



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΧΗΜΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΟΡΓΑΝΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΜΕΓΑΛΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑΣ (CAFOs) ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΑ



**«ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ, K^+ , Na^+ ,
 Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , ΚΑΙ P_2O_5 ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΑ
ΠΛΗΣΙΟΝ ΧΟΙΡΟΤΡΟΦΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΜΕΓΑΛΗΣ
ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗ ΒΟΡΕΙΑ ΚΡΗΤΗ»**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΖΑΦΕΙΡΟΠΟΥΛΟΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ**

Επιβλέπων καθηγητής : ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ ΛΙΟΔΑΚΗΣ

ΑΘΗΝΑ, Απρίλιος 2011

Στους δασκάλους μου εκείνους που στάθηκαν
εμπνευστές και πρότυπα παιδαγωγού στο δρόμο της
ουσιαστικής γνώσης...

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 τη μελέτη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων κτηνοτροφικής μονάδας μεγάλης δυναμικότητας, στο γειτνιάζον οικοσύστημα.

Εκφράζω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέπων καθηγητή της σχολής Χημικών Μηχανικών κ. Στυλιανού Λιοδάκη, για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα. Η καθοδήγησή του σε όλα τα στάδια εκπόνησης αυτής της εργασίας ήταν πολύτιμη.

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 Ορέστη Κοντογιάννη, 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, Απρίλιος 2011

Ζαφειρόπουλος Αλέξανδρος

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, μόλυνσεως και υποβάθμισης του περιβάλλοντος.

Από τους αέριους ρύπους που εκπέμπονται, ο κυριότερος είναι η αμμωνία, η επίδραση της οποίας έχει σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον, όπως, οξίνιση του εδάφους, των επιφανειακών και υπόγειων 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 των υπόγειων υδάτων, 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 των υπόγειων υδάτων μεγαλύτερη σε σχέση με άλλες βορειότερες ευρωπαϊκές χώρες. Για τις ανάγκες της παρούσης εργασίας, ελήφθησαν δείγματα υδάτων γεώτρησης, σε διάφορες γεωτρήσεις από τα όρια χοιροτροφικής μονάδας (100-1300 m). Τα εξεταζόμενα δείγματα ελήφθησαν από την περιοχή Λατζιμά του Νομού Ρεθύμνης (στη Βόρεια Κρήτη), όπου βρίσκεται βιομηχανική χοιροτροφική μονάδα δυναμικότητας 2.400 ζωικών μονάδων. Στα υδατικά δείγματα μετρήθηκαν, η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC), οι συγκεντρώσεις των K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} και των NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , P_2O_5 . Παράλληλα, έγινε κοκκομετρική ανάλυση του εδάφους της περιοχής.

Η υγρή και ξηρή εναπόθεση της εκπεμπόμενης αμμωνίας από τα ζωικά απόβλητα επηρέασε τις τιμές του εδαφικού πε-χα (pH) και κατά επέκταση των υπόγειων υδάτων λόγω έκλυσης το οποίο κυμαίνεται μεταξύ 6,8 και 8,1, και είναι μειωμένο πλησίον της χοιροτροφικής μονάδας. Η μείωση του πε-χα (pH) επηρέασε την απορροφή των κατιόντων K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , NO_3^- και NO_2^- η οποία είναι πιο έντονη 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 underwater 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 underwater 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 underwater degradation is consequently more severe than those obtained in northern European countries. For the needs of the present study underwater samples were taken in various distances (100-1300 m) from the CAFO boundary. The underwater samples were analysed on electrical conductivity (EC) and K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , P_2O_5 concentrations by applying standard methods. The pH values of the soil, which varied between 6.8 and 8.1, were lower near the farm. The soil pH value decrease affects the leaching of cations such as K^+ , Na^+ , Ca^{2+} και Mg^{2+} , NH_4^+ , NO_3^- and NO_2^- which is found to be more severe in vicinity with the hog industry.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	σελ.
<i>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</i>	1
<i>I. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ</i>	3
1. ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΖΩΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ (CAFOs)	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 των βιομηχανιών ζωικής παραγωγής.....	6
1.7 Ρύπανση.....	8
1.7.1 Ρύπανση προερχόμενη από υγρά και στερεά απόβλητα.....	8
1.7.2 Ρύπανση προερχόμενη από εκλυόμενα αέρια.....	9
1.8 Επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου.....	12
2. ΝΕΡΟ	13
2.1 Κύκλος του νερού.....	13
2.2 Είδη και τροφοδοσία υδρολογικών συστημάτων.....	13
2.3 Ταξινόμηση υδροφορέων.....	14
2.4 Υπόγεια ύδατα.....	15
2.5 Ρύπανση νερού.....	16
2.5.1 Πηγές ρύπανσης.....	16
2.5.2 Ρύπανση υδροφορέων (υδροφόρων στρωμάτων).....	17
2.5.3 Μικροβιακοί κίνδυνοι που συνδέονται με το πόσιμο νερό.....	18
2.5.4 Επιπτώσεις στα υδατικά οικοσυστήματα.....	18
2.6 Φυσικοχημικές ιδιότητες φυσικών νερών.....	18
2.6.1 Ενεργός οξύτητα-pH.....	18
2.6.2 Ηλεκτρική αγωγιμότητα.....	18
2.6.3 Αγωγιμότητα και σκληρότητα νερού.....	20
3. ΕΔΑΦΟΣ ΚΑΙ ΝΕΡΟ	21
3.1 Εδαφική κυκλοφορία του νερού μέσω διάχυσης-διήθησης.....	21
3.2 Εδαφικό υδατικό δυναμικό.....	22

3.3	Μεταφορά και διασπορά ρύπων στους υδροφορείς.....	23
4. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΣΧΕΤΙΚΗ ΜΕ ΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΩΝ ΥΔΑΤΩΝ.....		25
4.1	Εισαγωγή.....	25
4.2	Νόμοι για την προστασία του περιβάλλοντος.....	25
4.3	Μέτρα για την προστασία των νερών.....	25
4.4	Μέτρα για τη διαχείριση στερεών αποβλήτων.....	25
4.5	Οριακές τιμές διαφόρων παραμέτρων στα ύδατα.....	26
4.6	Ταξινόμηση μεθόδων ελέγχου ποιότητας υπόγειων νερών.....	28
5. ΜΑΚΡΟΘΡΕΠΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....		29
5.1	Εισαγωγή.....	29
5.2	Κάλιο.....	29
5.2.1	Δυναμικό σύστημα εδαφικού καλίου.....	29
5.2.2	Ανταλλάξιμο κάλιο.....	30
5.2.3	Μη ανταλλάξιμο κάλιο των κρυσταλλικών αργίλων.....	30
5.2.4	Απώλειες καλίου με την έκπλυση του εδάφους.....	31
5.2.5	Αλληλεπίδραση καλίου-νατρίου.....	32
5.3	Νάτριο.....	32
5.3.1	Επιπτώσεις του νατρίου στα υδατικά οικοσυστήματα.....	33
5.4	Μαγνήσιο.....	33
5.4.1	Απώλειες μαγνησίου μέσω έκπλυσης και παρουσία στα φυσικά νερά.....	33
5.5	Ασβέστιο.....	34
5.5.1	Μορφές και διαλυτότητα ασβεστίου στα νερά.....	34
5.5.2	Απώλειες ασβεστίου μέσω έκπλυσης.....	36
5.5.3	Περιβαλλοντικές επιπτώσεις του ασβεστίου στο νερό.....	36
5.6	Φώσφορος.....	37
5.6.1	Κύκλος φωσφόρου.....	37
5.6.2	Φώσφορος, ποιότητα ύδατος και ευτροφισμός.....	38
5.6.3	Περιορισμός των απωλειών φωσφόρου.....	39
5.6.4	Φώσφορος και περιβάλλον.....	39
6. ΑΖΩΤΟΥΧΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ.....		40
6.1	Γενικά.....	40
6.2	Κύκλος αζώτου.....	40
6.3	Αμμωνιακά ιόντα (NH ₄ ⁺).....	41

6.4	Νιτρώδη ιόντα (NO_2^-).....	42
6.5	Νιτρικά ιόντα (NO_3^-).....	43
6.5.1	Έκπλυση NO_3^-	43
6.6	Προέλευση και ποσότητες των εκπομπών αμμωνίας.....	45
II. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....		47
1. ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ.....		48
2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΝΕΡΟΥ.....		49
2.1	Δειγματοληψία ύδατος.....	49
2.2	Συντήρηση δειγμάτων νερού.....	50
3. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....		52
3.1	Γενικά.....	52
3.2	Προσδιορισμός ηλεκτρικής αγωγιμότητας.....	52
3.3	Στοιχειακή ανάλυση.....	52
3.3.1	Γενικά.....	52
3.4	Χημική ανάλυση.....	53
3.4.1	Γενικά.....	53
III. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....		54
1. ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....		55
1.1	Συνδυασμός κοκκομετρικής ανάλυσης με κόσκινα και με Laser.....	55
1.2	Μέθοδος αραιόμετρου.....	55
2. ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ.....		57
3. ΣΤΟΙΧΕΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....		58
3.1	ΚΑΛΙΟ.....	58
3.2	ΝΑΤΡΙΟ.....	59
3.3	ΑΣΒΕΣΤΙΟ.....	60
3.4	ΜΑΓΝΗΣΙΟ.....	61

4. ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	62
4.1 ΑΜΜΩΝΙΑΚΑ ΙΟΝΤΑ.....	62
4.2 ΝΙΤΡΩΔΗ ΙΟΝΤΑ.....	63
4.3 ΝΙΤΡΙΚΑ ΙΟΝΤΑ.....	64
4.4 ΦΩΣΦΟΡΙΚΑ ΙΟΝΤΑ.....	65
<i>IV. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</i>	<i>66</i>
<i>V. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</i>	<i>72</i>
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	78

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ζωική παραγωγή, έχει αλλάξει ουσιαστικά 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 σημαντική 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.

Σε σύντομο χρονικό διάστημα, 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 μονάδων αυτών, 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 των βιομηχανικών μονάδων CAFOs.

Επιπλέον, λόγω της μεγάλης ποσότητας των υγρών και στερεών αποβλήτων που παράγονται, καθώς και των αερίων που εκλύονται, 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. Τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί αύξηση των εκπομπών αμμωνίας στην Ευρώπη κατά 50%, το οποίο οφείλεται κυρίως στην εντατικοποίηση της ζωικής παραγωγής, αντιπροσωπεύοντας το 80% των συνολικών ετήσιων εκπομπών. Οι επιπτώσεις της εκπομπής αμμωνίας στο περιβάλλον, περιλαμβάνουν οξίνιση του εδάφους και των επιφανειακών υδάτων, ρύπανση των υπόγειων υδάτων, ευτροφισμό των οικοσυστημάτων, αυξημένη ευπάθεια των φυτών και επίδραση στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον (λόγω δευτερογενών αντιδράσεων).

Έχουν ήδη αναφερθεί και στην ξένη βιβλιογραφία, οι αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις της λειτουργίας κτηνοτροφικών μονάδων μεγάλης δυναμικότητας. Έχουν επίσης πραγματοποιηθεί πολλά πειράματα, ώστε να γίνει εκτίμηση των πιθανών οικολογικών επιπτώσεων στα 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 των μεγάλων κτηνοτροφικών μονάδων στη ρύπανση των υπογείων υδάτων. Πιο συγκεκριμένα μελετάται η ρύπανση που προκαλείται στα υπόγεια ύδατα με βάση τις τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας, K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- και P_2O_5 . Τα εξεταζόμενα δείγματα ελήφθησαν από τη περιοχή του Λατζιμά του Νομού Ρεθύμνης, όπου βρίσκεται μεγάλη χοιροτροφική μονάδα, δυναμικότητας 2400 ζωικών μονάδων.

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 των υπόγειων υδάτινων οικοσυστημάτων της περιοχής και τέλος, δίνεται έμφαση στην ηλεκτρική αγωγιμότητα, στα στοιχεία κάλιο, νάτριο, ασβέστιο, μαγνήσιο, στις αζωτούχες ενώσεις καθώς και στο πεντοξείδιο του φωσφόρου που περιέχονται στα υδατικά συστήματα.

Το πειραματικό μέρος χωρίζεται σε τρία μέρη:

Στο **πρώτο μέρος** γίνεται εκτενής περιγραφή της πειραματικής διαδικασίας. Αρχικά αναφέρεται η τεχνική λήψης των δειγμάτων και η διαδικασία ανάλυσης και συντήρησής τους. Ακολούθως, περιγράφονται συνοπτικά οι διαδικασίες που ακολουθήθηκαν για τον προσδιορισμό της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και παρουσιάζονται οι αναλυτικές μέθοδοι προσδιορισμού των ιόντων: K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , P_2O_5 .

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

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

I. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΖΩΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

(CAFOs)

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 μεγάλες ποσότητες αντιβιοτικών 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 Carroll's Foods στη βόρεια Καρολίνα, η οποία είναι η δεύτερη μεγαλύτερη παραγωγός χοίρων στις ΗΠΑ, 20 χοίροι φιλοξενούνται ανά μάνδρα και κάθε στάβλος περιλαμβάνει 25 μάνδρες [1,5].

1.4 Ανάπτυξη της βιομηχανίας ζωικής παραγωγής

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

Κατά την ίδια περίοδο, ο αριθμός των ανθρώπων οι οποίοι απασχολούνταν με τις καλλιέργειες, μειώθηκε λόγω της 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, το 73% των προβάτων, το 57% των χοίρων και το 50% των πουλερικών [5]. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι, η μείωση των χοιροτροφικών μονάδων στις Ηνωμένες Πολιτείες την περίοδο 1970 – 2000 ανήλθε στο 90% με την ταυτόχρονη αντικατάστασή τους από τις μονάδες υψηλής δυναμικότητας (CAFOs), ενώ η παραγόμενη ποσότητα χοιρινού κρέατος παρέμεινε σχεδόν σταθερή [6]. Σύμφωνα με το World watch Institute, το 74% των πουλερικών, το 43% του βοδινού κρέατος, και το 68% των αυγών παράγονται με αυτό τον τρόπο σε παγκόσμια κλίμακα [7].

Αν και, η Ευρώπη έχει γίνει όλο και περισσότερο δύσπιστη για αυτού του είδους αναπαραγωγής ζώων, μετά από μια σειρά ασθενειών όπως η EBS (νόσος τρελών αγελάδων) και ο αφθώδης πυρετός, οι οποίες είχαν επιπτώσεις στις βιομηχανίες κρέατος, 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: όχι στην πείνα και δίψα, όχι στην ταλαιπωρία, όχι στον πόνο, όχι στον τραυματισμό ή ασθένεια, όχι στο φόβο, και 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 κήσης διαστάσεων 0.61 επί 2.1m. Σύμφωνα με τους παραγωγούς χοιρινού κρέατος, αλλά και πολλούς κτηνιάτρους, 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 κήσης μέχρι το 2017. Η χρήση των κλουβιών κήσης μετά την τέταρτη εβδομάδα της κήσης 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 κήσης, μία από τις πιο αμφισβητούμενες πρακτικές, έχουν αποτελέσει αντικείμενο νομοθετικών διατάξεων, στις ΗΠΑ, στην Ευρώπη και σε όλο τον κόσμο για τη σταδιακή κατάργηση τους [10].

1.6 Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα των βιομηχανικών ζωικής παραγωγής

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 απόβλητα 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 της 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 χοιροτροφικής μονάδας μεγάλης δυναμικότητας στη Βόρεια Καρολίνα που έχει ως αποτέλεσμα να προκαλέσει το θάνατο 10 εκατομμυρίων ψαριών [11]. Επίσης, ο διεθνής Οργανισμός Προστασίας Περιβάλλοντος EPA (Environmental Protection Agency), ανακοινώνει ότι η κύρια ρύπανση επιφανειακών υδάτων στις Η.Π.Α. προκαλείται από τις κτηνοτροφικές μονάδες υψηλής δυναμικότητας (CAFOs) και προειδοποιεί ότι επιχειρήσεις με περισσότερες από 1000 ζωικές μονάδες (2500 γουρούνια) 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 κτηνοτροφικών μονάδων, που διατίθενται στους εδαφικούς αποδέκτες, καταλήγουν μέσω της απορροής στα υπόγεια ύδατα. Η ρύπανση αυτή χωρίζεται σε οργανική και ανόργανη.

- **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 ιόντα), ο φωσφόρος, το κάλιο, άλατα ασβεστίου, μαγνησίου, νατρίου και κάποια βαρέα μέταλλα (π.χ., χαλκός, σίδηρος, μαγγάνιο, ψευδάργυρος κλπ.) [12].

Τα πρωτογενή (ακατέργαστα) απόβλητα των κτηνοτροφικών 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 ρύπανσης που προκαλείται από τα απόβλητα των χοιροτροφείων είναι, η αύξηση αλατότητας στα νερά και 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 από μια κτηνοτροφική μονάδα μεγάλης δυναμικότητας (CAFOs) 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 γείτονες. Για το λόγο αυτό, θα πρέπει οι εγκαταστάσεις της κτηνοτροφικής 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 1800m (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 gL⁻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 χοιροστασίων στη Νότια Καρολίνα αναφέρουν ότι διαφεύγουν περίπου 150 kg N/ στρέμμα την ημέρα 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, αλδεΐδες, κετόνες και εστέρες:** Οι ενώσεις αυτές ανιχνεύονται σε μικρά ποσοστά στα ζωικά απόβλητα.

- **Διοξίνες και φουράνια:** Οι διοξίνες (πολυχλωριωμένες 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 μονάδες και περιοίκους, ενώ σε μεγάλες συγκεντρώσεις επιφέρουν το θάνατο. Ωστόσο, ιδιαίτερα μνεία θα γίνει για την αμμωνία, το μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα, λόγω των υψηλών συγκεντρώσεων και τη σημαντική συμμετοχή τους στη ρύπανση του περιβάλλοντος.

Αμμωνία

Η αμμωνία αποτελεί έναν 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 ετησίων 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 καθώς 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 κτηνοτροφικών μονάδων (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 ασθνεσιών 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.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΝΕΡΟ

2.1 Κύκλος του νερού

Ο κύκλος του νερού, γνωστός και ως υδρολογικός κύκλος, είναι η συνεχής ανακύκλωση του νερού μέσα στην υδρόσφαιρα και την ατμόσφαιρα. Το συνεχές της κυκλικής διαδικασίας του νερού επιτυγχάνεται από την ηλιακή ακτινοβολία. Πιο συγκεκριμένα, λόγω της θέρμανσης των ανέμων στην επιφάνεια της γης, τα νερά εξατμίζονται και μαζεύονται ως υδρατμοί δημιουργώντας σύννεφα. Οι υδρατμοί συμπυκνώνονται, υγροποιούνται και στη συνέχεια πέφτουν ως βροχή, εμπλουτίζοντας τις αποθήκες νερού της γης, είτε είναι επιφανειακές (όπως οι θάλασσες και οι λίμνες) είτε υπόγειες. Ένα από τα στάδια του κύκλου του νερού, είναι η δέσμευση του από αποθηκευτικούς χώρους του εδάφους (υδατικές αποθήκες) [19,20].



Σχήμα 2.1: Ο κύκλος του νερού [19]

2.2 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. Η πραγματοποίηση της τροφοδοσίας του υδατορεύματος, δεν γίνεται μόνο από τις επιφανειακές απορροές, αλλά και από τη συμβολή των υπογείων νερών που ενδέχεται να προέρχονται από υπόγειους υδροφορείς, οι οποίοι δεν αποτελούν τμήμα της υδρολογικής λεκάνης [19,20].
- **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. Οι υδρογεωλογικοί σχηματισμοί, οι οποίοι αποτελούνται από ρηγματωμένα ανθρακικά πετρώματα, απαντώνται σε μεγάλη αφθονία στη

μεσογειακή περιοχή και αποτελούν σημαντικότερα υδατικά αποθέματα [19,20].

- **Υδροφορέας ή υδροφόρο στρώμα:** Αποτελεί τον τομέα των υπογείων νερών. 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 συμπαγής βράχοι που έχουν υποστεί ρωγμές [19,20].

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 διαχωρισμός 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 [19,20].

2.3 Ταξινόμηση υδροφορέων

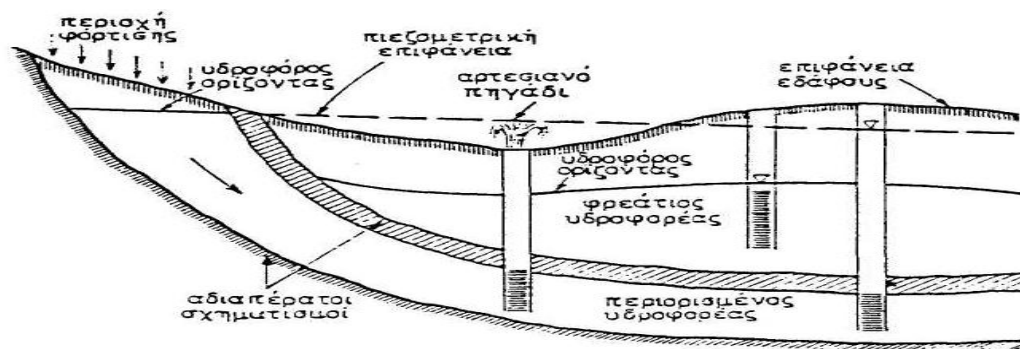
Μια πρώτη ταξινόμηση των υδροφορέων που συνήθως εμφανίζονται στη φύση, γίνεται ανάλογα με τη γεωλογική τους δομή αλλά και τις υδραυλικές συνθήκες που επικρατούν. Ο βασικός διαχωρισμός γίνεται σε συνάρτηση με το αν υπάρχει στον υδροφορέα ελεύθερη επιφάνεια νερού ή όχι.

Έτσι, όταν υπάρχει ελεύθερη επιφάνεια (υδροφόρος ορίζοντας) ο υδροφορέας ονομάζεται **φρεάτιος**. Χαρακτηριστικό των φρεάτιων υδροφορέων είναι ότι, η ελεύθερη επιφάνειά τους δεν παραμένει σταθερή αλλά ανεβαίνει ή κατεβαίνει αποκρινόμενη στις μεταβολές του διηθούμενου νερού, τόσο από την επιφάνεια του εδάφους όσο και από ή προς γειτονικούς υδροφορείς [21].

Αντίθετα, ένας υδροφορέας ονομάζεται **περιορισμένος ή υπό πίεση** αν περιορίζεται τόσο από κάτω όσο και από πάνω από αδιαπέρατους γεωλογικούς σχηματισμούς. Συνέπεια των οριακών αυτών συνθηκών είναι ότι το νερό σ' έναν περιορισμένο υδροφορέα βρίσκεται πάντα υπό πίεση. Αυτή η κατάσταση μπορεί να διαπιστωθεί εύκολα στο πεδίο αν υπάρχει κάποιο πηγάδι, αφού η στάθμη του νερού σ' αυτό πρέπει να είναι ψηλότερη από το πάνω όριο του υδροφορέα [21].

Αν μάλιστα η στάθμη της πιεζομετρικής επιφάνειας του υδροφορέα βρίσκεται ψηλότερα και από την επιφάνεια του εδάφους τότε ο υδροφορέας λέγεται **αρτεσιανός**.

Σε ότι αφορά τη ρύπανση των υπόγειων νερών, είναι προφανές ότι το υδρογεωλογικό περιβάλλον, δηλαδή ο τύπος τελικά του υδροφορέα, παίζει καθοριστικό ρόλο αφού επηρεάζει τα φαινόμενα μεταφοράς και διασποράς των ρύπων [21].



Σχήμα 2.2: Τύποι υδροφορέων [21]

Έτσι, όταν πρόκειται για περιορισμένο υδροφορέα γίνεται η υπόθεση ότι η ποιότητα του υπόγειου νερού σε κάθε θέση παραμένει σταθερή. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στις περιπτώσεις αυτές δεν παρατηρούνται έντονες μεταβολές στις συνθήκες ροής. Όμως σε εκτεταμένους υδροφορείς υπό πίεση, όπου εμφανίζονται μεγάλες μεταβολές στο υδραυλικό φορτίο, (π.χ. από αντλήσεις) τότε η πιθανότητα μεταβολών των ρυπαντικών φορτίων ή μετακίνησης νερών διαφορετικής ποιότητας από ή προς γειτονικούς υδροφορείς είναι σημαντική.

Η ποιότητα του υπόγειου νερού σε φρέατιους, και κυρίως αβαθείς, υδροφορείς μπορεί να μεταβάλλεται πολύ και σε μικρά ακόμα χρονικά διαστήματα. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι οι υδροφορείς αυτοί επηρεάζονται άμεσα από μεταβολές στον όγκο που προστίθεται ή αφαιρείται είτε από φυσικές πηγές (βροχοπτώσεις) είτε από ανθρωπογενείς (αντλήσεις), είτε από τον συνδυασμό τους [21].

2.4 Υπόγεια ύδατα

Ο διαχωρισμός των υδατικών πόρων σε υπόγειους και επιφανειακούς είναι ένας διαχωρισμός τεχνητός και ορισμένες φορές, τουλάχιστον από άποψη διαχείρισης, αποπροσανατολιστικός αφού υπάρχει μια δυναμική σχέση που τους συνδέει, όταν υπάρχει υδραυλική επικοινωνία μεταξύ τους. Έτσι, η μεταβολή στις υδραυλικές συνθήκες, που ορίζουν τη λειτουργία επιφανειακών υδατικών πόρων, έχει άμεσες επιπτώσεις στις συνθήκες λειτουργίας υπόγειων υδατικών πόρων, όταν βέβαια υπάρχει μεταξύ τους υδραυλική επικοινωνία, και αντιστρόφως [21].

Τα υπόγεια νερά διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- **βαρυντικό νερό (ή αλλιώς ελεύθερο-κινούμενο-διαθέσιμο νερό):** είναι η ποσότητα του υπογείου νερού που απελευθερώνεται λόγω της δράσης της βαρύτητας. Μόνο αυτό το νερό κυκλοφορεί στους υδροφορείς (υδροφόρα στρώματα) εξαιτίας της διαφοράς δυναμικού του εδάφους και τροφοδοτεί τα υδρομαστευτικά έργα και τις πηγές [19,20].
- **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 [19,20].

