ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

" ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΝΑΛΙΩΝ ΩΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΜΕΙΩΣΗΣ ΑΓΡΟΡΥΠΑΝΤΩΝ "

Νικόλαος Γ. Χαλκιάς

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Δρ. ΝΙΚΟΛΑΪΔΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ (Επιβλέπων)

Δρ. ΚΑΡΑΤΖΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Δρ. ΤΖΩΡΑΚΗ ΟΥΡΑΝΙΑ

Χανιά

Σεπτέμβριος, 2008

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Όλα ξεκίνησαν από τη στιγμή που επέλεξα το μάθημα «Μοντέλα Ποιότητας Επιφανειακών Υδάτων». Τόσο εμένα όσο και των συμφοιτητών μου, μας κεντρίστηκε τόσο πολύ το ενδιαφέρον που σε συνδυασμό με το άψογο κλίμα συνεργασίας τόσο με τον κ. Νικολαΐδη, όσο και με τα άτομα που απαρτίζουν το εργαστήριο, επέλεξα να εκπονήσω εκεί την διπλωματική μου εργασία. Η έναρξη των πειραματικών διαδικασιών έγινε τον Φεβρουάριο και η ολοκλήρωση αυτών τον Ιούνιο.

Σε αυτό το σημείο θέλω να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα Καθηγητή κ. Νικόλαο Νικολαΐδη για τη δυνατότητα που μου έδωσε να πραγματοποιήσω την συγκεκριμένη εργασία, αλλά και για την διαρκή και προπάντων ευχάριστη συνεργασία. Ακόμη, οφείλω να τον ευχαριστήσω για τις πολλές ευκαιρίες που μου έδωσε, ανοίγοντας μου πόρτες που είτε έκλεισα είτε βάδισα. Τον ευχαριστώ για όλα όσα μου έδωσε σε αυτό το διάστημα. Ακόμη, θέλω να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Γεώργιο Καρατζά για τις γνώσεις που μου μετέδωσε κατά τη διάρκεια των χρόνων των σπουδών μου και για τη συμμετοχή του στην εξεταστική επιτροπή. Τέλος, οφείλω να ευχαριστήσω την Ουρανία Τζωράκη για τη συμμετοχή της στην εξεταστική επιτροπή και τις εύστοχες παρατηρήσεις που μου έκανε επί του κειμένου.

Επίσης, πρέπει να ευχαριστήσω τη συνεργάτιδά μου Φωτεινή Σταμάτη για την ευχάριστη και πολύ αποδοτική συνεργασία. Για τη μετάδοση της φλόγας της γνώσης και για το χρόνο που μου αφιέρωσε. Επίσης, θέλω να δώσω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον Δανιήλ Μωραΐτη, στην Ελπίδα Περουλάκη, στην Ουρανία Τζωράκη, στην Barbara Casentini και στην Άννα Ανδρουλάκη για την άμεση μετάδοση γνώσεων και επίλυση διάφορων προβλημάτων που παρουσιάστηκαν, όπως επίσης και για το ευχάριστο κλίμα που δημιούργησαν στο εργαστήριο.

Τέλος, να ευχαριστήσω του συμφοιτητές μου, Ναυροζίδη Σταύρο, Καραμπουρνιώτη Κωνσταντίνο, Κουτρουμπίνα Βαγγέλη και τη Γιώτη Χριστίνα, καθώς και τη μεταπτυχιακή φοιτήτρια Βοζινάκη Ειρήνη για την αλληλοσυμπαράσταση που υπήρξε κατά τη διάρκεια της εκπόνησης των πειραμάτων.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σύμφωνα με την Οδηγία Πλαίσιο 2000/60 περί προστασίας και διαχείρισης των υδάτων, πρέπει να προσδιοριστούν και να εφαρμοστούν μέτρα αποκατάστασης για τη μείωση της ρύπανσης των υδάτων σε κάθε λεκάνη απορροής και παράκτια ζώνη, ώστε να βελτιωθεί η ποιότητα του υπόγειου και επιφανειακού νερού.

Στην περιοχή της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα παρατηρείται το φαινόμενο της ρύπανσης των υδάτινων πόρων κυρίως λόγω της γεωργικής ανάπτυξης της περιοχής. Το πρόβλημα έγκειται στη χρήση λιπασμάτων στις καλλιέργειες, με τα οποία εισέρχονται φορτία αζώτου και φωσφόρου στα υδάτινα σώματα.

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει σκοπό να αξιολογήσει την τεχνολογία της διαχείρισης των αποστραγγιστικών καναλιών ως προς τη μείωση των νιτρικών και φωσφορικών που προέρχονται από την αγροτική ρύπανση, μέσω της φυσικής αποκατάστασης (απονιτροποίηση νιτρικών και προσρόφηση φωσφορικών) και φυτοεξυγίανσης. Το υπό μελέτη αποστραγγιστικό κανάλι βρίσκεται στην περιοχή της Σκάλας του Νομού Λακωνίας, εντός της λεκάνης του ποταμού Ευρώτα.

Στο αποστραγγιστικό κανάλι υπάρχουν καλάμια (*Phragmites Australis*) τα οποία προσλαμβάνουν νιτρικά και φωσφορικά για την ανάπτυξή τους. Μελέτες έχουν δείξει πως τα καλάμια παρουσιάζουν διακυμάνσεις στις συγκεντρώσεις των θρεπτικών που περιέχουν, εξαιτίας της ανάπτυξής τους και ειδικότερα πως παρουσιάζουν μέγιστες συγκεντρώσεις κατά την τελευταία περίοδο της Άνοιξης. Έτσι, επιλέχθηκε να μελετηθεί αυτή η συμπεριφορά των καλαμιών κατά τη διάρκεια του έτους, με απώτερο σκοπό την εύρεση τρόπων διαχείρισής τους ώστε να μειωθεί η ρύπανση των υδάτων της περιοχής. Κάθε μήνα κοβόντουσαν καλάμια από κάθε θέση, τα οποία και χωρίζονταν στα επιμέρους τμήματά τους (άνω, μέσο και κάτω), ενώ ακόμη λαμβανόταν 1 δείγμα ριζών από την 1^{η} θέση. Στη συνέχεια, μελετήθηκε η συγκέντρωση των θρεπτικών στα διαχωρισμένα τμήματα.

Ακόμη, μελετήθηκε το ίζημα εντός του αποστραγγιστικού καναλιού για τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων του, ώστε να εκτιμηθεί κατά πόσο συμβάλλει ή όχι στη μείωση της ρύπανσης. Συγκεκριμένα, η δυνατότητα του ιζήματος για απονιτροποίηση είχε ήδη μελετηθεί και σε συνδυασμό με δεδομένα πεδίου εκτιμήθηκε η δυνατότητα απομάκρυνσης νιτρικών, ενώ έγιναν και πειράματα εκχύλισης και προσρόφησης φωσφορικών για την τύχη του φωσφόρου. Πέρα από αυτά μελετήθηκε η

περιεκτικότητα του ιζήματος σε ανόργανο άζωτο, η βραχυπρόθεσμη δυνητική ικανότητα ανοργανοποίησης και η ποιότητα της οργανικής ύλης του ιζήματος με ανάλυση UV.

Από τη μελέτη προέκυψε ότι η απομάκρυνση του αζώτου και του φωσφόρου μέσω της διαχείρισης των καλαμιών μπορεί να είναι πολύ αποτελεσματική για τη μείωση της ρύπανσης στο επιφανειακό νερό του αποστραγγιστικού καναλιού. Ακόμη, το ίζημα συμβάλλει κι αυτό στη μείωση μέσω της σημαντικής απονιτροποίησης που λαμβάνει χώρα και της μεγάλης ικανότητας προσρόφησης φωσφορικών που διαθέτει.

Συνεπώς, η διαχείριση των αποστραγγιστικών καναλιών είναι μία αρκετά αποτελεσματική και οικονομικά εφικτή τεχνολογία για τη μείωση της ρύπανσης των επιφανειακών υδάτων.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^{Ο}

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στις περιοχές όπου υπάρχει αυξημένη αγροτική ανάπτυξη είναι συχνό το πρόβλημα της ρύπανσης των υδάτινων όγκων. Η είσοδος των ρυπαντών στους υδάτινους αποδέκτες πραγματοποιείται από μη σημειακές πηγές, λόγω των γεωργικών δραστηριοτήτων (λιπάσματα, ελεύθερη βόσκηση) και από τα όμβρια ύδατα. Τα θρεπτικά συστατικά, το άζωτο και ο φώσφορος, εισέρχονται στους αποδέκτες είτε μέσω της επιφανειακής απορροής (ιδιαίτερα σε περίπτωση πλημμύρας) είτε μέσω διήθησης στο υπόγειο νερό, τόσο στη διαλυτή, όσο και στη σωματιδιακή φάση. Με την είσοδό τους δύνανται να προκαλέσουν ευτροφισμό στους επιφανειακούς αποδέκτες και σαν συνέπεια αυτού την υπερβολική αύξηση αλγών, την αύξηση της θολερότητας, τη μείωση του διαλυμένου οξυγόνου και τελικά τον θάνατο των έμβιων οργανισμών (ψάρια) (Clark et al., 1985). Στην λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα συναντάται το πρόβλημα της εισροής θρεπτικών στο υπόγειο και επιφανειακό νερό, κυρίως λόγω της χρήσης λιπασμάτων στις καλλιέργειες.

Σύμφωνα με την Οδηγία Πλαίσιο 2000/60 περί προστασίας και διαχείρισης των υδάτων, είναι αναγκαία η εύρεση μέτρων αποκατάστασης των υδάτων σε κάθε λεκάνη απορροής και παράκτια ζώνη και η εφαρμογή αυτών για τη βελτίωση και αποκατάσταση της χημικής και οικολογικής ποιότητας του υπόγειου και επιφανειακού νερού.

Ωστόσο, δεν υπάρχει κάποια διαθέσιμη οικονομικά εφικτή τεχνολογία για την άμεση αποκατάσταση των ρυπασμένων υπόγειων υδροφορέων. Παρόλα αυτά, υπάρχουν διάφορες βιώσιμες (οικονομικές και φιλικές προς το περιβάλλον) τεχνολογίες και πρακτικές διαχείρισης που μπορούν να μειώσουν ή να αποτρέψουν τις επιδράσεις στη φυσική και βιολογική ακεραιότητα τόσο των επιφανειακών και υπόγειων αποθεμάτων νερού, όσο και του εδάφους από τους αγροτικούς ρυπαντές. Οι τεχνολογίες και πρακτικές διαχείρισης μπορούν να είναι είτε κατασκευαστικές (πεζούλια, λεκάνες ιζημάτων, ή περίφραξη), είτε διαχειριστικές (περιστροφική βοσκή, διαχείριση λιπασμάτων, διαχείριση φυτοφαρμάκων, ή συντηρητικό όργωμα) και στοχεύουν στο μέλλον η ποιότητα του νερού να αποκατασταθεί από μόνη της. Δηλαδή χρησιμοποιείται η τεχνολογία της φύσης, η φυσική αποκατάσταση. Στις περιπτώσεις που τα υπόγεια νερά εισρέουν στα επιφανειακά, αυτό που μπορεί να γίνει είναι η επέμβαση στη «διεπιφάνεια» επιφανειακών και υπογείων υδάτων, δηλαδή στην παρόχθια ζώνη ώστε να αποκατασταθεί η λειτουργικότητά της. Αυτό μπορεί να γίνει με την τεχνολογία της φυτο-εξυγίανσης.

Για την εύρεση τέτοιων τρόπων διαχείρισης της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα, μελετήθηκε στην περιοχή της Σκάλας η διαχείριση των αποστραγγιστικών καναλιών ως τεχνολογία μείωσης των αγροτικών ρυπαντών. Πιο συγκεκριμένα μελετήθηκε η πρόσληψη των θρεπτικών (άζωτο και φώσφορος) από τα καλάμια (*Phragmites Australis*) που αναπτύσσονται στην περιοχή του αποστραγγιστικού καναλιού και η ικανότητα του ιζήματος για προσρόφηση φωσφορικών, όπως επίσης και για απονιτροποίηση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^{Ο}

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 Διαχείριση αποστραγγιστικών καναλιών, παρόχθιων περιοχών και καλαμιών

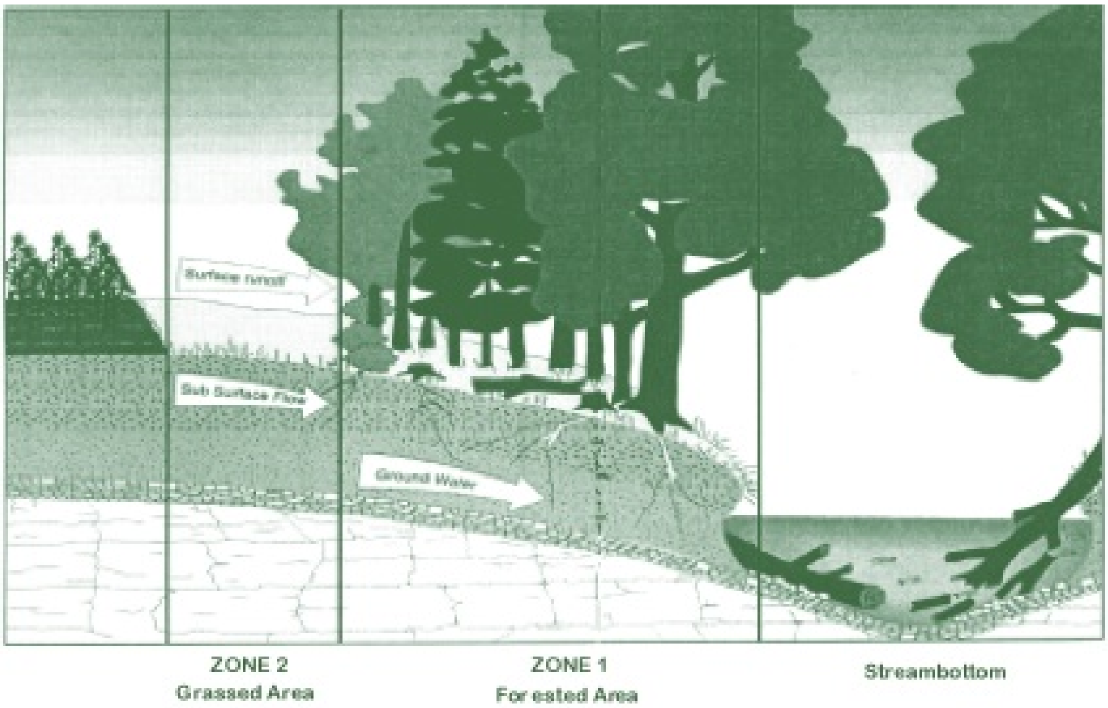
Η παρόχθια περιοχή είναι η παρακείμενη στον επιφανειακό υδάτινο αποδέκτη (ποτάμι, ρεύμα, αποστραγγιστικό κανάλι, λίμνη) ζώνη, όπου υπάρχει σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ του νερού (υπόγειου και επιφανειακού) και του εδάφους. Τα επιφανειακά αποστραγγιστικά συστήματα είναι ανοικτά κανάλια κατά μήκος των καλλιεργήσιμων εκτάσεων που σαν σκοπό έχουν τη διοχέτευση σε αυτά της επιφανειακής απορροής που προέρχονται από τα χωράφια των γύρω περιοχών, περνώντας πρώτα από την παρόχθια ζώνη. Εν συνεχεία τα νερά που στραγγίζουν εκφορτίζουν στη θάλασσα. Λόγω του ότι η επιφανειακή απορροή, η υποεπιφανειακή ροή και οι υπόγειες ροές περνούν μέσω της παρόχθιας ζώνης πριν φτάσουν στον επιφανειακό αποδέκτη, οι παρόχθιες περιοχές μπορούν να επηρεάσουν την ποσότητα και την ποιότητα του νερού σε αυτόν (Javier Cruz, 2003).

Η βλάστηση στις παρόχθιες περιοχές παίζει σημαντικό ρόλο, καθώς προστατεύει την ακτή και την κοίτη, την ποιότητα του νερού, τα υδάτινα και άγρια οικοσυστήματα από τις πλημμύρες και διατηρεί τη φυσική ομορφιά (Lowrance et al., 1985). Στις φυσικές παρόχθιες ζώνες η βλάστηση που παρατηρείται συνήθως αποτελείται από χλόη, θάμνους, καλάμια, δέντρα και ανάμικτη βλάστηση. Η βλάστηση των παρόχθιων περιοχών απειλείται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, οι οποίες συχνά προκαλούν μείωση ή ακόμα και απώλειά της και ακολούθως υποβάθμιση των παρακείμενων υδάτινων πόρων (Javier Cruz, 2003).

Η μεταφορά του νερού από το γεωργικό έδαφος μέσω των παρόχθιων ζωνών και των αποστραγγιστικών καναλιών (επιφανειακό σύστημα) απεικονίζεται στο σχήμα 2.1. Το ίζημα και οι περιεχόμενοι ρύποι, όπως τα φυτοφάρμακα και τα θρεπτικά εισέρχονται στους αποδέκτες είτε μέσω της επιφανειακής απορροής είτε μέσω διήθησης στο υπόγειο νερό, τόσο στη διαλυτή, όσο και στη σωματιδιακή φάση. Η επιφανειακή απορροή παρουσιάζεται σε περίπτωση έντονης βροχόπτωσης, όταν η βροχόπτωση είναι μεγαλύτερη από την ικανότητα του εδάφους να απορροφήσει νερό. Έτσι, το νερό που συγκεντρώνεται στην επιφάνεια κατευθύνεται προς το αποστραγγιστικό κανάλι και μερικές φορές μάλιστα χρησιμοποιούνται αγωγοί για τη μεταφορά αυτή. Κατά συνέπεια, για την προστασία του ιζήματος και την μείωση των ρύπων πρέπει να παρεμποδιστεί το νερό της επιφανειακής απορροής. (Osmond et al. 2002). Η φυτοκάλυψη της περιοχής σταθεροποιεί την περιοχή του καναλιού και ελαχιστοποιεί τη διάβρωση κατά το πέρασμα της επιφανειακής απορροής προς το κανάλι και βοηθά στη φίλτρανση των ρύπων πριν φτάσουν στον υδάτινο αποδέκτη. Γενικά, το οργανικό άζωτο και ο φώσφορος που υπάρχουν στο ίζημα μπορούν να κατακρατηθούν από την απόθεση των ιζημάτων (Martin et al., 1998).

Πιο συγκεκριμένα, τα αποστραγγιστικά κανάλια έχει παρατηρηθεί πως έχουν την ικανότητα να μειώνουν τη συγκέντρωση των νιτρικών (Haycock and Burt 1993; Jordan et al. 1993; Osborne and Kovacic 1993; Simmons et al. 1992). Στην περιοχή τους συσσωρεύεται οργανικό υλικό προερχόμενο από διάβρωση και αναπτύσσονται φυτά, όπως τα καλάμια, τα οποία με τον κατάλληλο σχεδιασμό διαχείρισης μπορούν να μειώσουν ακόμη περισσότερο τα επίπεδα των νιτρικών και των φωσφορικών στα επιφανειακά ύδατα του καναλιού. Συνεπώς, ελέγχοντας τη διάβρωση κατά μήκος της παρόχθιας ζώνης, αλλά και διαχειρίζοντας τις ιδιότητες της φυτοεξυγίανσης, μπορεί να αντιμετωπιστεί το φαινόμενο της ρύπανσης σε όλη την έκταση της παρόχθιας περιοχής.

Στην Ελλάδα σε πολλές αγροτικές περιοχές (Θεσσαλία, Μακεδονία, Πελοπόννησο), έχουν δημιουργηθεί επιφανειακά αποστραγγιστικά κανάλια τα οποία χρησιμοποιούνται για την στράγγιση των αγροτικών γαιών από τα νερά. Στη συνέχεια, το νερό διοχετεύεται σε ποτάμια, για την άρδευση των καλλιεργειών, ή στη θάλασσα. Σε περιπτώσεις μάλιστα που υπάρχει μεγάλο πρόβλημα λειψυδρίας και η ποσότητα των υδάτων δεν επαρκεί για την άρδευση, γίνεται ανακύκλωση των υδάτων του αποστραγγιστικού καναλιού (Χαλάστρα Θεσσαλονίκης - Αξιός). Στις παρόχθιες ζώνες μεταξύ των καλλιεργειών και των αποστραγγιστικών καναλιών αναπτύσσονται συνήθως φυτά, με υπερισχύων είδος τα μακρόφυτα, όπως είναι τα καλάμια. Τα φυτά και συγκεκριμένα τα καλάμια προσλαμβάνουν θρεπτικά συστατικά, τα οποία αν διαχειριστούν κατάλληλα μπορούν να συνεισφέρουν στη μείωση της ρύπανσης στα επιφανειακά ύδατα όπως θα δούμε παρακάτω.



Σχήμα 2.1. Μετακίνηση νερού σε παρόχθια ζώνη και αποστραγγιστικό κανάλι

2.2 Ο κύκλος του αζώτου στις παρόχθιες περιοχές

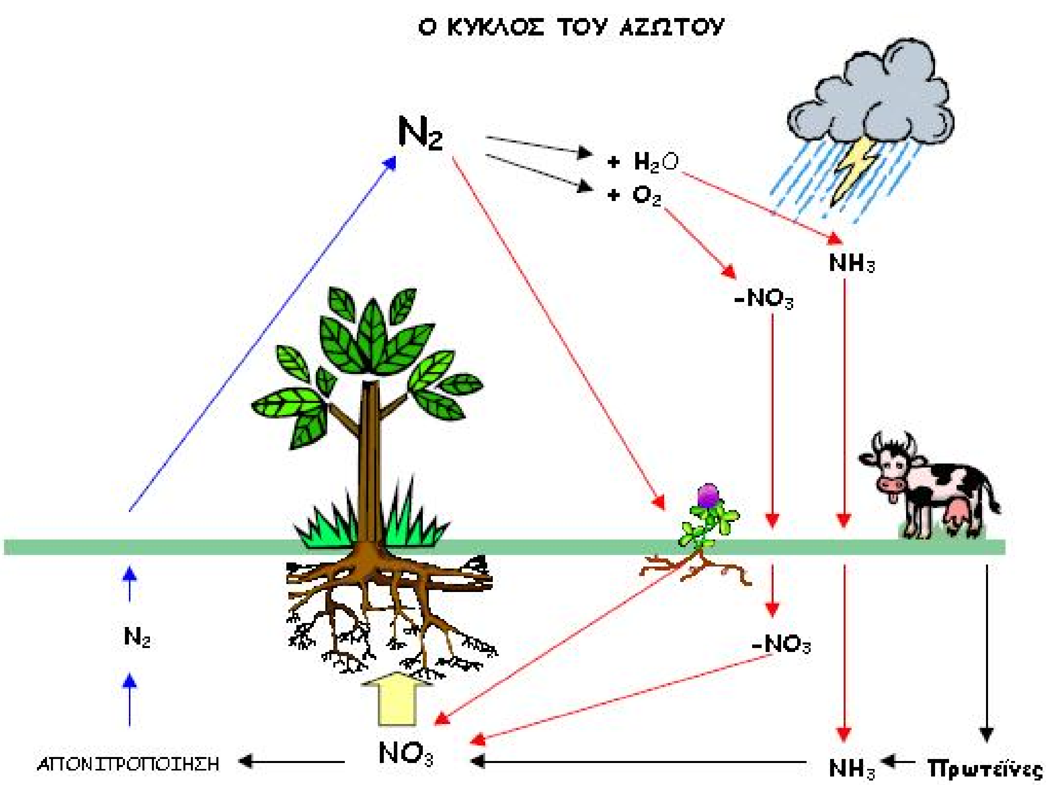
Το άζωτο χρησιμοποιείται από τους ζωντανούς οργανισμούς για την παραγωγή σύνθετων οργανικών μορίων όπως αμινοξέα, πρωτεΐνες και νουκλεϊκά οξέα. Η μεγαλύτερη αποθήκη αζώτου είναι η ατμόσφαιρα, όπου και περιέχεται με τη μορφή του αέριου N_2. Άλλες σημαντικές αποθήκες αζώτου αποτελούν η οργανική ύλη που περιέχεται στο έδαφος και τους ωκεανούς. Η εισαγωγή του ατμοσφαιρικού αζώτου στις τροφικές αλυσίδες γίνεται μέσω της αζωτοδέσμευσης. Η αζωτοδέσμευση μετατρέπει το ατμοσφαιρικό άζωτο σε μορφές αξιοποιήσιμες από τους οργανισμούς και χωρίζεται στην ατμοσφαιρική και στη βιολογική αζωτοδέσμευση. Κατά την ατμοσφαιρική αζωτοδέσμευση, η οποία αποτελεί το 10% της συνολικής, το άζωτο της ατμόσφαιρας αντιδρά είτε με τους υδρατμούς σχηματίζοντας αμμωνία, είτε με το ατμοσφαιρικό οξυγόνο σχηματίζοντας νιτρικά ιόντα. Η αμμωνία και τα νιτρικά μεταφέρονται με τη βροχή στο έδαφος. Κατά τη βιολογική αζωτοδέσμευση, που αποτελεί το υπόλοιπο 90%, βακτήρια δεσμεύουν το αέριο άζωτο και το μετατρέπουν σε νιτρικά ιόντα, τα οποία και αφομοιώνονται από τα φυτά (Κάσινος).

Άλλες πηγές αζώτου αποτελούν τα λιπάσματα (ανόργανα και οργανικά) και η διάθεση οργανικών αποβλήτων. Ακόμη, τα φυτά και τα ζώα εναποθέτουν στο έδαφος νεκρή οργανική ύλη που περιέχει άζωτο, όπως καρπούς, φύλλα, τρίχωμα και νεκρά σώματα. Επίσης, τα ζώα αποβάλλουν αζωτούχα προϊόντα του μεταβολισμού τους, όπως ουρία και ουρικό οξύ. Οι οργανικές ενώσεις που περιέχουν άζωτο μεταφέρονται στην παρόχθια ζώνη και στον υδάτινο αποδέκτη μέσω της επιφανειακής απορροής ή του υπόγειου νερού ύστερα από σταδιακή ανοργανοποίηση. Πιο συγκεκριμένα, το οργανικό άζωτο μέσω της διεργασίας της ανοργανοποίησης μετατρέπεται σε ανόργανο, δηλαδή σε αμμωνία (NH_3). Ακολούθως, η αμμωνία μέσω της διεργασίας της νιτροποίησης μετατρέπεται σε νιτρικά (NO_3^-) (Groffman et al., 1991). Τα παραγόμενα νιτρικά κινούνται εύκολα εντός του εδάφους. Έτσι, με τη διήθηση των όμβριων υδάτων, το περιεχόμενο άζωτο προσλαμβάνεται από τα φυτά ή συνεχίζει την κίνηση προς τον επιφανειακό αποδέκτη μέσω της επιφανειακής απορροής, ή στην περίπτωση που τα νιτρικά εισέλθουν στον κορεσμένο υδροφορέα, μέσω του υπόγειου νερού (Osmond et. al., 2002). Κατά τη μεταφορά των νιτρικών από την παρόχθια ζώνη, υπάρχει η δυνατότητα ή να απορροφηθούν από τις ρίζες των φυτών, ή να ακινητοποιηθούν από τους μικροοργανισμούς, ή μέσω της απονιτροποίησης να απελευθερωθεί αέριο άζωτο (Groffman et al. 1991; Hanson et al., 1994). Παρόλα αυτά, υπάρχει η πιθανότητα τα νιτρικά να κινηθούν σε μεγαλύτερο βάθος από αυτό των ριζών, οπότε και η μείωσή τους θα είναι πολύ μικρή. Σε όλες τις περιπτώσεις, χρειάζεται προσεκτική παρακολούθηση της τύχης των νιτρικών NO_3^-, για τον έλεγχο της ύπαρξης ευτροφικών συνθηκών (Jacobs and Gilliam, 1985), λόγω της επικινδυνότητας που παρουσιάζει για την υγεία των ζώων και των ανθρώπων (Prasad and Power, 1995; Sotomayor and Rice, 1996).

2.3 Πρόσληψη νιτρικών από τα φυτά

Το περισσότερο άζωτο από τις γεωργικές καλλιέργειες φτάνει στα επιφανειακά νερά με τη μορφή διαλυμένων νιτρικών μέσω κυρίως του υπογείου νερού και της επιφανειακής απορροής. Για την απομάκρυνση των νιτρικών από το υπόγειο νερό, πριν φτάσει στο επιφανειακό, το υπόγειο νερό πρέπει να περνά από μία ζώνη που να υπάρχουν ή τουλάχιστον να υπήρχαν ενεργές ρίζες. Αυτές οι ρίζες των φυτών μπορούν να απορροφήσουν νιτρικά ή για την ανάπτυξή τους ή για να παρέχουν μία πηγή ενέργειας για τους απονιτροποιητές (φυσικά εμφανιζόμενα βακτήρια) (το πιο σημαντικό), τα οποία και μετατρέπουν τα νιτρικά σε αέριο άζωτο, μέσω της διεργασίας της απονιτροποίησης.

Η διεργασία της απονιτροποίησης: Η απονιτροποίηση είναι η διαδικασία που πραγματοποιείται στο έδαφος, με την οποία τα νιτρικά διασπώνται, μέσω μιας σειράς μικροβιακών αντιδράσεων σε αέριο άζωτο (Buss et al., 2005). Πραγματοποιείται κυρίως στις κορεσμένες με νερό ζώνες, όπου υπάρχει άφθονη οργανική ουσία και απουσία οξυγόνου (Osmond et al. 2002). Οι οργανισμοί που συμβάλλουν στη διεργασία τείνουν να είναι πανταχού παρόντες στο επιφανειακό νερό, το έδαφος και τα υπόγεια νερά. Οι απονιτροποιητές είναι συνήθως αναερόβια ετερότροφα βακτήρια κι έτσι λαμβάνουν την ενέργειά τους και τον άνθρακα από την οξείδωση των οργανικών ενώσεων. Παρόλα αυτά, μερικά απονιτροποιητικά βακτήρια είναι αυτότροφα και προσλαμβάνουν την ενέργειά τους από την οξείδωση των ανόργανων ειδών. Γενικά, η απουσία οξυγόνου, η παρουσία οργανικού άνθρακα και μειωμένα επίπεδα θείου ή σιδήρου διευκολύνουν την απονιτροποίηση. (Buss et al., 2005). Ωστόσο, αν το υπόγειο νερό κινείται γρήγορα διαμέσου της παρόχθιας ζώνης η διεργασία της απονιτροποίησης περιορίζεται. (Buss et al., 2005). Τέλος, τα νιτρικά μπορούν να αναχθούν σε νιτρώδη άλατα και αέρια νιτρώδη οξείδια από τις αβιοτικές αντιδράσεις, αλλά στην υπόγεια επιφάνεια αυτές οι αντιδράσεις είναι δευτερεύουσες σε σύγκριση με την απονιτροποίηση.



