι πολύ επικίνδυνοι ρύποι που προέρχονται από τη μονάδα αποτέφρωσης. Η επικινδυνότητα των παραπάνω ενώσεων συμβαδίζει με ενδείξεις για τη συμβολή τους σε διαδικασίες καρκινογένεσης σε ανθρώπους. Οι διοξίνες και τα φουράνια παράγονται σχεδόν σε όλες τις διαδικασίες καύσης σε μικρές ποσότητες, ωστόσο, ο ακριβής μηχανισμός δημιουργίας τους δεν είναι ακόμη γνωστός.
- **Αιωρούμενα σωματίδια-Ιπτάμενη τέφρα:** Αποτελεί το ελαφρύτερο ρεύμα τέφρας και είναι αυτό που παρασύρεται από τα καυσαέρια, κατά τη διαδικασία της αποτέφρωσης [15,16,17].

Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις

Πολλές από τις παραπάνω ουσίες ανιχνεύονται σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις, ωστόσο, δρουν κατά αθροιστικό τρόπο με αποτέλεσμα το αέριο μίγμα να είναι εξόχως τοξικό και να προκαλεί κυρίως αναπνευστικά προβλήματα και καρδιοπάθειες στους εργαζόμενους στις εν λόγω χοιροτροφικές μονάδες και περιοίκους, ενώ σε μεγάλες συγκεντρώσεις επιφέρουν το θάνατο. Ωστόσο, ιδιαίτερα μνεία θα γίνει για την η αμμωνία, το μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα, λόγω των υψηλών συγκεντρώσεων που έχουν, και τη σημαντική συμμετοχή τους στη ρύπανση του περιβάλλοντος.

Αμμωνία

Η αμμωνία αποτελεί ένα από τους 17 σημαντικότερους αέριους ρυπαντές. Εκτιμάται ότι τα τελευταία 30 χρόνια οι εκπομπές αμμωνίας στην Ευρώπη αυξήθηκαν πάνω από 50% και ότι εντατικοποίηση της κτηνοτροφικής παραγωγής αναγνωρίζεται ως ο κύριος συντελεστής αυτής της αύξησης, αντιπροσωπεύοντας το 80% των ετήσιων εκπομπών. Οι επιπτώσεις από την εκπομπή της αμμωνίας στο περιβάλλον περιλαμβάνουν:

■ **Οξίνιση του εδάφους και των επιφανειακών υδάτων:** Σε οικοσυστήματα με ασθενή ρυθμιστική ικανότητα, οι αυξημένες αέριες αποθέσεις της αμμωνίας και των αμμωνιακών ιόντων, συμβάλλουν στην οξίνιση του εδάφους και των επιφανειακών υδάτων και αποτελούν μέρος του φαινομένου γνωστού ως «όξινη βροχή». Οξύ παράγεται στο έδαφος κατά τη νιτροποίηση του αμμωνίου. Το φαινόμενο αυτό συμβάλλει άμεσα στην οξίνιση του εδάφους και έμμεσα στην αύξηση της απώλειας θρεπτικών στοιχείων (ασβεστίου, καλίου, μαγνησίου), καθώς και στην παρεμπόδιση της ανάπτυξης των φυτών.

■ **Ευτροφισμός οικοσυστημάτων:** Όταν η εισροή αζώτου σε ένα οικοσύστημα υπερβαίνει την αφομοιωτική του ικανότητα του, τότε παρατηρείται περίσσεια αζώτου στο έδαφος. Ο εμπλουτισμός αυτός οδηγεί σε διαταραχή της ισορροπίας των θρεπτικών στοιχείων, όπως πενία καλίου, φωσφόρου ή μαγνησίου, διαταραχή αλλαγής των ειδών (εξαφάνιση των φυτικών ειδών που προτιμούν εδάφη χαμηλής περιεκτικότητας σε άζωτο και επικράτηση των υπολοίπων). Ιδιαίτερα επηρεάζονται τα φυσικά οικοσυστήματα με μικρές ανάγκες σε άζωτο.

■ **Αυξημένη ευπάθεια των φυτών:** Σε πολλά οικοσυστήματα η αυξημένη εισροή αζώτου οδηγεί αρχικά σε έντονη ανάπτυξη, η οποία έχει ως αποτέλεσμα μακροπρόθεσμα την αποσταθεροποίηση του οικοσυστήματος. Η τελευταία εκδηλώνεται με αυξημένη ευπάθεια των φυτών σε δευτερογενείς παράγοντες στρες, όπως ανεμοθύελλα, παγετός, ζιζάνια και ασθένειες.

■ **Επίδραση στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον:** Η αμμωνία συμβάλλει στην μετατροπή μεγάλου ποσοστού εκπεμπόμενων αερίων ρυπαντών (διοξείδιο του θείου, οξειδίων του αζώτου) σε αερολύματα, επιτρέποντας τη μεταφορά τους σε μεγάλες αποστάσεις. Επιπρόσθετα, η αμμωνία επιταχύνει το σχηματισμό θειικού οξέος από το διοξείδιο του θείου [15,16,17].

Μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα

Το μεθάνιο (και δευτερευόντως το διοξείδιο του άνθρακα) αποτελεί το κύριο συστατικό του παραγόμενου βιοαερίου, κατά την αναερόβια αποικοδόμηση των υγρών αποβλήτων (το διοξείδιο του άνθρακα αποτελεί το κύριο συστατικό κατά την αερόβια επεξεργασία των αποβλήτων). Η περιεκτικότητα του βιοαερίου, που παράγεται κατά την αναερόβια διεργασία, σε μεθάνιο εξαρτάται κυρίως από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, καθώς και από τη σύσταση και το αποικοδομήσιμο οργανικό φορτίο των αποβλήτων και κυμαίνεται από 55% έως 90% κατ' όγκο. Το μεθάνιο, από πλευράς συμβολής στις ανθρωπογενείς εκπομπές των αερίων θερμοκηπίου κατέχει τη δεύτερη θέση μετά το διοξείδιο του άνθρακα. Η συνολική συμμετοχή του στην άνοδο της θερμοκρασίας του πλανήτη είναι σημαντική επειδή έχει εκτιμηθεί ότι είναι 21 φορές πιο αποτελεσματικό στο να παγιδεύει θερμότητα στην ατμόσφαιρα από ότι το διοξείδιο του άνθρακα [15,16,17].

1.8 Επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου

Πολύ σύντομα, με την ανάπτυξη των υψηλής δυναμικότητας χοιροτροφείων (από το 1965), διαπιστώθηκαν σοβαρά προβλήματα υγείας (κυρίως αναπνευστικά) στους εργαζόμενους στις βιομηχανικές αυτές μονάδες. Οι ρύποι που παράγονται από την λειτουργία των κτηνοτροφικών μονάδων αλλά και ο κίνδυνος εξέλιξης η διάδοσης επιβλαβών ασθενειών αποτελούν απειλή για την υγεία των εργαζομένων, αλλά και των κατοίκων που ζουν πλησίον βιομηχανικών χοιροτροφείων.

Σύμφωνα με μελέτες που έχουν γίνει, το 30% των εργαζομένων αντιμετωπίζει αναπνευστικά προβλήματα (π.χ. χρόνια βρογχίτιδα, άσθμα, οργανικού κονιορτού τοξικό σύνδρομο κλπ.), ενώ σε έξι ή περισσότερα χρόνια (ή με έκθεση πάνω από 3 ώρες ημερησίως στους κλειστούς χώρους σταβλισμού) η κατάσταση αυτή επιδεινώνεται και μπορεί να προκαλέσει ανεπανόρθωτες βλάβες [18].

Μερικές από τις ασθένειες που σχετίζονται με τα προβλήματα αυτά είναι ο κυψελιδίτις (alveolitis), η χρόνια διάμεση διήθηση (chronic interstitial infiltrate), το πνευμονικό οίδημα, η παραρρινοκολπίτιδα (sinusitis), η ρινίτιδα, η αλλεργική ρινίτιδα, η φαρυγγίτιδα, το τοξικό σύνδρομο οργανικής σκόνης (organic dust toxic syndrome), το εργασιακό άσθμα, το μη αλλεργικό άσθμα, ο υπεραντιδραστικός αεραγωγός (hyperresponsive airway), το σύνδρομο αναπνευστικών ασθενειών (airways disease syndrome), το αλλεργικό άσθμα, η οξεία υποξεία βρογχίτιδα, χρόνια βρογχίτιδα και η χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια (chronic obstructive pulmonary) [3,6].

Επίσης ζωικές ασθένειες όπως γρίπη των χοίρων, πάρβο του χοίρου, ψευδόλυσσα, αφρώδης πυρετός, πανώλη χοίρου, μεταδοτική γαστρεντερίτιδα του χοίρου μπορούν να μεταδοθούν από τα ζώα και να απειλήσουν την υγεία πολλών ανθρώπων. Αυτή την περίοδο μόνο 40 από τις περίπου 200 χώρες στον κόσμο έχουν την ικανότητα να ανταποκριθούν επαρκώς σε μια κρίση υγείας που προέρχεται από αυτές τις ζωικές ασθένειες. Η διαδεδομένη χρήση των αντιβιοτικών αυξάνει την πιθανότητα μιας πανδημίας ανθεκτικής στα γνωστά μέτρα, η οποία επιδεινώνεται από ένα συνολικά διανεμημένο σύστημα τροφίμων. Επίσης, η μειωμένη γενετική ποικιλομορφία αυξάνει την πιθανότητα μιας κρίσης τροφίμων.

2. ΕΔΑΦΟΣ

2.1 Γενικά

Το έδαφος αποτελεί το μέσο στήριξης και θρέψης των φυτών, συνιστά τη βάση της αγροτικής και δασικής παραγωγής, το φυσικό φίλτρο και το προστατευτικό στρώμα των αποθεμάτων του υπόγειου νερού, καθώς επίσης και το χώρο όπου ζουν μεγάλοι αριθμοί μικροοργανισμών που συμμετέχουν στη διαδικασία ανακύκλωσης στοιχείων, όπως του αζώτου και άνθρακα.

Το επιφανειακό έδαφος είναι το επιφανειακό στρώμα του στερεού φλοιού της γης στο οποίο στηρίζονται και αναπτύσσονται τα φυτά. Το στρώμα κάτω από το επιφανειακό έδαφος λέγεται υπέδαφος. Το υπέδαφος φτάνει στο 1,5 m ως 2 m., ως εκεί δηλαδή που προχωρούν οι ρίζες των φυτών και μπορεί να γίνει γεωργική εκμετάλλευσή του. Το έδαφος σχηματίζεται με φυσικό τρόπο από την αποσάθρωση των επιφανειακών πετρωμάτων της γης που συντελείται με την επίδραση ορισμένων παραγόντων, όπως οι συνεχείς μεταβολές της θερμοκρασίας, η βροχή, ο παγετός, ο άνεμος, οι μικροοργανισμοί, τα ανώτερα φυτά και οι ζωικοί οργανισμοί.

Για να σχηματισθεί ένα εκατοστό εδάφους απαιτούνται δεκάδες χρόνια, που μπορεί να είναι και ένας αιώνας. Το έδαφος, ένας φυσικός πόρος που χρειάζεται πάρα πολύ καιρό για να δημιουργηθεί, αποτελεί τη βάση για την παραγωγή τροφίμων και καταλαμβάνεται από ανθρωπογενείς κατασκευές, όπως πόλεις και γενικά κατοικημένες περιοχές. Είναι επίσης αναγκαίος πόρος για την οικοδόμηση πόλεων και χωριών, σύγχρονων έργων υποδομής, οδικών δικτύων κλπ. Συνεπώς το έδαφος καταλαμβάνεται και χρησιμοποιείται με πολλούς και διαφορετικούς τρόπους. Πολλές φορές παρατηρείται σύγκρουση στόχων, όταν τροποποιείται η χρήση για την οποία προοριζόταν. Πολλά κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης αναγνωρίζουν στη νομοθεσία τους ότι η κοινωνία μπορεί να θεσπίσει κανόνες για την απαλλοτρίωση της γης, όταν πρόκειται για το γενικό συμφέρον. Επομένως, η προστασία του εδάφους αφορά τόσο το έδαφος και τις ιδιότητές του όσο και τη χρήση για την οποία προορίζεται [19].

2.2 Σχηματισμός του εδάφους

Πέντε παράγοντες θεωρείται πως επηρεάζουν το σχηματισμό του εδάφους:

- **το μητρικό υλικό**, το οποίο είναι σχετικά χαλαρό υλικό, το προερχόμενο από την αποσάθρωση των πετρωμάτων και από το οποίο με την επίδραση και των άλλων παραγόντων της εδαφογένεσης, σχηματίζεται το έδαφος.
- **το κλίμα**, το οποίο επιδρά στη βλάστηση με τη θερμοκρασία και τις βροχοπτώσεις, αλλά και σε άλλους παράγοντες εδαφογένεσης.
- **οι ζώντες οργανισμοί**, δηλαδή φυτικοί οργανισμοί, μικροοργανισμοί, μεγάλοι οργανισμοί και άνθρωποι που χρησιμοποιούν τη γη για αγροτικές, δασικές, κτηνοτροφικές, οικιστικές και βιομηχανικές δραστηριότητες.

- **η τοπογραφία της περιοχής**, δηλαδή η μορφή της επιφάνειας της γης.
- **ο χρόνος**, δηλαδή η διάρκεια διαδικασίας σχηματισμού του εδάφους που είναι πολύ μεγάλη. Συνήθως για το σχηματισμό ενός στρώματος από χώμα μέσω φυσικών διαδικασιών αποσάθρωσης μητρικών πετρωμάτων χρειάζονται από 100 έως 1000 χρόνια, ανάλογα με τις συνθήκες περιβάλλοντος. Για το λόγο αυτό το έδαφος δεν είναι ανανεώσιμος φυσικός πόρος. Οι **διεργασίες** μέσω των οποίων σχηματίζεται το έδαφος είναι **φυσικές** (από τη δράση νερού, ανέμου, θερμότητας, βαρύτητας), **χημικές** (ανταλλαγές χημικών στοιχείων στα συστατικά του εδάφους) και **βιολογικές** (αποικοδόμηση των φυτικών υπολειμμάτων από οργανισμούς). Η πιο σημαντική βιολογική διαδικασία είναι η διάσπαση και χουμοποίηση, δηλαδή η αποσύνθεση των οργανικών υπολειμμάτων των ζώων και φυτών και των νεκρών μικροοργανισμών με τελικό προϊόν ένα υλικό σκοτεινό και πολύπλοκο, χωρίς ιδιαίτερη δομή που ονομάζεται **χούμος** [20,21].

2.3 Κατηγορίες εδαφών

Όλα τα εδάφη δεν σχηματίστηκαν με τον ίδιο τρόπο. Αλλού επέδρασε πιο πολύ το νερό και απόθεσε σε αυτά περισσότερο άμμο, αλλού έζησαν κατά εποχές περισσότερα ζώα και φυτά και πλούτισαν ανάλογα τα εδάφη με θρεπτικές ουσίες, πολλές από αυτές μεταφέρθηκαν με τα νερά των βροχών στις κοιλάδες, αλλού τα γύρω βουνά ήταν ασβεστολιθικά κλπ. Έτσι σήμερα τα καλλιεργήσιμα εδάφη χωρίζονται στις παρακάτω γενικές κατηγορίες:

- Σε **αμμώδη**. Αυτά έχουν για κύριο συστατικό τους την άμμο. Το νερό, ο ήλιος και ο αέρας περνούν μέσα τους εύκολα και σε μεγαλύτερο βάθος. Όμως δε συγκρατούν εύκολα υγρασία και οι θρεπτικές ουσίες της επιφάνειάς τους ξεπλένονται εύκολα. Ακόμα και το χειμώνα ψύχονται γρήγορα και το καλοκαίρι θερμαίνονται πολύ. Τα φυτά, που δεν έχουν βαθιές ρίζες, δε βρίσκουν πολλές θρεπτικές ουσίες στα εδάφη αυτά, δε στηρίζονται γερά και όταν φυσά δυνατός άνεμος, τα ρίχνει κάτω ή τα ξεριζώνει και όταν έχει ζέστη παύουν να αναπτύσσονται, αν δεν ξεραθούν τελείως.
- Σε **αργιλώδη**. Σε αυτά πλεονάζει η άργιλος (χώμα που χρησιμοποιείται στη κεραμοποιία). Τα εδάφη αυτά έχουν μεγάλη συνεκτικότητα και δύσκολα περνούν μέσα τους βαθιά το νερό, ο ήλιος και ο αέρας. Το χειμώνα δεν τα διαπερνά το κρύο, αλλά στην επιφάνειά τους είναι ψυχρά. Το καλοκαίρι κρατούν υγρασία, αλλά στις μεγάλες ζέστες σκάζουν, δημιουργώντας βαθιές ρωγμές. Οι ρίζες των φυτών δυσκολεύονται να προχωρήσουν βαθιά, υποφέρουν από ασφυξία και στις ξηρασίες, όταν εξατμίζεται όλη η επιφανειακή υγρασία, παύει κάθε ανάπτυξη τους και μαραζώνουν. Τα αργιλώδη εδάφη γίνονται κατάλληλα για καλλιέργεια, όταν ρίξουμε άμμο ή κοπριά χωνευμένη ή και αχώνευτη.
- Σε **πηλώδη**. Κατάλληλα για την ανάπτυξη φυτών. Όταν εμπλουτίζονται με οργανική ουσία θερμαίνονται ευκολότερα και έχουν καλό αερισμό.
- Σε **ασβεστολιθικά ή ασπροχώματα**. Αυτά προέρχονται από ασβεστολιθικά πετρώματα και

έχουν τα μειονεκτήματα των αργιλωδών εδαφών. Διορθώνονται, αν τους προσθέσουμε άμμο ή κοπριά, όπως στα αργιλώδη.

- Σε **οργανικά εδάφη**. Αυτά έχουν πολλές οργανικές ουσίες και το χρώμα τους είναι σκούρο (καστανό). Είναι αφράτα και καλλιεργούνται εύκολα. Διατηρούν τη ζέστη το χειμώνα και τη δροσιά το καλοκαίρι. Απορροφούν και συγκρατούν το νερό, τα διαπερνά εύκολα ο ήλιος και ο αέρας και μέσα τους ζουν σκουλήκια, μικρόζωα και μικρόβια, που μεγαλώνουν τη γονιμότητά τους. Είναι τα πιο κατάλληλα εδάφη για καλλιέργεια και με το χρώμα τους μπορούμε να πλουτίσουμε άλλα εδάφη φτωχά (αργιλώδη, αμμώδη και ασβεστολιθικά) [19,20,21]

2.4 Εδαφικοί μικροοργανισμοί και γεωσκόληκες

Στα εδαφικά συστατικά περιλαμβάνονται διάφοροι μικροοργανισμοί και γεωσκόληκες, που επηρεάζουν σε σημαντικότατο βαθμό τις φυσικοχημικές ιδιότητες των εδαφών.

Στους εδαφικούς μικροοργανισμούς περιλαμβάνονται βακτήρια, ακτινομύκητες, πρωτόζωα, ιοί και νηματοειδή. Σε ένα μικρό κομμάτι εδάφους, διαστάσεων μερικών κυβικών εκατοστών, ζουν περισσότερα από 50 δισεκατομμύρια μικρόβια.

Η κύρια δουλειά των μικροοργανισμών είναι να διασπών το οργανικό υλικό πρώτα σε χούμο, έπειτα σε χουμικό οξύ και τέλος σε βασικά ανόργανα στοιχεία. Τα μικρόβια πρέπει να έχουν διαθέσιμη μια συγκεκριμένη ποσότητα οργανικού υλικού, διαφορετικά ο αριθμός τους μειώνεται σημαντικά.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τους μικροοργανισμούς είναι η θερμοκρασία, το pH, ο αερισμός του εδάφους, η οργανική ύλη και τα ανόργανα θρεπτικά συστατικά.

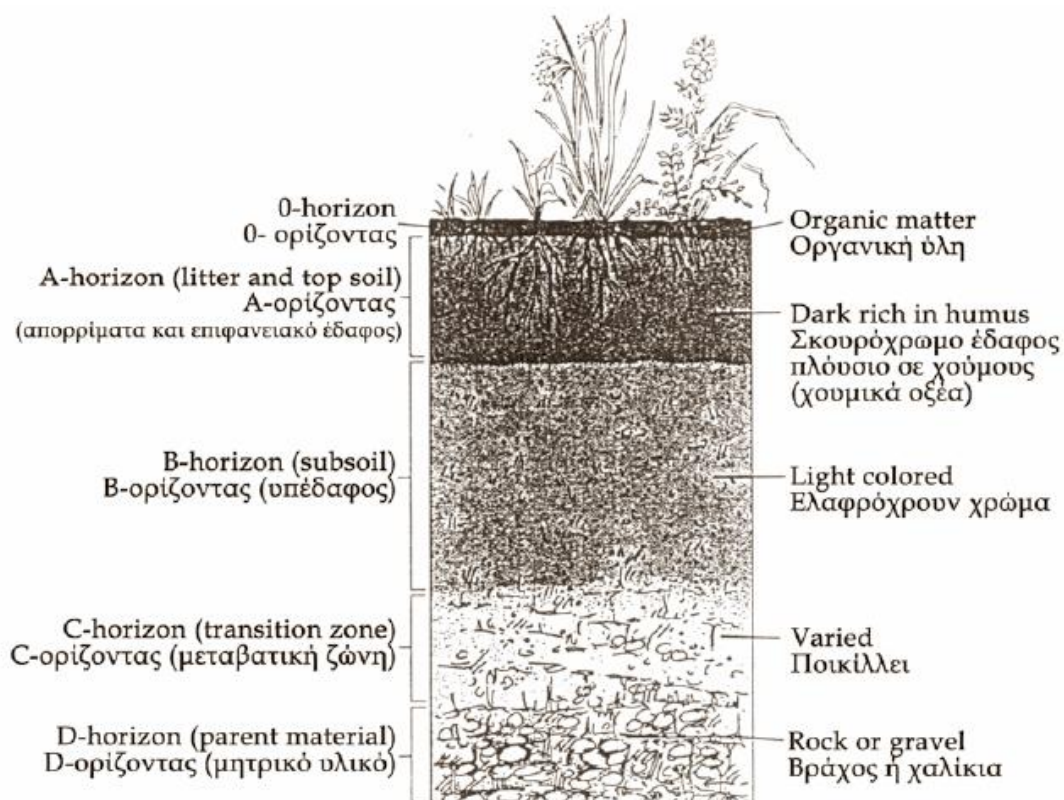
Αναμφίβολα ο μεγαλύτερος οργανικός αποσυντιθετής είναι οι γεωσκόληκας και η κύρια δουλειά του είναι η αποσύνθεση και η εναπόθεση εδαφικών ουσιών. Καθώς το εδαφικό υλικό περνάει από το πεπτικό του σύστημα διασπάται και ομογενοποιείται από εκκρίσεις ανθρακικού ασβεστίου των αδένων στο στομάχι του γεωσκόληκα. Το οργανικό υλικό που αποβάλλει αποτελεί την καλύτερη ποιότητα χούμου [22].

2.5 Ορίζοντες του εδάφους

Σε μια κάθετη τομή του εδάφους διακρίνονται μια σειρά από οριζόντια στρώματα που είναι οι εδαφικοί ορίζοντες. Οι εδαφικοί ορίζοντες διαφέρουν ως προς την υφή, το χρώμα και τη σύσταση.

- **0-ορίζοντας:** ανώτατο στρώμα εδάφους με φυτά, οργανικά υπολείμματα, πεσμένα φύλλα δένδρων και μερικώς αποσυντιθέμενη οργανική ύλη.
- **A-ορίζοντας:** τα πρώτα 30-50 cm του μέτρου εδάφους (topsoil) με χουμικά οξέα, μερικά ανόργανα ορυκτά, ζωντανούς οργανισμούς, οργανική ύλη, με τη μεγαλύτερη βιολογική δραστηριότητα από τις άλλες στιβάδες.

- **E-ορίζοντας:** η ζώνη που διαχωρίζει το επιφανειακό έδαφος από το υπέδαφος. Η διαλυμένη ή αιωρούμενη ύλη κινείται προς τη στιβάδα αυτή και για αυτό καλείται η ζώνη αποπλυμάτων (leaching zone).
- **B-ορίζοντας:** το υπέδαφος είναι ορίζοντας εμπλουτισμού όπου συγκεντρώνονται τα χουμικά οξέα, ο άργιλος, σίδηρος και αργίλιο μετά το στράγγισμα από τις πάνω ζώνες.
- **C-ορίζοντας:** ελαφρά διαβρωμένο βραχώδες έδαφος που περιέχει τα ορυκτά συστατικά του κυρίου εδάφους.
- **D-ορίζοντας:** βραχώδες έδαφος (bedrock) που δεν επηρεάζεται από τη διάβρωση [20,23].



Σχήμα 2.1: Ορίζοντες του εδάφους[23]

2.6 Φυσικές ιδιότητες – Χαρακτηριστικά

Τα εδάφη χαρακτηρίζονται από τη σύσταση, την υφή, τη δομή, το πορώδες, την υγροσκοπικότητα, την ειδική θερμότητα, τη θερμική αγωγιμότητα, την απορροφητική ικανότητα, την οξύτητα και τις βιολογικές τους ιδιότητες [21].

2.6.1 Σύσταση

Η σύσταση του εδάφους διαμορφώνεται από ένα πολύπλοκο μίγμα ανόργανων ουσιών, οργανικής ύλης που αποσυντίθεται ή σχηματίζει σύμπλοκα χουμικά οξέα, αέρα, νερού που έχει εγκλωβισθεί στο έδαφος, και των ζωντανών μικροοργανισμών. Τα εδάφη συνήθως αποτελούνται από μίγματα αργίλου, λάσπης (ιλύς) και άμμου και η υφή τους χαρακτηρίζεται από τα μεγέθη των σωματιδίων των τριών αυτών υλικών. Τα κυριότερα στοιχεία στο επιφανειακό έδαφος είναι τα στοιχεία: οξυγόνο (υπό μορφή οξειδίων), πυρίτιο, αργίλιο, σίδηρος, ασβέστιο, νάτριο, κάλιο και μαγνήσιο. Μερικά από τα κλασικά οξείδια του εδάφους είναι: SiO_2 , Fe_3O_4 , MnO_2 , Fe_2O_3 , και τα ορυκτά KAlSi_3O_8 , $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$, $\text{CaO} \cdot 3(\text{AlFe})_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, CaCO_3 , $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ [20,21]. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα κυριότερα στοιχεία και το ποσοστό τους στον γήινο φλοιό.

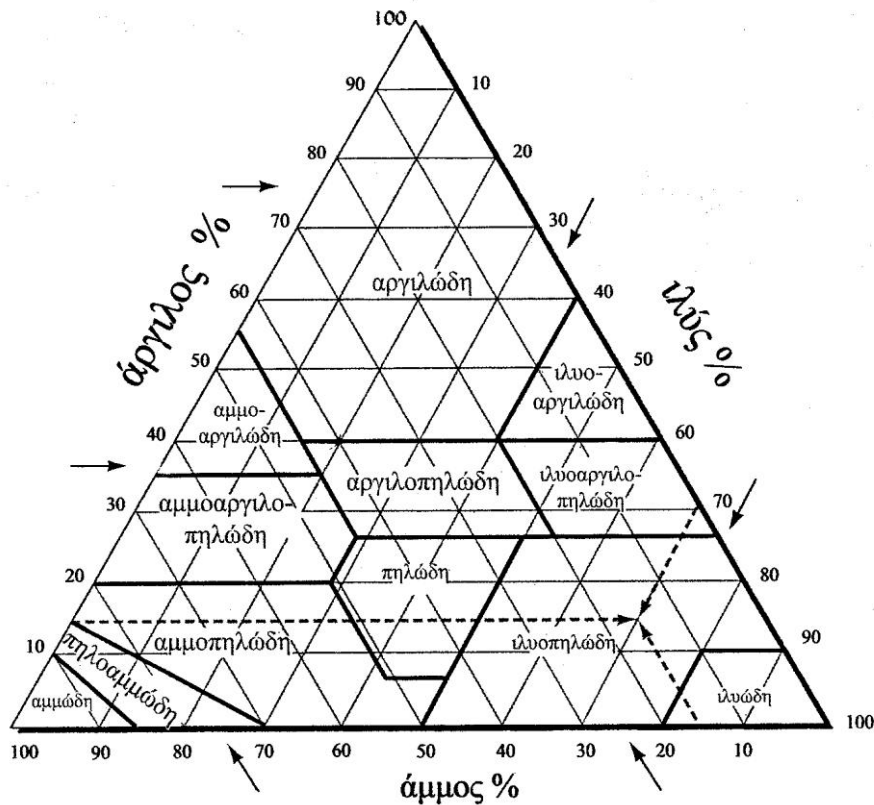
Πίνακας 2.1: Κύρια στοιχεία και ποσοστό τους στον γήινο φλοιό.[24]

Στοιχείο	Ποσοστό
Οξυγόνο (O)	46,6%
Πυρίτιο (Si)	27,7%
Αργίλιο (Al)	8,1%
Σίδηρος (Fe)	5,0%
Ασβέστιο (Ca)	3,6%
Νάτριο (Na)	2,8%
Κάλιο (K)	2,6%
Μαγνήσιο (Mg)	2,1%

2.6.2 Υφή

Η υφή (ή μηχανική σύσταση) του εδάφους περιγράφει πόσο χονδρόκοκκο ή λεπτόκοκκο είναι το έδαφος. Τα πιο χονδρόκοκκα εδάφη είναι τα αμμώδη, τα αργιλώδη είναι τα πλέον λεπτόκοκκα, ενώ τα σωματίδια ιλύος είναι ενδιάμεσου μεγέθους. Η υφή επηρεάζει το πορώδες, καθώς επίσης και τη χημική δραστηριότητα στο έδαφος. Τα αμμώδους συστάσεως εδάφη εμπεριέχουν πολύ μεγαλύτερους πόρους, παρακρατούν λίγο νερό και το υπόλοιπο ρέει εύκολα ανάμεσα στους πόρους. Ο συνδυασμός χαμηλής δραστηριότητας και γρήγορης κίνησης του νερού στα αμμώδη εδάφη τα καθιστά περισσότερο ευπρόσβλητα σε στραγγίσματα επιμολύνσεων από τα λεπτής υφής εδάφη. Εδάφη που είναι κυρίως ιλυώδη ή αργιλώδη έχουν πολύ μικρότερους πόρους, που δεν επιτρέπουν εύκολα τη ροή νερού μέσα από αυτά. Ο κίνδυνος της επιμολύνσης των υπογείων υδάτων είναι πολύ μικρότερος σε αυτών των κατηγοριών τα εδάφη. Τα μέσης σύστασης εδάφη (loam) αποτελούνται από ισορροπημένο μίγμα αμμώδους, ιλυώδους και αργιλώδους εδάφους. Τα εδάφη αυτά παρουσιάζουν εντονότερη χημική δραστηριότητα από τα αμμώδη εδάφη και παρακρατούν περισσότερο νερό, προσφέροντας μεγαλύτερη προστασία στα υπόγεια νερά [25].

Τα εδάφη ανάλογα με την εκατοστιαία περιεκτικότητα τους σε άμμο, ιλύ και άργιλο μπορούν να καταταχθούν σε 12 κατηγορίες που είναι γνωστές ως υφή του εδάφους και παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα. [26].



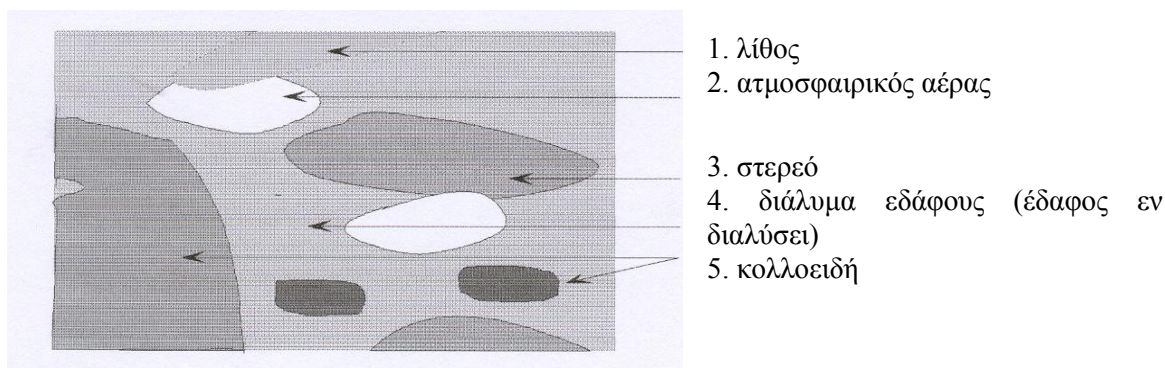
Σχήμα 2.2: Διάγραμμα προσδιορισμού της υφής του εδάφους (Βρετανικό σύστημα) [26]

2.6.3 Δομή

Η δομή του εδάφους αναφέρεται στο σύνολο των συστατικών του. Ξεχωριστά σωματίδια άμμου, ιλύος και αργίλου τείνουν να ομαδοποιηθούν στο έδαφος. Αυτή η ομαδοποίηση των σωματιδίων σε συσσωματώματα συνιστά τη δομή του εδάφους. Οι κόκκοι του εδάφους που μπορούμε να δούμε κολλημένους σε ρίζες χόρτων όταν σκάβουμε τον χλοοτάπητα είναι ένας τύπος εδαφικής δομής.

Η δομή είναι σημαντική γιατί είναι συνάρτηση του αριθμού των μεγάλων πόρων στο έδαφος. Σε λεπτόκοκκα εδάφη η δομή καθορίζει την κίνηση του νερού (διήθηση) και του αέρα στο έδαφος. Καλά δομημένα εδάφη οδηγούν βαθύτερα τα στραγγίσματα επιμολυντικών ουσιών με αποτέλεσμα μια αύξηση του κινδύνου επιμόλυνσης των υπογείων νερών. Εν τούτοις είναι επιθυμητό το καλά δομημένο έδαφος, γιατί αυξάνει τον αερισμό του εδάφους βελτιώνοντας την παραγωγικότητα και μειώνοντας την διάβρωση [25].

Στο επόμενο σχήμα εμφανίζονται η δομή και τα συστατικά του εδάφους.



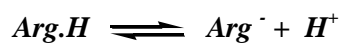
Σχήμα 2.3: Μακροσκοπική δομή του εδάφους [25]

Τύποι συστατικών της δομής του εδάφους

Τα κολλοειδή: Είναι υδρόφιλα μακρομόρια που χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- Ορυκτά: αργιλικά άλατα (ένυδρα SiAl), ένυδρα άλατα σιδήρου ή αργιλίου.
- Οργανικά: Χούμος (Ο χούμος είναι το σύνολο των οργανικών υλικών στο έδαφος, τα οποία είναι κυρίως προϊόντα μεταβολισμού φυτών και ζώων. Αποτελείται κυρίως από αρωματικά μόρια. Ανά χρονικές περιόδους διασπάται σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό, γι' αυτό και πρέπει να αναπληρώνεται διαρκώς).

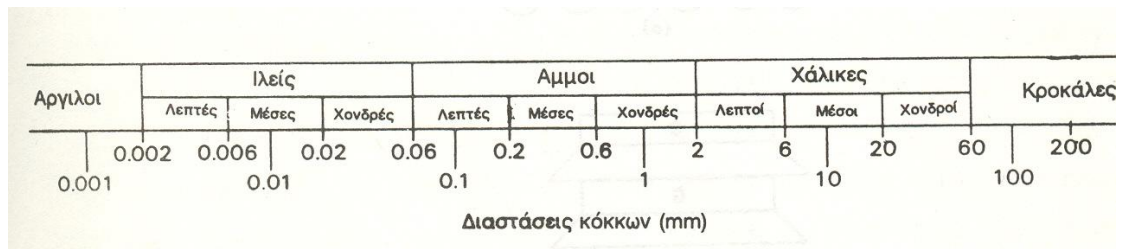
Τα κολλοειδή μπορούν να ιοντιστούν μέσω της αντίδρασης :



Με τη μορφή Arg^- , είναι ικανά να συγκρατούν με πολική προσρόφηση πρωτόνια και κατιόντα (προσκόλληση στην επιφάνεια κάτω από την επίδραση των ηλεκτροστατικών ελκτικών δυνάμεων).

Στερεά μόρια: Προέρχονται από τον κατακερματισμό του μητρικού πετρώματος: πυριτικοί κόκκοι ή πυριτικά άλατα (πυριτικοί βράχοι), ανθρακικό ασβέστιο (ανθρακικοί βράχοι), καθώς και ορυκτά προερχόμενα από την μεταβολή αυτού του μητρικού πετρώματος (κυρίως άργιλος). Η μέση διάμετρος τους προσδιορίζει την υφή του εδάφους και η κοκκομετρική τους σύσταση είναι συνάρτηση της αναλογίας αυτών των μορίων στο έδαφος [27,28].

Τα ιζηματογενή εδάφη, που αποτελούν το σύνολο σχεδόν των εδαφικών σχηματισμών, διακρίνονται σε χονδρόκοκκα (χάλικες και άμμοι) και λεπτόκοκκα (ιλείς και άργιλοι). Εδάφη με κόκκους μεγαλύτερους από 2 mm ανήκουν στην κατηγορία των χαλίκων, οι άμμοι έχουν κόκκους με διαστάσεις από 2 mm έως 0,06 mm (η διάσταση αυτή είναι περίπου ίση με το μικρότερο μέγεθος κόκκου που είναι ορατός δια γυμνού οφθαλμού), οι ιλείς έχουν κόκκους από 0,06 mm έως 0,002 mm και τέλος, οι άργιλοι έχουν κόκκους με μέγεθος μικρότερο από 0,002 mm. (Σχήμα 2.4) [29].



Σχήμα 2.4: Όρια μεγεθών κόκκων εδαφικών υλικών [29]

2.6.4 Πορώδες και ειδικό βάρος

Το πορώδες καθορίζεται από τον όγκο που έχουν τα διάκενα του εδάφους. Είναι αποτέλεσμα της γενικής δομής και της πολύπλοκης συνάθροισης των στερεών μορίων στα εδάφη, όπου σχηματίζονται κάποια κενά ή αλλιώς πόροι. Η βιολογική δραστηριότητα του εδάφους συντελείται μέσα σ' αυτούς τους πόρους. Εδαφικό πορώδες ονομάζουμε το συνολικό όγκο όλων των πόρων που περιέχονται σ' ένα κυβικό εκατοστό εδάφους και είναι ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες που επηρεάζουν τη γονιμότητα των εδαφών. Ο συνολικός όγκος των πόρων ποικίλει ανάλογα την τοποθεσία, τις κλιματικές αλλαγές και τη βλάστηση. Το μέγεθος των στερεών μορίων ανήκει στους σημαντικούς παράγοντες εκείνους που επηρεάζουν το πορώδες και αναφέρθηκε παραπάνω. Ο προσδιορισμός του ολικού πορώδους γίνεται από τον ειδικό όγκο και την ειδική βαρύτητα του εδάφους, σύμφωνα με τον τύπο:

$$\text{Πορώδες (\%)} = (1 - \Phi\P/\Pi) \cdot 100$$

Όπου: $\Phi\P$ = η φαινόμενη πυκνότητα (μάζα του ξηρού εδάφους ανά μονάδα όγκου συμπεριλαμβανομένων και των πόρων και εκφράζεται σε g/cm^3)

Π = η πραγματική πυκνότητα των στερεών συστατικών του εδάφους ($2,65 \text{ g/cm}^3$),

ενώ η σχέση $\Phi\P/\Pi$ δείχνει το κλάσμα του όγκου του εδάφους που καταλαμβάνεται από στερεά συστατικά. Το πραγματικό ειδικό βάρος (λόγος του βάρους ενός όγκου κόκκων εδάφους προς ίσο όγκο αποσταγμένου νερού στους 4°C) είναι γύρω στα 2,5 [26,30].

2.6.5 Υγροσκοπικότητα

Η υγροσκοπικότητα του εδάφους αναφέρεται στην ικανότητα πρόσληψης και απόδοσης υγρασίας. Όταν όλα τα διάκενα του εδάφους είναι γεμάτα νερό η υγροσκοπικότητα του εδάφους φτάνει το μέγιστο [21].

2.6.6 Ειδική θερμοχωρητικότητα

Ορίζεται ως η θερμότητα που απαιτείται για την αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1°C . Η ειδική θερμοχωρητικότητα του εδάφους είναι ένας από τους συντελεστές της ανάπτυξης των φυτών και εξαρτάται από τα συστατικά του εδάφους, το χρώμα του, την υγρασία του κλπ. [21].

2.6.7 Οργανική σύσταση εδαφών

Οι οργανικές ουσίες που περιέχονται στο έδαφος βοηθούν τη συσσωμάτωση των τεμαχιδίων του εδάφους και αυξάνουν τη σταθερότητα των συσσωματωμάτων. Ο γενικός κανόνας είναι ότι, καθώς αυξάνεται η περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανικό άνθρακα, αυξάνεται το μέγεθος και η σταθερότητα των συσσωματωμάτων [26].

2.7 Φυσικοχημικές ιδιότητες

2.7.1 pH εδάφους

Το pH (πε χα) καθορίζει την οξύτητα ή την αλκαλικότητα του εδάφους. Ορίζεται ως ο αρνητικός δεκαδικός λογάριθμος της συγκεντρώσεως των ιόντων υδρογόνου στο εδαφικό διάλυμα. Όταν το pH παίρνει τιμές κάτω από 7, τότε το διάλυμα είναι όξινο ενώ όταν οι τιμές είναι πάνω από 7, αλκαλικό. Η ανάπτυξη των φυτών και η βλάστηση κάθε είδους επηρεάζεται από το pH του εδάφους, καθώς η τιμή του pH καθορίζει την απορρόφηση και τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων του εδάφους. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή του pH στο έδαφος είναι:

- η βροχόπτωση,
- το είδος των καλλιεργούμενων φυτών, και
- η χρησιμοποίηση λιπασμάτων
- η εναπόθεση αέριων, υγρών ή στερεών ρύπων [31]

2.7.2 Ανταλλαγή κατιόντων

Η ανταλλαγή κατιόντων είναι μία από τις σημαντικές χημικές δράσεις των εδαφών (ή ιζημάτων). Η δράση αυτή των εδαφών (ή ιζημάτων) εκφράζεται με τον όρο ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (CEC, cation-exchange capacity): την ποσότητα μονοσθενών κατιόντων που μπορούν να ανταλλαγούν ανά 100 g εδάφους, και εξαρτάται από το pH του εδάφους και το pE (οξειδοαναγωγικό δυναμικό των ουσιών που εναλλάσσονται). Τα ορυκτά και η οργανική ύλη των εδαφών ανταλλάσσουν κατιόντα. Τα αργίλικα ορυκτά και η οργανική ύλη, όπως τα χουμικά οξέα, έχουν μεγάλη ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων. Η ανταλλαγή αυτή στα εδάφη διευκολύνει την παραλαβή από τα φυτά του νατρίου, καλίου, μαγνησίου και ασβεστίου με αντίστοιχη αύξηση της συγκέντρωσης κατιόντων υδρογόνου, που καθιστά τα εδάφη όξινα [31].