Πίνακας 1: Χρήση υπόγειων νερών στην Ελλάδα [22]

Χρήση υπογείων νερών (km ³ /έτος)	1980		2000	
Γεωργία	1.26	76%	1.82	74%
Πόσιμο	0.24	14%	0.39	16%
Διάφορα	0.16	10%	0.24	10%
Ολική χρήση υπόγειων νερών	1.66		2.45	
Εκατοστιαία αναλογία επί των πόρων	66%		98%	
Εκατοστιαία αναλογία επί ολικής χρήσης νερού	33%		26%	

2.5 Ρύπανση νερού

Με τον όρο ρύπανση εννοούμε την οποιαδήποτε ανεπιθύμητη αλλαγή στα φυσικά, χημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος. Έτσι, ο γενικός όρος "ρύπανση του νερού" θα μπορούσε να αναφέρεται στις ακραίες εκείνες καταστάσεις όπου, οι συγκεντρώσεις ανεπιθύμητων (βλαβερών) ουσιών στο νερό είναι τόσο μεγάλες που καθιστούν απαγορευτική τη χρήση του.

Στους πιο σημαντικούς ρύπους των υπόγειων νερών συγκαταλέγονται, οι ανόργανοι, οι οργανικοί ρύποι καθώς και οι παθογόνοι μικροοργανισμοί [23,24].

2.5.1 Πηγές ρύπανσης

Η πιο δόκιμη ταξινόμηση των πηγών ρύπανσης των υπόγειων νερών είναι αυτή που γίνεται ανάλογα με τις δραστηριότητες ή τις διεργασίες που την προκαλούν. Η αναλυτική περιγραφή των ιδιοτήτων κάθε κατηγορίας δεν εμπίπτει στο άμεσο αντικείμενο του παρόντος συγγράμματος έτσι, στα παρακάτω δίνεται μια συνοπτική μόνο παράθεση των γενικών χαρακτηριστικών κάθε μιας από τις κατηγορίες αυτές [23,24].

- **Ρύπανση από βιομηχανικές δραστηριότητες:** Η ρύπανση των υπόγειων νερών από βιομηχανικές δραστηριότητες χαρακτηρίζεται από την τεράστια ποικιλία οργανικών και ανόργανων ουσιών και ενώσεων που μπορούν να χαρακτηρισθούν ως ρύποι.
- **Ρύπανση από βιομηχανικά απόβλητα:** Τα βιομηχανικά απόβλητα διακρίνονται σε υγρά και στερεά. Τα **υγρά** απόβλητα, αποτελούνται συνήθως από υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων, μπορεί όμως να είναι ιδιαίτερα επικίνδυνα οξέα ή οργανικές ενώσεις. Τα **στερεά** απόβλητα, κατά κανόνα διατίθενται σε ειδικούς χώρους ταφής. Συνέπεια όμως της διαδικασίας αυτής είναι η ταυτόχρονη μεταφορά νερού και ρύπων μέσω των στραγγιστικών συστημάτων στο έδαφος, απ' όπου διηθούνται στους υποκείμενους υδροφορείς. Το πρόβλημα της ρύπανσης εντείνεται ακόμα περισσότερο λόγω του γεγονότος ότι οι υδροφορείς χαρακτηρίζονται από μικρές ταχύτητες ροής, με αποτέλεσμα ο τελικός χρόνος απορρύπανσης τους να είναι πολύ μεγάλος [23,24].

• **Ρύπανση από αγροτικές δραστηριότητες:** Από τις αγροτικές δραστηριότητες, ρύπανση του υπόγειου νερού προκαλούν τα ζωικά λύματα, τα άλατα των αρδεύσεων και τα διάφορα χημικά που εφαρμόζονται στους αγρούς. Σήμερα, ο μεγαλύτερος κίνδυνος για τα υπόγεια νερά, που προέρχεται από αγροτικές δραστηριότητες, αφορά στα λιπάσματα και μάλιστα στα αζωτούχα. Η υπερβολική χρήση λιπασμάτων και ζιζανιοκτόνων προκαλεί ρύπανση των επιφανειακών υδάτων και αποτελεί σημαντικότατο κίνδυνο για τη ρύπανση των υπόγειων νερών [23,24].

• **Ρύπανση από φυσικές διεργασίες:** Σε αυτό το είδος ρύπανσης συγκαταλέγεται η διείσδυση θαλασσινού νερού, οι ρύποι της ατμόσφαιρας, ο επαγωγικός εμπλουτισμός υδροφορέων με ακάθαρτα επιφανειακά νερά, η θερμική ρύπανση και ο τεχνητός εμπλουτισμός.

Η ρύπανση των υπόγειων νερών από ρύπους που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα γίνεται μέσω των σταγόνων της βροχής. Χαρακτηριστικές περιπτώσεις αποτελούν ρύποι κυρίως ανθρωπογενούς προέλευσης, όπως οι αέριες εκπομπές βιομηχανιών, τα καυσαέρια καθώς και διάφορες μορφές αστικών πηγών (καυστήρες θέρμανσης κατοικιών κτλ.).

Ακόμα, ο επαγωγικός εμπλουτισμός από επιφανειακούς αποδέκτες, όπως ποτάμια ή λίμνες, που συνδέονται υδραυλικά μ' αυτούς, έχει ως συνέπεια τη μεταφορά ρύπων από τα επιφανειακά στα υπόγεια νερά. Οι ρύποι αυτοί είναι συνήθως οργανικές και ανόργανες ενώσεις αλλά μπορεί να είναι και βακτήρια ή ιοί [23,24].

• **Όξινη βροχή:** Παρατηρείται σε περιοχές, όπου οι βιομηχανικές δραστηριότητες προκαλούν σημαντικές εκπομπές διοξειδίου του θείου (SO_2) και οξειδίων του αζώτου (NO_x). Τα αέρια αυτά εκπεμπόμενα στην ατμόσφαιρα μετατρέπονται σε θειικές και νιτρικές ρίζες, που σε συνδυασμό με τους υδρατμούς καταλήγουν σε αραιό θειικό και νιτρικό οξύ. Τα οξέα αυτά επιστρέφουν αργότερα στο έδαφος, κυρίως με τη βροχή. Η όξινη βροχή έχει pH συνήθως 4 και σε ακραίες περιπτώσεις 3, έχοντας σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον αλλά και στα υπόγεια νερά που όπως γνωρίζουμε, δημιουργούνται μέσω της διήθησης των επιφανειακών νερών στο υπέδαφος. Τα σημαντικότερα μέταλλα, τα οποία, αφού διαλυθούν λόγω της όξινης βροχής και διεισδύσουν στον υδροφόρο ορίζοντα, είναι ο Χαλκός, ο Ψευδάργυρος και ο Μόλυβδος [23,24].

2.5.2 Ρύπανση υδροφορέων (υδροφόρων στρωμάτων)

Η ρύπανση των υδροφόρων στρωμάτων από χημικά συστατικά του τύπου των λιπασμάτων, όπως είναι τα απόβλητα των CAFOS, είναι ένα φαινόμενο που παρατηρείται όταν συνυπάρχουν οι παρακάτω συνθήκες :

- ποσότητα ιόντων ικανή να διαταράξει την οικολογική ισορροπία και να προκαλέσει καταστροφικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία
- αρκετά σημαντική βροχόπτωση για να προκαλέσει έκπλυση αυτών των ιόντων
- φυσικά χαρακτηριστικά του εδάφους που ευνοούν μια γρήγορη διήθηση (υψηλός συντελεστής διαπερατότητας, μεγάλο μακροπορώδες, παρουσία καθοριστικών σχηματισμών, μικρό πάχος εδάφους κ.λ.π)

- η παρουσία ενός ελεύθερου ή ημιελεύθερου υδροφορέα, ικανού να μολυνθεί.

2.5.3 Μικροβιακοί κίνδυνοι που συνδέονται με το πόσιμο νερό

Μολυσματικές ασθένειες, που προκαλούνται από τα παθογόνα βακτηρίδια, τους ιούς και τα παράσιτα, (π.χ., πρωτόζωα και οι παρασιτικοί σκώληκες), είναι ο πιο κοινός και διαδεδομένος κίνδυνος υγείας που συνδέεται με το πόσιμο νερό. Το φορτίο της δημόσιας υγείας καθορίζεται από τη δριμύτητα της αρρώστιας-αρρωστίων και είναι συνδεδεμένος με τα παθογόνα βακτήρια, τη μολυσματικότητα τους και τον πληθυσμό που εκτίθεται με αυτά [25].

2.5.4 Επιπτώσεις στα υδατικά οικοσυστήματα

Σύμφωνα με μελέτες, η δυσμενέστερη επίπτωση που έχει η απόρριψη ακαθαρσιών από τα CAFOs στο περιβάλλον, είναι αυτή που προκαλείται στα υδατικά οικοσυστήματα, όπου υποβαθμίζεται σημαντικά η ποιότητα του νερού. Το γεγονός αυτό, επιδρά αρνητικά στα ψάρια του γλυκού νερού αλλά και τους υπόλοιπους υδρόβιους οργανισμούς.

Τα απόβλητα των CAFOs που καταλήγουν στα οικοσυστήματα μπορούν είτε να εκπλυθούν από την επιφάνεια του εδάφους προς κάποιο υδάτινο αποδέκτη, είτε να διηθηθούν στο υπέδαφος και να μεταφερθούν μέσω υπόγειων καναλιών σε ρεύματα ή άλλους υδάτινους αποδέκτες. Οι αποθέσεις νιτρικού άλατος, αμμωνίας, οργανικού αζώτου, ή φωσφορικού άλατος στη ροή των ρευμάτων λόγω της διήθησης ή της απορροής των χημικών ουσιών, είναι σπανίως σε ποσότητες τέτοιες, ώστε να προκληθεί κάποια μόνιμη καταστρεπτική επίδραση [26].

2.6 Φυσικοχημικές ιδιότητες φυσικών νερών

2.6.1 Ενεργός οξύτητα – pH

Όπως είναι γνωστό η ενεργός οξύτητα ή pH εκφράζει τον αντίστροφο λογάριθμο της συγκέντρωσης των υδρογονοκατιόντων ή πιο σωστά της ενεργότητας των υδρογονοκατιόντων σ' ένα διάλυμα.

Το pH των περισσότερων φυσικών υδάτων κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 4 και 9. Συνήθως τα φυσικά ύδατα είναι ελαφρώς αλκαλικά εξ αιτίας της παρουσίας των όξινων ανθρακικών και ανθρακικών ιόντων [27].

2.6.2 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 ιονιζομένων 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

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

Όπου $1 \text{ppm} = 1 \text{mg}/\text{L}$, είναι η 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 (ohm^{-1}) ή mho που καλείται σήμερα και μονάδα Siemens, και δίδεται από τη σχέση:

$$L = (a/d) \sum c_i \lambda_i \text{ όπου}$$

a: εμβαδόν των ηλεκτροδίων σε cm^2 ,

d: απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων σε cm,

c: συγκέντρωση των ιόντων ως ισοδύναμα βάρη/ cm^3 και

λ : η ισοδύναμη ιονική αγωγιμότητα των ιόντων

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, για τη διακύμανση των διαλελυμένων αλάτων στα φυσικά ή ιαματικά ύδατα, για το μέγεθος του δείγματος που χρειάζεται για μια χημική ανάλυση του ύδατος και για την ποιότητα των διαλελυμένων ιονικών ενώσεων σε ένα δείγμα ύδατος. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης 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. 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 μεταλλοϊόντων.

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 ανά δείγμα.

Για να εκτιμηθεί το σύνολο ανιόντων και κατιόντων (σε meq/L) που υπάρχουν σε ένα

δείγμα νερού είναι δυνατόν να γίνει μια προσέγγιση, πολλαπλασιάζοντας την αγωγιμότητα (μmhos/cm) επί τον συντελεστή 0,01 [28].

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

Πίνακας 2: Ηλεκτρική αγωγιμότητα ορισμένων ιόντων σε πρότυπα ιοντικά διαλύματα [28]

Ιόν	Αγωγιμότητα (μS/cm)
Χλώριο (Cl ⁻)	2,14
Νιτρικά (NO ₃ ⁻)	1,15
Δισσάνθρακικά (HCO ₃ ⁻)	0,715
Ανθρακικά (CO ₃ ⁻)	2,82
Θειικά (SO ₄ ²⁻)	1,54
Νάτριο (Na ⁺)	2,13
Κάλιο (K ⁺)	1,84
Ασβέστιο (Ca ²⁺)	2,60
Μαγνήσιο (Mg ²⁺)	3,82

2.6.3 Αγωγιμότητα και σκληρότητα νερού

Μπορούμε μετρώντας την αγωγιμότητα του νερού να υπολογίσουμε κατά προσέγγιση τη σκληρότητα του νερού. Η κύρια αιτία της σκληρότητας του νερού οφείλεται στην ύπαρξη διαλυμένων σε αυτό ιόντων ασβεστίου και μαγνησίου.

Διαιρώντας τα μετρηθέντα ppm των αλάτων νερού με το 10, έχουμε το μέγεθος της σκληρότητας με ένα σφάλμα 2-3 of (Γαλλικοί βαθμοί , 1 of = 10 ppm CaCO₃). Διαιρώντας τη μετρούμενη αγωγιμότητα σε μS/cm με το 20 έχουμε το βαθμό της σκληρότητας σε of.

Η μέτρηση της σκληρότητας του νερού με αγωγιμόμετρο πρέπει να γίνεται πριν από οποιοδήποτε σύστημα αποσκλήρυνσης [28].

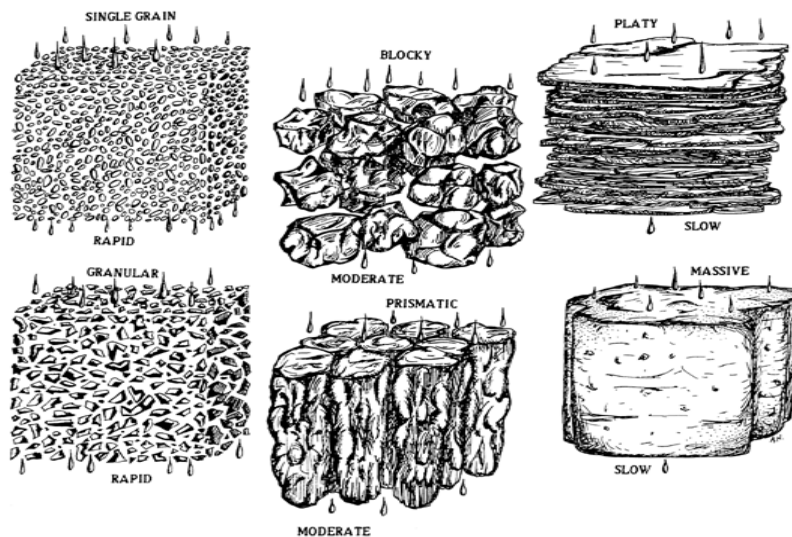
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΕΔΑΦΟΣ ΚΑΙ ΝΕΡΟ

3.1 Εδαφική κυκλοφορία του νερού μέσω διάχυσης-διήθησης

Η διήθηση του νερού απαιτεί έδαφος διαπερατό, ούτως ώστε να επιτρέπεται η διείσδυσή του. Αυτό το φαινόμενο οφείλεται:

- στις δυνάμεις βαρύτητας η οποία προκαλεί την κίνηση του νερού προς τα κάτω
- στο πορώδες του εδάφους που αυξάνει ή μειώνει την ταχύτητα διήθησης και
- στις τριχοειδείς δυνάμεις, που εκφράζονται από τις μεταβολές του τριχοειδούς δυναμικού από το ένα σημείο στο άλλο.

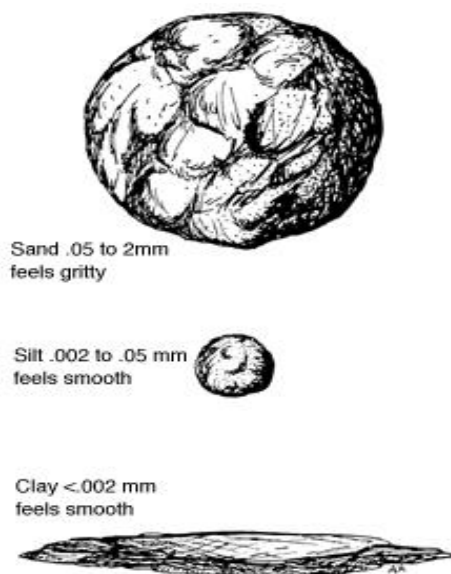


Σχήμα 3.1: Δομή του εδάφους και κίνηση του νερού [29]

Η μηχανική σύσταση (ή υφή) του εδάφους, περιγράφει πόσο χονδρόκοκκο ή λεπτόκοκκο είναι το έδαφος. Η υφή επηρεάζει το πορώδες, καθώς επίσης και την χημική δραστηριότητα στο έδαφος (Σχήμα 3.2). Τα πιο χονδρόκοκκα εδάφη είναι τα αμμώδη, τα αργιλώδη είναι τα πλέον λεπτόκοκκα, ενώ τα δε σωματίδια της ιλύος είναι ενδιάμεσου μεγέθους [29].

Τα **αμμώδη** 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 **λασπώδη ή αργιλώδη** έχουν πολύ μικρότερους πόρους, που δεν επιτρέπουν εύκολα τη ροή νερού μέσα από αυτά. Ο κίνδυνος της επιμόλυνσης των υπογείων υδάτων είναι πολύ μικρότερος σε αυτών των κατηγοριών τα εδάφη. Σε αυτά τα εδάφη υπάρχει ο κίνδυνος της διάβρωσης και της επιμόλυνσης των επιφανειακών εδαφών [28].



Σχήμα 3.2: Αμμόδη, λασπώδη και αργιλώδη σωματίδια [29]

Τα νιτρικά ιόντα, μπορούν να δημιουργήσουν σημαντικά προβλήματα διότι διαπερνούν εύκολα το έδαφος και εκπλένονται γρήγορα.

Η καθαριστική λειτουργία του εδάφους είναι πολύ σημαντικός παράγοντας για την προστασία των υδροφόρων στρωμάτων. Η **ακόρεστη ζώνη** του εδάφους παίζει το ρόλο του φυσικού αυτοκαθαριστή, μέσω της διαπερατότητας και της κοκκομετρίας του. Αν διαπιστωθεί ότι ο ρυπαντής πέρασε διαμέσου αυτής της καθαριστικής ζώνης, η εξάπλωση της ρύπανσης δεν συναντά πρακτικά κανένα εμπόδιο. Συνεπώς, η ρύπανση μετριάζεται από την στασιμότητα των εισροών του ρυπαντή λόγω του αργού φιλτραρίσματος μέσω του εδάφους [19,20].

3.2 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 τασεομέτρων (τενσιόμετρα).

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 υψομέτρου των μορίων του νερού.

- **Δυναμικό της όσμωσης:** Οφείλεται στην συγκέντρωση ενός διαλύματος σε μόρια ή ιόντα. Η διαφορά της συγκέντρωσης ανάμεσα στο καθαρό νερό και στο διάλυμα του εδάφους προκαλεί το δυναμικό αυτό.

- **Μητρώο δυναμικό:** Αντιστοιχεί στις δυνάμεις που ασκούνται στο νερό του εδάφους από τη στερεά φάση. Οι δυνάμεις αυτές χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: στις **τριχοειδείς δυνάμεις**, οι οποίες σχετίζονται με τα φαινόμενα της επιφανειακής τάσης και επιτρέπουν τη συγκράτηση του νερού μέσα στα μικρά διάκενα και στις **δυνάμεις μηχανικής πίεσης**, οι οποίες οφείλονται στις ελκτικές ηλεκτροστατικές δυνάμεις που ασκούνται μεταξύ των θετικών φορτίων του νερού και των αρνητικών φορτίων των κolloειδών σωματιδίων. Όταν το έδαφος είναι πλούσιο σε άργιλο ή σε χούμο, ο ρόλος των δυνάμεων αυτών είναι πολύ σημαντικός, διότι η διόγκωση αυτών των συσσωματωμάτων αυξάνει την πίεση του νερού στο πορώδες [19,20,28].

3.3 Μεταφορά και διασπορά ρύπων στους υδροφορείς

Το νερό είναι ένας φορέας διαλυμένων ουσιών, που έχουν ενδογενή ή εξωγενή προέλευση, ως προς τα στρώματα του εδάφους ή ως προς την ατμόσφαιρα. Σύνηθες φαινόμενο αποτελεί το γεγονός ότι, οι ιοντικές ουσίες ορυκτών εκπλένονται από τα νερά των βροχών προς βαθύτερα στρώματα. Η παράσυρση προς τους ελεύθερους υδροφορείς, μπορεί να προκαλέσει κάποιες φορές ρύπανση μη αναστρέψιμη, ανάλογη με την τοξικότητα και της ανοχής του ιόντος, το οποίο εκπλένεται [26,30].

Η **μεταφορά** των ρύπων στους υδροφορείς γίνεται μέσω της οριζόντιας ή της κάθετης μεταφοράς.

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 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).

Κάθετη μεταφορά: Αυτό το φαινόμενο, που ονομάζεται συνήθως διήθηση, είναι το αποτέλεσμα της διείσδυσης του νερού μέσα στο έδαφος. Το νερό συμπαρασύρει μόρια ή ιόντα 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 [19,20].

Η **διασπορά** των ρύπων στους υδροφορείς προκαλείται από:

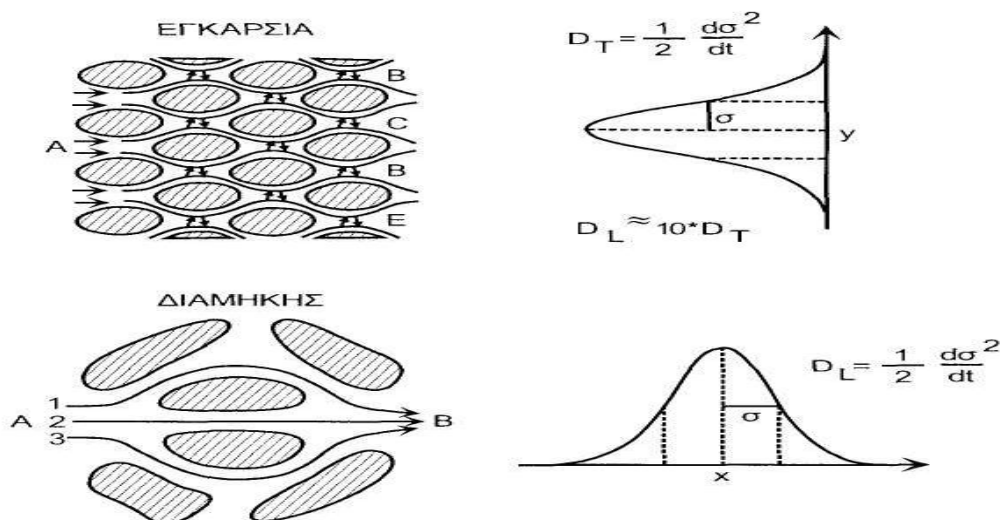
- τη **μοριακή διάχυση**, που είναι σημαντική μόνο σε πολύ μικρές ταχύτητες ροής, και
- την **υδροδυναμική ανάμειξη (μηχανική διασπορά)**, που προκαλείται όταν οι ταχύτητες ροής είναι μεγάλες.

Τα δύο αυτά φαινόμενα, μοριακής διάχυσης και μηχανικής διασποράς ορίζουν τη λεγόμενη **μικροσκοπική διασπορά** αφού οφείλονται στα υδροδυναμικά χαρακτηριστικά της ροής στη μικροκλίμακα των πόρων.

Όμως, εκτός απ' αυτήν υπάρχει και η **μακροσκοπική διασπορά**, που οφείλεται κυρίως στην **ετερογένεια των γεωλογικών σχηματισμών** που αποτελούν τους υδροφορείς, με την οποία ερμηνεύεται η συνήθως μεγαλύτερη εξάπλωση των ρύπων σε προβλήματα μεγάλης κλίμακας, σε σύγκριση μ' αυτήν που θα αναμένονταν από θεωρητικές ή εργαστηριακές έρευνες στις οποίες θεωρείται μόνο η μικροσκοπική διασπορά.

Η μηχανική διασπορά σ' έναν υδροφορέα δημιουργείται επειδή το υπόγειο νερό αναγκάζεται συνεχώς να κινείται γύρω από τους κόκκους της στερεάς φάσης (Σχήμα 3.3). Το νερό, μπορεί βέβαια να κινείται ελεύθερα γύρω από τους κόκκους, όμως παρατηρούνται δύο τύποι διασποράς που προκαλούνται κατά την κίνηση των ρύπων. Ο συντελεστής της κατά μήκος διασποράς, που συμβολίζεται με D_L , χαρακτηρίζει το κύριο φαινόμενο της εξάπλωσης των ρύπων που είναι αποτέλεσμα των διαφορών στον χρόνο διάνυσης των μορίων κατά μήκος των γραμμών ροής, οι οποίες αναγκαστικά διαχωρίζονται στα όρια των στερεών κόκκων. Ο συντελεστής εγκάρσιας διασποράς, που συμβολίζεται με D_T , χαρακτηρίζει ένα μικρότερης έντασης φαινόμενο, που προκαλείται από τις μετακινήσεις μορίων μεταξύ γειτονικών γραμμών ροής. Και οι δύο συντελεστές διασποράς έχουν διαστάσεις $[L^2/T]$.

Στο (Σχήμα 3.3) φαίνεται επίσης και η στατιστική φύση της διασποράς, δηλαδή το τυχαίο της επιλογής της διεύθυνσης κίνησης γύρω από κάθε στερεό κόκκο [21].



Σχήμα 3.3: Διαμήκης και εγκάρσια διασπορά, όπως ορίζεται στη μικροσκοπική κλίμακα [21]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΣΧΕΤΙΚΗ ΜΕ ΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΩΝ ΥΔΑΤΩΝ

4.1 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 θεσπίστηκαν νόμοι σχετικά με την σωστή λειτουργία των CAFOs, με βασικό γνώμονα την προστασία του περιβάλλοντος.

4.2 Νόμοι για την προστασία του περιβάλλοντος

Σκοπός του **ΝΟΜΟΥ 1650/1986 (ΦΕΚ 160Α/18-10-1986)** είναι η θέσπιση θεμελιωδών 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, με ταυτόχρονη διασφάλιση της ανθρώπινης υγείας από τις διάφορες μορφές υποβάθμισης του περιβάλλοντος και ειδικότερα από τη ρύπανση. Επιπλέον, πολύ βασικοί στόχοι αυτού του νόμου είναι: η προώθηση της ισόρροπης ανάπτυξης του εθνικού χώρου συνολικά και των επιμέρους γεωγραφικών ενοτήτων, αλλά και μέσα από την ορθολογική διαχείριση του περιβάλλοντος, η διασφάλιση της δυνατότητας ανανέωσης φυσικών πόρων, η διατήρηση της οικολογικής ισορροπίας των φυσικών οικοσυστημάτων, η διασφάλιση της αναπαραγωγικής ικανότητας και τέλος η αποκατάσταση του περιβάλλοντος [32].

