

Π.Μ.Σ. Διαχείριση Θαλάσσιων και Χερσαίων  
Βιολογικών Πόρων

## ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ

**Μεταπτυχιακή Διατριβή:**

**Δυναμική Θρεπτικών και Δομή Βενδικής  
Βιοκοινότητας σε ένα Μεσογειακό ποτάμι περιοδικής  
ροής, επιβεβαρωμένο με ρύπανση.**

Επιβλέπων καθηγητής: Μωυσής Μυλωνάς  
Υπεύθυνος έρευνας: Αικατερίνη Βορεάδου  
Εξετάζων καθηγητής: Αναστάσιος Ελευθερίου

**Παπακωνσταντίνου Αναστασία  
Ηράκλειο, 2002**

## Αντί Προλόγου

Είναι μεγάλη χαρά και ικανοποίηση όταν οι κόποι δύο ετών παίρνουν επιτέλους “σάρκα και οστά”, αποκτούν δομή και υπόσταση στο τυπωμένο χαρτί. Είναι όμως ακόμη μεγαλύτερη η ευχαρίστηση όταν συνειδητοποιείς ότι η πορεία προς την ολοκλήρωση του έργου, δεν ήταν μοναχική, αλλά υπήρξαν φίλοι, σύμβουλοι και καθοδηγητές που βοήθησαν σημαντικά στην περάτωση των ονείρων. Θα ήταν, λοιπόν, παράλειψη αν οι πρώτες σελίδες της διατριβής δεν ανέφεραν τα ονόματα των ατόμων αυτών.

Πρωταρχικά θα πρέπει να ευχαριστήσω τον κ. Μ. Μυλωνά που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με τον τομέα των υδάτινων οικοσυστημάτων, γνωρίζοντάς μου παράλληλα την κ.Αικ. Βορεάδου, που υπήρξε στην συνέχεια και καθ'όλη την πορεία του Μεταπτυχιακού ο καθοδηγητής μου, αλλά και μια καλή φίλη.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Αν. Ελευθερίου, που δέχτηκε να είναι εξεταστής αυτής της διατριβής, αφιερώνοντας τον χρόνο του στην ανάγνωση και βαθμολόγησή της.

Δεν θα πρέπει όμως να παραληφθούν και οι “αφανείς” εργάτες, των οποίων η βοήθεια υπήρξε καθοριστική για να έλθει εις πέρας το έργο αυτό. Αισθάνομαι λοιπόν την υποχρέωση να ευχαριστήσω τον κ. Μ. Μανουσάκη, ο οποίος συλλέγοντας γεωλογικά και υδρολογικά δεδομένα συνέταξε τον χάρτη της λεκάνης απορροής του Αποσελέμη. Ευχαριστώ ακόμη τον κ. Ιωαν. Νικολουδάκη που ως τεχνικός του εργαστηρίου βοήθησε στην ανάλυση των δεδομένων της ασπόνδυλης πανίδας, αλλά και στη λύση των όποιων προβλημάτων προέκυπταν κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών. Για τη συμμετοχή του στις δειγματοληψίες θα πρέπει να ευχαριστήσω και τον κ. Β. Άρχο.

Στην μετατροπή της γραπτής μορφής της μεταπτυχιακής διατριβής σε ηλεκτρονική, συνέβαλλαν οι κ. Γ. Μανειώτης και Γ.Αρχων, τους οποίους ευχαριστώ θερμά.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου και την οικογένειά μου για την ηθική συμπαράσταση που μου παρείχαν όλο αυτό το διάστημα.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## Κεφάλαιο 1

### Εισαγωγή

Εισαγωγή.....	σ.1
Το πρόγραμμα STREAMES.....	σ.12

## Κεφάλαιο 2

### Υλικά και Μέθοδοι

2.1 Επιλογή περιοχής δειγματοληψίας.....	σ.16
2.2 Οι σταθμοί δειγματοληψίας.....	σ.19
2.3 Φυσικές παράμετροι	
2.3.1 Μορφολογικές και υδραυλικές μετρήσεις.....	σ.21
2.3.2 Υδραυλικές μετρήσεις κατά τον κατακόρυφο άξονα.....	σ.26
2.4 Μετρήσεις κατακράτησης θρεπτικών	
2.4.1 Ανάλυση της χωρικής διακύμανσης των θρεπτικών.....	σ.30
2.4.2 Μετρήσεις κατακράτησης θρεπτικών.....	σ.33
2.5 Βιομάζα περίφυτου.....	σ.43
2.6 Δομή κοινότητας ασπονδύλων.....	σ.45

## Κεφάλαιο 3

### Αποτελέσματα

3.1 Φυτικοχημικές παράμετροι.....	σ.48
3.1.2 Υδραυλικές μετρήσεις κατά τον κατακόρυφο άξονα.....	σ.52

3.2 Ανάλυση της χωρικής διακόμενης των θρεπτικών ουσιών.....	σ.55
3.3 Μετρήσεις κατακράτησης θρεπτικών.....	σ.65
3.4 Βιομάζα περίφυτου.....	σ.82
3.5 Δομή κοινότητας ασιπονδύλων.....	σ.83

## **Κεφάλαιο 4**

### **Συμπεράσματα - Συζήτηση**

Συμπεράσματα - Συζήτηση.....	σ.95
------------------------------	------

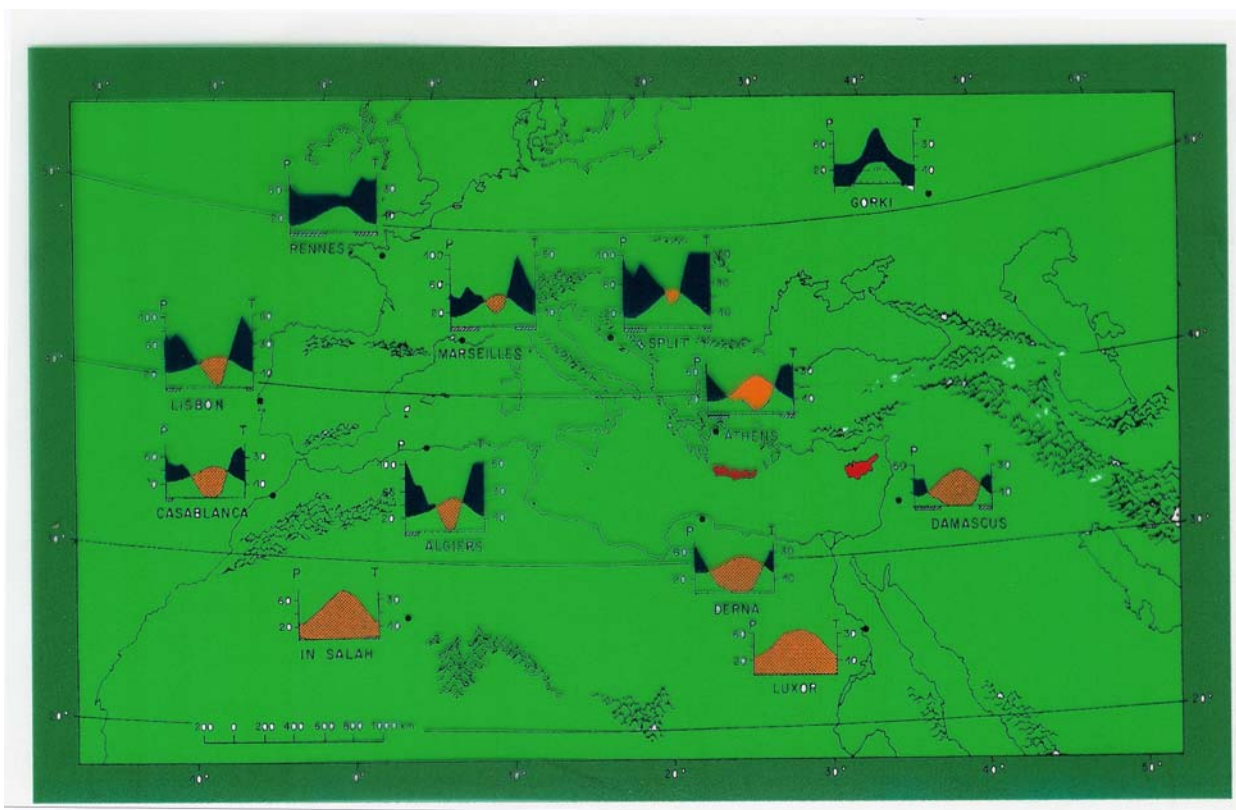
Βιβλιογραφία.....	σ. 100
-------------------	--------

Παράρτημα.....	σ.105
----------------	-------

# Κεφάλαιο 1

## Εισαγωγή

Οι χώρες της Μεσογείου, ανάμεσά τους και η Ελλάδα, εμφανίζουν το Μεσογειακού τύπου κλίμα (σχήμα 1).



Σχήμα 1: Ομβροθερμικά διαγράμματα περιοχών της Μεσογείου, αλλά και μερικών γειτονικών της περιοχών. (Gaussen 1954)

Στα ομβροθερμικά διαγράμματα των περιοχών με Μεσογειακό κλίμα, η καμπύλη της βροχοπτώσεως διασταυρώνεται με την καμπύλη της θερμοκρασίας, με τέτοιο τρόπο ώστε η άνοδος της θερμοκρασίας να συμπίπτει χρονικά με τη μείωση των βροχοπτώσεων.

Στο ίδιο σχήμα παρατηρούμε επίσης ότι, και μέσα στο Μεσογειακό χώρο, κάποιες περιοχές εμφανίζουν μικρές διαφοροποιήσεις, όσον αφορά τη μείωση της βροχόπτωσης που παρατηρείται κατά την άνοδο της θερμοκρασίας. Έτσι σε κάποιες περιοχές της δυτικής κυρίως Μεσογείου, τους θερμούς μήνες η βροχόπτωση είναι ελάχιστη, με περίοδο ξηρασίας που διαρκεί δύο περίπου μήνες, ενώ σε άλλες όπως π.χ. η ανατολική Μεσόγειος, η βροχόπτωση είναι ανύπαρκτη με την περίοδο ξηρασίας να διαρκεί 5-6 μήνες.