Σχήμα 2.2: Κύκλος Αζώτου

2.4 Ο κύκλος του φωσφόρου στις παρόχθιες περιοχές

Ο φώσφορος υπάρχει στο έδαφος είτε στην οργανική μορφή, είτε ως αφομοιώσιμο ανόργανο άλας (φωσφορικά ιόντα). Και οι δύο αυτές μορφές μπορούν να απορροφηθούν από τα φυτά. Ιδιαίτερα ο φώσφορος των πετρωμάτων απορροφάται γρήγορα από τα φυτά. Με τον θάνατο των φυτών και των ζώων απελευθερώνεται ο βιολογικά δεσμευμένος φώσφορος από τους ιστούς τους, μέσω της αποσύνθεσης από μικροοργανισμούς και έτσι εμπλουτίζεται το ίζημα. Ωστόσο, και σε αυτή την περίπτωση τα εισερχόμενα φορτία φωσφόρου από τα λιπάσματα είναι πολύ σημαντικά. Κατά την κυκλική διαδικασία, πραγματοποιείται έκπλυση από την ξηρά στη θάλασσα με αποτέλεσμα ο φώσφορος να χάνεται από τα χερσαία οικοσυστήματα. Η φύση αντισταθμίζει αυτή την απώλεια με την απελευθέρωση του φωσφόρου από τα φωσφορικά πετρώματα. Αυτή η διεργασία γίνεται με πολύ αργό ρυθμό, μέσω της διάβρωσης και της αποσάθρωσης (Κάσινος).

Σε αντίθεση με το άζωτο το οποίο επιστρέφει στην ατμόσφαιρα σε αέρια μορφή ύστερα από την απονιτροποίηση των νιτρικών στις παρόχθιες ζώνες, το αρνητικό σημείο στην τύχη του φωσφόρου στο έδαφος, αποτελεί το γεγονός της συσσώρευσής του στο σύστημα λόγω της κατακράτησης από το έδαφος και την βιοτική πρόσληψη (από τα φυτά). Ειδικότερα, υπάρχει η πιθανότητα ο κατακρατημένος φώσφορος να απελευθερωθεί από τη βλάστηση και το έδαφος και να επανεισέλθει στα ρέματα σε διαλυτή μορφή (Vought et al., 1994; Muscutt et al., 1993). Ο ρόλος των παρόχθιων ζωνών στη ρύθμιση της μεταφοράς του φωσφόρου (P) έχει λάβει τη λιγότερη προσοχή, αν και τα υπερβολικά φορτία P είναι η αρχική αιτία του ευτροφισμού στις λίμνες και τους ποταμούς. Ενώ ακόμη, ορισμένες μελέτες έχουν υποδείξει τον κορεσμό της ικανότητας κατακράτησης των φωσφορικών σε παρόχθιες περιοχές (Cooper et al. 1995;Vanek, 1993).

2.5 Πρόσληψη φωσφορικών από τα φυτά

Ο φώσφορος απελευθερώνεται από τα ιζήματα κατά την αποσύνθεση των οργανικών ουσιών και προσλαμβάνεται από το φυτοπλαγκτόν και την υπόλοιπη υδρόβια βλάστηση. Ο θάνατος και η αποικοδόμηση των οργανισμών εμπλουτίζει το νερό με φωσφορικές ενώσεις που καθιζάνουν στον πυθμένα, ενώ παράλληλα συμβαίνει διάχυση του φωσφόρου από το ίζημα στο νερό. Τα φυτά της παρόχθιας ζώνης προσλαμβάνουν τον φώσφορο που χρειάζονται για να αναπτυχθούν από τα εδάφη και ιζήματα, αλλά και δευτερευόντως από το νερό του αποστραγγιστικού καναλιού ή ποταμού, στην περίπτωση που κάνουμε λόγο για υδρόβια βλάστηση. Η διαχείριση των καλαμιών (*Phragmites Australis*) που προτάθηκε παραπάνω για τη μείωση των νιτρικών, αποτελεί και σε αυτή την περίπτωση μία λύση για τη μείωση των φωσφορικών.

2.6 Προσρόφηση φωσφορικών στα παρόχθια ιζήματα

Το έδαφος και το ίζημα έχουν τη δυνατότητα να κατακρατούν τα φωσφορικά ιόντα (PO_4^{3-}), γεγονός που συνεισφέρει στη μείωση της ρύπανσης πέραν της πρόσληψης από τα φυτά. Η διεργασία που πραγματοποιείται ονομάζεται προσρόφηση. Κατά την προσρόφηση αυξάνεται η συγκέντρωση σε μία διεπιφάνεια υγρού-στερεού ή αερίου στερεού. Η χημική ουσία που προσροφάται ονομάζεται «προσρόφημα» και το στερεό όπου γίνεται η προσρόφηση «προσροφητής». Στα εδάφη και τα ιζήματα, αποτελεί μία πολύ σημαντική διεργασία, λόγω του ότι επηρεάζει την κινητικότητα των θρεπτικών ουσιών και των ρυπαντών εντός αυτών. Πιο συγκεκριμένα, μέσω της προσρόφησης το έδαφος δύναται να συγκρατεί πέρα των φωσφορικών και άλλα θρεπτικά συστατικά, μέταλλα, οργανικές ουσίες και άλλες ενώσεις στην επιφάνεια των εδαφικών σωματιδίων. Έτσι, η διεργασία αυτή παίζει καθοριστικό ρόλο στην αλληλεπίδραση ρύπανσης-απορρύπανσης των εδαφών, ιζημάτων, υπόγειων και επιφανειακών υδάτων, όπως επίσης και στη χημική διάβρωση των ορυκτών στο υπέδαφος.

Η διεργασία της προσρόφησης πραγματοποιείται με τρεις μηχανισμούς:

Φυσική προσρόφηση: Οφείλεται στις ασθενείς δυνάμεις Van der Waals. Τα προσροφούμενα μόρια κινούνται ελεύθερα στην επιφάνεια προσρόφησης και δεν συγκρατούνται σε κάποιο συγκεκριμένο σημείο. Παρατηρείται κυρίως σε χαμηλά επίπεδα θερμοκρασίας και χαρακτηρίζεται από χαμηλή ενέργεια προσρόφησης.

Ηλεκτροστατική προσρόφηση: Οφείλεται σε ηλεκτροστατικές δυνάμεις έλξης (ιονανταλλαγή). Τα ιόντα έλκονται στην επιφάνεια του στερεού από αντίθετα φορτισμένα ηλεκτροστατικά φορτία και συγκρατούνται. Παρατηρείται σε υψηλές θερμοκρασίες και χαρακτηρίζεται από υψηλές ενέργειες προσρόφησης.

Χημική προσρόφηση: Πραγματοποιούνται χημικές αντιδράσεις μεταξύ του προσροφήματος και της επιφάνειας του προσροφητή. Δημιουργείται χημικός δεσμός μεταξύ του διαλυτού μορίου και της επιφάνειας.

Τέλος, καθοριστικός είναι ο ρόλος των ιδιοτήτων της επιφάνειας του προσροφητή, όπως η ειδική επιφάνεια, οι επιφανειακές ενεργές θέσεις, οι σταθερές πρόσληψης και αποβολής πρωτονίων από την επιφάνεια και η ανάπτυξη φορτίου της επιφάνειας.

Σχήμα 2.3. Κύκλος Φωσφόρου

2.7 Ιδιότητες κοινών καλαμιών (*Phragmites Australis*)

Όσον αφορά τη δράση των καλαμιών για τη μείωση των επιπέδων των θρεπτικών στους υδάτινους πόρους έχουν γίνει πολλές μελέτες. Συγκεκριμένα, τα κοινά καλάμια (*Phragmites Australis*) ενσωματώνουν άζωτο και φώσφορο στους ιστούς τους και βοηθούν στην προσρόφηση του φωσφόρου στο έδαφος από την απελευθέρωση οξυγόνου από τις ρίζες (Wathugala, 1987), λόγω του ότι το οξυγόνο βοηθά στην οξείδωση του πιο διαλυτού Fe^{2+} σε Fe^{3+} και την κατακρήμνιση οξειδίων του σιδήρου με αποτέλεσμα την δημιουργία επιπλέον θέσεων προσρόφησης.

Οι *Phragmites Australis* αναπτύσσονται σε ποικίλους βιοτόπους, όπως θαλάσσια έλη, παρόχθιες περιοχές λιμνών, βάλτων, ελών, ακόμα και σε ξηρές περιοχές που δεν αντιμετωπίζουν μεγάλο ανταγωνισμό. Αναπτύσσονται καλύτερα σε εύφορες περιοχές, αν και συχνά συναντώνται και σε ολιγοτροφικούς βιοτόπους. Λόγω του ότι εγκλιματίζονται εύκολα σε ποικίλες συνθήκες ανάπτυξης και αναπτύσσονται ευρέως, επιλέγονται για την τοποθέτηση σε τεχνητούς υδροτόπους που εναποτίθενται μεγάλα φορτία λυμάτων ή ιλύος. Ο περιοριστικός παράγοντας για την ανάπτυξη των καλαμιών συνήθως είναι το άζωτο, γεγονός που αποδεικνύεται από την επιπλέον ανάπτυξή τους όταν παρέχονται αποθέματα αζώτου, σε αντίθεση με την παροχή φωσφόρου (Romero et al., 2007).

Σε καλάμια που αναπτύχθηκαν σε ευτροφική λίμνη έχει παρατηρηθεί πενταπλάσια συγκέντρωση ολικού αζώτου και τετραπλάσια ολικού φωσφόρου στους βλαστούς σε σχέση με άλλα σε μεσοτροφική λίμνη. Επίσης, μελετώντας τις συμπεριφορές των καλαμιών κατά τη διάρκεια του έτους παρατηρούνται μέγιστες συγκεντρώσεις αζώτου και φωσφόρου σε συγκεκριμένες περιόδους (Lippert et al., 1999).

Οι μέγιστες συγκεντρώσεις φωσφόρου παρατηρούνται στους νέους βλαστούς και ακολούθως υπάρχει συνεχόμενη μείωση μέχρι το τέλος της περιόδου ανάπτυξης (Granéli and Solander, 1988). Ταυτόχρονα, παρατηρείται μείωση στις συγκεντρώσεις των ριζών. Κατά τη φθινοπωρινή περίοδο όπου οι βλαστοί σταδιακά ξεραίνονται αλλά παραμένουν ακόμη ζωντανοί, το απόθεμά τους σε φώσφορο μειώνεται γρήγορα (Mason and Bryant 1975, Prentki et al. 1978, Davis and van der Walk 1983, Van der Linden 1986). Τα φύλλα που πέφτουν και η ξερή βιομάζα των καλαμιών συνήθως περιέχουν χαμηλές συγκεντρώσεις φωσφόρου, η οποία οφείλεται μερικώς στην μεταφορά των θρεπτικών προς τα υπόγεια όργανα (ρίζες και ριζώματα) (Granéli, 1984; Morris and Lajtha, 1986). Τέλος, οι απώλειες μέσω ξεπλύματος των φύλλων από τη βροχή δεν είναι σημαντική (Van der Linden, 1980; Prentki et al., 1978).

Από τα τέλη του 19^{ου} οπότε και θεωρούνταν πως οι ρίζες δρούσαν μόνο σαν όργανο συγκράτησης, έχει γίνει μεγάλη πρόοδος ως προς τη διευκρίνιση της λειτουργίας τους και του ρόλου στην ανάπτυξη των φυτών. Σήμερα, είναι εξακριβωμένο πως τα μακρόφυτα (όπως και τα καλάμια) που μέρος τους βρίσκεται υπό την επιφάνεια του νερού, μπορούν και προσλαμβάνουν φώσφορο τόσο από το έδαφος μέσω των ριζών, όσο και από την υδάτινη επιφάνεια που έρχονται σε επαφή τα φύλλα. Μεταφορά θρεπτικών συμβαίνει και προς τις δύο κατευθύνσεις. Την περίοδο της ανάπτυξης (άνοιξη) μεταφορά συμβαίνει από τις ρίζες προς τους βλαστούς, ενώ η μεταφορά από το υπέργειο τμήμα προς τις ρίζες έχει παρατηρηθεί το καλοκαίρι και το φθινόπωρο (Wilhelm Granéli and Doris Solander, 1988). Ωστόσο, θεωρητικά μπορεί να υποστηριχτεί πως η εσωτερική ανακύκλωση για συντήρηση στα φυτά δεν είναι απαραίτητη όταν η κατάσταση του υδάτινου πόρου είναι ευτροφική και κυρίως όταν υπάρχει υπόστρωμα (ίζημα) πλούσιο σε φώσφορο οπότε και τα υδρόβια φυτά μπορούν να προσλάβουν τον απαραίτητο P για την ανάπτυξή τους από εκεί (Granéli and Solander, 1988).

Όσον αφορά τη δυνατότητα της διαχείρισης των καλαμιών με σκοπό τη μείωση της ρύπανσης στο υδάτινο σύστημα, μπορεί να πραγματοποιηθεί κοπή όλων των καλαμιών την περίοδο που παρουσιάζουν το μέγιστο των συγκεντρώσεων σε θρεπτικά. Η κοπή πρέπει να γίνεται πολύ προσεκτικά και χωρίς να διαταράσσεται πάρα πολύ το ίζημα, λόγω του ότι μπορεί να επηρεαστεί το σύστημα. Στη συνέχεια, τα κομμένα καλάμια μπορούν είτε να τεμαχιστούν και να διατεθούν επιτόπου, είτε να οδηγηθούν προς επεξεργασία για την παραγωγή σκέπαστρων, αντιανεμικών φρακτών κτλ (Wathugala, 1987), είτε να επεξεργαστούν επιπλέον καίγοντάς τα, δημιουργώντας κομπόστ ή τοποθετώντας τα εντός σακουλών σκουπιδιών προς διάθεση σε Χ.Υ.Τ.Α. (Bureau of Watershed Management - Wisconsin, 2007). Ωστόσο, η επιλογή της κομποστοποίησης που προτείνεται (Wathugala, 1987, Hansson and Fredriksson, 2003) είναι διφορούμενη λόγω του ότι έχει παρουσιαστεί το πρόβλημα της ανεξέλεγκτης εξάπλωσης των καλαμιών, εξαιτίας της γρήγορης και πολύ εύκολης εξάπλωσής τους (Bureau of Watershed Management - Wisconsin, 2007). Εκτός αυτών, έχει προταθεί και η επιλογή της χρησιμοποίησης των καλαμιών για την παραγωγή βιοαερίου, η οποία έχει ιδιαίτερα πλεονεκτήματα. Συγκεκριμένα, υπάρχει το όφελος της ανάκτησης της παραγόμενης ενέργειας και πέραν τούτου το παραπροϊόν της διεργασίας (λάσπη) μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως οργανικό λίπασμα (Hansson and Fredriksson, 2003). Η περιβαλλοντικά αποδοτικότερη επεξεργασία είναι αυτή της παραγωγής βιοαερίου, λόγω του ότι παράγονται μεγάλα ποσά ενέργειας, τα οποία είναι εύκολα αξιοποιήσιμα. Η επιλογή του τεμαχισμού και της επιτόπου διάθεσης, από την άλλη, δεν απαιτεί μεγάλη οικονομική επένδυση, όμως δεν παράγεται αξιοποιήσιμη ενέργεια και διατρέχεται ο κίνδυνος υπερβολικής εκχύλισης ενώσεων του αζώτου. Η μέθοδος επεξεργασίας που δεν συνίσταται τελικώς είναι αυτή της κομποστοποίησης λόγω του ότι η διεργασία παραγωγής του κομποστοποιημένου προϊόντος είναι οικονομικά ασύμφορη λόγω του ότι δεν παράγεται ενέργεια σε σχέση με την παραγωγή βιοαερίου. Ωστόσο, η επιλογή της επεξεργασίας διαφέρει από περίπτωση σε περίπτωση, εξαρτώμενη από τις περιβαλλοντικές απαιτήσεις και τις οικονομικές δυνατότητες κάθε περιοχής. Τέλος, το σημαντικότερο για την βελτιστοποίηση της αποδοτικότητας του συστήματος είναι τα καλάμια να κόβονται όταν οι περιεχόμενες ποσότητες των θρεπτικών είναι σημαντικά μεγάλες (Hansson and Fredriksson, 2003).

2.8 Μοριακός λόγος N/P στα φυτά

Ο λόγος N/P χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του στοιχείου που αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για την ανάπτυξη των φυτών. Ωστόσο, τελευταία μελετάται κατά πόσον αυτή η ένδειξη είναι αξιόπιστη, ενώ ερευνάται και η κρίσιμη τιμή του λόγου (Güsewell, 2004). Λόγω του ότι δεν έχει βρεθεί ακόμη συγκεκριμένη απάντηση, διακρίνεται η ασάφεια του όρου του περιοριστικού παράγοντα στα φυτά. Μέχρι στιγμής, η έννοια του περιοριστικού παράγοντα διακρίνεται στις διαφορές μεταξύ των ποσοστών των διαδικασιών, πράγμα που εξαρτάται από την ίδια τη διαδικασία, τον τύπο της σύγκρισης και το χρονικό περιθώριο στο οποίο γίνεται η αξιολόγηση. Για αυτό το λόγο, δεν μπορεί να βγει κάποιο ακριβές συμπέρασμα μελετώντας την αναλογία N/P εντός της βιομάζας μέχρι στιγμής. Παρόλ' αυτά, ο λόγος N/P αποτελεί σημαντική μεταβλητή για την οικολογική έρευνα λόγω του ότι απεικονίζει το βαθμιαίο και δυναμικό χαρακτήρα του θρεπτικού περιοριστικού παράγοντα, λόγω του ότι έχει παρατηρηθεί συσχέτιση μεταξύ των αλλαγών στην απόδοση και τη σύνθεση των φυτών και της μεταβολής του λόγου N/P (Güsewell, 2004).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^{Ο}

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Την περιοχή μελέτης αποτελεί ένα αποστραγγιστικό κανάλι μήκους 180 μέτρων που βρίσκεται στη Σκάλα του Νομού Λακωνίας, εντός της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα. Ο ποταμός Ευρώτας βρίσκεται στην νότια Πελοπόννησο και έχει μήκος περίπου 85 χιλιόμετρα. Στις όχθες του φυτρώνουν πολλά υδρόβια φυτά και καλαμιές. Εντός των υδάτων του ζουν πολλά χέλια, ενώ στις όχθες βατράχια και διάφορα είδη πουλιών. Με το πέρασμα των ετών, παρουσιάζεται έλλειψη νερού, γεγονός που φαίνεται εντονότερα την περίοδο του καλοκαιριού, όπου σε πολλά σημεία ο ποταμός ξηραίνεται, από όπου και παίρνει τον χαρακτηρισμό ποταμού διαλείπουσας ροής.

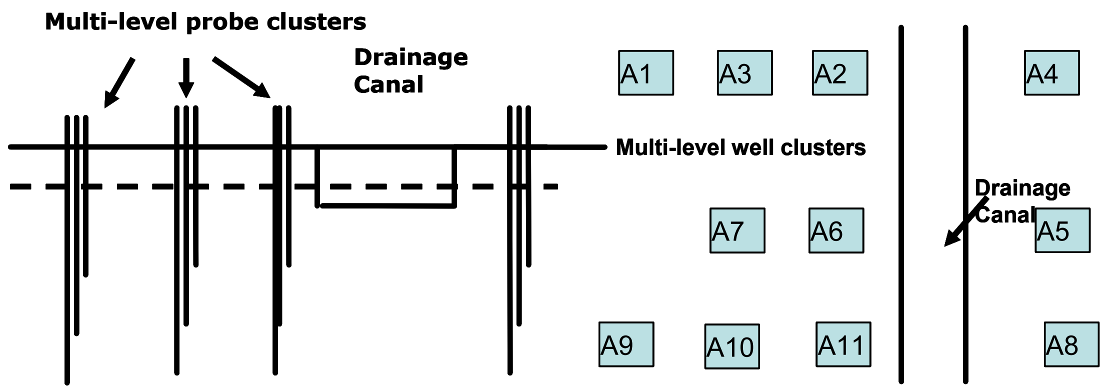
Το κύριο αρδευτικό δίκτυο της λεκάνης βρίσκεται στην περιοχή της Σκάλας, κοντά στις εκβολές του ποταμού, το οποίο αποτελείται από πολλά περιφερειακά αποστραγγιστικά κανάλια. Στην περιοχή βρίσκονται καλλιέργειες κυρίως πορτοκαλιών, των οποίων οι υδάτινες απορροές καταλήγουν στα αποστραγγιστικά κανάλια. Ένα μέρος των συλλεγόμενων νερών αποστραγγίζεται στη θάλασσα μέσω της τάφρου Π κι ένα άλλο μέσω αντλιοστασίου που διοχετεύει τα νερά στην τάφρο Ω (Βασιλοπόταμος ποταμός) (σχήμα 3.1). Ωστόσο, πολλές τάφροι της περιοχής ξηραίνονται κατά την περίοδο του καλοκαιριού, λόγω της πτώσης του υδροφόρου ορίζοντα κάτω από το ίζημα των καναλιών, με αποτέλεσμα τη διακοπή της επικοινωνίας τους με το υπόγειο νερό.

Σχήμα 3.1 Τάφρος Ωμέγα – Βασιλοπόταμος ποταμός.

Στα πλαίσια του προγράμματος Envi-friendly (Τεχνολογίες Φιλικές προς το Περιβάλλον για Αγροτική Ανάπτυξη) κατασκευάστηκαν στην περιοχή 11 συνολικά γεωτρήσεις (πηγάδια παρατήρησης) για την τρισδιάστατη αποτύπωση του πλουμίου ρύπανσης. Χρησιμοποιήθηκαν πιεζόμετρα σε διαφορετικά βάθη (3 πιεζόμετρα σε 3 διαφορετικά βάθη, 3, 4 και 5 m), ώστε να μελετηθεί η τρισδιάστατη συμπεριφορά του υπόγειου νερού και να γίνει η εκτίμηση της συσχέτισης του επιφανειακού με το υπόγειο νερό σε κάθε γεώτρηση. Η διάταξη των γεωτρήσεων παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.2. Η διαδικασία δειγματοληψίας διευκρινίζεται πλήρως στην αναφορά (Νικολαΐδης et al., 2006).

Στην περιοχή των αποστραγγιστικών καναλιών φυτρώνουν καλάμια που διαχειρίζονται από τον ΤΟΕΒ Σκάλας, κόβοντάς τα κάθε 2 χρόνια και αφήνοντάς τα επιτόπου. Η πυκνότητα των καλαμιών υπολογίστηκε σε 15 καλάμια/m^2 περίπου. Στην χρονική περίοδο της μελέτης, τα καλάμια κόπηκαν πλήρως σε όλη την έκταση τον Δεκέμβριο του 2006 και τον Ιούνιο του 2007.

Η πρώτη εκτίμηση των χαρακτηριστικών της περιοχής που παρουσιάζονται σε αυτό το κεφάλαιο έγινε με τη χρήση των δεδομένων της εργασίας Stamati et al. 2008a και αυτών της διπλωματικής εργασίας της Κορδολαίμης Ελένης.



Σχήμα 3.2. Διάταξη των γεωτρήσεων και των multi-level probe clusters σε σχέση με την αποστραγγιστική τάφρο ή το ποτάμι.

3.1 Παρακολούθηση χημικής ποιότητας υπογείου και επιφανειακού νερού

Βάσει της ταχύτητας του υπογείου νερού (Πίνακας 1.1), λαμβάνονταν δείγματα από τις γεωτρήσεις (πηγάδια παρατήρησης) και από το αποστραγγιστικό κανάλι κάθε 2 μήνες. Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 8 δειγματοληψίες (11/06, 1/07, 3/07, 5/07, 7/07, 11/07, 3/08, 5/08). Η άντληση των δειγμάτων υπόγειου νερού γινόταν με περισταλτική αντλία με χαμηλή ροή (<1 L/min), ώστε η θολερότητα να διατηρείται στα κατώτατα επίπεδα, μέχρι να σταθεροποιηθούν οι μετρήσεις πεδίου (pH, Eh, αγωγιμότητα, διαλυμένο οξυγόνο, και θερμοκρασία). Αφού σταθεροποιούνταν οι μετρήσεις πεδίου γινόταν η δειγματοληψία για τις χημικές αναλύσεις στο εργαστήριο. Τα δείγματα διηθούνταν με χρήση φίλτρου 0.45 μm. Το διήθημα που αντιπροσωπεύει τη διαλυτή φάση των δειγμάτων αναλυόταν με χρήση φασματοφωτομέτρου DR/2010 Hach για νιτρικό άζωτο (NO3-N, Cadmium Reduction Method, 8039), νιτρώδες άζωτο (NO2-N, Diazotization Method, 8507), αμμωνιακό άζωτο (NH3-N, Salicylicate Method, 10023), φωσφορικό φώσφορο (PO4-P, phosVer3 Method, 8048), ολικό άζωτο (TNT Persulfate Digestion Method, 10071) ή ολικό Kjeldahl άζωτο (TKN, χώνευση με χρήση συσκευής Hach-Digesdahl Digestion Apparatus και μέτρηση με τη Nessler Method, 8075) (στις 2 τελευταίες δειγματοληψίες), ολικό οργανικό άνθρακα (Direct Method Patent Pending, 10129), χημικώς απαιτούμενο οξυγόνο (COD, Reactor Digestion Method, 8000), και ολικές φαινόλες (αναλυτική μέθοδος Folin Ciocalteu). Η μέτρηση του ολικού οργανικού άνθρακα (DOC) στις 2 τελευταίες δειγματοληψίες έγινε με χρήση αναλυτή Shimadzu 5050. Το διαλυτό οργανικό άζωτο (DON) προκύπτει από την αφαίρεση του αμμωνιακού αζώτου από το ολικό Kjeldahl άζωτο.

Πίνακας 1.1 Χαρακτηριστικά υπόγειου νερού

	k (Μέση τιμή), cm/sec	Ταχύτητα Darcy, cm/sec	Χρόνος μεταφοράς, d/m
Υπόγειο Νερό	8.0E-04	7.2E-05	16
Επαναφόρτιση Αποστραγγιστικού καναλιού	6.8E-04	4.1E-04	3

Από την παρακολούθηση της ποιότητας του υπόγειου και επιφανειακού νερού προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα:

Στο υπόγειο νερό της περιοχής με τις πορτοκαλιές επικρατούν ανοξικές συνθήκες και έχει υψηλά επίπεδα COD, φαινολών, DOC, DON, αμμωνίας και περιοδικά νιτρικών. Το υψηλό οργανικό φορτίο οφείλεται στο είδος του ιζήματος, το οποίο είναι τύρφη.

Το επιφανειακό νερό έχει σημαντικά χαμηλότερες συγκεντρώσεις νιτρικών, αμμωνίας, COD και DOC, ενώ υπήρχε και συνεχής μείωση των ρύπων από το υπόγειο νερό στο αποστραγγιστικό κανάλι, το οποίο οδηγεί στο συμπέρασμα ότι λαμβάνουν χώρα διεργασίες που βοηθούν στη φυσική αποκατάσταση της περιοχής (Πίνακας 1-4).

Ακόμη, βρέθηκε ότι το οργανικό μέρος του αζώτου στο υπόγειο νερό αποτελεί το σημαντικότερο μέρος του ολικού αζώτου (43-84 % κατά μέσο όρο), ενώ ο λόγος DOC/DON στο υπόγειο νερό είναι σχετικά χαμηλός κυμαίνοντας από 3.6 – 20.8, με το μέσο όρο να είναι 15, γεγονότα που οδηγούν στο συμπέρασμα ότι υπάρχει αφθονία οργανικού αζώτου (Πίνακας 1-2).

Ο μοριακός λόγος του DIN/DIP στο υπόγειο νερό παρουσίασε μεγάλη διακύμανση (10 - 288), με τη μέση τιμή του να είναι 67, ενώ αντίστοιχα, για το νερό του αποστραγγιστικού καναλιού, ο λόγος κυμαινόταν από 6 έως 849. Από αυτά βγαίνει το συμπέρασμα πως ο φώσφορος αποτελεί τον περιοριστικό παράγοντα για τον ευτροφισμό (Πίνακας 1-2, Πίνακας 1-3).

Επίσης, οι συγκεντρώσεις των φωσφορικών εντός του αποστραγγιστικού καναλιού παρουσίασαν κι αυτές μεγάλη διακύμανση (9–399 μg/L), ενώ υπερέβαιναν τα κριτήρια ευτροφισμού για λίμνες (20 μg/L) μετά την κοπή των καλαμιών. Αυτή η διακύμανση μπορεί να ερμηνευτεί συγκρίνοντας τις συγκεντρώσεις του φωσφόρου στο υπόγειο νερό, με αυτές στο αποστραγγιστικό κανάλι, σε σχέση με τη χρονική στιγμή της κοπής των καλαμιών (Δεκέμβριος 2006 – Πίνακας 1-2, Πίνακας 1-3). Συγκεκριμένα, το αποστραγγιστικό κανάλι ήταν ολιγοτροφικό εξαιτίας της πρόσληψης φωσφόρου από τα φυτά και μόλις τα καλάμια κόπηκαν (Δεκέμβριος 2006) εξελίχθηκε σε μεσοτροφικό και κατόπιν ευτροφικό (Διάγραμμα 1-12).

Οι συγκεντρώσεις των νιτρικών που παρατηρήθηκαν ήταν μικρότερες στο αποστραγγιστικό κανάλι σε σχέση με το υπόγειο νερό, εκτός από ορισμένες περιπτώσεις που υπήρξε σημαντική εισροή εξαιτίας επιφανειακής απορροής (Διάγραμμα 1-14).

Πίνακας 1-2. Μέσες τιμές των φυσικοχημικών παραμέτρων (η τυπική απόκλιση στις παρενθέσεις) του υπογείου νερού από τον Νοέμβριο 2006 έως το Μάιο 2008.