4.3 Μέτρα για την προστασία των νερών

Σύμφωνα με το **άρθρο 10** του νόμου αυτού, μέτρα για την προστασία των νερών επιβάλλονται σε υφιστάμενα ή σε νέα έργα και δραστηριότητες, καθώς και σε κάθε άλλη δραστηριότητα, που είναι πιθανό να υποβαθμίσει τα νερά.

Οι περιορισμοί και τα μέτρα αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν κυρίως: αποστάσεις ασφαλείας, εφαρμογή τεχνολογίας αντιρρύπανσης, οριακές τιμές υγρών αποβλήτων και χρησιμοποιούμενων νερών, ωράρια λειτουργίας, εγκατάσταση οργάνων ελέγχου της ποιότητας των υγρών αποβλήτων πρώτων και βοηθητικών υλών, καθορισμό μεθόδων, συνθηκών και συχνοτήτων δειγματοληψιών καθώς και αναλύσεων παραμέτρων που σχετίζονται με την ποιότητα και την ποσότητα των χρησιμοποιούμενων καυσίμων, νερών, πρώτων και βοηθητικών υλών κ.λ.π. [32].

4.4 Μέτρα για τη διαχείριση στερεών αποβλήτων

Σύμφωνα με το **άρθρο 12** του νόμου αυτού, η διαχείριση των στερεών αποβλήτων πρέπει να γίνεται με τέτοιο 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 ΝΟΜΟΥ 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 αντιαισθητικών 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 χλωριώσεως.
- 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 [32].

Πίνακας 3: Κατευθυντήριες τιμές αποβλήτων κτηνοτροφικής μονάδας [32]

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

4.5 Οριακές τιμές διαφόρων παραμέτρων στα ύδατα

Προκειμένου για τις οριακές τιμές για τις ποσότητες βαρέων μετάλλων που μπορούν να εισάγονται κατά έτος στα καλλιεργημένα εδάφη με βάση ένα μέσο όρο 10 ετών, μπορεί να επιτραπεί η υπέρβαση αυτών, στην περίπτωση που στα εδάφη αυτά καλλιεργούνται προς εμπορία προϊόντα που προορίζονται αποκλειστικά για ζωοτροφές.

Πίνακας 4 : Πρότυπα ποιότητας γλυκών επιφανειακών νερών για υδροληψία πόσιμου νερού [31]

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΝΕΡΩΝ

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	Κατηγορία Α ₁		Κατηγορία Α ₂		Κατηγορία Α ₃	
	Επιθυμητό όριο	Ανώτατο επιτρεπτό όριο	Επιθυμητό όριο	Ανώτατο επιτρεπτό όριο	Επιθυμητό όριο	Ανώτατο επιτρεπτό όριο
pH	6,5-8,5		5,5-9		5,5-9	
Χρώμα (mg/l) κλίμακα Pt	10	20	50	100	50	200
Σύνολο αιωρούμενων στερεών (mg/l SS)	25					
Θερμοκρασία (°C)	22	30	22	30	22	30
Αγωγιμότητα (μS/cm) σε 20 °C	1000		1000		1000	
Οσμή (συν/στής αραίωσης) σε 25 °C	3		10		20	
Νιτρικά (mg/l) NO ₃	25	50		50		50
Φθοριούχα (mg/l) F	0,7-1	1,5	0,7-1,7		0,7-1,7	
Διαλυμένος σίδηρος (mg/l) Fe	0,1	0,3	1	2	1	
Μαγγάνιο (mg/l) Mn	0,05		0,1		1	
Χαλκός (mg/l) Cu	0,02	0,05	0,05		1	
Ψευδάργυρος (mg/l) Zn	0,5	3	1	5	1	5
Βόριο (mg/l) B	1		1		1	
Αρσενικό (mg/l) As	0,01	0,05		0,05	0,05	0,1
Κάδμιο (mg/l) Cd	0,001	0,005	0,001	0,005	0,001	0,005
Συνολικό χρώμιο (mg/l) Cr		0,05		0,05		0,05
Μόλυβδος (mg/l) Pb		0,05		0,05		0,05
Σελήνιο (mg/l) Se		0,01		0,01		0,01
Υδράργυρος (mg/l) Hg	0,0005	0,001	0,0005	0,001	0,0005	0,001
Βάριο (mg/l) Ba		0,1		1		1
Κυανιούχα (mg/l) CN		0,05		0,05		0,05
Θειικά (mg/l) SO ₄	150	250	150	250	150	250
Χλωριούχα (mg/l) Cl	200		200		200	
Επιφανειακά ενεργές ουσίες που αντιδρούν με κυανούν του μεθυλίου, (mg/l) LAS	0,2		0,2		0,5	
Φωσφορικά (mg/l) P ₂ O ₅	0,4		0,7		0,7	
Φαινόλες(δείκτης φαινόλη), παρανιτρανιλίνη-4, φαινοαντιπυρίνη, (mg/l) C ₆ H ₅ OH		0,001	0,001	0,005	0,001	0,1
Διαλυμένοι ή γαλακτοποιημένοι υδρογονάνθρακες (μετά από εκχύλιση με πετρελαϊκό αιθέρα) (mg/l)		0,05		0,2	0,05	1
Πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες		0,0002		0,0002		0,001
Σύνολο βιοκτόνων (παραθειό, BHC, διελδρίμη) (mg/l)		0,001		0,0025		0,005
Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο, (COD) (mg/l)					30	
Διαλυμένο οξυγόνο, βαθμός κορεσμού, %O ₂	>70		>50		>30	

Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD ₅) (mg/l) O ₂	<3	<5	<7
Άζωτο κατά Kjeldahl (εκτός NO ₃) (mg/l) N	1	2	3
Αμμωνία (mg/l) NH ₄	0,05	1	1,5
Ουσίες που εκχυλίζονται με χλωροφόρμιο (mg/l) SEC	0,1	0,2	0,5
Σύνολο κολοβακτηριοειδών/100ml	50	5000	50000
Κολοβακτηρίδια/100ml	20	2000	20000
Εντερόκοκκοι/100ml	20	1000	10000
Σαλμονέλλες	Χωρίς παρουσία σε 5000 ml	Χωρίς παρουσία σε 1000 ml	

4.6 Ταξινόμηση μεθόδων ελέγχου ποιότητας υπόγειων νερών

Ο έλεγχος των πηγών ρύπανσης είναι βασικός στόχος των σχετικών μελετών, που αφορούν μεθοδολογίες εκτίμησης των επιπτώσεων και τεχνικές ελαχιστοποίησής τους.

Η εξυγίανση των υδροφορέων είναι επιτακτική ανάγκη εξαιτίας του ότι, το υπόγειο νερό κινείται αργά και κυρίως κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, και για το λόγο αυτό είναι εξαιρετικά δύσκολη η εκτίμηση της εξάπλωσης της ρύπανσης και κατά συνέπεια ο έλεγχός της. Έτσι, το μεγαλύτερο βάρος στις ερευνητικές προσπάθειες σήμερα δίνεται τόσο σε τεχνικές μετρήσεων πεδίου όσο και σε μεθοδολογίες διαχείρισης, που συνίστανται από θεωρητικά μοντέλα προσομοίωσης σε συνδυασμό με μοντέλα ανάλυσης συστημάτων και βελτιστοποίησης αλλά και από τεχνολογίες καθαρισμού και επεξεργασίας των ακάθαρτων νερών. Σχετικά με το πρόβλημα ελέγχου των πηγών ρύπανσης πρωταρχικός στόχος είναι η μείωση του συνολικού ρυπαντικού φορτίου που μετά τη διάθεση στο έδαφος εισέρχεται στο υπόγειο νερό.

Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με μια σειρά επεξεργασιών που περιλαμβάνουν φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες. Πέραν όμως της πρωτογενούς επεξεργασίας λαμβάνονται και πρόσθετα μέτρα για την παρεμπόδιση εισόδου των ακάθαρτων νερών στους υδροφορείς. Ένα τέτοιο σύστημα, που χαρακτηρίζεται ως έλεγχος της πηγής, αποσκοπεί στη μείωση του διηθούμενου όγκου των αποβλήτων. Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες τεχνικές είναι:

η **υδατομόνωση** της επιφάνειας του εδάφους με διάφορα αδιαπέρατα υλικά, καθώς και με ειδικές διαμορφώσεις στην τοπογραφία του χώρου διάθεσης με στόχο τον έλεγχο τόσο της επιφανειακής απορροής όσο και της διήθησης των διασταλαζόντων ρύπων, εγκαταστάσεις αποστράγγισης κτλ.

Όσον αφορά στην κατηγορία των περιστατικών που επιβάλλουν την εξυγίανση υδροφορέων που έχουν ήδη υποστεί ρύπανση οι επικρατούσες τεχνικές ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες: φυσικές μέθοδοι ελέγχου και επιτόπου μέθοδοι εξυγίανσης [21].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΜΑΚΡΟΘΡΕΠΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

5.1 Εισαγωγή

Στη παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε ο εμπλουτισμός των υδάτων από τα ιόντα K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , P_2O_5 που προέρχονται από τα απόβλητα μεγάλης χοιροτροφικής μονάδας. Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναφορά σε καθένα από αυτά τα στοιχεία και δίνεται έμφαση στη χρησιμότητα τους.

5.2 Κάλιο

Το Κάλιο 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 ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του, είναι ότι έχει το μεγαλύτερο μέγεθος σε αφυδατωμένη κατάσταση ($r=0,133nm$) από όλα τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία-κατιόντα. Επίσης, 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.

Η **μέγιστη αποδεκτή συγκέντρωση του K^+** στο πόσιμο νερό έχει οριστεί στα **12 mg/l** σύμφωνα με την Ελληνική νομοθεσία (έχει αναφερθεί ότι η σύσταση του πόσιμου νερού είναι παραπλήσια με αυτή των υπογείων υδάτων). Σπάνια πάντως η συγκέντρωση K^+ στα πόσιμα νερά ξεπερνάει τα 10 mg/l [30,33].

5.2.1 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 ταχύτερη και συνήθως ολοκληρώνεται μέσα σε λίγα λεπτά της ώρας. Η εξισορρόπηση μεταξύ δυσκόλως ανταλλάξιμου (μη 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 [36].

5.2.2 Ανταλλάξιμο κάλιο

Όπως όλα τα ανταλλάξιμα κατιόντα, έτσι και το κάλιο συγκρατείται περίξ των αρνητικά φορτισμένων κolloειδών με ηλεκτροστατική έλξη. Το ανταλλάξιμο κάλιο 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 κάλιο αν και είναι κατά πολύ αφθονότερο του υδατοδιαλυτού, αποτελεί μόνο μικρό ποσοστό, κάτω του 1%, του ολικού καλίου. Συνήθως, οι εν λόγω άμεσα διαθέσιμες μορφές καλίου προσδιορίζονται από κοινού και εκφράζονται συνολικά ως «ανταλλάξιμο κάλιο».

Η κατανομή του καλίου μεταξύ δύο καταστάσεων, ανταλλάξιμου και υδατοδιαλυτού δεν είναι σταθερή, αλλά εξαρτάται από το ιοντικό περιβάλλον του εδάφους. Ειδικότερα η κατανομή μεταξύ υδατοδιαλυτού και ανταλλάξιμου 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. Εξαιρέσει ορισμένων παθογενών εδαφών, το κύριο κατιόν που απαντάται στα εδάφη τόσο ως ανταλλάξιμο, όσο και ως διαλυτό είναι το ασβέστιο. 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. [30,34]

5.2.3 Μη ανταλλάξιμο κάλιο των κρυσταλλικών αργίλων

Το μη ανταλλάξιμο ή δυσκόλως ανταλλάξιμο κάλιο, συγκρατείται μεταξύ των στιβάδων 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 κάλιο, λαμβάνει χώρα μετακίνηση μη ανταλλάξιμου καλίου σε θέσεις ανταλλαγής και στο εδαφοδιάλυμα. Αντίθετα, όταν προστίθενται στο έδαφος καλιούχα λιπάσματα, ιόντα καλίου μετακινούνται από το εδαφοδιάλυμα και από θέσεις ανταλλαγής σε μη ανταλλάξιμες θέσεις.

Το μη ανταλλάξιμο κάλιο είναι επομένως βραδέως διαθέσιμο και κινητοποιείται όταν αρχίσουν να εξαντλούνται τα αποθέματα ανταλλάξιμου καλίου [30].

5.2.4 Απώλειες καλίου με την έκπλυση του εδάφους

Το κάλιο εκπλένεται 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 εκπλένεται 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 καλίου

Η υφή του εδάφους θεωρείται ως ένας από τους κυριότερους παράγοντες που επηρεάζουν την έκπλυση. 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 μέσω έκπλυσης. 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, 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 κάλιο από τις αρνητικά φορτισμένες θέσεις συγκράτησης κατιόντων των κρυσταλλικών αργίλων και του χούμου [36]. 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 εκπλώνεται. Επειδή οι όξινες

εδαφικές συνθήκες παρατηρούνται σε περιοχές με πολλές βροχοπτώσεις, η έκπλυση του καλίου γίνεται εντονότερη σε αυτές τις περιοχές. Η ασβέστωση των εδαφών αυτών οδηγεί σε μείωση της απώλειας του καλίου μέσω έκπλυσης. 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 [35].

5.2.5 Αλληλεπίδραση καλίου-νατρίου

Η αλληλεπίδραση αυτή αποκτά σημαντικό ενδιαφέρον, ιδιαίτερα όταν ένα από τα δύο στοιχεία βρίσκεται σε έλλειψη και το άλλο σε περίσσεια. Στη περίπτωση της χοιροτροφικής μονάδας παρατηρείται πλησίον της, υψηλή διαθεσιμότητα αζώτου, κυρίως λόγω των εκπομπών αμμωνίας και χαμηλή διαθεσιμότητα καλίου λόγω της αυξημένης έκπλυσης. Κάτω από συνθήκες αυξημένης διαθεσιμότητας καλίου, η αύξηση του διαθέσιμου αζώτου έχει ως αποτέλεσμα να αυξάνει και την πρόσληψη του καλίου, ενώ σε περίπτωση μικρής διαθεσιμότητας, η συγκέντρωση του καλίου στους ιστούς μειώνεται, λόγω αύξησης της παραγόμενης βιομάζας [35].

5.3 Νάτριο

Τα ιόντα νατρίου είναι οι συνηθέστερες μορφές του περιβαλλοντικού νατρίου και απαντώνται στα εδάφη και τα φυσικά νερά, συχνότερα με τη μορφή χλωριούχου νατρίου (NaCl), θεικού νατρίου (NaSO₄), ανθρακικού νατρίου (Na₂CO₃) και νιτρικού νατρίου (NaNO₃). Πρόκειται για ένα σημαντικό στοιχείο της διατροφής των ζώων και των ανθρώπων και είναι παρόν σε όλες τις τροφές καθώς και το πόσιμο νερό αλλά σε διαφορετικές συγκεντρώσεις.

Η συγκέντρωση των ιόντων νατρίου είναι μια από τις πιο σημαντικές παραμέτρους χαρακτηρισμού της ποιότητας των νερών. Λόγω της αφθονίας του στη φύση (έκτο κατά σειρά, σε ποσοστό 2,8%) περιέχεται σε όλα τα φυσικά νερά (υπόγεια και επιφανειακά) σε συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 1-500 mg/L. Στο πόσιμο νερό, σπάνια υπερβαίνει τα 20 mg/l, εκτός των περιπτώσεων που έχει γίνει αποσκλήρυνση με την μέθοδο της ιοντοανταλλαγής σε νερά με μεγάλη σκληρότητα. Σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 200 mg/l επηρεάζει την γεύση του νερού.

Η **μέγιστη αποδεκτή συγκέντρωση Na⁺** στο πόσιμο νερό έχει οριστεί στα **200 mg/l** σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας.

Η καταλληλότητα των νερών άρδευσης προσδιορίζεται με τη τιμή SAR. Η τιμή της βρίσκεται με προσδιορισμό των συγκεντρώσεων του νερού άρδευσης σε νάτριο, ασβέστιο και

μαγνήσιο. Η SAR υπολογίζεται από τον τύπο $\frac{[Na]}{\sqrt{\frac{[Na]+[Mg]}{2}}}$. Όσο πιο μικρή είναι αυτή η σχέση, τόσο καλύτερο είναι το νερό για άρδευση [22].

5.3.1 Επιπτώσεις του νατρίου στα υδατικά οικοσυστήματα

Ανάλογα τη συγκέντρωση του νατρίου στα υδατικά οικοσυστήματα, μεταβάλλεται σημαντικά η επιφανειακή τάση τους και κατά συνέπεια έχουμε μεταβολές στην οσμωτική πίεση των ζωικών και φυτικών κυτταρικών μεμβρανών. Άρα η αναλογία του ως προς άλλα κατιόντα στο νερό έχει μεγάλη σημασία για την γεωργία και την ανθρώπινη παθολογία.

Αυξημένη συγκέντρωση νατρίου παρατηρείται κοντά σε καλλιεργημένες εκτάσεις, όπου γίνεται η χρήση λιπασμάτων, καθώς επίσης και σε περιοχές ρίψης βιομηχανικών και αστικών λυμάτων.

Η διαπερατότητα, η συνεκτικότητα και η σκληρότητα του εδάφους επηρεάζονται αρνητικά από μεγάλη αναλογία του νατρίου στο νερό. Γενικά σε περιοχές με μακρά περίοδο ξηρασίας εμφανίζονται υψηλές συγκεντρώσεις ιόντων νατρίου στο έδαφος, ενώ σε περιοχές με συχνές βροχοπτώσεις εμφανίζονται χαμηλές συγκεντρώσεις. Αυτό οφείλεται στην μεγάλη διαλυτότητα του χλωριούχου νατρίου, που αποτελεί και το συνηθέστερο άλας νατρίου στο νερό [22].

5.4 Μαγνήσιο

Το μαγνήσιο είναι μέταλλο της ομάδας των αλκαλικών γαιών. Είναι το όγδοο σε αφθονία στοιχείο του στερεού φλοιού της γης. 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 μαγνήσιο, είναι διπλάσια σε σχέση με την αντίστοιχη των υγρών περιοχών. Σε υδατικά διαλύματα εμφανίζεται κυρίως με τη μορφή $MgOH^+_{(aq)}$, $Mg(OH)_{2(aq)}$, στο νερό της θάλασσας συναντάται και ως $MgSO_4$. Στα ποτάμια περιέχεται σε συγκεντρώσεις περίπου 4 ppm. Είναι το τρίτο σε αφθονία στοιχείο που περιέχεται διαλυμένο στο νερό των θαλασσών και ανέρχεται σε περίπου 0,14% [28].

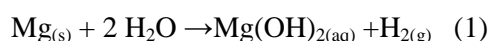
5.4.1 Απώλειες μαγνησίου μέσω έκπλυσης και παρουσία στα φυσικά νερά

Έκπλυση του μαγνησίου παρατηρείται κυρίως στα αμμώδη, όξινα και με μικρή ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων εδάφη των υγρών περιοχών. Αναφέρεται για παράδειγμα ότι η ετήσια έκπλυση μαγνησίου από δασικό οικοσύστημα *Populus tremuloides* ανέρχεται σε 9 kg/ha. Όμως οι παράγοντες του εδάφους που επηρεάζουν περισσότερο τη διαλυτότητα των ορυκτών που περιέχουν μαγνήσιο είναι κυρίως το pH και η περιεκτικότητα του σε CO_2 (για το $MgCO_3$) γιατί κάτω από αυτές τις συνθήκες τα ιόντα Al^{+3} και H^+ αντικαθιστούν τα προσροφημένα από τα κολλοειδή του εδάφους ιόντα Mg^{2+} . Έτσι 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. Η μέθοδος καλλιέργειας επίσης επηρεάζει την ποσότητα μαγνησίου που εκπλένεται 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 κolloειδή του εδάφους ιόντα Mg^{2+} με αποτέλεσμα αυτά να εκπλύνονται.

Το μαγνήσιο δεν αντιδρά με το νερό σε θερμοκρασία περιβάλλοντος αλλά σε θερμοκρασία βρασμού:



Η διαλυτότητα του υδροξειδίου του μαγνησίου στο νερό είναι 12 mg/l. Άλλες ενώσεις του μαγνησίου είναι πιο ευδιάλυτες στο νερό για παράδειγμα το ανθρακικό μαγνήσιο 600 mg/l [35].

5.5 Ασβέστιο

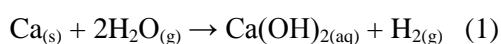
Το ασβέστιο είναι μέταλλο της ομάδας των αλκαλικών γαιών. Είναι το πέμπτο σε αφθονία στοιχείο του στερεού φλοιού της γης όπου περιέχεται σε ποσοστό, περίπου 3,64 %. Περιέχεται με τη μορφή ανθρακικών αλάτων (CaCO_3) σε ορυκτά όπως ο ασβεστόλιθος, το μάρμαρο και ο ασβεστίτης, με τη μορφή θειικών αλάτων στο γύψο, με τη μορφή φθοριούχων αλάτων CaF_2 στο φθορίτη και τέλος με τη μορφή φωσφορικών $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ στον φωσφορίτη και τον απατίτη. Οι σταλαγμίτες και οι σταλακτίτες περιέχουν ανθρακικό ασβέστιο. 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, καθώς, το πτωχό σε ασβέστιο έδαφος είναι όξινο, ενώ το πλούσιο σε ασβέστιο είναι αλκαλικό και παράλληλα, μειώνει την τοξικότητα ορισμένων στοιχείων όπως του Mn, του Cu κ.α. [35].

5.5.1 Μορφές και διαλυτότητα ασβεστίου στα νερά

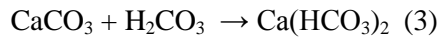
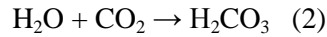
Το ασβέστιο εμφανίζεται στα φυσικά νερά και προέρχεται από τα πετρώματα των οποίων αποτελεί συστατικό. Σε υδατικά διαλύματα εμφανίζεται κυρίως με τη μορφή $\text{Ca}^{2+}_{(aq)}$, ενίοτε δε και ως $\text{CaOH}^+_{(aq)}$ ή $\text{Ca}(\text{OH})_{2(aq)}$ ή CaSO_4 στο νερό της θάλασσας.

Είναι καθοριστικός παράγοντας μαζί με το μαγνήσιο για τη σκληρότητα του νερού και επίσης λειτουργεί ως σταθεροποιητής του pH λόγω των ιδιοτήτων του ως ρυθμιστικό διάλυμα. Στα ποτάμια περιέχεται συνήθως σε συγκεντρώσεις 13-14 ppm, που σε ασβεστολιθικές περιοχές προσεγγίζουν τα 100 ppm. Το νερό της θάλασσας περιέχει κατά προσέγγιση 0,15% χλωριούχου ασβεστίου [35].

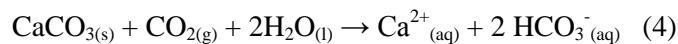
Το στοιχειακό ασβέστιο αντιδρά με το νερό σε θερμοκρασία δωματίου σύμφωνα με τον ακόλουθο μηχανισμό:



Από την παραπάνω αντίδραση σχηματίζεται υδροξείδιο του ασβεστίου και υδρογόνο. Άλλες σημαντικές αντιδράσεις του ασβεστίου είναι οι αντιδράσεις διάβρωσης. Αυτές εμφανίζονται όταν είναι παρόν κατά την αντίδραση και διοξείδιο του άνθρακα, υπό κανονικές συνθήκες το ανθρακικό ασβέστιο είναι αδιάλυτο στο νερό. Όταν το διοξείδιο του άνθρακα είναι παρόν σχηματίζεται ανθρακικό οξύ που επιδρά στις ενώσεις του ασβεστίου.

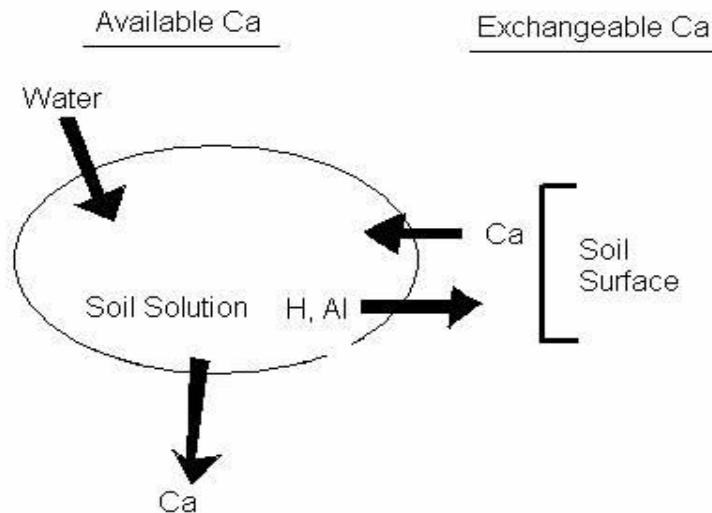


και συνολικά



Το τελικό προϊόν είναι όξινο ανθρακικό ασβέστιο.

Το ασβέστιο απορροφάται από το υδατικό διάλυμα, από τα κολλοειδή ή από τα φυτά ως ιόν Ca^{2+} με ανταλλαγή δια επαφής. Το Ca του εδάφους προέρχεται από τα πετρώματα και ορυκτά, από τα οποία σχηματίστηκε το έδαφος. Τα ιόντα Ca^{2+} μπορεί να παραμείνουν στο εδαφικό διάλυμα, να χαθούν με έκπλυση, να απορροφηθούν από τους μικροοργανισμούς ή τα φυτά, ή να προσροφηθούν στα κολλοειδή της αργίλου. Ο κύκλος του Ca είναι ανοιχτός και μεγάλα ποσά χάνονται κάθε χρόνο στους ωκεανούς [35].



Σχήμα 5.1: Ο κύκλος του ασβεστίου το έδαφος [28]

Οι ενώσεις του ασβεστίου είναι από λίγο έως πολύ διαλυτές στο νερό. Το ανθρακικό ασβέστιο έχει διαλυτότητα 14 mg/l, που πολλαπλασιάζεται με το 5 παρουσία διοξειδίου του άνθρακα. Η διαλυτότητα του φωσφορικού ασβεστίου είναι 20 mg/l και του φθοριούχου ασβεστίου είναι 16 mg/l. Η διαλυτότητα του χρωμικού ασβεστίου είναι 170 g/l και στους 0⁰ C

του υποχλωριώδους ασβεστίου είναι 218g/l. Η διαλυτότητα άλλων ενώσεων του ασβεστίου βρίσκεται ανάμεσα στα επίπεδα των συγκεντρώσεων που ήδη αναφέραμε, όπως για παράδειγμα του υδροξειδίου του ασβεστίου 1,3 g/l [35].