Η μειωμένη ή ανύπαρκτη βροχόπτωση, αλλά και η γεωλογία των πετρωμάτων (κυριαρχία των υδροπερατών ασβεστόλιθων) δεν ευνοούν την εμφάνιση μεγάλων ποταμών μόνιμης ροής. Στην περιοχή κυριαρχούν τα ποτάμια μόνιμης ροής, αλλά μικρής παροχής και τα ποτάμια περιοδικής ροής (χειμαρροί), στα οποία το νερό εμφανίζεται στην επιφάνεια κάθε Οκτώβριο, Νοέμβριο ή Δεκέμβριο μέχρι τον Απρίλιο, Μάιο ή Ιούνιο, ανάλογα με το βροχομετρικό ύψος.

Τα υδάτινα οικοσυστήματα σήμερα, υποβαθμίζονται εξ' αιτίας τεσσάρων κυρίως παραγόντων:

1. Μεταβολή της ποιότητας του νερού εξαιτίας της ρύπανσης (αστικά, γεωργικά και βιομηχανικά απόβλητα).
2. Εξάντληση των υδροτοπικών πόρων (αποξηράνσεις, αμμοληψίες, εκχερσώσεις, υπερβολική ή/και παράνομη θήρα, υλοτομία, αλιεία).
3. Απώλεια υδροτοπικών εκτάσεων (οικιστική ανάπτυξη, τουρισμός, αναψυχή, επέκταση καλλιεργειών και κτηνοτροφίας).
4. Μεταβολή του υδρολογικού καθεστώτος, με την κατασκευή φραγμάτων, αρδευτικών δικτύων, κτλ.

Στον Μεσογειακό χώρο κάποιοι από αυτούς τους παράγοντες είναι εντονότεροι όπως π.χ. η μεταβολή του υδρολογικού καθεστώτος, λόγω της έλλειψης επιφανειακού νερού, η οικιστική και η τουριστική ανάπτυξη ή η επέκταση και εντατικοποίηση των καλλιεργειών.

Εξ' αιτίας των παραγόντων αυτών στα ποτάμια της Μεσογείου ανιχνεύουμε συχνά αρκετές ποσότητες θρεπτικών ιόντων (N και P) που προέρχονται από τη γεωργική δραστηριότητα (κυρίως λιπάσματα), αλλά και από την οικιστική και τουριστική ανάπτυξη. Οι ποσότητες αυτές των θρεπτικών που εισρέουν στα μεσογειακά ποτάμια, δεν αραιώνονται λόγω της έλλειψης του επιφανειακού νερού, με αποτέλεσμα οι συγκεντρώσεις να αυξάνονται και οι επιπτώσεις τους να είναι εντονότερες.

Η επιβάρυνση των νερών με μεγάλες ποσότητες θρεπτικών προκαλεί ή εντείνει το φαινόμενο του ευτροφισμού. Ευτροφισμός εμφανίζεται συχνά σε λίμνες και σε κλειστές θάλασσες, στις όχθες των ποταμών, όπου υπάρχει αργά ροή και στους χειμάρρους όταν η παροχή τους πέφτει, λίγο πριν ξεραθούν τελείως.

Η συσσώρευση, λόγω αυξημένης ρύπανσης, πλούσιων θρεπτικών συστατικών σε ένα κλειστό υδάτινο οικοσύστημα ευνοεί τον πολλαπλασιασμό των φυκών στα επιφανειακά στρώματα του νερού. Η υπερβολική αύξηση της φυτικής βιομάζας σύντομα μεταφράζεται σε μείωση της διαφάνειας του νερού, με αποτέλεσμα οι φωτοσυνθετικές δραστηριότητες να περιορίζονται στα επιφανειακά στρώματα του νερού. Έτσι, το οξυγόνο που παράγεται εμπλουτίζει μόνο τα στρώματα αυτά. Αντίθετα, η αποσύνθεση της σημαντικής φυτικής βιομάζας προκαλεί τη γρήγορη κατανάλωση του οξυγόνου των βαθύτερων στρωμάτων. Όταν το οξυγόνο εξαντληθεί, η αποικοδόμηση συνεχίζεται σε αναερόβιες συνθήκες. Επιπλέον, αποσυντίθενται τα φωσφορικά συμπλέγματα του πυθμένα, με αποτέλεσμα η



διαλυτότητα των φωσφορικών να εμπλουτίζει ακόμη περισσότερο τα νερά και να προκαλεί νέες εκρήξεις στην αύξηση της χλωρίδας.

Η διατάραξη των φυσιολογικών συνθηκών σε διάφορες φάσεις του ευτροφισμού είναι επόμενο ότι διαταράσσει όλες τις σχέσεις στο εσωτερικό της βιοκοινωνίας, με αποτέλεσμα το υδάτινο οικοσύστημα να οδηγείται σταδιακά στη σήψη και το θάνατο.

Προκειμένου να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα των θρεπτικών είναι αναγκαίο να γνωρίζουμε την πορεία και τη συμπεριφορά τους μέσα σ'ένα ποτάμι. Στο ποτάμι, η ανακύκλωση και η μεταφορά μιας διαλυτής ουσίας, που εισρέει σ'αυτό, ακολουθεί τη "θεωρία του σπειράματος" που θα αναλύσουμε περαιτέρω. Σύμφωνα μ'αυτή ένα μόριο διαλυτής ουσίας που μπαίνει σ'ένα ποτάμι αναμιγνύεται κατ'αρχήν με το νερό. Στη συνέχεια μπορεί να κατακρατηθεί ή να εγκλωβιστεί, μόνιμα ή προσωρινά από διάφορα υλικά είτε ανόργανα είτε οργανικά είτε από διάφορους οργανισμούς (φυτικούς ή ζωικούς) κύρια μέσω της τροφής τους (Hauer & Lamberti 1996). Μπορεί ακόμα να μεταφερθεί ή να εγκλωβιστεί μέσα στο ίζημα ή να μεταφερθεί και να παραμείνει στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα (Bencala & Walters 1983, Fisher 1984, McDowell et al. 1992, McClain et al. 1994) ανάλογα με τη γεωλογική σύσταση των πετρωμάτων. Κάποια στιγμή τα μόρια που εγκλωβίστηκαν σε κάποιο σημείο ή σε έναν οργανισμό του ποταμού, μπορεί ξανά να απεγκλωβιστούν και να επανέλθουν στην κολώνα του νερού. Καθ'όλη τη διάρκεια αυτής της πορείας, ας μην ξεχνάμε ότι το μόριο της ουσίας παράλληλα, παρασύρεται (λόγω της ροής του νερού) μέσα στο ποτάμι κατευθυνόμενο προς την εκβολή του. Η κίνηση αυτή είναι κυκλική και θυμίζει σπείραμα γι'αυτό και η θεωρία αυτή ονομάζεται "θεωρία του σπειράματος" "spiralling concept" και διατυπώθηκε για πρώτη φορά στην Αμερική από τους Webster & Patten (1979) ενώ τροποποιήθηκε αργότερα από τον Newbold (1992).

Προκειμένου τα διάφορα τμήματα της πορείας αυτής του μορίου να είναι μετρήσιμα, διατυπώθηκε η μαθηματική έκφραση της θεωρίας και υιοθετήθηκαν διάφοροι δείκτες (Newbold 1981,1982). Έτσι για παράδειγμα υιοθετήθηκε το spiralling length  $S$  (μήκος του σπειράματος), που αντιπροσωπεύει την απόσταση που διανύει ένα άτομο διαλυτής ουσίας ενώ ολοκληρώνει έναν κύκλο του σπειράματος (Elwood et al 1983, Newbold 1992). Το μήκος του κύκλου διαιρέθηκε σε δύο τμήματα: το μήκος πρόσληψης  $S_w$  ή εγκλωβισμού και το μήκος επαναφοράς  $S_b$  ή απεγκλωβισμού. Το κυριότερο τμήμα είναι το μήκος πρόσληψης - uptake length,  $S_w$ , το οποίο είναι η απόσταση που διανύει ένα άτομο διαλυτής ουσίας μόλις εισέλθει στη στήλη του νερού και μέχρι να κατακρατηθεί ή να εγκλωβιστεί σε κάποιο σημείο του ποταμού και αποτελεί ένα μέτρο της ικανότητας κατακράτησης θρεπτικών από τον ποταμό (Newbold *et al.* 1981). Το δεύτερο τμήμα είναι το μήκος επαναφοράς,  $S_b$ , που αντιπροσωπεύει την απόσταση που διανύει το άτομο αφού απεγκλωβιστεί και επιστρέψει στη στήλη του νερού. Το μήκος επαναφοράς είναι δύσκολο να υπολογιστεί διότι απαιτεί τη χρήση ραδιοϊσοτόπων (Newbold et al. 1983), έτσι συνήθως υπολογίζουμε το μήκος πρόσληψης, το οποίο μετριέται ευκολότερα, αλλά παράλληλα είναι και το πιο ουσιαστικό τμήμα, μιας και μας δίνει μια σχετικά καλή εικόνα της τύχης των θρεπτικών σε ένα ποτάμι.

Εάν ένα μόριο που εγκλωβίστηκε παραμείνει εκεί για μεγάλο χρονικό διάστημα, σημαίνει ότι κατακρατήθηκε από το ποτάμι. Εάν καταφέρει να απεγκλωβιστεί

και να επανέλθει στην κολώνα του νερού, τότε θα παρασυρθεί σε άλλα τμήματα του ποταμού. Εάν δεν εγκλωβιστεί ξανά, μπορεί να απομακρυνθεί τελείως και να φτάσει στην εκβολή του ποταμού.

Ένα ποτάμι που δέχεται ρύπανση μπορούμε να ισχυριστούμε ότι έχει την ικανότητα να αυτοκαθαρίζεται, εάν τα μόρια των ρύπων παρασέρνονται και τελικά απομακρύνονται από αυτό. Μπορούμε όμως επίσης να ισχυριστούμε ότι αυτοκαθαρίζεται, εάν τα μόρια των ρύπων εγκλωβίζονται σε σημεία του ποταμού όπου μπορεί να μην επιφέρουν βραχυπρόθεσμες δευτερογενείς επιπτώσεις. Διότι αν εγκλωβιστούν για παράδειγμα μέσα σε ευαίσθητους υδρόβιους οργανισμούς, που δεν αντέχουν περίσσεια ποσοτήτων N και P, αυτό μπορεί να επιφέρει κατ'αρχήν μια μείωση της αφθονίας των ευαίσθητων αυτών οργανισμών, στην συνέχεια όμως και εφόσον οι αιτίες διαρκούν, μπορεί να επέλθει απομάκρυνση των οργανισμών αυτών, που σημαίνει μείωση της βιοποικιλότητας του ποταμού. Έτσι το ποτάμι μπορεί να φαίνεται ότι έχει αυτοκαθαριστεί, η βιοποικιλότητά του όμως θα είναι μειωμένη.