2.7.3 Ανταλλαγή ανιόντων

Είναι η ιδιότητα των εδαφών να απορροφούν και να αποδίδουν ανιόντα. Τα ανιόντα δεν δεσμεύονται από το έδαφος στις ίδιες θέσεις με τα κατιόντα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός, ότι τόσο η εδαφική ιλύς, όσο και το οργανικό υλικό, έχουν μόνο αρνητικά φορτισμένες θέσεις

δέσμευσης. Θρεπτικά συστατικά τα οποία βρίσκονται σε ανιοντική μορφή είναι το άζωτο (NO_3^-), ο φώσφορος (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-}), θείο (SO_4^-), χλώριο (Cl^-), βόριο ($\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$) και μολυβδένιο (MoO_4^-). Ένα αρνητικά φορτισμένο ιόν, που δεσμεύεται πάνω ή κοντά σε στερεή επιφάνεια, με θετικά φορτισμένη θέση δέσμευσης, μπορεί εύκολα να αντικατασταθεί από ένα άλλο ανιόν [31].

2.7.4 Διαλυτότητα – pH

Η συγκέντρωση των υδρογονιόντων είναι ένας σημαντικός παράγοντας διαλυτότητας των δυσδιάλυτων ενώσεων και λειτουργεί ρυθμιστικά, όσον αφορά τη συγκέντρωση των ιόντων του εδαφοδιαλύματος, που βρίσκονται σε ισορροπία με τη στερεά φάση του εδάφους.

Σε γενικές γραμμές, τα ουδέτερα εδάφη παρουσιάζουν υψηλότερες ιοντικές συγκεντρώσεις απ' ό,τι τα όξινα εδάφη. Η διαλυτότητα των υδροξειδίων του Al και του Fe εξαρτάται από τη συγκέντρωση των υδροξειδίων (OH^-) και ελαττώνεται καθώς το pH αυξάνεται. Επίσης, τα υδρογονιόντα (H^+) ανταγωνίζονται με άλλα όξινα (κατά Lewis) κατιόντα για την κατάληψη σημείων ιοντικής ανταλλαγής στα σύμπλοκα. Κατά αυτόν τον τρόπο, η διαλυτότητα κατιόντων όπως ο Cu και ο Zn αυξάνεται όταν το pH μειώνεται.

Η διαλυτότητα των φωσφορικών ενώσεων Fe, Al και Ca αυξάνεται με το pH. Ειδικότερα, η διαλυτότητα των φωσφορικών ενώσεων με Al και Fe αυξάνεται καθώς το pH ανέρχεται μέχρι το σημείο ουδετερότητας. Αντίθετα, η διαλυτότητα των φωσφορικών ενώσεων του ασβεστίου μειώνεται όσο το pH γίνεται πιο αλκαλικό.

Επίσης, το pH ελέγχει τη διαλυτότητα των ανθρακικών και πυριτικών ορυκτών [32,33,34,35].

2.7.5 Οξύτητα του εδάφους

Η οξύτητα των εδαφών προκαλείται από την παραγωγή H^+ καθώς και από την έκπλυση των κατιόντων K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} από το έδαφος. Σε πρώτη φάση το pH των ανόργανων συστατικών του εδάφους επηρεάζεται από την περιεκτικότητα του μητρικού υλικού σε βασικά κατιόντα, όπως Ca και Mg. Τα κατιόντα αυτά καθώς απελευθερώνονται με τη διαδικασία της αποσάθρωσης, προσροφούνται από τα συστατικά του εδάφους ή εκπλύνονται.

Τα ιόντα του υδρογόνου που προκαλούν μείωση του pH του εδάφους προέρχονται από:

- Το CO_2 που παράγεται από την αναπνοή διαφόρων οργανισμών του εδάφους καθώς και από τις ρίζες των φυτών σύμφωνα με την αντίδραση :



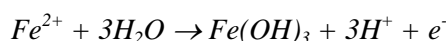
- Τις **ρίζες των φυτών** κατά τις διαδικασίες πρόσληψης των θρεπτικών συστατικών. Τα H^+ προκαλούν σε πρώτη φάση μείωση του pH της ριζόσφαιρας και σιγά-σιγά οξινίζουν τη στερεά φάση του εδάφους.

- Την **οργανική ουσία**, η οποία μειώνει το pH του εδάφους λόγω της εύκολης έκπλυσης των διαλυτών συμπλόκων που σχηματίζει με βασικά κατιόντα όπως Ca^{2+} και Mg^{2+} , καθώς επίσης και της απομάκρυνσης H^+ από τις ομάδες R-COOH και R-OH.

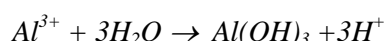
- Την **οξείδωση των ενώσεων που περιέχουν S και N** κατά την οποία παράγεται H_2SO_4 και HNO_3 αντίστοιχα. Τα δύο αυτά οξέα στο εδαφικό περιβάλλον δίστανται σύμφωνα με τις αντιδράσεις :



- **Οξείδωση των ενώσεων που περιέχουν Fe^{2+} και Mn^{2+}** η οποία συμβαίνει κατά την χημική αποσάθρωση των ορυκτών, σύμφωνα με τις αντιδράσεις :



- **Υδρόλυση του Al^{3+}** το οποίο βρίσκεται στο εδαφικό διάλυμα σύμφωνα με την αντίδραση :



- **Ρύπανση των εδαφών.** Σημαντικές ποσότητες SO_2 , NO_2 , καθώς και άλλων ενώσεων παράγονται λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητας. Οι ενώσεις αυτές διαλυόμενες στο νερό των κατακρημνισμάτων μειώνουν το pH σε τιμές μικρότερες από τις τιμές που έχει το καθαρό νερό όταν βρίσκεται σε ισορροπία με το CO_2 της ατμόσφαιρας. Τα όξινα αυτά κατακρημνίσματα τελικώς εισερχόμενα στο έδαφος μειώνουν το pH του.

- **Λίπανση.** Η λίπανση πολλές φορές οδηγεί σε αύξηση της οξύτητας του εδάφους, όπως για παράδειγμα συμβαίνει με τη προσθήκη αζωτούχων ενώσεων στο έδαφος και κυρίως της αμμωνίας, η οξείδωση της οποίας από βακτήρια του εδάφους παράγει ισχυρά οξέα, όπως φαίνεται και στις παρακάτω αντιδράσεις:



Η αύξηση της οξύτητας του εδάφους που παρατηρείται πλησίον της χοιροτροφικής μονάδας οφείλεται κυρίως σε αυτό το μηχανισμό.

▪ **Απομάκρυνση της βιομάζας.** Με την απομάκρυνση της βιομάζας απομακρύνονται παράλληλα σημαντικές ποσότητες βάσεων που περιέχονται σε αυτή με αποτέλεσμα να μειώνεται το pH του εδάφους.

Τα H^+ του εδάφους είτε βρίσκονται στο εδαφικό διάλυμα, είτε είναι προσροφημένα στα ανόργανα και οργανικά κolloειδή. Μεταξύ αυτών των δύο παρατηρείται μια δυναμική ισορροπία. Αυτό σημαίνει ότι όταν μειωθεί η συγκέντρωση H^+ στο εδαφικό διάλυμα τότε προσροφημένα από τα κolloειδή H^+ θα μετακινηθούν προς το εδαφικό διάλυμα ή αντίθετα όταν αυξηθεί η συγκέντρωση H^+ στο εδαφικό διάλυμα τότε για την αποκατάσταση της χημικής ισορροπίας, H^+ θα προσροφηθούν από τα κolloειδή του εδάφους.

Η συγκέντρωση H^+ στο εδαφικό διάλυμα ονομάζεται ενεργός οξύτητα και εκφράζεται με το pH, ενώ η ποσότητα των H^+ που είναι προσροφημένα στα κolloειδή του εδάφους ονομάζεται εναλλακτική ή ανταλλάξιμη οξύτητα και εκφράζεται σε cmol/kg εδάφους. Ταυτόχρονα υπάρχει στο έδαφος και η μη ανταλλάξιμη οξύτητα η οποία οφείλεται κυρίως στην παρουσία των υδροξειδίων του Al [26].

Η αρνητική επίδραση της εδαφικής οξύτητας στην ανάπτυξη των φυτών είναι πολλαπλή. Όπως αποδεικνύουν πολλά πειράματα σε όξινα θρεπτικά διαλύματα με $pH \leq 5$, τα φυτά αντέχουν σε σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις υδρογονιόντων στο περιβάλλον των ριζών τους.

Παρ' όλα αυτά η οξύτητα αυτής της τάξεως περιορίζει την ανάπτυξη στα περισσότερα είδη φυτών. Τα κύρια αίτια τοξικής δράσεως υπό τις συνθήκες αυτές σχετίζονται με τις υψηλές συγκεντρώσεις Al και Mn που απαντώνται στα όξινα εδάφη [36].

2.7.6 Αλκαλικότητα του εδάφους

Τα αλκαλικά εδάφη χαρακτηρίζονται από πλεόνασμα στην εν διαλύσει φάση του ιόντος υδροξυλίου (OH^-) που υπερβαίνει αρκετά το σημείο ουδετερότητας ($>7,0$). Στα αλκαλικά εδάφη η παρουσία ελεύθερων διαλυτών αλάτων είναι περιορισμένη, αλλά υπάρχει περίσσεια ελεύθερων ανθρακικών αλάτων του ασβεστίου και του μαγνησίου (ασβεστίτης και δολομίτης). Υπό τις συνθήκες αυτές στην εν διαλύσει φάση του εδάφους (σε ισορροπία με την αέρια φάση) επικρατεί το σύστημα $CaCO_3 - CO_2$ και το pH δεν υπερβαίνει το 8,5. Τα αρνητικά φορτία των οργανικών και κρυσταλλικών κolloειδών είναι κορεσμένα με μεταλλικά κατιόντα (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}), τα οποία έχουν εκτοπίσει τα όξινα κατιόντα υδρογόνου και αργιλίου.

Το πλεόνασμα υδροξυλίων που δημιουργεί την αλκαλικότητα προέρχεται από την υδρόλυση κolloειδών κορεσμένων με μεταλλικά κατιόντα, κυρίως με Ca^{2+} :



Στα εδάφη των ημιξηρικών και ξηρικών κλιματικών ζωνών απαντώνται οι συνθήκες εκείνες που επιτρέπουν τη μόνιμη παρουσία των μεταλλικών κατιόντων, δηλαδή συσσώρευση αλάτων και περιορισμένη έκπλυση.

Υπό τις ως άνω συνθήκες ήπιας αλκαλικότητας και περίσσειας CaCO_3 , η γονιμότητα του εδάφους επηρεάζεται κατά διάφορους τρόπους. Κύριο χαρακτηριστικό είναι η μειωμένη διαθεσιμότητα του P, λόγω δέσμευσης του κυρίως υπό μορφή δυσδιάλυτων ενώσεων με το Ca. Επίσης, η μειωμένη διαθεσιμότητα των μεταλλικών μικροθρεπτικών καθώς και του βορίου.

Στα αλκαλικά ασβεστολιθικά εδάφη πολλά καλλιεργούμενα είδη, ή και ποικιλίες βοτανικών ειδών, παρουσιάζουν έντονο πρόβλημα ανεπάρκειας Fe λόγω μειωμένης πρόσληψης αλλά και αδρανοποίησης του μικροθρεπτικού αυτού συστατικού στο φύλλωμα. Δεν είναι εξάλλου ασυνήθη τα φαινόμενα ανταγωνισμού κατιόντων, που οφείλονται σε μη ισόρροπη παρουσία τους στο εδαφικό σύστημα. Ειδικότερα, ο ανταγωνισμός των K-Mg, ίσως δε και των Ca-Mg οδηγεί συχνά σε τροφopenία Mg.

Σε αλκαλικό pH η νιτροποίηση του αμμωνιακού N είναι ταχεία το δε παραγόμενο νιτρικό N εάν δε συλληφθεί από τις ρίζες, απομακρύνεται εύκολα δι' έκπλυσεως. Στα ασβεστολιθικά εδάφη οι απώλειες N υπό μορφή αέριας αμμωνίας είναι συχνά σοβαρές μετά από προσθήκη αμμωνιακών λιπασμάτων ή ουρίας.

Η πλειονότητα των ελληνικών εδαφών είναι εδάφη ελαφρώς αλκαλικά που περιέχουν αρκετές ποσότητες ανθρακικών και δισανθρακικών αλάτων. Στα εδάφη αυτά, το pH ρυθμίζεται από τη μερική πίεση του CO_2 στην ατμόσφαιρα του εδάφους εν ισορροπία με το εδαφοδιάλυμα. Εάν η μερική πίεση του CO_2 είναι η ίδια με την εξωτερική ατμόσφαιρα το pH ισούται με 8,5. Αν όμως η μερική πίεση του CO_2 αυξηθεί κατά 0,02 atm το pH υποβιβάζεται στο 7,5 [25,36,37,38].

2.7.7 Ταξινόμηση εδαφών βάση του pH.

Σύμφωνα με τις τιμές του εδαφικού pH, το έδαφος μπορεί να ταξινομηθεί ως εξής:

Πίνακας 2.2 : Ταξινόμηση εδαφών σύμφωνα με το pH του [39]

	pH		pH
Ελαφρώς όξινο	7 – 6	Ελαφρώς αλκαλικό	7 - 8
Μετρίως όξινο	6 – 5	Μετρίως αλκαλικό	8 - 9
Ισχυρά όξινο	5 – 4	Ισχυρά αλκαλικό	9 -10
Πολύ ισχυρά όξινο	4 – 3	Πολύ ισχυρά αλκαλικό	10 – 11

2.7.8 Ρυθμιστική ικανότητα του εδάφους.

Ως ρυθμιστική ικανότητα του εδάφους ορίζεται η αντίσταση του σε κάθε αλλαγή των συνθηκών οξύτητας ή αλκαλικότητας που μπορεί να προκληθεί από την προσθήκη όξινων ή βασικών ενώσεων σε αυτό.

Ασβεστολιθικά εδάφη με pH πάνω από 7 (τα περισσότερα ελληνικά εδάφη, όπως και το έδαφος από όπου πάρθηκαν τα δείγματα για την προκείμενη μελέτη, ανήκουν σε αυτή την κατηγορία) βρίσκονται στην «ασβεστολιθική εξισορροπητική κατάσταση» και εξισορροπούνται κυρίως με CaCO_3 .



Έτσι αν για κάποιο λόγο προστεθούν στο έδαφος ιόντα H^+ τότε η αντίδραση (I) θα μετατοπισθεί προς τα δεξιά. Αντίθετα αν προστεθούν OH^- η αντίδραση (II) θα μετατοπισθεί προς τα αριστερά και το διαλυτό $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ θα μετατραπεί σε αδιάλυτο CaCO_3 .

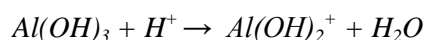
Εδάφη που έχουν pH που κυμαίνεται από 5 – 6,5 βρίσκονται στην «πυριτική εξισορροπητική κατάσταση» και εξισορροπούνται με ορθοκλάστη ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$) που προκαλεί την απελευθέρωση θρεπτικών κατιόντων, όπως:



Τα όξινα μετεωρικά κατακρημνίσματα προκαλούν οξίνιση του εδάφους και έκπλυση του εναλλακτικού Ca και Mg, όπως και αύξηση της διαλυτότητας του Al.

Η ρυθμιστική ικανότητα του εδάφους επηρεάζεται επίσης από :

▪ **Την υδρόλυση των υδροξειδίων του αργιλίου και του σιδήρου**, η οποία σε πολύ όξινες συνθήκες (pH 4-5,5) αποτελεί το κύριο μηχανισμό ρύθμισης του pH του εδαφικού διαλύματος.

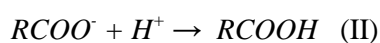
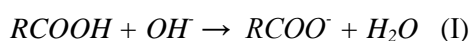


Από την αντίδραση αυτή φαίνεται ότι τα υδροξείδια του αργιλίου καταναλώνουν H^+ όταν αυξηθεί η συγκέντρωση των H^+ στο εδαφικό διάλυμα ή παράγουν H^+ με την υδρόλυση του $\text{Al}(\text{OH})_3$ και με τον τρόπο αυτό ρυθμίζεται το pH του εδάφους.

▪ **Την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων** : Τα ανταλλάξιμα κατιόντα που βρίσκονται προσροφημένα στα κολλοειδή του εδάφους βρίσκονται πάντοτε σε χημική ισορροπία με αυτά του εδαφικού διαλύματος. Αυτό σημαίνει ότι όταν αυξηθεί η συγκέντρωση ενός κατιόντος στο εδαφικό διάλυμα, για την αποκατάσταση της χημικής ισορροπίας μια ποσότητα του κατιόντος αυτού θα αντικαταστήσει άλλα κατιόντα που βρίσκονται προσροφημένα στα κολλοειδή. Το ίδιο συμβαίνει και με τα H^+ στο εδαφικό διάλυμα. Στην περίπτωση αυτή τα H^+ που βρίσκονται σε περίσσεια θα αντικαταστήσουν άλλα κατιόντα, όπως K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} που

βρίσκονται προσροφημένα στα κolloειδή. Η αντικατάσταση αυτή θα προχωρήσει έως ότου αποκατασταθεί μια νέα χημική ισορροπία. Με τον τρόπο αυτό ελέγχεται το pH του εδάφους. Ο μηχανισμός αυτός λειτουργεί όταν το pH του εδάφους βρίσκεται γύρω στο 6.

■ **Τις υδροξυλικές ομάδες της οργανικής ουσίας (R-OH) :** Η οργανική ουσία του εδάφους περιέχει πολλές αλκοολικές (R-OH) και καρβοξυλικές ρίζες (R-COOH). Η δύναμη με την οποία συγκρατούνται τα H⁺ στις ρίζες ποικίλει, κυρίως ανάλογα με το pH στο οποίο βρίσκονται. Όταν προστεθούν στο έδαφος OH⁻ τότε αυτά ενώνονται με τα H⁺ των καρβοξυλικών ριζών και σχηματίζουν H₂O, ενώ ταυτόχρονα εμφανίζεται αρνητικό φορτίο (αντίδραση I). Το αντίθετο συμβαίνει όταν προστεθούν H⁺ στο έδαφος (αντίδραση II).



Με τον τρόπο αυτό δρα ο μηχανισμός της ρύθμισης του pH από την οργανική ουσία του εδάφους. Παράλληλα όμως και η υδρόλυση των συμπλόκων μεταξύ της οργανικής ουσίας και του αργιλίου μπορεί να ρυθμίζει το pH του εδάφους. Στην περίπτωση αυτή όταν προστεθούν OH⁻ από τις σύμπλοκες αυτές ενώσεις απελευθερώνεται αργίλιο το οποίο υδρολύει το νερό και ταυτόχρονα παράγει H⁺ που ρυθμίζουν το pH [26].

2.7.9 Έκπλυση των βάσεων στα όξινα εδάφη.

Η έκπλυση των βάσεων από το έδαφος γίνεται ταυτόχρονα με την κίνηση του εδαφικού διαλύματος και συνδέεται με την παράλληλη έκπλυση και των ανιόντων. Όλες οι ιδιότητες του εδάφους που επηρεάζουν την ταχύτητα κίνησης του εδαφικού διαλύματος μέσα από τη μάζα του εδάφους επηρεάζουν και την έκπλυση των βάσεων. Μεταξύ αυτών η κοκκομετρική σύσταση του εδάφους παίζει καθοριστικό ρόλο. Η μεγάλη επίσης ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων μειώνει την ποσότητα των εκπλυομένων βάσεων.

Σε πρώτο στάδιο εκπλύνονται τα περισσότερο ευκίνητα κατιόντα και ιδιαίτερα αυτά που σχηματίζουν διαλυτά άλατα, όπως το Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺. Τα κατιόντα αυτά του εδαφικού διαλύματος βρίσκονται συνήθως σε χημική ισορροπία με τα αντίστοιχα που βρίσκονται στις θέσεις εναλλαγής. Τα ανιόντα που μετακινούνται είναι ανόργανης μορφής, όπως για παράδειγμα είναι τα NO₃⁻, CO₃²⁻, SO₄²⁻ ή οργανικής μορφής, όπως τα γαλακτικά ιόντα. Τα πολυσθενή κατιόντα σπάνια μετακινούνται ως άλατα, εκτός από το Mn²⁺ και τον Fe²⁺ όταν βρεθούν σε αναγωγικό περιβάλλον και το Al³⁺ όταν βρεθεί σε πολύ όξινες συνθήκες. Η μετακίνηση των κατιόντων Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ οδηγεί σε μια σταδιακή αντικατάστασή τους με Al³⁺ ή H⁺ τα οποία σιγά-σιγά οδηγούν σε οξίνιση της στερεάς φάσης του εδάφους.

Η ταχύτητα έκπλυσης των βάσεων εξαρτάται από το είδος του ιόντος. Τα μονοσθενή κατιόντα εκπλύνονται ευκολότερα σε σχέση με τα δισθενή. Το Na^+ θεωρείται ότι είναι ένα από τα περισσότερο ευκίνητα κατιόντα του εδάφους [26].

2.7.10 Οικολογική σημασία του pH του εδάφους

Το pH του εδαφικού διαλύματος είναι η ιδιότητα που επηρεάζει την αύξηση όλων των οργανισμών. Για παράδειγμα αναφέρεται ότι μη προσαρμοσμένα σε συνθήκες υψηλής οξύτητας είδη παρουσιάζουν ευαισθησία σε υψηλές συγκεντρώσεις Al^{3+} , Mn^{2+} και H^+ , και εμφανίζουν συμπτώματα έλλειψης θρεπτικών στοιχείων, όπως Ca^{2+} , Mg^{2+} , Mo και P. Αντίθετα σε συνθήκες υψηλής αλκαλικότητας πολλά είδη παρουσιάζουν ευαισθησία σε υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων Na, καθώς και σε ελλείψεις θρεπτικών στοιχείων όπως Fe, Zn και P λόγω μετατροπής τους σε αδιάλυτες μορφές.

Τα εδάφη με $\text{pH} < 5$ παρουσιάζουν έλλειψη θρεπτικών στοιχείων, ιδιαίτερα Ca, K, Mg. Επίσης τα εδάφη αυτά, όπως έχει ήδη αναφερθεί, παρουσιάζουν μεγάλη διαλυτότητα των πρωτογενών και δευτερογενών ορυκτών και εμφανίζουν συνήθως υψηλές συγκεντρώσεις Mn, Cu, και Al με αποτέλεσμα να δημιουργούνται τοξικές για την ανάπτυξη των φυτών συνθήκες. Επίσης κάτω από αυτές τις συνθήκες τα φωσφορικά ανιόντα σχηματίζουν αδιάλυτα σύμπλοκα με το Mn, Al και Fe με αποτέλεσμα να μειώνονται σημαντικά οι ποσότητες της βιοδιαθέσιμης μορφής φωσφόρου.

Παράλληλα στα εδάφη αυτά η βιολογική δραστηριότητα περιορίζεται με αποτέλεσμα να περιορίζεται η αποσύνθεση των οργανικών υπολειμμάτων. Κάτω από αυτές τις συνθήκες επικρατεί η δράση των μυκήτων και περιορίζεται η δράση των βακτηρίων και των αμινομυκήτων και μειώνεται η ταχύτητα νιτροποίησης του αμμωνιακού αζώτου.

Αντίθετα σε εδάφη με $\text{pH} > 7,5$ παρουσιάζονται συνθήκες έλλειψης βιοδιαθέσιμων μορφών Fe, Cu, Mn, B και P. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα θρεπτικά αυτά στοιχεία δεσμεύονται σε αδιάλυτες μορφές. Επίσης, ο βαθμός κορεσμού των κολλοειδών της αργίλου σε Na αυξάνεται, με αποτέλεσμα η άργιλος να διασπείρεται, να περιορίζεται η αποστράγγιση και ο αερισμός του εδάφους. Στα εδάφη αυτά εμφανίζονται διάφοροι παθογόνοι μικροοργανισμοί.

2.7.11 Ηλεκτρική Αγωγιμότητα

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι η αριθμητική έκφραση των ηλεκτρικών φορτίων που φέρει ένα διάλυμα. Η αγωγιμότητα ενός δείγματος νερού εξαρτάται, κυρίως, από την ολική συγκέντρωση των ιοντιζομένων ουσιών, που περιέχονται στο δείγμα και τη θερμοκρασία, στην οποία έγινε η μέτρηση.

Η μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του ύδατος μας επιτρέπει να έχουμε στοιχεία για την υπάρχουσα συγκέντρωση των ιόντων και κατά προέκταση για τα διαλυμένα άλατα. Όσο

υψηλότερη είναι η συγκέντρωση των αλάτων τόσο μεγαλύτερη είναι η αγωγιμότητα. Η σχέση μεταξύ της αγωγιμότητας και των διαλυμένων αλάτων εκφράζεται – αναλόγως της εφαρμογής κατά προσέγγιση ως εξής:

Αγγλικοί βαθμοί: $1,4 \mu\text{S}/\text{cm} = 1\text{ppm}$ (parts per million CaCO_3) ή

Αμερικάνικοι βαθμοί : $2 \mu\text{S}/\text{cm} = 1\text{ppm}$ (parts per million CaCO_3)

Όπου $1 \text{ppm} = 1 \text{mg}/\text{L}$, η οποία είναι μονάδα μέτρησης για τα διαλυμένα άλατα, που δίνονται ως Total Dissolved Solids (TDS).

Η αγωγιμότητα L , ορίζεται ως το αντίστροφο της αντιστάσεως και η μονάδα της είναι το αντίστροφο ohm (ohm^{-1}) ή mho που καλείται σήμερα και μονάδα Siemens, και δίδεται από τη σχέση:

$$L = (a/d) \sum c_i \lambda_i$$

όπου a είναι το εμβαδόν των ηλεκτροδίων σε cm^2 , d η μεταξύ τους απόσταση cm , c η συγκέντρωση των ιόντων ως ισοδύναμα βάρη ανά cm^3 και λ η ισοδύναμη ιοντική αγωγιμότητα των ιόντων αυτών. Όλα τα ιόντα συνεισφέρουν στην αγωγιμότητα κατά αθροιστικό τρόπο.

Μονάδα μέτρησης της αγωγιμότητας είναι το $\mu\text{mhos}/\text{cm}$ ή mS/m ($1 \text{mS}/\text{m} = 10 \mu\text{mhos}/\text{cm}$).

Πρόσφατα απεσταγμένο νερό έχει αγωγιμότητα από $0,5$ έως $2 \mu\text{mhos}\cdot\text{cm}^{-1}$ το οποίο μετά από μερικές μέρες παραμονής αυξάνει την τιμή του σε 2 ή $4 \mu\text{mhos}\cdot\text{cm}^{-1}$. Αυτό οφείλεται στην απορρόφηση διοξειδίου του άνθρακος από την ατμόσφαιρα ή και αμμωνίας από τον υπάρχοντα εργαστηριακό χώρο.

Τα συνήθη φυσικά ύδατα έχουν τιμές ειδικής αγωγιμότητας από 50 - $500 \mu\text{mhos}\cdot\text{cm}^{-1}$ και τα ιαματικά από 500 - 1000 και περισσότερο. Σε ορισμένες περιπτώσεις βιομηχανικών αποβλήτων η τιμή μπορεί να φτάσει στα $10.000 \mu\text{mhos}\cdot\text{cm}^{-1}$.

Με τη μέτρηση της αγωγιμότητας έχουμε τη δυνατότητα να συνάγουμε ωφέλιμα συμπεράσματα για ,

- τον έλεγχο της καθαρότητας του απεσταγμένου ή απιονισμένου ύδατος
- τη διακύμανση των διαλυμένων αλάτων στα φυσικά ή ιαματικά ύδατα.
- το μέγεθος του δείγματος που χρειάζεται για μια χημική ανάλυση του ύδατος.
- την ποιότητα των διαλυμένων ιοντικών ενώσεων σε ένα δείγμα ύδατος.

Επίσης, η μέτρηση της αγωγιμότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως κριτήριο για την επίδραση των διαφόρων ιόντων στις χημικές ισορροπίες, το ρυθμό διάβρωσης των μετάλλων, την ανάπτυξη φυτών και ζώων, την απόδοση των ιοντοανταλλακτικών ρητινών ή άλλων συσκευών αποσκλήρυνσης του νερού. Μάλιστα, πολλές συσκευές αποσκλήρυνσης του νερού, διαθέτουν ενσωματωμένο αγωγιμόμετρο για το συνεχή έλεγχο της συσκευής.

Ακόμα, με τη μέτρηση της αγωγιμότητας μπορεί να γίνει μια γρήγορη εκτίμηση των ημερησίων διακυμάνσεων των διαλυμένων μεταλλοϊόντων στα απόβλητα βιομηχανιών.

Επειδή ο ξεχωριστός έλεγχος των μετάλλων είναι χρονοβόρος, η μέτρηση τους μπορεί να αντικατασταθεί από τη μέτρηση της αγωγιμότητας, εφόσον βέβαια προηγηθούν οι σχετικές δοκιμασίες από τις οποίες θα προκύψουν οι συντελεστές συσχέτισης της αγωγιμότητας με τη συγκέντρωση των μεταλλοιδίων.

Με ανάλογο τρόπο μπορεί να συσχετιστεί η απαιτούμενη ποσότητα χημικών ουσιών που απαιτείται για την εξουδετέρωση ή κροκίδωση ορισμένων αποβλήτων ή για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης των ολικών διαλυμένων στερεών σε ανά δείγμα.

Μια άλλη προσέγγιση για να εκτιμηθεί το σύνολο ανιόντων και κατιόντων (σε meq/l) που υπάρχουν σε ένα δείγμα νερού είναι δυνατή, πολλαπλασιάζοντας την αγωγιμότητα (μhos/cm) επί τον συντελεστή 0,01 [25].

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα των συνηθέστερα απαντώμενων ιόντων στο νερό φαίνεται στον πίνακα 2.3

Πίνακας 2.3 : Ηλεκτρική αγωγιμότητα ορισμένων ιόντων σε πρότυπα υδατικά διαλύματα [25]

Ιόν	Αγωγιμότητα , σε $\mu S/cm$ (ανά mg/L)
χλώριο (Cl^-)	2,14
νιτρικά (NO_3^-)	1,15
διττανθρακικά (HCO_3^-)	0,715
ανθρακικά (CO_3^{2-})	2,82
θειικά (SO_4^{2-})	1,54
νάτριο (Na^+)	2,13
κάλιο (K^+)	1,84
ασβέστιο (Ca^{++})	2,60
μαγνήσιο (Mg^{++})	3,82

2.8 Έδαφος και νερό

Το νερό παίζει σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση των εδαφών και στη μεταφορά θρεπτικών υλικών που απαιτούνται για την ανάπτυξη των φυτών. Τα εδάφη με μεγαλύτερο ποσοστό οργανικής ύλης συγκρατούν περισσότερο νερό. Επίσης, υπάρχει αρκετή αλληλεπίδραση νερού με τον άργιλο του εδάφους. Όταν όμως το νερό εγκλωβισθεί και ξεπεράσει ορισμένα επίπεδα οι μικροοργανισμοί διάσπασης της οργανικής ύλης ενεργοποιούνται, το οξυγόνο χρησιμοποιείται ταχύτατα για την αναπνοή τους και η συνεκτικότητα των κolloειδών σωματιδίων που συγκρατεί το έδαφος μειώνεται. Το έδαφος διασπάται, το οξυγόνο που απαιτούν οι ρίζες των φυτών μειώνεται και αρχίζει η αποσύνθεση της φυτικής ύλης. Η περίσσεια νερού στο έδαφος έχει ως αποτέλεσμα τη μετακίνηση διαλυτών αλάτων σιδήρου και μαγνητίου που σε μεγάλες συγκεντρώσεις είναι τοξικά στα φυτά [40].

2.8.1 Υδρολογικός κύκλος

Το μεγαλύτερο μέρος του πόσιμου νερού παγκοσμίως, προέρχεται από βροχοπτώσεις ως αποτέλεσμα της εξατμίσεως του θαλασσινού νερού. Η υδατική αυτή μεταφορά από την θάλασσα στην στεριά και αντίστροφα ονομάζεται κύκλος του νερού.



Σχήμα 2.5: Κύκλος του νερού [28]

Τα δύο τρίτα της βροχόπτωσης που καταλήγει στην επιφάνεια του εδάφους, επιστρέφει στην ατμόσφαιρα με εξάτμιση. Το υπόλοιπο της βροχόπτωσης καταλήγει στην θάλασσα μέσω του εδάφους και των υπόγειων υδατικών μεταφορών.

- **Επιφανειακό νερό:** Τα επιφανειακά νερά που προορίζονται για πόση, προέρχονται από λίμνες ποτάμια, κανάλια και απορροές. Οι συνθήκες που επηρεάζουν την ποιότητα του νερού μπορούν να αλλάξουν δραματικά σε μικρό χρονικό διάστημα.
- **Υπόγεια νερά:** Τα υπόγεια νερά βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους και οι πηγές τους περιλαμβάνουν φρεάτια και σχισμές. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί στο παραπάνω σχήμα, όταν η βροχή φτάνει στο έδαφος, μέρος του νερού κυκλοφορεί στην επιφάνεια προς τις λίμνες και τα ποτάμια, άλλο μέρος του νερού εξατμίζεται, άλλο μέρος απορροφάται από τα φυτά και τέλος ένα μέρος διεισδύει στο υπέδαφος.
- **Επαναχρησιμοποιούμενο νερό:** Μια επιπλέον μορφή νερού πρέπει να συμπεριληφθεί σε κάθε συζήτηση σχετική με υδατικές πηγές, και ονομάζεται επαναχρησιμοποιούμενο νερό. Περιλαμβάνει το αφαλατωμένο θαλάσσιο νερό, το ανακυκλωμένο και επεξεργασμένο νερό διάφορων διεργασιών [27,28].

2.8.2 Καταστάσεις νερού στο έδαφος

Το υπόγειο νερό συγκρατείται από το έδαφος και δεσμεύεται σε αποθηκευτικούς χώρους του εδάφους (εδαφικές αποθήκες) και διακρίνεται σε δύο διαφορετικούς τύπους:

- το **βαρυντικό νερό** ή αλλιώς ελεύθερο νερό, είναι η ποσότητα του υπογείου νερού που απελευθερώνεται λόγω της δράσης της βαρύτητας. Ονομάζεται επίσης κινούμενο νερό ή διαθέσιμο νερό. Μόνο αυτό το νερό κυκλοφορεί στους υδροφορείς (υδροφόρα στρώματα), εξαιτίας της διαφοράς δυναμικού του εδάφους και τροφοδοτεί τα υδρομαστευτικά έργα και τις πηγές.
- το **νερό συγκράτησης** ή αλλιώς υδροσκοπικό ή προσροφημένο ή επιδερμικό νερό, είναι η ποσότητα του υπογείου νερού που συγκρατείται στα κενά, στην επιφάνεια των κόκκων ή των τοιχωμάτων των τριχοειδών ρωγμών, λόγω της δράσεως δυνάμεων πιο ισχυρών από τη βαρύτητα [27,28].

2.8.3 Εδαφικό υδατικό δυναμικό

Η υδατική ισορροπία είναι εξαρτώμενη από διάφορους παράγοντες, οι οποίοι προσδίδουν στο νερό μια συγκεκριμένη δυναμική ενέργεια (πίεση της αέριας φάσης, πορώδες, βαρύτητα). Το υδατικό δυναμικό είναι η απαιτούμενη ενέργεια για τη μεταφορά μιας μονάδας μάζας καθαρού νερού προς την υγρή φάση του εδάφους υπό ορισμένες συνθήκες. Η μέτρηση του δυναμικού αυτού γίνεται με τη βοήθεια ειδικών τενσιομέτρων.

Κατά τη διάρκεια της μεταφοράς του το νερό υφίσταται μια μεταβολή της ενέργειάς του, που οφείλεται στα εξής δυναμικά:

- **Δυναμικό της αέριας πίεσης.** αντιστοιχεί στην πίεση της αέριας φάσης που βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος και το νερό.
- **Δυναμικό της υδροστατικής πίεσης.** αντιστοιχεί στην ασκούμενη πίεση από τη βαρύτητα μιας στήλης νερού, η οποία βρίσκεται πάνω από το καθορισμένο όριο, μέσα σ' ένα έδαφος κορεσμένο από το νερό.
- **Δυναμικό της βαρύτητας.** η μεταβολή του δυναμικού αυτού οφείλεται στη βαρύτητα και είναι το αποτέλεσμα της αλλαγής του υψομετρικής θέσης του νερού.
- **Δυναμικό της όσμωσης.** η διαφορά της συγκέντρωσης ανάμεσα στο καθαρό νερό και στο διάλυμα του εδάφους προκαλεί το δυναμικό αυτό.
- **Μητρικό δυναμικό.** Αντιστοιχεί στις δυνάμεις που ασκούνται στο νερό του εδάφους από τη στερεά φάση. Οι δυνάμεις αυτές χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:
 - α) Τις τριχοειδείς δυνάμεις, οι οποίες σχετίζονται με τα φαινόμενα της επιφανειακής τάσης και επιτρέπουν τη συγκράτηση του νερού μέσα στα μικρά διάκενα.
 - β) Τις δυνάμεις μηχανικής πίεσης, οι οποίες οφείλονται στις ελκτικές ηλεκτροστατικές δυνάμεις που ασκούνται μεταξύ των θετικών φορτίων του νερού και των αρνητικών φορτίων

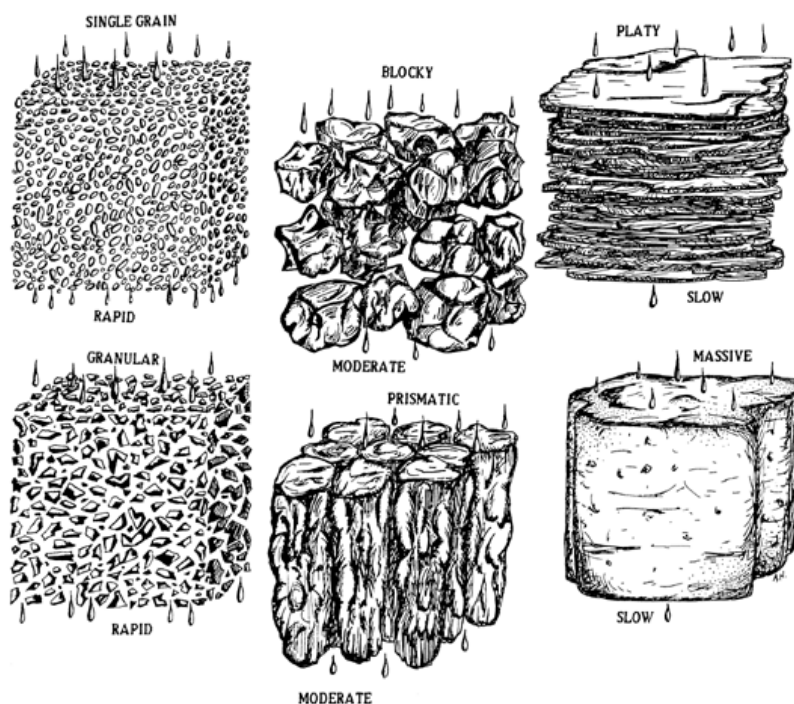
των κολλοειδών. Όταν το έδαφος είναι πλούσιο σε άργιλο ή χούμο, ο ρόλος των δυνάμεων αυτών είναι πολύ σημαντικός, διότι η διόγκωση αυτών των συσσωματωμάτων αυξάνει την πίεση του νερού στο πορώδες.

Αποκλειστικά, στο νερό που συγκρατείται στο έδαφος, οι σημαντικότερες ασκούμενες δυνάμεις είναι οι τριχοειδείς και οι οσμωτικές [27,28].

2.8.4 Εδαφική κυκλοφορία του νερού

Οι κινήσεις του νερού μέσα στο έδαφος καθορίζονται από τη βαρύτητα, η οποία προκαλεί την κίνηση του νερού προς τα κάτω, και από τις τριχοειδείς δυνάμεις, που εκφράζονται από τις μεταβολές του τριχοειδούς δυναμικού από το ένα σημείο στο άλλο (Σχήμα 2.6).

Όταν παρατηρείται κάποια τοπική μείωση της περιεκτικότητας σε νερό, σε κάποιο σημείο του εδάφους (η επιφανειακή στιβάδα που υπόκειται σε εξάτμιση ή η στιβάδα που περιέχει ένα σημαντικό δείκτη ριζών), προκαλείται μια ανύψωση της δύναμης μύζησης (αρνητική πίεση). Από αυτό συνεπάγεται μια ζήτηση του νερού που υπάρχει σε περίσσειμα σε γειτονικές περιοχές με περισσότερη υγρασία [27,28].



Σχήμα 2.6: Δομή του εδάφους και κίνηση του νερού[25]

2.8.5 Συντελεστής διαπερατότητας

Ένας αποθηκευτικός χώρος έχει τη δυνατότητα να διαπεραστεί από νερό υπό την επίδραση μιας υδραυλικής πίεσης. Αυτή την ιδιότητά του την καλούμε διαπερατότητα. Για τη μέτρηση της διαπερατότητας η σημαντικότερη παράμετρος, που χρησιμοποιείται, είναι ο συντελεστής διαπερατότητας.

Ορίζουμε το συντελεστή διαπερατότητας (K), ως τον όγκο του βαρυντικού νερού, σε κυβικά μέτρα, που διασχίζει στη μονάδα του χρόνου, κάτω από την επίδραση μιας μονάδας της υδραυλικής κλίσης, μια μονάδα διατομής σε τετραγωνικά μέτρα, κάθετη προς τη διεύθυνση της ροής, σε συνθήκες όπου ισχύει ο νόμος του Darcy ($T= 20^{\circ} C$). Εκφράζεται σε m/s και εξομοιώνεται με μια ταχύτητα.

$$K = [Q/A] * i$$

όπου: K = ο συντελεστής διαπερατότητας σε m/s

Q = η παροχή του νερού που διασχίζει τη μονάδα της διατομής σε m^3/s

A = η συνολική εσωτερική διατομή της διηθητικής μονάδας σε m^2

i = η υδραυλική κλίση η οποία προσδιορίζεται σαν την απώλεια φορτίου ανά μονάδα μήκους

Τα εδάφη με καθορισμένη δομή έχουν μια διαπερατότητα, η οποία μεταβάλλεται ελάχιστα συναρτήσει του χρόνου, σε αντίθεση με τα αργιλώδη εδάφη, που παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές, λόγω των φαινομένων της διόγκωσης και συρρίκνωσης. Επιπλέον, διασπώνται και παρασύρονται από τα νερά στράγγισης, τα μόρια της αργίλου που είναι ασταθή μετά τη διόγκωση και την αποσυσσωμάτωση, φράζοντας έτσι μεγάλους πόρους του εδάφους και μειώνοντας τη διαπερατότητα [28].