5.5.2 Απώλειες ασβεστίου μέσω έκπλυσης

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 εκπλένονται 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 ιλλοπηλώδες έδαφος, όπως είναι και το έδαφος πλησίον της χοιροτροφικής μονάδας, είναι περίπου 115kg/ha [35].

5.5.3 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις του ασβεστίου στο νερό

Το ασβέστιο είναι υπεύθυνο για την σκληρότητα του νερού, και πιθανόν να επηρεάζει αρνητικά την τοξικότητα άλλων συστατικών. Στοιχεία όπως ο χαλκός, ο μόλυβδος και ο ψευδάργυρος είναι περισσότερο τοξικά σε μαλακό νερό.

Η σκληρότητα του νερού επηρεάζει του υδρόβιους οργανισμούς, αφού υπεισέρχεται στην τοξικότητα των μετάλλων. Σε μαλακά νερά η διαπερατότητα των μεμβρανών στα βράγχια-σπάραγνα αυξάνει. Το ασβέστιο ανταγωνίζεται επίσης με άλλα ιόντα, που τείνουν να δεσμευτούν στα βράγχια των ψαριών. Συνεπώς, το σκληρό νερό προφυλάσσει καλύτερα τα ψάρια από απευθείας κατανάλωση μετάλλων. Κάποιες ενώσεις του ασβεστίου είναι τοξικές [35].

5.6 Φώσφορος

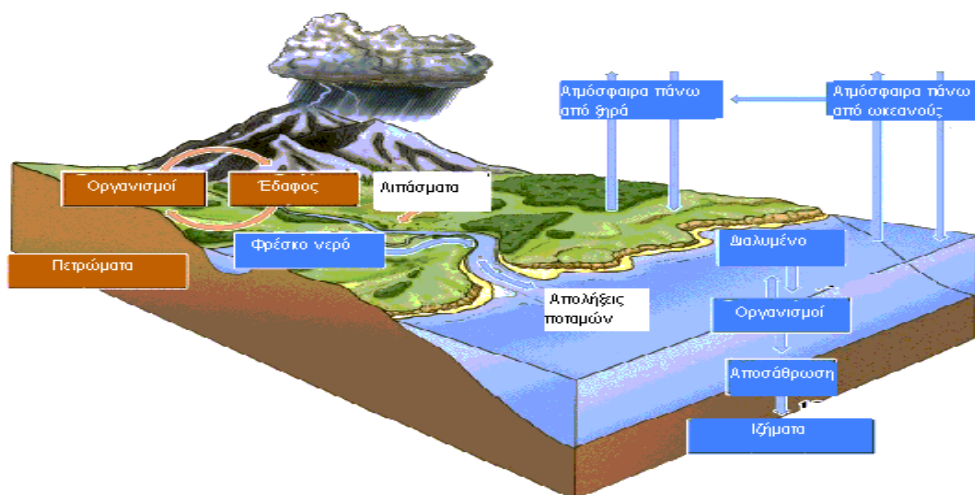
Στα επιφανειακά νερά και στα απόβλητα, ο φώσφορος απαντάται σε πολλές μορφές, όπως με τη μορφή ορθοφωσφορικών π.χ (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-}) και πολυφωσφορικών π.χ ($\text{Na}_3(\text{PO}_3)_6$), ιόντων καθώς και ως οργανικός φώσφορος, δεσμευμένος σε οργανικές ενώσεις.

Η παρουσία του φωσφόρου στα νερά, οφείλεται σε πολλές πηγές, τόσο φυσικής όσο και ανθρωπογενούς προέλευσης. Για παράδειγμα πολλά από τα χρησιμοποιούμενα απορρυπαντικά βιομηχανικής χρήσης, περιέχουν πολυφωσφορικά ιόντα για την αποσκλήρυνση του νερού. Έτσι τα απόβλητα καταλήγουν στους επιφανειακούς αποδέκτες, επιβαρυνμένα με σημαντικές ποσότητες φωσφόρου. Τα φωσφορούχα λιπάσματα που εφαρμόζονται στις καλλιέργειες, δεν δεσμεύονται ποσοτικά από τα φυτά ή το έδαφος και έτσι, οι εκπλύσεις εδαφών περιέχουν και αυτές σημαντικά φορτία φωσφόρου.

Ο οργανικός φώσφορος δημιουργείται κυρίως από βιολογικές διαδικασίες. Οργανικός φώσφορος περιέχεται στα περιττώματα, υπολείμματα τροφών και συνεπώς στα λύματα αλλά και στα απόβλητα των μεγάλων ζωικών μονάδων. Φώσφορος υπάρχει ακόμα, στα ιζήματα λιμνών, λιμνοθαλασσών και κλειστών θαλάσσιων κόλπων και στη βιολογική ιλύ (προέρχεται από τον βιολογικό καθαρισμό των λυμάτων) υπό τη μορφή ανόργανων αλάτων ή δεσμευμένος σε οργανικές ενώσεις.

Ο φώσφορος είναι βασικό στοιχείο για την ανάπτυξη των οργανισμών και η έλλειψη του μπορεί να περιορίσει την ανάπτυξη της πρωτογενούς παραγωγής σε μια υδατική μάζα. Σε περιπτώσεις, όπου ο φώσφορος είναι περιοριστικός παράγοντας, η διοχέτευση επεξεργασμένων ή ανεπεξέργαστων λυμάτων, κτηνοτροφικών αποβλήτων, εκπλύσεων γεωργικών εδαφών ή ορισμένων βιομηχανικών αποβλήτων μπορεί να προκαλέσει την υπέρμετρη ανάπτυξη φωτοσυνθετικών, υδρόβιων φυκών ή μακροφύτων που με τη σειρά τους προκαλούν ευτροφισμό [36,37].

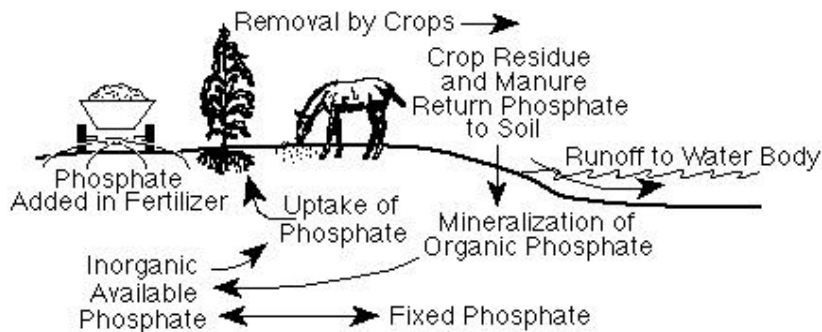
5.6.1 Κύκλος φωσφόρου



Σχήμα 5.2: Κύκλος φωσφόρου σε χερσαίο και υδάτινο οικοσύστημα [23]

Ο κύκλος του φωσφόρου είναι ένας απλός ιζηματικός κύκλος όπου δε διέρχεται από την ατμόσφαιρα. Ο φώσφορος υπάρχει στο έδαφος είτε σαν οργανική ουσία, είτε σαν αφομοιώσιμο ανόργανο άλας. Ο βιολογικά δεσμευμένος φώσφορος στους ιστούς των φυτών και των ζώων, μετά το θάνατό τους, επιστρέφει στο έδαφος μέσω της διαδικασίας της αποσύνθεσης από τους μικροοργανισμούς. Ο φώσφορος των πετρωμάτων απορροφάται γρήγορα από τα φυτά. Ένα μέρος συγκρατείται ισχυρά από την άργιλο του εδάφους και έτσι παραμένει ένα ποσοστό από το φώσφορο και στο έδαφος.

Όπως συμβαίνει με τα περισσότερα θρεπτικά στοιχεία, λαμβάνει χώρα έκπλυση κατά την κυκλική αυτή διαδικασία, δηλαδή ο φώσφορος μεταφέρεται από την ξηρά στη θάλασσα και χάνεται από τα χερσαία οικοσυστήματα. Η βαθμιαία απώλεια του φωσφόρου από τα οικοσυστήματα αντισταθμίζεται πολύ αργά στη φύση με την απελευθέρωση του στοιχείου από τα φωσφορικά πετρώματα. Αυτό πραγματοποιείται, κατά κύριο λόγο, με τη διαδικασία της διάβρωσης και της αποσάθρωσης και αυξάνεται με την ηφαιστειακή δράση [23].



Σχήμα 5.3: Κύκλος φωσφόρου σε χερσαίο και υδάτινο οικοσύστημα [23]

5.6.2 Φώσφορος, ποιότητα ύδατος και ευτροφισμός.

Είναι αδιαμφισβήτητο ότι η ποιότητα ύδατος πολλών θαλάσσιων ζωνών και χερσαίων υδατικών συστημάτων απειλείται από ποικίλους ρυπογόνους παράγοντες, μεταξύ των οποίων συγκαταλέγεται και ο φώσφορος, αφού θεωρείται ότι αποτελεί κρίσιμο παράγοντα του ευτροφισμού.

Η Ευρωπαϊκή ένωση έχει θεσπίσει ποιοτικά κριτήρια του ύδατος που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση με την οδηγία «πόσιμου ύδατος» η οποία μεταξύ άλλων καθορίζει ως **ανώτατο αποδεκτό όριο** τα **5000 $\mu\text{g P}_2\text{O}_5/\text{L}$** (ή **2200 $\mu\text{g P/L}$**), με συνιστώμενη τιμή τα **400 $\mu\text{g P}_2\text{O}_5/\text{L}$** (ή **175 $\mu\text{g P/L}$**). Έχει επίσης καθοριστεί ως **ανώτατο επιτρεπόμενο όριο** συγκέντρωσης φωσφόρου υγρών αποβλήτων, που εκβάλλουν σε επιφανειακούς αποδέκτες τα **10 mg P/L** [28].

Πίνακας 5: Ανώτατα επιτρεπόμενα όρια φωσφόρου σύμφωνα με το ΦΕΚ 209/1981 [28]

	P (mg/L)
Πόσιμο νερό	2,2
Υγρά απόβλητα που εκβάλλουν σε επιφανειακούς αποδέκτες	10

Διευκρινίζεται ότι ο φώσφορος σε δείγματα ύδατος προσδιορίζεται ως ολικός φώσφορος, ή διαλυτός φώσφορος, που περιλαμβάνει το ανόργανο και το οργανικό κλάσμα. Το κατώτατο όριο περιεκτικότητας φωσφόρου των λιμναίων υδάτων, το οποίο «πυροδοτεί» την ταχεία αύξηση του φυτοπλαγκτού (υπό την προϋπόθεση επάρκειας του αζώτου και των λοιπών απαραίτητων θρεπτικών) είναι τα 20μg P/L, εάν συγχρόνως η βιοδιαθεσιμότητα του εμπεριεχομένου φωσφόρου είναι επαρκής. Η βιοδιαθεσιμότητα του ολικού φωσφόρου εξαρτάται από την φυσικοχημική του κατάσταση και ειδικότερα από την υδατοδιαλυτότητά του [28].

5.6.3 Περιορισμός των απωλειών φωσφόρου

Με σκοπό τον περιορισμό των απωλειών φωσφόρου από το έδαφος στα υδατικά οικοσυστήματα, η προσοχή των ερευνητών έχει στραφεί προς την κατεύθυνση του προσδιορισμού κρίσιμων τιμών εδαφικού φωσφόρου, πάνω από τις οποίες ο κίνδυνος των απωλειών είναι αυξημένος.

Η εκτίμηση της διαθεσιμότητας του εδαφικού φωσφόρου έχει επιτευχθεί κατά καιρούς για διάφορες περιοχές της Ευρώπης. Το πρόβλημα όμως περιπλέκεται αφού τα διάφορα εργαστήρια των χωρών χρησιμοποιούν διαφορετικές μεθόδους ποσοτικής προσέγγισης χωρίς μια γενική μέθοδο αναφοράς.

Πολλές χώρες από τα μέσα της δεκαετίας του 1980 άρχισαν να θεσπίζουν μέτρα περιορισμού των απωλειών του φωσφόρου, που προκύπτουν από τις γεωργικές δραστηριότητες. Βασικός άξονας για την προσπάθεια ελαχιστοποίησης των διαρροών φωσφόρου από την γεωργία στο περιβάλλον, υπήρξε η εφαρμογή της αρχής της «ισοζυγισμένης λίπανσης», κατά την οποία η τροφοδοσία θρεπτικών συστατικών αθροιστικά από κάθε πηγή, έπρεπε να είναι τέτοια ώστε :

- Να μην υπερβάλλονται οι ανάγκες των καλλιεργειών
- Οι απώλειες θρεπτικών συστατικών και ο συνεπακόλουθος εμπλουτισμός του υδατικού περιβάλλοντος να κινούνται σε περιβαλλοντικώς αποδεκτά επίπεδα [38,39].

5.6.4 Φώσφορος και περιβάλλον

Οι αρνητικές επιπτώσεις του φωσφόρου στο φυσικό περιβάλλον αναφέρονται κατά κύριο λόγο, στη ρυπογόνο επιβάρυνση την οποία το θρεπτικό αυτό στοιχείο προκαλεί στα υδατικά οικοσυστήματα καθώς και στην ποιότητα του πόσιμου ύδατος, όταν η συγκέντρωσή του υπερβεί ορισμένα όρια. Σε μεγάλο βαθμό οι εν λόγω παρενέργειες οφείλονται στην εντατική γεωργοκτηνοτροφική παραγωγή, η οποία συνεπάγεται αυξημένες εισροές φωσφόρου στο οικοσύστημα, είτε υπό μορφή ανόργανων λιπασμάτων, είτε με τα κτηνοτροφικά απόβλητα. Επιπλέον τα βιομηχανικά φωσφορούχα λιπάσματα ελέγχονται για τοξικές παρενέργειες στο έδαφος και την τροφική αλυσίδα, λόγω των προσμίξεων με βαρέα μέταλλα [38,39].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΑΖΩΤΟΥΧΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ

6.1 Γενικά

Το άζωτο της ατμόσφαιρας σύμφωνα με τη γεωχημική θεωρία, υπήρχε με τη μορφή αμμωνιακών και νιτρικών αλάτων στο στερεό φλοιό της γης. Με την αύξηση όμως της θερμοκρασίας της γης, το άζωτο ελευθερώθηκε στην ατμόσφαιρα κυρίως με την μορφή της αμμωνίας. Όταν δημιουργήθηκε κατάλληλο περιβάλλον για την ανάπτυξη πλούσιας βλάστησης, η ατμόσφαιρα εμπλουτίστηκε με οξυγόνο. Ο εμπλουτισμός αυτός προήλθε από τη φωτοσύνθεση των φυτών και είχε ως αποτέλεσμα την οξειδωση της αμμωνίας και τη μετατροπή της σε άζωτο (N_2). Με τον τρόπο αυτό συσσωρεύτηκαν στην ατμόσφαιρα τεράστιες ποσότητες αζώτου. Το άζωτο χρησιμοποιείται από τους ζωντανούς οργανισμούς, προκειμένου να παραχθούν πολλά σύνθετα οργανικά μόρια, όπως τα αμινοξέα, οι πρωτεΐνες και τα νουκλεϊνικά οξέα. Η ατμόσφαιρα, είναι η μεγαλύτερη αποθήκη αζώτου, όπου και περιέχεται με τη μορφή του αερίου N_2 . Άλλες επίσης σημαντικές αποθήκες αζώτου είναι η οργανική ύλη που περιέχεται στο έδαφος και τους ωκεανούς. Οι κυριότερες αζωτούχες ενώσεις στην ατμόσφαιρα είναι τα NO , NO_2 , N_2O , NH_3 , N_2 καθώς και μικρότερες ποσότητες NO_3^- και NH_4^+ . 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 διαδικασία της συσσώρευσης του αζώτου στο έδαφος γίνεται με δύο τρόπους:

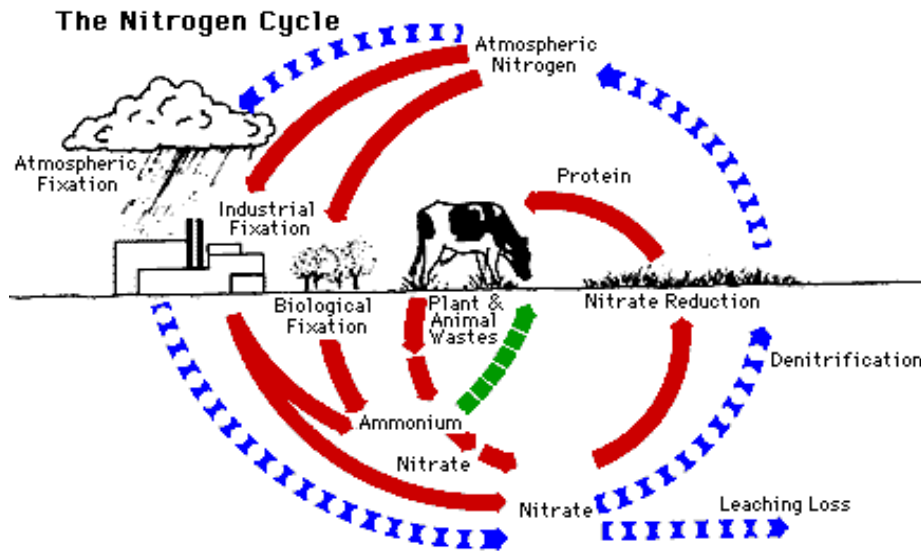
- με τον εμπλουτισμό του εδάφους με αζωτούχες ενώσεις που φθάνουν σ' αυτό μαζί με τα κατακρημνίσματα και
- με τη βιολογική δέσμευση του ατμοσφαιρικού αζώτου που γίνεται από διάφορους μικροοργανισμούς που διαβιούν στο έδαφος είτε μεμονωμένοι, είτε σε συμβίωση με ορισμένα φυτά [28].

6.2 Κύκλος αζώτου

Αν και το άζωτο αφθονεί στην ατμόσφαιρα, όπου αποτελεί το 78%, δεν μπορεί να αξιοποιηθεί από τους παραγωγούς (φυτά και οργανισμούς) στη μορφή με την οποία βρίσκεται (μοριακό άζωτο). Για το λόγο αυτό, η εισαγωγή του ατμοσφαιρικού αζώτου στις τροφικές αλυσίδες των οικοσυστημάτων, γίνεται με τη διαδικασία της αζωτοδέσμευσης, η οποία μετατρέπει το άζωτο της ατμόσφαιρας σε μορφές αξιοποιήσιμες από τους οργανισμούς του οικοσυστήματος (NH_4^+ , NO_3^-).

Ο κύκλος του αζώτου δείχνει τις διαφορετικές μορφές αλλά και τη διαδικασία μέσω της οποίας, το άζωτο μετασχηματίζεται σε άλλες μορφές και διαφεύγει στο περιβάλλον. Στα

επιφανειακά νερά και απόβλητα, το άζωτο δεν απαντάται στην αέρια μορφή ως μοριακό άζωτο (N₂), αλλά βρίσκεται δεσμευμένο, ως οργανικό άζωτο, σε υπολείμματα ή προϊόντα φυτών και ζώων υπό τη μορφή πρωτεϊνών, πεπτιδίων κ.λ.π. ή υπό τη μορφή ανόργανων ουσιών όπως το υποξείδιο (N₂O), το μονοξείδιο (NO), το διοξείδιο (NO₂) του αζώτου, η αμμωνία (NH₃), τα ιόντα του αμμωνίου (NH₄⁺), τα νιτρώδη (NO₂⁻) και τα νιτρικά (NO₃⁻) καθώς και το μοριακό άζωτο (N₂). Οι ανόργανες μορφές του αζώτου, προέρχονται από την οξείδωση του οργανικού αζώτου, εκπτώσεις γεωργικών εκτάσεων επιβαρημένων με λιπάσματα ή από λύματα και βιομηχανικά απόβλητα [28,38].



Σχήμα 6.1: Κύκλος του Αζώτου [28]

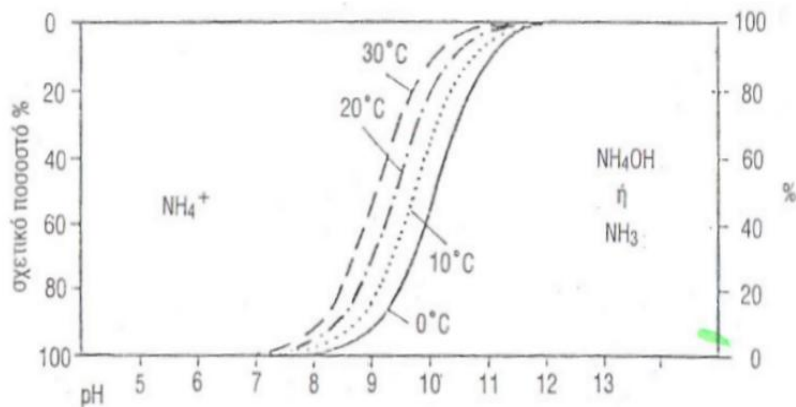
6.3 Αμμωνιακά ιόντα (NH₄⁺)

Τα αμμωνιακά ιόντα (NH₄⁺) αποτελούν μια από τις μορφές του αζώτου και παίζουν σημαντικό ρόλο στο κύκλο του. Συμμετέχουν σε εδαφικές διεργασίες όπως, η ανοργανοποίηση, η ακινητοποίηση και η νιτροποίηση και μαζί με την αμμωνία αποτελούν το αμμωνιακό άζωτο. Τα αμμωνιακά ιόντα (NH₄⁺), συνυπάρχουν με την ελεύθερη αμμωνία (NH₃) 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 NH₃/NH₄⁺, σε σχέση με το pH, δίνεται στο ακόλουθο σχήμα:



Σχήμα 6.2 : Διάγραμμα συγκέντρωσης αμμωνίας και ιόντων αμμωνίου σε συνάρτηση με το pH [28]

Η αμμωνία, συναντάται στα επιφανειακά νερά και απόβλητα. Στα υπόγεια νερά, η συγκέντρωση της αμμωνίας είναι γενικά χαμηλή, γιατί προσροφάται από το έδαφος, ιδιαίτερα στα αργιλώδη εδάφη. Η παρουσία της αμμωνίας στα νερά, οφείλεται κατά κύριο λόγο, στην απαμίνωση των αζωτούχων οργανικών ενώσεων, την υδρόλυση της ουρίας και λιγότερο, στην αναγωγή των νιτρικών από αναερόβια βακτήρια. Η συγκέντρωση της αμμωνίας, κυμαίνεται από τιμές μικρότερες των 10 mg/L, στα φυσικά επιφανειακά και υπόγεια νερά ως 30 mg/L, σε ορισμένα απόβλητα. Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία, στην χώρα μας, η **ανώτατη αποδεκτή συγκέντρωση** ιόντων αμμωνίου στο πόσιμο νερό (NH_4^+), είναι **0,5 mg/L** ενώ για τα απόβλητα που εκβάλλουν στα επιφανειακά νερά, η τιμή της ολικής αμμωνίας, δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 15 mg/L [28].

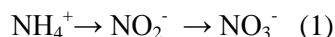
6.4 Νιτρώδη ιόντα (NO_2^-)

Τα νιτρώδη ιόντα, είναι ενδιάμεσα προϊόντα που προκύπτουν τόσο κατά την οξείδωση της αμμωνίας προς νιτρικά, όσο και την αναγωγή των νιτρικών προς αμμωνία. Τέτοιες διεργασίες, πραγματοποιούνται στα επιφανειακά νερά, στους βιολογικούς καθαρισμούς κλπ. Τα NO_2^- μπορούν να προέλθουν από λύματα ή απόβλητα που έχουν υποστεί δευτερογενή καθαρισμό ή από νερά ψύξης μεγάλων βιομηχανικών μονάδων όπου νιτρώδη άλατα χρησιμοποιούνται ως αντιδιαβρωτικοί παράγοντες. Στα φυσικά νερά, η συγκέντρωση των νιτρωδών ιόντων είναι μηδενική έως ελάχιστη. Η παρουσία νιτρωδών στα φυσικά νερά είναι δείκτης ρύπανσης των υδάτων από λύματα και βιομηχανικά απόβλητα.

Το **ανώτατο επιτρεπόμενο όριο** των (NO_2^-) στο πόσιμο νερό, σύμφωνα με τη νομοθεσία μας, είναι **0,1 mg/L** [28].

6.5 Νιτρικά ιόντα (NO₃⁻)

Τα νιτρικά ιόντα αποτελούν το τελικό στάδιο οξειδωσης των αζωτούχων ενώσεων.



Τα νιτρικά ιόντα, απαντώνται σε ίχνη στα επιφανειακά νερά, αλλά μπορεί να υπάρχουν σε υψηλές τιμές στα υπόγεια νερά. Η παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων στα επιφανειακά και υπόγεια νερά είναι δείκτης ρύπανσης των υδάτων από λιπάσματα ή λύματα και απόβλητα.

Τα ανεπεξέργαστα λύματα δεν περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών, γιατί το μεγαλύτερο μέρος του αζώτου βρίσκεται δεσμευμένο σε οργανικές ενώσεις. Αντίθετα, τα επεξεργασμένα μέσω βιολογικού καθαρισμού λύματα, μπορεί να περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις NO₃⁻ έως και 30 mg/L, ως αποτέλεσμα του παρατεταμένου αερισμού που οδηγεί στη νιτροποίηση των αζωτούχων ενώσεων. Η **ανώτατη αποδεκτή συγκέντρωση** των νιτρικών ιόντων (NO₃⁻) στο πόσιμο νερό είναι **50 mg/l**.

Τα νιτρικά ιόντα, αποτελούν βασικό θρεπτικό παράγοντα, για την ανάπτυξη φωτοσυνθετικών αυτότροφων οργανισμών, όπως τα φύκη ενώ σε ορισμένα κλειστά υδατικά συστήματα έχει βρεθεί ότι τα νιτρικά αποτελούν περιοριστικό παράγοντα ανάπτυξης του ευτροφισμού [28].

6.5.1 Εκπλυση NO₃⁻

Η έκπλυση αφορά στην απομάκρυνση με το εδαφικό νερό των NO₃⁻ και δευτερευόντως των NH₄⁺ είτε κατά βάθος, είτε πλευρικός. Συγκριτικά, η έκπλυση των NH₄⁺ είναι πολύ μικρότερη και μπορεί να αποβεί υπολογίσιμη μόνο σε αμμώδη εδάφη. Η έκπλυση των NO₃⁻ συχνά αποβαίνει η σοβαρότερη διαδικασία απομάκρυνσης του N από το έδαφος. Προκειμένου να λάβει χώρα έκπλυση μεγάλης έκτασης NO₃⁻ πρέπει να ικανοποιούνται δύο βασικές προϋποθέσεις:

- υψηλή συγκέντρωση NO₃⁻ στο έδαφος και
- έντονη (καθοδική ή πλευρική) κίνηση του νερού.