Η χωρική διαφοροποίηση της συγκέντρωσης θρεπτικών κάτω από ένα σημείο εισροής θρεπτικών είναι έτσι αποτέλεσμα των διαδικασιών κατακράτησης και επαναδιάλυσης στη στήλη του νερού που λαμβάνουν χώρα κατά μήκος του ποταμού. Μικρά μήκη πρόσληψης  $S_w$  υποδεικνύουν ότι η κατακράτηση θρεπτικών είναι μεγάλη, σε σχέση με τον απεγκλωβισμό και τη μεταφορά τους

κάπου αλλού, ή ότι τα θρεπτικά κατακρατούνται πιο αποτελεσματικά μέσα σ'ένα ποτάμι (Elwood *et al* 1983).

Το μήκος πρόσληψης  $S_w$  ενός ποταμού μπορεί να επηρεαστεί από διάφορους παράγοντες μορφολογικούς, υδρολογικούς, αβιοτικούς και βιοτικούς, όπως η σύσταση του υποστρώματος, η παροχή, το φως και η θερμοκρασία, καθώς και η σύσταση και η βιομάζα ασπόνδυλων και φωτοσυνθετικών οργανισμών (Hauer & Lamberti 1996), αφού όπως ήδη αναφέρθηκε σε συντομία οι οργανισμοί, ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας και το ίζημα (Munn & Meyer 1990) αποτελούν τμήματα του ποταμού στα οποία ένα μόριο θρεπτικού μπορεί να κατακρατηθεί μόνιμα ή για ορισμένο χρονικό διάστημα.

Έτσι προκειμένου να εξετάσουμε την πορεία ή την τύχη των θρεπτικών μέσα σ'ένα ποτάμι είναι απαραίτητο να μετρηθεί κατ'αρχήν το μήκος πρόσληψης  $S_w$ , παράλληλα όμως, και ειδικά εφόσον φανεί ότι υπάρχει κατακράτηση των θρεπτικών στο ποτάμι, πρέπει να γίνει αναλυτικός έλεγχος όλων των σταδίων της μετακίνησής τους, ακόμα όμως και τα πιθανά σημεία όπου αυτά μπορεί να έχουν εγκλωβιστεί, όπως το ίζημα, οι οργανισμοί ή ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας.

Ο τελευταίος παράγοντας είναι ιδιαίτερα σημαντικός για το Μεσογειακό χώρο, διότι λόγω των υδροπερατών ασβεστολιθικών πετρωμάτων που κυριαρχούν, υπάρχει μια έντονη επικοινωνία του επιφανειακού και του υπόγειου υδροφόρου

ορίζοντα, που άλλοτε το νερό μετακινείται από κάτω προς τα πάνω και άλλοτε αντίστροφα, ανάλογα με την εποχή.

Ο έλεγχος της μεταφοράς των θρεπτικών ειδικά στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα είναι ένα δύσκολο έργο, που απαιτεί εξειδικευμένη μεθοδολογία και υποδομή, γι'αυτό στις περισσότερες έρευνες, ελέγχοντας την περατότητα των πετρωμάτων και την κίνηση του νερού κατά τον κάθετο άξονα μπορούμε να εκτιμήσουμε μια πιθανή μεταφορά θρεπτικών στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα.

Αρχικά εξετάστηκε η διακύμανση των υπαρχόντων συγκεντρώσεων θρεπτικών, και υπολογίστηκε το μήκος επεξεργασίας  $P$  (processing length), ένας δείκτης ανάλογος του μήκους πρόσληψης  $S_w$ . Όμως λόγω του μεγάλου χρονικού διαστήματος παραμονής των θρεπτικών στο ποτάμι, η μέθοδος αυτή εμπεριέχει τον κίνδυνο οι συγκεντρώσεις που μετριοούνται να μην σχετίζονται μόνο με την κατακράτηση, αλλά και με τον απεγκλωβισμό των θρεπτικών ιόντων. Γι'αυτό καταφύγαμε στην μέθοδο των εγχύσεων, οι οποίες πραγματοποιούνται σε μικρό χρονικό διάστημα, έτσι ώστε να μην υπάρχει χρόνος να απεγκλωβιστούν τα μόρια θρεπτικών που είχαν κατακρατηθεί σε κάποιο ποτάμι του ποταμού. Έτσι μπορούμε μ'αυτή τη μέθοδο να υπολογίσουμε το μήκος πρόσληψης και κατά συνέπεια την κατακράτηση στο ποτάμι.

Επειδή η παροχή και η ταχύτητα του νερού είναι κρίσιμοι παράμετροι ειδικά στα ποτάμια περιοδικής ροής, υπολογίστηκαν επίσης το μήκος πρόσληψης ( $U$ ) και ο συντελεστής μεταφοράς μάζας ( $Vf$ ) ώστε να μπορούν να συγκριθούν διαφορετικά ποτάμια μεταξύ τους, αλλά και οι διαφορετικές ημερομηνίες δειγματοληψίας σε ένα ποτάμι.

Οι μέχρι τώρα μελέτες για τους παράγοντες που επηρεάζουν την ικανότητα κατακράτησης των θρεπτικών των ποταμών, έχουν εστιαστεί κυρίως σε ποτάμια εκτός Μεσογειακού χώρου. Τα τελευταία χρόνια γίνεται μια προσπάθεια να ερευνηθεί η Μεσόγειος, λόγω των έντονων πιέσεων που δέχονται τα ποτάμια της, αφ' ενός λόγω της έλλειψης νερού αλλά και λόγω της έντονης ανθρώπινης δραστηριότητας. Τα ποτάμια όμως της Μεσογείου και τα μόνιμης ροής, αλλά ιδιαίτερα αυτά της περιοδικής ροής, εμφανίζουν ιδιαιτερότητες. Οι παροχές τους είναι μικρές και κατά συνέπεια τα θρεπτικά έχουν λιγότερο νερό στο οποίο μπορούν να διαλυθούν. Οι κοίτες των Μεσογειακών ποταμών είναι μικρότερες και έτσι εντείνεται η επίδραση από τη χέρσο. Αυτό είναι εντονότερο βέβαια στους χειμάρρους, οι οποίοι την περίοδο της ξηρασίας γίνονται ένα με τη χέρσο. Τα πετρώματα είναι κυρίως ασβεστολιθικά, περατά στο νερό και γι' αυτό υπάρχει έντονη επίδραση από και προς τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα. Όλες οι προαναφερθείσες διαφορές καθιστούν επισφαλή την υιοθέτηση συμπερασμάτων σχετικά με την κατακράτηση των θρεπτικών, που έχουν αναπτυχθεί μετά από έρευνες σε ποτάμια εκτός Μεσογειακού χώρου.

Προς το παρόν η μελέτη των Μεσογειακών ποταμών σε σχέση με τα θρεπτικά είναι αρκετά ελλιπής. Οι έρευνες έχουν εστιαστεί σε ένα χρονικό σημείο κατά το οποίο υπήρξε μια διαταραχή από ανθρώπινη παρέμβαση (Butturini & Sabater, 1998). Παράλληλα δεν μελετάται το ποτάμι καθ'όλο τον ετήσιο υδρολογικό κύκλο. Οι ερευνητές επίσης, τις περισσότερες φορές, εξετάζουν μεμονωμένα κάποιους από τους παράγοντες που επηρεάζουν την κατακράτηση θρεπτικών και όχι το σύνολό τους. Έχει βρεθεί ότι στα ποτάμια μόνιμης ροής, εκτός Μεσογειακού χώρου, η κατακράτηση των θρεπτικών εξαρτάται κατά 90% από την παροχή (Stream Solute Workshop, 1990). Στην Μεσόγειο, τα μέχρι σήμερα αποτελέσματα είναι αντικρουόμενα. Όταν η παροχή δεν εμφανίζει μεγάλες ετήσιες διακυμάνσεις, η κατακράτηση των θρεπτικών σχετίζεται με την παροχή. (Butturini & Sabater 1997) Αντίθετα σε ακραία φαινόμενα όπως ξηρασία και πλημμύρες ή σε έντονες διακυμάνσεις της παροχής, όπως στην περίπτωση των χειμάρρων, τα αποτελέσματα δεν ακολουθούν την ίδια λογική (Maltchik et al., 1994).

Επιπλέον οι μελέτες που υπάρχουν εξετάζουν τα ποτάμια στο δυτικό τμήμα της Μεσογείου. Όσον αφορά λοιπόν την έρευνα υπάρχει ένα πέπλο άγνοιας που καλύπτει το ανατολικό και ξηρότερο τμήμα της Μεσογείου. Στην ανατολική περιοχή όλοι οι κίνδυνοι που απειλούν τα ποτάμια της Μεσογείου εντείνονται ακόμα περισσότερο λόγω του μεγαλύτερου χρονικού διαστήματος όπου

επικρατεί ανομβρία μαζί με υψηλές θερμοκρασίες. Χρειάζεται λοιπόν η υιοθέτηση ειδικών διαχειριστικών πρακτικών για τα ποτάμια στην περιοχή αυτή. Την οργανωμένη έρευνα της κατακράτησης των θρεπτικών σ'ολόκληρο το Μεσογειακό χώρο έρχεται να καλύψει το πρόγραμμα STREAMES, με τη μεθοδολογία που θα αναφερθεί στη συνέχεια.



## Το πρόγραμμα STREAMES

Η παρούσα μελέτη διεξήχθη στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού προγράμματος STREAMES (EVK1-2000-22083, 2001-2004). Σκοπός του προγράμματος είναι η μελέτη των μηχανισμών που ελέγχουν την κατακράτηση θρεπτικών (N και P), σε Μεσογειακά ποτάμια.

Στο πρόγραμμα συμμετέχουν 6 Μεσογειακές χώρες (Πορτογαλία, Ισπανία, Γαλλία, Ιταλία, Ελλάδα και Ισραήλ), ενώ η Γερμανία και η Αυστρία από την κεντρική Ευρώπη χρησιμεύουν ως χώρες αναφοράς. Όλες οι συνεργαζόμενες χώρες χρησιμοποιούν τις ίδιες μεθόδους και για το ίδιο χρονικό διάστημα, έτσι ώστε τα αποτελέσματα που θα παραχθούν να είναι συγκρίσιμα και να βοηθούν στη συγκρότηση μιας θεωρίας ή στην συμπλήρωση της ήδη υπάρχουσας, που θα περιγράφει την κίνηση και κατακράτηση των θρεπτικών σε ποτάμια της Μεσογείου.