2.8.6 Εδαφικό διάλυμα

Το διάλυμα αυτό αποτελεί ένα πολύ δυναμικό και στην πραγματικότητα, το πιο ενεργό τμήμα του εδάφους, και συμβαίνουν σ' αυτό διάφορες χημικές και βιολογικές διεργασίες. Η σύσταση του εδαφικού διαλύματος είναι ένας σημαντικότερος παράγοντας της θρέψης, της ανάπτυξης και της αναπαραγωγής των φυτών και των μικροοργανισμών.

Στο εδαφικό διάλυμα ανιχνεύονται οι εξής ουσίες: αμμωνιακά, νιτρώδη, νιτρικά, χλωρίδια και θειικά ιόντα, σε μορφή αλάτων, με τα στοιχεία: ασβέστιο, μαγνήσιο, νάτριο και κάλιο, καθώς επίσης ενώσεις του σιδήρου, μαγνησίου, αργιλίου και πυριτίου. Τέλος, ανιχνεύονται στοιχεία, όπως βανάδιο, βόριο, μολυβδαίνιο, ράδιο κ.ά. Στον πίνακα 2.4 παρουσιάζονται στοιχεία για την διαλυτότητα των πιο διαδεδομένων αλάτων στο εδαφικό διάλυμα. Η διαλυτότητα αυτή είναι ανάλογη της θερμοκρασίας και επηρεάζεται επίσης βαθύτατα από την παρουσία αερίων.

Όταν το έδαφος στεγνώνει, η συγκέντρωση του διαλύματος σε άλατα αυξάνεται και στη συνέχεια αυτά κρυσταλλώνονται. Πρώτα πραγματοποιείται η κρυστάλλωση των ανθρακικών αλάτων των αλκαλίων και τέλος αυτή των ευδιάλυτων στοιχείων. Έχουν ανιχνευτεί στο εδαφικό διάλυμα, σε έρευνες, μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα και οξυγόνου, που προέρχονται από την ατμόσφαιρα ή δημιουργούνται μέσα σ' αυτό. Η διαλυτότητα των παραπάνω αερίων εξαρτάται από παράγοντες όπως είναι η βαρομετρική πίεση και η

θερμοκρασία. Ως γνωστό, υψηλότερη θερμοκρασία συνεπάγεται μείωση της διαλυτότητας των αερίων, ενώ υψηλότερη πίεση αύξηση της διαλυτότητας.

Τα κολλοειδή συστατικά του εδάφους αποτελούν το 5-20% της ξηρής φάσης του εδαφικού διαλύματος. Πυριτικό οξύ, υδροξείδιο του σιδήρου και αργιλίου μπορεί να ανιχνευτούν σε κολλοειδή μορφή.

Το εδαφικό διάλυμα, τέλος, περιέχει όλες τις αδιάλυτες ουσίες που δημιουργούνται και απελευθερώνονται από τα φυτά, τα ζώα και τους μικροοργανισμούς, καθώς και τις ουσίες που παράγονται από τις προηγούμενες με τη βοήθεια ενζύμων. Έτσι, μπορούμε να ανιχνεύσουμε στο εδαφικό διάλυμα χουμικά οξέα, άλατα και διάφορα είδη αλκοολών, εστέρων και τοξινών [22].

Στον Πίνακα 2.2 δίνονται οι τιμές διαλυτότητας των πιο διαδεδομένων αλάτων στο εδαφικό διάλυμα. Η διαλυτότητα αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και επηρεάζεται επίσης βαθύτατα από την παρουσία αερίων.

Πίνακας 2.4: Διαλυτότητα εδαφικών αλάτων (g/l) [22]

Άλας	0°C	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C
K ₂ CO ₃	10,53	10,83	11,05	11,37	11,69	12,13
KCl	276	310	340	370	400	426
KNO ₃	133	209	316	458	639	426
K ₂ SO ₄	74	92	111	130	148	166
Na ₂ CO ₃	7	125	215	388	485	--
NaHCO ₃	69	82	96	111	138	--
NaCl	357	358	360	363	366	370
NaNO ₃	721	779	845	916	984	1,041
Na ₂ SO ₄	50	90	194	408	--	--
CaCO ₃	--	--	0.0145	--	--	0,0152
Ca(HCO ₃) ₂	161,5	--	166	--	--	--
CaCl ₂	595	650	745	1,020	--	--
Ca(NO ₃) ₂	1,021	1,153	1,293	1,526	--	--
Ca(H ₂ PO ₄) ₂	--	--	153	--	170,5	--
CaSO ₄	1,759	1,928	--	2,090	2,097	--
MgCl ₂	528	535	545	--	575--	--
MgSO ₄	408	423	445	454	--	504

2.8.7 Είδη και τροφοδοσία υδρολογικών συστημάτων

Υπάρχουν τρία αλληλοεξαρτώμενα υδρολογικά συστήματα, που είναι τα εξής:

- **Υδρολογική λεκάνη.** Το σύνολο των επιφανειών που συνεισφέρουν στην τροφοδοσία του υδατορεύματος. Πρέπει όμως να αναφερθεί, πως η πραγματοποίηση της τροφοδοσίας του

υδατορεύματος, δεν γίνεται μόνο από τις επιφανειακές απορροές, αλλά και από τη συμβολή των υπογείων νερών που ενδέχεται να προ-έρχονται από υπόγειους υδροφορείς, οι οποίοι δεν αποτελούν τμήμα της υδρολογικής λεκάνης.

▪ **Υδρογεωλογική λεκάνη.** Αποτελεί τμήμα της υδρολογικής λεκάνης, που βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Τα υπόγεια νερά που περιορίζονται από την υδρολογική δομή περιλαμβάνονται σ' αυτή την κατηγορία.

▪ **Υδροφορέας ή υδροφόρο στρώμα.** Αποτελεί τον τομέα των υπογείων νερών. Ο υδροφορέας είναι ένας διαπερατός υδρογεωλογικός σχηματισμός, που επιτρέπει τη σύλληψη μεγάλων ποσοτήτων νερού, τη ροή των υπογείων υδάτων και την αποθήκευσή τους. Οι αποθηκευτικοί αυτοί χώροι πιθανώς να είναι συμπαγείς βράχοι που έχουν υποστεί ρωγμές.

Η υδρολογική λεκάνη αποτελείται από δύο ή περισσότερους υδροφορείς. Οι υδρογεωλογικοί σχηματισμοί, οι οποίοι αποτελούνται από ρηγματώδη ανθρακικά πετρώματα, απαντώνται σε μεγάλη αφθονία στη μεσογειακή περιοχή και αποτελούν σημαντικότερα υδατικά αποθέματα.

Η αποκλειστικότητα της τροφοδοσίας, της υδρολογικής λεκάνης που περιλαμβάνει τους υδροφορείς, εξασφαλίζεται αποκλειστικά από τις λεγόμενες «ενεργές» βροχοπτώσεις, αφού αφαιρεθούν οι απώλειες λόγω της εξατμισοδιαπνοής.

Σε γενικές γραμμές, γίνεται χωρισμός της ενεργής αυτής βροχόπτωσης σε δύο άνισα τμήματα στην επιφάνεια του εδάφους.

▪ **Άμεση απορροή.** Τροφοδοτεί την επιφανειακή ροή του υδρογραφικού πεδίου.

▪ **Κατείσδυση.** Αποτελεί την ποσότητα του νερού που διασχίζει την εδαφική επιφάνεια. Ανάλογα με τη φύση του εδάφους και τη γεωλογική δομή, η κατείσδυση επιτρέπει την τροφοδοσία των υδρογραφικών πεδίων, καθώς και την ανανέωση των υπόγειων νερών [27,28].

2.8.8 Υδατικές μεταφορές

Η υγρή φάση του εδάφους είναι ένα υδατικό διάλυμα ορυκτών στοιχείων και οργανικών ουσιών (εδαφικό διάλυμα). Το διάλυμα αυτό, επιτρέπει, εκτός των άλλων, την τροφοδοσία της βλάστησης. Για τον λόγο ότι ο ορίζοντας υγρασίας και το σκέπασμα ενός εδάφους είναι πολύ διαπερατά, εξωγενείς ιοντικές συνεισφορές, που προέρχονται από τις βροχές και τις αγροτικές πρακτικές, τροφοδοτούν περισσότερο ή λιγότερο γρήγορα το εδαφικό διάλυμα. Τα ιόντα που περιλαμβάνονται στο διάλυμα αυτό μπορούν να καταλήξουν:

▪ Στο πλέγμα προσρόφησης του εδάφους.

▪ Στην τροφοδοσία της βλάστησης, με το μηχανισμό της μοριακής διάχυσης λόγω της διαφοράς της συγκέντρωσης.

▪ Στην οριζόντια ή κάθετη μεταφορά [27,28].

2.8.9 Η τροφοδοσία της βλάστησης σε θρεπτικά συστατικά

Η ανάπτυξη και η αύξηση των φυτών απαιτούν την απορρόφηση περίπου 25 στοιχείων από τα οποία τα 6 απορροφώνται με τη μορφή ιόντων μέσα στο εδαφικό διάλυμα: άζωτο, φώσφορος, κάλιο, ασβέστιο, μαγνήσιο, θείο. Στα φυτά, η απορρόφηση των ορυκτών στοιχείων πραγματοποιείται από τα ριζικά τριχίδια ή από τις μη ξυλώδεις (πορώδεις) περιοχές των ριζών.

Θεωρία της ριζικής απορρόφησης: Δύο ουδέτερα μόρια, ίδιων διαστάσεων και ταυτόσημης ενεργότητας C_1 και C_2 που βρίσκονται σε δυο διαμερίσματα και χωρίζονται με μια διαπερατή μεμβράνη, υπακούουν στο νόμο του Fick. Σύμφωνα με το νόμο αυτό, η καθαρή ροή $\phi_{1,2}$ των μορίων από το (1) στο (2) είναι αντιστρόφως ανάλογη της διαφοράς ($C_2 - C_1$):

$$\phi_{1,2} = -P(C_2 - C_1)$$

όπου P είναι η σταθερά της διαπερατότητας της μεμβράνης στα μόρια που θεωρήσαμε.

Τα κύτταρα των φυτών απορροφούν εκλεκτικά τα ιόντα που τους προσφέρονται. Αυτή η επιλεκτικότητα ασκείται ιδιαίτερα απέναντι σε ορισμένα ιόντα, όπως το Na, που εισχωρούν πολύ δύσκολα στα κύτταρα. Αντίστροφα, τα κύτταρα συσσωρεύουν κάποια άλλα ιόντα, όπως το κάλιο, που κατά συνέπεια έχουν εκεί πολύ υψηλότερες συγκεντρώσεις από ότι στο μέσον. Συνήθως, οι ταχύτητες με τις οποίες διαπερνούν τη μεμβράνη ακολουθούν την παρακάτω φθίνουσα σειρά:

■ για τα κατιόντα : $\text{NH}_4^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{+2} > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+$

■ για τα ανιόντα : $\text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{H}_2\text{PO}_4^- > \text{SO}_4^{2-}$

Τα ανιόντα έχουν μικρότερη ταχύτητα από τα κατιόντα, αλλά η όξινη-βασική ισορροπία πρέπει πάντα να ικανοποιείται. Έτσι, στην περίπτωση του φωσφορικού αμμωνίου (σύνθεσης λίπασμα), το NH_4^+ εισχωρεί πολύ πιο γρήγορα από το H_2PO_4^- , οπότε για να πραγματοποιηθεί η ισορροπία πρέπει να γίνει ταυτόχρονη έξοδος πρωτονίων H^+ [27,28].

2.8.10 Προσρόφηση στο προσροφητικό πλέγμα του εδάφους

Το προσροφητικό πλέγμα του εδάφους αποτελείται από αργίλους, χούμο και υδροξειδία του σιδήρου και του αργιλίου. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την προσκόλληση των ιόντων που βρίσκονται στο διάλυμα του εδάφους σε αυτό το προσροφητικό πλέγμα είναι:

■ **Ο αριθμός οξείδωσης και ο βαθμός ενυδάτωσης των ιόντων:** Ένα στρώμα ενυδάτωσης πολύ μεγάλο εμποδίζει ή αποτρέπει την προσρόφηση πάνω στα κολλοειδή. Τα δισθενή ιόντα προσκολλώνται πιο ενεργά απ' ό,τι τα μονοσθενή.

■ **Η φύση και η διάταξη των φύλλων αργίλου:** κάθε τύπος αργίλου (Ιλλίτης, Μοντμοριλλονίτης, Χλωρίτης, Βερμικουλίτης, Αλλουσίτης, Ατταπουλζίτης Καολινίτης, κ.α.) παρέχει στο έδαφος μια τάση προσρόφησης περισσότερο ή λιγότερο δυνατή ανάλογα με την ικανότητα τους να διογκώνονται. Αυτοί οι άργιλοι κατατάσσονται ανάλογα με την ικανότητα τους να προσροφούν τα ιόντα (με φθίνουσα σειρά): Βερμικουλίτης > Μοντμοριλλονίτης >

Αλλουσίτης> Ιλλίτης> Καολινίτης= Χλωρίτης

▪ **Η φύση των ιόντων που βρίσκονται στο διάλυμα του εδάφους:** ορισμένα ιόντα προσροφώνται πιο εύκολα από άλλα. Η μαζική παρουσία των ανιόντων: NO_3^- , Cl^- και SO_4^{2-} στα νερά των στραγγίσεων αποδεικνύει ότι αυτά συγκρατούνται ελαφρά από το πλέγμα. Μπορούμε να δημιουργήσουμε μια κλίμακα συγκράτησης των ιόντων (με φθίνουσα σειρά: $\text{SiO}_4^{2-} > \text{PO}_4^{3-} > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^-$

▪ **Η αραιώση του εδαφικού διαλύματος:** ανάλογα με το βαθμό αραιώσης του διαλύματος του εδάφους και το σθένος των ιόντων, η προσκόλλησή πάνω στο πλέγμα είναι περισσότερο ή λιγότερο δυνατή. Τα δισθενή ιόντα είναι περισσότερο ενεργειακά προσκολλημένα παρουσία ενός αραιωμένου διαλύματος, ενώ το αντίστροφο ισχύει για τα μονοσθενή ιόντα τα οποία προσκολλώνται περισσότερο όταν η συγκέντρωση είναι υψηλή.

▪ **Το pH του εδάφους:** οι μεταβολές του pH επηρεάζουν την ικανότητα ανταλλαγής των κατιόντων. Προκύπτει ότι σε όξινο pH, η ικανότητα ανταλλαγής των κατιόντων από την άργιλο εξασθενεί, ενώ σε βασικό pH, είναι μέγιστη. Τα ανιόντα αντίθετα προσροφώνται πιο εύκολα σε όξινο pH [27].

2.8.11 Οριζόντια ή κάθετη μεταφορά

Το έδαφος είναι χώρος κυκλοφορίας του νερού, το οποίο είναι φορέας των ουσιών που βρίσκονται σε διάλυση και έχουν ενδογενή ή εξωγενή προέλευση προς τα στρώματα νερού ή προς την ατμόσφαιρα (από το φαινόμενο της εξατμισοδιαπνοής). Παρά την ικανότητα φιλτραρίσματος ορισμένων εδαφών, είναι σύνηθες φαινόμενο οι ιοντικές ουσίες ορυκτών να εκπλένονται από τα νερά των βροχών προς τους ελεύθερους υδροφορείς. Τούτο μπορεί να προκαλέσει κάποιες φορές αναντίστροπτη ρύπανση, ανάλογα με την τοξικότητα και την ανοχή του ιόντος που εκπλένεται.

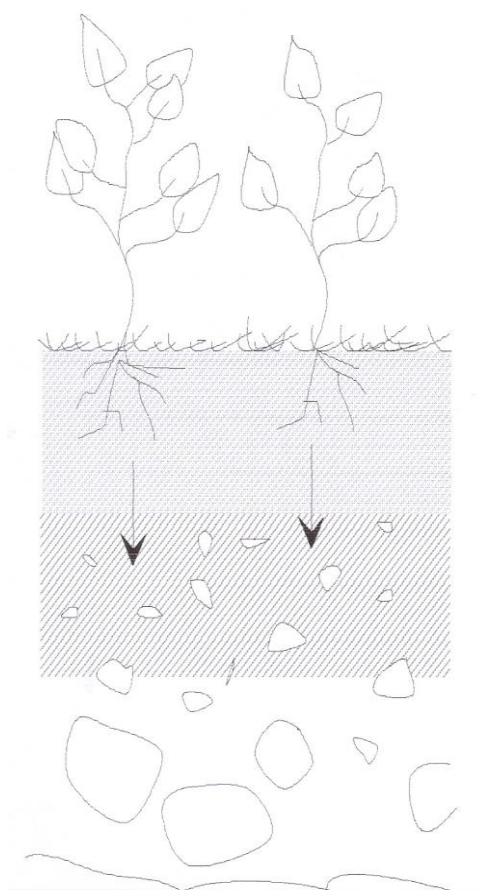
Οριζόντια μεταφορά: Στην πράξη υπάρχουν δύο είδη οριζόντιας ροής: η επιφανειακή ροή και η υπόγεια ροή.

▪ **Η επιφανειακή ροή** οφείλεται στο φαινόμενο της απορροής που πραγματοποιείται πάνω στην πιο μεγάλη κλίση, ούτως ώστε να δημιουργήσει μεγαλύτερες ή μικρότερες συγκεντρώσεις που ονομάζονται «ροές». Το σύνολο των επιφανειακών ροών συνιστά το υδρογραφικό δίκτυο. Διακρίνουμε πολλά επίπεδα της απορροής, που έτσι δημιουργούν ένα δενδριτικό πεδίο.

▪ **Η υπόγεια-οριζόντια ροή** μοιάζει με ροή που πραγματοποιείται από προνομιούχες υπόγειες διαδρομές αναλόγως με τη φύση του εδάφους (πορώδες) ή από τη βλάστηση (μήκος και πυκνότητα ριζών). Αυτή η υπόγεια ροή επιτρέπει σε μια απορροή να συναντήσει ένα μεγαλύτερο αποδέκτη (ποτάμι).

Κατακόρυφη μεταφορά: Αυτό το φαινόμενο, που ονομάζεται συνήθως διήθηση, είναι το αποτέλεσμα της διείσδυσης του νερού μέσα στο έδαφος. Το νερό συμπαρασύρει μόρια ή

ίόντα που περιέχονται στο έδαφος. Άρα μιλάμε για έκπλυση. Η έκπλυση είναι η μετακίνηση ορυκτών (άλατα και άργιλοι) και οργανικών (χουμικά οξέα) συστατικών μέσω του νερού, κάτω από την επίδραση ρευμάτων που κυκλοφορούν κυρίως προς τα κάτω, μετά από βροχές, αλλά ενίοτε και προς την επιφάνεια, σε περιόδους ξηρές ή κάτω από την επίδραση της βλάστησης [27,28].



Ορίζοντας Α- φτωχός σε στοιχεία

Ορίζοντας Β- πλούσιος σε στοιχεία

Μητρικός-λίθος

Σχήμα 2.7: Σχηματική διάταξη μιας έκπλυσης[27]

Η διήθηση απαιτεί έδαφος διαπερατό, ούτως ώστε να επιτρέπει την διείσδυση του νερού που υπάρχει στην επιφάνεια. Αυτό το φαινόμενο οφείλεται στις δυνάμεις βαρύτητας και στο πορώδες του εδάφους που αυξάνει ή μειώνει την ταχύτητα διήθησης.

Η επίδραση της μηχανικής σύστασης του εδάφους στην υδατική μεταφορά

Το μακροπορώδες του εδάφους αυξάνεται ανάλογα με την περιεκτικότητα του σε άργιλο. Ο σχηματισμός συσσωματώσεων προκαλεί την εμφάνιση ρωγμών και σχισμών από συρρίκνωση που επηρεάζουν τη διόδο του νερού. Εντούτοις, σε περίοδο υγρασίας, τα αργιλικά συσσωματώματα διογκώνονται, επιτρέποντας έτσι την μείωση του μακροπορώδους, προτού το νερό να έχει τον απαραίτητο χρόνο για να διηθηθεί. Αυτό το σύστημα ρύθμισης επιτρέπει την αποφυγή των υπερβολικών εκπλύσεων.

2.9 Οι Κυριότερες Αιτίες Ρύπανσης των Εδαφών

Το έδαφος, μαζί με τα υδάτινα συστήματα, είναι ο κυριότερος αποδέκτης της ανθρωπογενούς ρύπανσης. Οι βιομηχανικές, βιοτεχνικές και εμπορικές δραστηριότητες ρυπαίνουν σε μεγάλο βαθμό το έδαφος. Τα υγρά και στερεά απόβλητα αρχικά εναποτίθενται και επεξεργάζονται σε χερσαίες εγκαταστάσεις. Γεωργικά και κτηνοτροφικά απόβλητα, λιπάσματα και φυτοφάρμακα ρυπαίνουν καλλιεργημένες εκτάσεις. Ατυχήματα και διαρροές πετρελαίου, απόβλητα ορυχείων και λατομείων είναι μερικές άλλες αιτίες ρύπανσης εδαφών. Το έδαφος γίνεται αποδέκτης και των ατμοσφαιρικών ρύπων (οργανικών και ανόργανων) που κατακρημνίζονται με αργούς ρυθμούς, ανάλογα με τις συνθήκες και τη γεωμορφολογία των περιοχών, απορροφούνται από το έδαφος και παρασύρονται με τη βροχή στα διάφορα εδαφικά περιβαλλοντικά διαμερίσματα και στα υπόγεια νερά. Οι συντελεστές κατανομής ρύπων μεταξύ εδαφών και νερού, εδάφους και ατμόσφαιρας, εδάφους και οργανικών συστατικών, παίζουν σημαντικό ρόλο για την τελική διασπορά, μεταφορά, επανεξάτμιση και συσσώρευση ρύπων στα εδάφη [41,42].

Οι συντελεστές κατανομής προκαθορίζουν και την τοξικότητα ρύπων στα φυτά και τα χερσαία ζώα, τη διάσπαση από φυσικές διεργασίες μέσα στο έδαφος και την βιοαποικοδόμιση τους μέσω των εδαφικών μικροοργανισμών. Αυτά είναι τα βασικά προβλήματα της περιβαλλοντικής τοξικολογίας σε σχέση με τους τοξικούς και επικίνδυνους χημικούς ρύπους στα εδάφη. Μελέτες για τις συγκεντρώσεις τους και τους μηχανισμούς τοξικότητας χρησιμεύουν για την εκτίμηση του κινδύνου για το περιβάλλον των ζωντανών οργανισμών και την υγεία του ανθρώπου [43,44,45].

Ορισμένες από τις βασικές αιτίες ρύπανσης των εδαφών είναι:

- τα λιπάσματα και φυτοφάρμακα των γεωργικών εκμεταλλεύσεων
- τα υγρά και στερεά απόβλητα των κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων
- τα υγρά και στερεά απόβλητα των χημικών βιομηχανιών
- τα αστικά και νοσοκομειακά απόβλητα που διατίθενται σε χώρους υγειονομικής ταφής και αποτέφρωσης σε υψηλές θερμοκρασίες
- η ρύπανση από την εκμετάλλευση του πετρελαίου, λιπαντικών υλών και ελαστικών τροχοφόρων
- η ρύπανση από απόβλητα μεταλλευτικών και λατομικών επιχειρήσεων
- η ρύπανση από βαρέα μέταλλα που προέρχονται από χημικές βιομηχανίες, καύση στερεών και υγρών ορυκτών καυσίμων και άλλες διεργασίες εμπλουτισμού ή καθαρισμού μεταλλευμάτων

Το έδαφος δέχεται όλες αυτές τις τοξικές και επικίνδυνες χημικές ουσίες και παρασκευάσματα ή απόβλητα, τα οποία ανάλογα με τη γεωμορφολογία του εδάφους και άλλες εξωγενείς συνθήκες ρυπαίνουν τοπικά το έδαφος ή διασπείρονται σε άλλα

περιβαλλοντικά διαμερίσματα (π.χ. υπόγεια νερά) ή εκπλύνονται στα διάφορα υδάτινα συστήματα. Στην περίπτωση των **λιπασμάτων** (νιτρικό και θειικό αμμώνιο, ουρία, φωσφορικά άλατα, άλατα καλίου) το έδαφος εμπλουτίζεται με θρεπτικά συστατικά για τα φυτά, χωρίς όμως να προστίθεται χούμος η απαραίτητα εδαφικά ιχνοστοιχεία. Το αποτέλεσμα είναι η μείωση της οργανικής ύλης, η αλλοίωση της πορώδους υφής του εδάφους και μείωση της συγκράτησης του νερού στο έδαφος. Με τη μείωση του νερού αυξάνεται η απώλεια θρεπτικών συστατικών και μειώνεται η γονιμότητα του εδάφους. Η προσπάθεια των γεωργών να αυξήσουν την απόδοση των καλλιεργειών (χωρίς τη σωστή διαχείριση του προβλήματος) οδηγεί στο περαιτέρω εμπλουτισμό του εδάφους και των νερών με τα τοξικά πλέον για αυτά νιτρικά και άλλα λιπασμάτων [46,47].

Παρόμοια προβλήματα ρύπανσης δημιουργούν ορισμένα από τα **φυτοφάρμακα** και οι μεταβολίτες τους στο έδαφος. Η συσσώρευση των υπολειμμάτων φυτοφαρμάκων σε γεωργικές εκτάσεις έχει ως αποτέλεσμα την πρόκληση τοξικών φαινομένων στους χερσαίους οργανισμούς, στους γαιοσκώληκες, στους νηματώδεις και στους μικροοργανισμούς, και οδηγεί στη σταδιακή υποβάθμιση της υφής και της ποιότητας των εδαφών. Ιδιαίτερα προβλήματα προκαλούν τα φυτοφάρμακα που βιοαποικοδομούνται με αργούς ρυθμούς (μη βιοδιασπασίμα) ή που κατά τη διάσπασή τους παράγουν τοξικούς μεταβολίτες [48,49,50].

Τα **βαρέα μέταλλα** είναι επίσης ένας σημαντικός παράγοντας ρύπανσης των εδαφών. Αν και οι χαμηλές συγκεντρώσεις μετάλλων μπορούν να γίνουν αποδεκτές από ορισμένα φυτά χωρίς να προκαλούν τοξικές βλάβες, οι υψηλές συγκεντρώσεις έχουν αρνητικές επιδράσεις στα χερσαία ζώα, στους γαιοσκώληκες, στους νηματώδεις και στους μικροοργανισμούς των εδαφών [51,52,53].

Οι γαιοσκώληκες αποτελούν ιδανικά πειραματόζωα και χρησιμοποιούνται σε πειράματα περιβαλλοντικής τοξικολογίας και οικοτοξικολογίας ως ευαίσθητοι βιοδείκτες για βαρέα μέταλλα, φυτοφάρμακα και άλλους τοξικούς ρύπους. Για τις τοξικολογικές αυτές δοκιμασίες έχουν δημιουργηθεί ειδικά πρωτόκολλα πειραματικών τεχνικών. Τα τοξικά απόβλητα από βιομηχανικές εγκαταστάσεις, λόγω των τοξικών και επικίνδυνων ουσιών που περιέχουν (αλογονομένες ουσίες, πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες, τοξικοί διαλύτες, βαρέα μέταλλα, κλπ) προκαλούν διάφορα προβλήματα ρύπανσης στο έδαφος και στα βιολογικά συστήματα. Τα υγρά απόβλητα παρουσιάζουν υψηλό βαθμό μεταλλαξιγόνου δράσης.[54,55]. Παρόμοια γονοτοξική δράση παρουσιάζουν και οι στάχτες των αποβλήτων που έχουν κατεργασθεί με πυρολυτική καύση σε αποτεφρωτήρες. Τα απόβλητα και η διαχείρισή τους αποτελεί μεγάλο περιβαλλοντικό πρόβλημα ιδιαίτερα για την ποιότητα των εδαφών σε πολλές αναπτυγμένες χώρες [56].

3.ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΣΧΕΤΙΚΗ ΜΕ ΤΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΟΥ ΕΛΑΦΟΥΣ

3.1 Εισαγωγή

Η λειτουργία των κτηνοτροφικών μονάδων υψηλής δυναμικότητας, λόγω της μεγάλης ποσότητας ζωικών αποβλήτων που παράγουν, έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία σοβαρών προβλημάτων ρυπάνσεως, μόλυνσης και υποβάθμισης του περιβάλλοντος. Για το λόγο αυτό έχουν θεσπιστεί νόμοι σχετικά με την λειτουργία των CAFO για να αντιμετωπίσουν την κατάσταση αυτή και να προστατέψουν το περιβάλλον.

3.2 Νόμοι για προστασία του περιβάλλοντος

Σκοπός του νόμου **ΝΟΜΟΣ 1650/1986 (ΦΕΚ 160^Α/18-10-1986)** είναι η θέσπιση θεμελιωτών κανόνων και η καθιέρωση κριτηρίων και μηχανισμών για την προστασία του περιβάλλοντος. Βασικοί στόχοι του νόμου αυτού είναι: Η αποτροπή της ρύπανσης και γενικότερα της υποβάθμισης του περιβάλλοντος και η λήψη όλων των αναγκαίων προληπτικών μέτρων, η διασφάλιση της ανθρώπινης υγείας από τις διάφορες μορφές υποβάθμισης του περιβάλλοντος και ειδικότερα από τη ρύπανση, η προώθηση της ισόρροπης ανάπτυξης του εθνικού χώρου συνολικά και των επιμέρους γεωγραφικών ενοτήτων του και μέσα από την ορθολογική διαχείριση του περιβάλλοντος, η διασφάλιση της δυνατότητας ανανέωσης φυσικών πόρων και η ορθολογική αξιοποίηση των μη ανανεώσιμων ή σπάνιων και με κριτήρια την προστασία του περιβάλλοντος, η διατήρηση της οικολογικής ισορροπίας των φυσικών οικοσυστημάτων και η διασφάλιση της αναπαραγωγικής τους ικανότητας και τέλος η αποκατάσταση του περιβάλλοντος.[57]

3.3 Μέτρα για την προστασία του εδάφους

Σύμφωνα με το **άρθρο 11** του νόμου αυτού καθορίζονται τα μέτρα και οι τρόποι προστασίας των εδαφών από π.χ υπερλίπανση ή ακατάλληλη λίπανση, προσθήκη τοξικών ουσιών από τη χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, για τη διατήρηση και αύξηση της παραγωγικότητάς τους καθώς επίσης και οι χώροι όπου επιτρέπεται η τελική διάθεση τοξικών και επικίνδυνων αποβλήτων και ιλύος.[57]

3.4 Μέτρα για τη διαχείριση στερεών αποβλήτων

Σύμφωνα με το **άρθρο 12** του νόμου αυτού η διαχείριση των στερεών αποβλήτων πρέπει να γίνεται με τρόπο ώστε να μην δημιουργούνται κίνδυνοι για την υγεία και το περιβάλλον και ενοχλήσεις από δυσοσμίες, να μην προκαλείται υποβάθμιση του φυσικού περιβάλλοντος σε χώρους που παρουσιάζουν ιδιαίτερο οικολογικό, πολιτιστικό και αισθητικό ενδιαφέρον και να εξοικονομούνται πρώτες ύλες ώστε να μπορεί να γίνει η μεγαλύτερη δυνατή επαναχρησιμοποίησή τους.

Ειδικότερα σύμφωνα με το **άρθρο 2** του νόμου **ΚΥΑ Ε1β. 221/1965 (ΦΕΚ 138Β/24-2-1965)** επιτρέπεται η διάθεση λυμάτων ή βιομηχανικών αποβλήτων στο έδαφος μόνο κατόπιν άδειας και εφ' όσον αποφεύγονται:

- Η δημιουργία κινδύνων για τη Δημόσια Υγεία, ως μολύνσεων, οχλήσεων ή αντιαισθησιακών καταστάσεων
- Η παρακώλυση του φυσικού αυτοκαθαρισμού του εδάφους.

Η διάθεση και ο τρόπος διαθέσεως λυμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων στο έδαφος καθορίζονται από τα **άρθρα 7 και 8** του νόμου αυτού σύμφωνα με τα οποία αυτή επιτρέπεται εφ' όσον :

- Το έδαφος είναι πορώδες και άνευ ρωγμών ή οπών έτσι ώστε αν είναι δυνατόν να διαφύγουν και να φτάσουν μέσω επαρκούς διηθήσεως και καθαρισμού μέχρι τα υπόγεια ύδατα.
- Πληρούνται οι καθοριζόμενοι ειδικοί όροι του άρθρου 8.
- Έχουν υποβληθεί σε επεξεργασία τουλάχιστον ισοδύναμη προς αυτή της σχάρας ανοίγματος 2,5 εκ.
- Τα λύματα και τα βιομηχανικά απόβλητα δε βρίσκονται σε κατάσταση σήψης και λαμβάνονται τα απαιτούμενα μέτρα αερισμού και χλωρίωσης.
- Η έκταση της περιοχής διάθεσης είναι επαρκής και η επιφάνεια αυτής έχει ομαλή κλίση ώστε να εξασφαλίζεται κανονική κατανομή και να προλαμβάνεται η υπερφόρτιση του εδάφους, καθώς και η δημιουργία στάσιμων νερών.[57]

Πίνακας 3.1: Κατευθυντήριων Τιμών αποβλήτων κτηνοτροφικής μονάδας[57]

Είδος Εγκαταστάσεως	Χαρακτηριστικά αποβλήτων (χλ/μα ανά τόνο ζώντος ζώου)	Ανώτατη μέση τιμή 24ώρου	Μέσος όρος τιμών για 30 συνεχείς ημέρες
Σφαγή ζώων, πλήν πουλερικών	στερεά	2,00	1,00
	λίπη	0,53	0,26
	άζωτο	0,20	0,10

Πίνακας 3.2: Μικροβιολογικές παράμετροι[57]

Παράμετρος	Παραμετρική τιμή (αριθμός/100ml)
Escherichia coli (E.coli)	0
Εντερόκοκκοι	0

Πίνακας 3.3[58]

Όρια εκπομπών των Βιομηχανικών απορροών στους υπονόμους και τα ρεύματα

Παράμετρος (1)	Υπόνομοι (2)		Συγκεντρώσεις (3)	
P.H.	6,0-9,0		6,0-9,0	
Θερμοκρασία	35°C		28°C	
Διαλελυμένον οξυγόνον	—		3	mg/L
B.O.D ₅	500	mg/L	40	mg/L
C.O.D.	1.000	mg/L	120	mg/L
Αιωρούμενα στερεά	500	mg/L	50	mg/L
Χονδρά στερεά	≤1,5	cm	άνευ	
Ολικά διαλελυμένα στερεά	3.000	mg/L	1.000	mg/L
Απορρυπαντικά	50	mg/L	5	mg/L
	βιοδιασπάσιμα κατά 80%		βιοδιασπάσιμα κατά 80%	
Λίπη - Έλαια (φυτικά) - ζωικά	40	mg/L	5	mg/L
Ορυκτά έλαια	15	mg/L	1	mg/L
Αμμωνία - N.	25	mg/L	10	mg/L
Νιτρώδη - N.	4	mg/L	1	mg/L
Νιτρικά - N.	20	mg/L	4	mg/L
Φωσφορικά - P.	10	mg/L	0,2	mg/L
Θειώδη SO ₃	1	mg/L	0,2	mg/L
Θειικά SO ₄	1.500	mg/L	1.000	mg/L
Υδροθειον H ₂ S	1	mg/L	0,1	mg/L
Αργίλλιον	10	mg/L	1	mg/L
Αντιμόνιον	5	mg/L	0,5	mg/L
Αρσενικόν	0,5	mg/L	0,1	mg/L
Βάριον	20	mg/L	2	mg/L
Βηρύλλιον	30	mg/L	3	mg/L
Βόριον	10	mg/L	2	mg/L
Βρώμιον	10	mg/L	1	mg/L
Κάδμιον	0,5	mg/L	0,05	mg/L
Χρώμιον (III)	2	mg/L	1	mg/L
Χώμιον (VI)	0,5	mg/L	0,2	mg/L
Κοβάλτιον	10	mg/L	2	mg/L

(Συνέχεια πίνακα 3.3, προηγούμενης σελίδας.)

Παράμετρος (1)	Υπόνομοι (2)	Συγκεντρώσεις (3)
Χαλκός	1 mg/L	0,2 mg/L
Κυανιούχα	3 mg/L	0,1 mg/L
Φθόριον	20 mg/L	2 mg/L
Σίδηρος	15 mg/L	2 mg/L
Μόλυβδος	5 mg/L	0,5 mg/L
Μαγγάνιον	10 mg/L	1 mg/L
Υδράργυρος	0,01 mg/L	0,01 mg/L
Μολυβδαίνιον	10 mg/L	2 mg/L
Νικέλιον	10 mg/L	0,5 mg/L
Φαινόλες	5 mg/L	0,5 mg/L
Σελήνιον	0,2 mg/L	0,02 mg/L
Άργυρος	5 mg/L	0,5 mg/L
Θάλλιον	2 mg/L	0,2 mg/L
Κασσίτερος	10 mg/L	1 mg/L
Τιτάνιον	10 mg/L	2 mg/L
Ολικά κολοβακτηρι- δοειδή	—	1.000/100 mL
Κολοβακτηρίδια		200/100 mL
Καθιζάνοντα στερεά εντός δύο ωρών σε κώνο IMHOFF	10 mg/L	άνευ
Ελεύθερον χλώριον	5 mg/L	0,4 mg/L
Χρώμα		Να μη προσδιορί- ζεται χρωματο- μετρικά σε αραιώ- ση 6:1.
Οσμή		χωρίς ενοχλητι- κές οσμές
Σύνολον τοξικών ουσιών As - Cd - Cr (VI) - Hg - Ni - Pb - Cu - Se - Zn - CN ⁻ - C ₆ H ₅ OH.		$\frac{Y_1}{E_1} + \frac{Y_2}{E_2} + \dots + \frac{Y_v}{E_v} \leq 3$ <p>Y = Υπάρχουσα συγκέντρωση αντιστοι- χου μετάλλου E = Επιτρεπομένη συγκέντρωση του αντιστοιχου μετάλλου</p>

4. ΜΑΚΡΟΘΡΕΠΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

4.1 Εισαγωγή

Στη παρούσα εργασία εκτιμήθηκε η απώλεια των ιόντων K^+ , Ca^{2+} και Mg^{2+} λόγω έκπλυσης στο έδαφος πλησίον μεγάλης χοιροτροφικής μονάδας. Τα στοιχεία K, Ca, Mg είναι σημαντικά θρεπτικά στοιχεία και η συγκέντρωσή τους στο έδαφος επηρεάζει τη γονιμότητα του. Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναφορά σε καθένα από αυτά και δίνεται έμφαση στη χρησιμότητα τους.

4.2 Κάλιο

Το κάλιο (K) είναι απαραίτητο θρεπτικό στοιχείο για όλες τις μορφές ζωής και ο ρόλος του είναι κατ' εξοχήν λειτουργικός, σε σύγκριση με το δομικό ρόλο του αζώτου (N), ή και του φωσφόρου (P). Από φυσικοχημικής απόψεως ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του ιόντος K^+ είναι ότι έχει το μεγαλύτερο μέγεθος σε αφυδατωμένη κατάσταση ($r=0,133\text{nm}$) από όλα τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία-κατιόντα. Επίσης ότι ο αριθμός ιόντων οξυγόνου που περιβάλλουν το K^+ στις κρυσταλλικές δομές των ορυκτών είναι μεγάλος, πράγμα που δείχνει ότι οι δεσμοί K-O είναι ασθενείς και διασπώνται εύκολα.

Στις βασικές λειτουργίες του καλίου, που αποτελεί κύριο θρεπτικό μακροστοιχείο, συγκαταλέγονται η εξασφάλιση της ηλεκτρικής ισορροπίας του κυτταροπλάσματος, η ενεργοποίηση πολλών ενζυμικών συστημάτων και η ρύθμιση των υδατικών σχέσεων των κυττάρων.

Σε αντίθεση με το N και το P, ανύπαρκτες είναι οι δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις από ενδεχόμενη συσσώρευση του K στα οικοσυστήματα, ούτε έχουν αναφερθεί προβλήματα σχετιζόμενα με τη δημόσια υγεία. Το K δεν αποτελεί περιοριστικό παράγοντα βιοτικής ανάπτυξης στα υδατικά συστήματα και κατά συνέπεια δεν ενέχεται στο φαινόμενο του ευτροφισμού [37,59].

4.2.1 Εδαφικό κάλιο

Το K αποτελεί το 2,4% του στερεού φλοιού της γης και είναι το 7^ο σε αφθονία χημικό στοιχείο της. Το K των εδαφών προέρχεται από τη διάβρωση και αποσάθρωση των πετρωμάτων που περιέχουν καλιούχα ορυκτά. Μεταξύ όλων των θρεπτικών στοιχείων το K παρουσιάζει την μεγαλύτερη ολική περιεκτικότητα στα εδάφη.

Κυριότερες πρωτογενείς πηγές εδαφικού καλίου είναι τα πετρώματα τα οποία περιέχουν καλιούχα ορυκτά (Μαρμαρύγιες, Άστριοι), από τη διάβρωση και χημική αποσάθρωση των οποίων προκύπτουν με τη διαδικασία της εδαφογένεσης οι διαθέσιμες για τα φυτά πηγές του θρεπτικού στοιχείου του καλίου.

Το κάλιο επίσης απαντάται ως δομικό συστατικό των ορυκτών μοσχοβίτης, βιοτίτης και των φυλλόμορφων. Τα ανωτέρω απαρτίζουν πρωτογενή ορυκτά, στο έδαφος όμως υπάρχουν και δευτερογενή ορυκτά της αργίλου, όπως ο βερμικουλίτης και ο χλωρίτης. Το K που απελευθερώνεται από τα παραπάνω ορυκτά χάνεται με έκπλυση, ή χρησιμοποιείται από τους μικροοργανισμούς, ή συγκρατείται στην εναλλακτική φάση του εδάφους ή μετατρέπεται σε βραδέως διαθέσιμη μορφή.

Τα περισσότερα μη οργανικά εδάφη (πλην εκείνων που είναι αμμώδους συστάσεως) περιέχουν μεγάλες ποσότητες ολικού K, κατά μέσο όρο 0,17-3,3%, ή συνήθως άνω των 4.000 kg/στρ. στο στρώμα της βλάστησης. Όμως η ποσότητα που ανά πάσα στιγμή απαντάται στην άμεσα διαθέσιμη μορφή του ανταλλάξιμου καλίου είναι μικρότερη του 1% της ολικής, συχνά δε (στα ελληνικά εδάφη) μεταξύ 80 και 200 mg/kg, και βρίσκεται στο εδαφικό διάλυμα και στην εναλλακτική φάση του εδάφους. Κατά το μέγιστο μέρος, 90-98%, το K απαντάται ενσωματωμένο στα πρωτογενή και δευτερογενή ορυκτά της αργίλου του εδάφους, σε μη διαθέσιμη μορφή. Επίσης, απαντάται δεσμευμένο στις κρυσταλλικές αργίλους σε μορφές ελάχιστα διαθέσιμες σε ποσοστό 1-10%.