Η έκπλυση των NO₃⁻, 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 τα NO₃⁻ δεν συσσωρεύεται στο έδαφος, διότι υπάρχει ισορροπία εισροών–εκροών N, και κατά συνέπεια, τα NO₃⁻ αφομοιώνονται με τον ίδιο ρυθμό που σχηματίζονται. 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 συσσώρευση «υπολειμματικού N». Αυτό συμβαίνει διότι οι καλλιέργειες πέραν ενός ορίου δεν μπορούν να ανταποκριθούν στο ρυθμό απελευθέρωσης NO₃⁻ με εξίσου ταχεία πρόσληψη του. Τα πλεονάζον

NO_3^- , δεν συγκρατούνται στη στερεά φάση και απομακρύνονται με έκπλυση.

Σημαντικοί παράγοντες έκπλυσης είναι οι κλιματικές συνθήκες, η φύση του εδάφους, 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 περισσότερα νιτρικά 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, 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 των NO_3^- . Τα αμμώδη εδάφη συγκρατούν μικρότερο ποσοστό υγρασίας από τα αργιλώδη και διευκολύνουν την έκπλυση των NO_3^- . Εξάλλου τα οργανικά εδάφη, όπου η περιεκτικότητα σε οργανικό άζωτο μπορεί να φτάσει μέχρι τα 15.000 kg/εκτάρια, 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 συμπέσει με την εποχή ταχείας ανάπτυξης των καλλιεργειών, το έδαφος εξαντλεί τα αποθέματα ανόργανου αζώτου, τόσο λόγω πρόσληψης από τις ρίζες των φυτών, όσο και λόγω έκπλυσής του 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 αζώτου 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 άζωτο 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 αζώτου, 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 αζώτου, που όπως έχει αποδειχθεί πειραματικά συντελεί ώστε να μην αυξάνει το υπολειμματικό νιτρικό άζωτο στο έδαφος. Κατάλληλη μέθοδος για την κλασματική τροφοδοσία του αζώτου αποτελεί η υδρολίπανση [28].

6.6 Προέλευση και ποσότητες των εκπομπών αμμωνίας

Η εκτίμηση των εκπομπών αμμωνίας που οφείλονται στη ζωική παραγωγή βασίστηκε τόσο σε υπολογιστικές τιμές, όσο και σε μετρήσεις εκπομπών και απωλειών αζώτου, 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 αμμωνίας για τη Δυτική Ευρώπη υπολογίζεται σε $4 \cdot 10^6$ tn. Συγκριτικά αναφέρεται ότι για το σύνολο της γήινης ατμόσφαιρας οι εκπομπές NH_3 είναι της τάξης των $62 \cdot 10^6$ tn/έτος, εκ των οποίων οι $43 \cdot 10^6$ tn είναι ανθρωπογενούς προέλευσης. Η δε συνεπακόλουθη εναπόθεση στα εδάφη των ποσοτήτων αμμωνίας υπολογίζεται ότι αντιστοιχεί με το 40-60% των άμεσων εισροών αζώτου από αζωτούχα λιπάσματα.

Πάντως, από τον παρακάτω Πίνακα συνάγεται ότι μόνο το 13% των εκπομπών NH_3 στη Δυτική Ευρώπη οφείλεται στα αζωτούχα λιπάσματα, ενώ ένα κατά πολύ μεγαλύτερο ποσοστό, 74%, προέρχεται από την κτηνοτροφία. 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 υπερिशύουν 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 ktn): κτηνοτροφία 57, λιπάσματα 19, διάφορες πηγές 22, σύνολο 98.

Σε ότι αφορά τα ανόργανα αζωτούχα λιπάσματα, εκπομπές αμμωνίας 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 [25,36].

Η εμπεριστατωμένη 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 6 [28].

Πίνακας 6: Προέλευση και ποσότητες των εκπομπών αμμωνίας στην ατμόσφαιρα στη Δ. Ευρώπη κατά το 1990 (ECETOC,1994) [28]

	Εκπομπή (Mtn NH₃-N/έτος)	Εύρος (Mtn NH₃-N/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

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 των υπόγειων υδάτων. Αυτές οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις, οφείλονται στην μεταβολή των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του νερού, οι οποίες επηρεάζονται από τους διάφορους ρύπους των χοιροτροφικών μονάδων [40]. Ορισμένοι ανόργανοι ρυπαντές, κυρίως αζωτούχες ενώσεις, συσσωρεύονται σιγά-σιγά στο έδαφος, επιδρούν στις φυσικές και χημικές του ιδιότητες και στη συνέχεια μέσω της διαδικασίας της έκπλυσης εισρέουν στο υπόγειο υδατικό δυναμικό υποβαθμίζοντας το περιβάλλον. Οι αζωτούχες ενώσεις επικάθονται αρχικά στο έδαφος υπό μορφή στερεολυμάτων ή αερολυμάτων, (π.χ. μέσω της όξινης βροχής ή νιτροποίησης του αμμωνίου), με αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης τους στο έδαφος αλλά και της οξύτητας (μείωση pH) του εδάφους σε αρχικό στάδιο [41,42,43,44].

Πιο συγκεκριμένα μελετάται η ρύπανση που προκαλείται στα υπόγεια ύδατα, μέσω της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και των συγκεντρώσεων των ιόντων K^+ , Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , P_2O_5 , NH_4^+ , NO_2^- και NO_3^- , σε συνάρτηση με την θέση δειγματοληψίας από τα όρια της χοιροτροφικής μονάδας. Τα εξεταζόμενα δείγματα νερού ελήφθησαν από τη βόρεια περιοχή του Λατζιμά Ρεθύμνης, όπου βρίσκεται μεγάλη χοιροτροφική μονάδα δυναμικότητας 2400 ζωικών μονάδων.

Οι μετρήσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας έγιναν με τη χρήση του αγωγιμόμετρου Mettler Toledo MPC227. Η στοιχειακή ανάλυση έγινε με φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης τύπου VARIAN 220FS. Ενώ για τον ποσοτικό προσδιορισμό των NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ και P_2O_5 , χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος φασματοφωτομετρίας υπεριώδους – ορατού (UV-VIS). Ο προσδιορισμός αυτός, πραγματοποιήθηκε με το φασματοφωτόμετρο Spectroquant NOVA GO Merk.

Το πειραματικό μέρος περιλαμβάνει δύο στάδια:

- Εργαστηριακή τεχνική λήψης των δειγμάτων νερού.
- Ανάλυση των δειγμάτων νερού ως προς τις φυσικοχημικές τους ιδιότητες, με την εφαρμογή προτύπων μεθόδων ενόργανης ανάλυσης.

Παρακάτω, περιγράφεται αναλυτικά το σύνολο της πειραματικής διαδικασίας.

2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΝΕΡΟΥ

2.1 Δειγματοληψία ύδατος

Τα υδατικά δείγματα προέρχονται από γεωτρήσεις και ελήφθησαν την χρονική περίοδο 2/3/2009 έως 20/2/2010 από διάφορες γεωτρήσεις σε αποστάσεις 100 έως 1300 m από τα όρια της κτηνοτροφικής μονάδας.

Για τις αναλύσεις των δειγμάτων νερού, αρκεί ένα δείγμα 500 ml περίπου. Η φιάλη δειγματοληψίας, μπορεί να είναι είτε από γυαλί είτε από πλαστικό και θα πρέπει να είναι ανοιχτού στομίου με διάμετρο τουλάχιστον 14 mm και να σφραγίζει καλά αμέσως μετά την δειγματοληψία. Αν πρόκειται να προστεθούν συντηρητικά στο δείγμα, θα πρέπει να τοποθετούνται μέσα στη φιάλη πριν από την είσοδο του δείγματος σε αυτήν.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα αλλά και η θερμοκρασία μπορούν να αλλάξουν μέσα σε λίγα λεπτά μετά την δειγματοληψία, (π.χ. λόγω προσρόφησης διοξειδίου του άνθρακα της ατμόσφαιρας), οπότε θα πρέπει σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO 5667.03/19.6.96, η ηλεκτρική αγωγιμότητα, και η θερμοκρασία, να μετρούνται κατευθείαν στον τόπο δειγματοληψίας [45].

Στον παρακάτω πίνακα δίνεται το πρωτόκολλο δειγματοληψίας, όπου αναγράφονται: η ημερομηνία δειγματοληψίας των διαφόρων δειγμάτων και η γεωγραφική θέση όπου και ελήφθησαν.

Πίνακας 7: Πρωτόκολλο δειγματοληψίας υπόγειων δειγμάτων νερού

Ημερομηνία δειγματοληψίας	1η	2η	3η	4η	5η	6η
2/3/2009	NA100	NΔ280				
20/4/2009	NA100	NΔ280	NA450	NΔ1300		
18/5/2009	NA100	NΔ280	NA450			
24/5/2009	NA100	NΔ280	NA450	NΔ1300		
13/7/2009	NA100	NΔ280	BΔ400	BΔ450		
20/7/2009	NA100	BΔ450	BA850			
6/9/2009	NA100	NΔ280	BA850			
27/9/2009	NA100	NΔ280	BΔ400	BΔ450	NA450	BA850
5/11/2009	NA100	NΔ280	BΔ400	BΔ450	NA450	
16/11/2009	NA100	NΔ280	BΔ400	BΔ450	NA450	NΔ1300
9/12/2009	NA100	BΔ400	BΔ450	NA450	NΔ1300	
9/1/2010	NA100	NΔ280	BΔ400	BΔ450	BA850	
20/2/2010	BΔ400	NΔ670	NΔ1300			

** Οι κωδικές ονομασίες των δειγμάτων εκφράζουν αντίστοιχα: τον προσανατολισμό και την απόσταση από τη θέση δειγματοληψίας από τα όρια της χοιροτροφικής μονάδας (m).*

2.2 Συντήρηση δειγμάτων νερού

Συνοπτικές οδηγίες για τη συντήρηση των δειγμάτων νερού δίνονται παρακάτω:

1) Ανάλογα με τις συνθήκες φύλαξης των υδατικών δειγμάτων επηρεάζονται κάποιες από τις φυσικοχημικές τους ιδιότητες:

- Η αγωγιμότητα και το pH, μεταβάλλονται λόγω προσρόφησης διοξειδίου του άνθρακα της ατμόσφαιρας.
- Για τα μέταλλα, υπάρχει κίνδυνος προσρόφησης τους στην επιφάνεια του περιέκτη, καθώς επίσης και κίνδυνος καταβύθισης αυτών. Το φως, η θερμοκρασία και το υλικό του περιέκτη επηρεάζουν την έκταση των αντιδράσεων χημικής ή βιοχημικής φύσης.
- Για τον προσδιορισμό φυσικοχημικών παραμέτρων ένα απλό μέτρο προφύλαξης είναι η πλήρωση του περιέκτη έτσι ώστε να μην υπάρχει δυνατότητα οξειδώσεων από το υπερκείμενο ατμοσφαιρικό οξυγόνο και αντίδρασης με το διοξείδιο του άνθρακα.
- Σημαντική επίσης, είναι η χρήση κατάλληλου περιέκτη (πχ. βοριοπυριτικό ή soda-lime γυαλί, αυξάνει τις περιεκτικότητες σε πυρίτιο και νάτριο).
- Συνίσταται η χρήση φιαλιδίων που δεν επιτρέπουν την διέλευση φωτός καθώς αποτρέπουν τις φωτολυτικές αντιδράσεις [45].

2) Προετοιμασία των περιεκτών

- Σε δείγματα που προορίζονται για χημική ανάλυση, γίνεται πλήρωση με HNO_3 ή HCl 1M, ανακίνηση του δοχείου και ξέπλυμα με απιονισμένο νερό. (Αποφεύγεται η χρήση απορρυπαντικών) [45].

3) Ψύξη ή κατάψυξη των δειγμάτων

- Η πιο πρακτική και σίγουρη μέθοδος συντήρησης δειγμάτων είναι η κοινή ψύξη. Συνήθως, ο εξοπλισμός ψύξης είναι διαθέσιμος και δεν εμπλέκεται με την ανάλυση. Βάζοντας τα δείγματα σε πάγο και διατηρώντας τα εκεί μέχρι να φτάσουν στο εργαστήριο για ανάλυση, θα διατηρηθούν καλά στις πιο πολλές των περιπτώσεων.
- Η καλή συντήρηση μπορεί να επιβραδύνει και όχι να σταματήσει τελείως τις χημικές και βιολογικές μεταβολές μέσα σε ένα δείγμα. Η πλήρης συντήρηση ενός δείγματος είναι πρακτικά αδύνατη για την πλειονότητα των περιπτώσεων.
- Η ψύξη πρέπει να πραγματοποιείται άμεσα στον τόπο της δειγματοληψίας.
- Για τη μεταφορά στο εργαστήριο είναι επαρκής η ψύξη με τη χρήση παγοκύστης.
- Γενικά ψύξη στους $-20\text{ }^\circ\text{C}$ επιτρέπει την αύξηση της περιόδου αποθήκευσης των δειγμάτων.
- Γυάλινοι περιέκτες δεν είναι κατάλληλοι για κατάψυξη [45].

4) Διήθηση ή φυγοκέντρωση των δειγμάτων

- Τα αιωρούμενα σωματίδια, απομακρύνονται με τη βοήθεια φίλτρων χαρτιού, μεμβράνης ή φυγοκέντρωσης.
- Δεν είναι εφαρμόσιμη η διήθηση αν το φίλτρο κατακρατεί ένα ή περισσότερα συστατικά που πρόκειται να αναλυθούν.
- Είναι σημαντικό επίσης, να διασφαλίσουμε ότι δεν θα υπάρξει επιμόλυνση από το φίλτρο πράγμα το οποίο επιτυγχάνεται ύστερα από πολύ καλό ξέπλυμα με απιονισμένο νερό [45].

5) Προσθήκη συντηρητικών

- Είναι σημαντικό τα συντηρητικά, να μην παρεμβάλλονται στην ανάλυση.
- Η αραίωση εξαιτίας της προσθήκης συντηρητικών πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη.
- Επιπλέον, είναι σημαντική, η χρήση τυφλού δείγματος για τον κίνδυνο επιμολύνσεων από το συντηρητικό.
- Για τις περισσότερες αναλύσεις μετάλλων η φύλαξη των δειγμάτων γίνεται σε πλαστικούς περιέκτες (πολυαιθυλένιο, PTFE, PVC, PET). Επίσης προτείνεται η διήθηση των δειγμάτων και οξίνιση αυτών σε $\text{pH} < 2$ [45].

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι μέθοδοι συντήρησης για διάφορες παραμέτρους προς ανάλυση, καθώς και οι μέγιστες περίοδοι συντήρησης των δειγμάτων.

Πίνακας 8: Μέθοδοι και μέγιστη περίοδος συντήρησης δειγμάτων [46]

Στοιχείο Προσδιορισμού	Τεχνική συντήρησης	Χρόνος συντήρησης
νιτρικά (NO_3^-)	0,8 ml πυκνού H_2SO_4 / l	7 ημέρες
νιτρώδη (NO_2^-)	0,8 ml πυκνού H_2SO_4 / l	7 ημέρες
μέταλλα (ομάδας I – II)*	$\text{pH} < 2$, 5 ml HNO_3 / l	6 μήνες

* ασβέστιο, μαγνήσιο, νάτριο και κάλιο.

3. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

3.1 Γενικά

Ακολουθεί αναλυτική περιγραφή των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν, προκειμένου να γίνει κατανοητό ότι, οι χρόνοι ανάλυσης των προτύπων κυρίως φασματοφωτομετρικών μεθόδων, είναι σε μερικές περιπτώσεις απαγορευτικοί, προκειμένου να πραγματοποιηθεί ο απαραίτητος αριθμός αναλύσεων των σημαντικών παραμέτρων, σε σύντομους χρόνους από την ημερομηνία λήψης των δειγμάτων, όπως επιβάλλεται από τα πρότυπα για τη συντήρηση των δειγμάτων.

Αυτός είναι και ο λόγος που πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις με εναλλακτικές μεθόδους οι οποίες ολοκληρώνονται σε σύντομο χρονικό διάστημα και των οποίων ελέγχθηκε η αξιοπιστία για τη σειρά των συγκεκριμένων πειραμάτων σε σύγκριση με τις πρότυπες, δίνοντας μια πολύ καλή προσέγγιση στα αποτελέσματα.

3.2 Προσδιορισμός ηλεκτρικής αγωγιμότητας

Οι μετρήσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας έγιναν με αγωγιμόμετρο του οίκου Mettler Toledo, μοντέλο MPC227H.

3.3 Στοιχειακή Ανάλυση

Μέθοδος AAS

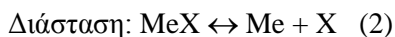
Για τον ποσοτικό προσδιορισμό των στοιχείων (κάλιο, νάτριο, ασβέστιο, μαγνήσιο) χρησιμοποιήθηκε η αναλυτική μέθοδος της φασματοφωτομετρίας ατομικής απορρόφησης (AAS), μοντέλο 220FS, σύμφωνα με το πρότυπο ASTM D 4192-03 του οίκου VARIAN.

3.3.1 Γενικά

Σε αυτή την αναλυτική μέθοδο το εξεταζόμενο δείγμα διέρχεται από φλόγα και παίρνουμε γραμμικά φάσματα που προέρχονται από εκπεμπόμενη ακτινοβολία. Η ακτινοβολία αυτή έχει απορροφηθεί και εκπέμπεται από άτομα του εξεταζόμενου στοιχείου που βρίσκονται στην θεμελιώδη τους κατάσταση.

Επειδή οι μετρήσεις απορρόφησης σε φλόγα γίνονται συνήθως σε θερμοκρασίες κάτω από 3000 βαθμούς Kelvin, τα περισσότερα άτομα βρίσκονται στην θεμελιώδη κατάσταση.

Στην AAS πραγματοποιούνται στο δείγμα οι ακόλουθες μεταβολές:



Με την AAS μπορούμε να προσδιορίσουμε 70 περίπου στοιχεία, με όριο ανίχνευσης 0,01–10 ppm. Υπάρχει δυνατότητα να έχουμε και καλύτερα όρια ανίχνευσης για μερικά στοιχεία με την χρήση οργανικού διαλύτη, ο οποίος χρησιμοποιείται κατ' ευθείαν στη φλόγα.

Επίσης στην AAS ο ιονισμός είναι ένα ανεπιθύμητο φαινόμενο και περιορίζεται με χρήση

φλόγας χαμηλής θερμοκρασίας ή με προσθήκη περισσειας ενός ευκολότερα ιονιζόμενου μετάλλου, το οποίο παράγει υψηλή συγκέντρωση ηλεκτρονίων στην φλόγα οπότε μειώνεται ο ιονισμός του αρχικού μετάλλου [47].

3.4 Χημική ανάλυση

Μέθοδος UV-VIS

Για τον ποσοτικό προσδιορισμό των (αμμωνιακών, νιτρικών και νιτρωδών ιόντων καθώς και του πεντοξειδίου του φωσφόρου) χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος φασματοφωτομετρίας υπεριώδους – ορατού (UV-VIS). Ο προσδιορισμός αυτός πραγματοποιήθηκε με το φασματοφωτόμετρο του οίκου Merk μοντέλο Spectroquant NOVA GO. Η μέθοδος για την ανάλυση των ιόντων αυτών είναι πατενταρισμένη και για το λόγο αυτό δε συνεχίζουμε σε περαιτέρω ανάλυση.

3.4.1 Γενικά

Η μέθοδος αυτή, στηρίζεται στην απορρόφηση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (100-800 nm), από τα μόρια μιας διαλυμένης ουσίας, τα οποία υφίστανται ηλεκτρονιακές μεταπτώσεις. Ειδικότερα, τα ηλεκτρόνια που βρίσκονται στα μοριακά δεσμικά τροχιακά χαμηλής ενέργειας (n , σ και π), μεταπηδούν στα αντιδεσμικά τροχιακά υψηλότερης ενέργειας. Στην πράξη, οι μετρήσεις περιορίζονται στην περιοχή 800 – 400 nm (ορατό) και 400 – 190 nm (εγγύς υπεριώδες) αφού στην περιοχή 190 – 100 nm (άπω υπεριώδες) απορροφάει τόσο ο αέρας όσο και το υλικό κατασκευής (χαλαζίας) των κυψελίδων. Το όριο ανίχνευσης της UV – VIS φασματομετρίας είναι 0,1 ppm με ακρίβεια 2 – 5% [47].

III. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

1. ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

1.1 Συνδυασμός κοκκομετρικής ανάλυσης με κόσκινα και με Laser.

X/NA40/2-11-08/1

Πίνακας 9: Κοκκομετρική σύσταση και κατάταξη εδάφους στην βόρεια περιοχή

Λατζιμά Ρεθύμνης με βάση την μέθοδο Α

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

1.2 Μέθοδος αραιομέτρου

X/NA40/2-11-08/1

Πίνακας 10: Κοκκομετρική σύσταση και κατάταξη εδάφους στην βόρεια περιοχή

Λατζιμά Ρεθύμνης με βάση την μέθοδο Β

	Άμμος (2mm - 0,05mm)	Ίλύς (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. Πρέπει όμως να τονίσουμε ότι η μέθοδος Α, χαρακτηρίζεται ως η πλέον αξιόπιστη καθώς το όργανο Mastersizer Malvern μπορεί να ανιχνεύσει με ιδιαίτερη ακρίβεια σωματίδια μικρότερα των 0,002mm.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα τη κοκκομετρικής ανάλυσης, φαίνεται ότι το έδαφος παρουσιάζει μεγάλη περιεκτικότητα σε ίλυ και άμμο, ενώ δεν περιέχει σχεδόν καθόλου άργιλο. Το έδαφος από όπου πάρθηκαν τα δείγματα, χαρακτηρίζεται ως ιλοπηλώδες (silt loam).

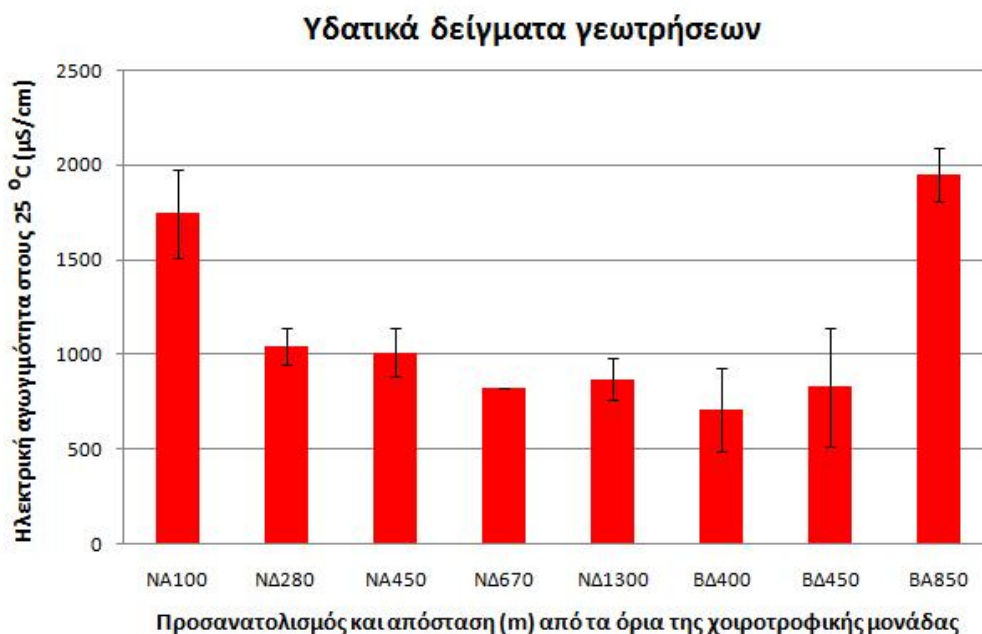
Τα σωματίδια της άμμου, είναι τα περισσότερο χονδρόκοκκα, τα δε σωματίδια της ιλύος είναι ενδιάμεσου μεγέθους, ενώ τα αργιλώδη είναι τα περισσότερο λεπτόκοκκα. Γενικά, τα μέσης σύστασης εδάφη (loam) αποτελούνται από ισορροπημένο μίγμα, αμμώδους, ιλώδους και αργιλώδους εδάφους. Τα εδάφη αυτά παρουσιάζουν εντονότερη χημική δραστηριότητα από τα αμμώδη εδάφη καθώς παρακρατούν περισσότερο νερό και προσφέρουν μεγαλύτερη προστασία στα υπόγεια νερά. Το νερό, διαπερνά ευκολότερα τα μέσης σύστασης εδάφη, απ' ότι

τα πολύ λεπτής υφής εδάφη (αργιλώδη), έτσι ο κίνδυνος διάβρωσης του εδάφους είναι μικρότερος, αλλά ταυτόχρονα ο κίνδυνος μόλυνσης των υπόγειων υδάτων, εντονότερος.

Συμπερασματικά, η έλλειψη λεπτόκοκκων συστατικών του εδάφους που μελετάμε, 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 έντονη έκπλυση των αμμωνιακών, μεταλλικών και των υπολοίπων ιόντων που εξετάζουμε. Ο κίνδυνος διάβρωσης είναι ακόμα μικρότερος απ' ότι στα μέσης σύστασης εδάφη, αλλά παρακρατούν ακόμα λιγότερο νερό, έτσι η προστασία που προσφέρουν στα υπόγεια ύδατα είναι μικρότερη, με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο κίνδυνος επιμόλυνσής τους [48].

2. ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ

Στο σχήμα 2.1 απεικονίζονται τα ραβδογράμματα τα οποία δείχνουν τις μέσες τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στα δείγματα του νερού γεωτρήσεων, που πάρθηκαν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, σε συνάρτηση με την απόστασή τους, νότια και βόρεια της χοιροτροφικής μονάδας.