Δειγματοληψία[1] Ημερομηνία	**1st 11/06**	**2nd 1/07**	**3rd 3/07**	**4th 5/07**	**5th 7/07**	**6th 11/07**	**7th 3/08**	**8th 5/08**
Αριθμός δειγμάτων	7	10	19	19	20	15	15	11
Θερμοκρασία (oC)	20.2 (0.5)	17.7 (0.7)	17.7 (1.0)	21.3 (1.7)	24.1 (1.8)	17.9 (0.2)	18.0 (1.5)	21.0 (1.0)
pH	7.27 (0.07)	7.41 (0.13)	7.30 (0.08)	7.22 (0.08)	7.10 (0.08)	7.22 (0.09)	7.08 (0.12)	7.21 (0.05)
DO (mg/L)	2.1 (1.2)	1.3 (0.6)	2.6 (1.2)	1.1 (0.6)	1.8 (0.8)	1.4 (0.4)	1.1 (0.6)	1.7 (0.3)
Αγωγιμότητα (μS/cm)	1129 (349)	633 (110)	1039 (414)	1282 (414)	722 (179)	882 (166)	899 (133)	680 (362)
Eh (mV)	81 (71)	94 (109)	55 (37)	104 (37)	149 (38)	141 (41)	153 (21)	289 (50)
COD (mg/L)	60.7 (37.4)	27.9 (19.4)	34.7 (21.6)	9.0 (7.9)	11.0 (8.3)	14.0 (8.7)	10.2 (6.6)	9.3 (3.6)
NO2-N (mg/L)	0.220 (0.260)	0.047 (0.085)	0.045 (0.081)	0.016 (0.019)	<0.004	0.005 (0.001)	0.005 (0.002)	0.006 (0.005)
NO3-N (mg/L)	6.095 (8.964)	1.680 (1.598)	0.793 (1.034)	<0.267	<0.267	<0.267	0.289 (0.086)	<0.267
NH3-N (mg/L)	0.498 (0.197)	0.187 (0.254)	0.291 (0.267)	0.434 (0.278)	0.325 (0.304)	0.546 (0.308)	0.331 (0.176)	0.175 (0.164)
PO4-P (mg/L)	0.102 (0.055)	0.017 (0.009)	0.155 (0.043)	0.080 (0.103)	0.140 (0.076)	0.049 (0.026)	0.065 (0.029)	0.088 (0.028)
T.phenols (mg/L)	3.240 (1.076)	1.323 (0.645)	<0.402	1.560 (1.017)	1.901 (0.608)	2.391 (1.400)	1.983 (0.605)	1.906 (0.577)
DOC (mg/L)	13.426 (7.911)	N.D.	13.659 (6.428)	19.442 (5.264)	7.684 (4.253)	14.618 (4.419)	-	-
DON (mg/L)2	N.D.	N.D.	0.934 (0.645)	1.488 (1.852)	1.719 (1.325)	4.052 (0.684)	3.387 (1.293)	0.262 (-)
DIN (mg/L)	6.813 (9.421)	1.914 (1.936)	1.128 (1.383)	0.717 (0.297)	0.596 (0.304)	0.818 (0.308)	0.624 (0.264)	0.448 (0.169)
DON/TDN[2]	-	-	0.43 (0.19)	0.59 (0.22)	0.67 (0.23)	0.84 (0.04)	0.83 (0.06)	0.025 (-)
DOC/DON[2]	-	-	20.8 (19.6)	27.3 (26.0)	9.7 (10.2)	3.6 (1.0)	-	-
DIN/DIP (molar)	81 (118)	288 (303)	17 (19)	66 (79)	10 (8)	53 (51)	27.7 (20)	12.0 (4.0)

1 1st :8/11/06, 2nd :15/1/07, 3rd :11/3/07, 4th :30/5/07, 5th :28/7/07, 6th :26/11/07, 7th :3/3/08, 8th : 12/5/08

2 πηγάδια που δίνουν TDN >1.15 mg/L=BDL

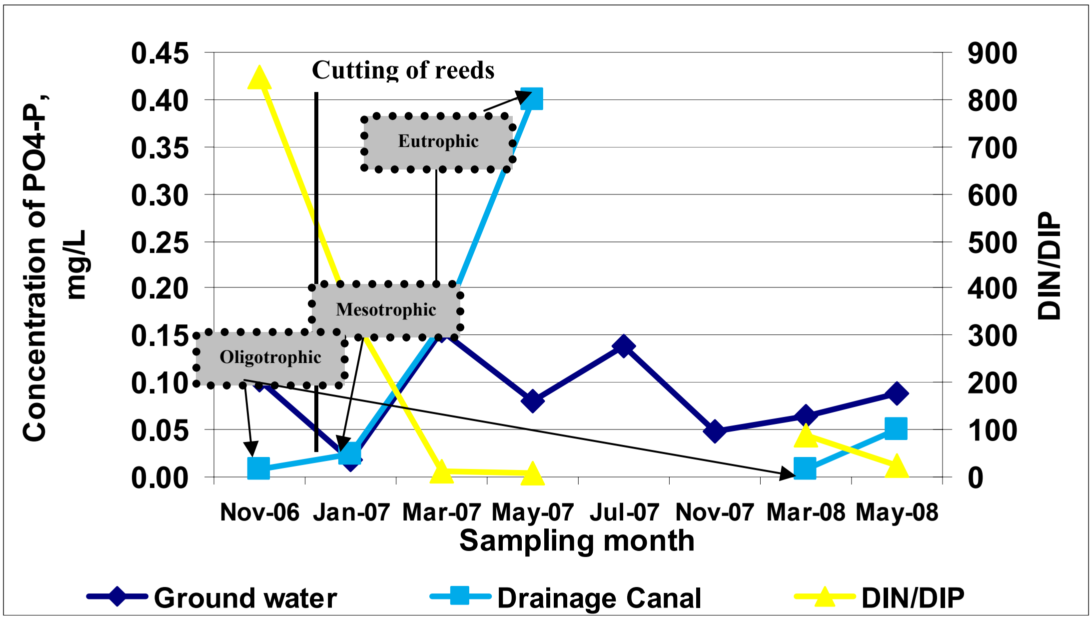
Πίνακας 1-3. Μέσοι όροι φυσικοχημικών παραμέτρων νερού από το αποστραγγιστικό κανάλι στην περιοχή Σκάλα, Νοέμβριος 2006 – Μάιος 2008.

Δειγματοληψία[1] Ημερομηνία	1st 11/06	2nd 1/07	3rd 3/07	4th 5/07	7th 3/08	8th 5/08
Θερμοκρασία (oC)	17.5	21.6	17.9	21	16.5 (0.2)	18.4
pH	7.1	7.21	7.47	7.57	7.20 (0.01)	7.38
DO (mg/L)	7.3	5.07	7.82	6.5	3,70 (2.88)	4.22
Αγωγιμότητα (μS/cm)	978	518	499	1051	744 (47)	320
Eh (mV)	155.5	199.9	156.7	199	146 (9)	386.7
COD (mg/L)	5.5	7.5	<3.65	<3.65	16.7 (1.4)	<3.65
NO2-N (mg/L)	<0.004	<0.004	0.006	0.009	0.007 (0.001)	0.005
NO3-N (mg/L)	3.419	3.755	0.799	1.100	0.300 (0.022)	0.538
NH3-N (mg/L)	0.027	<0.025	<0.025	0.051	0.056 (0.034)	<0.025
PO4-P (mg/L)	<0.009	0.024	0.160	0.399	<0.009	0.050
T.phenols (mg/L)	1.0	0.7	2.6	0.6	1.395 (0.243)	0.987
DOC (mg/L)	5.5	-	1.6	-	-	-
DON (mg/L)	-	-	0.547	-	4.100	-
DIN (mg/L)	3.450	3.784	0.830	1.160	0.362 (0.057)	0.54
DON/TDN	0.0	0.0	0.4	0.0	0.91	-
DOC/DON[1]	-	-	2.9	-	-	-
DIN/DIP	849	349	11	6	89	-

1 1st :8/11/06, 2nd :15/1/07, 3rd :11/3/07, 4th :30/5/07, 5th :28/7/07, 6th :26/11/07, 7th :3/3/08, 8th : 12/5/08

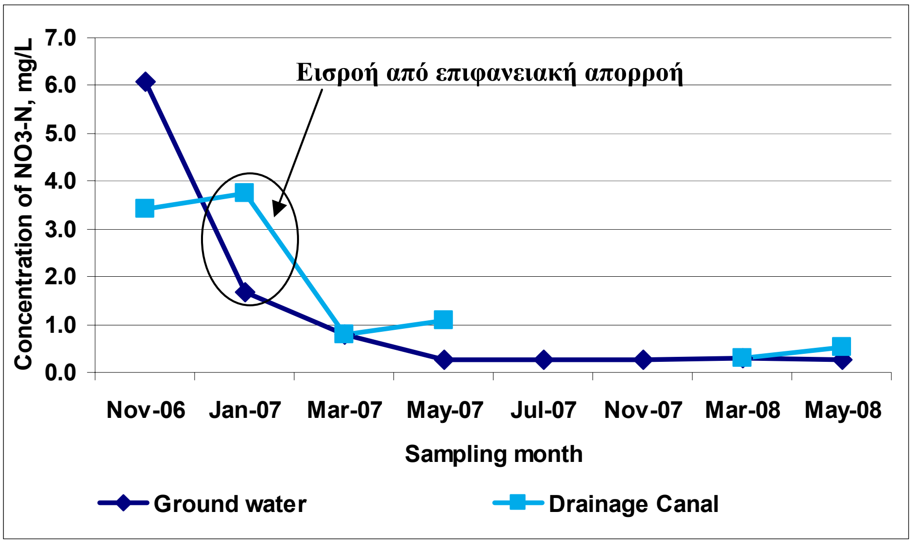
Πίνακας 1-4. Ποσοστό (%) μείωσης (μείον) ή αύξησης (συν) των χημικών παραμέτρων από το υπόγειο νερό στο νερό του αποστραγγιστικού καναλιού στην περιοχή Σκάλα, Νοέμβριος 2006 – Μάιος 2008.

Περίοδος Δειγματοληψίας	1st 11/06	2nd 1/07	3rd 3/07	4th 5/07	7th 3/08	8th 5/08
COD (%)	-91.0	-73.0	-95.9	-59.5	64.4	-60.6
NO2-N (%)	-98.2	-91.5	-86.0	-43.9	31.9	-12.2
NO3-N (%)	-43.9	123.5	0.8	312.0	3.6	101.3
NH3-N (%)	-94.6	-86.6	-91.4	-88.2	-83.1	-85.7
PO4-P (%)	-91.2	40.3	3.6	397.7	-86.1	-43.3
T.phenols (%)	-69.3	-49.9	536.3	-61.5	-29.7	-48.2
DOC (%)	-58.9		-88.4	-100.0		
DON (%)[1]			-41.5	-100.0	21.1	
DIN (%)	-49.4	97.7	-26.4	61.9	-41.9	21.2



Διάγραμμα 1-12. Συγκέντρωση Φωσφορικού φωσφόρου στο υπόγειο νερό και στο αποστραγγιστικό κανάλι (DC) και μοριακός λόγος N/P στο αποστραγγιστικό κανάλι (Νοέμβριος 2006-Μάρτιος 2008).

Εικόνες. Ευτροφικές συνθήκες στο αποστραγγιστικό κανάλι (Μάρτιος 2007).

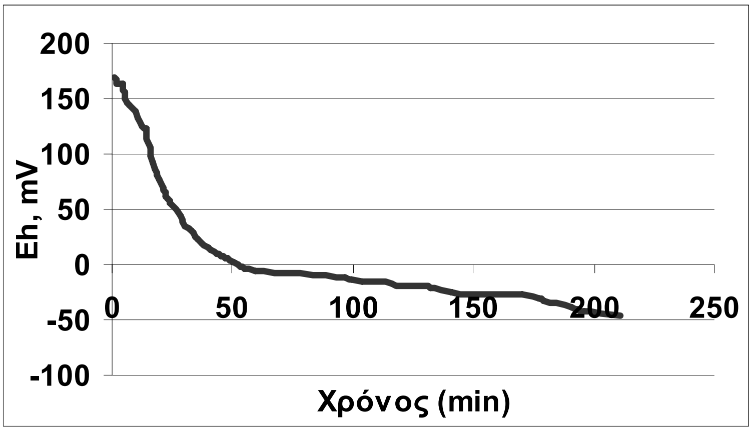


Διάγραμμα 1-14. Συγκέντρωση Νιτρικού αζώτου στο υπόγειο νερό και στο αποστραγγιστικό κανάλι (Νοέμβριος 2006-Μάιος 2008).

3.2 Εκτίμηση δυναμικού οξειδοαναγωγής και δυνατότητας απονιτροποίησης του ιζήματος

Οι διεργασίες της οξείδωσης και της αναγωγής αφορούν τη μεταφορά ηλεκτρονίων και άλλων ιόντων. Συγκεκριμένα, οξείδωση ονομάζεται η απώλεια ηλεκτρονίων, ενώ αναγωγή η πρόσληψη ηλεκτρονίων. Οι δύο αυτές διεργασίες πραγματοποιούνται ταυτόχρονα. Η πραγματοποίηση ή όχι μιας οξειδοαναγωγικής αντίδρασης εξαρτάται από το δυναμικό οξειδοαναγωγής (Oxide Redox Potential, ORP). Όπως έχουμε δει παραπάνω, για την διεργασία της απονιτροποίησης απαιτούνται κάποιες απαραίτητες συνθήκες. Για τον προσδιορισμό αν υπάρχουν αναγωγικές συνθήκες ώστε να πραγματοποιείται η αναγωγή νιτρικών σε νιτρώδη και οξείδια του αζώτου, πραγματοποιήθηκε σύντομο πείραμα διαλείποντος έργου (batch), υπολογίζοντας το δυναμικό οξειδοαναγωγής του ιζήματος.

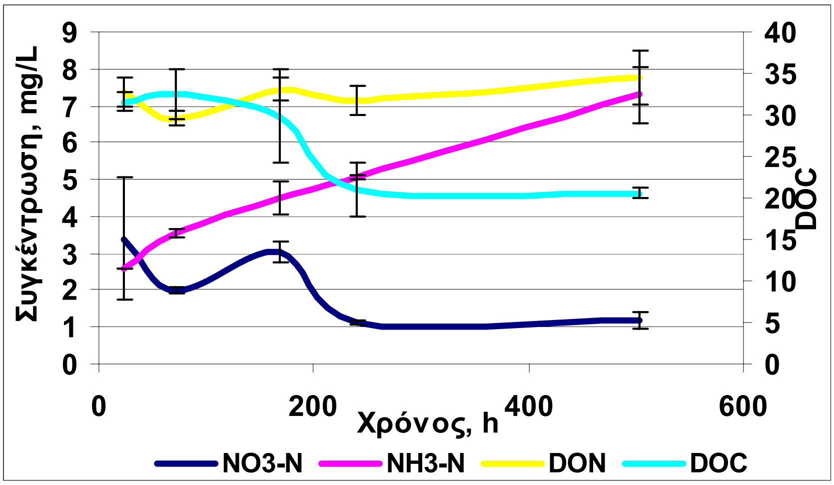
Από τα αποτελέσματα του πειράματος (Σχήμα 3.3), παρατηρείται ότι το δυναμικό οξειδοαναγωγής του ιζήματος μέσα σε 200 ώρες ανάδευσης υπό ανοξικές συνθήκες έπεσε σε τιμή μικρότερη των -50 mV. Συνεπώς, υπό κατάλληλες συνθήκες, δηλαδή αναερόβιες συνθήκες, παρουσία δοτών ηλεκτρονίων (οργανικός άνθρακας) και παρουσία απονιτροποιητών βακτηρίων, είναι πολύ πιθανό να υπάρχουν και οι απαραίτητες αναγωγικές συνθήκες για τη διεργασία της απονιτροποίησης,



Σχήμα 3.3. Το δυναμικό οξειδοαναγωγής του ιζήματος ΙΙ.

3.3 Εκχύλιση νιτρικού αζώτου από το ίζημα

Για τον προσδιορισμό της δυνατότητας εκχύλισης νιτρικού αζώτου από το ίζημα, πραγματοποιήθηκε πείραμα διάρκειας 21 ημερών. Από τα αποτελέσματα (Σχήμα 3.4) προέκυψε ότι το αμμωνιακό άζωτο αυξάνεται και ο οργανικός άνθρακας μειώνεται καθόλη τη διάρκεια του πειράματος, ενώ το οργανικό άζωτο παραμένει σχεδόν σταθερό (Stamati et al., 2008b). Συνεπώς, βγαίνει το συμπέρασμα πως πραγματοποιείται ανοργανοποίηση, ωστόσο το οργανικό άζωτο που περιέχεται στο ίζημα και εκχυλίζεται δεν είναι άμεσα ανοργανοποιήσιμο. Από την άλλη πλευρά, εξαιρώντας μια αρχική αύξηση στη συγκέντρωση των νιτρικών, παρατηρείται πως αυτή παραμένει σχεδόν σταθερή, το οποίο ερμηνεύεται ως προς το ότι δεν υπάρχουν ενδείξεις νιτροποίησης ή απονιτροποίησης.



Σχήμα 3.4. Εκχυλίσιμες συγκεντρώσεις NO3-N, NH3-N, DOC, και DON από το ίζημα ΙΙ.

Εικόνα 1. Αποστραγγιστικά κανάλια στην περιοχή της Σκάλας.

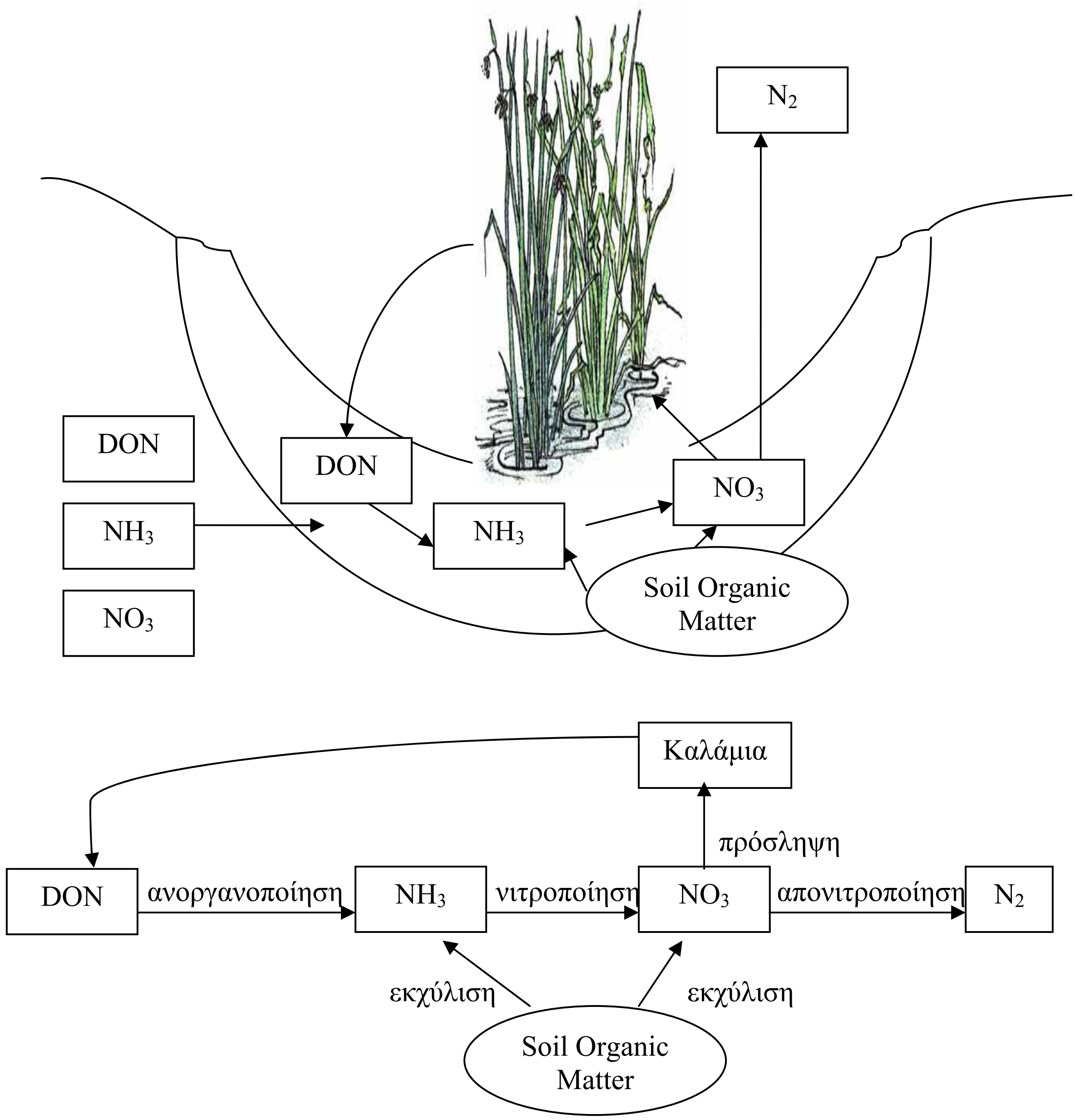
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^{Ο}

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

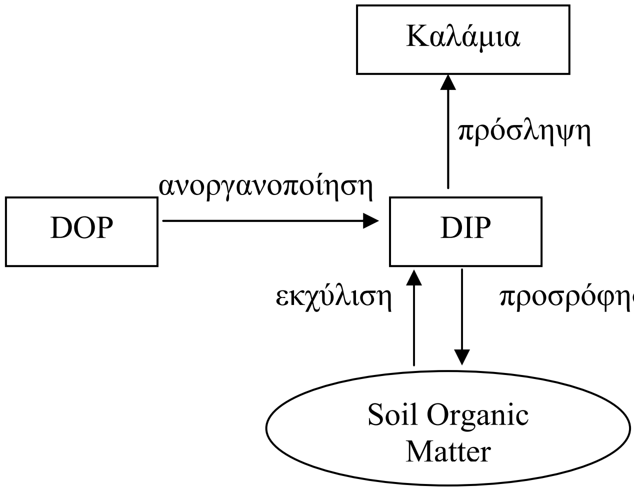
4.1 Εισαγωγή

Στην υπό μελέτη περιοχή, υπάρχει αυξημένη εισροή θρεπτικών συστατικών στο αποστραγγιστικό κανάλι εξαιτίας της χρήσης λιπασμάτων στις καλλιέργειες. Σκοπός της εργασίας ήταν η αξιολόγηση της τεχνολογίας διαχείρισης των αποστραγγιστικών καναλιών ως προς τη μείωση των θρεπτικών από την πρόσληψη από τα καλάμια και επιπλέον μέσω της απονιτροποίησης και της προσρόφησης των φωσφορικών από το ίζημα. Για την επίτευξη του παραπάνω ήταν αναγκαία η παρακολούθηση του υπόγειου και επιφανειακού νερού, όπως επίσης και η δειγματοληψία ιζημάτων για την πραγματοποίηση εργαστηριακών πειραμάτων όσο αφορά τις σημαντικότερες διεργασίες του αζώτου και του φωσφόρου. Για το λόγο αυτόν σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε δίκτυο γεωτρήσεων και καθορίστηκαν τακτικές δειγματοληψίες και ακολουθήθηκαν πρότυπες χημικές μέθοδοι ανάλυσης. Τα παραπάνω έγιναν στα πλαίσια του προγράμματος LIFE (Stamati et al., 2008a).

Αρχικά, επιλέχθηκε να μελετηθεί το ίζημα (από τον πυθμένα) του αποστραγγιστικού καναλιού ως προς τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του. Επιπλέον, λόγω της συνεχόμενης αύξησης της αμμωνίας στο σχήμα 3.4 βγαίνει το συμπέρασμα πως στο ίζημα μπορεί να συμβαίνει ανοργανοποίηση. Ακόμη, από το σχήμα 3.3 παρατηρήθηκε πως μπορούν να υπάρξουν οι κατάλληλες αναγωγικές συνθήκες ούτως ώστε να πραγματοποιηθεί απονιτροποίηση. Για αυτούς τους λόγους επιλέχθηκε να μελετηθεί η δυνατότητα ανοργανοποίησης του ιζήματος, η οποία παίζει ρόλο στον κύκλο του αζώτου στο σύστημα και να γίνει μία εκτίμηση των απομακρυνόμενων ρυπαντών (που παρατηρείται μεταξύ των γεωτρήσεων) μέσω της απονιτροποίησης. Επίσης, η ποιότητα της οργανικής ύλης του ιζήματος μελετήθηκε με τη μεθοδολογία (UV ανάλυση) που προτείνεται από τους Stamati et al. (2008b). Τελευταίο όσον αφορά το ίζημα, έγινε μελέτη για τον προσδιορισμό της ικανότητας εκχύλισης και προσρόφησης φωσφορικών με χρήση συνθετικού νερού που προσομοιάζει το νερό του αποστραγγιστικού καναλιού. Επίσης, στο κανάλι λαμβάνει χώρα πρόσληψη νιτρικών και φωσφορικών από τα φυτά που αναπτύσσονται σε αυτό (Phragmites Australis). Για αυτό το λόγο και έγινε η μελέτη της προσλαμβανόμενης ποσότητας των θρεπτικών από τα καλάμια μηνιαία, ούτως ώστε να παρατηρηθεί η συμπεριφορά τους στο σύστημα.



Σχήμα 4.1. Απεικόνιση διεργασιών αζώτου στο αποστραγγιστικό κανάλι.



Σχήμα 4.2. Απεικόνιση διεργασιών φωσφόρου στο αποστραγγιστικό κανάλι.

4.2 Δειγματοληψία και προετοιμασία του ιζήματος και των καλαμιών

Το υπό μελέτη ίζημα πάρθηκε μέσα από το αποστραγγιστικό κανάλι, υπέστη ξήρανση στους 40 ^oC, κοσκινίστηκε με κόσκινο διαμέτρου 2 mm και αποθηκεύτηκε σε πλαστικό δοχείο μέχρι την περαιτέρω ανάλυση.

Τα υπό μελέτη καλάμια κοβόντουσαν μηνιαίως από τρεις θέσεις στην περιοχή της Σκάλας, από τις αρχές Οκτωβρίου 2006 έως τον Αύγουστο 2008. Συνολικά, κοβόντουσαν τέσσερα καλάμια από τη θέση 1, από 10 καλάμια από τις θέσεις 2 και 3 και 4 ρίζες από τη θέση 1. Οι βλαστοί χωρίζονταν σε τρία επιμέρους τμήματα (άνω, μέσο, κάτω).

Κάθε επιμέρους τμήμα πλενόταν για την απομάκρυνση του χώματος, ώστε η μέτρηση να αντιπροσωπεύει αποκλειστικά την περιεκτικότητα των καλαμιών. Στη συνέχεια, τα δείγματα ξηραίνονταν στους 90 ^oC, σπάζονταν και αλέθονταν σε μίξερ ή μπλέντερ. Το αλεσμένο δείγμα κοσκινιζόταν με κόσκινο 0.5 mm και φυλασσόταν σε πλαστικό αεροστεγές σακουλάκι.

4.3 Φυσικοχημικός Χαρακτηρισμός του Ιζήματος

Στο υπό μελέτη ίζημα εκτιμήθηκαν οι παρακάτω φυσικοχημικές ιδιότητες: pH, αγωγιμότητα (conductivity), ξηρή πυκνότητα (dry bulk density), πορώδες (porosity), κοκκομετρία, ολικός οργανικός άνθρακας (TOC), ολικό Kjeldahl άζωτο (TKN) και ολικός φώσφορος (TP). Οι εκτιμήσεις έγιναν με τις μεθόδους που αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4.1. Αναφορές για τη μέτρηση των χαρακτηριστικών του ιζήματος.

Χαρακτηριστικά ιζήματος	**Αναφορά**
pH	9045A, EPA
Αγωγιμότητα	
ξηρή πυκνότητα	Bowles, 1986
Πορώδες	Bowles, 1986
Κοκκομετρία	Bouyoucos, 1936
Ολικός οργανικός άνθρακας	Walkley & Black, 1934
Ολικό Kjeldahl άζωτο	TKN, χώνευση με χρήση συσκευής Hach-Digesdahl Digestion Apparatus και μέτρηση με τη Nessler Method, 8075
Ολικός φώσφορος	PO4-P, Hach phosVer3 Method, 8048

4.4 Ικανότητα ανοργανοποίησης και ανάλυση UV για τη μελέτη της ποιότητας της οργανικής ύλης του ιζήματος

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε για να προσδιοριστεί η περιεκτικότητα του εδάφους σε ανόργανο άζωτο, η βραχυπρόθεσμη δυνητική ικανότητα ανοργανοποίησης του αζώτου (short term Potential Mineralizable Nitrogen – PMN) του εδάφους και η αρωματικότητα του διαλυτού οργανικού άνθρακα (DOC) με τη χρήση της UV ανάλυσης. Ακόμη, υπολογίστηκε και ο λειτουργικός δείκτης αρωματικότητας που χρησιμοποιεί το διαλυτό οργανικό άζωτο (DON) και έχει προταθεί πρόσφατα η χρήση του στα εδάφη για την εκτίμηση της ποιότητας της οργανικής ύλης του εδάφους σε σχέση με την πηγή προέλευσης της εξωγενούς οργανικής ύλης.

Μέτρηση Περιεκτικότητας Ιζήματος σε Ανόργανο Άζωτο

- Αρχικά για κάθε δείγμα ζυγίστηκαν 20 g ιζήματος.
- Παρασκευάστηκαν τα δείγματα εις διπλούν, προσθέτοντας 100 mL KCl 2 M (αναλογία στερεού υγρού 1:5).
- Τα δείγματα τοποθετήθηκαν για ανάδευση στις 225 στροφές ανά λεπτό για 1 ώρα στους 20 ^{o}C.
- Στη συνέχεια, φιλτραρίστηκαν και μετρήθηκε η περιεκτικότητα σε NO_3^--N με τη μέθοδο Cadmium Reduction Method, 8039 και σε NH_4-N με τη μέθοδο Salicylicate Method, 10023

Βραχυπρόθεσμη Δυνητική Ικανότητα Ανοργανοποίησης

Το πείραμα έγινε ως εξής:

- Αρχικά για κάθε δείγμα ζυγίστηκαν 20 g ιζήματος.
- Παρασκευάστηκαν τα δείγματα εις διπλούν, προσθέτοντας 100 mL KCl 2 M (αναλογία στερεού υγρού 1:5).
- Τα δείγματα τοποθετήθηκαν για ανάδευση στις 225 στροφές ανά λεπτό για 7 ημέρες στους 40 ^{o}C.
- Στη συνέχεια φιλτραρίστηκαν και μετρήθηκε η περιεκτικότητα σε NO_3-N και NH_4-N με τις προαναφερθείσες μεθόδους. Η ικανότητα ανοργανοποίησης υπολογίζεται ως η διαφορά μεταξύ των επωασμένων και μη επωασμένων δειγμάτων (Bundy L.G. and Meisinger J.J., 1994).

Το διάλυμα KCl 2M έχει μεγάλη ιοντική ισχύ, γεγονός που προκαλεί την απελευθέρωση όλων των ιόντων NO_3 και NH_3 και των πολύ διαλυτών οργανικών ουσιών (DOC, DON) που περιέχονται στο ίζημα κατά το πείραμα της μιας ώρας. Αναφορικά με το πείραμα επώασης της μιας εβδομάδας, καθώς πραγματοποιείται σε αναερόβιες συνθήκες κορεσμού θεωρείται πως δε συμβαίνει νιτροποίηση, δηλαδή η NH_3 δε μετατρέπεται σε NO_3^-. Συνεπώς, θα μπορούσε να υπολογιστεί η δυνατότητα ανοργανοποίησης του εδάφους από τον τύπο: $PMN = [NH_3]_{7d} - [NH_3]_{1h}$, αφού η συγκέντρωση των NO_3 θεωρητικά είναι η ίδια και στα δείγματα των 7 ημερών και σε αυτά της 1 ώρας. Όμως, λόγω του ότι πρακτικά μπορεί να συμβεί νιτροποίηση, θα πρέπει να συμπεριληφθούν και οι συγκεντρώσεις των NO_3^- στον τύπο. Έτσι, $PMN = [NH_3 + NO_3]_{7d} - [NH_3 + NO_3]_{1h}$. Επιπλέον, λόγω του ότι τα βακτήρια μετατρέπουν σταδιακά τις μεγάλες οργανικές ενώσεις σε NH_3, το DON που βρίσκεται στη διαλυτή φάση, μακροπρόθεσμα συμμετέχει στην ικανότητα ανοργανοποίησης του εδάφους. Έτσι, θεωρείται ότι πρέπει να μετριέται κι αυτό και να συνυπολογίζεται στην γονιμότητα των εδαφών και ιζημάτων.