Οι ποσότητες του K που απομακρύνονται κάθε χρόνο από το έδαφος είναι πολύ μεγάλες ως συνέπεια των αυξημένων ρυθμών πρόσληψης του K από τα φυτά, αλλά και της έκπλυσης του από το εδαφικό νερό. Τόσο το ανταλλάξιμο εδαφικό K, όσο και το K των λιπασμάτων είναι μορφές αρκετά ευκίνητες [24,37,59].

4.2.2 Το δυναμικό σύστημα εδαφικού καλίου

Με κριτήριο το βαθμό διαθεσιμότητας στις ρίζες των φυτών, το σύστημα του εδαφικού K μπορεί να ταξινομηθεί σε 4 μέρη (υποσυστήματα). Κατά σειρά αυξανόμενης διαθεσιμότητας τα υποσυστήματα αυτά είναι:

- Δομικό K των πρωτογενών ορυκτών, από 5.000 έως 25.000 mg/kg,
- Δυσκόλως ανταλλάξιμο (βραδέως διαθέσιμο, ή δεσμευμένο),
- Ανταλλάξιμο, 40 έως 600 mg/kg και
- K⁺ εδαφοδιαλύματος, 1-10 mg/kg.

Τα ιόντα καλίου διακινούνται από το ένα υποσύστημα στο άλλο ευθύς ως διαταραχθεί η υφιστάμενη δυναμική ισορροπία με προσθήκη, ή αφαίρεση καλίου έξωθεν. Ωστόσο, η ταχύτητα των κινητικών αυτών αντιδράσεων διαφέρει σημαντικά. Η εξισορρόπηση μεταξύ διαλυτού και ανταλλάξιμου K⁺ είναι ταχύτατη και συνήθως ολοκληρώνεται μέσα σε λίγα λεπτά της ώρας. Η εξισορρόπηση μεταξύ δυσκόλως ανταλλάξιμου και ανταλλάξιμου K⁺, ή μεταξύ δυσκόλως ανταλλάξιμου και διαλυτού K⁺ είναι πολύ βραδύτερη και απαιτεί πολλές μέρες, ή ακόμη και μήνες μέχρις ότου αποκατασταθεί πλήρως. Τέλος, η απόσπαση καλίου

από τα πρωτογενή ορυκτά είναι τόσο βραδεία ώστε η άμεση συμμετοχή των καλιούχων αυτών ορυκτών στην τροφοδοσία των φυτών να είναι συνήθως αμελητέα.

Άμεσα διαθέσιμες για πρόσληψη από τις ρίζες των φυτών είναι τα κλάσματα του διαλυτού και του ανταλλάξιμου K^+ .

Με εξαίρεση το διαλυτό K^+ , τα υπόλοιπα 3 μέρη του δυναμικού αυτού συστήματος μπορούν να διακριθούν και σε ενδιάμεσες μορφές. Οι ομαδοποιήσεις αυτές είναι όμως αρκετά συμβατικές δεδομένου ότι από την έρευνα προκύπτει ότι δεν υπάρχουν σαφείς διαχωριστικές γραμμές μεταξύ των μερών του συστήματος. Με άλλους λόγους, η μετάπτωση του K^+ σε διάφορες καταστάσεις, ή βαθμούς διαθεσιμότητας εντός του όλου συστήματος δεν είναι κλιμακωτή, αλλά προοδευτική.

Λόγω της συνεχούς απομάκρυνσης των άμεσα διαθέσιμων κλασμάτων με τις γεωργικές καλλιέργειες και με την έκπλυση, συνήθως επικρατεί μια συνεχής βραδεία μεταφορά K από τα πρωτογενή καλιούχα ορυκτά προς τις δυσκόλως ανταλλάξιμες και τις άμεσα ανταλλάξιμες μορφές του κατιόντος.

Υπό ορισμένες εδαφικές συνθήκες, συμπεριλαμβανομένης και της εφαρμογής περίσσειας καλιούχων λιπασμάτων, είναι δυνατό να υπάρξει αντίστροφη μετατόπιση του K^+ από την υδατοδιαλυτή μορφή του προς τις δυσκόλως ανταλλάξιμες και βραδέως διαθέσιμες μορφές. Η τελευταία διαδικασία είναι γνωστή ως δέσμευση του καλίου [37].

4.2.3 Κάλιο εδαφικού διαλύματος

Η περιεκτικότητα K στο εδαφοδιάλυμα είναι πολύ μικρή της τάξεως των ελάχιστων ppm. Αναφέρεται ότι η στάθμη του υδατοδιαλυτού K στα εδάφη της υγρής κλιματικής ζώνης κυμαίνεται μεταξύ 1 και 80 ppm με τυπική μέση τιμή τα 4 ppm. Εξαίρεση αποτελούν μόνο ορισμένα αλατούχα και ξηροθερμικά εδάφη, όπου το υδατοδιαλυτό K μπορεί να απαντάται σε πολύ μεγαλύτερες τιμές, λόγω της παρουσίας ελεύθερων διαλυτών αλάτων, του K , ανθρακικών, θεικών και χλωριούχων. Στο εκχύλισμα κορεσμού των εδαφών η συγκέντρωση του K κυμαίνεται από 3 έως 156 ppm, αλλά και πάλι σε αλατούχα και ξηροθερμικά εδάφη, οι τιμές στο εκχύλισμα κορεσμού είναι ψηλότερες. Πάντως, υπό συνθήκες αγρού η συγκέντρωση K^+ του εδαφοδιαλύματος υπόκειται σε ευρεία διακύμανση, λόγω των φαινομένων συμπίκνωσης ή αραιώσης που προκαλούνται αντίστοιχα από την εξάτμιση ή τις βροχοπτώσεις [37].

4.2.4 Ανταλλάξιμο κάλιο

Όπως όλα τα ανταλλάξιμα κατιόντα, το K^+ συγκρατείται περίξ των αρνητικά φορτισμένων κολλοειδών με ηλεκτροστατική έλξη. Το ανταλλάξιμο K αποτελεί το σπουδαιότερο κλάσμα του παράγοντα ποσότητας του εδαφικού καλίου και βρίσκεται σε άμεση δυναμική ισορροπία με τον παράγοντα έντασης. Οι δύο μορφές μεταπίπτουν ταχέως η μία στην άλλη, αναλόγως

των επικρατουσών συνθηκών. Το ανταλλάξιμο K αν και είναι πολύ αφθονότερο του υδατοδιαλυτού, αποτελεί μόνο μικρό ποσοστό, κάτω του 1%, του ολικού K. Συνήθως οι εν λόγω άμεσα διαθέσιμες μορφές K προσδιορίζονται από κοινού και εκφράζονται συνολικά ως «ανταλλάξιμο K».

Η κατανομή του K^+ μεταξύ δύο καταστάσεων, ανταλλάξιμου και υδατοδιαλυτού δεν είναι σταθερή, αλλά εξαρτάται από το ιοντικό περιβάλλον του εδάφους. Ειδικότερα, η κατανομή μεταξύ υδατοδιαλυτού και ανταλλάξιμου K^+ αποτελεί συνάρτηση των ειδών και συγκεντρώσεων των λοιπών κατιόντων, της συγκέντρωσης ανιόντων καθώς και των ιδιοτήτων των ηλεκτροστατικά φορτισμένων εδαφικών συστατικών που συμμετέχουν στο φαινόμενο ανταλλαγής κατιόντων. Εξαιρείται ορισμένων παθογενών εδαφών, το κύριο κατιόν που απαντάται στα εδάφη τόσο ως ανταλλάξιμο, όσο και ως διαλυτό είναι το Ca^{2+} . Επομένως η σχετική αναλογία K/Ca^{2+} στη διαλυτή και την ανταλλάξιμη κατάσταση παρουσιάζει σημαντικό ενδιαφέρον. Όσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός κορεσμού του εδαφοσυμπλόκου με Ca^{2+} , τόσο ισχυρότερα συγκρατείται το K^+ ως ανταλλάξιμο κατιόν. Το αντίθετο ισχύει όταν κύριο ανταλλάξιμο κατιόν είναι το Al^{3+} , το οποίο εκτοπίζεται από το Ca^{2+} πολύ δύσκολα. Όταν απαντάται το Al^{3+} σε ανταλλάξιμη μορφή με τα K^+ , Na^+ και NH_4^+ , τα τελευταία αυτά ιόντα εκτοπίζονται πολύ ευκολότερα από το εδαφοσύμπλοκο. Σε τέτοιες περιπτώσεις λαμβάνει χώρα μεταφορά του K^+ στο εδαφοδιάλυμα και αυξάνουν οι απώλειες έκπλυσης καλίου. Γενικότερα, όξινα εδάφη με χαμηλό βαθμό κορεσμού βάσεων είναι επιρρεπή σε έκπλυση K^+ , η δε ασβέστωση τέτοιων εδαφών, μεταξύ των άλλων ευεργετημάτων, περιορίζει την απώλεια Καλίου [31,37].

4.2.5 Το μη ανταλλάξιμο κάλιο των κρυσταλλικών αργίλων

Το μη ανταλλάξιμο, ή δυσκόλως ανταλλάξιμο K^+ συγκρατείται μεταξύ των στι-βάδων των αργίλων, σε θέσεις οι οποίες δεν είναι άμεσα προσιτές για αντιδράσεις ανταλλαγής με άλλα κατιόντα του εδαφοδιαλύματος. Όταν η πρόσληψη δια των ριζών απομακρύνει από το έδαφος το διαλυτό και το ανταλλάξιμο K^+ , λαμβάνει χώρα μετακίνηση μη ανταλλάξιμου K^+ σε θέσεις ανταλλαγής και στο εδαφοδιάλυμα. Αντίθετα όταν προστίθενται στο έδαφος καλιούχα λιπάσματα, ιόντα K^+ μετακινούνται από το εδαφοδιάλυμα και από θέσεις ανταλλαγής σε μη ανταλλάξιμες θέσεις.

Το μη ανταλλάξιμο K είναι επομένως βραδέως διαθέσιμο και κινητοποιείται όταν αρχίσουν να εξαντλούνται τα αποθέματα ανταλλάξιμου K [37].

4.2.6 Το Δομικό κάλιο των πρωτογενών ορυκτών

Τα πρωτογενή καλιούχα ορυκτά, Άστριοι και Μαρμαρυγίες, δεν συμμετέχουν ευθέως στην καλιούχο τροφοδοσία των φυτών, αλλά αποτελούν τη βασική παρακαταθήκη καλίου στο έδαφος. Η κύρια αυτή πηγή εδαφικού καλίου μόνο μακροπρόθεσμα συνεισφέρει στην

καλιούχο γονιμότητα, με τη βραδεία χημική αποσάθρωση των ορυκτών της. Η ταχύτητα αποσάθρωσης και απελευθέρωσης του K σε διαθέσιμες μορφές εξαρτάται από την φύση των πρωτογενών ορυκτών και από τις συνθήκες του περιβάλλοντος. Διάφορες έρευνες έχουν δείξει ότι η απελευθέρωση K^+ από τεμαχίδια παρόμοιου μεγέθους είναι κατά σειρά:

Βιοτίτης > Μουσκοβίτης > Ορθόκλαστο > Μικροκλινής [37].

4.2.7 Ροή και διαθεσιμότητα εδαφικού καλίου

Η ικανότητα και ο ρυθμός τροφοδοσίας καλίου των εδαφών κυμαίνονται όχι μόνο λόγω αμέσως διαθέσιμων και βραδέως διαθέσιμων αποθεμάτων του θρεπτικού στοιχείου, αλλά και εξ αιτίας των εδαφικών εκείνων συνθηκών οι οποίες αλληλεπιδρούν θετικά, ή αρνητικά, με τη στάθμη του διαθέσιμου καλίου. Μεταξύ των συνθηκών αυτών κύριο ρόλο παίζουν οι παράμετροι οι οποίες ρυθμίζουν τη ροή του K^+ δια του εδαφικού μέσου προς την επιφάνεια των ριζών, ήτοι υγρασία, θερμοκρασία και περιεκτικότητα αργίλου του εδάφους. Σημαντικός επίσης είναι ο ρόλος του υπεδάφους, εάν οι συνθήκες του επιτρέπουν την ανάπτυξη και λειτουργία του ριζικού συστήματος. Επισημαίνεται δε ότι η ενεργός απορρόφηση του K^+ εξαρτάται από τις συνθήκες εκείνες οι οποίες ελέγχουν τις βιολογικές λειτουργίες και την εν γένει ανάπτυξη των ριζών, κυρίως δε της θερμοκρασίας και του αερισμού. Ο αερισμός του εδάφους εξαρτάται από το πορώδες και περιορίζεται από την πλεονάζουσα υγρασία.

Σε ότι αφορά το ρόλο των εδαφικών συστατικών δεσπόζουσα θέση κατέχουν η φύση και η περιεκτικότητα των ορυκτών της αργίλου από τα οποία εξαρτάται τόσο η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, όσο και το ανταλλάξιμο K^+ .

Τέλος το pH του εδάφους αποβαίνει ο κύριος ρυθμιστικός παράγοντας ανταγωνισμού ιόντων, διότι ελέγχει την παρουσία των Al^{3+} , υδροξυαργιλίων και H^+ , τα οποία ανταγωνίζονται και εκτοπίζουν το K^+ από τις αρνητικά φορτισμένες θέσεις συγκράτησης κατιόντων των κρυσταλλικών αργίλων και του χούμου [37].

4.2.8 Απώλειες καλίου με την έκπλυση του εδάφους

Το κάλιο εκπλύνεται εύκολα από το έδαφος. Το νερό που διηθείται μέσα από το έδαφος περιέχει σημαντικές ποσότητες καλίου. Υπολογίζεται ότι ετήσια έκπλυση του στοιχείου αυτού από το έδαφος ανέρχεται κατά μέσο όρο σε 25-50 kg/ha. Η ποσότητα του καλίου που εκπλύνεται εύκολα εξαρτάται από:

- την ποσότητα του νερού που διηθείται μέσω του εδάφους,
- την υφή του εδάφους,
- την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων,
- το pH του εδάφους,
- το είδος των ορυκτών της αργίλου

- την περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ουσία
- την ποσότητα του ανταλλάξιμου K^+

Η υφή του εδάφους θεωρείται ως ένας από τους κυριότερους παράγοντες που επηρεάζουν την έκπλυση του καλίου. Αυτό συμβαίνει γιατί όσο περισσότερα είναι τα λεπτόκοκκα συστατικά του εδάφους τόσο μεγαλύτερες ποσότητες καλίου συγκρατούνται από τα κολλοειδή. Επίσης η υφή του εδάφους επηρεάζει τη διήθηση του νερού. Έτσι στα αμμώδη εδάφη εκτός από τη μικρή ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, μεγάλες ποσότητες νερού διηθούνται με αποτέλεσμα η έκπλυση στα εδάφη αυτά να είναι ιδιαίτερα μεγάλη.

Η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων και το είδος των κολλοειδών του εδάφους επηρεάζουν τις απώλειες του καλίου με έκπλυση. Εδάφη με μικρή ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, με μικρή περιεκτικότητα σε οργανική ουσία, καθώς και εδάφη με προχωρημένο βαθμό αποσάθρωσης, χάνουν το κάλιο επειδή αυτό δεν μπορεί να συγκρατηθεί στο έδαφος. Επίσης σε όξινες εδαφικές συνθήκες τα καλιούχα ορυκτά είναι αρκετά διαλυτά με αποτέλεσμα να ελευθερώνονται μεγάλες ποσότητες καλίου. Από την ποσότητα αυτή, ένα μικρό μέρος του καλίου συγκρατείται από τα κολλοειδή του εδάφους, ενώ το υπόλοιπο παραμένει στο εδαφικό διάλυμα από το οποίο είτε προσλαμβάνεται από τα φυτά, είτε εκπλύνεται. Επειδή οι όξινες εδαφικές συνθήκες παρατηρούνται σε περιοχές με πολλές βροχοπτώσεις, η έκπλυση του καλίου γίνεται εντονότερη. Η ασβέστωση των εδαφών αυτών οδηγεί σε μείωση της απώλειας του καλίου με έκπλυση. Στην περίπτωση αυτή τα ιόντα ασβεστίου αντικαθιστούν σε πρώτη φάση τα προσροφημένα από τα κολλοειδή του εδάφους ιόντα αργιλίου που υπάρχουν και ακολούθως ένα μέρος των ιόντων του καλίου του εδαφικού διαλύματος προσροφάται από τα κολλοειδή του εδάφους στις θέσεις στις οποίες προηγουμένως κατείχαν ιόντα αργιλίου [26].

4.2.9 Πρόσληψη του καλίου από τα φυτά

Τα φυτά προσλαμβάνουν μεγάλες ποσότητες καλίου από το έδαφος (πέντε ως δέκα φορές περισσότερο από το φώσφορο και σχεδόν ίση ποσότητα με αυτή του αζώτου). Το κάλιο προσλαμβάνεται υπό μορφή ιόντος, είτε από το εδαφικό διάλυμα είτε απ' ευθείας από τα προσροφημένα στα κολλοειδή του εδάφους ιόντα με αντίδραση εναλλαγής. Μια μικρή ποσότητα καλίου μπορούν τα φυτά να προσλάβουν και από τα μη αποσαθρωμένα καλιούχα ορυκτά με τη βοήθεια της μυκόρριζας.

Το κάλιο που προσλαμβάνουν τα φυτά από το εδαφικό διάλυμα αναπληρώνεται από τα προσροφημένα στα κολλοειδή του εδάφους ιόντα, καθώς και με την απελευθέρωση καλίου από τις δύο άλλες μορφές, δηλαδή του δομικού και του δευστευμένου. Η περιεκτικότητα καλίου στα φύλλα καλώς αυξανόμενων φυτών κυμαίνεται από 1 έως 4%, συγκέντρωση που είναι πορόμοια με αυτή του αζώτου.

Η συγκέντρωση του Ca^{2+} και Mg^{2+} στο εδαφικό διάλυμα επηρεάζει την πρόσληψη του K^+ από τα φυτά λόγω της ανταγωνιστικής σχέσης που υπάρχει μεταξύ των ιόντων αυτών στην πρόσληψη τους από τις ρίζες των φυτών. Επειδή η πρόσληψη του καλίου από τις ρίζες των φυτών επηρεάζεται από την ενεργότητα άλλων κατιόντων του εδαφικού διαλύματος είναι προτιμότερο να χρησιμοποιείται η σχέση $[\text{K}^+]/([\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}])^{1/2}$ αντί να χρησιμοποιείται μόνο η συγκέντρωση του καλίου. Έτσι εξηγείται γιατί συχνά εμφανίζονται στα φύλλα συμπτώματα έλλειψης K σε ασβεστούχα εδάφη, ακόμη και όταν υπάρχουν μεγάλες ποσότητες ανταλλάξιμου K^+ που σ' άλλα εδάφη θεωρούνται επαρκής για την ανάπτυξη φυτών.

Ο ρυθμός πρόσληψης του καλίου από τα φυτά δεν είναι σταθερός, αλλά ποικίλει ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης των φυτών και την εποχή του έτους. Επίσης η ποσότητα που προσλαμβάνεται από τα διάφορα οικοσυστήματα δεν είναι ίδια. Αυτή εξαρτάται από τον τύπο του οικοσυστήματος. Ένα μεγάλο μέρος του καλίου που προσλαμβάνεται επανέρχεται σε σύντομο χρονικό διάστημα εκ νέου στο έδαφος, είτε με την έκπλυση της υπέρχειας βιομάζας, είτε με τα φυτικά υπολείμματα. Έτσι στα φυσικά οικοσυστήματα η μεγαλύτερη ποσότητα καλίου που προσλαμβάνεται ετησίως επιστρέφει εκ νέου στο έδαφος [26].

4.2.10 Ο ρόλος του καλίου στη φυσιολογία των φυτών

Στη φυσιολογία των φυτών το κάλιο είναι το σημαντικότερο κατιόν, τόσο από απόψεως περιεκτικότητας των φυτικών ιστών, όσο και από απόψεως βιοχημικών και φυσιολογικών λειτουργιών. Ο ρόλος του K στο μεταβολισμό είναι περισσότερο λειτουργικός παρά δομικός. Δεν έχει πολλά κοινά σημεία με το ρόλο του N , του P , ή ακόμη και του S (θείο). Οι κύριες λειτουργίες του Καλίου στα φυτά θα μπορούσαν να συνοψισθούν ως εξής:

- **Ηλεκτρική ισορροπία κυτταροπλάσματος:** Σε κυτταρικό επίπεδο, το K^+ είναι το κυριότερο κατιόν το οποίο εξισορροπεί τα αρνητικά φορτία των θρεπτικών ανιόντων, θεικών, φωσφορικών, νιτρικών, χλωριόντων, ακόμα δε και οργανικών ιόντων. Σε αντίθεση με τα N και P , το K^+ δεν έχει τάση σχηματισμού ομοιοπολικών δεσμών με άτομα Άνθρακα και δεν συμμετέχει ως δομικό συστατικό συμπλόκων οργανικών ενώσεων.
- **Ενεργοποίηση ενζυμικών συστημάτων:** Έχουν προσδιορισθεί περισσότερα από 60 ένζυμα που απαιτούν K^+ . Η ενεργοποίηση λαμβάνει χώρα όταν ένα ή περισσότερα κατιόντα K^+ προσκολλώνται στην επιφάνεια του μορίου του ενζύμου.
- **Υδατικές σχέσεις των κυττάρων:** Η κινητήρια δύναμη μέσω της οποίας αντλείται το εδαφικό νερό από τις ρίζες και επιτυγχάνεται η ρύθμιση ανοίγματος των στομάτων (των φύλλων του φυτού) είναι οσμωτικής φύσεως, ο δε ρόλος του K^+ στη ρύθμιση του οσμωτικού δυναμικού των κυττάρων είναι βασικής σημασίας, δεδομένης της ποσοτικής υπεροχής του ιόντος αυτού στον κυτταρικό χυμό σε σχέση με όλα τα λοιπά κατιόντα.

- **Ενεργειακές σχέσεις:** Το Κ είναι αναγκαίο για τη βιοσύνθεση του μορίου της τριφωσφορικής αδενοσίνης (ATP), που αποτελεί τον κύριο αγωγό μεταφοράς της ενέργειας η οποία παράγεται κατά την φωτοσύνθεση. Υπό συνθήκες ανεπάρκειας καλίου μειώνεται κατακόρυφα η αφομοίωση του CO₂ και ο σχηματισμός ζαχάρων. Το Κ παίζει σημαντικό ρόλο στη φωτοσύνθεση, με συγκέντρωση μέχρι και 50% του Κ των φύλλων στους χλωροπλάστες.
- **Μεταφορά προϊόντων φωτοσύνθεσης (από τα φύλλα όπου συνθέτονται τα ζάχαρα σε άλλα όργανα του φυτού):** Το βιοχημικό σύστημα μεταφοράς χρησιμοποιεί την ενέργεια του ATP, του οποίου η βιοσύνθεση όπως προαναφερθεί απαιτεί κάλιο.
- **Πρόσληψη αζώτου και βιοσύνθεση πρωτεϊνών:** Ανεπαρκής τροφοδοσία καλίου έχει σαν συνέπεια τη μείωση του προσλαμβανόμενου από τις ρίζες αζώτου και τελικά την ελαττωμένη σύνθεση πρωτεϊνών και τη συσσώρευση στους ιστούς ενδιάμεσων προϊόντων (αμιδίων). Εξ αυτού του λόγου η κανονική στάθμη θρέψεως του Κ ενισχύει την ευνοϊκή επίδραση του Ν περιορίζοντας τις αρνητικές του παρενέργειες σε περιπτώσεις πλεονασματικής αζωτούχου θρέψεως. Ο θρεπτικός αυτός συνεργισμός αποκαλείται θετική αλληλεπίδραση, απαντάται δε και με άλλα θρεπτικά στοιχεία.
- **Βιοσύνθεση του αμύλου:** Το ένζυμο που καταλύει την εν λόγω σύνθεση (αμυλοσυνθετάση) απαιτεί για την ενεργοποίησή του την παρουσία ιόντων K⁺. Η αμυλοσυνθετάση είναι απαραίτητη για την ενσωμάτωση της γλυκόζης στο μακρομόριο του αμύλου. Έτσι οι διαλυτοί μονοσακχαρίτες μετατρέπονται σε άμυλο, το οποίο στη συνέχεια μεταφέρεται στα αποθησαυρικά όργανα, όπως π.χ. στον καρπό των σιτηρών κατά τη φάση «γεμίσματος» του καρπού [37].

4.2.11 Συμπτώματα έλλειψης καλίου στα φυτά

Δύο από τα κύρια συμπτώματα έλλειψης καλίου στα φυτά είναι :

- η μεταβολή του χρώματος των φύλλων
- ο περιορισμός του μήκους των κλαδιών και του κορμού με αποτέλεσμα τα δένδρα να γίνονται κοντόχοντρα.

Η μεταβολή του χρώματος των φύλλων στην αρχή εμφανίζεται σε ώριμα φύλλα και όχι σε νέα ή σε ανώριμα. Με την πάροδο του χρόνου και καθώς τα νέα φύλλα ωριμάζουν, αναπτύσσονται και σε αυτά αντίστοιχα συμπτώματα έλλειψης. Το χαρακτηριστικό σύμπτωμα έλλειψης καλίου που εμφανίζεται στα ώριμα φύλλα προέρχεται από το γεγονός ότι το στοιχείο αυτό μετακινείται απ' ευθείας από το έδαφος προς τα αυξανόμενα μέρη του φυτού, ενώ παράλληλα παρατηρείται και εσωτερική μετατόπιση του στοιχείου αυτού από τα παλαιότερα φύλα προς τα νεότερα λόγω των προτεραιοτήτων που έχουν τα φυτά να καλύψουν τις ανάγκες των νέων φυτικών ιστών σε θρεπτικά στοιχεία.

Σε περιπτώσεις μεγάλης έλλειψης καλίου όλο το φυτό παρουσιάζει παρόμοια συμπτώματα με τελική συνέπεια τη ξήρανση της κορυφής. Από τη στιγμή όμως που θα αρχίσουν να εμφανίζονται τα συμπτώματα στην περιφέρεια των φύλλων η διαδικασία είναι μη αντιστρέψιμη, έστω και αν με λίπανση ή με οποιοδήποτε άλλο τρόπο αυξήσουμε τις διαθέσιμες ποσότητες καλίου στο έδαφος. Το πρώτο σύμπτωμα έλλειψης παρατηρείται σε φύλλα τα οποία έχουν ωριμάσει πρόσφατα. Στην αρχή εμφανίζεται μια μεσινεύρια περιφερειακή χλώρωση η οποία με την πάροδο του χρόνου αποκτά κιτρινόμαυρη απόχρωση που γίνεται ορφνή.

Στα πεύκα οι βελόνες αποκτούν ένα κιτρινόμαυρο χρωματισμό και αργότερα αποκτούν το χρώμα του χαλκού. Νέκρωση των βελονών παρατηρείται κυρίως στους βλαστούς της τελευταίας περιόδου, ενώ η νέκρωση ξεκινά από τη κορυφή των βελονιών. Η νέκρωση αυτή οδηγεί πολλές φορές στη νέκρωση και των μικρών κλαδιών. Το όριο μεταξύ του χλωρωτικού και κανονικού χρώματος βελονιών είναι πολύ ευδιάκριτο. Τα συμπτώματα είναι περισσότερο χαρακτηριστικά και έντονα κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου και του χειμώνα καθώς και τις αρχές της άνοιξης.

Τα αρχικά στάδια έλλειψης καλίου δεν διαφέρουν και πολύ από αυτά της έλλειψης μαγνησίου. Η σκοτεινή κόκκινη απόχρωση βοηθά στη διάκριση των συμπτωμάτων έλλειψης αζώτου ή μαγνησίου από τα συμπτώματα έλλειψης καλίου. Επίσης η έλλειψη καλίου περιορίζει την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος, επιβραδύνει την αποξύλωση και τα φυτά γίνονται περισσότερο ευαίσθητα στην ξηρασία, τους παγετούς και τις ασθένειες.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων της ανάλυσης φυτικών ιστών προκειμένου να διερευνηθεί η πιθανή έλλειψη καλίου, λόγω της μεγάλης ευκινησίας του στοιχείου αυτού μέσα στους φυτικούς ιστούς, της ανομοιόμορφης κατανομής του, της μεταβολής της περιεκτικότητας των ιστών κατά τη διάρκεια της αυξητικής περιόδου και της ευκολίας έκπλυσής του [26,59].

4.2.12 Αλληλεπίδραση K και N

Η αλληλεπίδραση αυτή αποκτά σημαντική σημασία, ιδιαίτερα, όταν ένα από τα δύο στοιχεία βρίσκεται σε έλλειψη και το άλλο σε περίσσεια. Στη περίπτωση της χοιροτροφικής μονάδας παρατηρείται πλησίον της υψηλής διαθεσιμότητας αζώτου, κυρίως λόγω των εκπομπών αμμωνίας, και χαμηλή διαθεσιμότητα καλίου λόγω της αυξημένης έκπλυσης. Ο Kemp αναφέρει ότι η αυξημένη συγκέντρωση αζώτου στους φυτικούς ιστούς εξαρτάται από τη βιοδιαθεσιμότητα του K στη ριζόσφαιρα. Κάτω από συνθήκες αυξημένης διαθεσιμότητας K, η αύξηση του διαθέσιμου αζώτου έχει ως αποτέλεσμα να αυξάνεται και η πρόσληψη του K, ενώ σε περίπτωση μικρής διαθεσιμότητας K, η συγκέντρωση του στοιχείου αυτού στους ιστούς μειώνεται λόγω της αύξησης της παραγόμενης βιομάζας.

Η αυξημένη διαθεσιμότητα N επιταχύνει την ανάπτυξη με αποτέλεσμα να αυξάνονται οι απαιτήσεις των φυτών και για άλλα θρεπτικά στοιχεία. Αυτό οδηγεί στη μείωση των συγκεντρώσεών τους στους ιστούς με συνέπεια αυτές να είναι λιγότερες από αυτές που απαιτούν τα φυτά για την ιακνοποιητική ανάπτυξή τους. Η ανθεκτικότητα του φυτού στις χαμηλές θερμοκρασίες εξαρτάται από το ισοζύγιο μεταξύ N και K. Με την αύξηση της αζωτούχου λίπανσης με N χωρίς την παράλληλη αύξηση του διαθέσιμου K παρατηρείται μείωση της αντοχής των φυτών στις χαμηλές θερμοκρασίες και αύξηση της θνησιμότητας τους κατά τους χειμερινούς μήνες [26].

4.3 Ασβέστιο

Το ασβέστιο θεωρείται βασικό θρεπτικό στοιχείο για τα φυτά. Το ασβέστιο που προσλαμβάνουν τα φυτά από το έδαφος συσσωρεύεται κυρίως στους μεσοκυττάριους χώρους των φυτών καθώς και στον κυτταρικό χυμό υπό μορφή κρυστάλλων οξαλικού ασβεστίου. Οι ποσότητες του ασβεστίου που προσλαμβάνονται από το έδαφος είναι μεγαλύτερες στα δικοτυλήδονα σε σχέση με τα μονοκοτυλήδονα. Στα πρώτα η συγκέντρωση του ασβεστίου κυμαίνεται από 0,5% έως και περισσότερο από 2%, ενώ στα δεύτερα από 0,1% έως 0,5%. Μεγάλες επίσης ποσότητες ασβεστίου συσσωρεύονται στους ξυλώδεις ιστούς των φυτών. Το ασβέστιο παίζει σημαντικό ρόλο στις φυσικές, χημικές και βιολογικές ιδιότητες του εδάφους. Για παράδειγμα τα ιόντα του ασβεστίου (Ca^{2+}) θρομβώνουν τους κόκκους της αργίλου του εδάφους και έτσι διευκολύνεται ο σχηματισμός καλής και σταθερής δομής. Επίσης το ασβέστιο επηρεάζει το pH του εδάφους, γιατί το πτωχό σε ασβέστιο έδαφος είναι όξινο, ενώ το πλούσιο είναι αλκαλικό και μειώνει την τοξικότητα ορισμένων στοιχείων όπως του Mn, του Cu κ.α. Το ασβέστιο επηρεάζει τις βιολογικές ιδιότητες του εδάφους, γιατί εξουδετερώνει την οξύτητα των οργανικών οξέων που παράγονται κατά την αποσύνθεση της οργανικής ουσίας του εδάφους και αυξάνει τη δράση των μικροοργανισμών.

Εκτός από τις παραπάνω αναφερόμενες σημαντικές ευεργετικές επιδράσεις του ασβεστίου στις εδαφικές ιδιότητες, αυτό δημιουργεί και ορισμένες δυσμενείς συνθήκες που επηρεάζουν την ανάπτυξη των φυτών. Για παράδειγμα η παρουσία μεγάλων ποσοτήτων ασβεστίου στο έδαφος μειώνει τη διαλυτότητα των φωσφορικών ενώσεων, αδιαλυτοποιεί το βόριο, το σίδηρο, το μαγγάνιο, τον ψευδάργυρο, το χαλκό κ.α. με αποτέλεσμα να περιορίζονται οι διαθέσιμες για τα φυτά μορφές θρεπτικών στοιχείων και τα φυτά να παρουσιάζουν συμπτώματα έλλειψης κάτω από αυτές τις συνθήκες. Τέλος μεγάλες συγκεντρώσεις ασβεστίου στο έδαφος παρεμποδίζουν την πρόσληψη του K από τα φυτά λόγω της μεγάλης ανταγωνιστικότητας μεταξύ των ιόντων Ca^{2+} και K^+ . Έλλειψη ασβεστίου περιορίζει την ανάπτυξη των φυματίων και την αζωτοδέσμευση στα ψυχανθή [26,59].

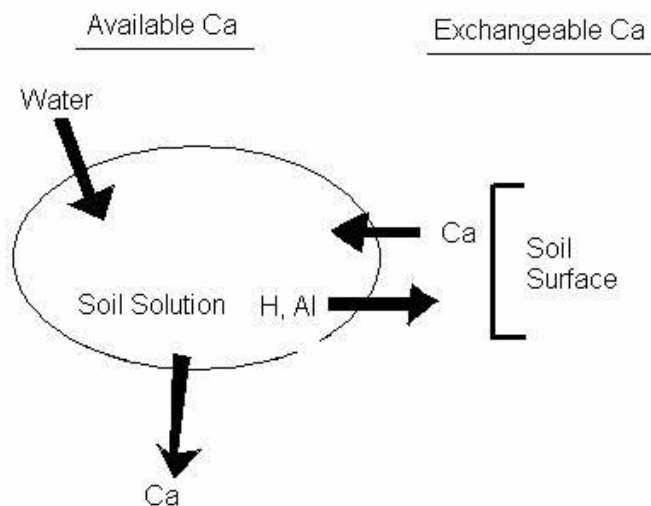
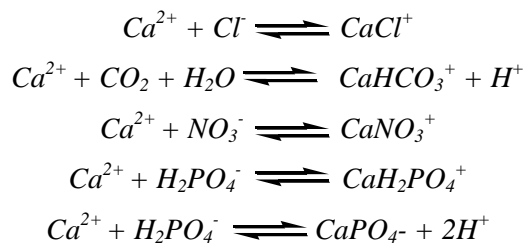
4.3.1 Μορφές ασβεστίου στο έδαφος

Το ασβέστιο του εδάφους βρίσκεται κυρίως υπό:

- ανταλλάξιμη μορφή προσροφημένη από τα κolloειδή
- μορφή συμπλόκων με την οργανική ουσία του εδάφους
- κρυσταλλική μορφή στα ορυκτά που περιέχουν Ca
- μορφή ευδιάλυτων αλάτων
- διαλυτή μορφή στο εδαφικό διάλυμα

Η ποσότητα του ασβεστίου που βρίσκεται ενωμένη με την οργανική ουσία υπό μορφή συμπλόκων είναι πολύ μικρή. Το ασβέστιο στο εδαφικό διάλυμα εμφανίζεται με διάφορες ιονικές μορφές. Η ενεργότητα των ιονικών αυτών μορφών δεν είναι σταθερή αλλά επηρεάζεται από το pH του εδαφικού διαλύματος, την περιεκτικότητα του εδαφικού διαλύματος σε Ca^{2+} , την ενεργότητα των ανιόντων καθώς και την περιεκτικότητα του εδάφους σε CO_2 . Έτσι σε όξινα εδάφη το $CaHCO_3^+$ βρίσκεται σε πολύ μικρές ποσότητες. Οι ποσότητες αυτές αυξάνονται σημαντικά με την αύξηση της τιμής του pH και την αύξηση του CO_2 στο έδαφος.

Οι ιονικές μορφές του Ca στο εδαφικό διάλυμα είναι οι εξής [26]:



Σχήμα 4.1: Ο κύκλος του ασβεστίου στο έδαφος [25]

4.3.2 Απώλειες ασβεστίου με την έκπλυση του εδάφους

Η ένταση της απώλειας του ασβεστίου με την έκπλυση επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες. Μεταξύ αυτών των παραγόντων οι σημαντικότεροι είναι:

- η κοκκομετρική σύσταση του εδάφους
- η δομή του εδάφους
- η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία του εδάφους
- το pH του εδάφους
- τα κατακρημνίσματα
- ο τύπος βλάστησης

Οι ποσότητες του ασβεστίου που εκπλύνονται από τα διάφορα οικοσυστήματα ετησίως φθάνουν ακόμη και τα 193 kg/ha.

Ακόμη και σε μη διαταραγμένα οικοσυστήματα οι απώλειες του ασβεστίου κυρίως λόγω της έκπλυσης αλλά και άλλων μηχανισμών είναι σε πολλές περιπτώσεις μεγαλύτερη σε σχέση με τις ποσότητες που εισάγονται στο έδαφος με τις αποθέσεις σκόνης από την ατμόσφαιρα. Σε ορισμένες περιπτώσεις το ισοζύγιο μεταξύ της προσθήκης ασβεστίου και της απώλειας είναι αρνητικό με αποτέλεσμα να έχουμε μια σταδιακή μείωση αυτού και οξίνιση της στεράς φάσης του εδάφους. Το αρνητικό αυτό ισοζύγιο επιβαρύνεται από τα όξινα κατακρημνίσματα. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι οι απώλειες ασβεστίου από ένα ιλυοπηλώδες έδαφος, όπως είναι και το έδαφος πλησίον της χοιροτροφικής μονάδας, είναι περίπου 115kg/ha [26].

4.3.3 Πρόσληψη του ασβεστίου από τα φυτά

Τα φυτά προσλαμβάνουν το ασβέστιο υπό μορφή κατιόντος, δηλαδή ως Ca^{2+} , είτε είναι από το εδαφικό διάλυμα, είτε απ' ευθείας με αντίδραση ανταλλαγής από τα προσροφημένα επί των κολλοειδών του εδάφους ιόντα. Αυτό σημαίνει ότι τα ιόντα ασβεστίου του εδαφικού διαλύματος αποτελούν την κύρια πηγή από την οποία τα φυτά αντλούν το στοιχείο αυτό.

Η ποσότητα του ασβεστίου που προσλαμβάνεται από τα φυτά εξαρτάται από:

- το είδος του φυτού
- το γενότυπο
- την ποσότητα των συγκομιζομένων προϊόντων [26].

4.3.4 Ο ρόλος του ασβεστίου στη φυσιολογία των φυτών

Είναι δυσκίνητο στοιχείο και βρίσκεται σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στα φύλλα. Διαδραματίζει ρόλο στο σχηματισμό των κυτταρικών τοιχωμάτων και τη σύνθεση πρωτεΐνης. Είναι ενεργοποιητής ενζύμων, ασκεί σημαντική επίδραση στη διαίρεση των κυττάρων, το σχηματισμό της μιτωτικής ατράκτου και την ανάπτυξη των μεριστωμάτων. Το

Ca είναι ρυθμιστής του pH, εξουδετερώνει τα δυσμενή αποτελέσματα των υψηλών συγκεντρώσεων άλλων στοιχείων, είναι απαραίτητο για τη φύτευση της γύρης και την επιλεκτικότητα και ημιπερατότητα των κυτταρικών μεμβρανών κατά την απορρόφηση θρεπτικών στοιχείων.

Το Ca σχηματίζει πηκτινικό Ca και ισχυροποιεί τα κυτταρικά τοιχώματα. Επίσης μπορεί να συνενωθεί με τα IAA και αξιάνει την πλαστικότητα του κυτταρικού τοιχώματος. Η ικανότητα του DNA να σχηματίζει σύμπλοκα με το Ca μπορεί να εξηγήσει την ανωμαλία των χρωμοσωμάτων με έλλειψη Ca. Μεταξύ των ενζύμων που ενεργοποιούνται από το Ca περιλαμβάνονται η α-αμυλάση και η ATPάση. Επίσης το Ca παίζει σημαντικό ρόλο στην επικοινωνία των κυττάρων μεταξύ τους. Αυτό επιτυγχάνεται διότι το Ca και η πρωτεΐνη calmodium διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη ρύθμιση ενζυμικών λειτουργιών.

Άλλες λειτουργίες όπου παρεμβαίνει το Ca είναι : ο γεωτροπισμός, το πρωτοπλασματικό ρεύμα, η ενεργός απέκκριση και οι ορμονικές μεταβολές [59].

4.3.5 Συμπτώματα έλλειψης ασβεστίου στα φυτά

Συμπτώματα έλλειψης ασβεστίου σπάνια παρατηρούνται στα φυτά που αναπτύσσονται σε περιοχές με ξηρό κλίμα, γιατί το στοιχείο αυτό αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος των ανταλλάξιμων κατιόντων των εδαφών στις περιοχές αυτές. Αντίθετα συμπτώματα έλλειψης ασβεστίου στα φυτά εμφανίζονται σε όξινα και πολύ όξινα εδάφη των υγρών περιοχών. Μεγαλύτερες απαιτήσεις έχουν τα πλατύφυλλα είδη σε σχέση με τα κωνοφόρα. Η έλλειψη στα κωνοφόρα εκδηλώνεται με την εμφάνιση ορφνού χρώματος στις άκρες των βελονών οι οποίες αργότερα ξεραίνονται. Επίσης νεκρώνεται ένα μέρος του ριζικού συστήματος, αναστέλλεται η ανάπτυξη των φυτών και τελικά τα φυτά γίνονται νάνα και καχεκτικά. Στα πλατύφυλλα τα νέα φύλλα εμφανίζονται νωρίτερα, είναι μικρότερα από τα κανονικά και στη συνέχεια εμφανίζονται ορφνυρές ξηρές κηλίδες, ενώ σπανιότερα παρατηρείται και ξήρανση των οφθαλμών.

Τα εδάφη στα οποία είναι πιθανόν να παρατηρηθεί έλλειψη ασβεστίου είναι :

- τα όξινα εδάφη, όταν ο βαθμός κορεσμού με Ca είναι μικρότερος του 25%
- τα αμμώδη εδάφη υγρών περιοχών που προέρχονται από όξινα πυριγενή πετρώματα
- τα εδάφη που προέρχονται από περιδοτίτες σε σερπεντίνη
- τα τυρφώδη εδάφη [26,59].