Παράλληλος στόχος του προγράμματος STREAMES είναι και η δημιουργία ενός υπολογιστικού μοντέλου, ονομαζόμενου Expert System, το οποίο θα αποτελεί ένα διαχειριστικό εργαλείο και θα συντομεύει το χρόνο στον οποίο θα λαμβάνονται κρίσιμες διαχειριστικές αποφάσεις από αρμόδιους φορείς. Προκειμένου να υπάρξει ενημέρωση των φορέων και συνεργασία με αυτούς, ένας φορέας από κάθε χώρα συμμετέχει στο πρόγραμμα.

Η παρουσία της Ελλάδας στο πρόγραμμα αυτό είχε ένα επιπλέον πρακτικό ενδιαφέρον. Εκτός του ότι αυτές οι μελέτες είναι ανύπαρκτες στη Μεσογειακή λεκάνη και πραγματοποιούνται για πρώτη φορά στη χώρα μας, οι χείμαρροι είναι ένα ανεξερευνήτο πεδίο στο οποίο θα προσπαθήσουμε να ριξουμε φως.

Στην παρούσα μελέτη ερευνάται η δυνατότητα ενός χαρακτηριστικού χειμάρρου της ανατολικής Μεσογείου, που δέχεται ποσότητες θρεπτικών από αστικές και γεωργικές δραστηριότητες, να κατακρατεί θρεπτικά. Κατ'αρχήν μελετήθηκε η πορεία και η συμπεριφορά των υπαρχόντων ποσοτήτων θρεπτικών στο ποτάμι. Μετρήθηκε όμως και το μήκος πρόσληψης  $S_w$ , ελεγχόμενων ποσοτήτων θρεπτικών, που προστέθηκαν στο ποτάμι με έγχυση, βάσει μιας συγκεκριμένης μεθοδολογίας.

Παράλληλα μελετήθηκαν και όλες οι αβιοτικές και βιοτικές παράμετροι που είχαν άμεση ή έμμεση σχέση με την κατακράτηση των θρεπτικών. Ένας βασικός παράγοντας είναι η παροχή του ποταμού, η οποία αποτελεί και ένα από τα σημεία διαφοροποίησης και των ποταμών μόνιμης ροής μεταξύ τους, αλλά και των ποταμών μόνιμης και περιοδικής ροής. Στο πλαίσιο της εκτίμησης της παροχής, μετρήθηκαν η μέση ταχύτητα του νερού καθώς και το μέσο πλάτος και βάθος της κοίτης, σε όλη την περίοδο των δειγματοληψιών.

Ένας επιπλέον παράγοντας που εξετάστηκε είναι η επικοινωνία με τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα. Κατά πόσο δηλαδή μεταφέρεται νερό προς τα κάτω, μεταφέροντας παράλληλα θρεπτικά ή κατά πόσο αναβλύζει προς τα πάνω, μεταφέροντας θρεπτικά προς την επιφάνεια.

Επίσης εξετάστηκαν και οι βιολογικοί παράμετροι, σημαντικοί για να περιγραφεί το κομμάτι των θρεπτικών που αφαιρείται από την κολώνα του νερού και ενσωματώνεται στους ετεροτροφικούς ή αυτοτροφικούς οργανισμούς (Hauer & Lamberti 1996) του ποταμού.

Στο πλαίσιο αυτό ερευνήθηκε κατ'αρχήν η ενσωμάτωση θρεπτικών μέσα στους αυτότροφους οργανισμούς, κύρια σε βακτήρια και μονοκύτταρα φύκη, που είναι προσκολλημένα στο ίζημα και αποτελούν το μεγαλύτερο τμήμα του περιφύτου.

Παράλληλα ερευνήθηκε και η κατακράτηση θρεπτικών μέσα στην ασπόνδυλη πανίδα του ποταμού. Τα θρεπτικά μπορεί να εισέρχονται και να συσσωρεύονται στους οργανισμούς είτε απ'ευθείας από το νερό, είτε έμμεσα μέσω της τροφής τους (Gregory 1980, Mayer & Likens 1987, Steinman 1992). Για τους λόγους αυτούς μελετήθηκε η δομή, η αφθονία και η πυκνότητα της βιοκοινότητας των ασπονδύλων, καθώς και η συνήθης τροφική πηγή αυτών των οργανισμών. Προκειμένου να μελετηθεί η τροφική πηγή, υιοθετήθηκε η μέθοδος κατηγοριοποίησης των ασπονδύλων σε λειτουργικές τροφικές ομάδες (functional feeding groups). Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στη σχέση μεταξύ αφ'ενός των μορφολογικών και ανατομικών χαρακτήρων και προσαρμογών που διαθέτουν τα ασπόνδυλα των ποταμών προκειμένου να λαμβάνουν τροφή και αφ'ετέρου των κατηγοριών των πηγών από όπου προέρχεται η τροφή τους (Cummins 1973, Cummins 1974, Cummins & Klug 1979, Wallace & Merritt 1980, Merritt et al. 1984, Cummins & Wilzbach 1985, Merritt & Cummins 1996). Οι τροφικές κατηγορίες των ασπονδύλων ζωικών οργανισμών που προκύπτουν βάσει των πηγών τροφής στα ποτάμια είναι : 1) Θρυμματοφάγοι (shredders) που τρέφονται με CPOM (σωματίδια τροφής μεγαλύτερα από 1mm), 2) Αιωρηματοφάγοι (collectors) που τρέφονται από FPOM (σωματίδια τροφής μικρότερα από 1mm, αλλά μεγαλύτερα από 0,5μm), 3) Οργανισμοί που τρέφονται με απόξεση (scrapers) του περίφυτου και 4) Θηρευτές (predators) που τρέφονται με θηράματα. Αλλαγές στα ποσοστά των τροφικών αυτών ομάδων σε ένα ποτάμι μπορεί να προέλθει από αλλαγή στις κυρίαρχες πηγές τροφής βασικά λόγω ανθρώπινης παρέμβασης (Cummins 1992, 1993).

Για τον σκοπό του προγράμματος, σχεδιάστηκε ένα μηνιαίο πρόγραμμα δειγματοληψιών που υλοποιήθηκε καθ'όλη τη διάρκεια του υδρολογικού κύκλου του υπό μελέτη χειμάρρου και που για τις χρονιές 2001 και 2002 οριοθετήθηκε από το Δεκέμβριο του 2001 μέχρι και το Μάιο του 2002. Στα πλαίσια όμως της

μεταπτυχιακής αυτής διατριβής, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των τεσσάρων πρώτων μηνών της δειγματοληψίας από το Δεκέμβριο του 2001 έως τον Μάρτιο του 2002.

## Κεφάλαιο 2

### Υλικά και Μέθοδοι

#### 2.1 Επιλογή περιοχής δειγματοληψίας

Ο Αποσελέμης, ο χείμαρρος που επιλέχθηκε για τη μελέτη αυτή, βρίσκεται στη βορειοανατολική πλευρά της Κρήτης (35° 15' N, 25° 26' E). Έχει ετήσια περιοδικότητα ροής από το Νοέμβρη ή Δεκέμβρη μέχρι το Μάιο ή Ιούνιο, ανάλογα με το ετήσιο βροχομετρικό ύψος. Η λεκάνη απορροής του έχει επιφάνεια 120,5 Km<sup>2</sup> (Χάρτης 1).

Η γεωμορφολογία της περιοχής αποτελείται από δύο κύρια γεωλογικά συστατικά: πορώδεις ασβεστόλιθους, που κυριαρχούν, και δολομίτες που εναλλάσσονται με αδιαπέρατους φυλλίτες, και πλάκες μεταμορφωμένων ασβεστόλιθων. Λόγω αυτών των γεωλογικών σχηματισμών, το επιφανειακό κανάλι του ποταμού επικοινωνεί με τα υπόγεια πετρώματα. Επιφανειακό νερό εμφανίζεται κυρίως στους φυλλίτες και πολύ σπάνια στους ασβεστόλιθους, ανάλογα με την ετήσια βροχόπτωση.

Ο πυθμένας του ποταμού είναι του τύπου riffle-pool, δηλαδή διαθέτει περιοχές με γρήγορη ροή και περιοχές με αργή ροή. Στο ίζημα κυριαρχούν οι πέτρες διαμέτρου 2- 6 cm και τα χαλίκια διαμέτρου 0,2-2 cm.

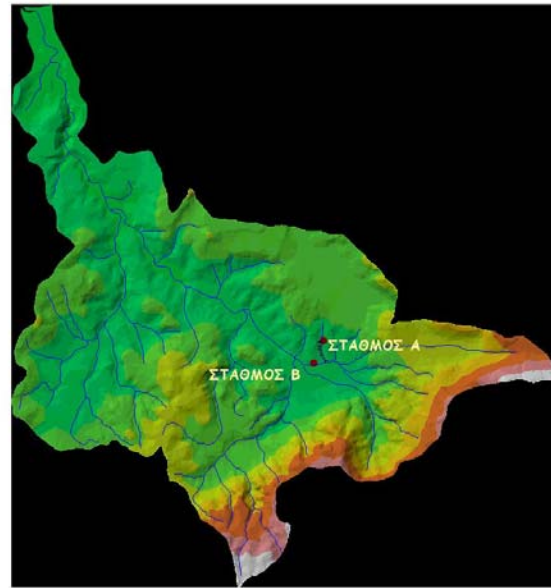
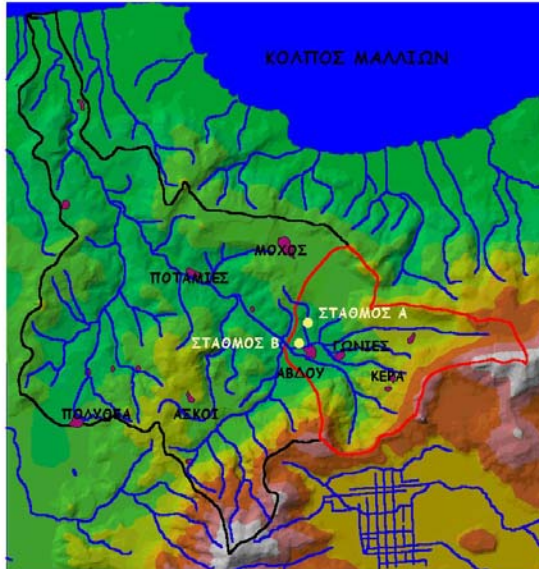
Μεγάλο μέρος της λεκάνης απορροής του Αποσελέμη καλλιεργείται εντατικά (ελαιόδεντρα και εσπεριδοειδή), ενώ μέχρι το 1994, μεγάλες ποσότητες υγρών αποβλήτων, που προέρχονταν από ελαιουργεία (κατοίγαρος), απορρίπτονταν στο ποτάμι. Σημερινές μελέτες δείχνουν ότι έχει επέλθει σχετική ανάκαμψη του

Αποσελέμη, τουλάχιστον από τα ελαιουργικά απόβλητα (Σφακιανάκης & Βορεάδου 2001).