Σχήμα 2.1: Μέσες συγκεντρώσεις ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε νερά γεωτρήσεων σε συνάρτηση με την απόσταση της θέσης δειγματοληψίας νότια και βόρεια των ορίων της χοιροτροφικής μονάδας

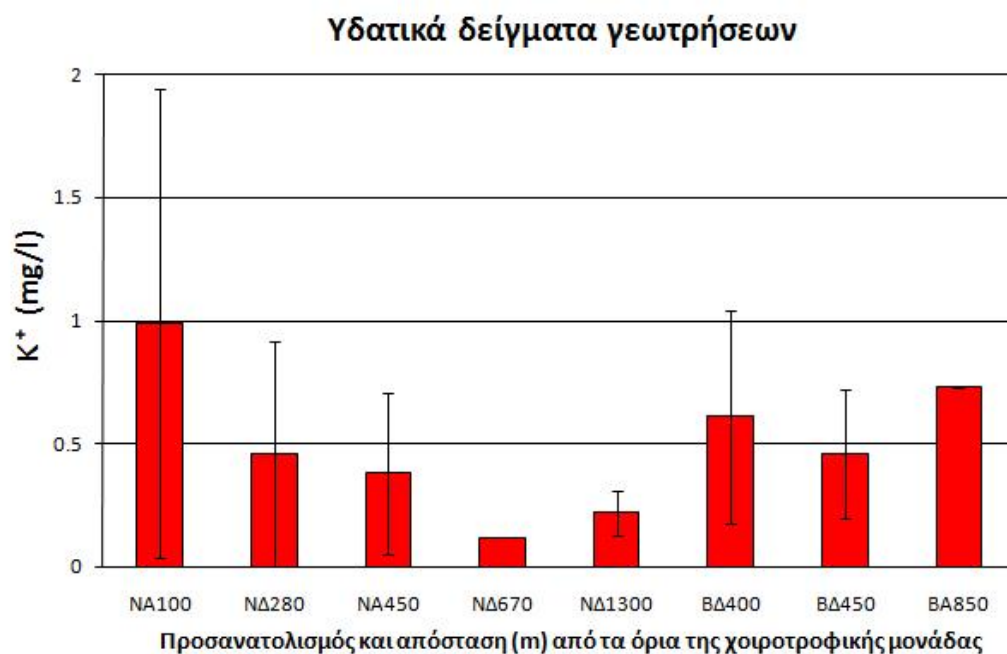
Παρατηρούμε ότι όσο προσεγγίζουμε την χοιροτροφική μονάδα ανεξαρτήτως του προσανατολισμού, η συγκέντρωση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας αυξάνεται. Η συγκέντρωση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι μεγάλη σε μικρές αποστάσεις από τη χοιροτροφική μονάδα, ενώ, όσο η απόσταση από την χοιροτροφική μονάδα αυξάνεται τόσο μειώνεται και η τιμή της. Παρατηρούμε ότι δε συμβαίνει σε όλο το ποσοστό των περιπτώσεων αυτή η μείωση κατά την απομάκρυνση από την μονάδα. Πιο συγκεκριμένα βλέπουμε ότι βορειοανατολικά της μονάδας στα 850m η μέση συγκέντρωση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι κατά πολύ υψηλότερη από το αναμενόμενο, γεγονός που μπορεί να επηρεάζεται από πολλές πιθανές παραμέτρους.

Η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας που μετρήθηκε στα δείγματα που συλλέχθηκαν, κυμαίνεται μεταξύ 305 και 2104 $\mu\text{S}/\text{cm}^3$. Η μικρότερη τιμή μετρήθηκε στις 20/7/2009 βορειοδυτικά της χοιροτροφικής μονάδας και σε απόσταση 450m. Η μεγαλύτερη συγκέντρωση μετρήθηκε στις 5/11/2009 νοτιοανατολικά της μονάδας και σε απόσταση 100m.

3. ΣΤΟΙΧΕΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

3.1 ΚΑΛΙΟ

Στο σχήμα 3.1.1 απεικονίζονται τα ραβδογράμματα τα οποία δείχνουν τις μέσες τιμές των συγκεντρώσεων του καλίου στα δείγματα του νερού γεώτρησης, που πάρθηκαν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, σε συνάρτηση με την απόσταση τους, νότια και βόρεια της χοιροτροφικής μονάδας.



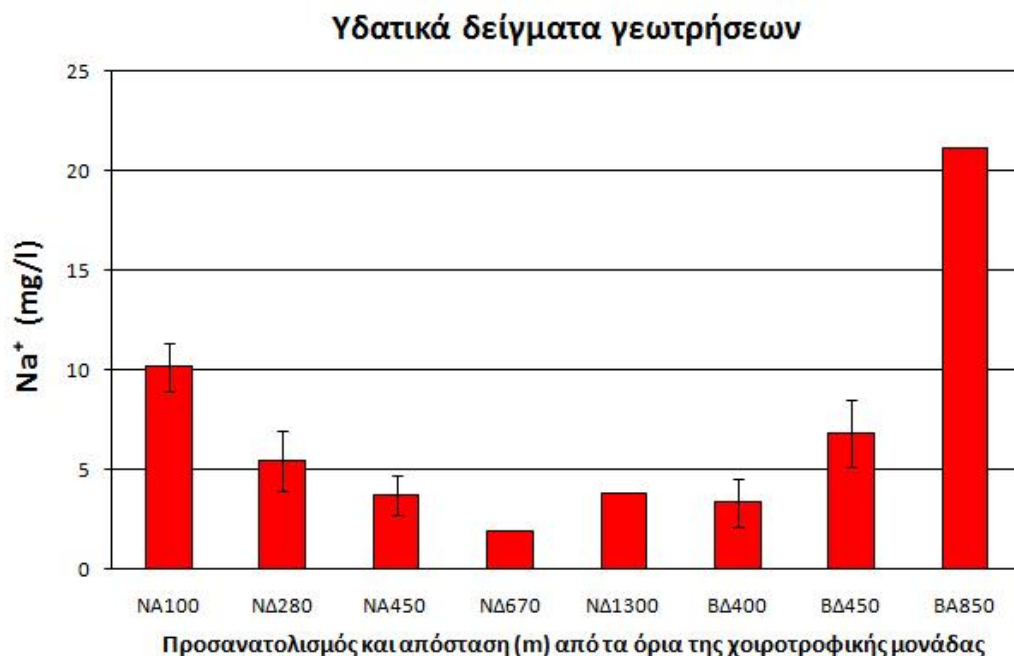
Σχήμα 3.1.1: Μέσες συγκεντρώσεις καλίου σε νερά γεωτρήσεων σε συνάρτηση με την απόσταση της θέσης δειγματοληψίας νότια και βόρεια των ορίων της χοιροτροφικής μονάδας

Παρατηρούμε ότι όσο προσεγγίζουμε την χοιροτροφική μονάδα ανεξαρτήτως του προσανατολισμού, η συγκέντρωση των ιόντων καλίου στα εξεταζόμενα δείγματα αυξάνεται. Η συγκέντρωση του καλίου είναι μεγάλη σε μικρές αποστάσεις από τη χοιροτροφική μονάδα, ενώ όσο η απόσταση αυξάνεται τόσο μειώνεται και η αντίστοιχη συγκέντρωσή του. Παρατηρούμε όμως, ότι δε προκύπτουν τα αναμενόμενα αποτελέσματα για όλες τις μετρήσεις. Πιο συγκεκριμένα, βορειοανατολικά στα 850m η μέση τιμή της συγκέντρωσης του καλίου είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από αυτό που περιμέναμε. Είναι γεγονός πως στην συγκεκριμένη γεωγραφική τοποθεσία προέκυψαν και για την ηλεκτρική αγωγιμότητα μη αναμενόμενα αποτελέσματα.

Η συγκέντρωση του καλίου που μετρήθηκε στα δείγματα που συλλέχθηκαν, κυμαίνεται μεταξύ 0.12 και 2.07 mg/l. Η μικρότερη συγκέντρωση μετρήθηκε στις 9-1-2010 νοτιοδυτικά της χοιροτροφικής μονάδας σε απόσταση 280m και 670m αντίστοιχα. Η μεγαλύτερη συγκέντρωση μετρήθηκε στις 5/11/2009 νοτιοανατολικά της μονάδας και σε απόσταση 100m.

3.2 ΝΑΤΡΙΟ

Στα σχήμα 3.2.1 απεικονίζονται τα ραβδογράμματα τα οποία δείχνουν τις μέσες τιμές των συγκεντρώσεων του νατρίου στα δείγματα του νερού γεώτρησης, που πάρθηκαν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, σε συνάρτηση με την απόστασή τους, νότια και βόρεια της χοιροτροφικής μονάδας.



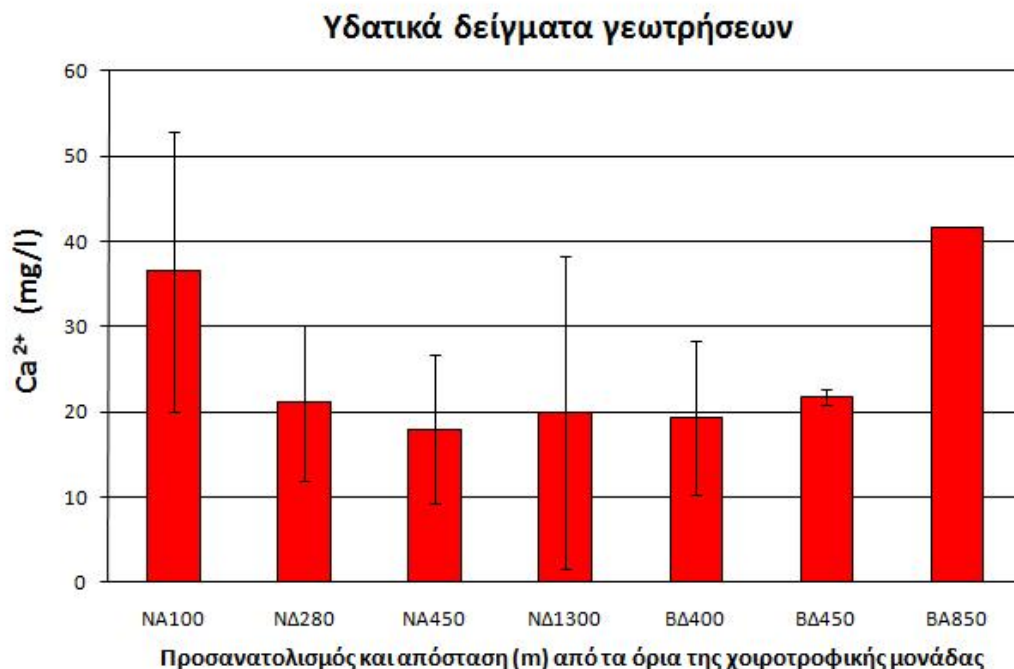
Σχήμα 3.2.1: Μέσες συγκεντρώσεις νατρίου σε νερά γεωτρήσεων σε συνάρτηση με την απόσταση της θέσης δειγματοληψίας νότια και βόρεια των ορίων της χοιροτροφικής μονάδας

Παρατηρούμε ότι όσο προσεγγίζουμε την χοιροτροφική μονάδα από τα νότια, η συγκέντρωση των ιόντων νατρίου στα εξεταζόμενα δείγματα αυξάνεται. Η συγκέντρωση του νατρίου είναι μεγάλη σε μικρές αποστάσεις από τη χοιροτροφική μονάδα, ενώ όσο η απόσταση αυξάνεται τόσο μειώνεται και η αντίστοιχη συγκέντρωση. Παρατηρούμε όμως, ότι για ακόμα μια φορά δε προέκυψαν τα αναμενόμενα αποτελέσματα για όλες τις μετρήσεις αφού βορειοδυτικά και βορειοανατολικά των 450m και 850m αντίστοιχα, η μέση συγκέντρωση του νατρίου είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από το αναμενόμενο.

Η μέση συγκέντρωση του νατρίου που μετρήθηκε στα δείγματα που συλλέχθηκαν, κυμαίνεται μεταξύ 1.83 και 21.16 mg/l. Η μικρότερη συγκέντρωση μετρήθηκε στις 18-5-2009 νοτιοανατολικά της χοιροτροφικής μονάδας σε απόσταση 450m. Η μεγαλύτερη συγκέντρωση μετρήθηκε στις 9/1/2010 βορειοανατολικά της μονάδας και σε απόσταση 850m.

3.3 ΑΣΒΕΣΤΙΟ

Στο σχήμα 3.3.1 απεικονίζονται τα ραβδογράμματα τα οποία δείχνουν τις μέσες τιμές των συγκεντρώσεων του ασβεστίου στα δείγματα του νερού γεώτρησης, που πάρθηκαν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, σε συνάρτηση με την απόστασή τους, νότια και βόρεια της χοιροτροφικής μονάδας.



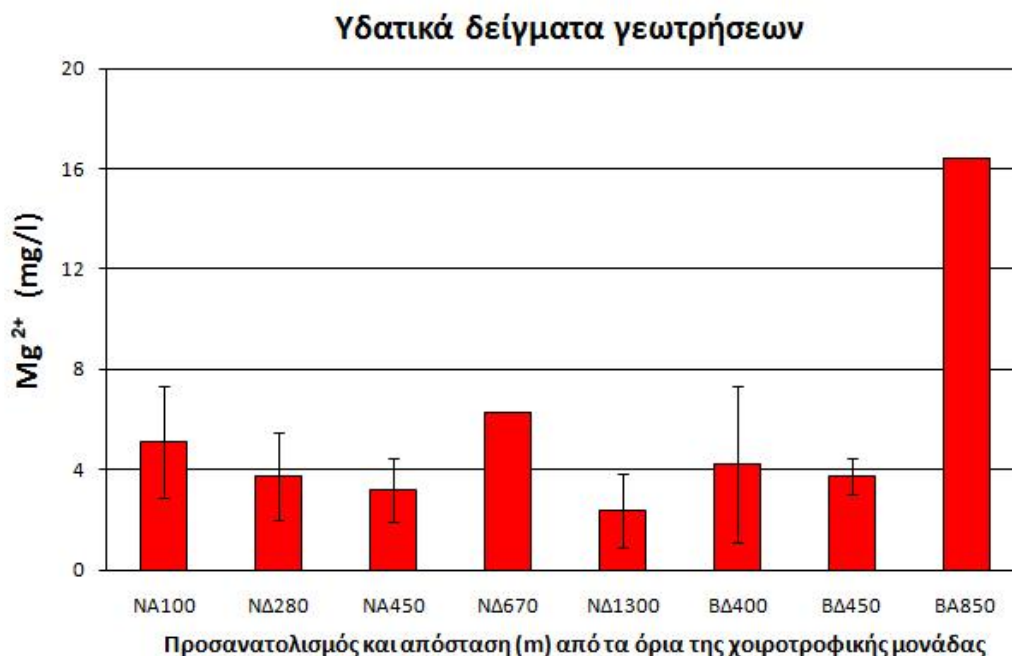
Σχήμα 3.3.1: Μέσες συγκεντρώσεις ασβεστίου σε νερά γεωτρήσεων σε συνάρτηση με την απόσταση της θέσης δειγματοληψίας νότια και βόρεια των ορίων της χοιροτροφικής μονάδας

Παρατηρούμε ότι όσο προσεγγίζουμε την χοιροτροφική μονάδα, η συγκέντρωση των ιόντων ασβεστίου στα εξεταζόμενα δείγματα αυξάνεται. Η συγκέντρωση του ασβεστίου είναι μεγάλη σε μικρές αποστάσεις από τη χοιροτροφική μονάδα, ενώ όσο η απόσταση αυξάνεται τόσο μειώνεται και η αντίστοιχη συγκέντρωση. Παρατηρούμε όμως, ότι για ακόμα μια φορά δε προέκυψαν τα αναμενόμενα αποτελέσματα για όλες τις μετρήσεις. Πιο συγκεκριμένα, βορειοανατολικά στα 850m η μέση συγκέντρωση του ασβεστίου είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από ότι αναμέναμε.

Η συγκέντρωση του ασβεστίου που μετρήθηκε στα δείγματα που συλλέχθηκαν, κυμαίνεται μεταξύ 6.72 και 53.58 mg/l. Η μικρότερη συγκέντρωση μετρήθηκε στις 20-4-2009 νοτιοανατολικά της χοιροτροφικής μονάδας σε απόσταση 450m. Η μεγαλύτερη συγκέντρωση μετρήθηκε στις 5/11/2009 νοτιοανατολικά της μονάδας και σε απόσταση 100m.

3.4 ΜΑΓΝΗΣΙΟ

Στο σχήμα 3.4.1 απεικονίζονται τα ραβδογράμματα τα οποία δείχνουν τις μέσες τιμές των συγκεντρώσεων του μαγνησίου στα δείγματα του νερού γεώτρησης, που πάρθηκαν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, σε συνάρτηση με την απόστασή τους, νότια και βόρεια της χοιροτροφικής μονάδας.



Σχήμα 3.4.1: Μέσες συγκεντρώσεις μαγνησίου σε νερά γεωτρήσεων σε συνάρτηση με την απόσταση της θέσης δειγματοληψίας νότια και βόρεια των ορίων της χοιροτροφικής μονάδας

Παρατηρούμε ότι όσο προσεγγίζουμε την χοιροτροφική μονάδα, η συγκέντρωση των ιόντων μαγνησίου στα εξεταζόμενα δείγματα αυξάνεται. Η συγκέντρωση του μαγνησίου είναι μεγάλη σε μικρές αποστάσεις από τη χοιροτροφική μονάδα, ενώ όσο η απόσταση αυξάνεται τόσο μειώνεται και η αντίστοιχη συγκέντρωση. Παρατηρούμε όμως, ότι για ακόμα μια φορά δε προέκυψαν τα αναμενόμενα αποτελέσματα για όλες τις μετρήσεις. Πιο συγκεκριμένα, νοτιοδυτικά στα 670m αλλά και βορειοανατολικά στα 850m οι μέσες τιμές του μαγνησίου είναι κατά πολύ μεγαλύτερες από αυτές που περιμέναμε.

Η συγκέντρωση του μαγνησίου που μετρήθηκε στα δείγματα που συλλέχθηκαν, κυμαίνεται μεταξύ 1.04 και 16.41 mg/l. Η μικρότερη συγκέντρωση μετρήθηκε στις 9-12-2009 νοτιοδυτικά της χοιροτροφικής μονάδας σε απόσταση 1300m. Η μεγαλύτερη συγκέντρωση μετρήθηκε στις 9/1/2010 βορειοανατολικά στα 850m.

4. ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

4.1 ΑΜΜΩΝΙΑΚΑ ΙΟΝΤΑ

Στα σχήμα 4.1.1 απεικονίζονται τα ραβδογράμματα τα οποία δείχνουν τις μέσες τιμές των συγκεντρώσεων των αμμωνιακών ιόντων στα δείγματα του νερού γεώτρησης, που πάρθηκαν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, σε συνάρτηση με την απόσταση τους, νότια και βόρεια της χοιροτροφικής μονάδας.



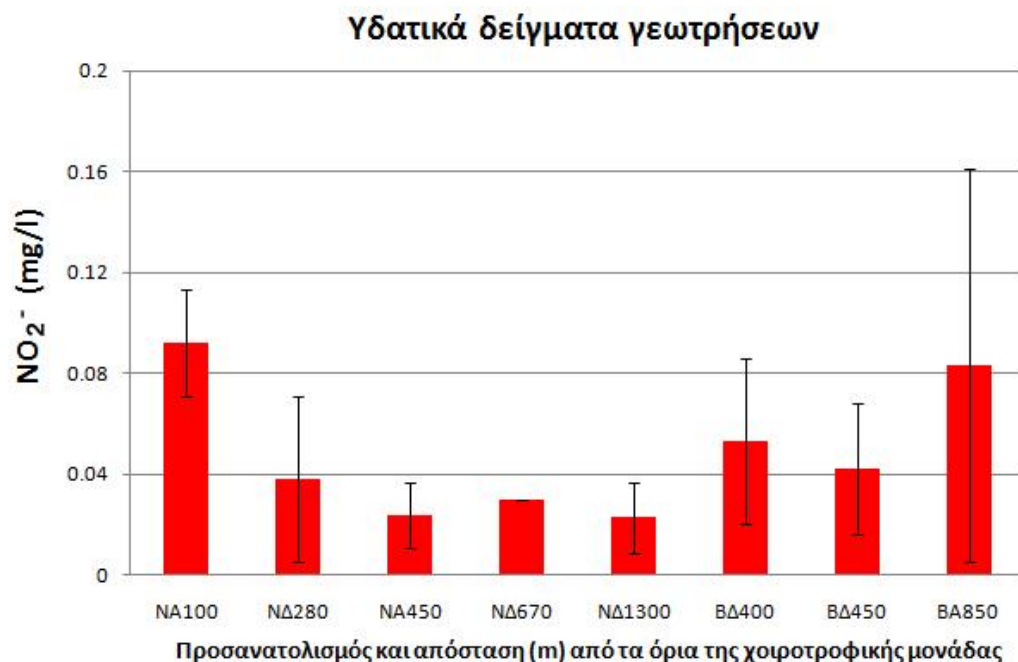
Σχήμα 4.1.1: Μέσες συγκεντρώσεις αμμωνιακών ιόντων σε νερά γεωτρήσεων σε συνάρτηση με την απόσταση της θέσης δειγματοληψίας νότια και βόρεια των ορίων της χοιροτροφικής μονάδας

Παρατηρούμε ότι όσο προσεγγίζουμε την χοιροτροφική μονάδα ανεξαρτήτως του προσανατολισμού, η συγκέντρωση των αμμωνιακών ιόντων στα εξεταζόμενα δείγματα αυξάνεται. Η συγκέντρωση των αμμωνιακών ιόντων είναι μεγάλη σε μικρές αποστάσεις από τη χοιροτροφική μονάδα, ενώ όσο η απόσταση αυξάνεται τόσο μειώνεται και η αντίστοιχη συγκέντρωση. Πιο συγκεκριμένα NA 100m από τη μονάδα η συγκέντρωση των αμμωνιακών ιόντων έχει υπερβεί πάνω από 20 φορές την ανώτατη τιμή που έχει θεσπιστεί για το πόσιμο νερό γεγονός που μας οδηγεί να αντιληφθούμε καλύτερα την ένταση του προβλήματος. Για ακόμα μια φορά δεν προκύπτουν τα αναμενόμενα αποτελέσματα για την περιοχή που βρίσκεται βορειοανατολικά της μονάδας στα 850m.

Η συγκέντρωση των αμμωνιακών ιόντων που μετρήθηκε στα δείγματα που συλλέχθηκαν, κυμαίνεται μεταξύ 0.02 και 14.22 mg/l. Η μικρότερη συγκέντρωση μετρήθηκε στις 16-11-2009 νοτιοδυτικά της χοιροτροφικής μονάδας σε απόσταση 1300m. Η μεγαλύτερη συγκέντρωση μετρήθηκε στις 9/12/2009 νοτιοανατολικά της μονάδας και σε απόσταση 100m.

4.2 ΝΙΤΡΩΔΗ ΙΟΝΤΑ

Στα σχήμα 4.2.1 απεικονίζονται τα ραβδογράμματα τα οποία δείχνουν τις μέσες τιμές των συγκεντρώσεων των νιτρικών ιόντων στα δείγματα του νερού γεωτρήσεων, που πάρθηκαν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, σε συνάρτηση με την απόστασή τους, νότια και βόρεια της χοιροτροφικής μονάδας.



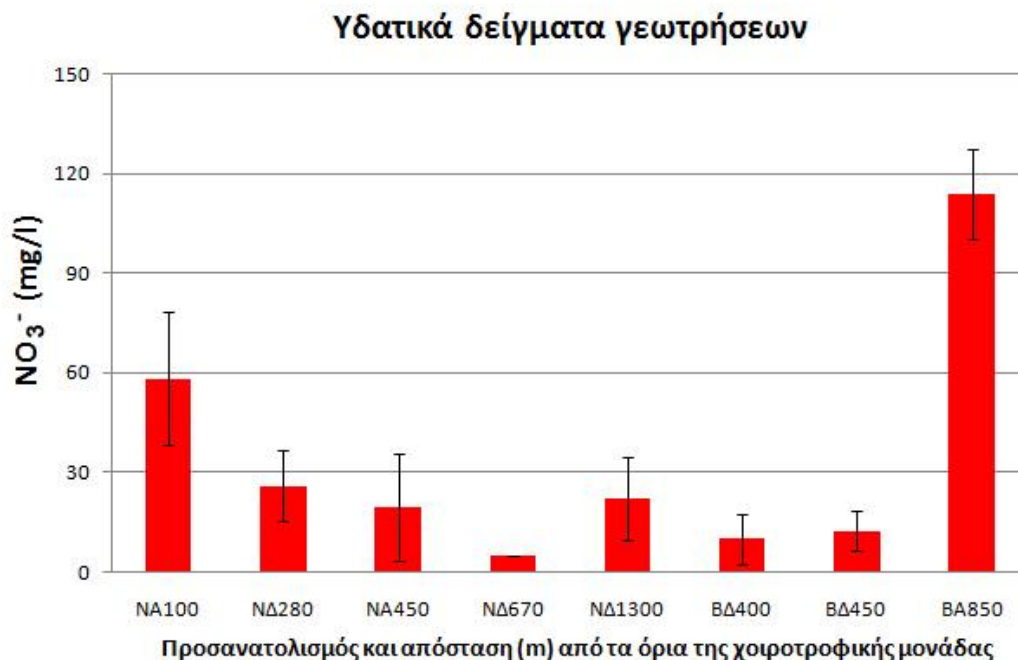
Σχήμα 4.2.1: Μέσες συγκεντρώσεις νιτρικών ιόντων σε νερά γεωτρήσεων σε συνάρτηση με την απόσταση της θέσης δειγματοληψίας νότια και βόρεια των ορίων της χοιροτροφικής μονάδας

Παρατηρούμε ότι όσο προσεγγίζουμε την χοιροτροφική μονάδα ανεξαρτήτως του προσανατολισμού, η συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων στα εξεταζόμενα δείγματα αυξάνεται. Η συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων είναι μεγάλη σε μικρές αποστάσεις από τη χοιροτροφική μονάδα, ενώ όσο η απόσταση αυξάνεται τόσο μειώνεται και η αντίστοιχη συγκέντρωση. Παρατηρούμε ότι νότιανατολικά της μονάδας σε απόσταση 100m η μέση τιμή της συγκέντρωσης των NO₂⁻ έχει αρκετά μεγάλη απόκλιση από τις υπόλοιπες μετρήσεις αγγίζοντας το ανώτατο επιτρεπτό όριο των νιτρικών που έχει θεσπιστεί για το πόσιμο νερό. Το γεγονός αυτό ήταν αναμενόμενο ύστερα από τα δεδομένα που καταγράφηκαν για τα αμμωνιακά ιόντα καθώς η αμμωνία μετατρέπεται μετά από μια σειρά αντιδράσεων σε νιτρικά ιόντα.