4.3.6 Ο ρόλος της σχέσης Ca/Mg στη θρέψη των φυτών

Ο βαθμός κορεσμού των κολλοειδών με Ca^{2+} σε ουδέτερα και ελαφρώς όξινα εδάφη κυμαίνεται από 60 έως 90%, ενώ ο αντίστοιχος του Mg κυμαίνεται από 5-20%. Παλαιότερα πιστευόταν ότι για την άριστη παραγωγή των φυτών απαιτείται η σχέση των ανταλλάξιμων

Ca^{2+} και Mg^{2+} να είναι περίπου 6:1. Αυτό σημαίνει ότι ο βαθμός κορεσμού των κολλοειδών του εδάφους με Ca^{2+} πρέπει να είναι 60% και με Mg^{2+} 10%, ενώ το υπόλοιπο της ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων να καλύπτεται από τα άλλα κατιόντα όπως K^+ , Na^+ , NH_4^+ κ.α. Τελευταίες όμως έρευνες έχουν δείξει ότι τα φυτά αναπτύσσονται καλά και καλύπτουν τις ανάγκες τους σε Ca και Mg όταν η σχέση των ανταλλάξιμων κατιόντων Ca/Mg κυμαίνεται από 1:1 έως 15:1. Η υγεία των φυτών και η ανάπτυξή τους δεν επηρεάζονται όταν η σχέση Ca/Mg βρίσκεται μέσα σε αυτά τα όρια, αλλά επηρεάζεται η σχέση της συγκέντρωσης μεταξύ των στοιχείων αυτών στους φυτικούς ιστούς. Τα εδάφη που αναπτύσσονται από μητρικά υλικά σερπεντινίτη, πέτρωμα με μεγάλη περιεκτικότητα μαγνησίου και μικρή ασβεστίου, αποτελούν ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα μη ισόρροπης θρέψης των φυτών με ασβέστιο και μαγνήσιο. Στην περίπτωση αυτή τα ανταλλάξιμα ιόντα Mg^{2+} συνήθως είναι 3 έως 9 φορές περισσότερα σε σχέση με τα ιόντα Ca^{2+} με αποτέλεσμα να εμφανίζονται συμπτώματα έλλειψης ασβεστίου και τοξικότητας μαγνησίου σε όλα τα φυτικά είδη εκτός από ορισμένα που είναι προσαρμοσμένα στις συνθήκες αυτές [26].

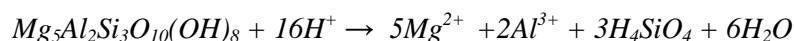
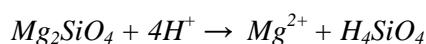
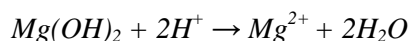
4.4 Μαγνήσιο

Τα φυτά χρειάζονται μικρότερες ποσότητες μαγνησίου σε σχέση με το ασβέστιο. Υπολογίζεται ότι η συγκέντρωση του μαγνησίου στα φυτά κυμαίνεται από 0,15 έως 0,75%. Το μαγνήσιο είναι συστατικό στοιχείο του μορίου της χλωροφύλλης και ως εκ τούτου ο ρόλος του στη φωτοσύνθεση είναι σημαντικός. Επίσης παίζει σημαντικό ρόλο στη σύνθεση των πρωτεϊνών και στο μεταβολισμό των φυτών, στη μεταφορά του φωσφόρου και των καρβοξυλικών ομάδων και στη σύνθεση ATP, ενώ ενεργοποιεί έν μεγάλο αριθμό ενζύμων.

Το μαγνήσιο του εδάφους προέρχεται κυρίως από τη χημική αποσάθρωση ορισμένων πρωτογενών και δευτερογενών ορυκτών που περιέχουν το στοιχείο αυτό, ενώ μικρές ποσότητες εισάγονται στο έδαφος με την απόθεση της αιωρούμενης στην ατμόσφαιρα σκόνης.

Η μέση περιεκτικότητα της λιθόσφαιρας σε μαγνήσιο εκτιμάται ότι ανέρχεται σε 2,1% ενώ στα εδάφη η μέση περιεκτικότητα ανέρχεται σε 0,5%. Η συγκέντρωση του μαγνησίου διαφέρει στα διάφορα πετρώματα. Για παράδειγμα η συγκέντρωση αυξάνεται ακολουθώντας τη σειρά: βασικά πυριγενή > όξινα πυριγενή > ιζηματιγενή. Γενικώς τα εδάφη με μεγάλη περιεκτικότητα σε ορυκτά εκτατού πλέγματος περιέχουν και περισσότερο μαγνήσιο. Επίσης στα εδάφη των ξηρών περιοχών η μέση περιεκτικότητα σε Mg, είναι διπλάσια σε σχέση με την αντίστοιχη των υγρών περιοχών.

Από τα ορυκτά, με την χημική αποσάθρωση ελευθερώνονται ιόντα Mg^{2+} . Χαρακτηριστικές είναι οι αντιδράσεις απελευθέρωσης μαγνησίου:



Η διαλυτότητα των ορυκτών που περιέχουν μαγνήσιο δεν είναι η ίδια για όλα τα εδάφη. Για παράδειγμα σταφυριτικά ορυκτά που περιέχουν μαγνήσιο η διαλυτότητα μειώνεται με την σειρά : ολιβίνης > φορστερίτης > κλινοεσταντίτης > βερμικουλίτης > διοψίδιος.

Οι παράγοντες του εδάφους που επηρεάζουν τη διαλυτότητα των ορυκτών που περιέχουν μαγνήσιο είναι κυρίως το pH και η περιεκτικότητα του σε CO₂ (για το MgCO₃). Όταν το pH του εδάφους είναι μικρότερο από 7,5 τότε τα περισσότερα μαγνησιούχα ορυκτά είναι αρκετά διαλυτά. Αντίθετα σε υψηλότερες τιμές του pH τα ορυκτά αυτά είναι πολύ ανθεκτικά στην αποσάθρωση. Από τα οξείδια και υδροξείδια του Mg το περισσότερο διαλυτό είναι το περικόλαστο (MgO), το οποίο και υδρολύεται σε Mg(OH)₂ (βρουσίτης). Το υδροξείδιο αυτό, όταν υπάρχουν στο έδαφος ορυκτά εκτατού πλέγματος, εισέρχεται στον ενδοκρυσταλλικό χώρο και έτσι σχηματίζεται ο πεδογενής χλωρίτης, ενώ σε αντίθετη περίπτωση καθιζάνει ως αδιάλυτη μορφή [26, 59].

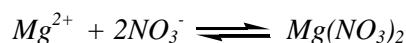
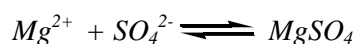
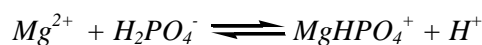
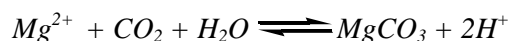
4.4.1 Μορφές μαγνησίου στο έδαφος

Οι μορφές με τις οποίες εμφανίζεται το μαγνήσιο στο έδαφος είναι:

- **το ανταλλάξιμο**, δηλαδή το προσροφημένο από τα κολλοειδή του εδάφους
- **το μαγνήσιο του εδαφικού διαλύματος**
- **το μαγνήσιο των διαστιβαδικών χώρων των ορυκτών 2:1**
- **το δομικό**, δηλαδή το μαγνήσιο το οποίο συμμετέχει στην δομή των κρυστάλλων των ορυκτών του εδάφους
- **το μαγνήσιο της οργανικής ουσίας**
- **το μαγνήσιο των ανθρακικών αλάτων**

Τα ιόντα Mg²⁺ που απελευθερώνονται κατά την αποσάθρωση των ορυκτών καθώς και αυτά που προέρχονται από την ανοργανοποίηση της οργανικής ουσίας εισέρχονται στο εδαφικό διάλυμα και από εκεί για την αποκατάσταση της χημικής ισορροπίας ένα μέρος τους προσροφάται από τα κολλοειδή του εδάφους υπό ανταλλάξιμη μορφή, ένα μέρος εκπλύνεται, ενώ ένα μικρό μέρος δημιουργεί διάφορες ιονικής μορφής ενώσεις. Ο σχηματισμός των διαφόρων ιονικών αυτών μορφών του μαγνησίου στο εδαφικό διάλυμα επηρεάζεται από την ενεργότητα των ανιόντων, το pH καθώς και την περιεκτικότητα του εδάφους σε CO₂. Στην ουσία οι περισσότερες από τις μορφές αυτές είναι και σύμπλοκες ενώσεις [26].

Οι μορφές του μαγνησίου στο εδαφικό διάλυμα είναι οι εξής :



4.4.2 Απώλειες μαγνησίου με την έκπλυση του εδάφους

Έκπλυση του μαγνησίου παρατηρείται κυρίως στα αμμώδη, όξινα και με μικρή ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων εδάφητων υγρών περιοχών. Αναφέρεται για παράδειγμα ότι η ετήσια έκπλυση μαγνησίου από δασικό οικοσύστημα *Populus tremuloides* ανέρχεται σε 9 kg/ha. Η μέθοδος καλλιέργειας επηρεάζει την ποσότητα μαγνησίου που εκπλύνεται από το έδαφος. Για παράδειγμα αναφέρεται ότι από μια καλλιέργεια καλαμποκιού, η ετήσια απώλεια μαγνησίου λόγω έκπλυσης ανήλθε σε 104 kg/ha, ενώ σε καλλιέργεια *Poa pratensis* στο ίδιο έδαφος η ποσότητα αυτή μειώθηκε στα 48 kg/ha.

Η προσθήκη ασβεστίου στο έδαφος έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της έκπλυσης του μαγνησίου γιατί τα ιόντα Ca^{2+} αντικαθιστούν τα προσροφημένα στα κολλοειδή του εδάφους ιόντα Mg^{2+} με αποτέλεσμα αυτά να εκπλύνονται. Επίσης η μείωση του pH του εδάφους που οφείλεται στη χρήση αμμωνιακών λιπασμάτων οδηγεί σε αύξηση της έκπλυσης, γιατί κάτω από αυτές τις συνθήκες τα ιόντα Al^+ και H^+ αντικαθιστούν τα προσροφημένα από τα κολλοειδή του εδάφους ιόντα Mg^{2+} [26].

4.4.3 Πρόσληψη του μαγνησίου από τα φυτά

Τα φυτά προσλαμβάνουν το μαγνήσιο με τη μορφή κατιόντων, είτε από το εδαφικό διάλυμα, είτε απ' ευθείας με αντίδραση ανταλλαγής από τα προσροφημένα από τα κολλοειδή του εδάφους ιόντα Mg^{2+} . Μεταξύ των θρεπτικών στοιχείων που προσλαμβάνουν τα φυτά από το έδαφος υπό μορφή κατιόντων, η δύναμη σύγκρασης των ιόντων Mg^{2+} από τα κολλοειδή του εδάφους είναι μικρή, λόγω του μεγάλου ενυδατώματος, με αποτέλεσμα άλλα κατιόντα όπως το K^+ και το Ca^{2+} να το ανταγωνίζονται αποτελεσματικά. Ο ισχυρός αυτός ανταγωνισμός τεκμηριώνεται και από την παρατήρηση ότι η έλλειψη μαγνησίου εμφανίζεται εκεί όπου γίνεται ισχυρή λίπανση με κάλιο ή ασβέστιο.

Επίσης ισχυρή ανταγωνιστική σχέση στην πρόσληψη του Mg^{2+} παρατηρείται και με το Mn^{2+} . Αυτό συμβαίνει γιατί το Mn ακινητοποιεί το Mg με αποτέλεσμα να μη μετακινείται στο φυτό εύκολα [26,59].

4.4.4 Συμπτώματα έλλειψης μαγνησίου

Συμπτώματα έλλειψης μαγνησίου στα φυτά εμφανίζονται όταν το ανταλλάξιμο Mg^{2+} είναι λιγότερο από 6 mg/100g εδάφους. Το κύριο σύμπτωμα έλλειψης Mg είναι η χλώρωση στη μεσονεύρια περιοχή που εμφανίζεται στα παλαιότερα φύλλα. Συνήθως η χλώρωση εμφανίζεται ως κηλίδες πράσινου και κίτρινου χρώματος, όπως συμβαίνει στα δικοτυλήδονα ή υπό μορφή λωρίδων, όπως συμβαίνει στα μονοκατυλήδονα. Επειδή το μαγνήσιο είναι θρεπτικό στοιχείο το οποίο εύκολα μετακινείται εντός του φυτού από παλαιότερους προς νεότερους ιστούς, τα πρώτα συμπτώματα έλλειψης εμφανίζονται στους παλαιότερους ιστούς.

Τα συμπτώματα αυτά σε αμμώδη με μικρή ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων εδάφη, μοιάζουν με αυτά που προκαλούνται από έλλειψη οξυγόνου σε κατακλυζόμενα εδάφη.

Στις βοσκημένες εκτάσεις, όταν το έδαφος δεν έχει την ικανότητα να εφοδιάζει τα φυτά με ικανοποιητικές ποσότητες μαγνησίου, τότε τα ζώα εμφανίζουν διατροφικά προβλήματα από την έλλειψη του στοιχείου αυτού.

Στα κωνοφόρα η έλλειψη μαγνησίου εκδηλώνεται με την εμφάνιση χλώρωσης στις άκρες των βελονών. Συνήθως εμφανίζεται ένα κίτρινο-χρυσοκίτρινο, ερυθροκίτρινο ή ελαφρώς πορτοκαλί χρώμα στην άκρη των βελονών, το οποίο και προχωρά σιγά-σιγά προς τη βάση και καθώς η έλλειψη συνεχίζεται οι βελόνες παίρνουν ορφνό χρώμα και ξηραίνονται. Η αλλαγή του χρώματος είναι εντονότερη κατά το φθινόπωρο. Κατά τους Baule and Fricker (1970) στα κανονικώς αυξανόμενα πεύκα η περιεκτικότητα των βελονών σε μαγνήσιο ανέρχεται σε 1,5-2 mg/g. Όταν η ποσότητα αυτή γίνει μικρότερη από 0,8 mg/g αρχίζουν να εμφανίζονται συμπτώματα έλλειψης.

Στα πλατύφυλλα τα συμπτώματα έλλειψης (χλώρωση) σε ορισμένες περιπτώσεις αρχίζουν και από την περιφέρεια του φύλλου ή την κορυφή του φύλλου και η χλώρωση συνεχίζεται στο εσωτερικό μέρος του φύλλου. Σε περιπτώσεις έντονης έλλειψης παρατηρείται πρόωμη φυλλόπτωση που έχει ως αποτέλεσμα τον περιορισμό της αύξησης των δένδρων.

Επειδή η έλλειψη μαγνησίου στο έδαφος πολλές φορές συνοδεύεται και από έλλειψη καλίου, γιατί οι συνθήκες που δημιουργούν την έλλειψη είναι οι ίδιες και για τα δύο αυτά θρεπτικά στοιχεία, όπως για παράδειγμα είναι η μικρή ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, τα όξινα με μικρό βαθμό κορεσμού με βάσεις αμμώδη εδάφη, τα συμπτώματα έλλειψης του ενός από τα δύο αυτά θρεπτικά στοιχεία συνοδεύονται με την εμφάνιση συμπτωμάτων έλλειψης και του άλλου. Η κύρια διαφορά μεταξύ τους είναι η φωτεινότητα του κίτρινου χρώματος. Στην έλλειψη μαγνησίου η φωτεινότητα είναι έντονη [26,59].

5. ΑΖΩΤΟ

5.1 Εισαγωγή

Στη παρούσα εργασία μελετήθηκαν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που έχει η λειτουργία χοιροτροφικής μονάδας μεγάλης δυναμικότητας στο έδαφος. Αυτές οφείλονται κυρίως στην εναπόθεση και συσσώρευση αζώτου, υπό μορφή αμμωνίας, στο έδαφος. Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναφορά στο άζωτο και στις μορφές και τις διεργασίες του στο έδαφος.

5.2 Γενικά

Το άζωτο είναι ένα από τα τρία θρεπτικά στοιχεία των φυτών του οποίου συχνότατα παρατηρείται έλλειψη στο έδαφος. Έλλειψη αζώτου στο έδαφος υπό αφομοιώσιμη μορφή έχει ως αποτέλεσμα τον περιορισμό της ανάπτυξης των φυτών.

Η κύρια πηγή N για το έδαφος είναι η ατμόσφαιρα. Οι κυριότερες αζωτούχες ενώσεις στην ατμόσφαιρα είναι τα NO, NO₂, N₂O, και NH₃, N₂ καθώς και μικρότερες ποσότητες NO₃⁻ και NH₄⁺. Το άζωτο της ατμόσφαιρας σύμφωνα με γεωχημική θεωρία υπήρχε με τη μορφή αμμωνιακών και νιτρικών αλάτων στο στερεό φλοιό της γής. Με την αύξηση όμως της θερμοκρασίας της γής, το άζωτο ελευθερώθηκε στην ατμόσφαιρα κυρίως με την μορφή της αμμωνίας. Όταν δημιουργήθηκε κατάλληλο περιβάλλον για την ανάπτυξη πλούσιας βλάστησης, η ατμόσφαιρα εμπλοθίστηκε με οξυγόνο. Ο εμπλουτισμός αυτός προήλθε από τη φωτοσύνθεση των φυτών και είχε ως αποτέλεσμα την οξείδωση της αμμωνίας και τη μετατροπή της σε άζωτο (N₂). Με τον τρόπο αυτό συσσωρεύτηκαν στην ατμόσφαιρα τεράστιες ποσότητες αζώτου. Εκτιμάται ότι το άζωτο της ατμόσφαιρας είναι 2.500 φορές περισσότερο σε σχέση με αυτό που βρίσκεται δεσμευμένο στο έδαφος και τα πετρώματα. Η περιεκτικότητα των πετρωμάτων σε άζωτο είναι πολύ μικρή (0,002%)

Η μέση περιεκτικότητα του εδάφους σε άζωτο κυμαίνεται από 200 έως 4000 ppm με μέσο όρο γύρω στα 1400 ppm (0,14%). Η διαφορά μεταξύ της μέσης περιεκτικότητας σε άζωτο των πετρωμάτων και του εδάφους δείχνει μια διαδικασία συσσώρευσης του στοιχείου αυτού στο έδαφος. Πράγματι λεμτομερείς έρευνες έχουν δείξει ότι το περισσότερο άζωτο που προσλαμβάνουν τα φυτά κάτω από φυσικές συνθήκες έχει προέλθει από τη διαδικασία συσσώρευσης του στο έδαφος και δεν είναι το άζωτο που περιέχεται στα πετρώματα.

Η διαδικασία της συσσώρευσης του αζώτου στο έδαφος γίνεται με δύο τρόπους:

- τον εμπλουτισμό του εδάφους με αζωτούχες ενώσεις που φθάνουν σ' αυτό μαζί με τα κατακρημνίσματα και
- τη βιολογική δέσμευση του ατμοσφαιρικού αζώτου που γίνεται από διάφορους μικροοργανισμούς που διαβιούν στο έδαφος είτε μεμονωμένοι, είτε σε συμβίωση με ορισμένα φυτά [26].

5.3 Μορφές αζώτου του εδάφους

5.3.1 Ανόργανες μορφές

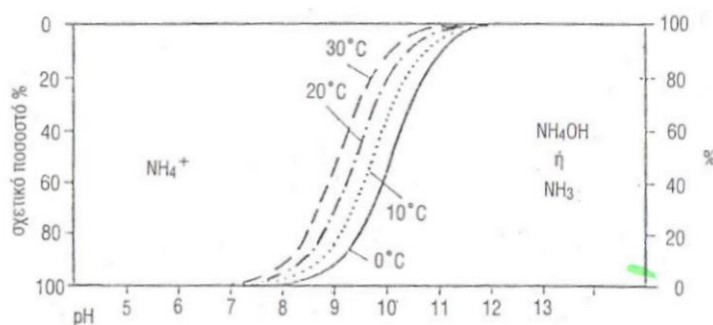
Στο έδαφος συναντώνται διάφορες μορφες ανόργανου αζώτου. Οι μορφές αυτές είναι το υποξείδιο (N_2O), το μονοξείδιο (NO), το διοξείδιο (NO_2) του αζώτου, η αμμωνία (NH_3), τα ιόντα του αμμωνίου (NH_4^+), τα νιτρώδη (NO_2^-) και τα νιτρικά (NO_3^-) καθώς και το μοριακό άζωτο (N_2). Τα τρία πρώτα οξείδια βρίσκονται τόσο στο εδαφικό διάλυμα όσο και στον εδαφικό αέρα, ενώ το NH_4^+ βρίσκεται ως ανταλλάξιμο ή δεσμευμένο ιόν. Το μοριακό άζωτο βρίσκεται στον εδαφικό αέρα υπό μορφή αερίου, καθώς και διαλυμένο στο εδαφικό διάλυμα. Τέλος τα νιτρικά και νιτρώδη ανιόντα βρίσκονται κυρίως στο εδαφικό διάλυμα. Στο εδαφικό διάλυμα βρίσκεται λιγότερο από το 2% της ολικής ποσότητας του αζώτου. Το άζωτο αυτό συναντάται στις μορφές NO_2^- , NO_3^- και NH_4^+ [26].

Τα **αμμωνιακά ιόντα (NH_4^+)** αποτελούν μία από τις μορφές του αζώτου και παίζουν σημαντικό ρόλο στο κύκλο του. Συμμετέχουν σε εδαφικές διεργασίες του αζώτου όπως η ανοργανοποίηση, η ακινητοποίηση και η νιτροποίηση και μαζί με την αμμωνία αποτελούν το αμμωνιακό άζωτο. Τα αμμωνιακά ιόντα (NH_4^+) συνυπάρχουν με την ελεύθερη αμμωνία (NH_3) ανάλογα με το pH και τη θερμοκρασία του διαλύματος, σύμφωνα με την παρακάτω σχέση ισορροπίας :



Σε αλκαλικό περιβάλλον, η αντίδραση μετατοπίζεται προς τα αριστερά, ενώ σε όξινο περιβάλλον προς τα δεξιά και αντίστροφα.

Σχηματικά, η ισορροπία NH_3/NH_4^+ , σε σχέση με το pH, δίνεται στο ακόλουθο σχήμα 8.1



Σχήμα 5.1: Σχέση συγκέντρωσης αμμωνίας και ιόντων αμμωνίου σε συνάρτηση με το pH

Τα **νιτρικά ιόντα (NO_3^-)** αποτελούν το τελικό στάδιο οξείδωσης των αζωτούχων ενώσεων



Τα νιτρικά ιόντα, αποτελούν βασικό θρεπτικό παράγοντα για την ανάπτυξη φωτοσυνθετικών αυτότροφων οργανισμών, όπως τα φύκη και σε ορισμένα κλειστά υδατικά

συστήματα έχει βρεθεί ότι τα νιτρικά αποτελούν περιοριστικό παράγοντα ανάπτυξης του ευτροφισμού [25].

5.3.2 Οργανικές μορφές

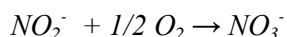
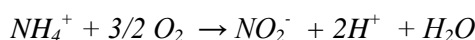
Το άζωτο των επιφανειακών στρωμάτων του εδάφους βρίσκεται κυρίως υπό οργανική μορφή. Υπολογίζεται ότι το 90 έως 95% του αζώτου στους επιφανειακούς ορίζοντες των εδαφών βρίσκεται υπό αυτή τη μορφή. Οι αζωτούχες οργανικές ενώσεις του εδάφους είναι κυρίως διάφορα ελεύθερα *αμινοξέα, αμινοσάκχαρα, πεπτίδια και πρωτεΐνες*, ενώ σε πολύ μικρές ποσότητες, συναντώνται *νουκλεϊκά οξέα, χλωροφύλλη, φωσφολιπίδια, αμίνες, βιταμίνες* καθώς και προϊόντα μετασχηματισμού των παραπάνω ενώσεων του εδάφους [26].

5.4 Μετασχηματισμοί αζώτου στο έδαφος

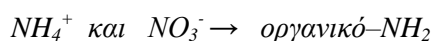
Είναι γνωστό ότι το άζωτο στο έδαφος συνεχώς κινείται από τη μια μορφή στην άλλη ως αποτέλεσμα των δράσεων των φυτών και των μικροοργανισμών. Το οργανικό άζωτο μπορεί να ορυκτοποιηθεί σύμφωνα με την ακόλουθη αντίδραση :



Το NH_4^+ που σχηματίζεται υπόκειται σε νιτροποίηση μέσω οξείδωσης σε νιτρώδη και νιτρικά με τη βοήθεια συγκεκριμένων μικροοργανισμών κατά το ακόλουθο σχήμα:



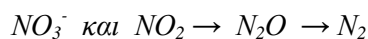
Το ορυκτοποιημένο N μπορεί να μετασχηματιστεί σε οργανικό άζωτο, όταν οι μικροοργανισμοί δεν μπορούν να ικανοποιήσουν τις ανάγκες τους σε N από τις οργανικές ουσίες:



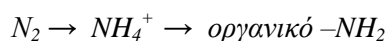
Κάτω από αλκαλικές συνθήκες τα αμμωνιακά ιόντα μετατρέπονται σε αμμωνιακά μόρια σε διάλυμα το οποίο μπορεί να απελευθερωθεί στην ατμόσφαιρα του εδάφους



Τα νιτρώδη και τα νιτρικά μπορούν να υποστούν απονιτροποίηση σε αέριο άζωτο από μικροοργανισμούς:



Στη συνέχεια, οργανικό N μπορεί να παραχθεί κατά το ακόλουθο σχήμα:



5.5 Διεργασίες εδαφικού αζώτου

5.5.1 Ανοργανοποίηση (Mineralization) και Ακινητοποίηση (Immobilization)

Ανοργανοποίηση και ακινητοποίηση αποτελούν δύο αντίθετες διεργασίες, οι οποίες λαμβάνουν χώρα ταυτόχρονα. Η διαφορά των αντιστοίχων ρυθμών μετατροπής (k_1-k_2), δηλαδή το επίπεδο ισορροπίας μεταξύ ακινητοποίησης και ανοργανοποίησης καθορίζει τελικά τη διαθεσιμότητα N στα ανώτερα φυτά (Σχήμα 8.2).

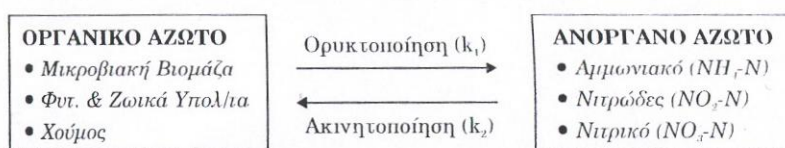
Ανοργανοποίηση αποκαλείται η μετατροπή του N από την οργανική κατάσταση στις ανόργανες μορφές του αμμωνιακού ιόντος (NH_4^+) και της αμμωνίας (NH_3). Η ανοργανοποίηση του οργανικού N περιλαμβάνει δύο διαδοχικές φάσεις την **αμινοποίηση** και την **αμμωνιοποίηση**. Η αμμωνιοποίηση πραγματοποιείται με ικανοποιητικό ρυθμό σε καλώς στραγγιζόμενα και αεριζόμενα εδάφη πλούσια σε βασικά κατιόντα. Μπορεί όμως να προχωρήσει, αλλά με μικρότερους ρυθμούς, κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες, λόγω του μεγάλου πλήθους διαφορετικών μικροοργανισμών που είναι σε θέση να απελευθερώνουν αμμωνιακό N από το οργανικό N. Το απελευθερούμενο ιόν NH_4^+ μπορεί ανάλογα με τις συνθήκες:

- να μετατραπεί σε NO_3^- με τη διαδικασία της νιτροποίησης, η οποία και επικρατεί υπό κανονικές συνθήκες.
- να απορροφηθεί απευθείας από τα φυτά
- να δεσμευθεί στο κρυσταλλικό πλέγμα αργίλων τύπου 2:1, καθιστάμενο στη μορφή αυτή μη διαθέσιμο για τις ρίζες των ανωτέρων φυτών
- να ακινητοποιηθεί από ετερότροφους μικροοργανισμούς οι οποίοι διασπών οργανικά υπολείμματα πλούσια σε άνθρακα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι παρόμοια πορεία στο έδαφος ακολουθεί και το αμμωνιακό άζωτο των λιπασμάτων.

Ακινητοποίηση αποκαλείται η αφομοίωση και ενσωμάτωση των ανόργανων μορφών N (NH_4^+ , NH_3 , NO_3^- , NO_2^-).

Η δυναμική ισορροπία μεταξύ ανόργανου και οργανικού N φαίνεται ότι διαταράσσεται και με την προσθήκη αζωτούχων λιπασμάτων. Ο ρόλος της ακινητοποίησης του N είναι σημαντικός σε ότι αφορά τη διατήρηση του αρκετά ευκίνητου αυτού θρεπτικού στοιχείου στο έδαφος και την αποφυγή της διαφυγής του στους υδάτινους πόρους και στην ατμόσφαιρα.



Σχήμα 5.2 : Σχηματική παράσταση της δυναμικής ισορροπίας μεταξύ ορυκτοποίησης και ακινητοποίησης του εδαφικού N.

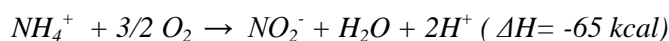
Η διαθεσιμότητα του N για τα ανώτερα φυτά προκύπτει από τη διαφορά των σταθερών μετατροπής k_1-k_2 [25,37].

5.5.2 Νιτροποίηση

Το αμμωνιακό N το οποίο απελευθερώνεται κατά τη διάσπαση των αζωτούχων ενώσεων μόνο μερικά ακινητοποιείται εκ νέου στην εδαφική βιομάζα. Ελλείπει ανθρακούχων ενώσεων πλούσιων σε ενέργεια, που αποτελεί συνηθέστατη συνθήκη των γεωργικών εδαφών, το NH_4^+ οξειδώνεται ταχύτατα σε NO_3^- , διαδικασία που αποκαλείται **νιτροποίηση**.

Η νιτροποίηση λαμβάνει χώρα στο έδαφος, πρακτικά παντού όπου υπάρχει ως υπόστρωμα το NH_4^+ και οι συνθήκες θερμοκρασίας, υγρασίας, pH και αερισμού είναι ευνοϊκές. Η οξείδωση του NO_2^- σε NO_3^- είναι πολύ ταχύτερη από την οξείδωση του NH_4^+ σε NO_2^- γι αυτό και πολύ σπάνια απαντώνται στα εδάφη συγκεντρώσεις του NO_2^- μεγαλύτερες από ίχνη.

Η οξείδωση του NH_4^+ σε NO_2^- γίνεται υπό την επίδραση του μικροοργανισμού Nitrosomas και λαμβάνει χώρα η αντίδραση:



Η αλλαγή αριθμού οξείδωσης του N από -3 σε +3 με ταυτόχρονη παραγωγή 65 kcal ενέργειας, που είναι αρκετή για τη βιοσύνθεση και τη συντήρηση του βακτηρίου. Η υδροξυλαμίνη (NH_2OH) θεωρείται ως πιθανό ενδιάμεσο προϊόν. Λόγω της μεγάλης μεταβολής του αριθμού οξείδωσης του N εικάζεται η συμμετοχή ενός άλλου ασταθούς ενδιάμεσου προϊόντος του νιτροξυλίου (NOH). Τα υπεύθυνα για την οξείδωση ένζυμα είναι η οξυγενάση και η υδροξυλαμινο-οξυδορεδοκτάση.

Η οξείδωση του NO_2^- , από το Nitrobacter, λαμβάνει χώρα κατά την αντίδραση:



με αύξηση του αριθμού οξείδωσης του N από +3 σε +5. Η αντίδραση καταλύεται από το ενζυματικό σύστημα νιτρώδους οξειδάσης.

Η άμεση αλληλουχία των δύο σταδίων οξείδωσης του NH_4^+ σε NO_3^- αποτρέπει τη συσσώρευση νιτρώδων ιόντων, τα οποία είναι τοξικά για τα ανώτερα φυτά, ακόμα και σε πολύ μικρή συγκέντρωση. Υπάρχουν όμως ενδείξεις ότι σε πολύ αλκαλικά εδάφη μετά από προσθήκη ισχυρών δόσεων αμμωνιακών λιπασμάτων, η δράση του Nitrobacter παρεμποδίζεται έως ότου το NH_4^+ κατέλθει σε χαμηλά επίπεδα, με συνέπεια τη συσσώρευση ενδιάμεσως του NO_2^- , σε συγκέντρωση αρκετή για να έχει τοξική επίδραση. Εξάλλου η συσσώρευση αυτή του NO_2^- μπορεί να οδηγήσει και σε απώλειες εξαερώσεως μοριακού N_2 , δηλαδή απονιτροποίηση.

Η νιτροποίηση εξαρτάται από τις εξής συνθήκες:

- **Η διαθεσιμότητα αμμωνίας.** Πρέπει να υπάρχουν αποθέματα υποστρώματος αμμωνίας, είτε από ορυκτοποίηση οργανικού N, είτε από προσθήκη αμμωνιακών λιπασμάτων.
- **Αερισμός.** Η νιτροποίηση αποτελεί οξειδωτική διαδικασία και ο ρυθμός της περιορίζεται σε πολύ υγρά ή συμπαγή εδάφη.

- **Θερμοκρασία.** Ως πλέον ευνοϊκή θεωρείται η θερμοκρασία εδάφους μεταξύ 27° και 32° C.
- **Υγρασία.** Όταν η υγρασία εδάφους είναι υπερβολική, ή αντίθετα πολύ χαμηλή, ο ρυθμός νιτροποίησης *επιβραδύνεται*. Γενικά, η υδατοπεριεκτικότητα που αντιστοιχεί στο ισοδύναμο υγρασίας και που είναι άριστη για τις υδατικές σχέσεις των ανώτερων φυτών, είναι η πλέον ευνοϊκή για τους μικροοργανισμούς νιτροποίησης.
- **Ανταλλάξιμα βασικά κατιόντα και pH.** Ο ρυθμός νιτροποίησης χωρεί απρόσκοπτα όταν υπάρχει ικανοποιητική διαθεσιμότητα βασικών κατιόντων σε ανταλλάξιμη μορφή. Ακριβώς δε στην ελλειπή διαθεσιμότητα βάσεων οφείλεται κυρίως ο μειωμένος ρυθμός νιτροποίησης των όξινων εδαφών χωρίς να αποκλείεται και η άμεση επίδραση της υψηλής οξύτητας.
- **Γεωργικά φάρμακα.** Οι μικροοργανισμοί νιτροποίησης παρουσιάζουν ευαισθησία σε ορισμένα γεωργικά φάρμακα, μυκητοκτόνα και νηματοδοκτόνα, που περιορίζουν επίσης και τη δράση των μικροοργανισμών οξειδωτικής διάσπασης του οργανικού N. Αν οι δόσεις των φυτοφαρμάκων τηρούνται στα συνιστώμενα επίπεδα, ο ρυθμός της νιτροποίησης δεν ανακόπτεται αισθητά [25,37].

5.5.3 Απονιτροποίηση

Η απονιτροποίηση είναι η μικροβιακή αναγωγή του νιτρικού, ή νιτρώδους αζώτου σε αέριο άζωτο της μορφής μοριακού αζώτου, ή ενός οξειδίου του αζώτου. Τα τελικά προϊόντα απονιτροποίησης, δηλαδή της αναγωγής του νιτρικού ιόντος, είναι τα αέρια N_2O και N_2 τα οποία εκφεύγουν από το έδαφος.

Σχεδόν όλα τα βακτήρια απονιτροποίησης είναι αερόβιοι οργανισμοί, ικανοί και για αναερόβια ανάπτυξη, αλλά μόνο με την παρουσία οξειδίων του N.

Γενικές προϋποθέσεις απονιτροποίησης είναι:

- Η παρουσία βακτηρίων που έχουν τη μεταβολική αυτή ικανότητα
- Κατάλληλοι δότες ηλεκτρονίων, όπως οργανικές ανθρακούχες ενώσεις, ανηγμένες θειούχες ενώσεις, ή μοριακό υδρογόνο
- Αναερόβιες συνθήκες, ή περιορισμένη διαθεσιμότητα O_2
- Οξείδια του N που χρησιμεύουν ως τελικοί αποδέκτες ηλεκτρονίων.

Η βιολογική απονιτροποίηση ελέγχεται από 3 παράγοντες:

- Διαθεσιμότητα ανθρακούχου υποστρώματος
- Τροφοδοσία O_2
- Επιδράσεις NO_3^- , *Θερμοκρασίας και pH* : Ο ρυθμός απονιτροποίησης αυξάνει εκθετικά με τη διαθέσιμη συγκέντρωση του NO_3^- μέχρι κορεσμού. Το άριστο εύρος για την δράση των βακτηρίων απονιτροποίησης είναι μεταξύ τιμών pH 6-8. Σε ισχυρώς όξινα εδάφη (pH 3-4,5) η απονιτροποίηση αναστέλλεται ή πραγματοποιείται με βραδύτατο ρυθμό.

5.6 Απώλειες αζώτου από το έδαφος

Το εδαφικό άζωτο διαφεύγει από το έδαφος κυρίως υπό μορφή αέριας αμμωνίας με εξαέρωση και υπό μορφή νιτρικών ιόντων με έκπλυση [26].

5.6.1 Εξαέρωση αμμωνίας

Η απώλεια αζώτου από το έδαφος υπό μορφή αέριας αμμωνίας αποτελεί μια από τις κυριότερες οδούς διαφυγής του N προς την ατμόσφαιρα. Η συγκέντρωση NH_3 στο εδαφοδιάλυμα και την ατμόσφαιρα του εδάφους αυξάνει σημαντικά μετά από προσθήκη αμμωνιακών λιπασμάτων σε αλκαλικά και ουδέτερα εδάφη. Εξαέρωση μπορεί να λάβει χώρα όταν η ελεύθερη αμμωνία σχηματίζεται στην επιφάνεια του εδάφους, ή σε μικρό βάθος, μετά από επιφανειακή εφαρμογή (ή ρηχή ενσωμάτωση) αμμωνιακών λιπασμάτων. Υπό τις συνθήκες αυτές οι απώλειες εξαέρωσης είναι σοβαρότερες σε αλκαλικά εδάφη και πολύ μικρότερες σε όξινα εδάφη.

Οι συνθήκες του εδάφους που επηρεάζουν την εξαέρωση της αμμωνίας είναι η παρουσία ανθρακικού ασβεστίου σε συνδυασμό με το αλκαλικό pH. Επίσης επικουρικό ρόλο παίζουν η θερμοκρασία, η δοσολογία εφαρμογής, η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, η οργανική ύλη και τα αποσυνθέσιμα υλικά. Τέλος, για την εδαφική υγρασία προκύπτει ότι η απότομη ξήρανση του εδάφους μετά από προσθήκη αμμωνιακών αλάτων συνήθως οδηγεί σε αύξηση των απωλειών [25,37].

5.6.2 Έκπλυση NO_3^-

Η έκπλυση αφορά στην απομάκρυνση με το εδαφικό ύδωρ του NO_3^- και δευτερευόντως του NH_4^+ είτε κατά βάθος, είτε και πλευρικός. Συγκριτικά η έκπλυση του NH_4^+ είναι πολύ μικρότερη και μπορεί να αποβεί υπολογίσιμη μόνο σε αμμώδη εδάφη. Η έκπλυση του NO_3^- συχνά αποβαίνει η σοβαρότερη διαδικασία απομάκρυνσης του N από το έδαφος. Προκειμένου να λάβει χώρα έκπλυση μεγάλης έκτασης του NO_3^- πρέπει να ικανοποιούνται δύο βασικές προϋποθέσεις:

- υψηλή συγκέντρωση του NO_3^- στο έδαφος και
- έντονη (καθοδική ή πλευρική) κίνηση του ύδατος.

Η έκπλυση των νιτρικών αποτελεί συνήθως το κύριο αίτιο της μειωμένης αποτελεσματικότητας της αζωτούχου λίπανσης και βασικός συντελεστής των ρυπογόνων επιπτώσεων της γεωργικής παραγωγής στο οικολογικό περιβάλλον.

Στα φυσικά οικοσυστήματα το NO_3^- δεν συσσωρεύεται στο έδαφος, διότι υπάρχει ισορροπία εισροών-εκροών N, και το NO_3^- αφομοιώνεται με τον ίδιο ρυθμό που σχηματίζεται. Στη γεωργική εκμετάλλευση, η ισορροπία αυτή διαταράσσεται, αφού η καλλιεργητική αναμόχλευση του εδάφους επιταχύνει την ορυκτοποίηση του οργανικού N. Συγχρόνως δε, όταν η λίπανση είναι πλεονασματική προκαλείται επισώρευση

«υπολειμματικού N». Αυτό συμβαίνει διότι οι καλλιέργειες πέραν ενός ορίου δεν μπορούν να ανταποκριθούν στο ρυθμό απελευθέρωσης NO_3^- με εξίσου ταχεία πρόσληψη του. Το πλεονάζον NO_3^- δεν συγκρατείται στη στερεά φάση και απομακρύνεται με έκπλυση.

Σημαντικοί παράγοντες έκπλυσης είναι οι κλιματικές συνθήκες, η φύση του εδάφους και η καλλιεργητική του κατάσταση, ο τύπος και η ένταση της γεωργικής εκμετάλλευσης και τέλος η λιπασματική διαχείριση :

▪ **Εποχικές επιδράσεις.** Κατά το φθινόπωρο στην εύκρατη ευρωπαϊκή ζώνη εξαιτίας των βροχοπτώσεων τα εδάφη παρουσιάζουν αυξημένη υγρασία, με σχετικά υψηλές θερμοκρασίες και περιορισμένες απαιτήσεις των καλλιεργειών. Σε αυτές τις συνθήκες ενεργοποιούνται τα νιτροποιητικά βακτήρια. Το χειμώνα που ακολουθεί, η νιτροποίηση αναστέλλεται, αλλά οι βροχοπτώσεις αναλόγως εντάσεως και διάρκειας, συντελούν στην σε βάθος μετακίνηση του NO_3^- και τη μεταφορά του προς τον υδροφόρο ορίζοντα. Οι ίδιες συνθήκες απαντώνται με χρονική μετατόπιση 2-3 μηνών, στην παραμεσόγεια ζώνη, όπου ανήκει και η Ελλάδα.

▪ **Ο ρόλος της φυτοκάλυψης.** Το γυμνό έδαφος εκλύει πολύ περισσότερο νιτρικό N λόγω του ότι δεν υπάρχει πρόσληψη από τις ρίζες αναπτυσσομένων φυτών. Στη παραμεσόγεια περιοχή και ειδικότερα στην Ελλάδα, τα χειμερινά σιτηρά αφήνουν ακάλυπτο το έδαφος κατά τους θερινούς μήνες, οπότε όμως η νιτροποίηση και η έκπλυση δεν ευνοούνται εξαιτίας έλλειψης εδαφικής υγρασίας.