Ποσότητες λιπασμάτων που προέρχονται από το σύνολο της λεκάνης απορροής εισέρχονται στο ποτάμι, ενώ παράλληλα υπάρχει μία πηγή ρύπανσης με αστικά απόβλητα (BOD περίπου 6642 gr/ημέρα) που προέρχονται από τα γειτονικά χωριά Αβδού και Γωνιές (Χάρτης 1). Αυτή η πηγή αστικής ρύπανσης βρίσκεται σε τμήμα της λεκάνης απορροής του Αποσελέμη έκτασης 27,7 Km<sup>2</sup> (Χάρτης 1), η οποία χρησιμοποιήθηκε και σαν περιοχή της μελέτης μας. Στο τμήμα αυτό εκτός από τα αστικά απόβλητα που αναφέραμε ότι μεταφέρουν ποσότητες θρεπτικών, στον Αποσελέμη συγκεντρώνονται και ποσότητες θρεπτικών από τις γεωργικές καλλιέργειες.



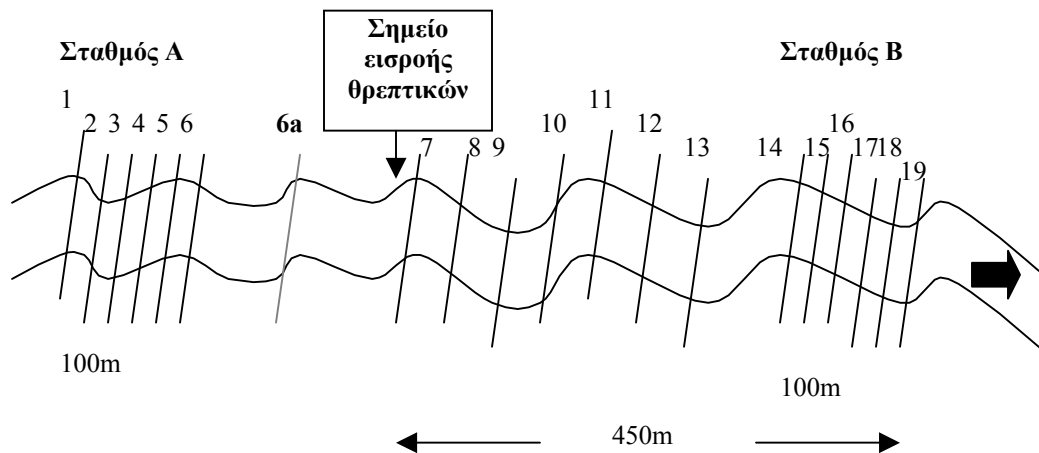
*Ο Αποσελέμης την περίοδο ροής του*



**Χάρτης 1:** Τμήμα της λεκάνης απορροής του Αποσελέμη (δεξιά) και εντοπισμός των σταθμών δειγματοληψίας (αριστερά)

## 2.2 Οι σταθμοί δειγματοληψίας

Η περιοχή δειγματοληψίας αποτελείται από δύο σταθμούς, μήκους 100 m έκαστος (πάνω - σταθμός A και κάτω - σταθμός B από το σημείο εισροής αστικών λυμάτων). Οι σταθμοί αυτοί ήταν διαιρεμένοι κάθε ένας σε 6 διατομές ανά 20 m (Εικόνα 1). Επιπλέον, αμέσως μετά το σημείο εισροής θρεπτικών υπήρχε περιοχή δειγματοληψίας μεγαλύτερη του σταθμού-B, η οποία τον περιελάμβανε (Εικόνα 1). Η περιοχή αυτή ήταν διαιρεμένη σε 7 διατομές ανά 25m, παρεμβαλλόταν ένα διάστημα 125m και κατόπιν ακολουθούσαν οι 6 διατομές του σταθμού B. Το μήκος της περιοχής αυτής ήταν αρκετό (450m) ώστε να μπορούν να παρατηρηθεί η χωρική διαφοροποίηση της συγκέντρωσης θρεπτικών (longitudinal patterns).



**Εικόνα 1:** Περιγραφή των περιοχών δειγματοληψίας

Για την αποφυγή επίδρασης των λυμάτων στον καθαρό σταθμό (A) λόγω διάχυσης, το τέλος του σταθμού τοποθετήθηκε αρκετά μέτρα (200m) πάνω από το σημείο εισροής των θρεπτικών. Ενώ παράλληλα τοποθετήθηκε, κάτω από αυτόν το σταθμό και πάνω από το σημείο εισροής θρεπτικών, μία επιπλέον διατομή



(6a), η οποία χρησιμοποιήθηκε ως σημείο αναφοράς - control για την κατά μήκος διακύμανση των υπαρχόντων συγκεντρώσεων θρεπτικών (longitudinal patterns).

Για να είναι σίγουρη η ανάμειξη της παροχής των θρεπτικών με το νερό του ποταμού, η 7<sup>η</sup> διατομή τοποθετήθηκε 5m μέτρα κάτω από το σημείο εισροής των λυμάτων. Το σημείο τοποθέτησής της καθορίστηκε από μετρήσεις της αγωγιμότητας σε όλο το πλάτος του ποταμού. Όταν η ανάμειξη είναι πλήρης, οι τιμές της αγωγιμότητας σε όλο το πλάτος του ποταμού είναι ίδιες.

Επειδή λειτουργικά και δομικά δεδομένα στους δύο σταθμούς έπρεπε να συγκριθούν για να εξεταστεί πως τα σημεία ρύπανσης επιδρούν στο οικοσύστημα, οι δύο περιοχές δειγματοληψίας επιλέχθηκαν έτσι ώστε να είναι παρόμοιες μορφολογικά (υπόστρωμα και κάλυψη).

Η παρόχθια βλάστηση στο σταθμό Α είναι πυκνή και αποτελείται κυρίως από *Platanus orientalis*, *Hedera helix*, *Euphorbia characias*, *Parietaria judaica*, *Smyrniium olusatrum* and *Rumex sp.*

Η βλάστηση στον σταθμό Β είναι λιγότερο πυκνή και αποτελείται κυρίως από *Platanus orientalis*, *Juglans regia*, *Arum concinatum*, *Smyrniium olusatrum*, *Parietaria judaica*, *Mercurialis annua*, *Rumex cf conglomeratus*, *Galium aparine*, *Galysteria sepium* and *Melissa officinalis*.

## 2.3 Φυσικές παράμετροι

### 2.3.1 Μορφολογικές και υδραυλικές μετρήσεις

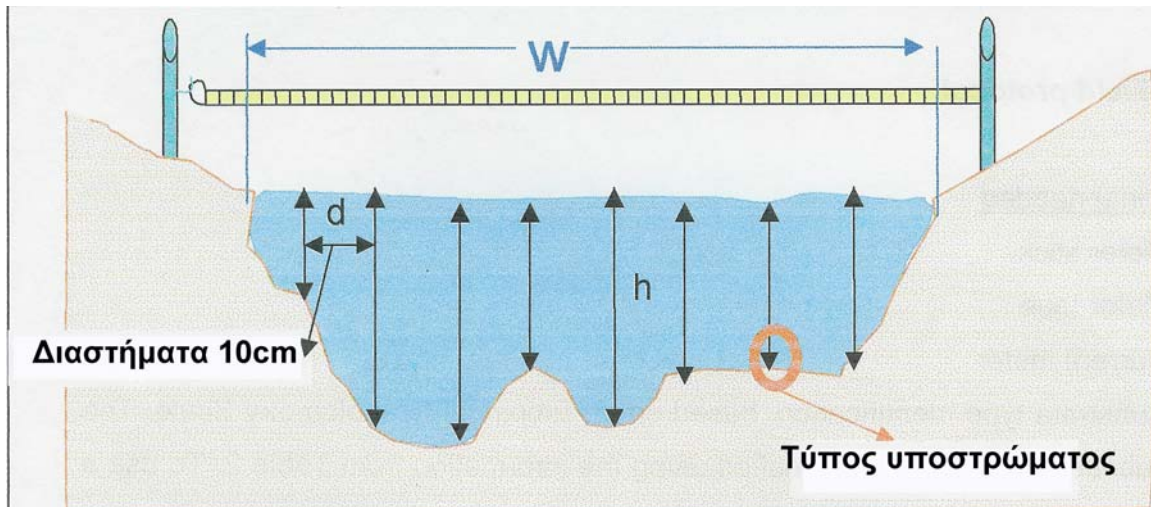
Οι μορφολογικές (π.χ. πλάτος, βάθος κοίτης, εμβαδόν διατομών, περίμετρος και επιφάνεια του πυθμένα και ανάλυση ιζήματος) και υδραυλικές μετρήσεις (π.χ. παροχή, ταχύτητα νερού υδραυλικό βάθος, δείκτες Froude και Reynolds) πραγματοποιούνται για να χαρακτηριστεί ο χείμαρρος που μελετάται. Επιπλέον είναι απαραίτητες για την μελέτη της κατακράτησης θρεπτικών, αφού παράμετροι όπως η ταχύτητα, ο στροβιλισμός του νερού, η παροχή παίζουν ενεργό ρόλο στην μετακίνηση των μορίων των θρεπτικών μόλις αυτά εισέλθουν στο ποτάμι, αλλά και στην παραπέρα πορεία τους όπως αυτή αναφέρεται στην εισαγωγή.

Αυτές οι πληροφορίες βοηθούν ακόμη στην αξιολόγηση της ετερογένειας κάθε περιοχής σε σχέση με τις φυσικές παραμέτρους, και παρέχουν μια σχετικά ακριβή περιγραφή των μικροοικοτόπων του ποταμού, που μπορούν να συσχετιστούν με τη δομή της κοινότητας των φυτικών και ζωικών οργανισμών.

#### Μορφολογικά

##### ➤ Μέσο πλάτος της κοίτης ( $w_m$ )

Μέτρηση του συνολικού πλάτους του ποταμού σε κάθε διατομή (Εικόνα 1) και υπολογισμός της μέσης τιμής μεταξύ των τιμών που μετρήθηκαν σε κάθε διατομή.