- Η μέτρηση του NO_3^--N έγινε φασματοσκοπικά με τη μέθοδο Cadmium Reduction, 8039, με χρήση φασματοφωτομέτρου DR/2010 της εταιρείας HACH.
- Η μέτρηση του NH_3-N έγινε φασματοσκοπικά με τη μέθοδο Salicylicate 10023, με χρήση φασματοφωτομέτρου DR/2010 της εταιρείας HACH.

- Η μέτρηση του TKN έγινε φασματοσκοπικά με τη μέθοδο Nessler, 8075, με χρήση φασματοφωτομέτρου DR/2010 της εταιρείας HACH.
- Η μέτρηση του DOC έγινε με χρήση αναλυτή Shimadzu 5050.

UV Ανάλυση

Ακόμη, στα εκχυλίσματα μετρήθηκε η αρωματικότητα του άνθρακα με την εφαρμογή της UV ανάλυσης, χρησιμοποιώντας φασματοφωτόμετρο Shimadzu UV mini 1240. Για κάθε δείγμα αναλύθηκαν 3 mL σε κιουβέτες 1 cm από χαλαζία (quartz cuvettes) (καθώς ο χαλαζίας δεν απορροφά σε μήκος κύματος 200-400 nm) καταγράφοντας το φάσμα των εκχυλισμάτων του πειράματος της ικανότητας ανοργανοποίησης του αζώτου στην περιοχή μήκους κύματος 200-600 nm. Πιο συγκεκριμένα, η αρωματικότητα εκτιμήθηκε με τον υπολογισμό της ειδικής απορρόφησης UV (SUVA, Specific UV Absorbance). Η SUVA (L/mg cm) υπολογίζεται ως ο λόγος της απορρόφησης της UV ακτινοβολίας στα 280 nm (γιατί εκεί θεωρείται ότι δεν απορροφούν τα νιτρικά), προς τη συγκέντρωση του DOC ή του DON (mg/L) (λειτουργικός ορισμός της SUVA) του εκχυλίσματος και αποτελεί την πιο αξιόπιστη απλή μέτρηση για τον προσδιορισμό της αρωματικότητας του οργανικού άνθρακα (OC). Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της SUVA,DOC τόσο πιο αρωματικός είναι ο άνθρακας, τόσο περισσότερος δηλαδή προέρχεται από φυτική ύλη. Με αυτό τον τρόπο διαπιστώνεται η ποιότητα της οργανικής ύλης του εδάφους σε σχέση με την πηγή προέλευσης της εξωγενούς οργανικής ύλης και η συμπεριφορά της ανοργανοποίησης μακροπρόθεσμα.

Η SUVA δίνεται από τους εξής τύπους:

$$SUVA, DOC = \frac{abs_{280}}{0.003 * \frac{DOC}{Df}}$$

$$SUVA, DON = \frac{abs_{280}}{0.003 * \frac{DON}{Df}}$$

Όπου,

abs_{280}: Απορρόφηση στα 280 nm

Df: Παράγοντας αραίωσης (Dilution factor)

DOC: Συγκέντρωση ολικού οργανικού άνθρακα της διαλυτής φάσης του δείγματος (mg/L)
DON: Συγκέντρωση ολικού οργανικού αζώτου της διαλυτής φάσης του δείγματος (mg/L)
Η τιμή 0.003 υποδηλώνει τον όγκο σε L που χρησιμοποιείται για την ανάλυση. Η SUVA διαιρείται με τον όγκο, ώστε να προκύπτουν μεγαλύτερες τιμές για την καλύτερη αναγνωσιμότητα των αποτελεσμάτων.

Η περιγραφή των αναλυτικών μεθόδων γίνεται στο παράρτημα

4.5 Εκχύλιση PO_4^{3-}-P στο ίζημα

Για τη διεξαγωγή του πειράματος ήταν απαραίτητη η παρασκευή συνθετικού νερού, το οποίο να προσομοιάζει το νερό του αποστραγγιστικού καναλιού. Για το σκοπό αυτό θεωρήθηκε ότι το αποστραγγιστικό κανάλι στη Σκάλα θα έχει παρόμοια σύσταση με το νερό της τάφρου Ωμέγα Τρινάσου Σκάλας, σύμφωνα με τις μηνιαίες δειγματοληψίες που πραγματοποίησε το Υπουργείο Γεωργίας το διάστημα 1990-97. Η χημική σύσταση του νερού φαίνεται στον παρακάτω πίνακα. Το pH του συνθετικού νερού ήταν ρυθμισμένο στην τιμή 7.8 και η ιοντική του ισχύς περίπου 0.011 M.

Πίνακας 4.2. Σύσταση συνθετικού νερού αποστραγγιστικού καναλιού.

Ιόν	C (mM)
Ca^{2+}	2.0
Mg^{2+}	0.6
SO_4^{2-}	0.6
Na^{+}	4.99
HCO_3^{-}	4.99
Cl^{-}	0.752

<u>Πειραματική διαδικασία</u>

- Ζύγιση 5 gr δείγματος ιζήματος και τοποθέτηση σε πλαστικά μπουκαλάκια των 100 mL.
- Συμπλήρωση των πλαστικών μπουκαλιών με 100 mL συνθετικό νερό αποστραγγιστικού καναλιού.
- Τοποθέτηση για επώαση σε θάλαμο στους 20^{o}C και ανάδευση στις 200 στροφές ανά λεπτό, για 4 ημέρες.

- Το pH ρυθμίζεται περιοδικά (ημερήσια) ώστε να βρίσκεται στην επιθυμητή τιμή με προσθήκη διαλύματος NaOH ή HCl.
- Τα δείγματα διηθούνται με χρήση φίλτρου 0.45 μm.
- Ανάλυση του διηθήματος για συγκέντρωση φωσφορικού φωσφόρου με χρήση φασματοφωτομέτρου HACH 2010 (μέθοδος για φωσφορικά, PhosVer3 Method, 8048)

Σημείωση: Το πείραμα έγινε με τριπλά δείγματα για τον υπολογισμό της τυπικής απόκλισης και την επιδίωξη της μεγαλύτερης αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων.

4.6 Προσρόφηση PO_4^{3-}-P στο ίζημα

Για τη διεξαγωγή του πειράματος χρησιμοποιήθηκε το συνθετικό νερό που παρασκευάστηκε για το πείραμα της εκχύλισης.

Πειραματική διαδικασία

- Ζύγιση 5 gr δείγματος ιζήματος και τοποθέτηση σε πλαστικά μπουκαλάκια των 100 mL.
- Συμπλήρωση των πλαστικών μπουκαλιών με 100 mL συνθετικό νερό αποστραγγιστικού καναλιού και ανάλογη ποσότητα ενδιάμεσου διαλύματος φωσφόρου, ώστε οι συγκεντρώσεις να είναι: 0.1, 0.3, 0.6, 0.8, 1, 3 και 5 mg/L PO_4^{3-}-P.
- Τοποθέτηση για επώαση σε θάλαμο στους 20^oC και ανάδευση στις 200 στροφές ανά λεπτό, για 4 ημέρες.
- Το pH ρυθμίζεται περιοδικά (ημερήσια) ώστε να βρίσκεται στην επιθυμητή τιμή με προσθήκη διαλύματος NaOH ή HCl.
- Τα δείγματα διηθούνται με χρήση φίλτρου 0.45 μm.
- Ανάλυση του διηθήματος για συγκέντρωση φωσφορικού φωσφόρου με χρήση φασματοφωτομέτρου HACH 2010 (μέθοδος για φωσφορικά, PhosVer3 Method, 8048)

Σημείωση: Το πείραμα έγινε με τριπλά δείγματα για τον υπολογισμό της τυπικής απόκλισης και την επιδίωξη της μεγαλύτερης αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων.

4.7 Μέτρηση θρεπτικών στα καλάμια

Για τον υπολογισμό της περιεκτικότητας των καλαμιών σε θρεπτικά (άζωτο και φώσφορο), πραγματοποιήθηκε χώνευση των στερεών δειγμάτων με χρήση συσκευής Hach-Digesdahl Digestion Apparatus. Η μέτρηση του αζώτου πραγματοποιείται με τη πρότυπη μέθοδο Nessler, 8075, και του φωσφόρου με τη πρότυπη μέθοδο phosVer3, 8048 της εταιρείας Hach με χρήση φασματοφωτομέτρου DR/2010 Hach. Αναλυτικά οι προαναφερθείσες μέθοδοι περιγράφονται στο παράρτημα.

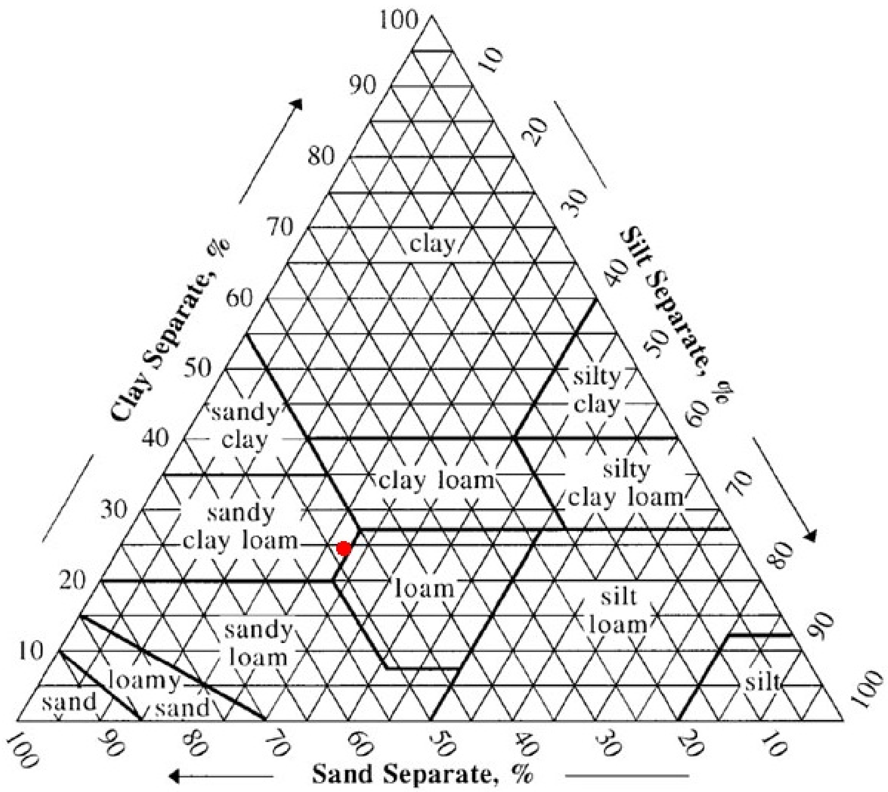
ΚΕΦΑΛΑΙΟ $5^{Ο}$
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

5.1 Φυσικοχημικός Χαρακτηρισμός του Ιζήματος

Στον πίνακα παρουσιάζονται αναλυτικά η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση των φυσικοχημικών παραμέτρων που μετρήθηκαν στο ίζημα. Το pH του ιζήματος έχει τιμή ίση με 7.64, οπότε και είναι ελαφρώς βασικό, ενώ η αγωγιμότητα είναι ίση με 218 μS/cm. Η ξηρή πυκνότητα του ιζήματος υπολογίστηκε ίση με 1125 kg/m^3. Το πορώδες υπολογίστηκε 30.9 %. Από τη μέθοδο Bouyoucos βρέθηκε η υφή του εδάφους και χρησιμοποιώντας το τρίγωνο ταξινόμησης εδαφών USDA το ίζημα χαρακτηρίζεται ως αμμοαργιλοπηλώδες (sandy clay loam) (σχήμα 5.1). Ο ολικός άνθρακας στο ίζημα είναι 11434 mg/kg. Το ολικό kjeldahl άζωτο (TKN) είναι 1886 mg/kg και επομένως ο λόγος άνθρακα/αζώτου είναι ίσος περίπου με 6 υποδηλώνοντας εμπλουτισμό του ιζήματος σε N. Ο ολικός φώσφορος υπολογίστηκε σε 3124 mg/kg, υποδηλώνοντας επίσης εμπλουτισμό σε P.

Πίνακας 5.1. Μέση τιμή των φυσικοχημικών παραμέτρων στο ίζημα (η τυπική απόκλιση στην παρένθεση)

Παράμετρος	Μέση τιμή και τυπική απόκλιση
pH	7.64 (±0.01)
Αγωγιμότητα, μS/cm	218 (±9.9)
Ξηρή πυκνότητα, kg/m3	1125 (±12.7)
Πορώδες, %	30.90 (±0.14)
Οργανικός άνθρακας, mg/kg	11434 (±449.2) ή 1.14%
Ολικό kjeldahl άζωτο, mg/kg	1886 (±0.0)
Ολικός φώσφορος, mg/kg	3124 (±400)
C:N	6.06
Άμμος, %	49
Ιλύς, %	26
Άργιλος, %	25
Υφή	Αμμοαργιλοπηλώδης (sandy clay loam)



Σχήμα 5.1. Υφή του ιζήματος *(πηγή του σχήματος: ελεύθερη ιστοσελίδα* www.soils.usda.gov*)*

5.2 Ικανότητα ανοργανοποίησης και ανάλυση UV για τη μελέτη της ποιότητας της οργανικής ύλης του ιζήματος

Σκοπός του πειράματος ήταν να προσδιοριστεί το περιεχόμενο του ιζήματος σε ανόργανο άζωτο (πείραμα 1 ώρας), αλλά και οργανικό και η βραχυπρόθεσμη ικανότητα ανοργανοποίησης του ιζήματος με την πραγματοποίηση ενός πειράματος 7 ημερών. Στον Πίνακα 5.2 παρατίθεται η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση των συγκεντρώσεων των μορφών του αζώτου που μετρήθηκαν στα 2 εκχυλίσματα. Από το πείραμα της 1 ώρας υπολογίστηκε πως το ίζημα περιέχει 4.65±0.36 mg/kg NH_3-N και 17.79±8.39 mg/kg NO_3-N και 56.53±7.18 mg/kg DON. Συνολικά λοιπόν, περιέχει 22.44±8.74 mg/kg ανόργανο άζωτο (DIN). Αντίστοιχα, το εκχύλισμα της 1 εβδομάδας έδειξε έπειτα από βραχυπρόθεσμη περίοδο επώασης το ίζημα να περιέχει 19.87±0.56 mg/kg NH_3-N και 17.00±5.03 mg/kg NO_3-N και 54.42±11.96 mg/kg DON. Έτσι, η δυνατότητα ανοργανοποίησης του εδάφους από τον τύπο: $PMN = [NH_3]_{7d} - [NH_3]_{1h}$, εκτιμάται ότι είναι ίση με 15.21 mg/kg N, ή αν υποτεθεί ότι υπάρχει και κάποιο μικρό ποσοστό νιτροποίησης, δηλαδή μετατροπής της αμμωνίας σε νιτρικά, τότε η PMN είναι 14.42 mg/kg N. Επομένως, στις συνθήκες του πειράματος δεν συνέβη νιτροποίηση.

Από το σχήμα 3.4 παρατηρείται πως ο ρυθμός ανοργανοποίησης ισούται με την κλίση του αμμωνιακού αζώτου: $\frac{(7.2-2.7)\,mg\ /L}{21d}=0.21mg\ /Ld$. Για την αναγωγή της ποσότητας ανοργανοποίησης στις 7 ημέρες και ανά kg ιζήματος γίνεται η μετατροπή:

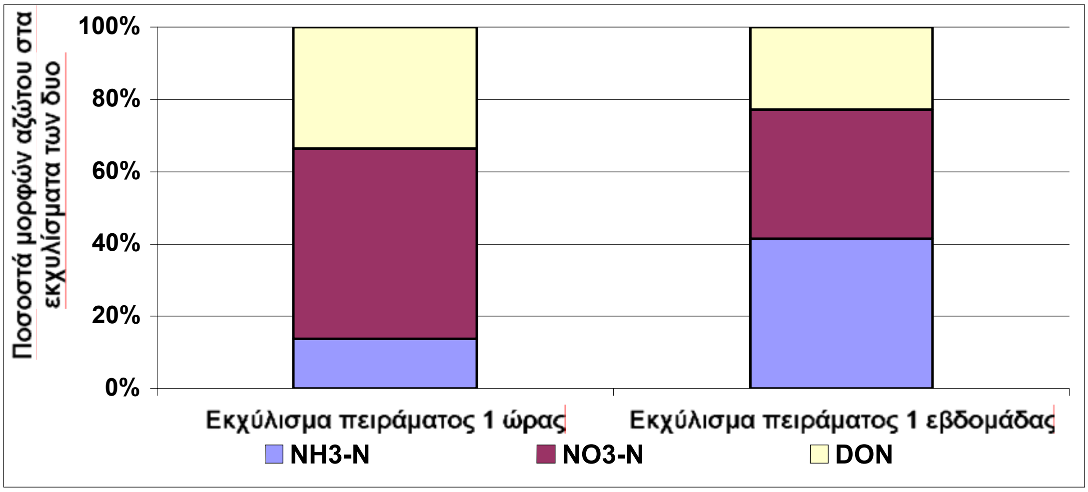
$$0.21mg/Ld=(0.21mg/L*d)*(0.1L/15g)$$
$$=(0.0014mg/g*d)*7d\approx 0.01mg/g=10mg/kg$$

Η διαφορά που παρατηρείται στα 2 πειράματα οφείλεται στο γεγονός ότι το πείραμα των 7 ημερών που πραγματοποιήσαμε μετρήθηκε η δυνητική ικανότητα ανοργανοποίησης, σε αντίθεση με το πείραμα των 21 ημερών το οποίο προσδιόρισε την ανοργανοποίηση σε πραγματικές συνθήκες.

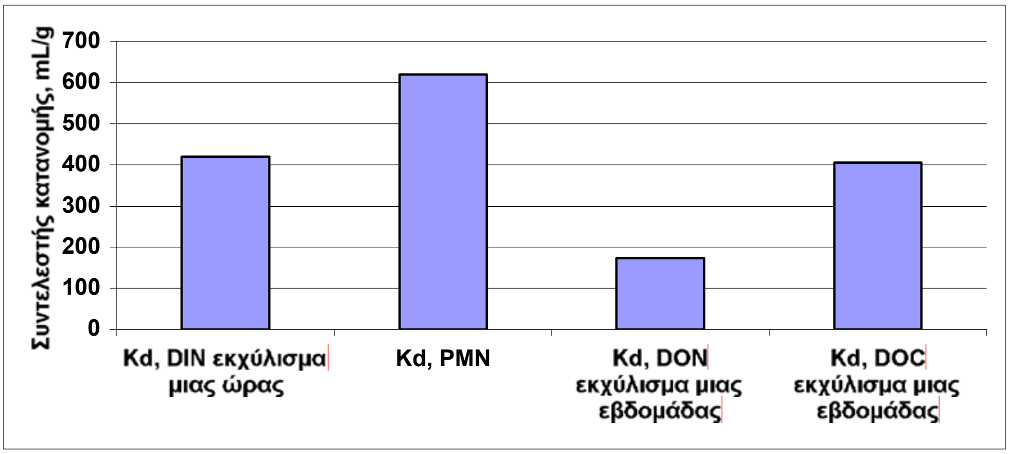
Από την άλλη πλευρά αν υπολογίσουμε το δυνητικά ολικό διαλυτό άζωτο (PTSN), δηλαδή το αμμωνιακό, νιτρικό και οργανικό άζωτο του εκχυλίσματος της 1 εβδομάδας, αυτό είναι ίσο με 91.29 mg/kg N. Ο υπολογισμός του PTSN έχει νόημα καθώς το DON που βρίσκεται στη διαλυτή φάση, μακροπρόθεσμα συμμετέχει στην ικανότητα ανοργανοποίησης του εδάφους. Γενικά, παρατηρώντας τα ποσοστά των μορφών του αζώτου στα δύο εκχυλίσματα, προκύπτει μια γενική τάση μετατροπής της οργανικής φάσης σε ανόργανη (Σχήμα 5.2). Ακόμη, ο συντελεστής κατανομής (partition coefficient (kd), mL/g), δηλαδή ο λόγος του περιεχομένου του ιζήματος σε ολικό άζωτο (mg/kg) προς τη συγκέντρωση του εκχυλίσματος είτε σε DIN είτε σε DON (mg/L), όσον αφορά τα δυο εκχυλίσματα παρουσιάζεται στο σχήμα 5.3. Παρατηρείται ότι το kd τόσο για το ανόργανο άζωτο που περιέχεται στο εκχύλισμα της μιας ώρας όσο και για το δυνητικά ανοργανοποιήσιμο άζωτο (PMN) είναι μεγαλύτερο (~400 – 600 mL/g) από αυτό του διαλυτού οργανικού αζώτου (~200 mL/g). Ενώ το αντίστοιχο kd του άνθρακα είναι (~400 mL/g). Οι παραπάνω εκτιμήσεις υποδεικνύουν ότι το ίζημα δεν έχει πολύ μεγάλη ικανότητα ανοργανοποίησης τουλάχιστον βραχυπρόθεσμα, ωστόσο έχει την τάση να εκχυλίζει σε μεγαλύτερα ποσοστά οργανικό άζωτο. Τέλος, η ανάλυση UV έδειξε ότι η SUVA, DOC, 280 είναι 2.061±0.131 L/mg cm, 3.897±0.175 L/mg cm για το εκχύλισμα της 1 ώρας και της 1 εβδομάδας αντίστοιχα και η SUVA, DON, 280 5.050±0.644 L/mg cm, 10.253±1.438 L/mg cm ομοίως. Αν συγκριθούν οι τιμές αυτές με αυτές που προέκυψαν σε αντίστοιχα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν σε διάφορα αγροτικά εδάφη του Ν. Χανίων (Stamati, 2008b), μπορεί να θεωρηθεί ότι η αρωματικότητα βρίσκεται σε χαμηλά έως μέσα επίπεδα.

Πίνακας 5.2. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων των μορφών του αζώτου και της SUVA, που μετρήθηκαν στα 2 εκχυλίσματα (στην παρένθεση δίνεται η τυπική απόκλιση).

Εκχύλισμα πειράματος:	NH3-N, mg/L	NO3-N, mg/L	DON, mg/L	DOC, mg/L	SUVA, DOC 280, L/(mg*cm)	SUVA, DON 280, L/(mg*cm)
1 ώρας	0.93 (0.07)	3.56 (1.68)	11.31 (1.44)	27.54 (1.76)	2.061 (0.131)	5.050 (0.644)
1 εβδομάδας	3.97 (0.11)	3.40 (1.01)	10.88 (2.39)	28.18 (1.01)	3.897 (0.175)	10.253 (1.438)



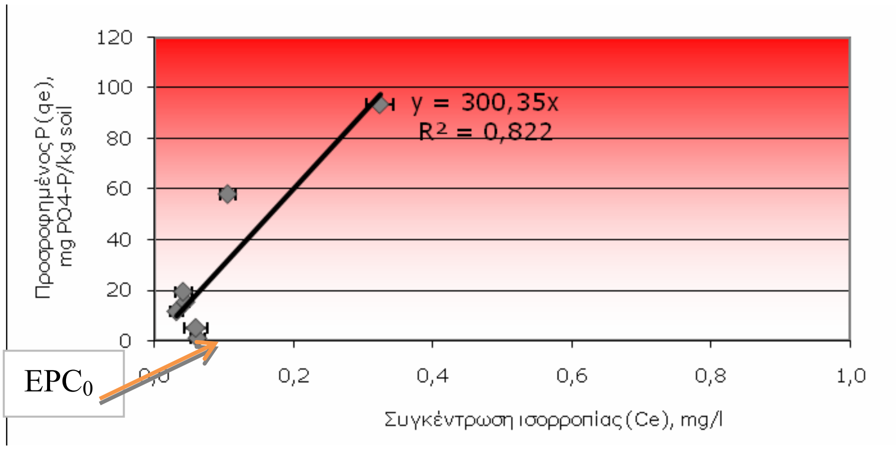
Σχήμα 5.2. Ποσοστιαία απεικόνιση μορφών αζώτου στα πειράματα 1 ώρας και 1 εβδομάδας.



Σχήμα 5.3. Απεικόνιση συντελεστών κατανομής για DIN, PMN, DON, DOC.

5.3 Εκχύλιση και Προσρόφηση Φωσφορικών

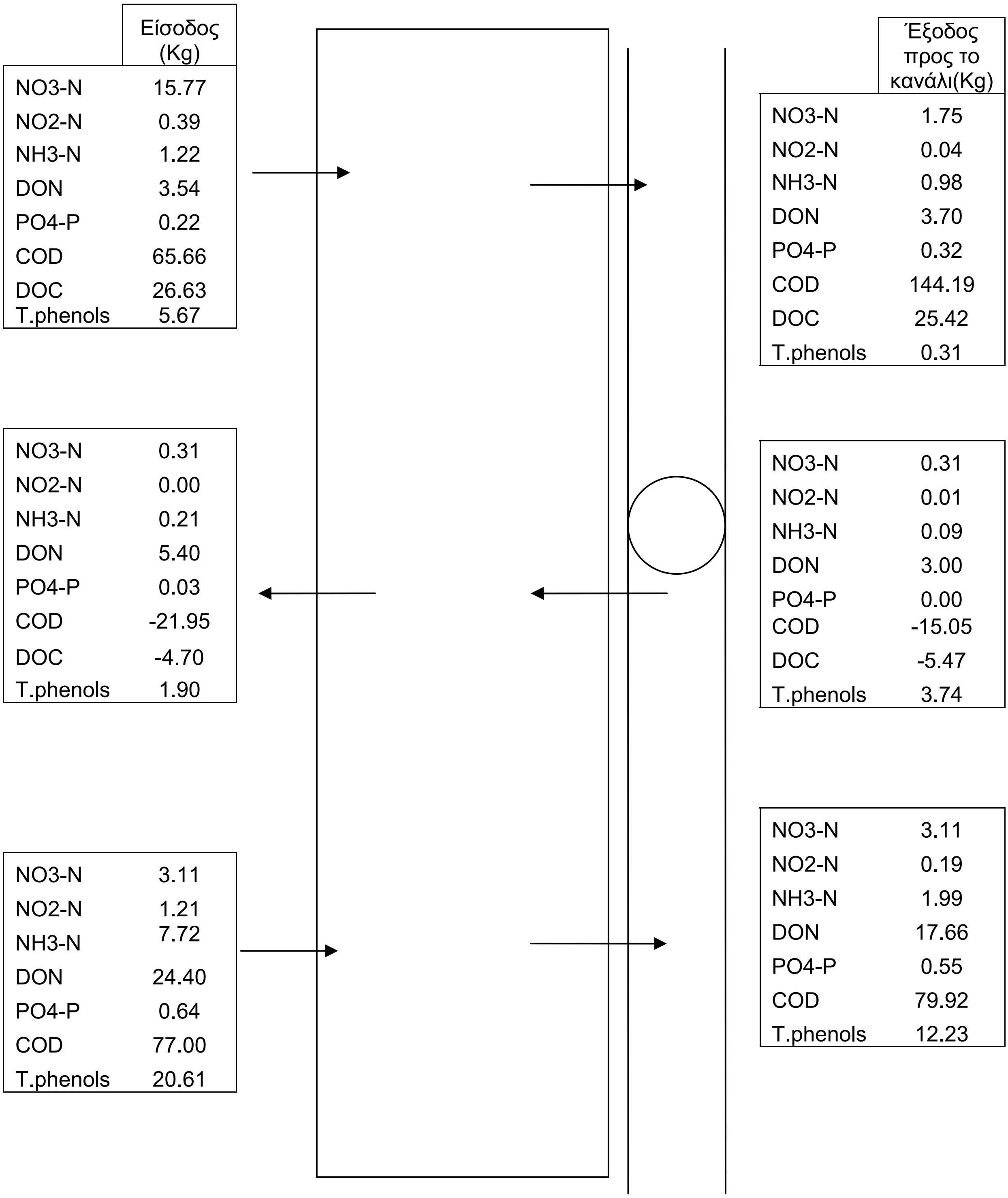
Υπολογίστηκε η ικανότητα του ιζήματος να εκχυλίζει φωσφορικά με την πραγματοποίηση ενός πειράματος ισορροπίας διαλείποντος έργου (τύπου Batch) διάρκειας 4 ημερών (T=20^{o}C, pH=7.8). Από το εν λόγω πείραμα υπολογίστηκε ότι το ίζημα εκχυλίζει πολύ μικρές ποσότητες φωσφορικών (0.465±0.265 mg/kg PO_4-P). Οι συγκεντρώσεις που μετρήθηκαν στο εκχύλισμα ήταν αντίστοιχα 0.023±0.013 mg/L PO_4-P (λόγος στερεού υγρού 1:20). Ακόμη, μελετήθηκε η προσρόφηση των φωσφορικών με την διεξαγωγή ενός πειράματος ισορροπίας προσρόφησης διαλείποντος έργου (T=20^{o}C, pH=7.8). Η διάρκεια του πειράματος (4 ημέρες) προέκυψε έπειτα από την πραγματοποίηση κινητικών πειραμάτων προσρόφησης σε ιζήματα της παρόχθιας ζώνης του ποταμού Ευρώτα στα πλαίσια διπλωματικής εργασίας που πραγματοποιήθηκε υπό την επίβλεψη του καθηγητή κ. Νικολαΐδη (Χριστίνα Γιώτη, 2008). Από το πείραμα της προσρόφησης, προέκυψε πως το ίζημα εντός του αποστραγγιστικού καναλιού έχει πολύ μεγάλη ικανότητα προσρόφησης φωσφορικών και η διάρκεια των 4 ημερών δεν ήταν αρκετή για να έρθει το σύστημα σε ισορροπία. Επιπλέον, τα πειραματικά δεδομένα δεν μπορούν να περιγραφούν ικανοποιητικά από τις ισόθερμες Freundlich, Langmuir και BET, για αυτό το λόγο τα δεδομένα παρουσιάζονται ως έχουν λαμβάνοντας γραμμική τάση (διάγραμμα 5.1). Ο συντελεστής κατανομής (partition coefficient) kd προσδιορίστηκε στην τιμή 300.55 mL/g και ο συντελεστής κατακράτησης (retardation factor, $R=1+(\rho_b*k_d/\theta)$, όπου ρ_b η ξηρή (bulk) πυκνότητα σε g/cm^3 και θ το πορώδες) στην τιμή 1092, υποδεικνύοντας την μεγάλη ικανότητα προσρόφησης του ιζήματος σε φωσφορικά και τις μικρές συγκεντρώσεις εκχύλισης. Εναλλακτικά, αν η ξηρή πυκνότητα υπολογιστεί από τον τύπο $\rho_b= \rho s*(1-\theta)$, όπου ρs η πυκνότητα των στερεών (τυπική τιμή 2.65 g/cm^3) ο παράγοντας κατακράτησης υπολογίζεται στην τιμή 1774. Η συγκέντρωση ισορροπίας του φωσφόρου (Equilibrium P Concentration) που εκτιμάται από τον τύπο $EPC_0 = 0.0000577*[Clay + Silt] + 0.0763$ υπολογίστηκε στην τιμή 0.08 mg/L (Smith et. al., 2005). Λόγω του ότι η συγκέντρωση του φωσφόρου στο νερό του αποστραγγιστικού καναλιού είναι συνήθως μικρότερη από την τιμή της EPC_0 (διάγραμμα 5.1, πίνακας 1.3), συμπεραίνεται πως η διεργασία της προσρόφησης παραμένει κυρίως ανενεργή.