Η συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων που μετρήθηκε στα δείγματα που συλλέχθηκαν, κυμαίνεται μεταξύ (<0.002) και 0.53 mg/l. Η μικρότερη συγκέντρωση μετρήθηκε στις 18/5/2009, 24/5/2009, 6/9/2009 και στις 5-11-2009 νοτιοδυτικά, βορειοδυτικά και βορειοανατολικά της χοιροτροφικής μονάδας στα 280, 400, 450, 850m και 1300m αντίστοιχα. Η μεγαλύτερη συγκέντρωση μετρήθηκε στις 20/2/2010 νοτιοδυτικά της μονάδας και σε απόσταση 670m.

4.3 ΝΙΤΡΙΚΑ ΙΟΝΤΑ

Στο σχήμα 4.3.1 απεικονίζονται τα ραβδογράμματα τα οποία δείχνουν τις μέσες τιμές των συγκεντρώσεων των νιτρικών ιόντων στα δείγματα του νερού γεωτρήσεων, που πάρθηκαν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, σε συνάρτηση με την απόστασή τους, νότια και βόρεια της χοιροτροφικής μονάδας.



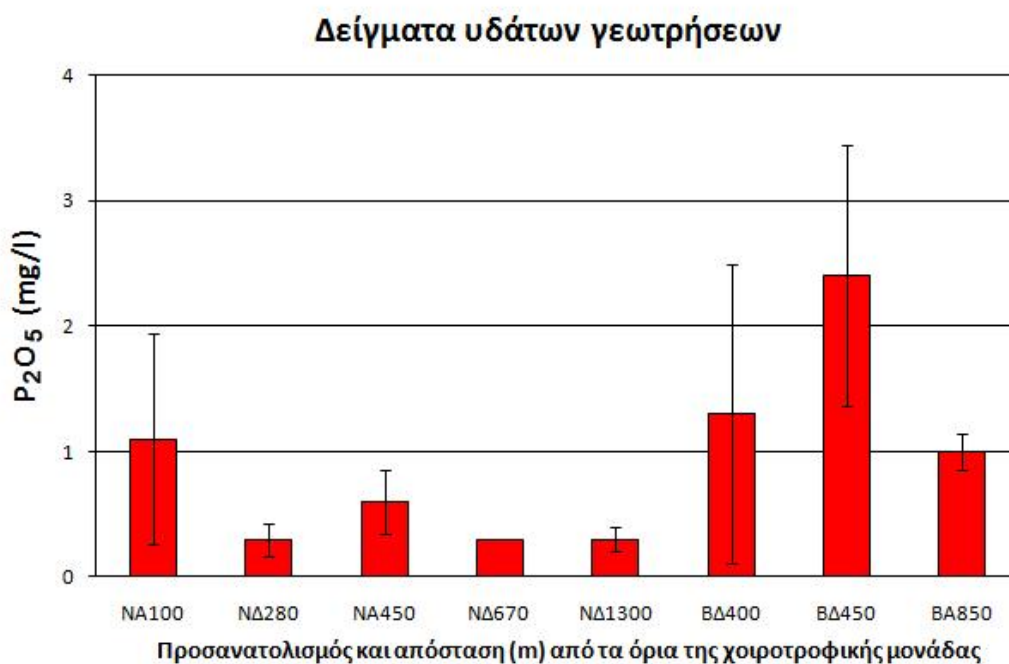
Σχήμα 4.3.1: Μέσες συγκεντρώσεις νιτρικών ιόντων σε νερά γεωτρήσεων σε συνάρτηση με την απόσταση της θέσης δειγματοληψίας νότια και βόρεια των ορίων της χοιροτροφικής μονάδας

Παρατηρούμε ότι όσο προσεγγίζουμε την χοιροτροφική μονάδα, η συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων στα εξεταζόμενα δείγματα αυξάνεται. Η συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων είναι μεγάλη σε μικρές αποστάσεις από τη χοιροτροφική μονάδα, ενώ όσο η απόσταση αυξάνεται τόσο μειώνεται και η αντίστοιχη συγκέντρωση. Όπως ήταν αναμενόμενο βλέπουμε ότι η μέση συγκέντρωση νιτρικών ιόντων NA στα 100m από τη μονάδα έχει ξεπεράσει αρκετά την ανώτατη τιμή που έχει οριστεί για το πόσιμο νερό. Επιπλέον παρατηρούμε ότι για άλλη μια φορά δε προκύπτουν τα αναμενόμενα αποτελέσματα για τα δείγματα που πάρθηκαν από την γεωγραφική θέση BA της μονάδας στα 850m.

Η συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων που μετρήθηκε στα δείγματα που συλλέχθηκαν, κυμαίνεται μεταξύ 2.2 και 124.9 mg/l. Η μικρότερη συγκέντρωση μετρήθηκε στις 16/11/2009 νοτιοδυτικά της χοιροτροφικής μονάδας στα 1300m. Η μεγαλύτερη συγκέντρωση μετρήθηκε στις 20/7/2009 βορειοανατολικά της μονάδας και σε απόσταση 850m.

4.4 ΦΩΣΦΟΡΙΚΑ ΙΟΝΤΑ

Στο σχήμα 4.4.1 απεικονίζονται τα ραβδογράμματα τα οποία δείχνουν τις μέσες τιμές των συγκεντρώσεων των φωσφορικών ιόντων στα δείγματα του νερού γεώτρησης, που πάρθηκαν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, σε συνάρτηση με την απόσταση τους, νότια και βόρεια της χοιροτροφικής μονάδας.



Σχήμα 4.4.1: Μέσες συγκεντρώσεις φωσφορικών ιόντων σε νερά γεωτρήσεων σε συνάρτηση με την απόσταση της θέσης δειγματοληψίας νότια και βόρεια των ορίων της χοιροτροφικής μονάδας

Παρατηρούμε ότι όσο προσεγγίζουμε την χοιροτροφική μονάδα ανεξαρτήτως του προσανατολισμού, η συγκέντρωση των φωσφορικών ιόντων στα εξεταζόμενα δείγματα αυξάνεται. Η συγκέντρωση των φωσφορικών ιόντων είναι μεγάλη σε μικρές αποστάσεις από τη χοιροτροφική μονάδα, ενώ όσο η απόσταση αυξάνεται τόσο μειώνεται και η αντίστοιχη συγκέντρωση. Δε συμβαίνει όμως και το ίδιο για τις θέσεις που βρίσκονται ΝΑ της μονάδας στα 450m και ΒΔ της μονάδας επίσης στα 400m μια μη αναμενόμενη αυξημένη μέση συγκέντρωση των φωσφορικών ιόντων.

Η συγκέντρωση των φωσφορικών ιόντων που μετρήθηκε στα δείγματα που συλλέχθηκαν, κυμαίνεται μεταξύ 0.2 και 3.1 mg/l. Η μικρότερη συγκέντρωση μετρήθηκε στις 2/3/2009 στις 20/4/2009 στις 13/7/2009 και στις 20/2/2010 νοτιανατολικά στα 100m και νοτιοδυτικά της χοιροτροφικής μονάδας στα 280 και 1300m αντίστοιχα. Η μεγαλύτερη συγκέντρωση μετρήθηκε στις 5/11/2009 βορειοδυτικά της μονάδας και σε απόσταση 450m.

IV. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όπως γνωρίζουμε, οι κτηνοτροφικές μονάδες υψηλής δυναμικότητας (CAFOs) εκπέμπουν τεράστιες ποσότητες υγρών, στερεών αποβλήτων και αέριων ρύπων με πρωτεύων σημασία για την ρύπανση των υπόγειων υδάτων και όχι μόνο, να κατέχει η αέρια αμμωνία. Από τα αποτελέσματα των πειραμάτων που προηγήθηκαν για την εξεταζόμενη χοιροτροφική μονάδα που βρίσκεται στην περιοχή του Λατζιμά Ρεθύμης, είναι εμφανές ότι, η μέση τιμή της συγκέντρωσης των αμμωνιακών ιόντων είναι 20πλάσια της επιτρεπόμενης τιμής για το πόσιμο νερό. Το γεγονός αυτό μας οδηγεί σε πρώτο στάδιο, στη συνειδητοποίηση της έκτασης της μόλυνσης αλλά και της επικινδυνότητας του προβλήματος, που απειλεί άμεσα τη δημόσια υγεία.

Ηλεκτρική αγωγιμότητα

Με βάση τις πειραματικές μετρήσεις και τα διαγράμματα που προέκυψαν, διαπιστώνουμε ότι κοντά στα όρια της χοιροτροφικής μονάδας, η ηλεκτρική αγωγιμότητα των υπογείων υδάτων αυξάνεται.

Όπως είναι γνωστό, η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι η αριθμητική έκφραση των ηλεκτρικών φορτίων που περιέχονται στο υδατικό διάλυμα. Η αγωγιμότητα ενός υδατικού διαλύματος, καθορίζεται κυρίως από την ολική συγκέντρωση των ευδιάλυτων αλάτων, που περιέχονται στο δείγμα. Όσο υψηλότερη είναι η συγκέντρωση των ευδιάλυτων αλάτων τόσο μεγαλύτερη είναι και η ηλεκτρική αγωγιμότητα. Η αυξημένη παραγωγή υδρογονιόντων (H^+) στο έδαφος κοντά στη χοιροτροφική μονάδα, οδηγεί σε αντικατάσταση των βασικών κατιόντων (κάλιο, νάτριο, ασβέστιο, μαγνήσιο), που είναι προσροφημένα στα κolloειδή του εδάφους. Στη συνέχεια, τα βασικά κατιόντα καλίου, νατρίου, ασβεστίου και μαγνησίου, απομακρύνονται από το εδαφικό διάλυμα, με την καθοδική κίνηση του νερού (διήθηση), με αποτέλεσμα να αυξάνεται η συγκέντρωση των ιόντων αυτών στα υπόγεια ύδατα και κατά συνέπεια να αυξάνεται και η ηλεκτρική αγωγιμότητα.

Βασικά μεταλλικά κατιόντα

Οι πειραματικές μετρήσεις και τα διαγράμματα που προέκυψαν δείχνουν ότι, η λειτουργία της χοιροτροφικής μονάδας μεγάλης δυναμικότητας, προκαλεί αύξηση της περιεκτικότητας των υπογείων υδάτων των ιόντων καλίου, νατρίου, ασβεστίου και μαγνησίου.

Η εντονότερη έκπλυση των βασικών μεταλλικών κατιόντων, οφείλεται στη μείωση του εδαφικού pH πλησίον της χοιροτροφικής μονάδας.

Γενικά, το pH αποτελεί κύριο ρυθμιστικό παράγοντα ανταγωνισμού των ιόντων του εδάφους, διότι ελέγχει την παρουσία των αργιλοκατιόντων (Al^{3+}), υδροξυαργιλίων και υδρογονιόντων (H^+). Όταν το εδαφικό pH μειώνεται, η συγκέντρωση των υδρογονιόντων (H^+) αλλά και των αργιλοκατιόντων (Al^{3+}) αυξάνεται με αποτέλεσμα να είναι λιγότερα τα διαθέσιμα αρνητικά φορτία στο έδαφος. Τα (H^+) και τα (Al^{3+}) ανταγωνίζονται και εκτοπίζουν τα βασικά μεταλλικά κατιόντα (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) από τις αρνητικά φορτισμένες θέσεις συγκράτησης

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. Εν συνεχεία, τα κατιόντα αυτά μεταφέρονται από το εδαφσύμπλοκο στο εδαφοδιάλυμα, όπου και παρασύρονται ευκολότερα από την εδαφική κίνηση του νερού και καταλήγουν στα επιφανειακά ή τα υπόγεια ύδατα. Στην ευκολότερη έκπλυσή των κατιόντων αυτών από το εδαφοδιάλυμα, βασικό ρόλο καταλαμβάνει και ο τύπος του εδάφους που όπως βρέθηκε είναι ιλυοπηλώδης, δηλαδή έδαφος με σχετικά μεγάλη κοκκομετρία, λόγω των λιγοστών λεπτόκοκκων συστατικών (αργιλώδη σωματίδια).

Αμμωνιακά, νιτρικά και νιτρώδη ιόντα

Οι πειραματικές μετρήσεις και τα διαγράμματα που προέκυψαν δείχνουν ότι, η λειτουργία της χοιροτροφικής μονάδας μεγάλης δυναμικότητας, προκαλεί αύξηση της συγκέντρωσης των αμμωνιακών, νιτρικών και νιτρώδων ιόντων των υπογείων υδάτων σε μικρές αποστάσεις από αυτή.

Γενικά οι κτηνοτροφικές μονάδες υψηλής δυναμικότητας, παράγουν τεράστιες ποσότητες ζωικών αποβλήτων, που περιέχουν πολύ μεγάλες ποσότητες αμμωνίας η οποία ως πολύ πτητικό αέριο που είναι, μετακινείται γρήγορα προς τα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, όπου προσροφάται από τα σταγονίδια που βρίσκονται στα σύννεφα, εξουδετερώνοντας τα οξέα που υπάρχουν σε αυτά και σχηματίζουν αερολύματα και στερεολύματα τα οποία τελικώς επικάθονται στο έδαφος υπό μορφή σκόνης ή μέσω της βροχής.

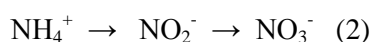
Η συγκέντρωση της αμμωνίας στο έδαφος αυξάνεται επίσης από, την αποικοδόμηση της ουρίας, την απαμίνωση των αζωτούχων οργανικών ενώσεων και λιγότερο στην αναγωγή των νιτρικών από αναερόβια βακτήρια.

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 :



Η (1) μετατοπίζεται σε αλκαλικό περιβάλλον προς τα αριστερά ενώ σε όξινο προς τα δεξιά.

Σύμφωνα με την παρακάτω σχέση (2) τα νιτρώδη ιόντα, είναι ενδιάμεσα προϊόντα που προκύπτουν τόσο κατά την οξείδωση της αμμωνίας προς νιτρικά, όσο και την αναγωγή των νιτρικών προς αμμωνία ενώ τα νιτρικά ιόντα αποτελούν το τελικό στάδιο οξείδωσης των αζωτούχων ενώσεων. Τα νιτρώδη ιόντα, μετασχηματίζονται σχεδόν αμέσως σε νιτρικά κατά την οξείδωση της αμμωνίας ή σε αμμωνιακά κατά την αναγωγή των νιτρικών, με αποτέλεσμα να μην παρατηρούνται πολύ αυξημένες συγκεντρώσεις τους στα υπόγεια ύδατα.



Προκειμένου να λάβει χώρα έκπλυση NO_3^- μεγάλης έκτασης πρέπει να ικανοποιούνται δύο βασικές προϋποθέσεις:

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

Η έκπλυση αφορά στην απομάκρυνση, μέσω των βροχοπτώσεων, των NH_4^+ και των NO_3^- και δευτερευόντως των NO_2^- είτε κατά βάθος, είτε πλευρικός. Συγκριτικά, η έκπλυση των NH_4^+ είναι πολύ μικρότερη και μπορεί να αποβεί υπολογίσιμη μόνο σε λεπτόκκοκα εδάφη. Τα αμμώδη εδάφη συγκρατούν μικρότερο ποσοστό υγρασίας από τα αργιλώδη και διευκολύνουν την έκπλυση των NO_3^- . Από την ανάλυση του εδάφους που πραγματοποιήθηκε κοντά στη χοιροτροφική μονάδα, βρέθηκε ότι το έδαφος είναι ιλυοπηλώδες δηλαδή παρουσιάζει μεγάλη περιεκτικότητα σε ίλυ και άμμο, ενώ δεν περιέχει σχεδόν καθόλου άργιλο. Έτσι στην διαδικασία εμπλουτισμού των υπόγειων υδάτων πρωταρχικό ρόλο κατέχουν, η μεγάλη συγκέντρωση των ιόντων αυτών στο έδαφος κοντά στη μονάδα και το είδος του εδάφους (υλιοπηλώδες), το οποίο δεν παρέχει μεγάλη προστασία στα υπόγεια ύδατα, καθώς δεν παρακρατεί πολύ νερό.

Φωσφορικά ιόντα

Όπως συμβαίνει με τα περισσότερα θρεπτικά στοιχεία, λαμβάνει χώρα έκπλυση κατά τον κύκλο του φωσφόρου, δηλαδή ο φώσφορος μεταφέρεται από το έδαφος στα υπόγεια ύδατα. Η απομάκρυνση του υδατοδιαλυτού και σωματιδιακού φωσφόρου από το έδαφος προς τις υπόγειες υδάτινες αποθήκες μπορεί να λάβει χώρα κυρίως με 2 διαδικασίες: Αρχικά με επιφανειακή απομάκρυνση από το έδαφος μέσω των βροχοπτώσεων και της διάβρωσης του εδάφους. Απομάκρυνση επίσης επιτυγχάνεται μέσω της διαδικασίας της έκπλυσης (leaching).

Οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η δέσμευση και η διαλυτοποίηση του εδαφικού P είναι:

Το pH, η περιεκτικότητα του εδαφοδιαλύματος σε ιόντα Al, Fe και Mn, η παρουσία σε στερεά φάση ορυκτών ενώσεων του Fe, Al και Mn.

Όμως, η διαθεσιμότητα του P σε πολύ όξινο pH επηρεάζεται αρνητικά από την παρουσία διαλυτών ιόντων Fe και Al.

Συζήτηση

Η λειτουργία κτηνοτροφικών μονάδων μεγάλης δυναμικότητας, έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του εδαφικού pH όπου με τη σειρά του, έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των βασικών μεταλλικών κατιόντων του εδάφους (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) και την ταυτόχρονη αύξηση των κατιόντων αυτών στα υπόγεια ύδατα λόγω έκπλυσης.

Η μείωση του pH, οδηγεί σε μεταβολές των φυσικοχημικών ιδιοτήτων των υδάτων, καθώς επηρεάζει πολλά χημικά στοιχεία. Η συγκέντρωση των K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} στα υπόγεια ύδατα αυξάνεται και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι τιμές του νερού να ξεπερνούν τα επιτρεπόμενα όρια που το χαρακτηρίζουν πόσιμο, με αποτέλεσμα να είναι ακατάλληλο για ανθρώπινη χρήση.

Η λίπανση που προκαλείται, λόγω της μεγάλης διαθεσιμότητας του αζώτου και του φωσφόρου στο νερό πλησίον της χοιροτροφικής μονάδας, έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία του φαινομένου του ευτροφισμού και έλλειψη οξυγόνου, γεγονός που οδηγεί στη διαταραχή του οικοσυστήματος καθώς τα φυσικά οικοσυστήματα με μικρές ανάγκες σε άζωτο απειλούνται άμεσα.

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.

Θέματα για διερεύνηση – προοπτικές

Στη παρούσα εργασία μελετήθηκε η μεταβολή των ιδιοτήτων (ηλεκτρική αγωγιμότητα) και της σύστασης των ιόντων (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , P_2O_5) στα υπόγεια ύδατα πλησίον χοιροτροφικής μονάδας υψηλής δυναμικότητας.

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 στα υπόγεια ύδατα, σε διαφορετικές χρονικές περιόδους, για να εκτιμηθεί, σε ποιες συνθήκες είναι πιο έντονες οι επιπτώσεις που προκαλούνται από τη λειτουργία της συγκεκριμένης μονάδας. Σε αυτή τη περίπτωση θα ήταν αναγκαίο να παρθούν δείγματα σε διαφορετικές χρονικές στιγμές από ίδιες όμως θέσεις δειγματοληψίας. Γνωρίζουμε επίσης ότι σε περιοχές με μακρά περίοδο ξηρασίας, εμφανίζονται υψηλές συγκεντρώσεις ορισμένων ιόντων, όπως τα Na^+ , ενώ σε περιοχές με συχνές βροχοπτώσεις εμφανίζονται μικρές συγκεντρώσεις. Στη περίπτωση αυτή θα χρειαστεί να γίνει εκτενέστερη μελέτη κατά τους θερινούς και χειμερινούς μήνες για να εξακριβωθεί αν υπάρχει κάποια άμεση συσχέτιση με την αύξηση ή μείωση των συγκεντρώσεων των ιόντων που εξετάσαμε και στα υπόγεια ύδατα.

Επίσης, επειδή στη παρούσα εργασία, μελετήθηκε η μεταβολή των ιδιοτήτων και της σύστασης των υπόγειων υδάτων, νότια και βόρεια της μονάδας, θα μπορούσε να γίνει, για πληρέστερη μελέτη, δειγματοληψία από όλες τις κατευθύνσεις γύρω από τη μονάδα, καθώς επίσης και από διαφορετικά βάθη γεωτρήσεων.

Σημαντική παράμετρος επίσης, είναι και ο τύπος του υδροφορέα της περιοχής, οπότε θα μπορούσε να γίνει μια ακόμα πιο ολοκληρωμένη μελέτη, με σκοπό να εκτιμηθεί η έκταση της μόλυνσης των υπογείων υδάτων.

Τέλος, θα μπορούσε να γίνει έρευνα, για να εκτιμηθούν οι επιπτώσεις της λειτουργίας μεγάλης κτηνοτροφικής μονάδας, στην ατμόσφαιρα, στο επιφανειακό έδαφος, αλλά και στη φυσική χλωρίδα.

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. Γεωργακάκης, «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] 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.
- [20] 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.
- [21] Π. Λατινόπουλος, Νικόλαος Θεοδόσιος, «Εκμετάλλευση και προστασία των υπόγειων υδατικών πόρων», Τμήμα πολιτικών μηχανικών, Τομέας υδραυλικής και τεχνικής περιβάλλοντος, Αριστοτέλειο πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, σελ 1-6, 9, 13-18, 20-21, 28-29, 32, Θεσσαλονίκη 2007

- [22] Μ. Οξενκιουν-Πετροπούλου, «Περιβάλλον, έλεγχος και προστασία νερού», εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 1996, σελ 7-10, 21-25, 29, 61-67.
- [23] Μ. Λοιζίδου, «Υγρά απόβλητα», σημειώσεις για το μάθημα «Περιβάλλον», εκδοσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2003, σελ 1-5.
- [24] Φ. Ρήγας, «Επιστήμη και τεχνολογία περιβάλλοντος», εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2003, σελ 50-56, 115-116.
- [25] Μ. Λοιζίδου, «Εισαγωγή στο περιβάλλον», σημειώσεις για το μάθημα «Περιβάλλον», εκδοσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2003, σελ 38-44.
- [26] Κ. Kalabokidis, (2000). Effects of Wildfire Suppression Chemicals on people and the Environment-a Review. *Global Nest: The International Journal* 2, 129-137.
- [27] Hem John D. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water, 3rd ed. Alexandria, V. A.: Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Water-Supply Paper 2254(1985).
- [28] Σ. Ε. Κουφοπούλου, «Περιβαλλοντικές επιπτώσεις επιβραδυντών δασικών πυρκαγιών σε έδαφος και υπόγεια νερά: μελέτη σε εργαστηριακή κλίμακα», Τμήμα Χημικών μηχανικών, Διδακτορική διατριβή Ε.Μ.Π, Αθήνα 2008, σελ 56-70, 75-84, 101-126
- [29] D. L. Rowell, *Soil Science: Methods and applications*, Pearson/ Prentice Hall, 1994.
- [30] Δ. Α. Αναλογίδης, «Έδαφος, θρεπτικά στοιχεία και φυτική παραγωγή», Εκδόσεις Αγρότυπος, σελ 307-361, Αθήνα 2000.
- [31] Γ. Παππά, «Υγειονομική σημασία των χημικών παραμέτρων στο πόσιμο νερό», Αθήνα 2001, σελ 2-8.
http://www.waterinfo.gr/eedyp/Paros_papers/pappa_g.pdf
- [32] Χ. Μιχαλοπούλου, «Νομοθεσία για το περιβάλλον», εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη 2004, σελ 18-25, 372.
- [33] Ι. Ν. Θεριός, «Ανόργανη Θρέψη και Λιπάσματα», εκδόσεις Γαρταγάνη, Θεσσαλονίκη 2005, σελ 67.

- [34] 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
- [35] Δ. Αλιφραγκής, «Το έδαφος, Γένεση-Ιδιότητες-Ταξινόμηση», Τόμος 1, Πρώτη έκδοση, Εκδόσεις Αιβαζή, Θεσσαλονίκη 2008, σελ 154-175, 231-247, 405-487
- [36] Ε. Ζανάκη, «Έλεγχος Ποιότητας Νερού», ΕΛΚΕΠΑ, εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα 1983, σελ 15-55, 2^η έκδοση.
- [37] Miller G. Tyler, "Environmental Science", Wadsworth Publ. Co., USA, 1997
- [38] The Fu Yen, "Environmental Chemistry", Pearson Prentice Hall, USA, 1999
- [39] R. T. Wright, " Environmental Science", Pearson Prentice Hall, 9th Edition, USA, 2005
- [40] 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.
- [41] 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.
- [42] 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.
- [43] 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.
- [44] 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.
- [45] EN ISO 5667.03/December 1995, Water quality-Sampling-Part3: Guidance on the preservation and handling of samples.

- [46] Δ. Γεωργακάκης «Επεξεργασία και Διάθεση Αποβλήτων Κτηνοτροφικών Μονάδων και Γεωργικών Βιομηχανιών», εκδόσεις Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, Αθήνα 1998, σελ 314-318.
- [47] Μ. Όξενκιουν-Πετροπούλου, «Φασματομετρικές Μέθοδοι », εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 2006, σελ 123-126, 293.
- [48] Ο.Κοντογιάννης, «Προσδιορισμός pH, ηλεκτρικής αγωγιμότητας, K, Ca, Mg, στο έδαφος πλησίον χοιροτροφικής μονάδας μεγάλης δυναμικότητας στη βόρεια Κρήτη», Τμήμα Χημικών μηχανικών, Διπλωματική Εργασία Ε.Μ.Π, Αθήνα 2011, σελ 88-89

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

**ΠΡΩΤΟΓΕΝΕΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΑ
ΝΕΡΟΥ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ**

Πίνακας 1: Αποτελέσματα μετρήσεων ηλεκτρικής αγωγιμότητας στα δείγματα νερού γεωτρήσεων νότια των ορίων της χοιροτροφικής μονάδας.

περίοδοι	Ηλεκτρική Αγωγιμότητα				
	NA100	NΔ280	NA450	NΔ670	NΔ1300
2/3/2009	1799	1069	--	--	--
20/4/2009	1896	1007	833	--	953
24/5/2009	1608	939	976	--	845
13/7/2009	1697	1022	--	--	--
20/7/2009	1416	--	--	--	--
6/9/2009	1447	1083	--	--	--
27/9/2009	1629	1100	1037	--	--
5/11/2009	2104	852	1113	--	--
16/11/2009	1873	1172	1185	--	--
9/12/2009	1583	--	915	--	722
9/1/2010	2028	1113	--	--	--
20/2/2010	--	--	--	820	961

Πίνακας 2: Μετρήσεις ηλεκτρικής αγωγιμότητας, υπολογισμός μέσης ηλεκτρικής αγωγιμότητας και υπολογισμός *standard deviation* στα δείγματα νερού γεωτρήσεων που ελήφθησαν τη χρονική περίοδο 2/3/09 έως 20/2/10 σε απόσταση από 100 έως 1300m νότια των ορίων της χοιροτροφικής μονάδας.