**Εικόνα 1:** Περιγραφή μορφολογικών μετρήσεων

➤ **Συνολική επιφάνεια του πυθμένα ( $S, m^2$ )**

Αυτή η παράμετρος υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας το μήκος κάθε περιοχής δειγματοληψίας ( $L, m$ ) με την περίμετρο του υγρού κομματιού ( $P, m$ ) για τη συνολική περιοχή.

➤ **Βάθος νερού ( $h, cm$ )**

Μέγιστο, ελάχιστο, μέσο βάθος και συντελεστής διακύμανσης του βάθους του νερού ( $h, cm$ ) για κάθε διατομή ξεχωριστά και για όλη την περιοχή ( $h_{avg}$ ) Υπολογισμός της μέσης τιμής μεταξύ των τιμών που μετρήθηκαν σε κάθε διατομή σε διαστήματα 10cm και του συντελεστή διακύμανσης για αυτές τις τιμές (std var./mean)

➤ **Εμβαδόν κάθετης διατομής - reach cross-sectional area ( $A, m^2$ )**

Υπολογισμός για κάθε διατομή. Υπολογίζεται πρώτα η υποπεριοχή μεταξύ δύο επακόλουθων μετρήσεων του βάθους ( $a_i = ((h_i + h_{i+1})/2) * \text{απόσταση } (d)$  μεταξύ  $h_i$  και  $h_{i+1}$  Το συνολικό εμβαδό της κάθετης τομής για μια συγκεκριμένη διατομή είναι το άθροισμα των υποπεριοχών ( $A = \sum a_i$ ) Το εμβαδό της τομής για όλη την

περιοχή δειγματοληψίας είναι η μέση τιμή από τις μετρήσεις που πραγματοποιούνται σε κάθε διατομή.

➤ **Περίμετρος υγρού κομματιού (P,m)**

Αυτή η παράμετρος παρέχει μια εκτίμηση του ακριβούς μήκους των υποστρωμάτων που βρίσκονται σε επαφή με το νερό του ποταμού σε μία κάθετη τομή. Η περίμετρος σε κάθε διατομή υπολογίζεται διαιρώντας cross sectional area (A) με το μέσο βάθος του νερού σε αυτή τη διατομή ( $h_{avg}$ ) Η περίμετρος για το σύνολο της περιοχής δειγματοληψίας είναι η μέση τιμή από τις μετρήσεις σε κάθε διατομή.

➤ **Ποσοστά διαφορετικών τύπων υποστρωμάτων σε κάθε περιοχή δειγματοληψίας**

Τα ποσοστά διαφορετικών τύπων υποστρώματος για όλη την περιοχή δειγματοληψίας υπολογίζονται χρησιμοποιώντας τα δεδομένα των διατομών σε διαστήματα των 10cm (Εικόνα 1):

$$\text{Υπόστρωμα}_i (\%) = (\text{αριθμός χτυπημάτων του ραβδιού σε υπόστρωμα}_i / \text{συνολικό αριθμό χτυπημάτων στην περιοχή δειγματοληψίας}) * 100$$

Αυτή η εξίσωση εφαρμόζεται σε κάθε τύπο υποστρώματος  $i$  (πίνακας 1) που βρίσκεται σε κάθε περιοχή δειγματοληψίας.

<b>Μέγεθος</b>	<b>Τύπος</b>
> 40 cm	Βράχος
20 - 40 cm	Μεγάλες πέτρες (3)
6 - 20 cm	Πέτρες (2)
2 - 6 cm	Μικρές πέτρες (1)
0,2 - 2 cm	Χαλίκια
0,006 mm -	Άμμος
< 0,006 mm	Λάσπη

**Πίνακας 1:** Ταυτοποίηση υποστρώματος βάσει μιας Εμπειρικής Κοκκομετρικής Κλίμακας

### Υδραυλικά

#### ➤ Παροχή ποταμού ( $Q$ , lt/s)

Μπορεί να υπολογιστεί από την έγχυση (short - term) συντηρητικού διαλύματος - Cl (Gordon et al. 1992) χρησιμοποιώντας τη μέθοδο και τους τύπους που αναφέρονται στην παράγραφο των εγχύσεων.

#### ➤ Ταχύτητα νερού ( $v$ , m/s)

Μπορεί να υπολογιστεί από την έγχυση (short - term) συντηρητικού διαλύματος - Cl (Gordon et al. 1992)

Με αυτές τις μετρήσεις υπολογίζεται η μέση τιμή για την συνολική περιοχή δειγματοληψίας. Αυτή η πληροφορία είναι σχετική σαν παράγοντας που επηρεάζει την κοινωνία μακροασπονδύλων.

#### ➤ Υδραυλικό βάθος ( $D$ , m)

Αυτή η παράμετρος χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των δεικτών Froude και Reynolds. Το υδραυλικό βάθος υπολογίζεται διαιρώντας το εμβαδό κάθετης τομής ( $A$ ) με το πλάτος του ποταμού ( $w$ ).

➤ **Froude number (Fr)**

Αυτή η παράμετρος είναι αδιάστατη και αντιπροσωπεύει τη σχέση μεταξύ εσωτερικών δυνάμεων (λόγω της προς τα κάτω κίνησης του νερού) και των δυνάμεων βαρύτητας. Ο αριθμός αυτός είναι ένας καλός δείκτης της δύναμης του ρεύματος του νερού σε τοπική κλίμακα και γι αυτό επιτρέπει την ταυτοποίηση των οικότοπων για τα μακροασπόνδυλα σύμφωνα με αυτή την φυσική συνεισφορά. Αυτός ο δείκτης υπολογίζεται ως εξής:

$Fr = v / \sqrt{g \cdot D}$  όπου  $v$  είναι η μέση ταχύτητα του νερού (m/s) ,  $g$  είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας (m/s<sup>2</sup>) και  $D$  είναι το υδραυλικό βάθος (m).  $Fr$  τιμές  $< 1$  υποδεικνύουν μη κρίσιμο ρεύμα (αργά νερά),  $=1$  υποδεικνύουν κρίσιμο ρεύμα και  $> 1$  υποδεικνύουν υπερ κρίσιμο ρεύμα (γρήγορα νερά).

➤ **Reynolds number (Re)**

Αυτή η παράμετρος είναι επίσης αδιάστατη και αντιπροσωπεύει τη σχέση μεταξύ των εσωτερικών δυνάμεων (λόγω της προς τα κάτω κίνησης του νερού) και των δυνάμεων ιξώδους. Γι αυτό αυτός ο αριθμός είναι ένας δείκτης του βαθμού στροβιλισμού των νερών. Όπως με τον  $Fr$  αυτός ο δείκτης είναι σχετικός με την μελέτη των προτύπων των κοινοτήτων ασπόνδυλων μέσα σε κάθε περιοχή μελέτης και μεταξύ των περιοχών δειγματοληψίας. Αυτός ο δείκτης υπολογίζεται βάση της παρακάτω εξίσωσης:

$Re = v \cdot D / \nu$  όπου  $v$  είναι η μέση ταχύτητα (m/s),  $D$  είναι το υδραυλικό βάθος (m) και  $\nu$  είναι το κινηματικό ιξώδες (m<sup>2</sup>/s), το οποίο εξαρτάται από την θερμοκρασία του νερού (Πίνακας 2). Τιμές  $Re \leq 500$  υποδεικνύουν ότι η ροή είναι κυρίως γραμμική (laminar) , τιμές  $\geq 2000$  υποδεικνύουν ότι η ροή είναι κυρίως τυρβώδης και ενδιάμεσες τιμές υποδεικνύουν διαφορετικούς βαθμούς στροβιλισμού. (Gordon et al. 1992)

### **2.3.2 Υδραυλικές μετρήσεις κατά τον κατακόρυφο άξονα**

Οι υδραυλικές μετρήσεις κατά τον κατακόρυφο άξονα έχουν σαν στόχο να ελεγχθεί η περατότητα των πετρωμάτων και η επικοινωνία επιφανειακού και υποεπιφανειακού νερού, την ανάμιξή τους καθώς και τη δύναμη και κατεύθυνση της ανταλλαγής τους.

Οι μετρήσεις αυτές γίνονται για να εξεταστεί η μεταφορά των θρεπτικών από και προς τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα.

#### **2.3.2.1 Οι παράμετροι που εξετάστηκαν είναι:**

##### **➤ Σύγκριση αγωγιμότητας και θερμοκρασίας επιφανειακών και υπόγειων υδάτων**

Σύγκριση αυτών των δεδομένων μεταξύ δύο διαμερισμάτων (επιφανειακό και υπόγειο νερό) παρέχει μια άμεση εκτίμηση του πόσο καλά αναμιγνύονται το επιφανειακό και το υποεπιφανειακό νερό. Παρόμοιες τιμές επιφανειακού και υπόγειου νερού υποδεικνύουν ότι υπάρχει καλή ανταλλαγή νερού ανάμεσα στα δυο αυτά διαμερίσματα. Διαφορές μεταξύ επιφανειακού και υποεπιφανειακού νερού υποδεικνύουν φτωχή ανάμιξη ή ότι το υποεπιφανειακό νερό πιθανώς προέρχεται από βαθύτερα υποεπιφανειακά στρώματα.

Οι τιμές των παραμέτρων αυτών συγκρίνονται για τις διατομές σε κάθε σταθμό δειγματοληψίας χρησιμοποιώντας T-test. Συγκρίνονται επίσης τα στατιστικά αποτελέσματα μεταξύ των σταθμών. Υπολογίζεται η μέση τιμή και το τυπικό σφάλμα των παραμέτρων για το επιφανειακό και υπόγειο νερό σε κάθε σταθμό.

➤ **Κάθετη υδραυλική διαβάθμιση (vertical hydraulic gradient) (VHG)**

Αυτή η παράμετρος είναι ένα μέτρο της διαφοράς πίεσης μεταξύ επιφανειακού και υποεπιφανειακού νερού, και γι αυτό υποδεικνύει την κατεύθυνση και τη δύναμη της ανταλλαγής νερού μεταξύ επιφανειακού και υποεπιφανειακού νερού. Αρνητικές τιμές υποδεικνύουν ότι νερό από την επιφάνεια εισέρχεται στα υποστρώματα (downwelling, μεγαλύτερη πίεση στο επιφανειακό νερό), θετικές τιμές υποδεικνύουν ότι υπάρχει αντίθετη κατεύθυνση του νερού (upwelling, μεγαλύτερη πίεση στο υποεπιφανειακό νερό), το μηδέν υποδεικνύει ότι δεν υπάρχει ανταλλαγή στην περιοχή δειγματοληψίας. Το χωρικό προφίλ της VHG κατά μήκος της περιοχής δειγματοληψίας δίνει μια ιδέα διακριτών περιοχών στην ανταλλαγή νερού. Αυτή η πληροφορία σχετίζεται με το πότε το επιφανειακό νερό και το υποεπιφανειακό διαφέρουν στην υδάτινη χημεία.