Διάγραμμα 5.1. Ισόθερμη προσρόφησης (T=20^{o}C, pH=7.8) φωσφορικών στο ίζημα του αποστραγγιστικού καναλιού στη Σκάλα.

5.4 Αποτελέσματα μελέτης υπόγειου νερού

Η μείωση της ρύπανσης του αποστραγγιστικού καναλιού από φωσφορικά μέσω της προσρόφησης στο ίζημα και η μείωση των νιτρικών μέσω της απονιτροποίησης είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθεί. Παρόλα αυτά από τη γραφική απεικόνιση των πιεζομετρικών υψών στην περιοχή και τα προφίλ των συγκεντρώσεων NO_3-N, NH_3-N, COD και DOC που παρατηρήθηκαν, και με τις παρατηρήσεις που προέκυψαν από τις πειραματικές μελέτες φαίνεται ότι η μείωση των νιτρικών οφείλεται στην απονιτροποίηση. Έτσι, με τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από την παρακολούθηση της ποιότητας του υπόγειου νερού μπορεί να γίνει μια εκτίμηση της τάξης μεγέθους των ποσοτήτων νιτρικών που απομακρύνονται από το υπόγειο νερό μέσω της απονιτροποίησης, αλλά και των λοιπών ρυπαντών (NO2-N, NH3-N, PO4-P, COD, DOC και T.phenols). Για να γίνει αυτό, το μήκος της παρόχθιας ζώνης (180 m) χωρίστηκε σε 3 τμήματα των 60 μέτρων βασισμένα στις θέσεις των γεωτρήσεων και υπολογίστηκε η παροχή του υπόγειου νερού από την υδραυλική κλίση μεταξύ των ακραίων γεωτρήσεων κάθε τμήματος, και στη συνέχεια με τη διαφορά των συγκεντρώσεων η μείωση στην παροχή μάζας των ρυπαντών και τελικά η είσοδος τους στο αποστραγγιστικό. Έτσι, υπολογίστηκαν οι συνολικές ποσότητες που απομακρύνθηκαν. Οι υπολογισμοί παρατίθενται στο παράρτημα.



Σχήμα 5.4 .Ρυπαντικά φορτία παρόχθιας ζώνης αποστραγγιστικού καναλιού.

Στο παραπάνω σχήμα απεικονίζεται η κίνηση του υπόγειου νερού και οι ποσότητες των ρυπαντών που εισέρχονται στην παρόχθια ζώνη και οι ποσότητες που εισέρχονται τελικώς στο αποστραγγιστικό κανάλι. Στο μέσο του καναλιού ο κύκλος δηλώνει την ύπαρξη ενός αρτεσιανού υδροφορέα, ο οποίος τροφοδοτεί με νερό το αποστραγγιστικό κανάλι. Η ύπαρξη της ροής υπό πίεση έχει ως αποτέλεσμα η υδραυλική κλίση σε αυτό το τμήμα να είναι αντίθετη, οπότε και φαίνεται η κίνηση προς τα αριστερά.

Πίνακας 5.3 Ρυπαντικά φορτία παρόχθιας ζώνης αποστραγγιστικού καναλιού.

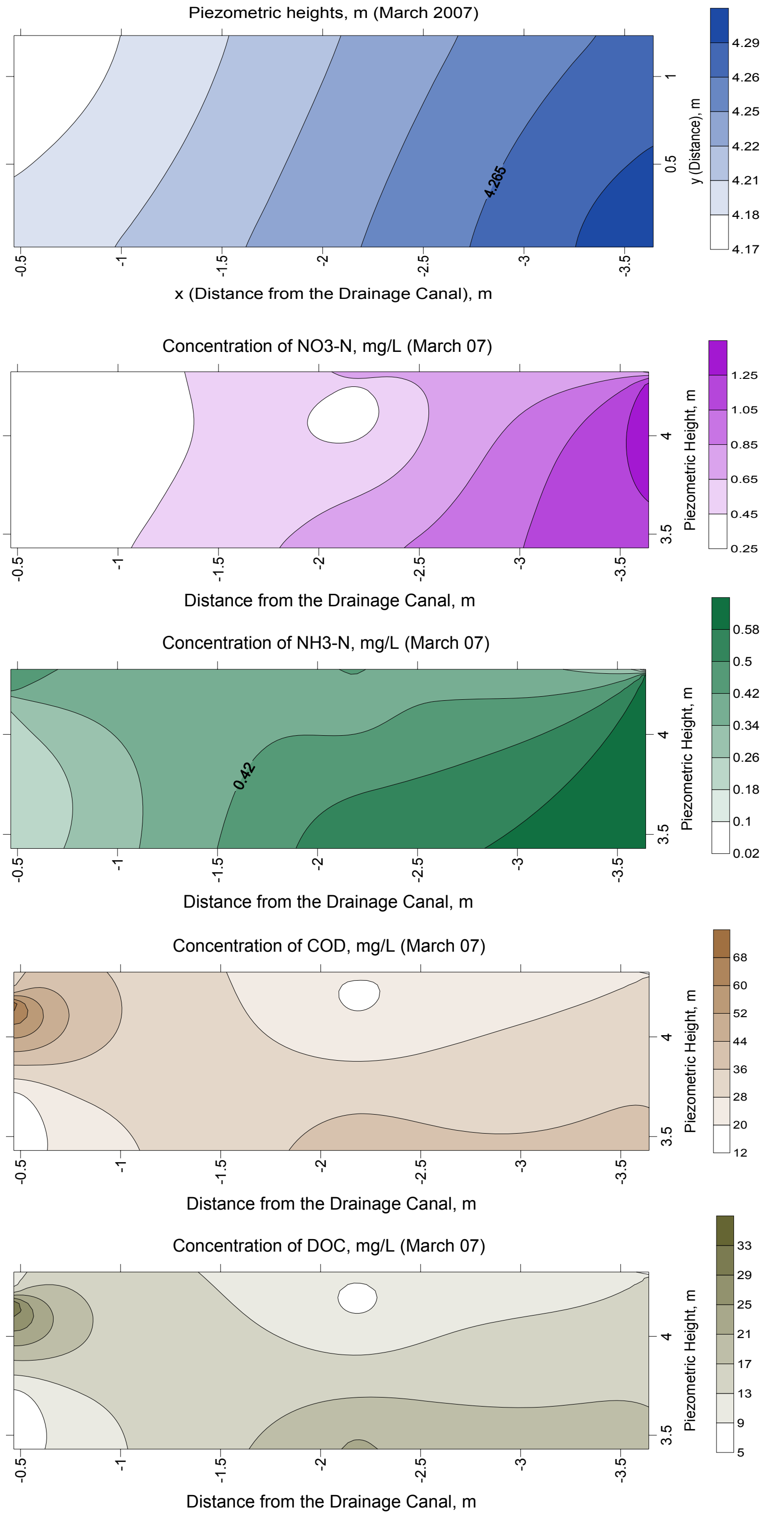
	Είσοδος (Kg)	**Έξοδος (Kg)**	**Ολική απομάκρυνση (Kg)**
NO_3-N	**19.20**	**5.18**	**14.02**
NO_2-N	**1.60**	**0.24**	**1.36**
NH_3-N	**9.15**	**3.07**	**6.09**
DON	**33.34**	**24.36**	**8.98**
PO_4-P	**0.89**	**0.87**	**0.02**
COD	**120.71**	**209.06**	**-88.35**
DOC	**283.60**	**201.60**	**81.99**
T. phenols	**28.17**	**20.33**	**7.85**

Από τους υπολογισμούς του πίνακα 5.3 προκύπτουν οι ποσότητες ανοργανοποίησης, νιτροποίησης και απονιτροποίησης:

Ανοργανοποίηση = 8.98 Kg.

Νιτροποίηση = 6.09 Kg.

Απονιτροποίηση = $(NO_3\text{-N} + NO_2\text{-N})_{in}$ - $(NO_3\text{-N} + NO_2\text{-N})_{out}$ = (19.20+1.6) – (5.18+0.24) = **15.38 Kg.**

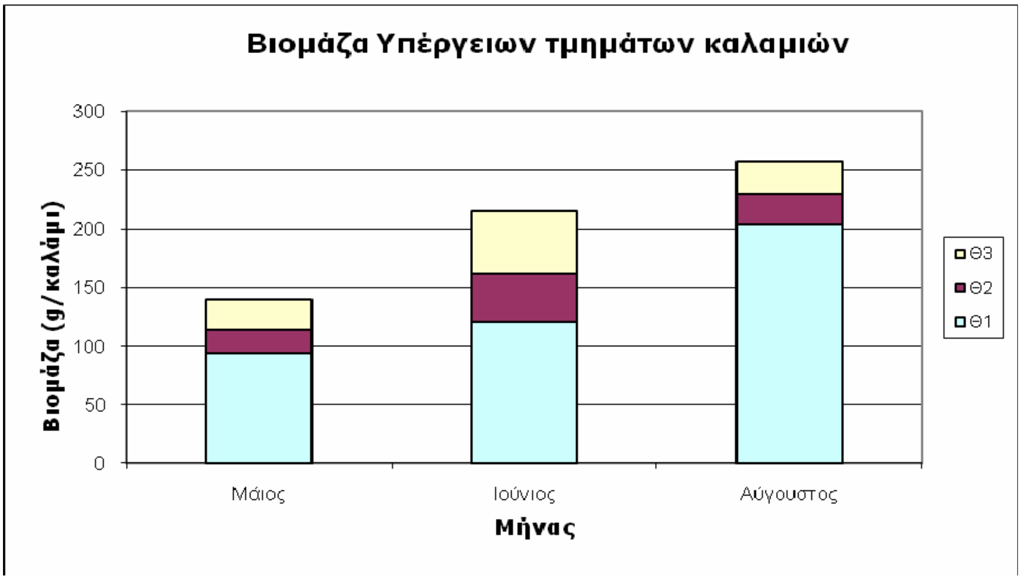


Σχήμα 5.5. Δυσδιάστατο προφίλ πιεζομετρίας και ρυπαντών στο υπόγειο νερό (πιεζόμετρα βάθους 4 m, θέσης γεωτρήσεων A1-A3) τον Μάρτιο του 2007

5.5 Καλάμια

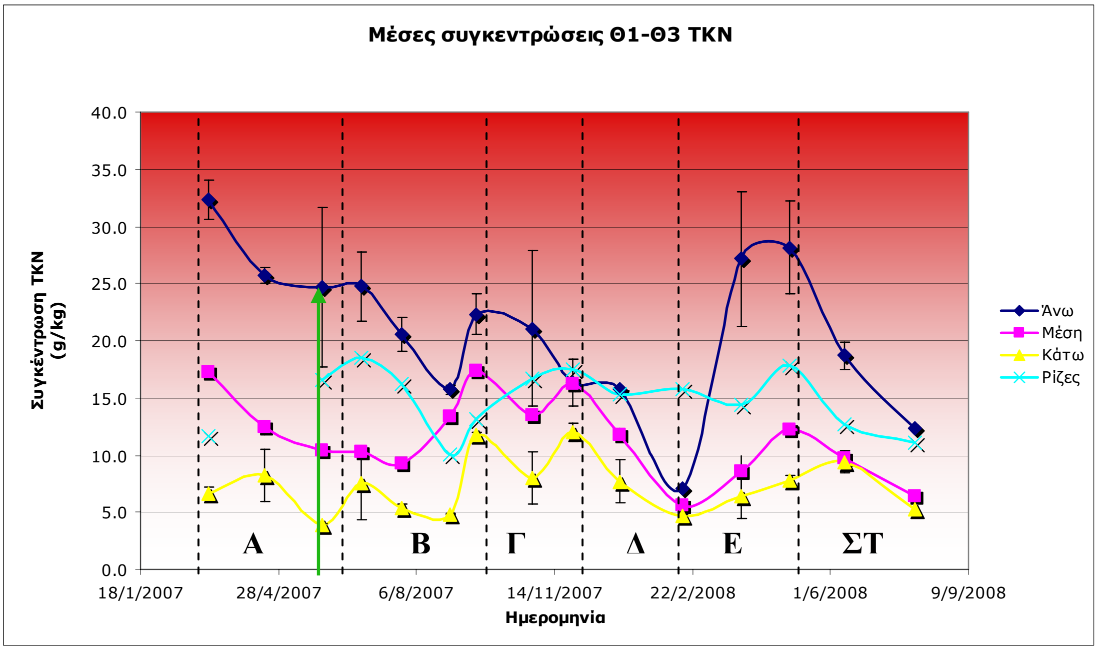
Η μέτρηση των καλαμιών γινόταν μηνιαία για να προσδιοριστεί η συμπεριφορά της υπέργειας (άνω, μέσο και κάτω τμήμα) και υπόγειας (ρίζες και ριζώματα) βιομάζας των καλαμιών ως προς την πρόσληψη θρεπτικών.

Τα δείγματα που παίρναμε τους 3 τελευταίους μήνες (Μάιος, Ιούνιος, Αύγουστος) ζυγίζονταν για τον υπολογισμό της ξηρής βιομάζας ανά καλάμι, ώστε να μπορεί να γίνει εκτίμηση της συνολικής ποσότητας των θρεπτικών συστατικών που θα μπορούσε να απομακρυνθεί από το σύστημα. Ύστερα από τους υπολογισμούς βρέθηκε πως η ξηρή βιομάζα των καλαμιών ήταν αυξημένη κατά το μήνα Ιούνιο, σε σχέση με το Μάιο. Η αύξηση της βιομάζας συμφωνεί με άλλες μελέτες (J. García-Pintado et al., 2007), όπου παρατηρείται μέγιστη βιομάζα των καλαμιών κατά τις αρχές του καλοκαιριού. Από τη μέτρηση της ξηρής βιομάζας αυτών των δειγμάτων προέκυψε το διάγραμμα 5.2.



Διάγραμμα 5.2 Απεικόνιση βιομάζας υπέργειων τμημάτων καλαμιών

Λαμβάνοντας το μέσο όρο των συγκεντρώσεων στις τρεις θέσεις για κάθε τμήμα ξεχωριστά παρατηρείται η εξής γενική εικόνα ως προς το ολικό άζωτο (TKN) (Διάγραμμα 5.3).



Διάγραμμα 5.3 Μέσες συγκεντρώσεις TKN κάθε τμήματος

- Η μέγιστη συγκέντρωση του ολικού αζώτου όσον αφορά τα υπέργεια τμήματα για το 2007 εμφανίζεται την Άνοιξη και συγκεκριμένα τον μήνα Μάρτιο όπου και ξεκινά η παρακολούθηση των καλαμιών.
- **<u>Τμήμα Α (Μάρτιος έως Ιούνιος 2007)</u>**: Στη συνέχεια υπάρχει μια σταδιακή μείωση της συγκέντρωσης των υπέργειων τμημάτων από την αρχή της μελέτης (8/3/2007) για κάθε υπέργειο τμήμα μέχρι και τον μήνα Ιούνιο, οπότε και το αποστραγγιστικό κανάλι είχε καθαριστεί πλήρως από τα καλάμια (αρχές Ιουνίου του 2007: διακρίνεται στο διάγραμμα με το πράσινο βέλος). Η μείωση αρχικά ίσως οφείλεται και στην αραίωση από την αύξηση της βιομάζας (Διάγραμμα 5.2, Διάγραμμα 5.3). Δηλαδή το μέγιστο της βιομάζας εμφανίζει συνήθως μια χρονική υστέρηση σε σχέση με το μέγιστο της συγκέντρωσης. Ταυτόχρονα την ίδια περίοδο (Απρίλιος 2007 έως Ιούνιος 2007) εμφανίζεται σταδιακή αύξηση της συγκέντρωσης της υπόγειας βιομάζας (ρίζες και ριζώματα).
- **<u>Τμήμα Β (Ιούνιος έως Σεπτέμβριος 2007)</u>**: Μετά από τον καθαρισμό του αποστραγγιστικού καναλιού από τα καλάμια (αρχές Ιουνίου του 2007), παρατηρείται μία αύξηση της συγκέντρωσης στο μέσο μέρος των καλαμιών, με ταυτόχρονη μείωση της συγκέντρωσης των ριζών,

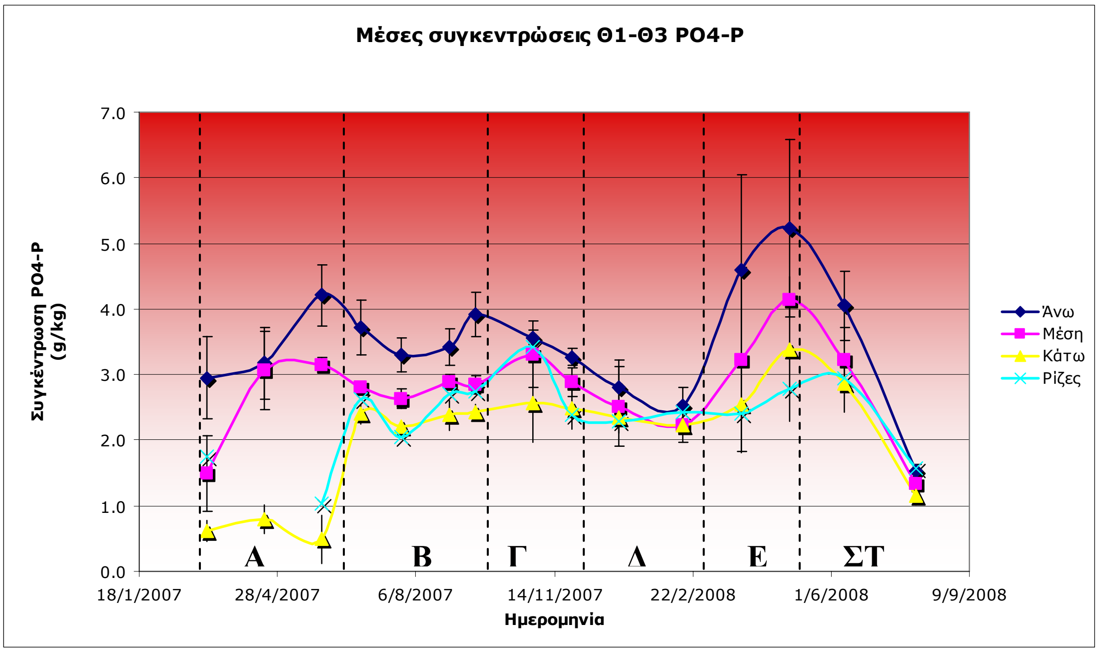
από το οποίο μπορούμε να συμπεράνουμε πως τα καλάμια αρχίζουν και πάλι να αναπτύσσονται. Το άνω και κάτω τμήμα εμφανίζουν μια υστέρηση σε αυτήν την αύξηση της συγκέντρωσης. Παρόλα αυτά μέγιστες συγκεντρώσεις εμφανίζονται και στα τρία υπέργεια τμήματα τον Σεπτέμβριο (ημερομηνία δειγματοληψίας 18/9/2007).

- **<u>Τμήμα Γ (Σεπτέμβριος έως Νοέμβριος 2007)</u>**: Έπειτα ξεκινά ξανά μια σταδιακή μείωση στις συγκεντρώσεις των τριών υπέργειων τμημάτων (άνω, μέσο, κάτω) και ταυτόχρονα μια αύξηση της συγκέντρωσης των ριζών. Η περίοδος αυτή κρατά μέχρι τέλος Νοεμβρίου.
- **<u>Τμήμα Δ (Νοέμβριος 2007 έως Φεβρουάριος 2008)</u>**: Κατόπιν τα καλάμια αρχίζουν να ξεραίνονται, και έτσι η συγκέντρωση των ριζών παρουσιάζεται σχεδόν σταθεροποιημένη, ενώ στα υπέργεια τμήματα παρουσιάζεται μια δραματική μείωση. Οι συγκεντρώσεις παρουσιάζουν ελάχιστο στις 15/2/2008, όπου μάλιστα και τα τρία υπέργεια τμήματα παρουσιάζουν την ίδια συγκέντρωση.
- **<u>Τμήμα Ε (Φεβρουάριος έως Μάιος 2008)</u>**: Μετά καθώς έχει αρχίσει ήδη η περίοδος ανάπτυξης παρατηρείται αύξηση των συγκεντρώσεων των υπέργειων τμημάτων και σταθερή (με μια μικρή αύξηση) συγκέντρωση στις ρίζες. Η μέγιστη συγκέντρωση εμφανίζεται αρχές Μαΐου (ημερομηνία δειγματοληψίας 2/5/2008).
- **<u>Τμήμα ΣΤ (Μάιος έως Αύγουστος 2008)</u>**: Εν συνεχεία εμφανίζεται μείωση στις συγκεντρώσεις του άνω και του μέσου υπέργειου τμήματος και στις ρίζες, ενώ παρατηρείται μικρή αύξηση και στη συνέχεια μείωση στη συγκέντρωση του κάτω υπέργειου τμήματος. Οι συγκεντρώσεις του μέσου και κάτω μέρους στις δύο τελευταίες μετρήσεις (11/6/2008, 1/8/2008) ταυτίζονται, υποδηλώνοντας ίσως τις συνέπειες της δεύτερης συνεχόμενης χρονιάς ξηρασίας στην περιοχή, μιας και το αποστραγγιστικό κανάλι είχε ξηραθεί εκείνη την περίοδο.

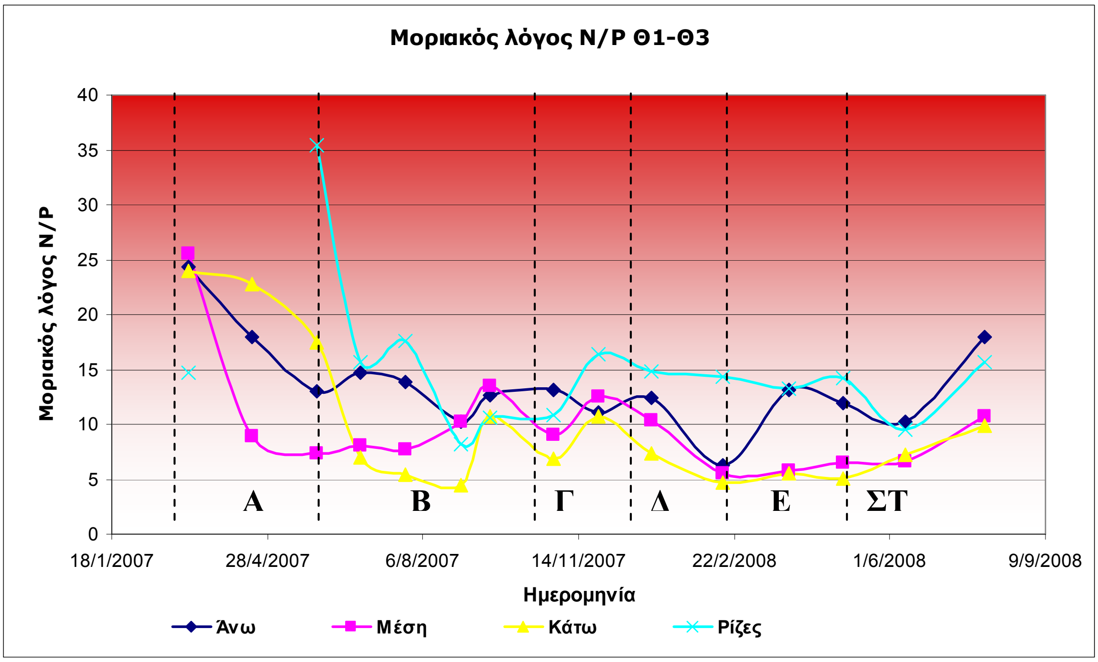
Γενικά, από το διάγραμμα των συγκεντρώσεων φαίνεται ότι τα τρία υπέργεια τμήματα παρουσιάζουν παρόμοια συμπεριφορά με το χρόνο, ενώ καθόλη τη διάρκεια της παρακολούθησης οι συγκεντρώσεις είναι μεγαλύτερες στο άνω τμήμα και μικρότερες στο μέσο, πέρα από συγκεκριμένες περιόδους κατώτατων συγκεντρώσεων, όπου και αυτές είτε ταυτίζονται είτε είναι πολύ κοντά (15/2/2008 και 1/8/2008).

Ακόμη, συνολικά κατά τις δύο περιόδους ανάπτυξης (Άνοιξη-Καλοκαίρι 2007 και 2008) παρουσιάζεται η ίδια συμπεριφορά. Δηλαδή μέγιστη συγκέντρωση στα υπέργεια τμήματα κατά την περίοδο Μαρτίου με αρχές Μαΐου και έπειτα σταδιακή μείωση αυτών με ταυτόχρονη αύξηση της συγκέντρωσης των ριζών.

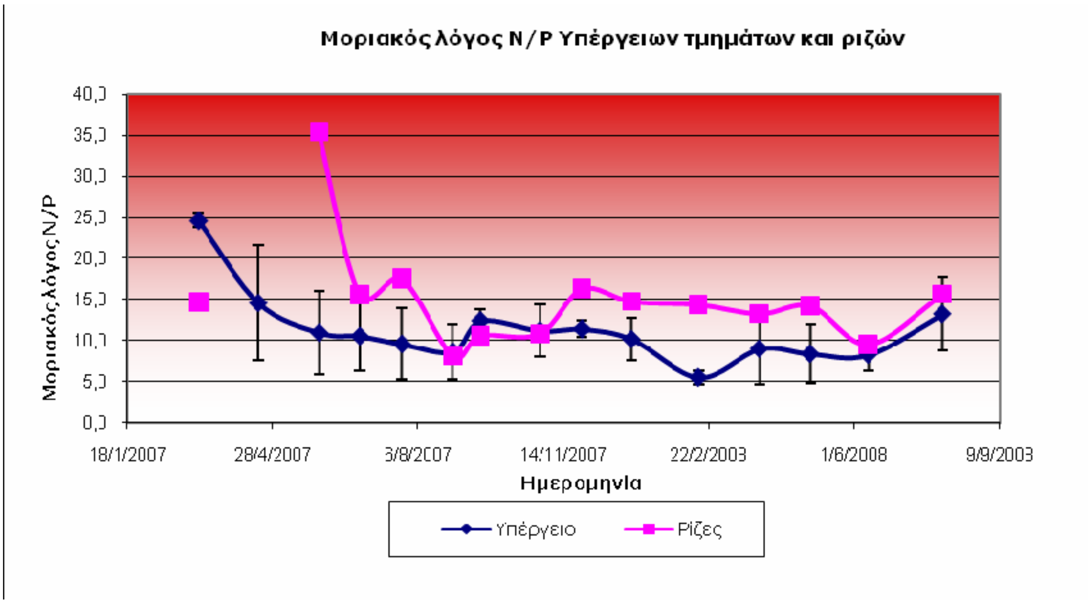
Ομοίως, λαμβάνοντας το μέσο όρο των συγκεντρώσεων στις τρεις θέσεις για κάθε τμήμα ξεχωριστά παρατηρείται η εξής γενική εικόνα ως προς τον ολικό φώσφορο (Διάγραμμα 5.4) και υπολογίζοντας το μοριακό λόγο N/P παρατηρείται η διακύμανση του διαγράμματος 5.5.



Διάγραμμα 5.4 Μέσες συγκεντρώσεις PO_4-P κάθε τμήματος



Διάγραμμα 5.5 Μοριακός λόγος N/P κάθε τμήματος



Διάγραμμα 5.6 Μοριακός λόγος N/P υπέργειων - ριζών

- **<u>Τμήμα Α (Μάρτιος έως Μάιος 2007)</u>**: Σε αντίθεση με το ολικό άζωτο όπου η μέγιστη συγκέντρωση σε όλα τα τμήματα της υπέργειας βιομάζας κατά την περίοδο ανάπτυξης του 2007 παρουσιάζεται τον Μάρτιο, στην περίπτωση του ολικού φωσφόρου εμφανίζεται και πάλι την άνοιξη, αλλά αργότερα στα τέλη Μαΐου (ημερομηνία δειγματοληψίας 30/5/2007) και μόνο για το άνω και μέσο τμήμα. Την ίδια περίοδο εμφανίζεται μείωση στη συγκέντρωση της υπόγειας βιομάζας (ρίζες και ριζώματα). Σημειώνεται και πάλι ότι η υπέργεια βιομάζα κόπηκε και απομακρύνθηκε από το αποστραγγιστικό κανάλι (αρχές Ιουνίου 2007).