▪ **Επίδραση του τύπου εδάφους.** Η χρονική διάρκεια παραμονής του ύδατος στους εδαφικούς πόρους σε επαφή με τα χημικώς ενεργά συστατικά του εδάφους καθορίζει την έκπλυση του NO_3^- . Τα αμμώδη εδάφη συγκρατούν μικρότερο ποσοστό υγρασίας από τα αργιλώδη και διευκολύνουν την έκπλυση του NO_3^- . Εξάλλου τα οργανικά εδάφη, όπου η περιεκτικότητα σε οργανικό N μπορεί να φτάσει μέχρι τα 15.000 kg/εκτ, κατά κανόνα ορυκτοποιούν και χάνουν με έκπλυση πολύ μεγαλύτερες ποσότητες NO_3^- σε σύγκριση με τα συνήθη μη οργανικά εδάφη

▪ **Επίδραση βροχοπτώσεων και αρδεύσεων.** Όταν το ύψος βροχής είναι αρκετά μεγάλο και συμπίπτει με την εποχή ταχείας ανάπτυξης των καλλιεργειών, το έδαφος εξαντλεί τα αποθέματα ανόργανου N, τόσο λόγω πρόσληψης από τις ρίζες των φυτών, όσο και λόγω έκπλυσης του N στα βαθύτερα στρώματα. Κατά κανόνα, όσο μεγαλύτερο είναι το ύψος βροχής τόσο μεγαλύτερο είναι το ύψος των απωλειών, εξαρτώμενο όμως και από την ένταση της λίπανσης. Όσον αφορά στην άρδευση, με κατάλληλο προγραμματισμό η αξιοποίηση του N από τις καλλιέργειες είναι μεγαλύτερη και οι απώλειες έκπλυσης μικρότερες απ' ότι σε ξερικές καλλιέργειες. Αντίθετα, άρδευση υπερβολικού ύψους ή ανεπίκαιρη μπορεί να αυξήσει σημαντικά τις απώλειες έκπλυσης, λόγω καθοδικής ροής του ύδατος μέσω του ριζοστρώματος .

▪ **Επίδραση λιπασματικής διαχείρισης.** Όπως ειπώθηκε προηγουμένως, έκπλυση λαμβάνει χώρα όταν η συνολικά διαθέσιμη ποσότητα νιτρικού αζώτου υπερβαίνει τις εποχικές απαιτήσεις της αναπτυσσόμενης καλλιέργειας. Άρα η δοσολογία, η μορφή και ο χρόνος προσθήκης των αζωτούχων λιπασμάτων παίζουν σημαντικό ρόλο.

Σύμφωνα με διάφορες βιβλιογραφικές πηγές μία μέση κατανομή του λιπασματικού N στην γεωργική πράξη εκτιμάται ως εξής:

- 54-72% παραλαβή και αξιοποίηση από τις καλλιέργειες
- 8-23% ακινητοποίηση στην οργανική ύλη του εδάφους
- 2-18% απώλειες απονιτροποίησης και
- 2-8% απώλειες έκπλυσης.

Μόνο η πλεονασματική τροφοδοσία των καλλιεργειών με N μπορεί να οδηγήσει σε απώλειες έκπλυσης αισθητά μεγαλύτερες από εκείνες που κανονικά λαμβάνουν χώρα στα φυσικά οικοσυστήματα. Κάτι τέτοιο διαπιστώθηκε ότι μπορεί να συμβεί π.χ. στην Κεντρική Ευρώπη με την εντατική καλλιέργεια σίτου, μόνο όταν η δοσολογία του N υπερβαίνει τα 160 kg N/εκτ., ή και με λιπάνσεις άνω των 150 kg N/εκτ., συγχρόνως και οι βροχοπτώσεις είναι >600mm.

Σημαντικός είναι και ο χρόνος εφαρμογής του N, ώστε η θρεπτική τροφοδοσία να συμπορεύεται με τις εποχικές ανάγκες της καλλιέργειας, χωρίς να αφήνει αδιάθετο υπόλοιπο. Για την αποφυγή απωλειών συνίσταται (και ήδη εφαρμόζεται στη γεωργική πράξη των χωρών της Ευρώπης) η κλασματική προσθήκη του επιφανειακού N, που όπως έχει αποδειχθεί πειραματικά συντελεί ώστε να μην αυξάνει το υπολειμματικό νιτρικό N στο έδαφος. Κατάλληλη μέθοδος για την κλασματική τροφοδοσία του N αποτελεί η υδρολίπανση [25].

5.7 Προέλευση και ποσότητες των εκπομπών αμμωνίας

Η εκτίμηση των εκπομπών NH₃ που οφείλονται στη ζωική παραγωγή βασίστηκε τόσο σε υπολογιστικές τιμές, όσο και σε μετρήσεις εκπομπών και απωλειών N, λαμβανομένων υπόψη και των τοπικών συνθηκών. Εξάλλου, οι εκπομπές από τα ανόργανα λιπάσματα υπολογίστηκαν με βάση τις χημικές αντιδράσεις των λιπασμάτων στο έδαφος, λαμβάνοντας υπόψη τις «τυπικές» συνθήκες εδάφους κάθε χώρας. Το σύνολο των εκπομπών NH₃ για τη Δ. Ευρώπη υπολογίζεται σε 4.10⁶ tn. Συγκριτικά αναφέρεται ότι για το σύνολο της γήινης ατμόσφαιρας οι εκπομπές NH₃ είναι της τάξης των 62.10⁶ tn /έτος, εκ των οποίων οι 43.10⁶ t είναι ανθρωπογενούς προέλευσης. Η δε συνεπακόλουθη εναπόθεση στα εδάφη των ποσοτήτων αυτών NH₃ υπολογίζεται ότι αντιστοιχεί με το 40-60% των άμεσων εισροών N από αζωτούχα λιπάσματα.

Πάντως, από τον Πίνακα 5.1 συνάγεται ότι μόνο το 13% των εκπομπών NH₃ στη Δ. Ευρώπη οφείλεται στα αζωτούχα λιπάσματα, ενώ ένα κατά πολύ μεγαλύτερο ποσοστό, 74%, προέρχεται από την κτηνοτροφία. Οι εκπομπές NH₃ μπορεί να συνεπάγονται τοπικές, ή

ευρύτερα ζωνικές περιβαλλοντικές επιδράσεις, εξαρτώμενες από την πληθυσμιακή πυκνότητα των κτηνοτροφικών ζώων. Στη Β.Δ. Ευρώπη (Ολλανδία, Βέλγιο, Γερμανία) οι πυκνοί ζωικοί πληθυσμοί συνεπάγονται αυξημένη εκπομπή – εναπόθεση στα εδάφη $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ με συνέπεια την ταχύτερη οξίνιση των εδαφών της εν λόγω ζώνης. Αντίθετα, στη Ν. Ευρώπη (Ελλάδα, Ισπανία) με αραιότερους πληθυσμούς αγροτικών ζώων, οι εκπομπές NH_3 είναι μικρότερες και υπερεισχύουν τα ασβεστολιθικά εδάφη, τα οποία είναι πολύ λιγότερο επιρρεπή στην οξίνιση. Ειδικότερα, για την Ελλάδα τα μεγέθη εκπομπών που αναφέρει η μελέτη της ECETOC είναι (σε κtn): κτηνοτροφία 57, λιπάσματα 19, διάφορες πηγές 22, σύνολο 98.

Πίνακας 5.1 : Προέλευση και ποσότητες των εκπομπών αμμωνίας στην ατμόσφαιρα στη Δ. Ευρώπη κατά το 1990 (ECETOC,1994)

	Εκπομπή (Mtn $\text{NH}_3\text{-N}/\text{έτος}$)	Εύρος (Mtn $\text{NH}_3\text{-N}/\text{έτος}$)	Προέλευση (% του συνόλου)
Ζωική παραγωγή			
Στάβλοι και κόπρος	1,4		34
Επιφ. Διασπορά κόπρου	1,3		32
Βόσκοντα ζώα	0,3		8
Υποσύνολο	3,0		74
Λιπάσματα			
Παραγωγή	0,02		0,5
Εφαρμογή	0,5		12,5
Εκπομπές από το φύλλωμα των καλλιεργιών	0,2		5
Διάφορες Πηγές	0,3		8
ΣΥΝΟΛΟ		2,8 – 5,2	100

Σε ότι αφορά τα ανόργανα αζωτούχα λιπάσματα, εκπομπές NH_3 προκαλούνται από αμμωνιακούς φορείς, κατά μείζονα δε λόγο από την ουρία, ιδιαίτερα όταν η προσθήκη γίνεται χωρίς ενσωμάτωση σε ελαφρά εδάφη με μικρή ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων [25,37].

Η εμπειριστατωμένη μελέτη του Ευρωπαϊκού Κέντρου Οικοτοξικολογίας και Τοξικολογίας Χημικών ουσιών (ECETOC,1994) παρέχει λεπτομερειακά στοιχεία αναφορικά με τις πηγές και τις ποσότητες αμμωνίας στην Δ. Ευρώπη, μια ανακεφαλαίωση των οποίων δίνεται στον Πίνακα 5.1 [25].

5.8 Επιδράσεις στον Τύπο της Φυσικής Χλωρίδας

Είναι σύνηθες φαινόμενο η διατάραξη ισορροπίας μεταξύ βοτανικών ειδών που οφείλεται στη λίπανση. Τα διάφορα είδη φυτών από οικολογική άποψη διακρίνονται αναφορικά με τη γονιμότητα του εδάφους σε **ανταγωνιστικά, αδιάφορα και ανθεκτικά είδη**. Τα ανταγωνιστικά αναπτύσσονται εις βάρος των υπολοίπων όταν βελτιωθεί η θρεπτική τροφοδοσία του εδάφους, ενώ σε σχετικά άγονα εδάφη υπερτερούν τα ανθεκτικά είδη. Όσο χαμηλότερο είναι το αρχικό επίπεδο γονιμότητας του εδάφους τόσο μεγαλύτερες είναι οι διαφορές της φυσικής χλωρίδας που προκύπτουν μετά την υιοθέτηση των λιπάνσεων. Γενικά

οι λιπάνσεις τείνουν να περιορίσουν το πλήθος των βοτανικών ειδών δηλ. τη φυτική βιοποικιλότητα. Επομένως, οι αλλαγές στη σύνθεση της φυσικής χλωρίδας είναι δυνατό να επιφέρουν αλλαγές και στη σύνθεση της πανίδας [25].

II. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1. ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Σκοπός της παρούσης εργασίας είναι η εκτίμηση των επιπτώσεων που έχουν οι βιομηχανικές δραστηριότητες μεγάλης χοιροτροφικής μονάδας στη ρύπανση του εδάφους. Αυτές οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις οφείλονται στην μεταβολή των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του εδάφους, οι οποίες επηρεάζονται από τους διάφορους ρύπους των χοιροτροφικών μονάδων [26,60]. Ορισμένοι ανόργανοι ρυπαντές (κυρίως οι αζωτούχες και θειούχες ενώσεις) συσσωρεύονται σιγά-σιγά στο έδαφος, επιδρούν στις φυσικές και χημικές του ιδιότητες με άμεσες επιπτώσεις στη βλάστηση. Οι ανόργανοι ρυπαντές κατακάθονται υπό μορφή στερεολυμάτων ή αερολυμάτων (π.χ με την όξινη βροχή), με αποτέλεσμα να αυξάνουν την οξύτητα του εδάφους (μείωση του pH), κυρίως λόγω της νιτροποίησης του αμμωνίου. Συνέπεια της αλλαγής του pH έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια θρεπτικών συστατικών και την μείωση της γονιμότητας του εδάφους [61,62,63,64].

Πιο συγκεκριμένα μελετάται η ρύπανση που προκαλείται στο έδαφος με βάση τις τιμές pH, εδαφικής αγωγιμότητας και εκτιμούνται οι επιπτώσεις της ρύπανσης βάση των ολικών εδαφικών συγκεντρώσεων των K, Ca και Mg σε συνάρτηση με την θέση δειγματοληψίας από τα όρια της χοιροτροφικής μονάδας. Παράλληλα, έγινε κοκκομετρική ανάλυση του εδάφους από όπου πάρθηκαν τα δείγματα, καθώς επίσης και προσδιορισμός της περιεχόμενης υγρασίας τους. Τα εξεταζόμενα δείγματα ελήφθησαν από τη βόρεια περιοχή του Λατζιμά Ρεθύμνης, όπου βρίσκεται μεγάλη χοιροτροφική μονάδα δυναμικότητας 2392 ζωικών μονάδων (1800 χοιρομητέρες με παραγωγή 35000 χοιριδίων).

Οι μετρήσεις του pH έγιναν με την χρήση του πεχαμέτρου Hanna Instruments HI 8314 membrane pHmeter. Οι μετρήσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας έγιναν με τη χρήση του αγωγιμόμετρου Mettler Toledo MPC227. Η στοιχειακή ανάλυση έγινε με φασματοσκοπία φθορισμού ακτίνων X (XRF), (οίκος ARL, μοντέλο advant XP) και με ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης σε συνδιασμό με φασματόμετρο ακτίνων X ενεργειακής διασποράς (SEM/EDAX).

2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΛΑΒΗΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

2.1 Δειγματοληψία εδαφικών δειγμάτων

Η δειγματοληψία του εδάφους πραγματοποιήθηκε την χρονική περίοδο 2/11/2008 - 23/10/2010 στην βόρεια περιοχή του Λατζιμά Ρεθύμνης όπου βρίσκεται η κτηνοτροφική μονάδα. Τα δείγματα εδάφους ήταν επιφανειακά (μέχρι βάθους 30 cm) και ελήφθησαν σε απόσταση 10 m έως 1500 m από τα νότια, ανατολικά και δυτικά όρια της κτηνοτροφικής μονάδας. Η μέθοδος δειγματοληψίας η οποία χρησιμοποιήθηκε είναι η τυχαία δειγματοληψία (simple random), σύμφωνα με την οποία γίνεται τυχαία συλλογή των δειγμάτων σε ομογενείς περιοχές. Το μέγεθος το δειγμάτων πρέπει να είναι ίδιο ενώ το δείγμα που συλλέγεται κάθε φορά δεν επηρεάζεται από τα δείγματα που έχουν ήδη συλλεχθεί. Ο μηχανισμός δειγματοληψίας ο οποίος ακολουθήθηκε είναι αυτός της ρηχής δειγματοληψίας.

Προκειμένου να γίνει σωστή συλλογή των δειγμάτων σε μικρά βάθη σύμφωνα με τη S.O.P. (standard operating procedure) της U.S. E.P.A.(environmental response team) ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία κατά βήματα :

- Χρησιμοποιώντας καθαρό φτυάρι προσεκτικά μετακινείται το επάνω στρώμα του εδάφους μέχρι το επιθυμητό βάθος των 30 cm.
- Με μία καθαρή ανοξείδωτου χάλυβα σέσουλα ή ένα πλαστικό κουτάλι αφαιρείται και απομακρύνεται το λεπτό στρώμα εδάφους που ήρθε σε επαφή με το φτυάρι.
- Το δείγμα μεταφέρεται απευθείας σε κατάλληλο δοχείο, με ανοξείδωτου χάλυβα εργαστηριακό κουτάλι, και σφραγίζεται καλά.
- Το υπόλοιπο μέρος του δείγματος, τοποθετείται σε ανοξείδωτου χάλυβα, πλαστικό ή κατάλληλο ομογενές δοχείο και ανακινείται αρκετά ώστε να ληφθεί ομοιογενές δείγμα, αντιπροσωπευτικό ολόκληρης της περιοχής. Έπειτα τοποθετείται και αυτό σε δοχείο και σφραγίζεται καλά.[39,65,66]

Πίνακας 2.1: Πρωτόκολλο Δειγματοληψίας επιφανειακών δειγμάτων εδάφους

Ημερομηνία δειγματοληψίας	Θέση δειγματοληψίας* (κωδικοί δειγμάτων)							
	1η	2η	3η	4η	5η	6η	7η	8η
2/11/2008	N20	NA40	NA600	A1200	A1500			
15/3/2009	A1200	A1500						
19/4/2009	N10	N40	N100					
13/7/2009	A20	A40	N100	A400	A600	NΔ900		
19/8/2009	N10	Δ20	Δ100	N100	A400	A600	A700	NΔ900
6/9/2009	N100	N200	A400	A600				
13/9/2009	NΔ150	A200	N300	A600	N940			
27/9/2009	NΔ70	NΔ220	NA250	A300	A400	N940		
17/1/2010	N10	NΔ200	NΔ300	NΔ530	NA800	N900		
31/1/2010	N10	A120	N150	A200	Δ400	NΔ600	NA800	NΔ900
20/2/2010	N10	N100	A200	NΔ530				
7/3/2010	N70	NΔ500	NΔ1100					
16/5/2010	N100	N200	NΔ530	NΔ1100				
23/10/2010	N60	N110	N220	A250	N270	N320	NΔ1300	

* Οι κωδικές ονομασίες των επιφανειακών δειγμάτων εκφράζουν τον προσανατολισμό και την απόσταση της θέσης δειγματοληψίας από τα όρια της χοιροτροφικής μονάδας (m).

3. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

3.1 Προσδιορισμός περιεχόμενης υγρασίας

Πειραματική διαδικασία: Σε προζυγισμένες κάψες πορσελάνης λαμβάνονται δείγματα νωπής ιλύος και ζυγίζονται. Τα δείγματα τοποθετούνται σε φούρνο σε θερμοκρασία 105°C για 12h. Μετά από την ξήρανση τα δείγματα ζυγίζονται ξανά. Η υγρασία υπολογίζεται από τη διαφορά μάζας της ιλύος πριν και μετά την ξήρανση στους 105°C. Το επί τοις εκατό (%) ποσοστό υγρασίας της ιλύος δίνεται από το λόγο της παραπάνω διαφοράς προς το αρχικό βάρος της ιλύος [67].

Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα εξής:

- Κόσκινο 1,981 mm
- Ζυγός Sartorius αναλυτικός με ακρίβεια 4 δεκαδικά ψηφία. (max 160g)
- Πυριαντήριο (Thermolyne Furnace 47900)
- Κάψες πορσελάνης

3.2 Κοκκομετρική ανάλυση

Η κοκκομετρική ανάλυση είναι μία από τις πλέον βασικές μεθόδους κατάταξης των εδαφών και χρησιμοποιείται διεθνώς. Η καταλληλότητα ενός εδάφους ως υλικού θεμελίωσης ή ως δομικού υλικού εξαρτάται από την κοκκομετρική ανάλυση, δηλαδή από τον προσδιορισμό της συμμετοχής των διαμέτρων των κόκκων, ως ποσοστών, στο συνολικό όγκο του θεωρούμενου εδάφους. Οι πληροφορίες που πάρθηκαν από την κοκκομετρική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε μας διευκόλυναν να συμπεράνουμε τη δυνατότητα κίνησης του υπόγειου νερού (διήθηση) μέσα από τα κενά μεταξύ των κόκκων του εδάφους.

Η κοκκομετρική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με δύο μεθόδους, έτσι ώστε να έχουμε πιο αξιόπιστα συμπεράσματα. Οι μέθοδοι αυτές είναι ο συνδυασμός της κοκκομετρικής ανάλυσης με κόσκινα με τη κοκκομετρική ανάλυση με Laser και η μέθοδος του αραιομέτρου σύμφωνα με το πρότυπο ASTM D 422 [68, 69].

Συνδυασμός κοκκομετρικής ανάλυσης με κόσκινα με κοκκομετρική ανάλυση με Laser.

Όργανα:

- Κόσκινα 0.056mm και 1,981mm.
- Ζυγαριά
- Όργανο Mastersizer Malvern για σωματίδια μικρότερα των 0,300mm.

Μέθοδος αραιόμετρου

Όργανα:

- Κόσκινα των 2 mm και 0,075 mm
- Υδρόμετρο ASTM – 152 H
- Ογκομετρικοί κύλινδροι των 1000ml
- Θερμόμετρο
- Αντιθρομβωτικό
- Φούρνος
- Ζυγαριά [69]

3.3 Μετρήσεις pH και ηλεκτρικής αγωγιμότητας

Πειραματική διαδικασία: Ζυγίζουμε 20 g εδάφους και προσθέτουμε 100 ml απιονισμένο νερό. Ανακινούμε το διάλυμα για 30 λεπτά και αφήνουμε να ηρεμήσει το σύστημα για 15 λεπτά. Φυγοκεντρούμε στις 2000 στροφές επί 10 λεπτά και διηθούμε με σκληρό ηθμό. Στο διήθημα που συλλέξαμε κάνουμε μετρήσεις pH και ηλεκτρικής αγωγιμότητας [70].

Οι μετρήσεις του pH έγιναν με πεχάμετρο του οίκου Hanna Instruments, μοντέλο HI 8314, ενώ οι μετρήσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας με αγωγιμόμετρο του οίκου Mettler Toledo, μοντέλο MPC227.

3.4 Στοιχειακή ανάλυση

Τα αποτελέσματα της στοιχειακής ανάλυσης με XRF και με SEM/EDAX δεν έχουν τόσο μεγάλη ακρίβεια όσο αυτά της AAS. Όμως, στη παρούσα εργασία μας ενδιαφέρουν κυρίως οι μεταβολές που παρουσιάζονται στη σύσταση του εδάφους (κυρίως για τα στοιχεία K, Ca, Mg) καθώς προσεγγίζουμε τη χοιροτροφική μονάδα. Παρ' όλα αυτά, έλεγχος με άλλες μεθόδους (AAS) έδειξε ότι τα αποτελέσματα είναι ικανοποιητικά.

Μέθοδος XRF

Προετοιμασία δείγματος: Επειδή τα εδαφικά δείγματα είναι υλικά μη ομογενοποιημένα, αυτά, αφού ξηραθούν στους 105 °C για 24 h, κονιοποιούνται και λειοτριβούνται με ιγδίο αχάτου. Ακολουθεί κοσκίνηση και συλλέγεται κλάσμα με μέγεθος κόκκων μικρότερο των 40 μm. Για την εξασφάλιση λείας, επίπεδης και συνεκτικής επιφάνειας του δείγματος παρασκευάζονται παστίλιες με πρέσα (10-30 atm) και τοποθετούνται στον υποδοχέα του οργάνου προς ανάλυση [71].

Η στοιχειακή ανάλυση με φασματομετρία φθορισμού ακτίνων X (XRF), έγινε με το μοντέλο advant XP του οίκου ARL.

Μέθοδος SEM/EDAX

Προετοιμασία δείγματος: Όπως και στη μέθοδο XRF τα εδαφικά δείγματα αφού ξηραθούν στους 105 °C για 24 h, κονιοποιούνται και λειοτριβούνται με ιγδίο αχάτου. Ακολουθεί κοσκίνηση και συλλέγεται κλάσμα με μέγεθος κόκκων μικρότερο των 40 μm. Τα δείγματα στη συνέχεια καθαρίζονται και τοποθετούνται στον υποδοχέα του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης με τέτοιο τρόπο ώστε να παρουσιάζουν αντίσταση στο υψηλό κενό και στην ηλεκτρονική ακτίνα που εφαρμόζεται για την ανάλυση.

Η στοιχειακή ανάλυση με ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης (SEM) έγινε με το μοντέλλο Quanta 200 της εταιρείας FEI συνδυασμένο με φασματόμετρο ακτίνων X ενεργειακής διασποράς-EDAX.

III. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

1. ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ

Πίνακας 1.1: Περιεχόμενη εδαφική υγρασία (%) σε δείγματα από την βόρεια περιοχή
Λατζιμά Ρεθύμνης

Εδαφικό δείγμα	Περιεχόμενη υγρασία (% w/w)
X/N20/2-11-08	2,609
X/NA40/2-11-08	2,978
X/NA600/2-11-08	2,307
X/N10/19-4-09	12,049
X/N40/19-4-09	14,227
X/N100/19-4-09	5,626
X/N100/13-7-09	1,281
X/A400/13-7-09	6,115
X/A600/13-7-09	1,312
X/N100/19-8-09	1,487
X/A400/19-8-09	2,404
X/A600/19-8-09	0,859

Παρατηρούμε ότι το ποσοστό (%) της περιεχόμενης υγρασίας είναι μεγαλύτερο στα δείγματα του Απριλίου. Αντίθετα τους καλοκαιρινούς μήνες, Ιούλιο και Αύγουστο, καθώς και τον μήνα Νοέμβριο του 2008 η περιεχόμενη υγρασία βρίσκεται σε χαμηλότερα επίπεδα. Η διαφορά αυτή οφείλεται κυρίως στην ένταση της βροχόπτωσης τις χρονικές αυτές περιόδους. Σύμφωνα με τα μετεωρολογικά δεδομένα που πάρθηκαν από το Ινστιτούτο Ερευνών Περιβάλλοντος τον μήνα Απρίλιο η βροχόπτωση ανέρχεται σε 32,6 mm. Τους καλοκαιρινούς μήνες, Ιούλιο και Αύγουστο, η βροχόπτωση είναι 0 mm. Τον μήνα Νοέμβριο του 2008 η βροχόπτωση είναι 36,6 αλλά επειδή τα δείγματα συλλέχθηκαν στις αρχές του μήνα (2-11-08) είναι πιο ασφαλές να ελέγξουμε τον προηγούμενο μήνα για να μπορέσουμε να βγάλουμε συμπεράσματα για την περιεχόμενη εδαφική υγρασία. Το μήνα Οκτώβριο του 2008 η βροχόπτωση είναι 1,0 mm. Λόγω της υψηλότερης βροχόπτωσης τον μήνα Απρίλιο δικαιολογείται και το υψηλότερο ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας των δειγμάτων της περιόδου αυτής. Η διεύθυνση των ανέμων είναι κυρίως βόρεια.

2. ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

2.1 Συνδυασμός κοκκομετρικής ανάλυσης με κόσκινα με κοκκομετρική ανάλυση με Laser.

X/NA40/2-11-08/1

Πίνακας 2.1: Κοκκομετρική σύσταση και κατάταξη εδάφους στην βόρεια περιοχή
Λατζιμά Ρεθύμνης με βάση την μέθοδο Α

	Άμμος (2mm - 0,05mm)	Ιλύς (0,05mm - 0,002mm)	Άργιλος (<0,002mm)
Περιεκτικότητα %	39,6	54,4	6
Έδαφος	ιλοπηλώδες		

2.2 Μέθοδος αραιόμετρου

X/NA40/2-11-08/1

Πίνακας 2.2: Κοκκομετρική σύσταση και κατάταξη εδάφους στην βόρεια περιοχή
Λατζιμά Ρεθύμνης με βάση την μέθοδο Β

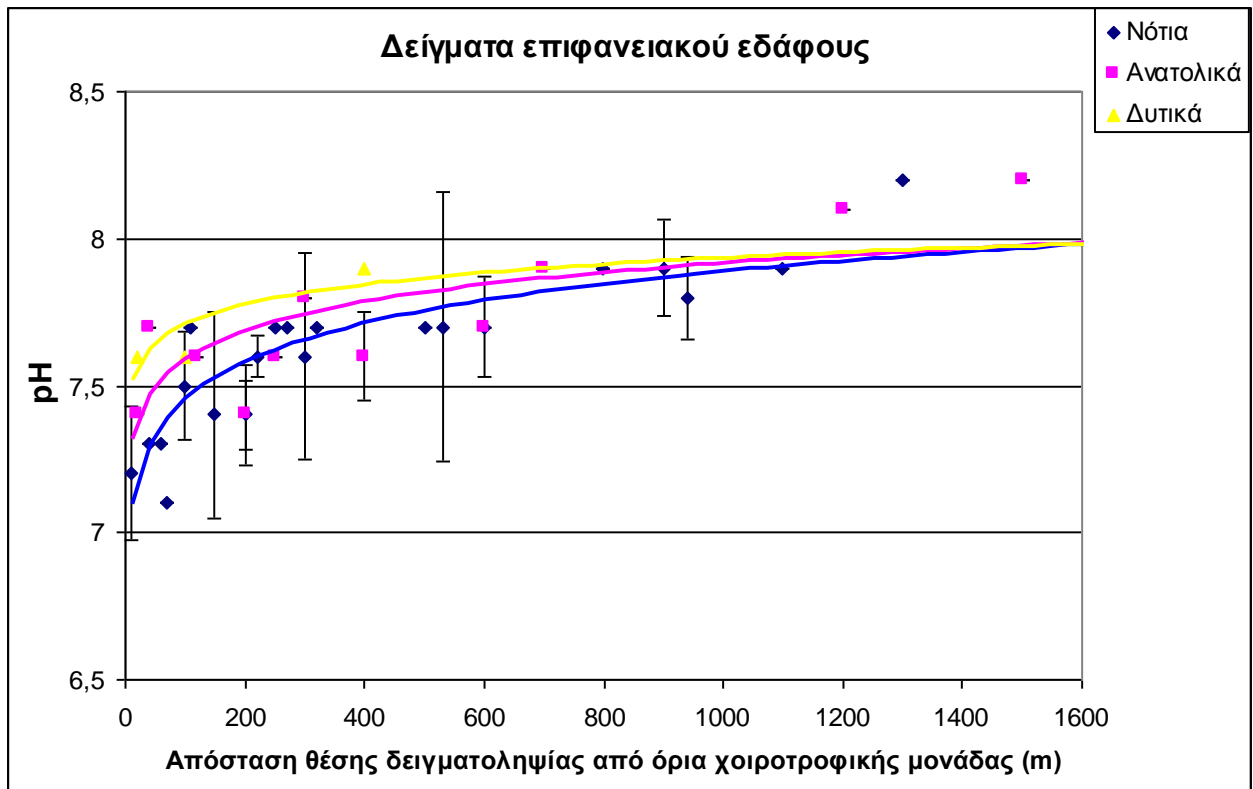
	Άμμος (2mm - 0,05mm)	Ιλύς (0,05mm - 0,002mm)	Άργιλος (<0,002mm)
Περιεκτικότητα %	38,66	59,24	2,1
Έδαφος	ιλοπηλώδες		

Τα αποτελέσματα των μεθόδων Α και Β δεν αποκλίνουν ιδιαίτερα και δίνουν το ίδιο αποτέλεσμα. Πρέπει όμως να τονίσουμε ότι η μέθοδος Α χαρακτηρίζεται ως η πλέον αξιόπιστη καθώς το όργανο Mastersizer Malvern μπορεί να ανιχνεύσει με ιδιαίτερη ακρίβεια τα σωματίδια μικρότερα των 0,002mm.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα τη κοκκομετρικής ανάλυσης το έδαφος από όπου πάρθηκαν τα δείγματα χαρακτηρίζεται ως ιλοπηλώδες (silt loam). Γενικά τα μέσης σύστασης εδάφη (loam) αποτελούνται από ισορροπημένο μίγμα αμμώδους, ιλώδους και αργιλώδους εδάφους. Τα εδάφη αυτά παρουσιάζουν εντονότερη χημική δραστηριότητα από τα αμμώδη εδάφη και παρακρατούν περισσότερο νερό, προσφέροντας μεγαλύτερη προστασία στα υπόγεια νερά. Το νερό τα διαπερνά ευκολότερα απ ότι τα πολύ λεπτής υφής εδάφη, έτσι ο κίνδυνος διάβρωσης του εδάφους είναι μικρός. Όπως, όμως φαίνεται και από τους παραπάνω πίνακες το έδαφος αυτό παρουσιάζει μεγάλη περιεκτικότητα σε ιλυ και άμμο, ενώ δεν περιέχει σχεδόν καθόλου άργιλο. Τα σωματίδια της άμμου είναι τα περισσότερο χονδρόκοκκα, τα δε σωματίδια της

ιλύος είναι ενδιάμεσου μεγέθους. Συμπερασματικά παρουσιάζουν μεγαλύτερους πόρους από τα μέσης σύστασης εδάφη και έτσι το νερό τα διαπερνά ευκολότερα. Η έλλειψη λεπτόκοκκων συστατικών από το έδαφος αυτό έχει ως αποτέλεσμα να συγκρατούνται λιγότερες ποσότητες μεταλλικών κατιόντων από τα κολλοειδή. Επίσης η εύκολη διήθηση του νερού μέσα από το συγκεκριμένο έδαφος, λόγω των μεγάλων πόρων που παρουσιάζει, έχει ως αποτέλεσμα τη μεγάλη έκπλυση. Ο κίνδυνος διάβρωσης είναι ακόμα μικρότερος από ότι στα μέσης σύστασης εδάφη αλλά παρακρατούν λιγότερο νερό, έτσι η προστασία που προσφέρουν στα υπόγεια νερά είναι μικρότερη, με αποτέλεσμα να υπάρχει κίνδυνος ρύπανσης τους.

3. pH



Σχήμα 3.1: Μέσες τιμές pH επιφανειακού εδάφους σε συνάρτηση με την απόσταση της θέσης δειγματοληψίας από τα νότια, ανατολικά και δυτικά όρια της χοιροτροφικής μονάδας

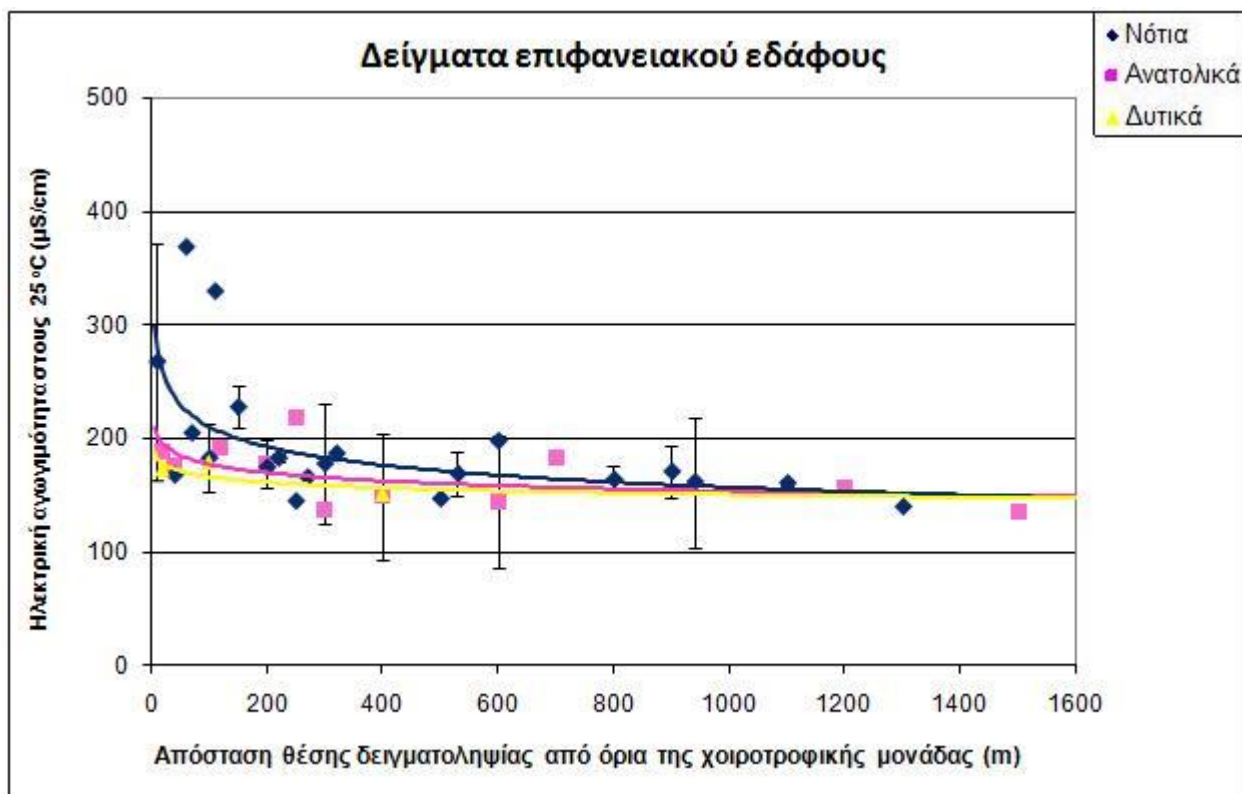
Στο σχήμα 3.1 απεικονίζονται οι καμπύλες, οι οποίες δείχνουν την τάση μεταβολής της μέσης τιμής pH των δειγμάτων του επιφανειακού εδάφους, που πάρθηκαν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, σε συνάρτηση με την απόστασή τους από τα νότια, ανατολικά και δυτικά όρια της χοιροτροφικής μονάδας.

Παρατηρούμε ότι όσο προσεγγίζουμε τη χοιροτροφική μονάδα, ανεξάρτητα του προσανατολισμού, το pH μειώνεται. Η κλίση των καμπυλών είναι μεγάλη σε μικρές αποστάσεις από τη χοιροτροφική μονάδα υποδηλώνοντας υψηλό ρυθμό μεταβολής του pH. Παρατηρούμε ότι η κλίση της καμπύλης, πλησίον της χοιροτροφικής μονάδας, είναι μεγαλύτερη για τον νότιο προσανατολισμό και μικρότερη για τον δυτικό. Αυτό είναι λογικό, εφόσον οι άνεμοι είναι κυρίως βόρειας διεύθυνσης και σπάνια ανατολικής ή δυτικής. Όσο η απόσταση μεγαλώνει, η κλίσεις των καμπυλών και ο ρυθμός μεταβολής του pH μειώνεται. Σε μεγάλες αποστάσεις, όπου η λειτουργία της χοιροτροφικής μονάδας φαίνεται να επηρεάζει σε μικρό βαθμό το pH του εδάφους, οι καμπύλες πλησιάζουν προσεγγιστικά την τιμή 8.

Η μεγαλύτερη μείωση στις μέσες τιμές του pH καθώς πλησιάζουμε τη χοιροτροφική μονάδα παρατηρείται στα δείγματα που συλλέχθηκαν νότια της χοιροτροφικής μονάδας και

είναι περίπου 0,88. Στα δείγματα που συλλέχθηκαν ανατολικά της χοιροτροφικής μονάδας η μείωση της μέσης τιμής pH είναι περίπου 0,665 και στα δείγματα δυτικά της χοιροτροφικής μονάδας η μείωση είναι περίπου 0,465.

4. ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ



Σχήμα 4.1: Μέσες τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας επιφανειακού εδάφους σε συνάρτηση με την απόσταση της θέσης δειγματοληψίας από τα νότια, ανατολικά και δυτικά όρια της χοιροτροφικής μονάδας

Στο σχήμα 4.1 απεικονίζονται οι καμπύλες, οι οποίες δείχνουν την τάση μεταβολής των μέσων τιμών της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των δειγμάτων του επιφανειακού εδάφους, που πάρθηκαν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, σε συνάρτηση με την απόστασή τους από τα νότια, ανατολικά και δυτικά όρια της χοιροτροφικής μονάδας.

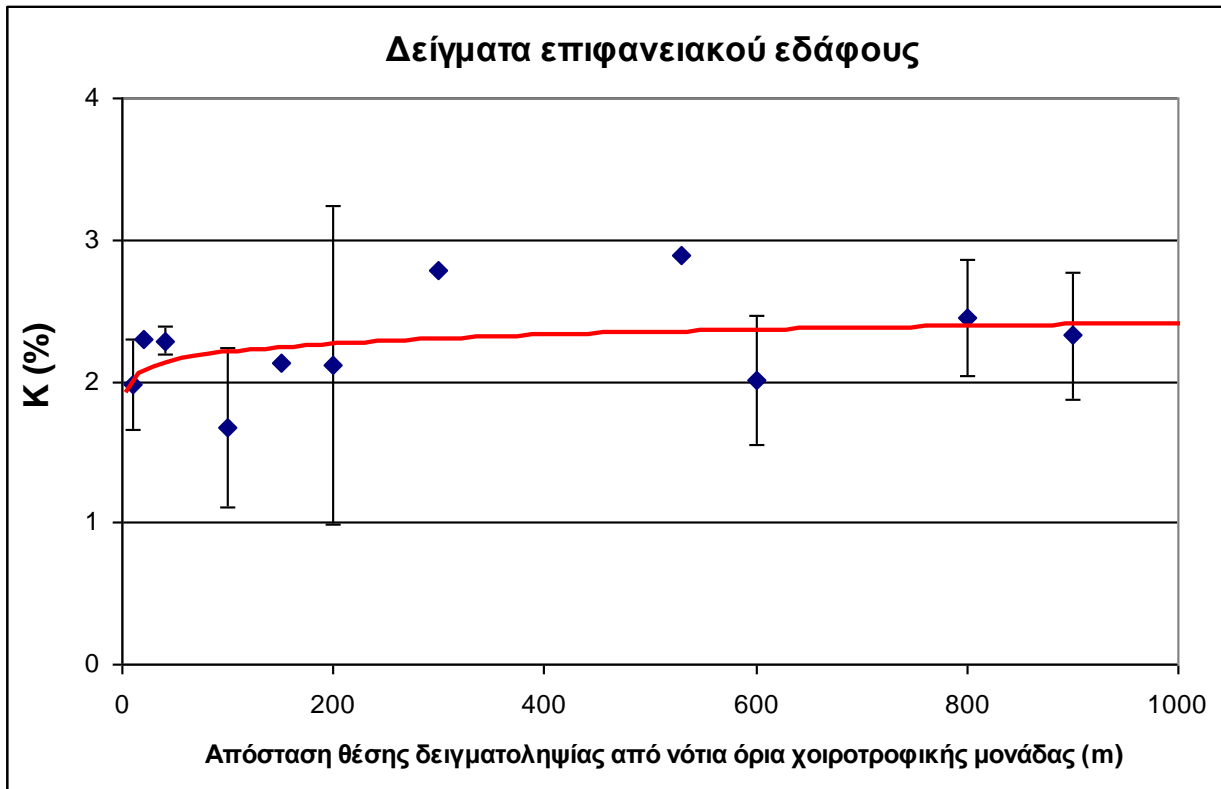
Παρατηρούμε ότι όσο προσεγγίζουμε τη χοιροτροφική μονάδα, ανεξάρτητα του προσανατολισμού, η ηλεκτρική αγωγιμότητα αυξάνεται. Η κλίση των καμπυλών είναι μεγάλη σε μικρές αποστάσεις από τη χοιροτροφική μονάδα υποδηλώνοντας υψηλό ρυθμό μεταβολής της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Παρατηρούμε ότι η κλίση της καμπύλης, πλησίον της χοιροτροφικής μονάδας, είναι μεγαλύτερη για τον νότιο προσανατολισμό και μικρότερη για τον δυτικό. Αυτό είναι λογικό, εφόσον οι άνεμοι είναι κυρίως βόρειας διεύθυνσης και σπάνια ανατολικής ή δυτικής. Όσο η απόσταση μεγαλώνει, η κλίση των καμπυλών και ο ρυθμός μεταβολής της ηλεκτρικής αγωγιμότητας μειώνεται. Σε μεγάλες αποστάσεις, όπου η λειτουργία της χοιροτροφικής μονάδας φαίνεται να επηρεάζει σε μικρό βαθμό την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους, οι καμπύλες πλησιάζουν προσεγγιστικά την τιμή 150 μS/cm.

Η μεγαλύτερη αύξηση στην μέση τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας καθώς πλησιάζουμε τη χοιροτροφική μονάδα παρατηρείται στα δείγματα που συλλέχθηκαν νότια της χοιροτροφικής μονάδας και είναι περίπου 82 $\mu\text{S}/\text{cm}$, και αντιστοιχεί σε ποσοστό αύξησης 54,6%. Στα δείγματα που συλλέχθηκαν ανατολικά της χοιροτροφικής μονάδας η αύξηση της μέσης ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι περίπου 55 $\mu\text{S}/\text{cm}$ και στα δείγματα δυτικά της χοιροτροφικής μονάδας η αύξηση είναι σχεδόν 40 $\mu\text{S}/\text{cm}$, και αντιστοιχούν σε ποσοστά αύξησης 36,6% και 26,7%.

5.ΣΤΟΙΧΕΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

5.1 Μέθοδος XRF

5.1.1 ΚΑΛΙΟ

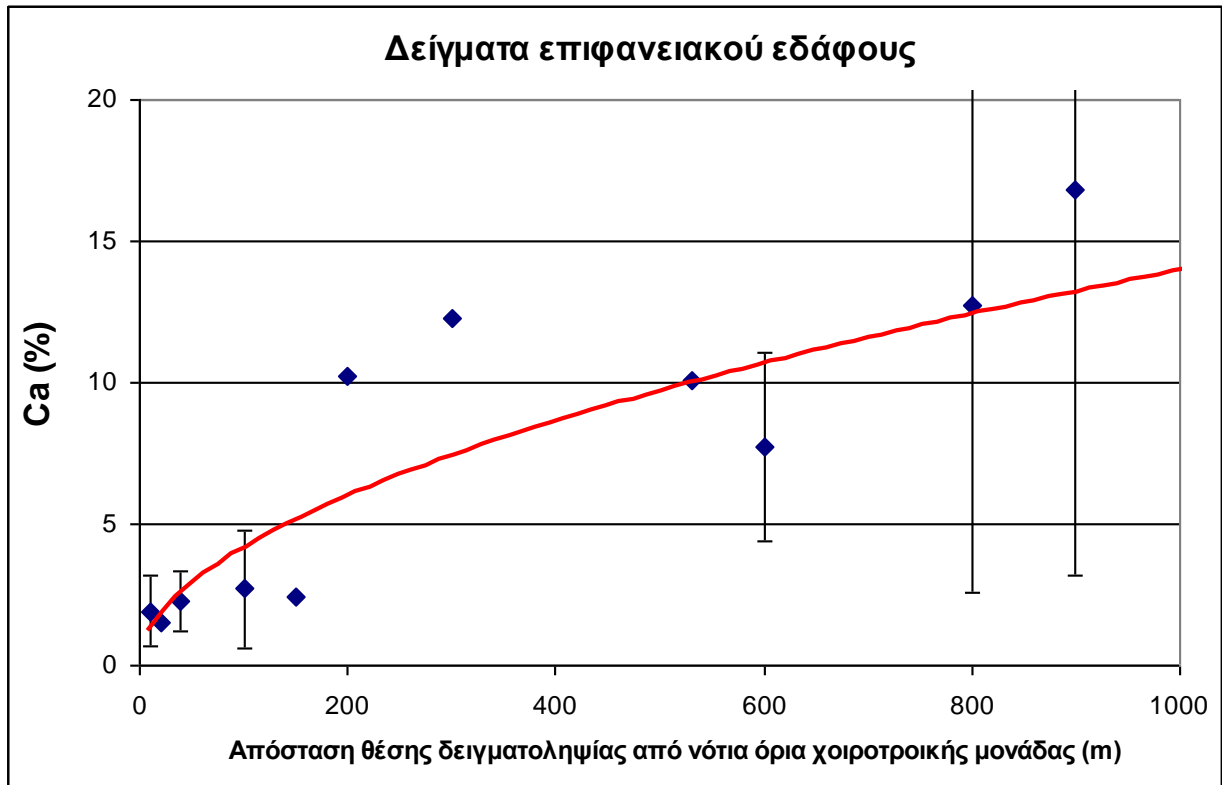


Σχήμα 5.1: Μέσες τιμές περιεκτικότητας ολικού K επιφανειακού εδάφους σε συνάρτηση με την απόσταση της θέσης δειγματοληψίας από τα νότια όρια της χοιροτροφικής μονάδας.

Στο σχήμα 5.1 απεικονίζεται η καμπύλη, η οποία δείχνει τη τάση μεταβολής της μέσης τιμής της περιεκτικότητας του K των δειγμάτων του επιφανειακού εδάφους, που πάρθηκαν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, σε συνάρτηση με την απόσταση τους από τα νότια όρια της χοιροτροφικής μονάδας.

Από το διάγραμμα παρατηρούμε ότι όσο προσεγγίζουμε τη χοιροτροφική μονάδα η περιεκτικότητα του επιφανειακού εδάφους σε K δεν μειώνεται αισθητά.

5.1.2 ΑΣΒΕΣΤΙΟ

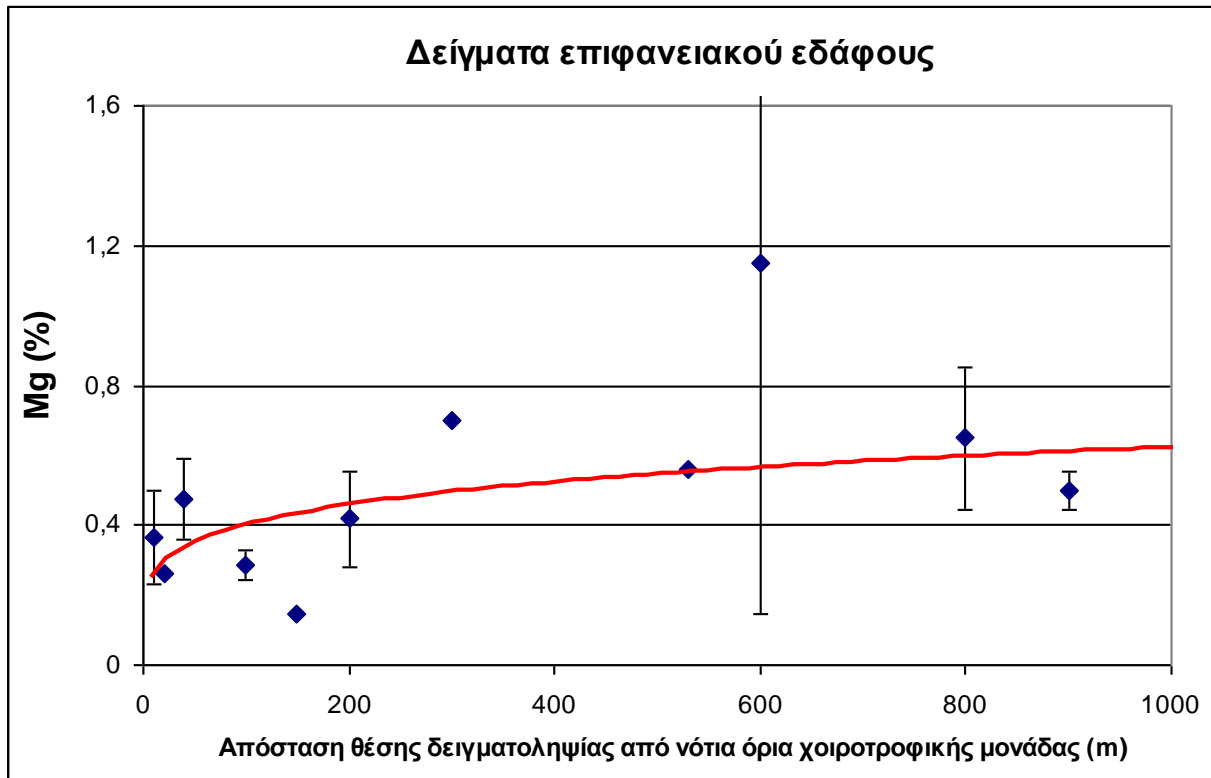


Σχήμα 5.2: Μέσες τιμές περιεκτικότητας ολικού Ca επιφανειακού εδάφους σε συνάρτηση με την απόσταση της θέσης δειγματοληψίας από τα νότια όρια της χοιροτροφικής μονάδας

Στο σχήμα 5.2 απεικονίζεται η καμπύλη, η οποία δείχνει την τάση μεταβολής της μέσης τιμής της περιεκτικότητας του ολικού Ca των δειγμάτων του επιφανειακού εδάφους, που πάρθηκαν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, σε συνάρτηση με την απόστασή τους από τα νότια όρια της χοιροτροφικής μονάδας.

Παρατηρούμε ότι όσο προσεγγίζουμε τη χοιροτροφική μονάδα η περιεκτικότητα του επιφανειακού εδάφους σε Ca μειώνεται.

5.1.3 ΜΑΓΝΗΣΙΟ



Σχήμα 5.3 : Μέσες τιμές περιεκτικότητας ολικού Mg επιφανειακού εδάφους σε συνάρτηση με την απόσταση της θέσης δειγματοληψίας από τα νότια όρια της χοιροτροφικής μονάδας

Στο σχήμα 5.3 απεικονίζεται η καμπύλη, η οποία δείχνει την τάση μεταβολής της μέσης τιμής της περιεκτικότητας του ολικού Mg των δειγμάτων του επιφανειακού εδάφους, που πάρθηκαν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, σε συνάρτηση με την απόστασή τους από τα νότια όρια της χοιροτροφικής μονάδας.

Παρατηρούμε ότι όσο προσεγγίζουμε τη χοιροτροφική μονάδα η περιεκτικότητα του επιφανειακού εδάφους σε Mg μειώνεται.

5.2 Μέθοδος SEM/EDAX

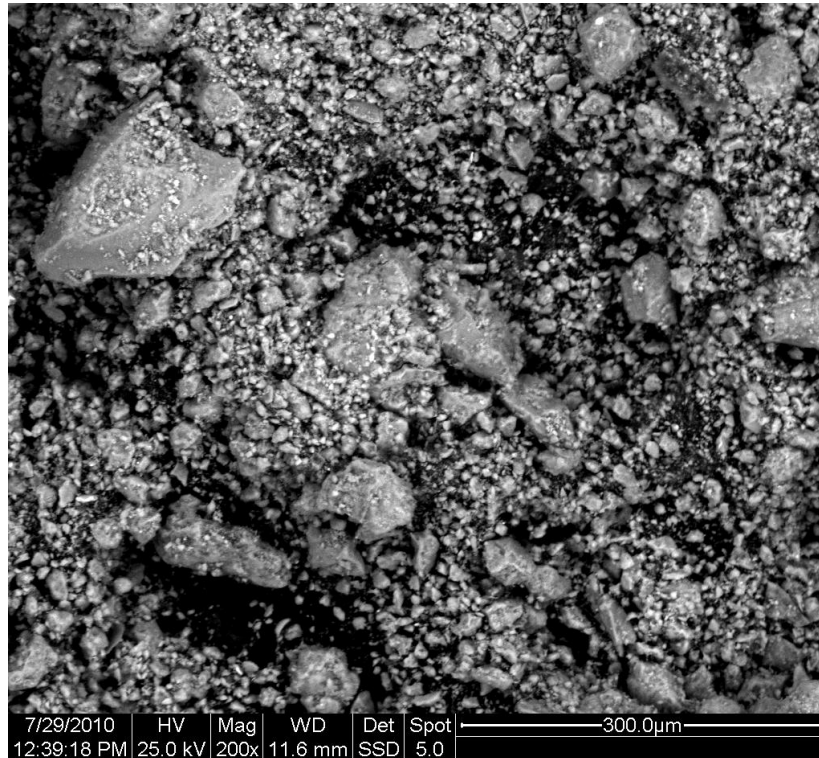
Πίνακας 5.1 : περιεκτικότητα Ca και Mg επιφανειακού εδάφους σε σχέση με την απόσταση της θέσης δειγματοληψίας από τα νότια όρια χοιροτροφικής μονάδας.

Απόσταση από τα όρια χοιροτροφικής μονάδας (m)	Ca(%)	Mg(%)
100	0,35	0,95
900	7,08	1,36

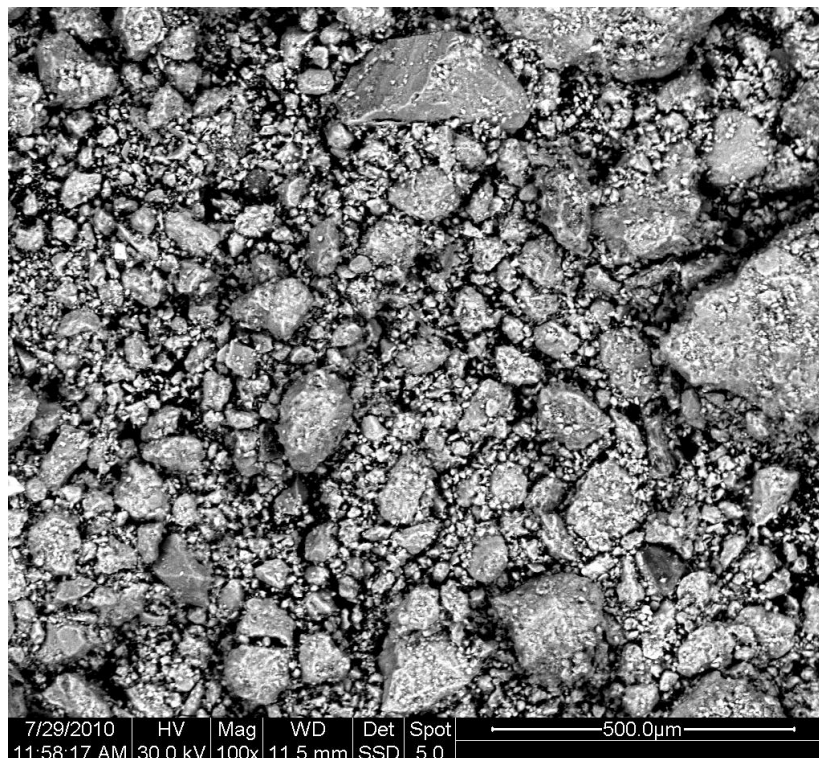
Στο πίνακα 5.1 φαίνεται η περιεκτικότητα των ολικών Ca και Mg επιφανειακού εδάφους από δυο διαφορετικές θέσεις δειγματοληψίας στα 100 και στα 900 μέτρα από τα νότια όρια της χοιροτροφικής μονάδας. Τα αποτελέσματα της στοιχειακής ανάλυσης προέκυψαν από τη σάρωση των δειγμάτων με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM) συνδυασμένο με φασματόμετρο ακτίνων X ενεργειακής διασποράς-EDAX.

Παρατηρούμαι ότι όσο προσεγγίζουμε την χοιροτροφική μονάδα η περιεκτικότητα του επιφανειακού εδάφους σε Ca και Mg μειώνεται.

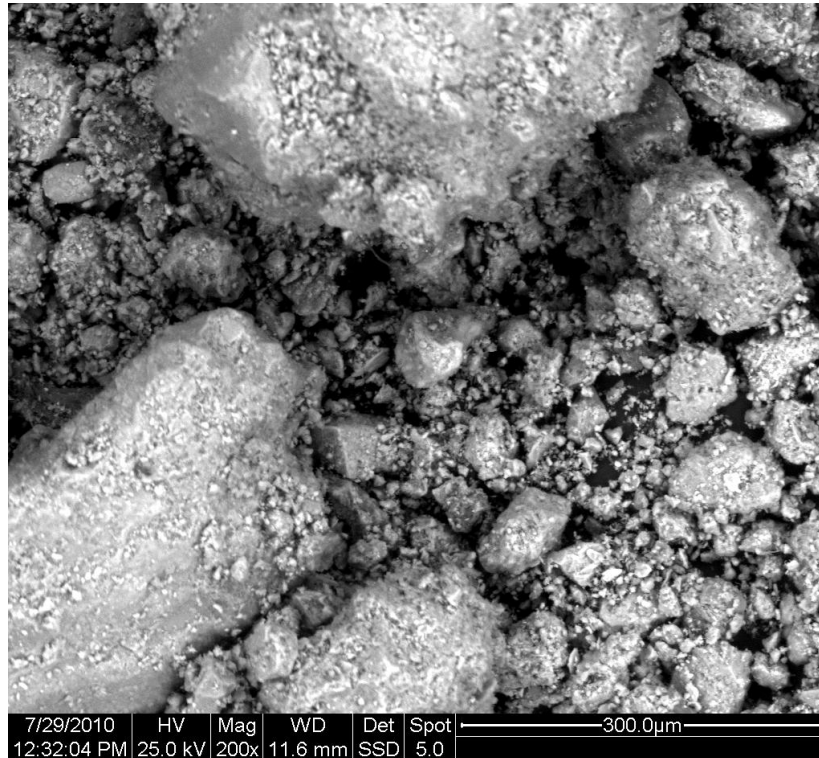
Παρακάτω παρατίθενται οι εικόνες που προέκυψαν από τη ανάλυση με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης των δειγμάτων του επιφανειακού εδάφους αποστασης 100 και 900 μέτρων από τα όρια της χοιροτροφικής μονάδας.



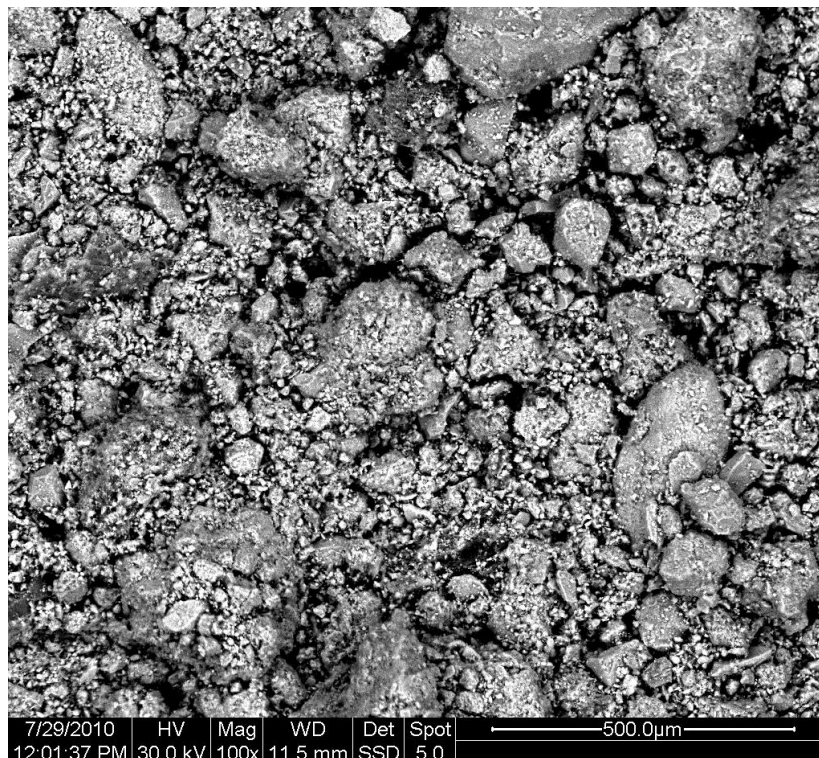
Σχήμα 5.4 : Μικροδομή επιφανειακού εδάφους σε απόσταση 100 μέτρων από τα όρια χοιροτροφικής μονάδας (ανιχνευτής ευρέως πεδίου - Large Field Detector, LFD)



Σχήμα 5.5 : Μικροδομή επιφανειακού εδάφους σε απόσταση 100 μέτρων από τα όρια χοιροτροφικής μονάδας (ανιχνευτής διόδου στερεάς φάσης - Solid State Electron Detector, SSED)



Σχήμα 5.6 : Μικροδομή επιφανειακού εδάφους σε απόσταση 900 μέτρων από τα όρια χοιροτροφικής μονάδας (ανιχνευτής ευρέως πεδίου - *Large Field Detector, LFD*)



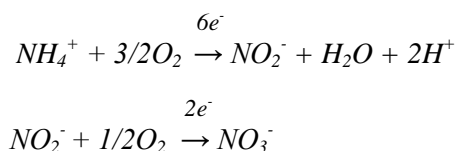
Σχήμα 5.7 : Μικροδομή επιφανειακού εδάφους σε απόσταση 900 μέτρων από τα όρια χοιροτροφικής μονάδας (ανιχνευτής διόδου στερεάς φάσης - *Solid State Electron Detector, SSED*)

IV. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

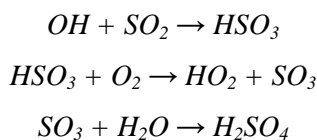
1. pH

Παρατηρήθηκε τάση μείωσης του pH του επιφανειακού εδάφους, καθώς προσεγγίζουμε τη χοιροτροφική μονάδα στα νότια όρια της, μέχρι και 0,88 μονάδες.

Οι παραπάνω μεταβολές στο pH (πε-χα) του εδάφους δικαιολογούνται λόγω των αέριων ρύπων που εκπέμπονται από την χοιροτροφική μονάδα (κυρίως αμμωνία) και οι οποίοι επικάθονται στο έδαφος υπό μορφή στερεολυμάτων και αερολυμάτων. Η μείωση του εδαφικού pH πραγματοποιείται κυρίως με τον μηχανισμό της νιτροποίησης του αμμωνίου, η οποία λαμβάνει χώρα μετά από την εναπόθεση της αμμωνίας υπό τη μορφή σκόνης ή μέσω των βροχοπτώσεων. Η νιτροποίηση είναι αερόβια βιολογική διαδικασία δύο σταδίων κατά την οποία αυτότροφα βακτήρια οξειδώνουν τα αμμωνιακά ιόντα σε νιτρώδη και στη συνέχεια σε νιτρικά. Στο πρώτο βήμα η αμμωνία οξειδώνεται σε νιτρώδη από βακτήρια *Nitrosomonas* και στο δεύτερο τα νιτρώδη οξειδώνονται σε νιτρικά από βακτήρια *Nitrobacter* σύμφωνα με τις αντιδράσεις:



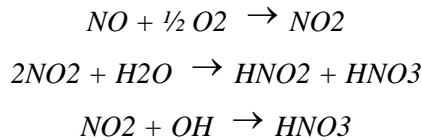
Μείωση του pH προκαλεί επίσης και η όξινη βροχή η οποία δημιουργείται από τις αέριες ουσίες που εκπέπονται από την μονάδα. Το υδρόθειο H_2S το οποίο εκπέμπεται μετατρέπεται σε SO_2 και σε συνθήκες ηλιοφάνειας, το SO_2 μετατρέπεται σε H_2SO_4 μέσω αντίδρασης με ρίζες OH^\cdot :



Το παραγόμενο H_2SO_4 σχηματίζει με την αμμωνία η οποία ελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα, θειικό αμμώνιο $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ το οποίο με τη σειρά του οξειδώνεται παράγοντας NO_3^- σύμφωνα με την αντίδραση :



Επίσης το μονοξείδιο του αζώτου (NO), το οποίο παράγεται κατά μικρό ποσοστό κατά την νιτροποίηση και κατά μεγαλύτερο ποσοστό κατά την απονιτροποίηση, είναι πολύ δραστικό αέριο με βραχεία διάρκεια ζωής στην ατμόσφαιρα και αποτελεί μία από τις αιτίες της όξινης βροχής, ως πρόδρομη ένωση σχηματισμού του νιτρικού οξέος (HNO_3) στην ατμόσφαιρα. Οι αντιδράσεις είναι οι εξής:



Η αυξημένη παραγωγή H^+ , με του παραπάνω μηχανισμούς, οδηγεί σε αντικατάσταση των βασικών κατιόντων που είναι προσροφημένα στα κolloειδή του εδάφους από τα H^+ . Τα βασικά κατιόντα όπως K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ απομακρύνονται από το εδαφικό περιβάλλον με την καθοδική κίνηση του νερού με αποτέλεσμα να οξινίζεται ακόμα περισσότερο η στερεά φάση του εδάφους.

Οι παρατηρούμενες μεταβολές στην τιμή του εδαφικού pH αναμένεται να επηρεάσουν σε σημαντικό βαθμό τη χημική σύσταση του εδάφους και κατ' επέκταση τη γονιμότητα του.

2. Ηλεκτρική αγωγιμότητα

Παρατηρήθηκε τάση αύξησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του επιφανειακού εδάφους, όσο προσεγγίζουμε την κτηνοτροφική μονάδα στα νότια όρια της, μέχρι και $82 \mu S/cm$, η οποία αντιστοιχεί σε ποσοστό αύξησης 54,6 %. Οι μεταβολές αυτές οφείλονται κυρίως στη μεταβολή του pH και από τα διαγράμματα τα οποία προέκυψαν παρατηρήθηκε μια αντιστρόφως ανάλογη σχέση μεταξύ των δυο. Όπως είναι γνωστό η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι η αριθμητική έκφραση των ηλεκτρικών φορτίων που περιέχονται στο εδαφικό διάλυμα. Η αγωγιμότητα ενός εδαφικού διαλύματος καθορίζεται, κυρίως, από την ολική συγκέντρωση ευδιάλυτων αλάτων που περιέχονται στο δείγμα. Όσο υψηλότερη είναι η συγκέντρωση των ευδιάλυτων αλάτων τόσο μεγαλύτερη είναι η αγωγιμότητα. Προφανώς, η αύξηση της οξύτητας καθώς προσεγγίζουμε την κτηνοτροφική μονάδα προκαλεί αύξηση της συγκέντρωσης των ευδιάλυτων αλάτων και κατά συνέπεια αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους. Επίσης στην αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, σημαντικό ρόλο έχει και η συσσώρευση των ιόντων NO_3^- και NH_4^+ .

3. Βασικά Μεταλλικά κατιόντα

Η λειτουργία της βιομηχανικής χοιροτροφικής μονάδας μεγάλης δυναμικότητας προκαλεί πιθανότατα μείωση της περιεκτικότητας του ανταλλάξιμου κάλιου, ασβέστιου και μαγνησίου στο έδαφος καθώς προσεγγίζουμε τη χοιροτροφική μονάδα. Οι μεταβολές αυτές οφείλονται πιθανότατα κυρίως στη μείωση της συγκέντρωσης των βασικών μεταλλικών κατιόντων (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) στο εδαφικό διάλυμα λόγω της αυξημένης έκπλυσης αυτών κοντά στη χοιροτροφική μονάδα κατά τη διείδυση του νερού μέσα στο έδαφος και στην παρουσία πυκνής βλάστησης.

Η μείωση του pH προκαλεί αναπόφευκτα έκπλυση των βασικών μεταλλικών κατιόντων. Στα διαγράμματα, τα οποία προέκυψαν, παρατηρήθηκαν μεταβολές της ολικής

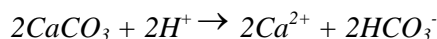
περιεκτικότητας του εδάφους στα στοιχεία αυτά. Η ολική τους περιεκτικότητα μειώνεται καθώς προσεγγίζουμε την χοιροτροφική μονάδα.

Γενικά το pH αποτελεί ρυθμιστικό παράγοντα ανταγωνισμού των ιόντων στο έδαφος. Όταν το εδαφικό pH μειώνεται, η συγκέντρωση των υδρογονιόντων (H^+) αλλά και των αργιλοκατιόντων (Al^{3+}) αυξάνεται και λιγότερα αρνητικά φορτία είναι διαθέσιμα στο έδαφος. Τα υδρογονιόντα και τα αργιλοκατιόντα αυτά ανταγωνίζονται και εκτοπίζουν τα βασικά μεταλλικά κατιόντα (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) από τις αρνητικά φορτισμένες θέσεις συγκράτησης κατιόντων των οργανικών και κρυσταλλικών κολλοειδών. Αυτό συμβαίνει για να αποκατασταθεί η χημική ισορροπία μεταξύ των ιόντων που βρίσκονται στο εδαφικό διάλυμα και αυτών που βρίσκονται προσροφημένα στα κολλοειδή του εδάφους. Τα βασικά αυτά κατιόντα μεταφέρονται από το εδαφικό σύμπλοκο στο εδαφοδιάλυμα από όπου παρασύρονται ευκολότερα από την εδαφική κίνηση του νερού και καταλήγουν στα επιφανειακά ή τα υπόγεια ύδατα.

Μείωση της συγκέντρωσης των βασικών μεταλλικών κατιόντων στο εδαφικό διάλυμα έχει παρατηρηθεί και σε προηγούμενες μελέτες. Σύμφωνα με πειράματα προσομοίωσης όξινης βροχής που έχουν γίνει σε εργαστηριακή κλίμακα, έχει παρατηρηθεί αυξημένη έκπλυση των κατιόντων K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} του εδάφους σε μικρά εδαφικά pH [63,72,73].

Ειδικότερα, για το ολικό **Ασβέστιο** παρατηρήθηκε μεγάλη τάση μείωσης στη περιεκτικότητας του στο έδαφος καθώς πλησιάζουμε τη χοιροτροφική μονάδα αλλά και μεγάλη περιεκτικότητα αυτού σε μεγάλες αποστάσεις από τη χοιροτροφική μονάδα. Η πολύ μεγάλη αυτή περιεκτικότητα αλλά και η μεγάλη τάση μείωσης αυτής δικαιολογείται αφού το έδαφος αυτό είναι ασβεστολιθικό, πλησίον της μονάδας υπάρχει πυκνή βλάστηση και μεγάλη επικάλυψη ιόντων NH_4^+ και NO_3^- .

Στα εδάφη, τα οποία βρίσκονται στην «ασβεστολιθική εξισορροπητική κατάσταση» και εξισορροπούνται κυρίως με $CaCO_3$, το κύριο κατιόν που απαντάται τόσο ως ανταλλάξιμο, όσο και ως διαλυτό είναι το Ca^{2+} και η επίδραση οξέων και χαμηλού pH προκαλεί απελευθέρωση Ca^{2+} όπως παρακάτω:



Η απελευθέρωση αυτή των Ca^{2+} από το εδαφικό σύμπλοκο στο εδαφοδιάλυμα γίνεται με το μηχανισμό που αναφέρθηκε παραπάνω. Τα Ca^{2+} είναι επιρρεπή στο φαινόμενο της έκπλυσης αφού δεν συγκρατούνται πια στις αρνητικά φορτισμένες θέσεις συγκράτησης κατιόντων των οργανικών και κρυσταλλικών κολλοειδών. Αποτέλεσμα αυτού είναι η μεγάλες απώλειες αυτών από το εδαφοδιάλυμα.

Για το ολικό **Κάλιο** παρατηρήθηκε μικρή τάση μείωσης στη περιεκτικότητας του στο έδαφος καθώς πλησιάζουμε τη χοιροτροφική μονάδα. Η μικρή αυτή μείωση οφείλεται στην

πυκνή βλάστηση πλησίον της μονάδας, στην επικάλυψη ιόντων NH_4^+ και NO_3^- και στην ύπαρξη του Ca^{2+} . Όσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός κορεσμού του εδαφοσυμπλόκου με Ca^{2+} , τόσο ισχυρότερα συγκρατείται το K^+ ως ανταλλάξιμο κατιόν. Στην περίπτωση αυτή τα Ca^{2+} αντικαθιστούν σε πρώτη φάση τα προσροφημένα από τα κολλοειδή του εδάφους Al^{3+} που υπάρχουν και ακολούθως ένα μέρος των K^+ του εδαφικού διαλύματος προσροφάται από τα κολλοειδή του εδάφους στις θέσεις στις οποίες προηγουμένως κατείχαν τα Al^{3+} . Για το λόγω αυτό και η έκπλυση του καλίου από το έδαφος είναι μικρή.

Για το **Μαγνήσιο** παρατηρήθηκε τάση μείωσης στη περιεκτικότητα του στο έδαφος καθώς πλησιάζουμε τη χοιροτροφική μονάδα.

4. Συζήτηση

Η λειτουργία κτηνοτροφικών μονάδων μεγάλης δυναμικότητας έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του εδαφικού pH πλησίον της. Αυτό με τη σειρά του έχει ως πιθανότατο αποτέλεσμα τη μείωση των βασικών μεταλλικών κατιόντων του εδάφους (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}), τα οποία αποτελούν σημαντικά θρεπτικά συστατικά για τα φυτά, λόγω έκπλυσης και τη μεταφορά τους στα επιφανειακά και τα υπόγεια ύδατα.

Με την αυξημένη εδαφική οξύτητα, σημαντικές συνθήκες για πολλά φυτά αλλάζουν, οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν σε μεταβολές στη σύνθεση και την αφθονία πολλών βοτανικών ειδών. Η φυσική χλωρίδα μεταβάλλεται και μειώνεται η εμφάνιση πολλών ειδών φυτών, τα οποία είναι ευαίσθητα σε χαμηλότερα pH, ενώ αντίθετα αυξάνεται η εμφάνιση άλλων τα οποία είναι πιο ανθεκτικά σε αυτές τις συνθήκες. Επιπρόσθετα, η μείωση του pH οδηγεί σε μεταβολές των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του εδάφους και επηρεάζει πολλά χημικά στοιχεία. Η συγκέντρωση των K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} στο έδαφος μειώνεται ενώ αντίθετα αυξάνεται η συγκέντρωση των H^+ , Al^{3+} , $\text{Fe}^{3+/2+}$. Αποτέλεσμα αυτού είναι η μείωση της διαθεσιμότητας των θρεπτικών συστατικών του εδάφους και η αύξηση ουσιών οι οποίες είναι τοξικές για τα φυτά. Ιδιαίτερα τοξικό είναι το Al^{3+} , το οποίο επιβαρύνει σημαντικά την ανάπτυξη των φυτών και έχει άμεσες επιπτώσεις στο μεταβολισμό τους, παρεμποδίζοντας τη μεταφορά ιόντων και νερού διαμέσου των κυτταρικών μεμβρανών των ριζών. Έχει διαπιστωθεί ότι όσο μεγαλύτερη είναι η σχέση $\text{Al}^{3+} / (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ τόσο χειρότερες είναι οι επιπτώσεις στη φυσική χλωρίδα.

Η λίπανση που προκαλείται λόγω της μεγάλης διαθεσιμότητας του αζώτου στο έδαφος πλησίον της χοιροτροφικής μονάδας έχει ως αποτέλεσμα τη μεταβολή της γονιμότητας του. Τα διάφορα είδη φυτών από οικολογική άποψη διακρίνονται αναφορικά με τη γονιμότητα του εδάφους σε ανταγωνιστικά, αδιάφορα και ανθεκτικά είδη. Τα ανταγωνιστικά είδη φυτών αναπτύσσονται εις βάρος των υπολοίπων όταν βελτιωθεί η θρεπτική τροφοδοσία του εδάφους, ενώ σε σχετικά άγονα εδάφη υπερτερούν τα ανθεκτικά είδη. Όσο χαμηλότερο είναι το αρχικό επίπεδο γονιμότητας του εδάφους τόσο μεγαλύτερες είναι οι διαφορές της φυσικής χλωρίδας που προκύπτουν μετά την υιοθέτηση των λιπάνσεων. Γενικά οι λιπάνσεις τείνουν να

περιορίσουν το πλήθος των βοτανικών ειδών δηλ. τη φυτική βιοποικιλότητα. Επομένως, οι αλλαγές στη σύνθεση της φυσικής χλωρίδας είναι δυνατό να επιφέρουν αλλαγές και στη σύνθεση της πανίδας.

Σε προηγούμενες έρευνες που έχουν γίνει σε δασικά οικοσυστήματα της Β.Δ. Ευρώπης έχει παρατηρηθεί αύξημένη ανάπτυξη ορισμένων βοτανικών ειδών παρά την οξίνιση του εδάφους. Η αύξηση αυτή οφείλεται κυρίως στη λίπανση του εδάφους λόγω της περίσσειας του αζώτου που υπάρχει στη περιοχή αυτή. Το φαινόμενο αυτό φαίνεται να αντισταθμίζει ακόμα και την μείωση των κατιόντων του εδάφους. Το σημαντικό ερώτημα τώρα είναι, πόσο καιρό θα έχει επίδραση η λίπανση αυτή και πότε θα αρχίσουν να παρατηρούνται οι επιπτώσεις λόγω της ανισορροπίας των θρεπτικών συστατικών [72,73].

Βέβαια, πρέπει να προσθέσουμε ότι οι μεταβολές που παρατηρήθηκαν στις ιδιότητες και στη σύσταση του εδάφους που μελετήθηκε είναι μικρότερες από μεταβολές που έχουν παρατηρηθεί σε εδάφη της Β.Δ Ευρώπης. Αυτό οφείλεται στην ύπαρξη ασβεστολιθικών εδαφών στη περιοχή κοντά στη χοιροτροφική μονάδα, τα οποία είναι λιγότερο επιρρεπή στο φαινόμενο της οξίνισης και στο ημίξηρο κλίμα που επικρατεί, το οποίο περιορίζει το φαινόμενο της έκπλυσης.

5. Θέματα για διερεύνηση - Προοπτικές

Στη παρούσα εργασία μελετήθηκε η μεταβολή των ιδιοτήτων (pH, ηλεκτρική αγωγιμότητα) και της σύστασης (Ca, Mg, K) επιφανειακού εδάφους πλησίον μεγάλης χοιροτροφικής μονάδας.

Ειδικότερα, μετρήθηκαν οι ολικές εδαφικές συγκεντρώσεις των στοιχείων Ca, Mg και K. Όμως θα πρέπει να γίνουν και μετρήσεις των ανταλλάξιμων ιόντων Ca^{2+} , Mg^{2+} και K^{+} , καθώς τα ανταλλάξιμα ιόντα επηρεάζονται άμεσα από τους αέριους ρύπους της μονάδας. Από τις ολικές εδαφικές συγκεντρώσεις τους δεν μπορούμε να βγάλουμε ασφαλή συμπεράσματα καθώς για τις μειώσεις των συγκεντρώσεων που παρατηρούνται πλησίον της μονάδας, πιθανότατα ευθύνονται και άλλοι παράγοντες, όπως η πυκνότητα της βλάστησης.

Στα διαγράμματα, που προέκυψαν από τη μέση τιμή μετρήσεων σε συνάρτηση με την απόσταση της θέση δειγματοληψίας από τη χοιροτροφική μονάδα, παρατηρήθηκε ότι ορισμένες μέσες τιμές παρουσιάζουν μεγάλη τυπική απόκλιση. Αυτό είναι πιθανό να οφείλεται στο γεγονός ότι η δειγματοληψία έγινε σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Οι περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν στη περιοχή επηρεάζουν την σύσταση και τις ιδιότητες του εδάφους με αποτέλεσμα να υπάρχει μεταβολή αυτών σε συνάρτηση με το χρόνο. Άρα για την καλύτερη εκτίμηση των επιπτώσεων της χοιροτροφικής μονάδας στο έδαφος είναι σημαντικό να παρθούν δείγματα την ίδια χρονική στιγμή.

Θα μπορούσε βεβαίως να μελετηθεί η επίδραση που έχει η λειτουργία της χοιροτροφικής μονάδας στο έδαφος σε διαφορετικές χρονικές περιόδους για να εκτιμηθεί σε ποιες συνθήκες

είναι πιο έντονες οι επιπτώσεις που προκαλούνται από τη λειτουργία της μονάδας αυτής. Σε αυτή τη περίπτωση θα ήταν αναγκαίο να παρθούν δείγματα σε διαφορετικές χρονικές στιγμές από ίδιες όμως θέσεις δειγματοληψίας.

Επίσης, επειδή στη παρούσα εργασία μελετήθηκε η μεταβολή των ιδιοτήτων και της σύστασης επιφανειακού εδάφους νότια της μονάδας, λόγω της διεύθυνσης των ανέμων, θα μπορούσε να γίνει, για πληρέστερη μελέτη, μεγαλύτερη δειγματοληψία από όλες τις κατευθύνσεις γύρω από τη μονάδα, καθώς επίσης και από διαφορετικά βάρη εδάφους.

Ακόμα, εκτός από τη μελέτη των θρεπτικών στοιχείων Ca, Mg και K, μπορεί να προσδιοριστεί η μεταβολή των Mn^{2+} , Al^{3+} , $Fe^{3+/2+}$ πλησίον της χοιροτροφικής μονάδας, τα οποία είναι τοξικά για πολλά βοτανικά είδη.

Τέλος, θα μπορούσε να γίνει έρευνα για να εκτιμηθούν οι επιπτώσεις της λειτουργίας μεγάλης κτηνοτροφικής μονάδας στην ατμόσφαιρα αλλά και στα υπόγεια και επιφανειακά ύδατα.

V. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Γ. Μαρκαντωνάτου, «Επεξεργασία και διάθεση υγρών αποβλήτων», Αθήνα 1990, σελ. 565, 575, 576.

[2] «Factory farming»

http://en.wikipedia.org/wiki/Factory_farming (Νοέμβριος 2009)

[3] D. Osterberg and D. Wallinga, «Addressing externalities from swine production to produce public health and environmental impacts», Published in the journal «American Journal of Public Health» (Publisher: American Health Association), 2004, pp.1703-1708.

[4] C. Johnen, «Raising a stink, The struggle over factory hog farms in Nebraska», Published by University of Nebraska Press, Lincoln and London, 2003, pp. 7, 15, 11.

[5] M. Scully, «Dominion», Published by St. Martin's Griffin, 2002, pp. 259, 29

[6] K. M. Thu, «Public Health Concerns for Neighbors of Large-Scale Swine Production Operations», Published in the journal «Journal of Agricultural and Safety Health» (Publisher: American Society of Agricultural and Biological Engineers), 2002, 8(2) pp. 175-184.

[7] «State of the World 2006», Published by World watch Institute, pp. 26.

[8] D. Avery. "Big Hog Farms Help the Environment," Published by Des Moines Register, December 7, 1997, cited in M. Scully, «Dominion», Published by St. Martin's Griffin, pp. 30.

[9] M. Kaufmann, «Largest Pork Processor to Phase Out Crates», Published by The Washington Post, January 26, 2007.

<http://www.washingtonpost.com/wpdyn/content/article/2007/01/25/AR2007012501785.html>

[10] «An HSUS Report: Welfare Issues with Gestation Crates for Pregnant Sows», The Humane Society of the United States, January 6, 2006.

<http://www.hsus.org/web-files/PDF/farm/HSUS-Report-on-Gestation-Crates-for-Pregnant-Sows.pdf>

[11] U.S. Senate Committee on Agriculture, Nutrition and Forestry, “Animal waste Pollution in America: An emerging National Problem” 105th Cong. 1st sess., December 1997, p. 3.