Αυτή η παράμετρος υπολογίζεται διαιρώντας τη διαφορά ( $h_s - h_w$ ) με το βάθος στο οποίο εισχωρεί ο σωλήνας στο υπόστρωμα ( $h_{\text{sediment}}$ ) (Εικόνα 2).

$$\text{VHG} = (h_s - h_w) / h_{\text{sediment}}$$

Όπου  $h_w = h_{w_a} - I$  και  $I = r_{\text{dowel}}^2 * h_{w_b} / r_{\text{well}}^2$

➤ **Υδραυλική αγωγιμότητα των υποστρωμάτων**

Αυτή η παράμετρος υποδεικνύει την περατότητα των υποστρωμάτων στο νερό. Αδρά (coarse) υποστρώματα έχουν μεγαλύτερες τιμές απ'ότι τα λεπτόκοκκα (fine) (Hauer & Lamberti 1996). Υπολογίζεται με τη μέθοδο Hvorslev (Hvorslev 1951, Fetter 1988) χρησιμοποιώντας την παρακάτω εξίσωση:

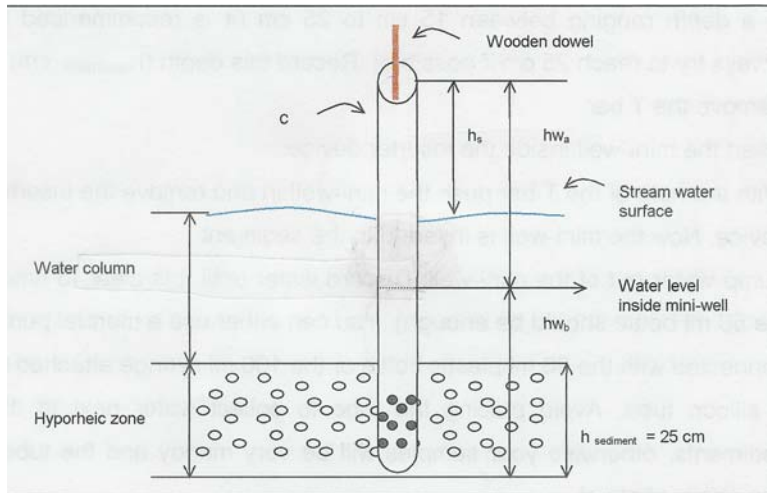
$$K = r^2 * \ln(L_s / R) / 2 * L_s * T_o$$

Όπου  $r$  είναι η ακτίνα του πηγαδιού,  $L_s$  είναι το μήκος του πηγαδιού που διαθέτει χαραγές,  $R$  είναι η ακτίνα του μέρους του πηγαδιού που είναι χαραγμένο (σε αυτή την περίπτωση  $R = r$ ) και  $T_o$  είναι ο χρόνος που χρειάζεται το ύψος του νερού να πέφτει στο 37% της αρχικής αλλαγής (Εικόνα 2).



Η αγωγιμότητα και η θερμοκρασία του επιφανειακού και του υπόγειου νερού και η VHG μπορούν να διαφέρουν λόγω παροδικών αλλαγών στην υδάτινη χημεία και την παροχή του ποταμού. Ως εκ τούτου οι μετρήσεις για τις παραμέτρους αυτές ελήφθησαν σε κάθε ημέρα δειγματοληψίας. Η υδραυλική αγωγιμότητα μετρήθηκε μόνο μια φορά, αφού δεν συνέβη κάποια αλλαγή στο υπόστρωμα. Όλες οι μετρήσεις έγιναν σε κάθε διατομή στους σταθμούς Α και Β.

Για την μέτρηση της VHG και της υδραυλικής αγωγιμότητας χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω όργανα(Εικόνα 2) (Hauer & Lamberti 1996). Ένας πλαστικός, διαφανής σωλήνας 55cm, διάτρητος στα 5 τελευταία εκατοστά, τοποθετείται σε κάθε διατομή σε βάθος 25cm. Με τη χρήση σύριγγας το νερό από το σωλήνα αφαιρείται, έως αυτό να είναι τελείως διαυγές. Σε ένα διαυγές δείγμα νερού μετράται η αγωγιμότητα και η θερμοκρασία. Επίσης οι παράμετροι αυτές μετρούνται και στο επιφανειακό νερό δίπλα από το διαφανή σωλήνα. Μετρούνται ακόμα: η απόσταση ( $h_s$ ) από την κορυφή του σωλήνα ως την επιφάνεια του νερού. Τοποθετείται ένα ξύλινο ραβδί μέσα στο σωλήνα μέχρι το τέλος του. Μετριέται η απόσταση από την κορυφή του πηγαδιού ως το ύψος του νερού μέσα στο σωλήνα ( $h_{w_a}$ ) και η απόσταση από το ύψος του νερού ως τον πάτο του ( $h_{w_b}$ ). Αυτές οι μετρήσεις χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της VHG. Κατόπιν ο σωλήνας γεμίζεται με νερό και χρονομετρείται η πτώση του νερού μέχρι ένα συγκεκριμένο ύψος (ΑΡΗΑ 1992).



**Εικόνα 3:** Όργανα για την μέτρηση της VHG και της υδραυλικής αγωγιμότητας

## 2.4 Μετρήσεις κατακράτησης θρεπτικών

### 2.4.1 Ανάλυση της χωρικής διακύμανσης των θρεπτικών ουσιών

#### Εισαγωγή

Η χωρική διαφοροποίηση και διαβάθμιση στη συγκέντρωση θρεπτικών ιόντων στην περιοχή μετά από το σημείο εισόδου των αστικών αποβλήτων είναι το καθαρό αποτέλεσμα των διαδικασιών πρόσληψης και απελευθέρωσης που εμφανίζονται κατά μήκος της επιλεγμένης περιοχής. Με την εξέταση αυτών των χωρικών μεταβολών μπορούν να συλλεχθούν πληροφορίες για τη φυσική δυνατότητα του ποταμού να κατακρατεί (εγκλωβίζει) ή να απεγκλωβίζει τα θρεπτικά που εισρέουν σ' αυτό. Η κατά μήκος μεταβολή της συγκέντρωσης θρεπτικών εξετάζονται με το διάγραμμα συγκεντρώσεων θρεπτικών προς τις αποστάσεις δειγματοληψίας (δηλ., απόσταση από το σημείο εισαγωγής των αποβλήτων). Μέσα από αυτή την διαδικασία δεν εξετάζουμε άμεσα το μήκος πρόσληψης  $S_w$ , αλλά υπολογίζουμε το μήκος επεξεργασίας (Processing length - P) (Fisher et al, 1998), το οποίο όμως είναι συγκρίσιμο με το μήκος πρόσληψης όπως θα δούμε παρακάτω. Τα θετικά μήκη δείχνουν ότι οι διαδικασίες κατακράτησης επικρατούν των διαδικασιών απεγκλωβισμού και τα αρνητικά μήκη δείχνουν το αντίθετο.

Σε εκείνες τις περιπτώσεις που παρατηρείται μια συνεχής πτώση στη συγκέντρωση θρεπτικών κατά μήκος της περιοχής (δηλ., θετικά μήκη, άρα κατακράτηση θρεπτικών) το υπολογισμένο μήκος επεξεργασίας (P) είναι συγκρίσιμο με το μήκος πρόσληψης θρεπτικών ( $S_w$ ). Εντούτοις, αναμένεται ότι αυτή η τιμή μπορεί να είναι μεγαλύτερη από αυτή που λαμβάνεται από τις προσθήκες διαλυτής ουσίας, επειδή σε αυτήν την περίπτωση η πτώση των

θρεπτικών συνυπολογίζει και τις διαδικασίες κατακράτησης και τις διαδικασίες απεγκλωβισμού.

Για την μέτρηση της κατακράτησης των θρεπτικών του ποταμού, χρησιμοποιήθηκαν οι διατομές 7-19, οι οποίες βρίσκονται μετά την είσοδο των θρεπτικών (Εικόνα 1). Σαν καθαρός σταθμός δεν χρησιμοποιήθηκε ο σταθμός Α, αλλά μια διατομή (6a), η οποία τοποθετήθηκε επιπλέον πριν από την είσοδο των θρεπτικών ρύπων. Δείγματα νερού συλλέχθηκαν από τις διατομές 7-19, αλλά και από τη διατομή 6a σε κάθε δειγματοληψία. Τα δείγματα συντηρήθηκαν σε πάγο μέχρι να ολοκληρωθούν οι αναλύσεις για  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$  και  $\text{Cl}$  (ΑΡΗΑ 1992). Το  $\text{Cl}$  χρησιμοποιήθηκε ως συντηρητικό στοιχείο - ανιχνευτής αφού δεν κατακρατείται και μπορεί να δώσει πληροφορίες για τυχόν διάχυση από παράπλευρες εισροές νερού.

➤ Η εκτίμηση του μήκους επεξεργασίας (P)

Υπολογίζεται η αναλογία μεταξύ της συγκέντρωσης διαλυτής ουσίας (που διορθώνεται από τη συγκέντρωση στο σημείο επάνω από τα απόβλητα που εισάγονται) στη διατομή X, και της συγκέντρωσης διαλυτής ουσίας στη διατομή 7 ( $C_x:C_7$ ) για όλες τις διατομές ( $x_n$ ) και όλες τις διαλυτές ουσίες (αμμώνιο, νιτρικό άλας, φωσφορικό άλας, και χλώριο). Για κάθε θρεπτικό υπολογίζεται ο φυσικός λογάριθμος της αναλογίας θρεπτικού προς την αναλογία χλωρίου για κάθε διατομή. Σχεδιάζονται οι τιμές του φυσικού λογαρίθμου προς την απόσταση και υπολογίζεται η κλίση της καμπύλης χρησιμοποιώντας μια προσέγγιση γραμμικής παλινδρόμησης. Εάν τα αποτελέσματα από την παλινδρόμηση είναι στατιστικά σημαντικά, υπολογίζεται το αρνητικό αντίστροφο της κλίσης. Αυτή η τιμή είναι το μήκος επεξεργασίας (processing length-P). Τα θετικά μήκη δείχνουν ότι υπάρχει μια βαθμιαία μείωση στη συγκέντρωση θρεπτικού (που διορθώνεται για τη

διάλυση) κατά μήκος της περιοχής. Αυτές οι τιμές είναι παρόμοιες με τα μήκη πρόσληψης θρεπτικών ( $S_w$ ). Τα αρνητικά μήκη δείχνουν ότι υπάρχει μια βαθμιαία αύξηση στη συγκέντρωση θρεπτικών κατά μήκος της περιοχής.