- **<u>Τμήμα Β (Ιούνιος έως Σεπτέμβριος 2007)</u>**: Μετά από τον καθαρισμό του αποστραγγιστικού καναλιού από τα καλάμια (αρχές Ιουνίου του 2007), παρατηρείται κατά την επόμενη δειγματοληψία (27/6/2007) μία απότομη αύξηση της συγκέντρωσης των ριζών, κάτι που πιθανότατα οδηγεί στην εύλογη υπόθεση ότι η μετακίνηση του φωσφόρου προς τις ρίζες είχε ήδη πραγματοποιηθεί αρχές Ιουνίου πριν την κοπή της υπέργειας βιομάζας. Ακόμη παρατηρείται αύξηση της συγκέντρωσης του κάτω τμήματος του καλαμιού και σχετική μείωση της συγκέντρωσης στις ρίζες (με μια όμως υστέρηση) από το οποίο μπορούμε να συμπεράνουμε πως τα καλάμια αρχίζουν και πάλι να αναπτύσσονται και η μείωση στις ρίζες οφείλεται στην πρόσληψη από το κύριο μέρος για ανάπτυξη. Το μέσο και κάτω τμήμα εμφανίζουν μια υστέρηση σε αυτήν την αύξηση της συγκέντρωσης. Παρόμοια συμπεριφορά υπενθυμίζεται ότι παρουσιάστηκε και στην περίπτωση του ολικού αζώτου. Γενικά, μέγιστες συγκεντρώσεις εμφανίζονται στα υπέργεια τμήματα τον Σεπτέμβριο (ημερομηνία δειγματοληψίας 18/9/2007), όπως συνέβη και με το άζωτο. Σχολιάζεται, ωστόσο, ότι δεν είναι τόσο εμφανές σε αυτό το σχήμα των συγκεντρώσεων όσο στην περίπτωση του αζώτου και ότι ακόμη η συγκέντρωση στις ρίζες σε όλη αυτήν τη περίοδο δεν μειώνεται όπως συμβαίνει με το άζωτο, αλλά παραμένει σχετικά σταθερή.
- **<u>Τμήμα Γ (Σεπτέμβριος έως Νοέμβριος 2007)</u>**: Έπειτα η αύξηση για το μέσο και κάτω τμήμα και τις ρίζες συνεχίζει (έως 29/10/2007) ενώ το άνω τμήμα παρουσιάζει μείωση στη συγκέντρωση του φωσφόρου. Κατόπιν ξεκινά ξανά μια σταδιακή μείωση στις συγκεντρώσεις των τριών υπέργειων τμημάτων (άνω, μέσο, κάτω), αλλά και των ριζών. Η περίοδος αυτή κρατά μέχρι τέλος Νοεμβρίου.
- **<u>Τμήμα Δ (Νοέμβριος 2007 έως Φεβρουάριος 2008)</u>**: Κατόπιν τα καλάμια αρχίζουν να ξεραίνονται, και έτσι η συγκέντρωση των ριζών παρουσιάζεται σχεδόν σταθεροποιημένη, ενώ στα υπέργεια τμήματα

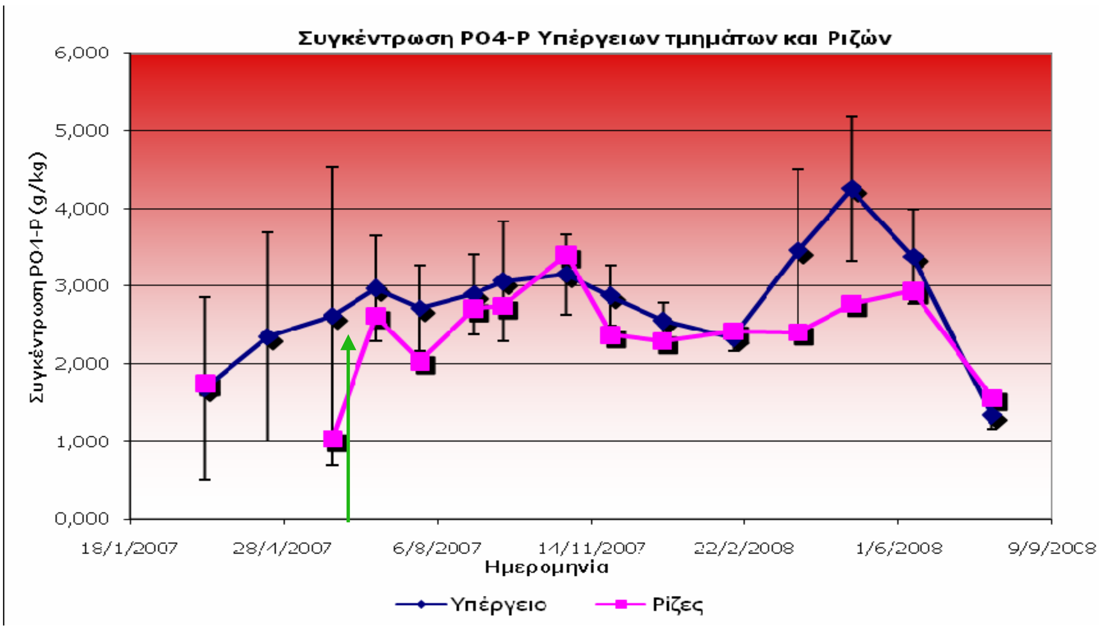
παρουσιάζεται μια δραματική μείωση. Οι συγκεντρώσεις παρουσιάζουν ελάχιστο στις 15/2/2008, όπου μάλιστα και τα τρία υπέργεια τμήματα παρουσιάζουν την ίδια συγκέντρωση. Την περίοδο αυτή παρουσιάζεται ακριβώς η ίδια συμπεριφορά και στο άζωτο.

- **Τμήμα Ε (Φεβρουάριος έως Μάιος 2008)**: Μετά καθώς έχει αρχίσει ήδη η περίοδος ανάπτυξης παρατηρείται αύξηση των συγκεντρώσεων των υπέργειων τμημάτων και σταθερή (με μια μικρή αύξηση) συγκέντρωση στις ρίζες. Η μέγιστη συγκέντρωση εμφανίζεται αρχές Μαΐου (ημερομηνία δειγματοληψίας 2/5/2008). Την περίοδο αυτή παρουσιάζεται ακριβώς η ίδια συμπεριφορά και στο άζωτο.
- **Τμήμα ΣΤ (Μάιος έως Αύγουστος 2008)**: Εν συνεχεία εμφανίζεται μείωση στις συγκεντρώσεις του άνω, μέσου και κάτω υπέργειου τμήματος και αρχικά μικρή αύξηση στη συγκέντρωση των ριζών. Οι συγκεντρώσεις του μέσου υπέργειου τμήματος και των ριζών σχεδόν ταυτίζονται κατά τη δειγματοληψία στις 11/6/2008, ενώ στη συνέχεια υπάρχει σύγκλιση όλων των μερών και των ριζών κατά την 1/8/2008.

Ακόμη, κάνοντας μία εκτίμηση για τη μεταβολή του μοριακού λόγου N/P σε σχέση με την ανάπτυξη των καλαμιών (Διάγραμμα 5.5), μπορεί να παρατηρηθεί ότι στο τμήμα Α μειώνεται στα υπέργεια τμήματα και αυξάνεται στις ρίζες. Το παραπάνω είναι λογικό καθώς την ίδια περίοδο οι συγκεντρώσεις του N μειώνονται ενώ του P αυξάνονται για τα υπέργεια τμήματα, ενώ το αντίθετο συμβαίνει στις ρίζες. Η παραπάνω συμπεριφορά είναι αναμενόμενη καθώς η περίοδος αυτή είναι η περίοδος αιχμής της ανάπτυξης των φυτών και η πρόσληψη φωσφόρου για την δημιουργία νέων ιστών είναι μεγάλη. Στη συνέχεια ο λόγος παρουσιάζεται σχεδόν σταθερός (περίπου στην τιμή 10), ενώ κατά την περίοδο Μαΐου-Ιουνίου 2008 (Διάγραμμα 5.5), όπου και παρατηρήθηκε η αύξηση στη βιομάζα των καλαμιών σημειώνεται πτώση του λόγου N/P στο άνω τμήμα, ενώ στο μέσο και κάτω τμήμα δεν υπήρχε σημαντική μεταβολή. Η προηγούμενη παρατήρηση δηλώνει πως η ποσότητα φωσφόρου που προσέλαβαν τα καλάμια για την ανάπτυξη του φυτικού ιστού τους ήταν μεγαλύτερη αναλογικά με την ποσότητα που χρησιμοποίησαν για την σύνθεση της χλωροφύλλης και την ανάπτυξη φύλλων.

Γενικά, από το διάγραμμα των συγκεντρώσεων φαίνεται ότι τα τρία υπέργεια τμήματα παρουσιάζουν παρόμοια συμπεριφορά με το χρόνο (όχι όμως στον ίδιο βαθμό που παρουσιάζεται στην περίπτωση του αζώτου), ενώ καθόλη τη διάρκεια της παρακολούθησης οι συγκεντρώσεις είναι μεγαλύτερες στο άνω τμήμα και μικρότερες στο μέσο, πέρα από συγκεκριμένες περιόδους κατώτατων συγκεντρώσεων όπου και αυτές είτε ταυτίζονται είτε είναι πολύ κοντά (15/2/2008 και 1/8/2008). Επίσης, είναι άξιο να αναφερθεί η παρόμοια συμπεριφορά που παρουσιάζουν πολλές φορές οι ρίζες με το κατώτερο και μέσο μέρος του καλαμιού.

Ακόμη, συνολικά κατά τις δύο περιόδους ανάπτυξης (Άνοιξη-Καλοκαίρι 2007 και 2008) παρουσιάζεται η ίδια συμπεριφορά, δηλαδή μέγιστη συγκέντρωση στα υπέργεια τμήματα κατά τον Μάιο και έπειτα σταδιακή μείωση αυτών με ταυτόχρονη αύξηση της συγκέντρωσης των ριζών. Η αύξηση που παρατηρείται στις ρίζες κατά την περίοδο του καλοκαιριού-φθινοπώρου είναι πολύ σημαντική, λόγω του ότι μπορεί να ερμηνευτεί με βάση μελέτες (Granéli, 1984; Morris and Lajtha, 1986) που αναφέρουν μεταφορά θρεπτικών από το κύριο μέρος του καλαμιού προς τις ρίζες τη συγκεκριμένη περίοδο για την επόμενη περίοδο ανάπτυξης. Ακόμη, η υπόθεση μπορεί να ισχυροποιηθεί με την παρατήρηση της μείωσης της συγκέντρωσης του φωσφόρου του άνω τμήματος κατά τον Οκτώβριο, με την αύξηση αυτών στο μέσο τμήμα και λιγότερο στο κάτω, όπως επίσης και από το διάγραμμα 5.7, όπου τη συγκεκριμένη περίοδο υπάρχει μεγαλύτερη συγκέντρωση στις ρίζες από αυτή στο σύνολο των καλαμιών.



Διάγραμμα 5.7 Συγκεντρώσεις PO_4-P υπέργειων - ριζών

Τον Αύγουστο παρατηρείται μεγάλη μείωση του περιεχόμενου φωσφόρου στα καλάμια, η οποία είναι μεγαλύτερη από αυτή που παρατηρήθηκε την προηγούμενη περίοδο ανάπτυξης. Αυτό συμβαίνει προφανώς λόγω της δεύτερης συνεχόμενης χρονιάς ξηρασίας, όπου και παρατηρήθηκαν χαμηλότερες στάθμες στο υπόγειο νερό συγκριτικά με την περσινή χρονιά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^{O}

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Το ίζημα δεν έχει πολύ μεγάλη ικανότητα ανοργανοποίησης τουλάχιστον βραχυπόθεσμα (15 mg/kg N), ωστόσο έχει την τάση να εκχυλίζει σε μεγαλύτερα ποσοστά οργανικό άζωτο, το οποίο αν και δεν παρουσιάζει πολύ μεγάλη αρωματικότητα πιθανότατα δεν είναι άμεσα ανοργανοποιήσιμο όπως φάνηκε και από το πείραμα διάρκειας 21 ημερών που πραγματοποιήθηκε.

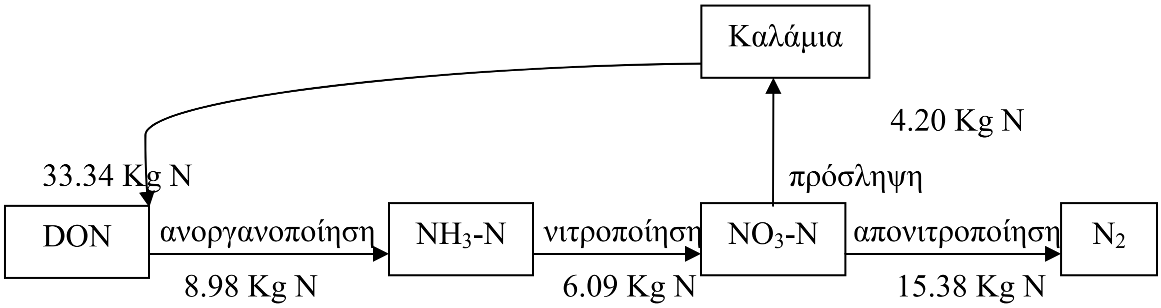
Τα αποστραγγιστικά κανάλια και οι παρόχθιες περιοχές γενικά είναι περιοχές συσσώρευσης οργανικού υλικού, γεγονός που δημιουργεί την πιθανότητα να υπάρχουν αναγωγικές συνθήκες. Στην υπό μελέτη περιοχή, το υπόστρωμα αποτελείται από τύρφη, η οποία συμβάλλει στην ύπαρξη αναγωγικών συνθηκών, και αποτελεί χορηγό ηλεκτρονίων (οργανικός άνθρακας). Αυτό διαπιστώνεται από τις μετρήσεις πεδίου όπου παρατηρήθηκαν στις γεωτρήσεις υψηλά επίπεδα DOC (περίπου 14 mg/L) και χαμηλά επίπεδα DO (1.6 mg/L) και δυναμικού οξειδοαναγωγής (133.3 mV) [εύρος: -182.5 mV : +340.8 mV]. Ακόμη το πείραμα μελέτης του δυναμικού οξειδοαναγωγής του ιζήματος υπέδειξε ότι υπό αναερόβιες συνθήκες και παρουσία δοτών ηλεκτρονίων (οργανικός άνθρακας) και απονιτροποιητών βακτηρίων, το ίζημα διαθέτει δυναμικό οξειδοαναγωγής σε τέτοια επίπεδα (-50 mV) που είναι σε θέση να συμβάλλει στην απονιτροποίηση. Το έδαφος και το ίζημα λοιπόν, μέσω της απονιτροποίησης, συμβάλλουν στη μείωση του επιπέδου των νιτρικών στο υπόγειο νερό και κατ' επέκταση στην είσοδο αυτών στο αποστραγγιστικό κανάλι. Το παραπάνω επιβεβαιώνεται και από τον υπολογισμό της μάζας του νιτρικού αζώτου που απομακρύνεται κατά την κίνηση του υπόγειου νερού προς το αποστραγγιστικό κατά την περίοδο μελέτης (14.02 Kg).

Όσον αφορά στη μείωση των φωσφορικών, το έδαφος στην παρόχθια ζώνη υπολογίστηκε πως έχει τη δυνατότητα να προσροφά μεγάλες ποσότητες. Από τα δεδομένα πεδίου ωστόσο, υπολογίστηκε πως η συγκέντρωση των φωσφορικών στο υπόγειο νερό είναι μεγαλύτερη από την ελάχιστη συγκέντρωση που ενεργοποιεί τη διεργασία της προσρόφησης (EPC_0 = 0.08 mg/L) (διάγραμμα 5.1, πίνακας 1.2), οπότε και ο φώσφορος προσροφάται πριν την είσοδο στο αποστραγγιστικό κανάλι. Αντίθετα, στο επιφανειακό νερό η συγκέντρωση των φωσφορικών είναι συνήθως χαμηλότερη του EPC_0 (διάγραμμα 5.1, πίνακας 1.3), οπότε και η διεργασία παραμένει κυρίως ανενεργή. Συνεπώς, το αποστραγγιστικό κανάλι έχει τη δυνατότητα να αντιμετωπίσει αυξημένη ρύπανση φωσφορικών σε σχέση με την παρούσα κατάσταση.

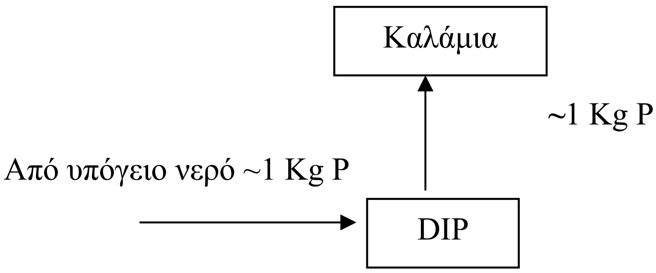
Η διαχείριση των καλαμιών, από την άλλη, συνεισφέρει στη μείωση της ρύπανσης στο επιφανειακό νερό του καναλιού από νιτρικά κατά σημαντικό μέρος, κόβοντας τα κύρια μέρη των καλαμιών κατά την περίοδο Μαΐου-Ιουλίου, οπότε και οι περιεχόμενες ποσότητες σε άζωτο και φώσφορο είναι μεγαλύτερες κατά την περίοδο αυτή (3.04-4.20 Kg N και 0.46-1.03 Kg P). Συνολικά, υπολογίστηκε πως αν κοπούν όλα τα καλάμια από όλο το μήκος του αποστραγγιστικού καναλιού το μήνα Μάιο, όπου η συσσώρευση του αζώτου και του φωσφόρου είναι στα υψηλότερα επίπεδα, θα απομακρύνονταν συνολικά 0.46 kg φωσφόρου και 3.04 kg αζώτου. Αντίθετα, αν κοβόντουσαν το μήνα Ιούνιο, όπου η βιομάζα είναι μεγαλύτερη από αυτή του Μαΐου, θα απομακρύνονταν συνολικά 1.03 kg φωσφόρου και 4.20 kg αζώτου.

Το μέγεθος της απόδοσης φαίνεται από τη σύγκριση της απομακρυνόμενης δυνατής ποσότητας αζώτου (4.20 Kg NO_3-N), με την εισερχόμενη ποσότητα από το υπόγειο νερό (5.18 Kg NO_3-N), ποσοστό περίπου 80%. Ακόμη, όσον αφορά τα φωσφορικά, απομακρύνεται ένα σημαντικό ποσοστό από αυτό που εισέρχεται υπογείως στο αποστραγγιστικό κανάλι (0.87 Kg PO_4-P). Συγκεκριμένα, αν κοπούν την περίοδο Μαΐου-Ιουλίου απομακρύνεται η μεγαλύτερη δυνατή ποσότητα φωσφόρου (1.03 Kg PO_4-P) (απομάκρυνση ίδιας τάξης μεγέθους με την είσοδο από το υπόγειο νερό).

Εκτός αυτών, το σημαντικότερο που παίζει ρόλο στη λειτουργία του αποστραγγιστικού καναλιού για τη μείωση των νιτρικών και την προσρόφηση των φωσφορικών είναι η απελευθέρωση οξυγόνου που πραγματοποιείται από τις ρίζες, γεγονός που παρέχει το απαιτούμενο οξυγόνο για τη διεργασία της νιτροποίησης και της δημιουργίας θέσεων προσρόφησης. Συνεπώς, η ύπαρξη των καλαμιών εντός του αποστραγγιστικού καναλιού είναι πάρα πολύ σημαντική και σε καμία περίπτωση δεν θα πρέπει να απομακρυνθούν, γιατί σε αυτή την περίπτωση θα υπήρχε συσσώρευση αμμωνίας.



Σχεδιάγραμμα και απομακρυνόμενες ποσότητες αζώτου, παρόχθιας ζώνης και αποστραγγιστικού.



Σχεδιάγραμμα εισροής φωσφόρου από το υπόγειο νερό και απομάκρυνση εντός του αποστραγγιστικού καναλιού.

Επεξεργασία

Όπως έχουμε δει σε άλλες μελέτες, η προτεινόμενη επεξεργασία είναι ο τεμαχισμός των καλαμιών και η παραγωγή βιοαερίου από αυτά. Με αυτό τον τρόπο παράγεται ενέργεια και το παραπροϊόν της διεργασίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για οργανικό λίπασμα. Άλλη μέθοδος επεξεργασίας είναι και αυτή της καύσης, η οποία και αποτελεί την πιο παραδοσιακή διαχειριστική πρακτική. Η μέθοδος της καύσης λόγω του ότι είναι φθηνή προτιμάται μέχρι σήμερα, όμως όταν αυτή δε γίνεται σωστά, δημιουργείται το πρόβλημα της αύξησης του ρυθμού εισόδου θρεπτικών στο υδατικό οικοσύστημα, μέσω της επιτάχυνσης της αποικοδόμησης της οργανικής ύλης. Ακόμη, υπάρχει η επιλογή του τεμαχισμού και της επιτόπου διάθεσης, η οποία ενέχει τον κίνδυνο εκχύλισης αυξημένων ποσοτήτων νιτρικών. Τέλος, τα καλάμια μπορούν να οδηγηθούν προς κομποστοποίηση, η οποία αποφέρει οικονομικό όφελος για τα λειτουργικά έξοδα της διαχείρισης (Δημαλέξης, 2004).

Πέραν αυτών, η διαχείριση του αποστραγγιστικού καναλιού αποτελεί αξιόλογη πρακτική για τη μείωση της ρύπανσης των επιφανειακών υδάτων. Η φυσική αποκατάσταση μέσω των διεργασιών της απονιτροποίησης και της προσρόφησης των φωσφορικών, σε συνδυασμό με την ελεγχόμενη εφαρμογή και παρακολούθηση της φυτοεξυγίανσης με χρήση καλαμιών, συμβάλλουν σε πολύ σημαντικό βαθμό στη μείωση της ρύπανσης. Επίσης, ανάλογα με την επεξεργασία που θα ακολουθήσει μπορεί να υπάρχουν και περισσότερα περιβαλλοντικά και οικονομικά πλεονεκτήματα (παραγωγή ενέργειας, μείωση χρήσης βιομηχανικών λιπασμάτων, αποφυγή φαινόμενου ευτροφισμού σε επιφανειακούς αποδέκτες, διατήρηση οικοσυστημάτων).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^{Ο}

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Clark, E. H. II, J.A. Haverkamp, and W. Chapman. (1985), Eroding Soils: The Off- farm Impacts. The Conservation Foundation, Washington, DC. 252p.
2. Javier Cruz, September (2003), Where the Land and Water Meet – A Guide for Protection and Restoration of Riparian Areas, Prepared by the USDA Natural Resources Conservation Service – Tolland, CT – NRCS,.
3. USDA Forest Service, Lowrance, Leonard, and Sherida (1985).
4. Osmond, D.L., J.W. Gilliam and R.O. Evans. (2002), Riparian Buffers and Controlled Drainage to Reduce Agricultural Nonpoint Source Pollution, North Carolina Agricultural Research Service Technical Bulletin 318, North Carolina State University, Raleigh, NC.
5. Martin L.Teri, Trevors J.T. and Kaushik K.N. (1998), Soil microbial diversity, community structure and denitrification in a temperate riparian zone.
6. N. E. Haycock, T. P. Burt , L. S. Matchett, K. W. T. Goulding C. P. Webster (1993), Denitrification in riparian buffer zones: the role of floodplain hydrology. Hydrological Processes, Vol: 13, Issue 10, Pages 1451-1463.
7. Jordan, T.E., Correll, D.L., Weller, D.E. (1993), Nutrient interception by a riparian forest receiving inputs from adjacent cropland. Journal of Environmental Quality, Vol: 22, Issue 3, Pages 467-473.
8. Lewis L. Osborne, David A. Kovacic (1993), Riparian vegetated buffer strips in water-quality restoration and stream management. Freshwater Biology, Vol: 29, Issue 2, Pages 243-258.
9. Simmons, R.C., Gold, A.J. and Groffman, P.M. (1992), Nitrate dynamics in riparian forests: groundwater studies. Journal of Environmental Quality, Vol: 21, Pages 659-665.
10. Εισαγωγή στη μηχανική περιβάλλοντος, Κύκλοι στοιχείων, Δ. Κάσινου.
11. Peter M. Groffman, Eric A. Axelrod, Jerrell L. Lemunyon, W. Michael Sullivan (1991), Denitrification in Grass and Forest Vegetated Filter Strips. Journal of Environmental Quality, Vol: 20, Pages 671-674.

12. Hanson G. C, Groffman P.M., Gold AJ (1994), Symptoms of nitrogen saturation in a riparian wetland. Ecological Applications, Vol: 4, Pages 750–756.
13. Jacobs TC and Gilliam JW (1985), Riparian losses of nitrate from agricultural drainage water. Journal of Environmental Quality, Vol: 14, Pages 472–478.
14. Prasad R., Power J. F. (1995), Nitrification inhibitors for agriculture, health, and the environment. Advances in Agronomy, Vol: 54, Pages 233–281.
15. Sotomayer D., Rice C. W. (1996), Denitrification in soil profiles beneath grassland and cultivated soils. Soil Science Society of America Journal Vol: 60, Pages 1822–1828.
16. Buss S. R., Rivett M.O., Morgan P., Bemment C.D. (2005), Attenuation of nitrate in the sub-surface environment – Using science to create a better place. – Environment Agency - Science Report SC030155/SR2.
17. Vought LBM, Dahl J, Pedersen CL and Lacoursiere JO (1994), Nutrient retention in riparian ecotones. Ambio Vol: 23, Pages 342–348.
18. Muscutt AD, Harris GL, Bailey SW and Davies DB (1993), Buffer zones to improve water quality: a review of their potential use in UK agriculture. Agriculture Ecosystems & Environment Vol: 45, Pages 59–77.
19. Cooper, A.B., Smith, C.M. and Smith, M.J. (1995), Effects of riparian set-aside on soil characteristics in an agricultural landscape: implications for nutrient transport and retention. Agriculture Ecosystems & Environment Vol: 55, Pages 61–67.
20. Vanek V. (1993), Transport of groundwater-borne phosphorus to lake Byson, south Sweden. Hydrobiologia. Vol: 251, Pages 211–216.
21. Wathugala, A.G., Suzuki, T. and Kurihara, Y. (1987), Removal of nitrogen, phosphorus and COD from waste water using sand filtration system with *Phragmites Australis*. Wat. Res. Vol: 21, Issue 10, Pages 1217–1224.
22. José Antonio Romero, Hans Brix, Francisco A. Comín (1999). Interactive effects of N and P on growth, nutrient allocation and NH4 uptake kinetics by *Phragmites Australis*. Aquatic Botany Vol: 64, Pages 369–380.

23. Indra Lippert, Hardy Rolletschek, Harald Kühl & Johannes-Günter Kohl (1999), Internal and external nutrient cycles in stands of *Phragmites Australis* – a model for two ecotypes. Hydrobiologia 408/409, Pages 343–348.
24. Granéli W., Solander D. (1988), Influence of aquatic macro- phytes on phosphorus cycling in lakes. Hydrobiologia Vol: 170, Pages: 245- 266.
25. Mason, C.F. and Bryant, R.J. (1975), Production, nutrient content and decomposition of Phragmites communis Trin. and Typha angustifolia L. Journal of Ecology Vol: 63, Pages 71-95.
26. Prentki, R. T., T. D. Gustafson & M. S. Adams (1978), Nutrient movements in lakeshore marshes. In R. E. Good, D. F. Whigham & R. L. Simpson (eds), Freshwater wet- lands. Ecological processes and management potential, Academic Press, NY Pages 169-194.
27. Davis, C. B. & A. G. van der Valk (1983), Uptake and release of nutrients by living and decomposing Typha glauca Godr. tissues at Eagle Lake, Iowa.
28. Van der Linden, M. J. H. A. (1986), Phosphorus economy of reed vegetation in the Zuidelijk Flevoland polder (The Netherlands): seasonal distribution of phosphorus among shoots and rhizomes and availability of soil phosphorus. - Acta Oecologie Oecol. Plant. Vol: 7, Pages 397-405.
29. Graneli, W. (1984), Reed *Phragmites Australis* (Cav.) Trin. ex teudel as an energy source in Sweden. Biomass Vol: 4, Pages 183-208.
30. Morris, J. T. & K. Lajtha (1986), Decomposition and nutrient dynamics of litter from four species of freshwater emergent macrophytes. Hydrobiologia Vol: 131, Pages 215-223.
31. Van der Linden, M. J. H. A. (1980), Nitrogen economy of reed vegetation in the Zuidelijk, Flevoland polder. I. - Distribution of nitrogen among shoots and rhizomes during the growing season and loss of nitrogen due to fire management. - Acta Oecologia Oecol. Plant. Vol: 1, Pages 219-230.
32. Department of Natural Resources. *Phragmites Australis* (Common Reed Grass) – Wisconsin - Bureau of Watershed Management, (2007).
33. Νικόλαος Νικολαΐδης, Νικόλαος Καλογεράκης, Ουρανία Τζωράκη, Φωτεινή Σταμάτη, Μαρία Ανδριανάκη, & Μαρία Νικολοπούλου (2006), Σχεδιασμός τεχνολογιών επίδειξης. Τεχνική έκθεση 102σ. + Παράρτημα

5σ. Στην Έκδοση: Νικολαΐδης Ν., Ν. Καλογεράκης, Ν. Σκουλικίδης, Κ. Τσακίρης, 2005-2009. Τεχνολογίες φιλικές προς το περιβάλλον για αγροτική ανάπτυξη. Πρόγραμμα Life-περιβάλλον, LIFE05ENV/Gr/000245 EE (EnviFriendly).

34. Fotini Stamati et al. (2008a), (Presented at the Eurosoil 2008 conference. August 25-29, 2008, Vienna Austria) Buffering capacity and phytoremediation potential of drainage canals as a low cost agri-environmental measure.
35. Bouyoucos, G. J. (1936), Directions for Making Mechanical Analysis of Soils by the Hydrometer Method. Soil Sci. Vol: 42 (3), Pages 225–229.
36. 9045A, EPA
37. Bowles, (1986)
38. Walkley, A. and Black, I.A., (1934), An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. Vol: 37, Pages 29–38.
39. RB Bradstreet (1954), Analytical Chemistry, Kjeldahl Method for Organic Nitrogen.
40. Bundy, L.G., J.J. Meisinger (1994), Nitrogen availability indices. Pages 951–984. In R.W. Weaver et al. (ed.) Methods of soil analysis. Part 2. Biological methods. SSSA Book Ser. 5. SSSA, Madison, WI.
41. Stamati F. et al. (2008b), (Presented at the Eurosoil 2008 conference. August 25-29, 2008, Vienna Austria) Organic nitrogen as a potential indicator of livestock grazing impacts on Mediterranean soil quality.
42. Χριστίνα Γιώτη (2008), «Ελεγχόμενη φυσική αποκατάσταση στη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα», Διπλωματική εργασία Πολυτεχνείο Κρήτης Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος.
43. J. García-Pintado, M. Martínez-Mena, G.G. Barberá, J. Albaladejo, V.M. Castillo. (2007), Anthropogenic nutrient sources and loads from a Mediterranean catchment into a coastal lagoon: Mar Menor, Spain. Science of the Total Environment Vol: 373, Pages 220–239.
44. Sabine Güsewell (2004), N : P ratios in terrestrial plants: Variation and functional significance. New Phytologist (2004) Vol: 164, Pages 243–266.
45. Per-Anders Hansson, Hans Fredriksson (2003), Use of summer harvested common reed (*Phragmites Australis*) as nutrient source for organic crop

production in Sweden. Agriculture, Ecosystems and Environment Vol: 102, Pages 365 – 375.