N/NA/NΔ πλευρά	μS/cm										Μέσο μS/cm	SD
100	1799	1896	1608	1697	1416	1447	2104	1873	1583	2028	1745	234.6233
280	1069	1007	939	1022	1083	1100	852	1172	1113		1040	97.46858
450	833	976	1037	1113	1185	915					1010	129.2076
670	820										820	0
1300	953	845	722	961							870	112.0997

Πίνακας 3: Αποτελέσματα μετρήσεων ηλεκτρικής αγωγιμότητας στα δείγματα νερού γεωτρήσεων βόρεια των ορίων της χοιροτροφικής μονάδας.

Ηλεκτρική Αγωγιμότητα			
περίοδοι	ΒΔ400	ΒΔ450	ΒΑ850
20/4/2009	--	--	--
13/7/2009	777	945	--
20/7/2009	--	305	1789
6/9/2009	--	--	57502
27/9/2009	749	1049	2049
5/11/2009	530	1121	--
16/11/2009	535	1067	--
9/12/2009	429	812	--
9/1/2010	898	495	2017

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

ΠΡΩΤΟΓΕΝΕΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΚΑΛΙΟΥ ΣΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΝΕΡΟΥ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ

Πίνακας 4: Αποτελέσματα μετρήσεων καλίου στα δείγματα νερού γεωτρήσεων νότια των ορίων της χοιροτροφικής μονάδας.

K ⁺ (mg/l)					
περίοδοι	ΝΑ100	ΝΔ280	ΝΑ450	ΝΔ670	ΝΔ1300
5/11/2009	2.07	0.77	0.61	--	--
9/12/2009	0.66	--	0.15	--	0.28
9/1/2010	0.26	0.12	--	--	--
20/2/2010	--	--	--	0.12	0.15

Πίνακας 5: Μετρήσεις ιόντων καλίου, υπολογισμός μέσης τιμής ιόντων καλίου και υπολογισμός standard deviation στα δείγματα νερού γεωτρήσεων που ελήφθησαν τη χρονική περίοδο 5/11/09 έως 20/2/10 σε απόσταση από 100 έως 1300m νότια των ορίων της χοιροτροφικής μονάδας.

N/NA/ΝΔ πλευρά	K ⁺ (%)			Μέσο K ⁺	SD
100	2.07	0.66	0.26	0.99	0.950842
280	0.77	0.12		0.46	0.459674
450	0.61	0.15		0.38	0.325269
670	0.12			0.12	0
1300	0.28	0.15		0.22	0.092195

Πίνακας 6: Αποτελέσματα μετρήσεων καλίου στα δείγματα νερού γεωτρήσεων βόρεια των ορίων της χοιροτροφικής μονάδας.

περίοδοι	K ⁺ (mg/l)		
	BΔ400	BΔ450	BA850
5/11/2009	0.97	0.74	--
9/12/2009	0.37	0.24	--
9/1/2010	0.98	0.4	0.73
20/2/2010	0.13	--	--

Πίνακας 7: Μετρήσεις ιόντων καλίου, υπολογισμός μέσης τιμής ιόντων καλίου και υπολογισμός *standard deviation* στα δείγματα νερού γεωτρήσεων που ελήφθησαν τη χρονική περίοδο 5/11/09 έως 20/2/10 σε απόσταση από 400 έως 850m βόρεια των ορίων της χοιροτροφικής μονάδας.

BΔ/BA πλευρά	K ⁺ (%)				Μέσο K ⁺	SD
400	0.97	0.37	0.98	0.13	0.61	0.429922
450	0.74	0.24	0.4		0.46	0.255343
850	0.73				0.73	0

ΠΡΩΤΟΓΕΝΕΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΝΑΤΡΙΟΥ ΣΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΝΕΡΟΥ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ

Πίνακας 8: Αποτελέσματα μετρήσεων νατρίου στα δείγματα νερού γεωτρήσεων νότια των ορίων της χοιροτροφικής μονάδας.

περίοδοι	Na ⁺ (mg/l)				
	NA100	NA280	NA450	NA670	NA1300
2/3/2009	9.54	5.38	--	--	--
20/4/2009	8.77	5.55	3.46	--	3.82
18/5/2009	23.4	6.9	1.83	--	--
24/5/2009	--	7.13	4.19	--	--
5/11/2009	12.19	3.75	4.65	--	--
16/11/2009	9.91	6.07	3.71	--	--
9/12/2009	10.77	--	4.24	--	3.09
9/1/2010	9.71	3.11	--	--	--
20/2/2010	--	--	--	1.93	3.82

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

Πίνακας 9: Μετρήσεις ιόντων νατρίου, υπολογισμός μέσης τιμής ιόντων νατρίου και υπολογισμός *standard deviation* στα δείγματα νερού γεωτρήσεων που ελήφθησαν τη χρονική περίοδο 2/3/09 έως 20/2/10 σε απόσταση από 100 έως 1300m νότια των ορίων της χοιροτροφικής μονάδας.

N/NA/NA πλευρά	Na ⁺ (%)							Μέσο Na ⁺	SD
100	9.54	8.77	23.4	12.19	9.91	10.77	9.71	10.15	1.189428
280	5.38	5.55	6.9	7.13	3.75	6.07	3.11	5.41	1.509978
450	3.46	1.83	4.19	4.65	3.71	4.24		3.68	0.998639
670	1.93							1.93	0
1300	3.82	3.09	3.82					3.82	0

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

Πίνακας 10: Αποτελέσματα μετρήσεων νατρίου στα δείγματα νερού γεωτρήσεων βόρεια των ορίων της χοιροτροφικής μονάδας.

περίοδοι	Na ⁺ (mg/l)		
	BΔ400	BΔ450	BA850
5/11/2009	3.61	6.57	--
16/11/2009	3.1	--	--
9/12/2009	2.14	5.25	--
9/1/2010	2.62	8.6	21.16

Πίνακας 11: Μετρήσεις ιόντων νατρίου, υπολογισμός μέσης τιμής ιόντων νατρίου και υπολογισμός *standard deviation* στα δείγματα νερού γεωτρήσεων που ελήφθησαν τη χρονική περίοδο 5/11/09 έως 9/1/10 σε απόσταση από 400 έως 850m βόρεια των ορίων της χοιροτροφικής μονάδας.

BΔ/BA πλευρά	Na ⁺ (%)					Μέσο Na ⁺	SD
400	3.61	3.1	2.14	2.62	5.31	3.36	1.221535918
450	6.57	5.25	8.6			6.81	1.687498148
850	21.16					21.16	0

**ΠΡΩΤΟΓΕΝΕΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΑΣΒΕΣΤΙΟΥ ΣΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΑ
ΝΕΡΟΥ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ**

Πίνακας 12: Αποτελέσματα μετρήσεων ασβεστίου στα δείγματα νερού γεωτρήσεων νότια των ορίων της χοιροτροφικής μονάδας.

περίοδοι	Ca ⁺² (mg/l)			
	NA100	NΔ280	NA450	NΔ1300
2/3/2009	23.6	20.9	--	--
20/4/2009	12.48	8.66	6.72	7.05
18/5/2009	49.5	35.4	31.7	--
24/5/2009	--	20	17	--
5/11/2009	53.58	28.73	17.26	--
16/11/2009	23.67	12.22	12.41	--
9/12/2009	41.26	--	22.95	32.96
9/1/2010	51.33	21.62	--	--

Πίνακας 13: Μετρήσεις ιόντων ασβεστίου, υπολογισμός μέσης τιμής ιόντων ασβεστίου και υπολογισμός *standard deviation* στα δείγματα νερού γεωτρήσεων που ελήφθησαν τη χρονική περίοδο 2/3/09 έως 9/1/10 σε απόσταση από 100 έως 1300m νότια των ορίων της χοιροτροφικής μονάδας.

N/NA/NΔ πλευρά	Ca ⁺² (%)								Μέσο Ca ⁺²	SD
	100	23.6	12.48	49.5	53.58	23.67	41.26	51.33		
280	20.9	8.66	35.4	20	28.73	12.22	21.62	21.08	9.10889	
450	6.72	31.7	17	17.26	12.41	22.95		18.01	8.628168	
1300	7.05	32.96						20.01	18.32114	

Πίνακας 14: Αποτελέσματα μετρήσεων ασβεστίου στα δείγματα νερού γεωτρήσεων βόρεια των ορίων της χοιροτροφικής μονάδας.

περίοδοι	Ca ⁺² (mg/l)		
	BΔ400	BΔ450	BA850
5/11/2009	30.07	76.7	--
16/11/2009	8.78	--	--
9/12/2009	16.44	22.33	--
9/1/2010	--	--	41.62

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

Πίνακας 15: Μετρήσεις ιόντων ασβεστίου, υπολογισμός μέσης τιμής ιόντων ασβεστίου και υπολογισμός *standard deviation* στα δείγματα νερού γεωτρήσεων που ελήφθησαν τη χρονική περίοδο 5/11/09 έως 9/1/10 σε απόσταση από 400 έως 850m βόρεια των ορίων της χοιροτροφικής μονάδας.

ΒΔ/ΒΑ πλευρά	Ca ⁺² (%)				Μέσο Ca ⁺²	SD
400	30.07	8.78	16.44	21.85	19.29	8.969292
450	76.7	22.33	21.05		21.69	0.905097
850	41.62				41.62	0

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

ΠΡΩΤΟΓΕΝΕΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΜΑΓΝΗΣΙΟΥ ΣΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΝΕΡΟΥ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ

Πίνακας 16: Αποτελέσματα μετρήσεων μαγνησίου στα δείγματα νερού γεωτρήσεων νότια των ορίων της χοιροτροφικής μονάδας.

περίοδοι	Mg ⁺² (mg/l)				
	NA100	NΔ280	NA450	NΔ670	NΔ1300
2/3/2009	3.97	3.42	--	--	--
20/4/2009	4.65	4.56	2.03	--	2.03
18/5/2009	1.25	7.1	1.35	--	--
24/5/2009	--	4.04	4.38	--	--
5/11/2009	5.74	2.26	3.75	--	--
16/11/2009	4.79	2.97	3.24	--	--
9/12/2009	6.99	--	4.41	--	1.04
9/1/2010	8.15	1.88	--	--	--
20/2/2010	--	--	--	6.3	3.95

Πίνακας 17: Μετρήσεις ιόντων μαγνησίου, υπολογισμός μέσης τιμής ιόντων μαγνησίου και υπολογισμός *standard deviation* στα δείγματα νερού γεωτρήσεων που ελήφθησαν τη χρονική περίοδο 2/3/09 έως 20/2/10 σε απόσταση από 100 έως 1300m νότια των ορίων της χοιροτροφικής μονάδας.

N/NA/NΔ πλευρά	Mg ⁺² (%)							Μέσο Mg ⁺²	SD
100	3.97	4.65	1.25	5.74	4.79	6.99	8.15	5.08	2.224058
280	3.42	4.56	7.1	4.04	2.26	2.97	1.88	3.75	1.751047
450	2.03	1.35	4.38	3.75	3.24	4.41		3.19	1.261095
670	6.3							6.3	0
1300	2.03	1.04	3.95					2.34	1.479561

Πίνακας 18: Αποτελέσματα μετρήσεων μαγνησίου στα δείγματα νερού γεωτρήσεων βόρεια των ορίων της χοιροτροφικής μονάδας.

περίοδοι	Mg ⁺² (mg/l)		
	ΒΔ400	ΒΔ450	ΒΑ850
5/11/2009	3.78	2.98	--
16/11/2009	1.95	--	--
9/12/2009	4.89	4.41	--
9/1/2010	9.2	3.8	16.41
20/2/2010	1.31	--	--

Πίνακας 19: Μετρήσεις ιόντων μαγνησίου, υπολογισμός μέσης τιμής ιόντων μαγνησίου και υπολογισμός *standard deviation* στα δείγματα νερού γεωτρήσεων που ελήφθησαν τη χρονική περίοδο 5/11/09 έως 20/2/10 σε απόσταση από 400 έως 850m βόρεια των ορίων της χοιροτροφικής μονάδας.

ΒΔ/ΒΑ πλευρά	Mg ⁺² (%)					Μέσο Mg ⁺²	SD
400	3.78	1.95	4.89	9.2	1.31	4.23	3.125052
450	2.98	4.41	3.8			3.73	0.717565328
850	16.41					16.41	0

ΠΡΩΤΟΓΕΝΕΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ NO₃⁻ ΣΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΝΕΡΟΥ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ

Πίνακας 20: Αποτελέσματα μετρήσεων νιτρικών ιόντων στα δείγματα νερού γεωτρήσεων νότια των ορίων της χοιροτροφικής μονάδας.

περίοδοι	NO ₃ ⁻ (mg/l)				
	ΝΑ100	ΝΔ280	ΝΑ450	ΝΔ670	ΝΔ1300
2/3/2009	141	22	--	--	--
20/4/2009	70	14	13	--	27
18/5/2009	15.4	4.7	7.6	--	--
24/5/2009	78	38.1	33.2	--	34.9
13/7/2009	66.5	32.3	--	--	--
20/7/2009	62.9	--	--	--	--
6/9/2009	57.2	32.8	--	--	--
27/9/2009	55.8	34.6	33.7	--	--
5/11/2009	66.9	19.5	3.1	--	--
16/11/2009	73.5	35	42.1	--	2.2
9/12/2009	24.4	--	3.5	--	19.4
9/1/2010	69.9	25.7		--	--
20/2/2010	--	--		4.9	27

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

Πίνακας 21: Μετρήσεις νιτρικών ιόντων, υπολογισμός μέσης συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων και υπολογισμός *standard deviation* των μετρήσεων στα δείγματα νερού γεωτρήσεων που ελήφθησαν τη χρονική περίοδο 2/3/09 έως 20/2/10 σε απόσταση από 100 έως 1300m νότια των ορίων της χοιροτροφικής μονάδας.

N/NA/NΔ πλευρά	NO ₃ ⁻ (%)												Μέσο NO ₃ ⁻	SD
100	141	70	15,4	78	66,5	62,9	57,2	55,8	66,9	73,5	24,4	69,9	58,2	20,12454
280	22	14	4,7	38,1	32,3	32,8	34,6	19,5	35	25,7			25,9	10,76605
450	13	7,6	33,2	33,7	3,1	42,1	3,5						19,5	16,37534
670	4,9												4,9	0
1300	27	34,9	2,2	19,4	27								22,1	12,40121

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

Πίνακας 22: Αποτελέσματα μετρήσεων νιτρικών ιόντων στα δείγματα νερού γεωτρήσεων βόρεια των ορίων της χοιροτροφικής μονάδας.

περίοδοι	NO ₃ ⁻ (mg/l)		
	BΔ400	BΔ450	BA850
20/4/2009	--	--	--
13/7/2009	23	17.8	--
20/7/2009	--	4	124.9
6/9/2009	--	--	2.7
27/9/2009	3.5	16.4	118.3
5/11/2009	7.5	15.9	--
16/11/2009	4.1	15.9	--
9/12/2009	3.6	12.4	--
9/1/2010	10.2	4.4	98.8
20/2/2010	17.3	--	--

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

Πίνακας 23: Μετρήσεις νιτρικών ιόντων, υπολογισμός μέσης συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων και υπολογισμός *standard deviation* των μετρήσεων στα δείγματα νερού γεωτρήσεων που ελήφθησαν τη χρονική περίοδο 20/4/09 έως 20/2/10 σε απόσταση από 400 έως 850m βόρεια των ορίων της χοιροτροφικής μονάδας.

BΔ/BA πλευρά	NO ₃ ⁻ (%)										Μέσο NO ₃ ⁻ (%)	SD
	400	23	3,5	7,5	4,1	3,6	10,2	17,3	9,9	7,599452		
450	17,8	4	16,4	15,9	15,9	12,4	4,4	12,4	5,834095			
850	124.9	2.7	118.3	98.8				114	13.57092			

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

**ΠΡΩΤΟΓΕΝΕΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ NO₂⁻ ΣΤΑ
ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΝΕΡΟΥ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ**

Πίνακας 24: Αποτελέσματα μετρήσεων νιτρωδών ιόντων στα δείγματα νερού γεωτρήσεων νότια των ορίων της χοιροτροφικής μονάδας.

περίοδοι	NO ₂ ⁻ (mg/l)				
	NA100	NA280	NA450	NA670	NA1300
18/5/2009	0.07	<0.002	0.1	--	--
24/5/2009	0.07	0.03	0.03	--	<0.002
13/7/2009	0.08	0.03	--	--	--
20/7/2009	0.1	--	--	--	--
6/9/2009	0.13	<0.002	--	--	--
27/9/2009	0.11	0.07	0.03	--	--
5/11/2009	0.1	0.03	0.002	--	--
16/11/2009	0.07	0.04	0.03	--	0.03
9/12/2009	0.1	--	0.03	--	0.03
9/1/2010	0.23	0.1	--	--	--
20/2/2010	--	--	--	0.53	0.3

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

Πίνακας 25: Μετρήσεις νιτρωδών ιόντων, υπολογισμός μέσης συγκέντρωσης νιτρωδών ιόντων και υπολογισμός standard deviation των μετρήσεων στα δείγματα νερού γεωτρήσεων που ελήφθησαν τη χρονική περίοδο 18/5/09 έως 20/2/10 σε απόσταση από 100 έως 1300m νότια των ορίων της χοιροτροφικής μονάδας.

N/NA/NA πλευρά	NO ₂ ⁻ (%)										Μέσο NO ₂ ⁻	SD
	100	280	450	670	1300	100	280	450	670	1300		
100	0,07	0,07	0,08	0,1	0,13	0,11	0,1	0,07	0,1	0,23	0,092	0,021213
280	0,002	0,03	0,03	0,002	0,07	0,03	0,04	0,1			0,038	0,03314
450	0,1	0,03	0,03	0,002	0,03	0,03					0,024	0,01253
670	0,03										0,03	0
1300	0,002	0,03	0,03	0,03							0,023	0,014

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

Πίνακας 26: Αποτελέσματα μετρήσεων νιτρωδών ιόντων στα δείγματα νερού γεωτρήσεων βόρεια των ορίων της χοιροτροφικής μονάδας.

περίοδοι	NO ₂ ⁻ (mg/l)		
	ΒΔ400	ΒΔ450	ΒΑ850
13/7/2009	0.03	0.03	--
20/7/2009	--	0.06	0.19
6/9/2009	--	--	<0.002
27/9/2009	0.03	0.03	0.07
5/11/2009	<0.002	<0.002	--
16/11/2009	0.1	0.03	--
9/12/2009	0.07	0.07	--
9/1/2010	0.07	0.07	0.07
20/2/2010	0.07	--	--

Πίνακας 27: Μετρήσεις νιτρωδών ιόντων, υπολογισμός μέσης συγκέντρωσης νιτρωδών ιόντων και υπολογισμός *standard deviation* των μετρήσεων στα δείγματα νερού γεωτρήσεων που ελήφθησαν τη χρονική περίοδο 13/7/09 έως 20/2/10 σε απόσταση από 400 έως 850m βόρεια των ορίων της χοιροτροφικής μονάδας.

ΒΔ/ΒΑ πλευρά	NO ₂ ⁻ (%)							Μέσο NO ₂ ⁻	SD
400	0,03	0,03	0,002	0,1	0,07	0,07	0,07	0,053	0,033504
450	0,03	0,06	0,03	0,002	0,03	0,07	0,07	0,042	0,025573
850	0.19	0.002	0.07	0.07				0.083	0.078205

ΠΡΩΤΟΓΕΝΕΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ NH₄⁺ ΣΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΝΕΡΟΥ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ

Πίνακας 28: Αποτελέσματα μετρήσεων αμμωνιακών ιόντων στα δείγματα νερού γεωτρήσεων νότια των ορίων της χοιροτροφικής μονάδας.

περίοδοι	NH ₄ ⁺ (mg/l)				
	NA100	NA220	NA450	NA670	NA1300
20/4/2009	7.74	2.58	--	--	--
18/5/2009	9.83	0.67	0.15	--	--
24/5/2009	10.63	0.27	0.18	--	0.14
13/7/2009	11.8	0.12	--	--	--
20/7/2009	10.87	--	--	--	--
6/9/2009	8.49	0.05	--	--	--
27/9/2009	0.4	0.37	0.14	--	--
5/11/2009	8.49	0.45	0.51	--	--
16/11/2009	2.68	0.07	0.18	--	0.02
9/12/2009	14.22	--	0.35	--	0.04
9/1/2010	14.06	0.35	--	--	--
20/2/2010	--	--	--	0.19	0.07

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

Πίνακας 29: Μετρήσεις αμμωνιακών ιόντων, υπολογισμός μέσης συγκέντρωσης αμμωνιακών ιόντων και υπολογισμός *standard deviation* των μετρήσεων στα δείγματα νερού γεωτρήσεων που ελήφθησαν τη χρονική περίοδο 20/4/09 έως 20/2/10 σε απόσταση από 100 έως 1300m νότια των ορίων της χοιροτροφικής μονάδας.

N/NA/ND πλευρά	NH ₄ ⁺ (%)											Μέσο NH ₄ ⁺	SD
100	7,74	9,83	10,63	11,8	10,87	8,49	0,4	8,49	2,68	14,22	14,06	9,88	3,363584
280	2,58	0,67	0,27	0,12	0,05	0,37	0,45	0,07	0,35			0,29	0,212233
450	0,15	0,18	0,14	0,51	0,18	0,35						0,25	0,147986
670	0,19											0,19	0
1300	0,14	0,02	0,04	0,07								0,07	0,052599

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

Πίνακας 30: Αποτελέσματα μετρήσεων αμμωνιακών ιόντων στα δείγματα νερού γεωτρήσεων βόρεια των ορίων της χοιροτροφικής μονάδας.

περίοδοι	NH ₄ ⁺ (mg/l)		
	ΒΔ400	ΒΔ450	ΒΑ850
13/7/2009	0.14	0.14	--
20/7/2009	--	0.43	0.25
6/9/2009	--	--	2.99
27/9/2009	0.88	0.16	0.21
5/11/2009	0.5	0.32	--
16/11/2009	0.35	0.35	--
9/12/2009	0.13	0.15	--
9/1/2010	0.18	1.14	1.23
20/2/2010	0.06	--	--

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

Πίνακας 31: Μετρήσεις αμμωνιακών ιόντων, υπολογισμός μέσης συγκέντρωσης αμμωνιακών ιόντων και υπολογισμός *standard deviation* των μετρήσεων στα δείγματα νερού γεωτρήσεων που ελήφθησαν τη χρονική περίοδο 13/7/09 έως 20/2/10 σε απόσταση από 400 έως 850m βόρεια των ορίων της χοιροτροφικής μονάδας.

ΒΔ/ΒΑ πλευρά	NH ₄ ⁺ (%)										Μέσο NH ₄ ⁺	SD
400	0,14	0,88	0,5	0,35	0,13	0,18	0,06	0,23	0,165409			
450	0,14	0,43	0,16	0,32	0,35	0,15	1,14	0,26	0,124177			
850	2.99	0.21	1.23	0.25				1.17	1.301.794			

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

ΠΡΩΤΟΓΕΝΕΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ P₂O₅ ΣΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΝΕΡΟΥ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ

Πίνακας 32: Αποτελέσματα μετρήσεων φωσφορικών ιόντων στα δείγματα νερού γεωτρήσεων νότια των ορίων της χοιροτροφικής μονάδας.

περίοδοι	P ₂ O ₅ (mg/l)				
	NA100	NA280	NA450	NA670	NA1300
2/3/2009	0.3	0.2	--	--	--
20/4/2009	0.2	0.3	0.5	--	0.4
18/5/2009	1.2	1.6	0.3	--	--
24/5/2009	0.6	0.5	0.6	--	0.3
13/7/2009	0.6	0.2	--	--	--
20/7/2009	1.2	--	--	--	--
6/9/2009	1.7	3.3	--	--	--
5/11/2009	2.7	0.4	0.9	--	--
20/2/2010	--	--	--	0.3	0.2

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

Πίνακας 33: Μετρήσεις φωσφορικών ιόντων, υπολογισμός μέσης συγκέντρωσης φωσφορικών ιόντων και υπολογισμός standard deviation των μετρήσεων στα δείγματα νερού γεωτρήσεων που ελήφθησαν τη χρονική περίοδο 2/3/09 έως 20/2/10 σε απόσταση από 100 έως 1300m νότια των ορίων της χοιροτροφικής μονάδας.

N/NA/NA πλευρά	P ₂ O ₅ (%)									Μέσο P ₂ O ₅	SD
	100	280	450	670	1300	0.3	0.6	0.9	1.2		
100	0,3	0,2	1,2	0,6	0,6	1,2	1,7	2,7	1,1	0,835806	
280	0,2	0,3	1,6	0,5	0,2	3,3	0,4		0,3	0,132288	
450	0,5	0,3	0,6	0,9					0,6	0,251661	
670	0,3								0,3	0	
1300	0,4	0,3	0,2						0,3	0,1	

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

Πίνακας 34: Αποτελέσματα μετρήσεων φωσφορικών ιόντων στα δείγματα νερού γεωτρήσεων βόρεια των ορίων της χοιροτροφικής μονάδας.

περίοδοι	P ₂ O ₅ (mg/l)		
	BA400	BA450	BA850
20/4/2009	--	--	--
13/7/2009	0.9	2.9	--
20/7/2009	--	1.2	0.9
6/9/2009	--	--	1.1
5/11/2009	2.6	3.1	--
20/2/2010	0.3	--	--

Πίνακας 35: Μετρήσεις φωσφορικών ιόντων, υπολογισμός μέσης συγκέντρωσης φωσφορικών ιόντων και υπολογισμός *standard deviation* των μετρήσεων στα δείγματα νερού γεωτρήσεων που ελήφθησαν τη χρονική περίοδο 20/4/09 έως 20/2/10 σε απόσταση από 400 έως 850m βόρεια των ορίων της χοιροτροφικής μονάδας.

ΒΔ/ΒΑ πλευρά	P ₂ O ₅ (%)			Μέσο P ₂ O ₅	SD
400	0,9	2,6	0,3	1,3	1,193734
450	2,9	1,2	3,1	2,4	1,044031
850	0,9	1,1		1	0,141421