- [12] Δ. Γεωργακάκη, «Επεξεργασία και Διάθεση Αποβλήτων Κτηνοτροφικών Μονάδων και Γεωργικών Βιομηχανιών», εκδόσεις Γεωργικού Πανεπιστημίου Αθηνών, Αθήνα 1998, σελ. 12, 17, 18, 21
- [13] Α. Στάμου, «Βιολογικός καθαρισμός αστικών λυμάτων», εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 2004, σελ. 20.
- [14] Α. Στάμου, «Βιολογικός καθαρισμός αστικών αποβλήτων», εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 2004, σελ. 2, 11.
- [15] Γ. Τζίχα, «Περιβαλλοντικές επιπτώσεις των παραγόμενων αερίων ρύπων κατά τη διαχείριση πτηνο-κτηνοτροφικών αποβλήτων – Μέτρα αντιμετώπισης», Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα 2005.
- [16] Α. Α. Χαρτσά, «Περιβαλλοντικές επιπτώσεις χοιροτροφικών εκμεταλλεύσεων Νομού Ευβοίας», Διατριβή, Μυτιλήνη, 2007.
- [17] Μ. Όξενκιουν-Πετροπούλου, «Περιβάλλον Ατμοσφαιρική Ρύπανση », εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2002, σελ 71, 72, 90
- [18] P.S. Thorne, K.J. Donham, J. Dosman, P. Jagelio, J.A. Merchant and S.von Essen, «Occupational health. In Understanding the Impact of Large-Scale Swine Production», K.Thu, Ed.,Published by University of Iowa, 1996, pp. 164
- [19] «Νέα σχολική εγκυκλοπαίδεια», εκδόσεις Αυλός, τόμος 5, Αθήνα 1995, σελ. 1290-1291
- [20] S.E. Manahan, «Fundamentals of Environmental Chemistry: Soil and agricultural chemistry», Published by Lewis Publishers, Boca Raton Florida, 1993, pp. 516-543.
- [21] N.C. Brady, «The Nature and Properties of Soils», Published by Macmillan Publishing Co, New York, 1974.
- [22] N.A.Krasil'nikov, «Soil microorganisms and higher plants», Moscow 1958, Published by the Academy of Sciences of the USSR, Copublished for THE NATIONAL SCIENCE FOUNDATION, WASHINGTON, D.C. and THE DE-PARTMENT OF AGRICULTURE, USA by THE ISRAEL PROGRAM FOR SCIENTIFIC TRANSLATIONS 1961, Part II
<http://www.soilandhealth.org/01aglibrary/010112Krasil/010112krasil.ptII.html>

- [23] I. Williams, «Environmental Chemistry: The composition and properties of soil», Published by Wiley & Sons, Chichester, 2001, pp. 130-135
- [24] R. Whitlow, «Basic Soil Mechanics», published by U.K.:Longman Scientific and Technical, 4th edition, England Essex 2000, pp136-154.
- [25] Σ.Ε. Κουφοπούλου, «Περιβαλλοντικές επιπτώσεις επιβραδυντών δασικών πυρκαγιών σε έδαφος και υπόγεια νερά, μελέτη σε εργαστηριακή κλίμακα», Διδακτορική διατριβή ΕΜΠ, Αθήνα 2008, σελ. 56-70, 75-84, 101-126.
- [26] Δ. Αλιφραγκής, «Το έδαφος, Γένεση-Ιδιότητες-Ταξινόμηση», Τόμος 1, Πρώτη έκδοση, Εκδόσεις Αιβαζή, Θεσσαλονίκη 2008, σελ 154-175, 231-247, 405-487
- [27] Η.Κρεμμύδας, «Επίδραση επιβραδυντών δασικών πυρκαγιών στο έδαφος, Μελέτη απορροής φωσφορικών ιόντων από δασικό έδαφος σε εργαστηριακή κλίμακα», Διπλωματική εργασία ΕΜΠ, Αθήνα 2006, σελ 4-19, 24-29.
- [28] Κ.Χ.Σκούφη, «Επίδραση επιβραδυντή μακράς διάρκειας σε στραγγίσματα δασικού εδάφους με ή χωρίς καύση της βλάστησης. Μελέτη παραμέτρων pH, Αγωγιμότητας, TDS, Χλωριόντων και Ολικής Σκληρότητας», Διπλωματική εργασία ΕΜΠ, Αθήνα 2006, σελ 2-8, 34-44.
- [29] Μ.Καββαδάς, «Στοιχεία εδαφομηχανικής», εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 1992.
- [30] Ν. Χουλιάρης, «Μαθήματα Εφαρμοσμένης εδαφολογίας», Εκδόσεις ΙΩΝ, 2002, σελ 18-29. 37-38, 80.
- [31] A.Miles, M.Brown, « Teaching Organic Farming and Gardening, Recourses for Instructors», Published by the university of California: Center for Agroecology and Sustainable Food Systems, manual, part II, unit 2.2. USA Santa Cruz 2003
http://casfs.ucsc.edu/education/instruction/tofg/download/unit_2.2a_soil_chem.pdf
- [32] J.A.A.R. Schuurkes, M.A. Elbers, J.J.F. Gudden, J.G.M. Roelofs, «Effects of simulated ammonium sulphate and sulphuric acid rain on acidification, water quality and flora of small – scale soft water systems», Published by Aquatic Botany, 1987, 28: 199-226.

- [33] H.R. Pruppacher, R.G. Semonin, W.G.N. Slinn, «Precipitation Scavenging, Dry Deposition and resuspension», Published by Elsevier, Vols. 1 and 2, New York, 1983.
- [34] H.F.G. Van Dijk, R.C.M. Creemers, J.P.L.W.M. Rijniers, J.G.M. Roelofs, «Impact of artificial Ammonium – enriched rainwater on soils and young coniferous trees in a greenhouse. Part 1 – effects on the soils», Published in the journal «Environmental Pollution» (Publisher: Elsevier), Volume 62, Issue 4, 1989, pp. 317-336.
- [35] J.I. Drever, «The Geochemistry of Natural Waters: Surface and Groundwater Environments», published by Prentice Hall, 3rd ed. Englewood Cliffs New Jersey, 1997.
- [36] D.L. Rowell, «Soil Science: Methods and applications», Published by Pearson/ Prentice Hall, 1994.
- [37] Δ.Α. Αναλογίδης, «Έδαφος, θρεπτικά στοιχεία και φυτική παραγωγή», Εκδόσεις Αγρότυπος, Αθήνα 2000, σελ 307-361.
- [38] B. Walna, S. Drzymala, J. Siepak, «The impact of acid rain on calcium and magnesium status in typical soils of the Wielkopolski National Park», Published in the journal «The Science of the Total Environment» (Publisher: Elsevier), 1998, 220: 115-120.
- [39] K.H. Tan, «Soil Sampling Preparation and Analysis», Published by Marcel Dekker, New York, 1996, pp: 96 – 99.
- [40] Greenland DJ, Hayes MHM, eds. *The Chemistry of Soil Constituents*. John Wiley & Sons, New York, 1978.
- [41] J. Dragun, «The Soil Chemistry of Hazardous Materials», Published by Hazardous Materials Control Research Institute, Silver Spring Maryland, 1988, pp.458-470.
- [42] H. Siegrist, PL. McCarty, «Column methodologies for determining sorption and biotransformation potential of chlorinated aliphatic compounds in aquifers», Published in the journal «Contam Hydrol» (Publisher: Elsevier), 1987, **2**: pp. 31-50.
- [43] KW. Brown, GC. Barbee, JC. Thomas, HE. Murray, «Detecting organic contaminants in the unsaturated zone using soil and soil-pore water

samples», Published in the journal «Hazard Waste Hazard Mat» (Publisher: Mary Ann liebert, Inc.), 1990, **7**: pp. 151-168.

[44] P. Lagas, «Sorption of chlorophenols in soil», Published in the journal «Chemosphere» (Publisher: Elsevier), 1988, **17**:pp. 205-216

[45] WA. Jury, DD. Focht, WJ. Farmer, Evaluation of pesticide groundwater pollution potential from standard indices of soil-chemical adsorption and biodegradation», Published in the journal «*Journal of Environmental Quality*», 1987, **16**: pp. 422-428.

[46] KH. Domsch, G. Jagnow, T-H. Anderson, «An ecological concept for the assessment of side-effects of agrochemicals on soil microorganisms», Published by Res Rev, 1983, **86**: pp. 65-105.

[47] HA. Verhoef, L. Brussaard «Decomposition and nitrogen mineralization in natural and agroecosystems: the contribution of soil animals», Published in the journal «Biogeochemistry» (Publisher:Springer Netherlands) , 1990, **11**: pp. 175-211.

[48] GG. Briggs «Predicting the behaviour of pesticides in soil from their physical and chemical properties», Published in the journal «Philosophical Transactions of the Royal Society B», London, 1990, **329**:pp. 375-382.

[49] KH. Domsch, «Effects of pesticides and heavy metals on biological processes in soil» Published in the journal «Plant Soil» (Publisher:Springer Netherlands) , 1984, **76**: 367-378.

[50] A. Martin «How toxic are toxic chemicals in soil?», Published in the journal «Critical Reviews in Environmental Science and Technology» (Publisher: Taylor & Francis), 1995, **29**: pp. 2713-2717.

[51] G. Tyler «Heavy metal pollution and soil enzymatic activity». Published in the journal «Plant Soil» (Publisher:Springer Netherlands), 1974, **41**: pp. 303-311.

[52] G. Tyler «The impact of heavy metal pollution on forests: a case study of Gusum», Published in the journal «Ambio» (Publisher:Springer Netherlands), Sweden, 1984, **123**: pp. 18-24.

[53] WHM. Van Kessel, RW. Brocades Zaalberg, W. Seinen «Testing environmental pollutants on soil organisms: a simple assay to investigate the toxicity of environmental pollutants on soil organisms using cadmium chloride and nematodes». Published in the journal «Ecotoxicology and Environmental Safety» (Publisher: Elsevier), 1989, **18**: pp. 181-190.

[54] KC. Donnelly, KW. Brown KW, JC. Thomas «Bacterial mutagenicity of leachate water from municipal sewage sludge-amended soils», Published in the journal «Environmental Toxicology & Chemistry» (Publisher: John Wiley and Sons), 1990, **9**: pp. 443-451.

[55] VS. Houk, DM. DeMarini, «Use of the microscreen phage-induction assay to assess the genotoxicity of 14 hazardous industrial wastes», Published in the journal «Environmental and Molecular Mutagenesis», 1988, **11**: pp. 13-29.

[56] MA. Silkowski, MJ. Plewa, «Analysis of the genotoxicity of municipal incinerator ash», Published in the journal «Environmental and Molecular Mutagenesis», 1990, **15**: pp. 55-59.

[57] X. Μιχαλοπούλου, «Νομοθεσία για το περιβάλλον», εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη 2004, σελ. 18-25, 372.

[58] Μ.Όξενκιουν-Πετροπούλου, «Περιβάλλον, έλεγχος και προστασία νερού», εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 1996, σελ 7-10, 21-25, 29, 61-67.

[59] I. N. Θερίος, «Ανόργανη Θρέψη και Λιπάσματα», εκδόσεις Γαρταγάνη, Θεσσαλονίκη 2005, σελ. 20-73, 128-176, 296, 312

[60] M.J. Rowell, L.Z. Florence, « “Characteristics associated with differences between undisturbed and industrially-disturbed soils”», Soil Biology and Biochemistry, 1993, 25 (11): 1499-1511.

[61] K.R. Helyar, W.N Porter, “Soil acidification, its measurement and the processes involved”, In: Robson AD (ed.) Soil acidity and plant growth, Australia: Academic Press, Sydney, 1989, pp: 61-101.

[62] J.T. Walker, V.P. Aneja, D. Dickey, “Atmospheric Transport and Wet Deposition of Ammonium in North Carolina, USA”, Atmospheric Environment, 2000, 34: 3407-3418.

- [63] J.E. Zhang, Y. Ouyang, D.J. Ling, "Impacts of simulated acid rain on cation leaching from the Latosol in south China", *Chemosphere*, 2007, 67: 2131-2137.
- [64] A.W. Boxman, R.C.J.H. Peters, J.G.M. Roelofs, "Long term changes in atmospheric N and S throughfall deposition and effects on soil solution chemistry in a Scots pine forest in the Netherlands", *Environmental Pollution*, 2008, 156: 1252-1259.
- [65] Martin R. Carter, «Soil sampling and methods of analysis», Published by Lewis Publishers, U.S.A., 1993.
- [66] U.S. EPA Environmental Response Team, Standard Operating Procedures- Soil Sampling, U.S.A., 2000
- [67] ISO 11465, Soil quality, «Determination of dry matter and water content on a mass basis – Gravimetric method». International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland, 1993, 3 p.
- [68] K.R. Reddy, «Laboratory Testing of Soils for Engineering Purposes», On-Line Laboratory Manual, Published by University of Illinois at Chicago, August 1997.
- [69] ASTM D 422, «Standard Test Method for Particle- Size Analysis of Soils, Hydrometer analysis», approved November 10, 2002.
- [70] ISO 10390, Soil quality, «Determination of pH», International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 1994, 5 p.
- [71] T. Radu, D. Diamond, «Comparison of soil pollution concentrations determined using AAS and portable XRF techniques», Published in the journal «Journal of Hazardous Materials», 2009, 171(1-3): 1168-1171.
- [72] U. Falkengren-Grerup, H. Eriksson, «Changes in soil, vegetation and forest yield between 1947 and 1988 in beech and oak sites of southern Sweden», Published in the journal «Forest Ecology and Management» (Publisher: Elsevier), 1990, 38: 37-53
- [73] M. Carnol, P. Ineson, A.L. Dickinson, «Soil solution Nitrogen and Cations influenced by $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ deposition in a Coniferous forest», Published in the journal «Environmental Pollution» (Publisher: Elsevier), 1997, 97(12): 1-10.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Συνδυασμός παραδοσιακής κοκκομετρικής ανάλυσης με κοκκομετρική ανάλυση με Laser.

X/NA40/2-11-08

Πίνακας 1: Μετρήσεις 27/5/2009, μέθοδος Α

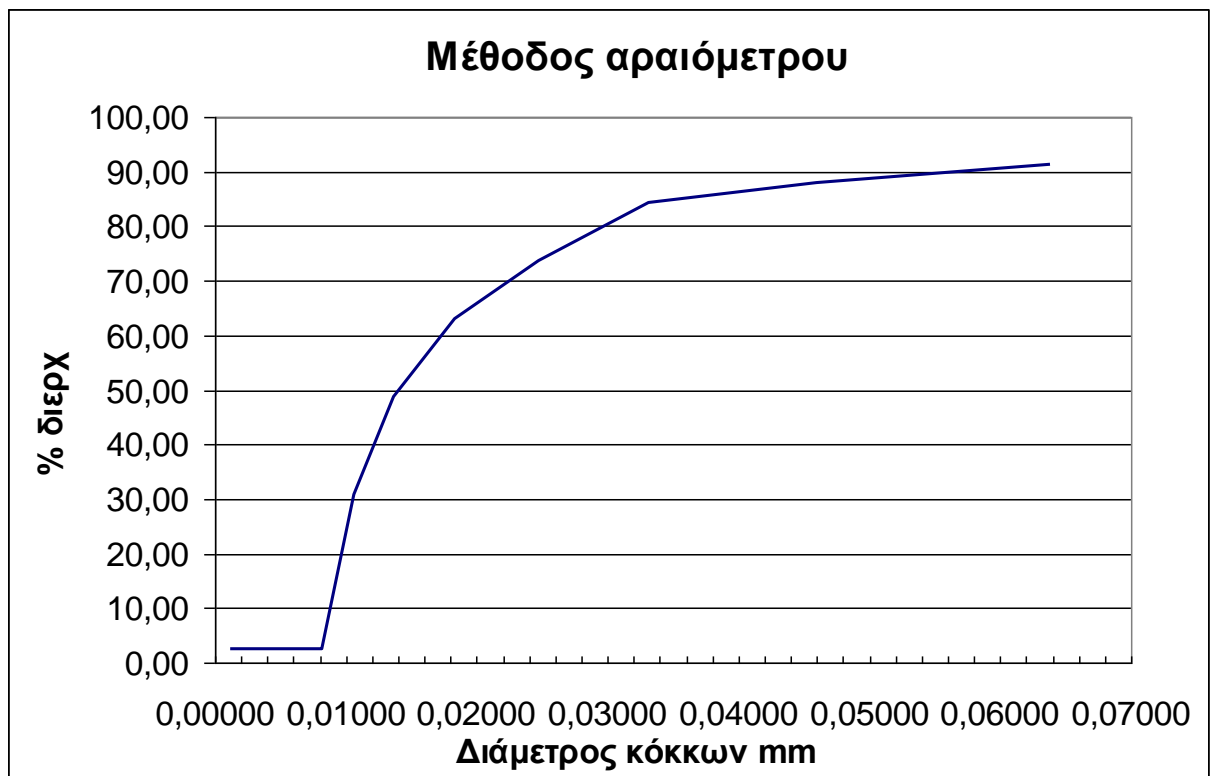
Νοέμβρης 2008	Κόσκινα
X/NA40/2-11-08	g
Μάζα δείγματος	4,52
Μεταξύ 1,981 mm και 0,056 mm	1,06
Κάτω των 0,056 mm	3,46

Μέθοδος αραιόμετρου

X/NA40/2-11-08

Πίνακας 2: Μετρήσεις 27/5/2009, μέθοδος Α

Νοέμβρης 2008	Κόσκινα
X/NA40/2-11-08	g
Μάζα δείγματος	231,66
Μεταξύ 2 mm και 0,075 mm	71,98
Κάτω των 0,075 mm	159,68



Σχήμα 1: Μετρήσεις 16/6/2009, μέθοδος Β

Πίνακας 3: Μετρήσεις 16/6/2009, μέθοδος Β

χρόνος	t(min)	R _t (g/L)	R*	H	H _R	D(mm) Διάμετρος κόκκων	%διερχ	% συγκρατ
15s	0,250	1025	1,026	7,2600	6,1289	0,06383	91,38	8,62
30s	0,500	1024	1,025	7,5000	6,3689	0,04601	87,82	12,18
1min	1	1023	1,024	7,7400	6,6089	0,03314	84,27	15,73
2min	2	1020	1,021	8,4600	7,3289	0,02468	73,60	26,40
4min	4	1017	1,018	9,1800	8,0489	0,01829	62,93	37,07
8min	8	1013	1,014	10,1400	9,0089	0,01368	48,71	51,29
15min	15	1008	1,009	11,3400	10,2089	0,01063	30,93	69,07
30min	30	1000	1,001	13,2600	12,1289	0,00820	2,49	97,51
1h	60	1000	1,001	13,2600	12,1289	0,00580	2,49	97,51
2h	120	1000	1,001	13,2600	12,1289	0,00410	2,49	97,51
24h	1440	1000	1,001	13,2600	12,1289	0,00118	2,49	97,51

Πίνακας 4: Μετρήσεις 16/6/2009, μέθοδος B

Διόρθωση Μηνίσκου C_m (g/L)	1
Διόρθωση Διαλύματος C_d (g/L)	1
Θερμοκρασία(°C)	25
$H_{1,013}$ (cm)	11,1
$H_{1,022}$ (cm)	9,3
Όγκος βολβού V_b (cm ³)	65
Διάμετρος Κυλίνδρου d_c (cm)	6,05
Εμβαδόν Κυλίνδρου A (cm ²)	28,7330
Πυκνότητα Στερεών G_s	2,65
Ξηρό Βάρος Στερεού W_o (g)	45,17
Ιξώδες νερού η στους 25°C	0,00894
Πυκνότητα Νερού ρ_w (g/cm ³) στους 25°C	0,99708
Διόρθωση θερμοκρασίας m	0,70

Πίνακας 5: Μετρήσεις 3/6/2009, μέθοδος A, Mastersizer Malvern, επανάληψη 1

X/NA40/2-11-08

Result: Analysis Table

ID:		Run No: 4		Measured: 3/6/2009 12:58i			
File: TOUR_X		Rec. No: 1		Analy sed: 3/6/2009 12:58i			
Path: C:\SIZERM\DATA\		Source: Analysed					
Sampler: Internal			Measured Beam Obscuration: 14.4 %				
Presentation: 4OHD			Analy sis: Poly disperse			Residual: 0.434 %	
Modif ications: None							
Conc. = 0.0188 %Vol		Density = 2.700 g/cm ³		S.S.A.= 0.3507 m ² /g			
Distribution: Volume		D[4, 3] = 31.18 um		D[3, 2] = 6.34 um			
D(v, 0.1) = 2.69 um		D(v, 0.5) = 26.41 um		D(v, 0.9) = 66.86 um			
Span = 2.430E+00		Unif ormity = 7.561E-01					
Size (um)	Volume Under%	Size (um)	Volume Under%	Size (um)	Volume Under%	Size (um)	Volume Under%
0.31	0.00	1.95	7.67	12.21	28.08	76.32	93.79
0.36	0.17	2.28	8.73	14.22	31.23	88.91	96.99
0.42	0.50	2.65	9.88	16.57	34.88	103.58	98.96
0.49	0.97	3.09	11.13	19.31	39.12	120.67	99.89
0.58	1.54	3.60	12.46	22.49	44.04	140.58	100.00
0.67	2.19	4.19	13.88	26.20	49.68	163.77	100.00
0.78	2.87	4.88	15.40	30.53	56.03	190.80	100.00
0.91	3.58	5.69	17.04	35.56	62.94	222.28	100.00
1.06	4.31	6.63	18.82	41.43	70.12	258.95	100.00
1.24	5.05	7.72	20.76	48.27	77.18	301.68	100.00
1.44	5.84	9.00	22.92	56.23	83.71		
1.68	6.71	10.48	25.34	65.51	89.33		

Πίνακας 6: Μετρήσεις 3/6/2009, μέθοδος A, Mastersizer Malvern, επανάληψη 2

X/NA40/2-11-08

Result: Analysis Table

ID: TOUR_X		Run No: 5		Measured: 3/6/2009 1:00ii			
Path: C:\SIZERMU\DATA\		Rec. No: 2		Analysed: 3/6/2009 1:00ii			
Source: Analysed							
Sampler: Internal		Presentation: 4OHD		Measured Beam Obscuration: 14.4 %			
Modifications: None		Analy sis: Poly disperse		Residual: 0.454 %			
Conc. = 0.0183 %Vol		Density = 2.700 g/cm ³		S.S.A.= 0.3611 m ² /g			
Distribution: Volume		D[4, 3] = 30.19 um		D[3, 2] = 6.15 um			
D(v, 0.1) = 2.58 um		D(v, 0.5) = 25.40 um		D(v, 0.9) = 65.14 um			
Span = 2.463E+00		Uniformity = 7.671E-01					
Size (um)	Volume Under%	Size (um)	Volume Under%	Size (um)	Volume Under%	Size (um)	Volume Under%
0.31	0.00	1.95	7.92	12.21	29.14	76.32	94.39
0.36	0.18	2.28	9.02	14.22	32.38	88.91	97.37
0.42	0.52	2.65	10.23	16.57	36.12	103.58	99.17
0.49	1.00	3.09	11.53	19.31	40.47	120.67	99.97
0.58	1.59	3.60	12.92	22.49	45.49	140.58	100.00
0.67	2.25	4.19	14.41	26.20	51.21	163.77	100.00
0.78	2.96	4.88	16.01	30.53	57.60	190.80	100.00
0.91	3.69	5.69	17.72	35.56	64.49	222.28	100.00
1.06	4.43	6.63	19.57	41.43	71.58	258.95	100.00
1.24	5.20	7.72	21.59	48.27	78.49	301.68	100.00
1.44	6.02	9.00	23.82	56.23	84.80		
1.68	6.92	10.48	26.31	65.51	90.18		

Πίνακας 7: Μετρήσεις 3/6/2009, μέθοδος A, Mastersizer Malvern, επανάληψη 3

X/NA40/2-11-08

Result: Analysis Table

ID: TOUR_X		Run No: 6		Measured: 3/6/2009 1:02ii			
Path: C:\SIZERMU\DATA\		Rec. No: 3		Analysed: 3/6/2009 1:02ii			
Source: Analysed							
Sampler: Internal		Presentation: 4OHD		Measured Beam Obscuration: 14.4 %			
Modifications: None		Analy sis: Poly disperse		Residual: 0.435 %			
Conc. = 0.0181 %Vol		Density = 2.700 g/cm ³		S.S.A.= 0.3645 m ² /g			
Distribution: Volume		D[4, 3] = 29.96 um		D[3, 2] = 6.10 um			
D(v, 0.1) = 2.54 um		D(v, 0.5) = 25.08 um		D(v, 0.9) = 64.87 um			
Span = 2.485E+00		Uniformity = 7.747E-01					
Size (um)	Volume Under%	Size (um)	Volume Under%	Size (um)	Volume Under%	Size (um)	Volume Under%
0.31	0.00	1.95	8.00	12.21	29.53	76.32	94.45
0.36	0.18	2.28	9.12	14.22	32.80	88.91	97.37
0.42	0.52	2.65	10.35	16.57	36.58	103.58	99.15
0.49	1.01	3.09	11.67	19.31	40.95	120.67	99.95
0.58	1.60	3.60	13.08	22.49	45.99	140.58	100.00
0.67	2.27	4.19	14.59	26.20	51.71	163.77	100.00
0.78	2.98	4.88	16.21	30.53	58.08	190.80	100.00
0.91	3.72	5.69	17.94	35.56	64.93	222.28	100.00
1.06	4.47	6.63	19.81	41.43	71.97	258.95	100.00
1.24	5.25	7.72	21.86	48.27	78.80	301.68	100.00
1.44	6.08	9.00	24.13	56.23	85.02		
1.68	6.99	10.48	26.66	65.51	90.31		

PH – ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ

Πίνακας 8: Μετρήσεις pH και ηλεκτρικής αγωγιμότητας στα δείγματα εδάφους που ελήφθησαν τη χρονική περίοδο 15/3/09 έως 23/10/10 σε απόσταση από 10 έως 1500 m από τα όρια της χοιροτροφικής μονάδας.

Ημερομηνία δειγματοληψίας	Κωδικός Δείγματος	pH	Αγωγιμότητα στους 25oC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
		-	
15/3/2009	A1200	8,1	157
	A1500	8,2	135
19/4/2009	N10	7,2	228
	N40	7,3	168
	N100	7,7	144
13/7/2009	A20	7,4	189
	A40	7,7	177
	A400	7,5	220
	A600	7,6	216
	NΔ900	7,7	204
19/8/2009	N10	7,4	179
	Δ20	7,6	173
	Δ100	7,6	179
	N100	7,6	161
	A400	7,5	163
	A600	7,6	159
	A700	7,9	183
	NΔ900	7,8	156
6/9/2009	N100	7,5	208
	N200	7,5	120 *
	A400	7,7	91
	A600	7,9	79
13/9/2009	NΔ150	7,1	241
	A200	7,2	175
	N300	7,3	215
	A600	7,5	121
	N940	7,7	202
27/9/2009	NΔ70	7,1	251
	NΔ220	7,6	180
	NA250	7,7	145
	A300	7,8	137
	A400	7,8	122
	N940	7,9	121
17/1/2010	N10	6,8	445
	NΔ200	7,5	175
	NΔ300	7,8	140
	NΔ530	7,8	170
	NA800	7,9	172
	N900	7,9	154
31/1/2010	N10	7,2	217
	A120	7,6	192

	N150	7,6	215
	A200	7,5	201
	Δ400	7,9	151
	NΔ600	7,7	198
	NA800	7,9	155
	NΔ900	8,1	168
20/2/2010	N10	7,3	271
	N100	7,5	212
	A200	7,5	159
	NΔ530	8,1	150
7/3/2010	N70	7,1	205
	NΔ500	7,7	147
	NΔ1100	7,9	162
16/5/2010	N100	7,2	189
	N200	7,3	174
	NΔ530	7,2	188
	NΔ1100	7,9	159
23/10/2010	N60	7,3	199
	N110	7,7	158
	N220	7,5	185
	A250	7,6	218
	N270	7,7	166
	N320	7,7	187
	NΔ1300	8,2	140

* Η τιμή στο κίτρινο πλαίσιο έχει απορριφθεί, εφαρμόζοντας το Q-test με στατιστική βεβαιότητα 95 %

Πίνακας 9: Μετρήσεις pH, υπολογισμός μέσου pH και υπολογισμός standard deviation των μετρήσεων στα δείγματα εδάφους που ελήφθησαν τη χρονική περίοδο 13/7/09 έως 23/10/10 σε απόσταση από 20 έως 1500 m από τα ανατολικά όρια της χοιροτροφικής μονάδας.

A πλευρά	pH	pH	pH	pH	Μέσο pH	SD
20	7,4				7,4	0
40	7,7				7,7	0
120	7,6				7,6	0
200	7,2	7,5	7,5		7,4	0,17
250	7,6				7,6	0
300	7,8				7,8	0
400	7,5	7,5	7,7	7,8	7,6	0,15
600	7,6	7,6	7,9	7,5	7,7	0,17
700	7,9				7,9	0
1200	8,1				8,1	0
1500	8,2				8,2	0

Πίνακας 10: Μετρήσεις pH, υπολογισμός μέσου pH και υπολογισμος standard deviation των μετρήσεων στα δείγματα εδάφους που ελήφθησαν τη χρονική περίοδο 19/4/09 έως 23/10/10 σε απόσταση από 10 έως 1300 m από τα νότια όρια της χοιροτροφικής μονάδας.

N/NA/ND πλευρά	pH	pH	pH	pH	pH	Μέσο pH	SD
10	7,2	7,4	6,8	7,2	7,3	7,2	0,23
40	7,3					7,3	0
60	7,3					7,3	0
70	7,1					7,1	0
100	7,7	7,6	7,5	7,5	7,2	7,5	0,19
110	7,7					7,7	0
150	7,1	7,6				7,4	0,35
200	7,5	7,5	7,3			7,4	0,12
220	7,6	7,5				7,6	0,07
250	7,7					7,7	0
270	7,7					7,7	0
300	7,3	7,8				7,6	0,35
320	7,7					7,7	0
500	7,7					7,7	0
530	7,8	8,1	7,2			7,7	0,46
600	7,7					7,7	0
800	7,9	7,9				7,9	0
900	7,7	7,9	7,9	8,1		7,9	0,16
940	7,7	7,9				7,8	0,14
1100	7,9	7,9				7,9	0
1300	8,2					8,2	0

Πίνακας 11: Μετρήσεις pH, υπολογισμός μέσου pH και υπολογισμος standard deviation των μετρήσεων στα δείγματα εδάφους που ελήφθησαν τη χρονική περίοδο 19/8/09 έως 31/1/10 σε απόσταση από 20 έως 400 m από τα δυτικά όρια της χοιροτροφικής μονάδας.

Δ πλευρά	pH	Μέσο pH	SD
20	7,6	7,6	0
100	7,6	7,6	0
400	7,9	7,9	0

Πίνακας 12: Μετρήσεις ηλεκτρικής αγωγιμότητας, υπολογισμός μέσης αγωγιμότητας και υπολογισμός *standard deviation* των μετρήσεων στα δείγματα εδάφους που ελήφθησαν τη χρονική περίοδο 13/7/09 έως 23/10/10 σε απόσταση από 20 έως 1500 m από τα ανατολικά όρια της χοιροτροφικής μονάδας.

A πλευρά	μS/cm	μS/cm	μS/cm	μS/cm	(μέσο) μS/cm	SD
20	189				189	0
40	177				177	0
120	192				192	0
200	175	201	159		178	21,2
250	218				218	0
300	137				137	0
400	220	163	91	122	149	55,8
600	216	159	79	121	144	58,2
700	183				183	0
1200	157				157	0
1500	135				135	0

Πίνακας 13: Μετρήσεις ηλεκτρικής αγωγιμότητας, υπολογισμός μέσης ηλεκτρικής αγωγιμότητας και υπολογισμός *standard deviation* των μετρήσεων στα δείγματα εδάφους που ελήφθησαν τη χρονική περίοδο 19/4/09 έως 23/10/10 σε απόσταση από 10 έως 1300 m από τα νότια όρια της χοιροτροφικής μονάδας.

N/NA/ND πλευρά	μS/cm	μS/cm	μS/cm	μS/cm	μS/cm	μS/cm	SD
10	228	179	445	217	271	268	104,2
40	168					168	0
60	369					369	0
70	205					205	0
100	144	161	208	212	189	183	29,6
110	330					330	0
150	241	215				228	18,4
200	120 *	175	174			175	0,7
220	180	185				183	3,6
250	145					145	0
270	166					166	0
300	215	140				178	53
320	187					187	0
500	147					147	0
530	170	150	188			169	19
600	198					198	0
800	172	155				164	12
900	204	156	154	168		171	23,2
940	202	121				162	57,3
1100	162	159				161	2,1
1300	140					140	0

* Η τιμή στο κίτρινό πλαίσιο έχει απορριφθεί, εφαρμόζοντας το *Q-test* με στατιστική βεβαιότητα 95 %

Πίνακας 14: Μετρήσεις ηλεκτρικής αγωγιμότητας, υπολογισμός μέσης ηλεκτρικής αγωγιμότητας και υπολογισμός *standard deviation* των μετρήσεων στα δείγματα εδάφους που ελήφθησαν τη χρονική περίοδο 19/8/09 έως 31/1/10 σε απόσταση από 20 έως 400 m από τα δυτικά όρια της χοιροτροφικής μονάδας.

Δ πλευρά	μS/cm	(μέσο) μS/cm	SD
20	173	173	0
100	179	179	0
400	151	151	0

ΣΤΟΙΧΕΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Μέθοδος XRF

Πίνακας 15: Μετρήσεις Ca, Mg, K σε δείγματα επιφανειακού εδάφους που ελήφθησαν τη χρονική περίοδο 2/11/08 έως 31/1/10 σε απόσταση από 10 έως 900 m από τα νότια όρια της χοιροτροφικής μονάδας.

Ημερομηνία δειγματοληψίας	Κωδικός Δείγματος	Ca (%)	Mg (%)	K (%)
2/11/2008	N20	1,52	0,259	2,29
	NA40	1,55	0,558	2,353
	NA600	10,1	1,86	1,69
19/4/2009	N10	3,3	0,481	2,07
	N40	3,05	0,391	2,22
	N100	5,76	1,2 *	2,21
13/7/2009	N100	0,981	0,239	1,76
	NΔ900	7,94	0,523	2,2
19/8/2009	N100	2,06	0,297	1,85
	NΔ900	6,56	0,461	1,94
6/9/2009	N100	2,03	0,319	0,87
	N200	0,943 *	0,321	2,03
17/1/2010	N10	1,54	0,401	2,23
	NΔ200	10,2	0,515	2,21
	NΔ300	12,3	0,702	2,78
	NΔ530	10,1	0,559	2,89
	NA800	19,9	0,794	2,69
	N900	36,1	0,447	2,98
31/1/2010	N10	0,903	0,217	1,62
	N150	2,44	0,144	2,13
	NΔ600	5,4	0,436	2,33
	NA800	5,57	0,504	2,12
	NΔ900	16,6	0,566	2,16

* Η τιμές στο κίτρινό πλαίσιο έχουν απορριφθεί, εφαρμόζοντας το *Q-test* με στατιστική βεβαιότητα 95 %

Πίνακας 13: Μετρήσεις περιεκτικότητας Ca, υπολογισμός μέσης περιεκτικότητας Ca και υπολογισμός *standard deviation* των μετρήσεων στα δείγματα εδάφους που ελήφθησαν τη χρονική περίοδο 2/11/08 έως 31/1/10 σε απόσταση από 10 έως 900 m από τα νότια όρια της χοιροτροφικής μονάδας.

N/NA/ND πλευρά	Ca (%)	Ca (%)	Ca (%)	Ca (%)	Μέσο Ca (%)	SD
10	3,3	1,54	0,903		1,92	1,241
20	1,52				1,52	0
40	1,55	3,05			2,3	1,060
100	5,76	0,981	2,06	2,03	2,71	2,096
150	2,44				2,44	0
200	0,943	10,2			10,2	0
300	12,3				12,3	0
530	10,1				10,1	0
600	10,1	5,4			7,75	3,323
800	19,9	5,57			12,74	10,133
900	7,94	6,56	36,1	16,6	16,8	13,612

* Η τιμή στο κίτρινο πλαίσιο έχει απορριφθεί, εφαρμόζοντας το *Q-test* με στατιστική βεβαιότητα 95 %

Πίνακας 14: Μετρήσεις περιεκτικότητας Mg, υπολογισμός μέσης περιεκτικότητας Mg και υπολογισμός *standard deviation* των μετρήσεων στα δείγματα εδάφους που ελήφθησαν τη χρονική περίοδο 2/11/08 έως 31/1/10 σε απόσταση από 10 έως 900 m από τα νότια όρια της χοιροτροφικής μονάδας.

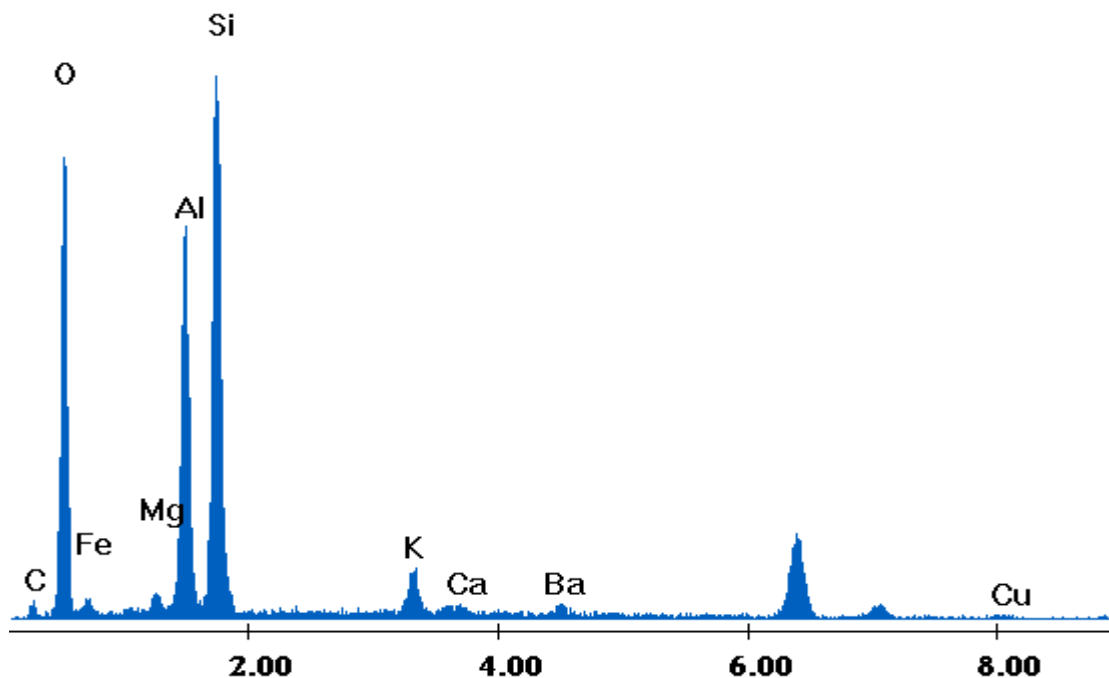
N/NA/ND πλευρά	Mg (%)	Mg (%)	Mg (%)	Mg (%)	Μέσο Mg (%)	SD
10	0,481	0,401	0,217		0,366	0,135372
20	0,259				0,259	0
40	0,558	0,391			0,475	0,118089
100	1,2	0,239	0,297	0,319	0,285	0,041328
150	0,144				0,144	0
200	0,321	0,515			0,418	0,137179
300	0,702				0,702	0
530	0,559				0,559	0
600	1,86	0,436			1,148	1,00692
800	0,794	0,504			0,649	0,205061
900	0,523	0,461	0,447	0,566	0,499	0,055417

* Η τιμή στο κίτρινο πλαίσιο έχει απορριφθεί, εφαρμόζοντας το *Q-test* με στατιστική βεβαιότητα 95 %

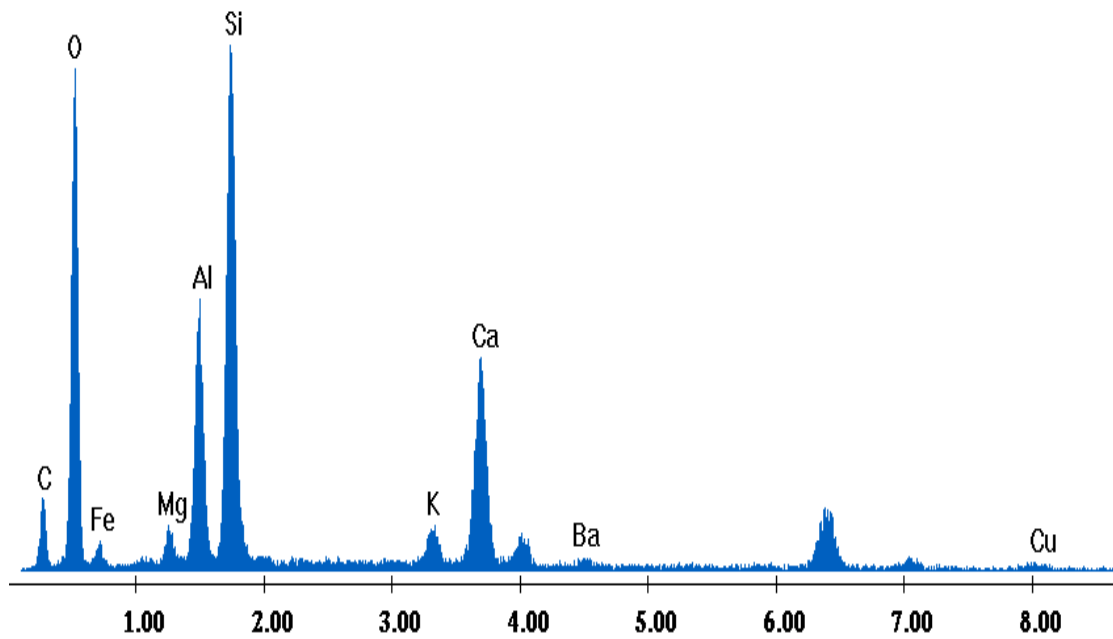
Πίνακας 15: Μετρήσεις περιεκτικότητας K, υπολογισμός μέσης περιεκτικότητας K και υπολογισμός *standard deviation* των μετρήσεων στα δείγματα εδάφους που ελήφθησαν τη χρονική περίοδο 2/11/08 έως 31/1/10 σε απόσταση από 10 έως 900 m από τα νότια όρια της χοιροτροφικής μονάδας.

N/NA/ND πλευρά	K (%)	K (%)	K (%)	K (%)	Μέσο K (%)	SD
10	2,07	2,23	1,62		1,973	0,316281
20	2,29				2,29	0
40	2,353	2,22			2,287	0,094048
100	2,21	1,76	1,85	0,87	1,673	0,569232
150	2,13				2,13	0
200	2,03	2,21			2,12	0,127279
300	2,78				2,78	0
530	2,89				2,89	0
600	1,69	2,33			2,01	0,452548
800	2,69	2,12			2,45	0,408044
900	2,2	1,94	2,98	2,16	2,32	0,454606

Μέθοδος SEM/EDAX



Σχήμα 2 : Χαρακτηριστικό φάσμα ακτίνων X του δείγματος επιφανειακού εδάφους σε απόσταση 100 μέτρων από τα όρια χοιροτροφικής μονάδας



Σχήμα 3 : Χαρακτηριστικό φάσμα ακτίνων Χ του δείγματος επιφανειακού εδάφους σε απόσταση 1000 μέτρων από τα όρια χοιροτροφικής μονάδας

Πίνακας 16 : Ποσοτική ανάλυση δείγματος επιφανειακού εδάφους σε απόσταση 100 μέτρων από τα νότια όρια της χοιροτροφικής μονάδας

Στοιχείο	Περιεκτικότητα % w/w
C	4.46
O	45.77
Fe	9.03
Mg	0.95
Al	12.56
Si	22.44
K	1.90
Ca	0.35
Ba	1.78
Cu	0.75

Πίνακας 17 : Ποσοτική ανάλυση δείγματος επιφανειακού εδάφους σε απόσταση 900 μέτρων από τα νότια όρια της χοιροτροφικής μονάδας

Στοιχείο	Περιεκτικότητα % w/w
C	12.42
O	45.66
Fe	8.88
Mg	1.36
Al	6.61
Si	15.03
K	1.20
Ca	7.08
Ba	0.92
Cu	0.84