46. Δημαλέξης Τάσος (2004), Γενικές Κατευθύνσεις Διαχείρισης Υδατοσυλλογών για την επίτευξη πολλαπλών λειτουργιών με έμφαση στην υποστήριξη της βιοποικιλότητας, LIFE-ENVIRONMENT LIFE00ENV/GR/000685LIFE00ENV/GR/000685.
47. http://aesl.ces.uga.edu/protected/methods/details/stl-soil/18.html

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^{Ο}

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Περιγραφή πρότυπων μεθόδων

pH και αγωγιμότητα (conductivity) στο ίζημα

Κατασκευάστηκε δείγμα αναλογίας 1:2.5 ιζήματος ως προς νερό (20 g ιζήματος σε 50 mL νερού), εις διπλούν ώστε να υπολογιστεί η τυπική απόκλιση και να υπάρχει μεγαλύτερη αξιοπιστία στις μετρήσεις. Στη συνέχεια, τα δείγματα αναδεύτηκαν για 30 λεπτά στις 125 στροφές ανά λεπτό και κατόπιν αφέθηκαν να ηρεμήσουν για 1 ώρα, οπότε και μετρήθηκε το pH τους με χρήση πεχάμετρου Orion 9107 και η αγωγιμότητά τους με χρήση αγωγιμόμετρου Orion 105.

Porosity – Density (Πορώδες – Πυκνότητα)

Το πορώδες και η πυκνότητα αποτελούν χαρακτηριστικά του ιζήματος. Ο υπολογισμός τους έγινε με την εξής μέθοδο: Αρχικά, ζυγίστηκε ένα ποτήρι ζέσεως 100 mL και καταγράφηκε το βάρος του. Βαθμονομήθηκε, προσθέτοντας 50 mL νερού με ογκομετρική φιάλη. Προστέθηκε το ίζημα στο ποτήρι ζέσεως μέχρι τη γραμμή βαθμονόμησης και ζυγίστηκε το συνολικό βάρος. Μέχρις στιγμής, υπολογίζεται η μάζα του ιζήματος και διαιρώντας με τον βαθμονομημένο όγκο, η πυκνότητα αυτού από τον τύπο: $\rho = m_s / V$. Ακολούθως, προστέθηκε στο ποτήρι αργά και προσεκτικά νερό, με τέτοιο τρόπο ώστε να μην υπήρξε συσσώρευση νερού στην επιφάνεια, αλλά και παγίδευση αέρα εντός του δείγματος. Αφήνοντας χρόνο στο νερό να διηθηθεί, η προσθήκη σταμάτησε όταν ήταν εμφανής η πλήρης κάλυψη της εμφανούς επιφάνειας του δείγματος. Το στάδιο αυτό είναι πολύ σημαντικό, γιατί μπορεί το δείγμα να γίνει υπερκορεσμένο, γεγονός που θα μας οδηγήσει σε λάθος υπολογισμούς. Τέλος, καταγράφοντας τον όγκο του νερού που προστέθηκε και ζυγίζοντας το τελικό δείγμα, υπολογίζεται το πορώδες από τον τύπο: $n = Vw / V$.

Κοκκομετρία

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε για τον προσδιορισμό του ποσοστού της περιεκτικότητας του ιζήματος σε άμμο, άργιλο και ιλύ. Η διαδικασία είχε ως εξής:

Ζυγίστηκαν 50 gr ιζήματος και προστέθηκαν 100 mL πολυφωσφορικού νατρίου με pH ρυθμισμένο στο 8.3-8.5 και αφέθηκε για 24 ώρες στους 20 ^oC. Στη συνέχεια, το δείγμα αναδεύτηκε μηχανικά για 1.5 λεπτό και τοποθετήθηκε σε ογκομετρικό κύλινδρο γεμίζοντας μέχρι τα 1130 mL με απιονισμένο νερό. Ξαναναδεύσαμε χειρωνακτικά και καταγράφηκε η στάθμη με χρήση αερόμετρου ύστερα από 40 δευτερόλεπτα μετά το τέλος της ανάδευσης, ενώ άλλη μία μέτρηση πάρθηκε μετά το πέρασμα 2 ωρών. Τα δείγματα έγιναν διπλά για τον προσδιορισμό του μέσου όρου, ως αντικειμενικότερης μέτρησης. Οι υπολογισμοί των ποσοστών της άμμου, της αργίλου και της ιλύος που αποτελούν το ίζημα προς διορίστηκαν από τις εξισώσεις:

$$\%clay = \left(\frac{100}{w}\right) * (R_{2h} - R_{BL})$$

$$\%sand = 100 - \left[\left(\frac{100}{w}\right) * (R_{40s} - R_{BL})\right]$$

$$\%silt = 100 - \%sand - \%clay$$

Όπου,

% clay = ποσοστό αργίλου στο ίζημα.

% sand = ποσοστό άμμου στο ίζημα.

% silt = ποσοστό ιλύος στο ίζημα.

w = ξηρό βάρος ιζήματος (gr).

R_{2h} = μέτρηση 2 ωρών.

R_{BL} = μέτρηση τυφλού.

R_{40s} = μέτρηση 40 sec.

Σημείωση: Το πείραμα μπορεί να πραγματοποιηθεί με 100 gr ιζήματος με τη μόνη διαφοροποίηση το γέμισμα μέχρι τα 1000 mL απιονισμένου νερού αντί 1130.

Εικόνα 2. Διάταξη για την εκτίμηση της υφής του εδάφους με τη μέθοδο Bouyoucos.

Ολικός Οργανικός Άνθρακας

Για τον προσδιορισμό του οργανικού άνθρακα ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία:

Ζυγίστηκαν 0.6 gr ιζήματος και τοποθετήθηκαν σε κωνική φιάλη των 500 mL. Στη συνέχεια προστέθηκαν 10 mL διχρωμικό κάλιο ($K_2Cr_2O_7$) και ίδια ποσότητα σε μία νέα κωνική φιάλη των 500 mL για τον προσδιορισμό του τυφλού διαλύματος. Ακολούθως, προστέθηκαν 20 mL πυκνού θειικού οξέος (H_2SO_4) σε κάθε φιάλη και αφέθηκαν για 20 λεπτά. Κατόπιν, προστέθηκαν 200 mL απιονισμένου νερού και 10 mL ορθοφωσφορικού οξέος (H_3PO_4), το οποίο δημιουργεί συνθήκες ώστε ο δείκτης να αλλάξει απότομα χρώμα και 2 mL διφαινυλαμίνη. Τα διαλύματα τη στιγμή αυτή είχαν χρώμα σκούρο μωβ. Με χρήση προχοΐδας εισήχθηκε αρχικά στο τυφλό διάλυμα θειικός σίδηρος ($FeSO_4$) αργά, ενώ συγχρόνως ανακατευόταν το διάλυμα συνεχώς, ώσπου το χρώμα άλλαξε σε σκούρο πράσινο και υπολογίστηκε ο όγκος του $FeSO_4$ που καταναλώθηκε. Όμοια, προσδιορίζεται ο όγκος του $FeSO_4$ που χρειάστηκαν τα διαλύματα να αλλάξουν χρώμα. Το ποσοστό του άνθρακα υπολογίζεται:

$$\%C = 10 * \left(1 - \frac{S}{B}\right) * \left(0.3 * \frac{1.334}{Wt}\right)$$

όπου,

% C = ποσοστό ολικού οργανικού άνθρακα

S = όγκος του $FeSO_4$ που χρειάστηκε για την τιτλοδότηση του διαλύματος (mL)

B = όγκος του $FeSO_4$ που χρειάστηκε για την τιτλοδότηση του τυφλού διαλύματος (mL)

Wt = μάζα ξηρού ιζήματος (gr)

Total Kjeldahl Nitrogen and Phosphorus

- **Διαδικασία Χώνευσης**

Η χώνευση πραγματοποιείται ως εξής με χρήση συσκευής Hach-Digesdahl Digestion Apparatus:

- Μεταφέρονται 0.1-0.5 g στην περίπτωση στερεών δειγμάτων και 1-40 mL στην περίπτωση υγρών δειγμάτων στο Digesdahl digestion flask των 100 mL, σύμφωνα με τις αναμενόμενες συγκεντρώσεις θρεπτικών που αναμένουμε (βλ. πίνακες 3.3 και 3.4).

- Στην περίπτωση των καλαμιών χωνεύονταν 0.2 g δείγματος, για την συνολική περιεκτικότητα του ιζήματος 0.3 g δείγματος και τέλος αναφορικά με τα υγρά δείγματα της UV-ανάλυσης χωνεύτηκαν 20 mL.

- Προστίθενται 5 mL στην περίπτωση στερεών δειγμάτων και 4 mL στην περίπτωση υγρών δειγμάτων πυκνού θειικού οξέος στο Digestion flask και 6-10 boiling chips, τα οποία βοηθούν στην ομοιόμορφη διανομή της θερμοκρασίας.
- Το δείγμα χωνεύεται στους 440^oC για 4 λεπτά, με λειτουργία της υδραντλίας για την ύπαρξη αναρρόφησης στη στήλη. Όταν πρόκειται για υγρά δείγματα, πρέπει να εξατμιστεί ολόκληρη η ποσότητα του νερού και ο χρόνος των 4 λεπτών μετράται από τη στιγμή που ξεκινά ο βρασμός του θειικού οξέος.
- Κατόπιν, γίνεται προσθήκη 10 mL 50% H_2O_2 (ή παραπάνω, μέχρι να αποχρωματιστεί και να σταθεροποιηθεί το δείγμα), μέσω της προχοΐδας (capillary funnel).
- Μετά την προσθήκη του H_2O_2, αφήνεται για 1 λεπτό ακόμα ώστε να απομακρυνθεί η περίσσεια του H_2O_2.
- Στη συνέχεια απομακρύνεται από την εστία και για τουλάχιστον 1 λεπτό λειτουργεί η αναρρόφηση για την απομάκρυνση των αναθυμιάσεων.
- Τέλος, αφού το flask κρυώσει πλήρως, το χωνευμένο πλέον δείγμα αραιώνεται στα 100 mL.

Πίνακας 3.3: Προτεινόμενες ποσότητες στερεών δειγμάτων για χώνευση και ανάλυση βάσει της αναμενόμενης συγκέντρωσης αζώτου και φωσφόρου.

Αναμενόμενη συγκέντρωση αζώτου (mg/kg)	Ποσότητα δείγματος (g) για χώνευση (B)	Όγκος Ανάλυσης* (mL) που θα ληφθεί μετά τη χώνευση για ανάλυση TKN (C)
42-2.200	0,5	10
106-5.600	0,4	5
350-18.000	0,3	2
1.000-56.000	0,2	1
4.200-220.000	0,1	0,5
Αν. συγκέντρωση φωσφόρου (mg/kg)		
10-450	0,5	20
25-1.100	0,4	10
67-3.100	0,3	5
500-23.000	0,2	1

2.000-93.000	0,1	0,5

Πίνακας 3.4: Προτεινόμενες ποσότητες υγρών δείγματος για χώνευση και ανάλυση βάσει της αναμενόμενης συγκέντρωσης αζώτου και φωσφόρου.

Αναμενόμενη συγκέντρωση αζώτου (mg/L)	**Ποσότητα δείγματος (mL) για χώνευση (B)**	**Όγκος Ανάλυσης* (mL) που θα ληφθεί μετά τη χώνευση για ανάλυση TKN (C)**
0,5 – 28	40	10
2 – 112	20	5
11 – 560	10	2
45 – 2.250	5	1
425 – 22.500	1	0,5
Αν. συγκέντρωση φωσφόρου (mg/L)		
0,12-6	40	20
0,5-23	20	10
2-90	10	5
20-900	5	1
200-9.000	1	0,5

- **Μέτρηση TKN (Ολικό Kjeldhal Άζωτο)**

Η μέτρηση πραγματοποιείται με τη μέθοδο Nessler, 8075, με χρήση φασματοφωτομέτρου DR/2010 της εταιρείας HACH. Αναλυτικά η αρχή της μεθόδου περιγράφεται στην επόμενη παράγραφο (3.8.6).

- **Μέτρηση PO_4^{3-}-P**

Το χωνευμένο δείγμα αφού ρυθμιστεί το pH μεταξύ 6 και 8 με προσθήκη διαλύματος NaOH και HCl, λόγω του ότι το pH είναι πολύ χαμηλό (≈1), ακολουθείται μέτρηση με πρότυπη μέθοδο της εταιρείας Hach (phosVer3 Method, 8048). Το αποτέλεσμα της μέτρησης διορθώνεται ως προς τον τελικό όγκο του δείγματος μετά τη ρύθμιση του pH.

Περιγραφή πρότυπων μεθόδων της εταιρείας Hach για τη μέτρηση θρεπτικών

Νιτρικό Άζωτο (NO_3^--N)

Ο προσδιορισμός του νιτρικού αζώτου πραγματοποιήθηκε φασματοσκοπικά με τη χρήση αντιδραστηρίων και φασματοφωτομέτρου της εταιρίας HACH. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε είναι η 8039, η οποία χρησιμοποιείται για εύρη συγκεντρώσεων 0-30 mg/L NO_3^--N και βασίζεται στην χρήση καδμίου (Cd) για την αναγωγή των νιτρικών σε νιτρώδη. Στη συνέχεια, τα νιτρώδη ιόντα αντιδρούν με ένα σουλφανιλικό οξύ (sulfanilic), κάτω από όξινες συνθήκες, οπότε προκύπτει ένα ενδιάμεσο diazonium άλας. Αυτό το άλας συνδέεται με ένα gentistic οξύ για τη διαμόρφωση ενός ηλεκτρο-χρωματισμένου προϊόντος. Η εμφάνιση της μέγιστης απορρόφησης παρουσιάζεται στα 500 nm. Εκτός από την ανάλυση των δειγμάτων απαιτείται και η ανάλυση ενός τυφλού δείγματος για τη διόρθωση των τιμών. Το πραγματικό όριο ανίχνευσης της μεθόδου είναι τα 0.267 mg/L.

Αμμωνιακό Άζωτο (NH_3-N)

Ο προσδιορισμός του αμμωνιακού αζώτου πραγματοποιήθηκε φασματοσκοπικά με τη χρήση αντιδραστηρίων και φασματοφωτομέτρου της εταιρίας HACH. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε είναι η 10023 η οποία χρησιμοποιείται για εύρη συγκεντρώσεων 0-2.5 mg/L NH_3-N, και βασίζεται στην αντίδραση των ιόντων της αμμωνίας με το χλώριο για το σχηματισμό μονοχλωραμίνης. Στη συνέχεια, η μονοχλωραμίνη αντιδρά με σαλικυλικό οξύ και παράγεται 5-αμινοσαλικυλικό που με την παρουσία καταλύτη νιτροκυανιδίου οξειδώνεται σχηματίζοντας ένα μπλε σύμπλοκο. Το μπλε χρώμα αναμιγνύεται με το κίτρινο χρώμα της περίσσειας του αντιδραστηρίου στο διάλυμα και παράγεται ένα πράσινο διάλυμα. Η εμφάνιση της μέγιστης απορρόφησης παρουσιάζεται στα 650 nm (HACH). Το πραγματικό όριο ανίχνευσης της μεθόδου είναι τα 0.025 mg/L.

Ολικό Kjeldahl άζωτο (TKN)

Ο υπολογισμός του ολικού Kjeldahl αζώτου πραγματοποιήθηκε με τη μέτρηση Nessler, 8075 η οποία χρησιμοποιείται για εύρη συγκεντρώσεων 0-150 mg/L και αναφέρεται στο συνδυασμό του αμμωνιακού αζώτου και του οργανικού αζώτου που αποτελούνται από άζωτο με αριθμό οξείδωσης -3. Οι εν λόγω ενώσεις μετατρέπονται σε αμμωνιακά άλατα από τη δράση του θειικού οξέος και του υπεροξειδίου του υδρογόνου. Τα αμμωνιακά άλατα μαζί με την εναπομείνουσα αμμωνία είναι αυτά που μετρώνται από τη μέθοδο Nessler. Αρχικά, λόγω του ότι το χωνευμένο δείγμα είναι όξινο γίνεται ρύθμιση του pH με προσθήκη KOH. Στη συνέχεια, δεσμεύεται το ασβέστιο και το μαγνήσιο και προσδίδεται το κίτρινο χρώμα στο δείγμα λόγω αντίδρασης με τα αμμωνιακά ιόντα. Η ένταση του χρώματος είναι ανάλογη της συγκέντρωσης της αμμωνίας στο δείγμα. Το πραγματικό όριο ανίχνευσης της μεθόδου είναι τα 0.267 mg/L.

Φωσφορικά (PO_4)

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε είναι η PhosVer 3, 8048, η οποία χρησιμοποιείται για εύρη συγκεντρώσεων 0-5 mg/L PO4. Αρχικά, χρειάζεται η ρύθμιση του pH στο εύρος 6-8 για την πραγματοποίηση της μέτρησης. Με την προσθήκη της σκόνης της μεθόδου, τα ορθοφωσφορικά αντιδρούν με το άλας του τριοξειδίου του μολυβδαινίου σε ένα όξινο μέσο για την παραγωγή του συμπλόκου φωσφοτομολυβδαινίου (phosphomolybdate complex). Ακολούθως, το ασκορβικό οξύ ανάγει το σύμπλοκο δίνοντας του ένα έντονο μπλε χρώμα, του οποίου η ένταση είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των φωσφορικών στο δείγμα. Το πραγματικό όριο ανίχνευσης της μεθόδου είναι τα 0.009 mg/L.

Πίνακας 3.5.

Μέτρηση	Εύρος Συγκέντρωσης (mg/L)	Καμπύλη Βαθμονόμησης	Όριο Ανίχνευσης (mg/L)
NO_3^--N	0-30	63.262*(ABS - ABS_{BL})[1]	0.267
NH_3-N	0-2.5	1.8027*ABS	0.025
TKN	0-150	107.28*(ABS - ABS_{BL}) + 5.7564	
PO_4-P	0-1 0-1.5	1.8845*(ABS - ABS_{BL}) 1.9452*(ABS - ABS_{BL})	0.009

[1] η καμπύλη αυτή ισχύει για δείγματα με συγκέντρωση Cl^- 0.8 M.

Όργανα μέτρησης

pH-μετρο

Όλες οι μετρήσεις του pH έγιναν με φορητό pHμετρο της εταιρείας Orion, μοντέλο 250A.

Εικόνα 3: Φορητό pH/mV/ORP/Temperature Meter, Orion, μοντέλο 250A.

Αγωγιμόμετρο

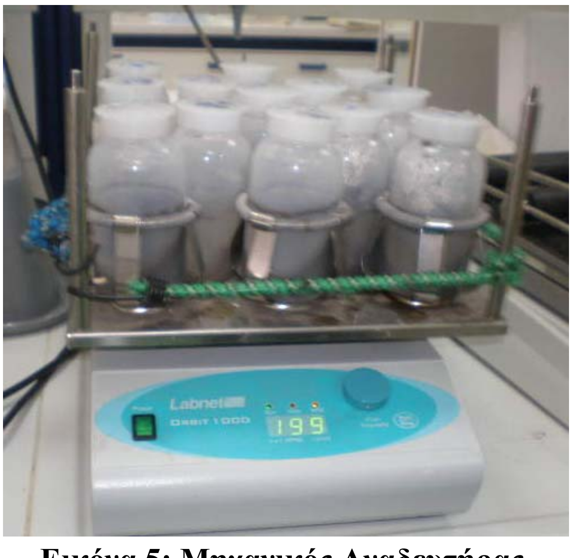
Όλες οι μετρήσεις της αγωγιμότητας έγιναν με φορητό αγωγιμόμετρο της εταιρείας Orion, μοντέλο 105.

Εικόνα 4: Φορητό Αγωγιμόμετρο Orion, μοντέλο 105.

Αναδευτήρες

α) Μηχανικός αναδευτήρας

Τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος πραγματοποιήθηκαν σε αναδευτήρα Shaker Orbit 1000 της εταιρείας Labnet.



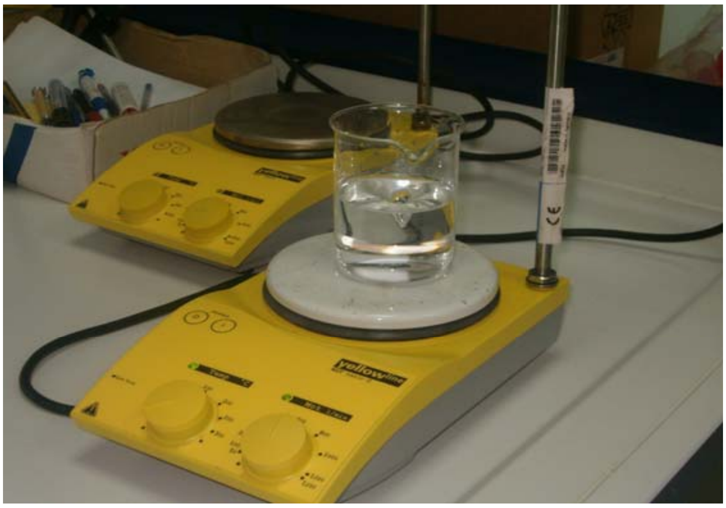
Εικόνα 5: Μηχανικός Αναδευτήρας.

Επίσης, στα πειράματα που ήταν αναγκαία η δημιουργία κατάλληλων συνθηκών προς επώαση και ταυτόχρονα ανάδευση (Πείραμα 7 ημερών, Βραχυπρόθεσμης Δυνητικής Ικανότητας Ανοργανοποίησης) χρησιμοποιήθηκε μηχανικός αναδευτήρας εντός επωαστικού κλίβανου.

Εικόνα 6: Μηχανικός αναδευτήρας, εντός του επωαστικού κλιβάνου.

β) Μαγνητικοί αναδευτήρες

Μαγνητικοί αναδευτήρες χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή διαλυμάτων (π.χ. δημιουργία συνθετικού νερού).



Εικόνα 7: Μαγνητικός αναδευτήρας.

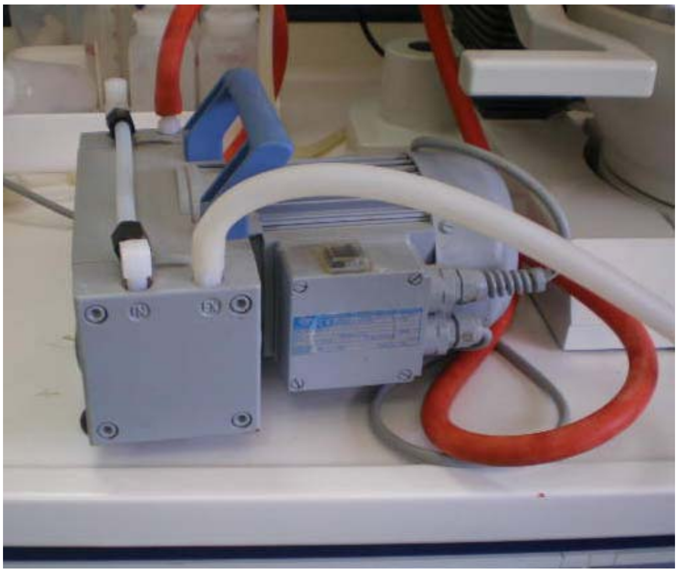
Ζυγαριά

Για τη μέτρηση όλων των απαραίτητων ποσοτήτων των αντιδραστηρίων για την παρασκευή των διαλυμάτων χρησιμοποιήθηκε ψηφιακή ζυγαριά ακριβείας τεσσάρων δεκαδικών ψηφίων, τύπου ABJ 220-4M, της εταιρείας Kern.

Εικόνα 8: Ψηφιακή ζυγαριά ακριβείας.

Αντλία διήθησης

Η διήθηση των δειγμάτων όποτε αυτό ήταν απαραίτητο έγινε με αντλία τύπου M22C της Γερμανικής εταιρείας ABM, Marktredwitz.



Εικόνα 9: Αντλία διήθησης.

Αερόμετρο

Το αερόμετρο που χρησιμοποιήθηκε είναι της εταιρείας L W

Εικόνα 10: Αερόμετρο.

Φασματοφωτόμετρο

Το φασματοφωτόμετρο που χρησιμοποιήθηκε είναι τύπου DR/2010 της εταιρείας Hach και είναι απλής δέσμης. Μία δέσμη από την πηγή εισέρχεται στο μονοχρωμάτορα, οποίος είναι πρίσμα ή φράγμα, όπου και διαχωρίζεται. Η ακτινοβολία περνά κατόπιν από την κυψελίδα και εισέρχεται στον ανιχνευτή.

Εικόνα 11: Φασματοφωτόμετρο.

Συσκευή χώνευσης για τον προσδιορισμό του Ολικού Kjeldahl Αζώτου (TKN)

Για την χώνευση των στερεών και υγρών δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε η συσκευή Hach-Digesdahl Digestion Apparatus.

Εικόνα 12: Συσκευή μέτρησης TKN.

Αυτόματος αναλυτής ολικού οργανικού άνθρακα

Το μηχάνημα που χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση του διαλυμένου οργανικού άνθρακα είναι τύπου Total Organic Analyzer – 5050A της εταιρείας Shimadzu.

Εικόνα 13: Αυτόματος αναλυτής ολικού οργανικού άνθρακα.

UV Φασματοφωτόμετρο

Το φασματοφωτόμετρο που χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση του φάσματος απορρόφησης των δειγμάτων στο εύρος 200-300 nm είναι τύπου UV mini 1240 της εταιρείας Shimadzu, το οποίο και είναι συνδεδεμένο με ηλεκτρονικό υπολογιστή για την απόκτηση των αποτελεσμάτων σε ηλεκτρονική μορφή.

Εικόνα 14: Φασματοφωτόμετρο UV.

ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Πειραματικά αποτελέσματα υπολογισμού ξηρής πυκνότητας

Volume beaker (mL)	m (beaker) (gr)	m (beaker+dry soil) (gr)	Ξηρή πυκνότητα (kg/m^3)
50	44.5	100.3	1116
50	49.5	106.2	1134

Πειραματικά αποτελέσματα – Υπολογισμός κοκκομετρίας

40 '' (Ιλύ & Άργιλο)	2 h (Άργιλος)	ΑΜΜΟΣ	ΑΡΓΙΛΟΣ	ΙΛΥΣ
ένδειξη	ένδειξη	%	%	%
31	18	49	25	26

Πίνακας Υπολογισμού Αμμωνιακού αζώτου – πείραμα ικανότητας ανοργανοποίησης

	NH3-N	curve	1.8027		M.O.	St. Dev
	ABS	DIL FAC	C,mg/L	mg/Kg	mg/Kg	
N1A	0.244	2	0.880	4.399	4.651	0.356916
N1B	0.272	2	0.981	4.903		

N7A	0.54	4	3.894	19.469	19.866	0.560869
N7B	0.562	4	4.052	20.262		
sb	0					

Πίνακας Υπολογισμού Νιτρικού αζώτου - πείραμα ικανότητας ανοργανοποίησης

	NO3-N	curve	63.262		M.O.	St. Dev
	ABS	DIL FAC	C,mg/L	mg/Kg	mg/Kg	
N1A	0.059	2.5	2.372	11.862	17.792	8.387435
N1B	0.074	2.5	4.745	23.723		
N7A	0.061	2.5	2.689	13.443	17.002	5.032461
N7B	0.07	2.5	4.112	20.560		
sb	0.044					

Πίνακας Υπολογισμού TKN ιζήματος - πείραμα ικανότητας ανοργανοποίησης

	TKN					Final	
	ABS	C_hach	mL Digested	mL analysis	C,mg/L	C,mg/L	mg/Kg
N1A	0.237	27	20	10	29.787	11.170	55.851
N1B	0.29	32	20	10	35.473	13.302	66.512
N7A	0.122	15	20	5	17.450	13.087	65.437
N7B	0.166	15	20	5	22.170	16.628	83.138
sb	0.013						

Πίνακας υπολογισμού διαλυτού οργανικού αζώτου (TKN-NH_3-N)

	DON (mg/L)	M.O. (mg/L)	St. Dev.
N1A	10.290	11.306	1.43630273
N1B	12.322		
N7A	9.194	10.884	2.391153988
N7B	12.575		

Πίνακας αποτελεσμάτων διαλυτού οργανικού άνθρακα

	DOC					Final		M.O.	St. Dev
	Curve number	Mean	std	cv, %		C,mg/L	mg/Kg	mg/L	
N1A	7	2.878	0.157	6.15	DIL FAC	28.78	143.900	27.535	1.760696
N1B	7	2.629	0.067	2.91	10	26.29	131.450		
N7A	7	2.746	0.16	6.62	10	27.46	137.300	28.175	1.011163
N7B	7	2.889	0.087	3.39	10	28.89	144.450		

Συνολικός Πίνακας

		Εκχύλισμα πειράματος 1 ώρας	Εκχύλισμα πειράματος 1 εβδομάδας
NH3-N	ave	4.651	19.866
	std	0.357	0.561
NO3-N	ave	17.792	17.002
	std	8.387	5.032
DON	ave	11.306	10.884
	std	1.436	2.391
DOC	ave	27.535	28.175
	std	1.761	1.011

Code	Dilution factor	280/210	SUVA, DOC, 280, L/(mg*cm)	SUVA, DON, 280, L/(mg*cm)	DOC, mg/L	DON, mg/L	NH_3-N, mg/L	NO_3-N, mg/L	DIN
N1A	1	0.162	1.968	5.505	28.78	10.290	0.880	2.372	3.252
N1B	1	0.160	2.154	4.595	26.29	12.322	0.981	4.745	5.725
N7A	1	0.207	3.773	11.271	27.46	9.194	3.894	2.689	6.582
N7B	1	0.210	4.020	9.236	28.89	12.575	4.052	4.112	8.164

Πίνακας υπολογισμού PMN

	280/210	SUVA, DOC, 280, L/(mg*cm)	SUVA, DON, 280, L/(mg*cm)	DOC, mg/L	DON, mg/L	NH3-N, mg/L	NO3-N, mg/L	DIN	DOC/DON	PMN (DIN7-DIN1) mg/L	PMN (NH3-N7-NH3-N1) mg/L
N1	0.161	2.061	5.050	27.54	11.31	0.93	3.56	4.49	2.44	2.88	3.04
N7	0.208	3.897	10.253	28.18	10.88	3.97	3.40	7.37	2.59		

Πίνακας υπολογισμών προσρόφησης φωσφορικών

	abs				C	q
mg/L		Total Volume added, μL	Dil Factor		mg/L	mg/Kg
0.1	0.042	140.000	1.001	0.055	0.055	0.905
0.1	0.073	200.000	1.002	0.113		
0.1	0.050	180.000	1.002	0.070	0.070	0.603
0.3	0.054	180.000	1.002	0.077	0.077	4.452
0.3	0.037	0.000	1.000	0.045	0.045	5.095
0.3	0.043	180.000	1.002	0.057	0.057	4.867
0.6	0.030	200.000	1.002	0.032	0.032	11.358
0.6	0.035	200.000	1.002	0.042	0.042	11.169
0.6	0.025	160.000	1.002	0.023	0.023	11.547
0.8	0.035	180.000	1.002	0.042	0.042	15.169
0.8	0.036	80.000	1.001	0.043	0.043	15.132
0.8	0.040	120.000	1.001	0.051	0.051	14.981
1	0.028	200.000	1.002	0.028	0.028	19.434
1	0.040	200.000	1.002	0.051	0.051	18.980
1	0.037	200.000	1.002	0.045	0.045	19.094
3	0.064	240.000	1.002	0.096	0.096	58.073
3	0.075	220.000	1.002	0.117	0.117	57.658
3	0.068	160.000	1.002	0.104	0.104	57.924
5	0.194	240.000	1.002	0.342	0.342	93.162
5	0.174	240.000	1.002	0.304	0.304	93.917
5	0.186	240.000	1.002	0.327	0.327	93.464

Συγκεντρωτικός πίνακας προσρόφησης φωσφορικών

	Ce		Ce		q	
	Mean	std	Mean	std	Mean	std
	mg/L	mg/L	μg/L	μg/L	mg/Kg	
0.1	0.062	0.011	62.290	10.695	0.754	0.214
0.3	0.060	0.016	59.756	16.313	4.805	0.326
0.6	0.032	0.009	32.098	9.446	11.358	0.189
0.8	0.045	0.005	45.285	4.986	15.094	0.100
1	0.042	0.012	41.542	11.792	19.169	0.236
3	0.106	0.011	105.750	10.513	57.885	0.210
5	0.324	0.019	324.282	19.016	93.514	0.380
SB	0.061		61.000			

Υπολογισμοί υπόγειου νερού

Date	h1	h2	dh	dh/dL	q	dt	q*dt
	A1.4	A2.4					m3/m
	m	m	m		m3/daym	days	m3/m
6/11/2006			0.96	2.82E-01	2.16E-01	46.0	9.92E+00
14/1/2007	4.35	4.31	0.04	1.32E-02	1.01E-02	47.0	4.75E-01
5/2/2007	4.33	4.23	0.11	3.09E-02	2.36E-02	28.0	6.60E-01
10/3/2007	4.30	4.17	0.14	3.97E-02	3.03E-02	31.0	9.40E-01
18/4/2007	4.28	3.59	0.70	2.04E-01	1.56E-01	30.0	4.68E+00
28/5/2007	4.27	3.72	0.56	1.63E-01	1.25E-01	31.0	3.86E+00
27/6/2007	4.57	4.23	0.35	1.01E-01	7.75E-02	30.0	2.33E+00
26/7/2007	4.45	4.16	0.30	8.68E-02	6.63E-02	31.0	2.05E+00
23/8/2007	3.88	3.91	-0.02	-7.35E-03	-5.62E-03	31.0	-1.74E-01
26/9/2007	3.96	3.95	0.02	4.41E-03	3.37E-03	30.0	1.01E-01
24/10/2007	4.12	3.99	0.14	3.97E-02	3.03E-02	46.0	1.40E+00
5/12/2007	4.18	3.56	0.63	1.84E-01	1.40E-01	46.0	6.46E+00
16/1/2008	4.22	3.79	0.44	1.28E-01	9.77E-02	40.0	3.91E+00
28/2/2008	4.19	4.05	0.15	4.26E-02	3.26E-02	30.0	9.77E-01
9/4/2008	4.44	4.27	0.18	5.15E-02	3.93E-02	51.0	2.00E+00
18/6/2008	4.45	4.24	0.21	6.03E-02	4.61E-02	46.0	2.12E+00
18/7/2008	4.58	4.22	0.37	1.07E-01	8.20E-02	46.0	3.77E+00

Date	h1	h2	dh	dh/dL	q	dt	q*dt
	A7.4	A6.4					m3/m
	m	m	m		m3/daym	days	m3/m
6/11/2006	5.61	5.69	-0.08	-7.27E-02	-5.55E-02	46.0	-2.56E+00
14/1/2007	4.46	4.50	-0.04	-3.64E-02	-2.78E-02	47.0	-1.31E+00
5/2/2007	4.45	4.49	-0.04	-3.64E-02	-2.78E-02	28.0	-7.78E-01
10/3/2007	4.48	4.53	-0.05	-4.55E-02	-3.47E-02	31.0	-1.08E+00
18/4/2007	4.44	4.45	-0.01	-9.09E-03	-6.94E-03	30.0	-2.08E-01
28/5/2007	4.41	4.46	-0.05	-4.55E-02	-3.47E-02	31.0	-1.08E+00
27/6/2007	4.16	4.18	-0.02	-2.27E-02	-1.74E-02	30.0	-5.21E-01
26/7/2007	4.04	3.99	0.05	4.55E-02	3.47E-02	31.0	1.08E+00
23/8/2007	3.61	3.55	0.06	5.45E-02	4.17E-02	31.0	1.29E+00
26/9/2007	3.25	3.55	-0.30	-2.73E-01	-2.08E-01	30.0	-6.25E+00
24/10/2007	3.65	3.66	-0.01	-9.09E-03	-6.94E-03	46.0	-3.19E-01
5/12/2007	3.96	3.51	0.45	4.09E-01	3.12E-01	46.0	1.44E+01
16/1/2008	4.18	3.90	0.28	2.55E-01	1.94E-01	40.0	7.78E+00
28/2/2008	4.20	4.10	0.10	9.09E-02	6.94E-02	30.0	2.08E+00
9/4/2008	4.31	4.11	0.20	1.82E-01	1.39E-01	51.0	7.08E+00
18/6/2008	4.03	3.94	0.09	8.18E-02	6.25E-02	46.0	2.87E+00
18/7/2008	3.69	3.89	-0.21	-1.86E-01	-1.42E-01	46.0	-6.55E+00

Date	h1	h2	dh	dh/dL	q	dt	q*dt
	A9.4	A10.4					m3/m
	m	m	m		m3/daym	days	m3/m
6/11/2006	3.87	3.69	0.181	1.47E-01	1.12E-01	46.0	5.17E+00
14/1/2007	4.43	4.09	0.34	2.76E-01	2.11E-01	47.0	9.92E+00
5/2/2007	4.36	4.06	0.30	2.44E-01	1.86E-01	28.0	5.22E+00
10/3/2007	4.38	4.15	0.23	1.87E-01	1.43E-01	31.0	4.43E+00
18/4/2007	4.40	1.99	2.41	1.96E+00	1.50E+00	30.0	4.49E+01
28/5/2007	4.40	2.47	1.93	1.57E+00	1.20E+00	31.0	3.72E+01
27/6/2007	4.03	4.08	-0.05	-4.07E-02	-3.10E-02	30.0	-9.31E-01
26/7/2007	2.95	4.03	-1.08	-8.78E-01	-6.71E-01	31.0	-2.08E+01
23/8/2007	4.00	2.70	1.30	1.06E+00	8.07E-01	31.0	2.50E+01
26/9/2007	3.40	3.22	0.18	1.46E-01	1.12E-01	30.0	3.35E+00
24/10/2007	2.99	3.37	-0.38	-3.09E-01	-2.36E-01	46.0	-1.09E+01
5/12/2007	4.00	3.54	0.46	3.74E-01	2.86E-01	46.0	1.31E+01
16/1/2008	4.16	3.68	0.48	3.90E-01	2.98E-01	40.0	1.19E+01
28/2/2008	4.19	4.20	-0.01	-8.13E-03	-6.21E-03	30.0	-1.86E-01
9/4/2008	4.23	2.12	2.11	1.72E+00	1.31E+00	51.0	6.68E+01
18/6/2008	4.11	4.10	0.01	8.13E-03	6.21E-03	46.0	2.86E-01
18/7/2008	3.95	4.05	-0.10	-8.13E-02	-6.21E-02	46.0	-2.86E+00

Πίνακες υπολογισμών ποσοτήτων και ποσοστών απομάκρυνσης ρύπων στο υπόγειο νερό

A1-A2 (NO3-N)				
Total (Kg) = Total*60m/1000		14.02	15.77	1.75
Ποσοστό μείωσης	88.88			

A1-A2 (NO2-N)				
Total (Kg) = Total*60m/1000		0.34	0.39	0.04
Ποσοστό μείωσης	88.61			

A1-A2 (NH3-N)				
Total (Kg) = Total*60m/1000		0.24	1.22	0.98
Ποσοστό μείωσης	19.60			

A1-A2 (COD)				
Total (Kg) = Total*60m/1000		-78.53	65.66	144.19
Ποσοστό μείωσης	-119.59			

A1-A2 (PO4-P)				
Total (Kg) = Total*60m/1000		-0.10	0.22	0.32
Ποσοστό μείωσης	-45.58			

A1-A2 (T. Phenols)				
Total (Kg) = Total*60m/1000		1.31	5.67	4.36
Ποσοστό μείωσης	23.11			

A1-A2 (DOC)				
Total (Kg) = Total*60m/1000		1.21	26.63	25.42
Ποσοστό μείωσης	4.53			

A1-A2 (DON)				
Total (Kg) = Total*60m/1000		-0.16	3.54	3.70
Ποσοστό μείωσης	-4.50			

A7-A6 (NO3-N)				
Total (Kg) = Total*60m/1000		0.00	0.31	0.31
Ποσοστό μείωσης	0.00			

A7-A6 (NO2-N)				
Total (Kg) = Total*60m/1000		0.00	0.00	0.01
Ποσοστό μείωσης	-59.12			

A7-A6 (NH3-N)				
Total (Kg) = Total*60m/1000		0.12	0.21	0.09
Ποσοστό μείωσης	55.92			

A7-A6 (COD)				
Total (Kg) = Total*60m/1000		-6.90	-21.95	-15.05
Ποσοστό μείωσης	31.43			

A7-A6 (PO4-P)				
Total (Kg) = Total*60m/1000		0.02	0.03	0.00
Ποσοστό μείωσης	92.13			

A7-A6 (T. Phenols)				
Total (Kg) = Total*60m/1000		-1.84	1.90	3.74
Ποσοστό μείωσης	-96.97			

A7-A6 (DOC)				
Total (Kg) = Total*60m/1000		0.77	-4.70	-5.47
Ποσοστό μείωσης	-16.50			

A7-A6 (DON)				
Total (Kg) = Total*60m/1000		2.40	5.40	3.00
Ποσοστό μείωσης	44.50			

A9-A10 (NO3-N)				
Total (Kg) = Total*60m/1000		0.00	3.11	3.11
Ποσοστό μείωσης	0.00			

A9-A10 (NO2-N)				
Total (Kg) = Total*60m/1000		1.02	1.21	0.19
Ποσοστό μείωσης	83.94			

A9-A10 (NH3-N)				
Total (Kg) = Total*60m/1000		5.73	7.72	1.99
Ποσοστό μείωσης	74.19			

A9-A10 (COD)				
Total (Kg) = Total*60m/1000		-2.93	77.00	79.92
Ποσοστό μείωσης	-3.80			

A9-A10 (PO4-P)				
Total (Kg) = Total*60m/1000		0.09	0.64	0.55
Ποσοστό μείωσης	14.55			

A9-A10 (T. Phenols)				
Total (Kg) = Total*60m/1000		8.38	20.61	12.23
Ποσοστό μείωσης	40.64			

A9-A210 (DOC)				
Total (Kg) = Total*60m/1000		80.01	261.66	181.65
Ποσοστό μείωσης	30.58			

A9-A10 (DON)				
Total (Kg) = Total*60m/1000		6.74	24.40	17.66
Ποσοστό μείωσης	27.61			

Συνολικές Μετρήσεις TKN

	Άνω					Μέση					Κάτω					Ρίζες		M.O. τμημ άτων
Ημερομηνία	Θ1	Θ2	Θ3	M.O. Θ1-Θ3	St Dev	Θ1	Θ2	Θ3	M.O. Θ1-Θ3	St Dev	Θ1	Θ2	Θ3	M.O. Θ1-Θ3	St Dev			
8/3/2007	33.517	26.208	31.162	30.3	3.7	16.180	18.250	12.810	15.7	2.7	7.004	10.780	6.273	8.0	2.4	11.613		18.0
18/4/2007	39.160	26.249	25.274	30.2	7.8	17.073	12.120	12.688	14.0	2.7	16.911	9.846	6.638	11.1	5.3			18.4
30/5/2007	32.542	19.184	22.270	24.7	7.0	22.757	9.278	11.470	14.5	7.2	12.485	3.959	3.756	6.7	5.0	16.545		15.3
27/6/2007	28.198	22.514	23.521	24.7	3.0	18.616	9.400	11.064	13.0	4.9	10.728	7.549	4.405	7.6	3.2	18.532		15.1
26/7/2007	22.233	19.860	19.618	20.6	1.4	14.228	8.958	9.521	10.9	2.9	5.297	5.739	5.015	5.4	0.4	16.199		12.3
30/8/2007	15.998	21.417	15.449	17.6	3.3		13.987	12.779	13.4	0.9	4.852	13.297	4.811	7.7	4.9	10.004		12.9
18/9/2007	20.302	23.239	23.400	22.3	1.7	18.130	18.009	15.958	17.4	1.2	11.532	11.935	7.871	10.4	2.2	13.182		16.7
29/10/2007	25.854	26.860	16.279	23.0	5.8	13.946	19.136	13.101	15.4	3.3	9.641	20.544	6.343	12.2	7.4	16.722		16.9
27/11/2007	22.354	17.768	14.871	18.3	3.8	15.032	17.406	11.572	14.7	2.9	11.452	12.578	6.946	10.3	3.0	17.527		14.4
31/12/2007	15.756	15.676	10.969	14.1	2.7	10.526	13.021	7.509	10.4	2.8	9.078	13.021	6.343	9.5	3.4	15.314		11.3
15/2/2008	11.452	7.067	7.147	8.6	2.5	7.509	4.412	4.894	5.6	1.7	6.503	4.613	4.774	5.3	1.0	15.756		6.5
28/3/2008	22.998	31.325	10.004	21.4	10.7	11.653	19.095	5.377	12.0	6.9	7.871	13.343	5.015	8.7	4.2	14.429		14.1
2/5/2008	24.205	27.986	32.291	28.2	4.0	17.647	12.498	11.854	14.0	3.2	7.348	8.072	8.032	7.8	0.4	17.848		16.7
11/6/2008	25.774	19.578	17.848	21.1	4.2	19.337	10.929	8.394	12.9	5.7	10.084	8.756	4.338	7.7	3.0	12.699		13.9
1/8/2008	11.141	13.290	12.693	12.4	1.1	11.937	6.606	6.208	8.3	3.2	9.192	4.219	2.190	5.2	3.6	9.908		8.6

Τελικές Μετρήσεις TKN

	Άνω					Μέση					Κάτω					Ρίζες		Μ.Ο. τμημάτων
Ημερομηνία	Θ1	Θ2	Θ3	Μ.Ο. Θ1-Θ3	St Dev	Θ1	Θ2	Θ3	Μ.Ο. Θ1-Θ3	St Dev	Θ1	Θ2	Θ3	Μ.Ο. Θ1-Θ3	St Dev			
8/3/2007	33.517		31.162	32.3	1.7	16.180	18.250		17.2	1.5	7.004		6.273	6.6	0.5	11.613		18.7
18/4/2007		26.249	25.274	25.8	0.7		12.120	12.688	12.4	0.4		9.846	6.638	8.2	2.3			15.5
30/5/2007	32.542	19.184	22.270	24.7	7.0		9.278	11.470	10.4	1.6		3.959	3.756	3.9	0.1	16.545		13.0
27/6/2007	28.198	22.514	23.521	24.7	3.0		9.400	11.064	10.2	1.2	10.728	7.549	4.405	7.6	3.2	18.532		14.2
26/7/2007	22.233	19.860	19.618	20.6	1.4		8.958	9.521	9.2	0.4	5.297	5.739	5.015	5.4	0.4	16.199		11.7
30/8/2007	15.998		15.449	15.7	0.4		13.987	12.779	13.4	0.9	4.852		4.811	4.8	0.0	10.004		11.3
18/9/2007	20.302	23.239	23.400	22.3	1.7	18.130	18.009	15.958	17.4	1.2	11.532	11.935		11.7	0.3	13.182		17.1
29/10/2007	25.854		16.279	21.1	6.8	13.946		13.101	13.5	0.6	9.641		6.343	8.0	2.3	16.722		14.2
27/11/2007		17.768	14.871	16.3	2.0	15.032	17.406		16.2	1.7	11.452	12.578		12.0	0.8	17.527		14.9
31/12/2007	15.756	15.676		15.7	0.1	10.526	13.021		11.8	1.8	9.078		6.343	7.7	1.9	15.314		11.7
15/2/2008		7.067	7.147	7.1	0.1	7.509	4.412	4.894	5.6	1.7		4.613	4.774	4.7	0.1	15.756		5.8
28/3/2008	22.998	31.325		27.2	5.9	11.653		5.377	8.5	4.4	7.871		5.015	6.4	2.0	14.429		14.0
2/5/2008	24.205	27.986	32.291	28.2	4.0		12.498	11.854	12.2	0.5	7.348	8.072	8.032	7.8	0.4	17.848		16.1
11/6/2008		19.578	17.848	18.7	1.2		10.929	8.394	9.7	1.8	10.084	8.756		9.4	0.9	12.699		12.6
1/8/2008	11.141	13.290	12.693	12.4	1.1		6.606	6.208	6.4	0.3	9.192	4.219	2.190	5.2	3.6	9.908		8.0

Συνολικές Μετρήσεις PO4-P

	Άνω					Μέση					Κάτω					Ρίζες		Μ.Ο. τμημάτων
Ημερομηνία	Θ1	Θ2	Θ3	Μ.Ο. Θ1-Θ3	St Dev	Θ1	Θ2	Θ3	Μ.Ο. Θ1-Θ3	St Dev	Θ1	Θ2	Θ3	Μ.Ο. Θ1-Θ3	St Dev			
8/3/2007	2.655	2.520	3.667	2.9	0.6	2.166	1.208	1.104	1.5	0.6	0.607	0.777	0.456	0.6	0.2	1.754		1.684
18/4/2007	3.630	3.336	2.557	3.2	0.6	2.481	3.673	3.058	3.1	0.6	2.191	0.953	0.649	1.3	0.8			2.503
30/5/2007	4.535	1.456	3.881	3.3	1.6	3.232	0.709	3.070	2.3	1.4	0.745	0.230	2.877	1.3	1.4	1.034		2.304
27/6/2007	4.022	1.842	3.421	3.1	1.1	1.351	2.803	0.999	1.7	1.0	2.479	2.493	2.226	2.4	0.1	2.626		2.404
26/7/2007	3.563	3.272	3.066	3.3	0.2	2.776	2.483	2.644	2.6	0.1	2.234	2.268	2.121	2.2	0.1	2.041		2.714
30/8/2007	3.110	3.648	3.492	3.4	0.3		2.811	2.973	2.9	0.1	2.268	2.650	2.219	2.4	0.2	2.714		2.896
18/9/2007	5.055	3.675	4.162	4.3	0.7	2.995	2.756	2.763	2.8	0.1	2.512	2.488	2.291	2.4	0.1	2.750		3.188
29/10/2007	3.699	3.533	3.473	3.6	0.1	3.888	3.146	2.899	3.3	0.5	2.199	3.282	2.243	2.6	0.6	3.412		3.151
27/11/2007	3.280	3.384	3.130	3.3	0.1	2.718	3.136	2.786	2.9	0.2	2.317	2.861	2.297	2.5	0.3	2.377		2.879
31/12/2007	3.115	2.959	2.348	2.8	0.4	2.401	3.169	1.975	2.5	0.6	2.274	2.602	2.140	2.3	0.2	2.297		2.554
15/2/2008	2.851	2.351	2.362	2.5	0.3	2.501	2.213	1.975	2.2	0.3	2.363	2.195	2.140	2.2	0.1	2.425		2.328
28/3/2008	3.561	5.625	2.277	3.8	1.7	2.750	4.807	2.132	3.2	1.4	2.177	3.404	2.078	2.6	0.7	2.413		3.201
2/5/2008	1.559	4.266	6.190	4.0	2.3	4.141	4.048	4.224	4.1	0.1	2.141	4.267	3.756	3.4	1.1	2.781		3.843
11/6/2008	4.491	4.204	3.469	4.1	0.5	3.781	2.997	2.892	3.2	0.5	2.954	3.245	2.391	2.9	0.4	2.944		3.381
1/8/2008	1.633	1.457	1.491	1.5	0.1	1.417	1.287	1.273	1.3	0.1	1.318	1.156	1.009	1.2	0.2	0.228		1.338

Τελικές Μετρήσεις PO4-P

	Άνω					Μέση					Κάτω					Ρίζες		Μ.Ο. τμημ άτων
Ημερομηνία	Θ1	Θ2	Θ3	Μ.Ο. Θ1-Θ3	St Dev	Θ1	Θ2	Θ3	Μ.Ο. Θ1-Θ3	St Dev	Θ1	Θ2	Θ3	Μ.Ο. Θ1-Θ3	St Dev			
8/3/2007	2.655	2.520	3.667	2.9	0.6	2.166	1.208	1.104	1.5	0.6	0.607	0.777	0.456	0.6	0.2	1.754		1.684
18/4/2007	3.630	3.336	2.557	3.2	0.6	2.481	3.673	3.058	3.1	0.6		0.953	0.649	0.8	0.2			2.349
30/5/2007	4.535		3.881	4.2	0.5	3.232		3.070	3.2	0.1	0.745	0.230		0.5	0.4	1.034		2.616
27/6/2007	4.022		3.421	3.7	0.4		2.803		2.8		2.479	2.493	2.226	2.4	0.1	2.626		2.975
26/7/2007	3.563	3.272	3.066	3.3	0.2	2.776	2.483	2.644	2.6	0.1	2.234	2.268	2.121	2.2	0.1	2.041		2.714
30/8/2007	3.110	3.648	3.492	3.4	0.3		2.811	2.973	2.9	0.1	2.268	2.650	2.219	2.4	0.2	2.714		2.896
18/9/2007		3.675	4.162	3.9	0.3	2.995	2.756	2.763	2.8	0.1	2.512	2.488	2.291	2.4	0.1	2.750		3.062
29/10/2007	3.699	3.533	3.473	3.6	0.1	3.888	3.146	2.899	3.3	0.5	2.199	3.282	2.243	2.6	0.6	3.412		3.151
27/11/2007	3.280	3.384	3.130	3.3	0.1	2.718	3.136	2.786	2.9	0.2	2.317	2.861	2.297	2.5	0.3	2.377		2.879
31/12/2007	3.115	2.959	2.348	2.8	0.4	2.401	3.169	1.975	2.5	0.6	2.274	2.602	2.140	2.3	0.2	2.297		2.554
15/2/2008	2.851	2.351	2.362	2.5	0.3	2.501	2.213	1.975	2.2	0.3	2.363	2.195	2.140	2.2	0.1	2.425		2.328
28/3/2008	3.561	5.625		4.6	1.5	2.750	4.807	2.132	3.2	1.4	2.177	3.404	2.078	2.6	0.7	2.413		3.459
2/5/2008		4.266	6.190	5.2	1.4	4.141	4.048	4.224	4.1	0.1	2.141	4.267	3.756	3.4	1.1	2.781		4.251
11/6/2008	4.491	4.204	3.469	4.1	0.5	3.781	2.997	2.892	3.2	0.5	2.954	3.245	2.391	2.9	0.4	2.944		3.381
1/8/2008	1.633	1.457	1.491	1.5	0.1	1.417	1.287	1.273	1.3	0.1	1.318	1.156	1.009	1.2	0.2	0.228		1.338

Λόγοι N/P

Ημερομηνία	Άνω	Μέση	Κάτω	Ρίζες
8/3/2007	24.294	25.542	23.968	14.659
18/4/2007	17.971	8.944	22.784	
30/5/2007	12.979	7.289	17.521	35.435
27/6/2007	14.722	8.082	6.977	15.629
26/7/2007	13.800	7.766	5.366	17.577
30/8/2007	10.190	10.248	4.498	8.161
18/9/2007	12.610	13.549	10.690	10.614
29/10/2007	13.073	9.045	6.873	10.852
27/11/2007	11.070	12.471	10.679	16.327
31/12/2007	12.397	10.366	7.299	14.764
15/2/2008	6.241	5.567	4.654	14.389
28/3/2008	13.095	5.838	5.588	13.242
2/5/2008	11.927	6.516	5.109	14.211
11/6/2008	10.220	6.637	7.284	9.553
1/8/2008	17.940	10.702	9.919	96.293

Πίνακας υπολογισμού ξηρής βιομάζας (Ημερομηνία δειγματοληψίας 2/5/08)

				Mean	std
	gr	gr/καλάμι		g DW	g DW
Θ1 ανω	94.4	23.6	Υπέργεια ξηρή βιομάζα	46.7	29.0
Θ1μεση	124.4	31.1	Υπόγεια ξηρή βιομάζα	426.8	
Θ1 κατω	155.9	38.975			
Σύνολο	374.7	93.675			
Θ2 ανω	83.7	8.37	Μέσος όρος Άνω	31.1	3.1
Θ2μεση	58	5.8	Μέσος όρος Μέσου	28.6	11.5
Θ2 κατω	62.5	6.25	Μέσος όρος Κάτω	33.4	16.4
Σύνολο	204.2	20.42			
Θ3 ανω	102.1	10.21			
Θ3μεση	74.9	7.49			
Θ3 κατω	82.4	8.24	Πυκνότητα καλαμιών	15	reeds/m2
Σύνολο	259.4	25.94			
ρίζες	426.8	106.7			
			Υπέργεια ξηρή βιομάζα	700.175	g DW / m2
			Υπόγεια ξηρή βιομάζα	6402	g DW / m2

Πίνακες υπολογισμού περιεχόμενου TKN και P στα καλάμια (2/5/08)

	g TKN				
	Θ1	Θ2	Θ3	Μέσος όρος	St dev
Upper	0.571	0.234	0.330	0.378	0.174
Middle	0.549	0.072	0.089	0.237	0.270
Low	0.286	0.050	0.066	0.134	0.132
sum	1.406	0.357	0.485	0.749	
gTKN/Kg reed	15.014	17.492	18.684	16.055	
roots	1.904				
gTKN/Kg root	17.84835			above ground	
				11242	mgTKN/m2
				11.24	gTKN/m2

	g P				
	Θ1	Θ2	Θ3	Μέσος όρος	St dev
Upper	0.000	0.036	0.063	0.033	0.032
Middle	0.129	0.023	0.032	0.061	0.059
Low	0.000	0.027	0.031	0.019	0.017
sum	0.129	0.086	0.126	0.113	
gP/Kg reed	1.375	4.204	4.849	2.431	
roots	0.297				
gP/Kg root	2.780967			above ground	
				1702	mgP/m2
				1.70	gP/m2

Πίνακας υπολογισμού ξηρής βιομάζας (Ημερομηνία δειγματοληψίας 11/6/08)

				Mean	std
	gr	gr/καλάμι		g DW	g DW
Θ1 ανω	121	30.25	Υπέργεια ξηρή βιομάζα	71.4	42.7
Θ1μεση	145	36.25	Υπόγεια ξηρή βιομάζα	586.3	
Θ1 κατω	215.1	53.775			
Σύνολο	481.1	120.275			
Θ2 ανω	155.8	15.58	Μέσος όρος Άνω	20.8	8.2
Θ2μεση	122.3	12.23	Μέσος όρος Μέσου	22.8	12.3
Θ2 κατω	133.4	13.34	Μέσος όρος Κάτω	27.8	22.5
Σύνολο	411.5	41.15			
Θ3 ανω	164.8	16.48			
Θ3μεση	199.2	19.92			
Θ3 κατω	164.3	16.43	Πυκνότητα καλαμιών	15	reeds/m2
Σύνολο	528.3	52.83			
ρίζες	586.3	146.575			
			Υπέργεια ξηρή βιομάζα	1071.275	g DW / m2
			Υπόγεια ξηρή βιομάζα	4397.25	g DW / m2

Πίνακες υπολογισμού περιεχόμενου TKN και P στα καλάμια (11/6/08)

	g TKN				
	Θ1	Θ2	Θ3	Μέσος όρος	St dev
Upper	0.780	0.305	0.294	0.460	0.277
Middle	0.701	0.134	0.167	0.334	0.318
Low	0.542	0.117	0.071	0.243	0.260
sum	2.023	0.555	0.533	1.037	
gTKN/Kg reed	16.819	13.499	10.082	14.520	
roots	1.861				
gTKN/Kg root	12.699			above ground	
				15555	mgTKN/m2
				15.56	gTKN/m2

	g P				
	Θ1	Θ2	Θ3	Μέσος όρος	St dev
Upper	0.136	0.059	0.049	0.081	0.048
Middle	0.152	0.037	0.065	0.085	0.060
Low	0.187	0.039	0.039	0.088	0.085
sum	0.475	0.134	0.153	0.254	
gP/Kg reed	3.947	3.260	2.889	3.554	
roots	0.431				
gP/Kg root	2.94358035			above ground	
				3808	mgP/m2
				3.81	gP/m2

Πίνακας υπολογισμού ξηρής βιομάζας (Ημερομηνία δειγματοληψίας 1/8/08)

				Mean	std
	gr	gr/καλάμι		g DW	g DW
Θ1 ανω	227.7	56.925	Υπέργεια ξηρή βιομάζα	85.5	102.4
Θ1μεση	215	53.75	Υπόγεια ξηρή βιομάζα	293.8	
Θ1 κατω	372.6	93.15			
Σύνολο	815.3	203.825			
Θ2 ανω	80.2	8.02	Μέσος όρος Άνω	25.4	27.4
Θ2μεση	92.8	9.28	Μέσος όρος Μέσου	23.7	26.0
Θ2 κατω	75.4	7.54	Μέσος όρος Κάτω	36.4	49.1
Σύνολο	248.4	24.84			
Θ3 ανω	112	11.2			
Θ3μεση	82	8.2			
Θ3 κατω	85.7	8.57	Πυκνότητα καλαμιών	15	reeds/m2
Σύνολο	279.7	27.97			
ρίζες	293.8	73.45			
			Υπέργεια ξηρή βιομάζα	1283.175	g DW / m2
			Υπόγεια ξηρή βιομάζα	2203.5	g DW / m2

Πίνακες υπολογισμού περιεχόμενου TKN και P στα καλάμια (1/8/08)

	g TKN				
	Θ1	Θ2	Θ3	Μέσος όρος	St dev
Upper	0.634	0.107	0.142	0.294	0.295
Middle	0.642	0.061	0.051	0.251	0.338
Low	0.856	0.032	0.019	0.302	0.480
sum	2.132	0.200	0.212	0.848	
gTKN/Kg reed	10.460	8.039	7.574	9.911	
roots	0.728				
gTKN/Kg root	9.908108			above ground	
				12718	mgTKN/m2
				12.72	gTKN/m2

	g P				
	Θ1	Θ2	Θ3	Μέσος όρος	St dev
Upper	0.093	0.012	0.017	0.040	0.046
Middle	0.076	0.012	0.010	0.033	0.038
Low	0.123	0.009	0.009	0.047	0.066
sum	0.292	0.032	0.036	0.120	
gP/Kg reed	1.432	1.302	1.280	1.403	
roots	0.017				
gP/Kg root	0.2278405			above ground	
				1800	mgP/m2
				1.80	gP/m2