➤ Η εκτίμηση του ρυθμού πρόσληψης ( $U$ ) και του συντελεστή μεταφοράς μάζας ( $V_f$ )

Στην περίπτωση που τα μήκη είναι θετικά, μπορεί επίσης να υπολογιστεί ο ρυθμός πρόσληψης ( $U$ ) και ο συντελεστής μεταφοράς μάζας ( $V_f$ ). Ο ρυθμός πρόσληψης ανά επιφάνεια του πυθμένα υπολογίζεται βάση του παρακάτω τύπου:

$$U = C_b * Q * 60 / P * w$$

όπου  $U$  είναι ο ρυθμός πρόσληψης ( $\text{mg m}^{-2} \text{min}^{-1}$ ),  $C_b$  είναι η υπάρχουσα συγκέντρωση θρεπτικού ( $\text{mg/l}$ ),  $Q$  είναι η παροχή του ποταμού ( $\text{lt/s}$ ),  $P$  είναι το μήκος επεξεργασίας ( $\text{m}$ ),  $w$  είναι το μέσο πλάτος του ποταμού ( $\text{m}$ ) και το 60 είναι μια σταθερά μετατροπής των δευτερολέπτων σε λεπτά.

Ο συντελεστής μεταφοράς μάζας ( $V_f$ ,  $\text{m/s}$ ) υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$V_f = (d * v) / P$$

όπου  $d$  είναι το μέσο βάθος του ποταμού ( $\text{m}$ ) και  $v$  είναι η μέση ταχύτητα του νερού ( $\text{m/s}$ ).

## 2.4.2 Μετρήσεις κατακράτησης θρεπτικών

Εργασία εφαρμόσιμη στους σταθμούς A και B

Για να βεβαιωθεί η ικανότητα του ποταμού να κατακρατεί θρεπτικά ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ , και  $\text{PO}_4\text{-P}$ ), σε κάθε ημερομηνία δειγματοληψίας πραγματοποιήθηκαν τεχνικές έγχυσης θρεπτικών. Σε αυτές προστέθηκαν στο ποτάμι γνωστές ποσότητες μείγματος θρεπτικών. Η μία περιείχε  $\text{NH}_4^+ + \text{PO}_4\text{H}_2^- + \text{Cl}^-$  και η δεύτερη περιέχει  $\text{NO}_3^- + \text{PO}_4\text{H}_2^- + \text{Cl}^-$ . Είναι προτιμητέο να προηγηθεί η προσθήκη αμμωνίου. Το φωσφορικό άλας προστίθεται και στις δύο προσθήκες για να συνεχίσουν τα προκύπτοντα N:P ποσοστά να είναι παρόμοια για το ποτάμι, εντούτοις, το μήκος πρόσληψης ( $S_w$ ) φωσφορικού άλατος υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τα στοιχεία μόνο από την πρώτη προσθήκη. Μια παρόμοια αύξηση στη συγκέντρωση φωσφόρου χρησιμοποιείται και για τις δύο προσθήκες. Σε κάθε έγχυση προστίθεται και Cl, το οποίο χρησιμοποιείται σαν στοιχείο αναφοράς ή ανιχνευτής καθ'όσον δεν κατακρατείται από το ποτάμι και μπορεί να δώσει πληροφορίες για τη διάλυση και τη διάχυση. Επίσης χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της παροχής και της ταχύτητας του ποταμού, όπως θα αναφέρουμε παρακάτω. Οι εγχύσεις παρέχουν δύο τύπους πληροφοριών:

- Οι προσθήκες των θρεπτικών ουσιών συν τον συντηρητικό ανιχνευτή παρέχουν πληροφορίες για την κατακράτηση των θρεπτικών κατά μήκος κάθε σταθμού (δηλ., μήκος πρόσληψης, ρυθμός πρόσληψης και συντελεστές μεταφοράς μάζας).
- Οι προσθήκες του συντηρητικού ανιχνευτή παρέχουν παράλληλα πληροφορίες και για τις υδραυλικές ιδιότητες του ποταμού (παροχή, ταχύτητα).

**Αυτές οι εγχύσεις πραγματοποιούνται με τη μέθοδο του σταθερού ρυθμού (short-term addition) (Hauer & Lamberti 1996). Εντούτοις, εάν τα**

αντιδραστήρια που απαιτούνται για να αυξήσουν την υπάρχουσα συγκέντρωση θρεπτικών στο ποτάμι, είναι πολύ υψηλά, γεγονός που δεν ενδείκνυται λόγω των επιπτώσεων στο ποτάμι, τότε χρησιμοποιείται μια παρόμοια μέθοδος κατά την οποία η έγχυση γίνεται σε γρήγορο χρονικό διάστημα (slug addition).

Πώς προετοιμάζεται το ποσό θρεπτικής ουσίας που χρησιμοποιείται στη διάλυση που προστίθεται στον πειραματικό σταθμό;

Το ποσό θρεπτικής ουσίας που χρησιμοποιείται στην έγχυση με σταθερό ρυθμό για να φθάσει αυξηθεί η υπάρχουσα συγκέντρωση θρεπτικού στο ποτάμι και να φτάσει σε μια ορισμένη συγκέντρωση, υπολογίζεται βάσει μιας προσέγγισης ισορροπίας μαζών:

$$F_r = F_a + F_w$$

όπου  $F_r$  είναι η επακόλουθη θρεπτική ροή (mg/s) στο ποτάμι κατά τη διάρκεια της προσθήκης στο plateau,  $F_w$  είναι η θρεπτική ροή στο ρεύμα πριν από την προσθήκη, και το  $F_a$  είναι η θρεπτική ροή από την αντλία (δηλ., είναι ο ρυθμός με τον οποίο η διάλυση προστίθεται στο ποτάμι). Μπορεί να υποτεθεί ότι η παροχή κατά τη διάρκεια της προσθήκης ( $Q_r$ , L/s) είναι το άθροισμα της παροχής του ποταμού ( $Q_w$ , L/s) και του ρυθμού προσθήκης της διάλυσης ( $Q_a$ , L/s). Αντικαθιστώντας τη ροή με τη συγκέντρωση ( $C$ , mg/L) επί την παροχή ( $Q$ , L/s) και χρησιμοποιώντας τον όρο  $Q_r = Q_w + Q_a$  στην προηγούμενη εξίσωση, αυτή η εξίσωση μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$C_r * (Q_w + Q_a) = (C_a * Q_a) + (C_w * Q_w)$$

Για την αύξηση της συγκέντρωσης θρεπτικών στο ποτάμι ( $C_w$ )  $X$  φορές, η προκύπτουσα συγκέντρωση θρεπτικού στο ποτάμι κατά τη διάρκεια της προσθήκης ( $C_r$ ) μπορεί να εκφραστεί ως  $XC_w$ . Η συγκέντρωση της θρεπτικής ουσίας στη διάλυση υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την εξίσωση:

Το ποσό αντιδραστηρίου που χρειάζεται να χρησιμοποιηθεί για να ληφθεί η υπολογισμένη συγκέντρωση στη διάλυση θα είναι:

$$C_a * (\text{mg αντιδραστηρίου} / \text{mg στοιχείου}) = \text{mg αντιδραστηρίου} / L$$
$$\text{mg αντιδραστηρίου} / L * \text{όγκος της διάλυσης (L)} = \text{mg αντιδραστηρίου}$$

Αυτή η προσέγγιση ισορροπίας μαζών εφαρμόζεται επίσης για τον υπολογισμό του ποσού συντηρητικού ανιχνευτή (π.χ., NaCl) που προστίθεται στη διάλυση. Εντούτοις, σε αυτήν την περίπτωση οι επακόλουθες συγκεντρώσεις δεν είναι τόσο κρίσιμες όσο εκείνες για τις θρεπτικές ουσίες. Το μόνο είναι ότι πρέπει να δοθεί προσοχή στο να μην αυξηθεί η αλατότητα, για να αποφευχθεί οποιαδήποτε αρνητική επίδραση στη βιοκοινότητα.

Η μέθοδος υπολογισμού του ποσού θρεπτικής ουσίας που απαιτείται στην 'στιγμιαία' έγχυση είναι παρόμοια με αυτήν για την έγχυση με σταθερό ρυθμό και χρησιμοποιεί επίσης μια προσέγγιση ισορροπίας μαζών. Η διαφορά μεταξύ των δύο τεχνικών είναι ότι σε αυτήν την περίπτωση χρειάζεται η μαζική ισορροπία να γίνει σε μια ογκομετρική βάση χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση:

$$C_{\text{resultant}} * V_{\text{resultant}} = (C_{\text{addition}} * V_{\text{addition}}) + (C_{\text{stream}} * V_{\text{cell}})$$

Όπου,  $C$  είναι συγκέντρωση διαλυτής ουσίας (δηλ.,  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$ ,  $\text{Cl}$ ) και  $V$  είναι ο όγκος του ύδατος.



Το  $C_{\text{resultant}}$  είναι η υψηλότερη αναμενόμενη συγκέντρωση στο κατώτατο σημείο της περιοχής μετά από της έγχυσης.

Το  $V_{\text{resultant}}$  είναι ο όγκος του ύδατος "cell" , στον οποίο το διάλυμα θα έχει αναμιχθεί συν τον όγκο του διαλύματος έγχυσης.

Το  $C_{\text{addition}}$  είναι η συγκέντρωση της διαλυτής ουσίας που προστίθεται. Αυτός είναι ο άγνωστος αυτής της εξίσωσης.

Το  $V_{\text{addition}}$  είναι ο όγκος του ύδατος που θα προστεθεί στο ποτάμι. Αυτός είναι ο όγκος του ύδατος στο δοχείο.

Το  $C_{\text{stream}}$  είναι η υπάρχουσα συγκέντρωση διαλυτής ουσίας στο ποτάμι.

Το  $V_{\text{cell}}$  είναι ο όγκος του ύδατος του ποταμού που περιλαμβάνεται σε ένα "cell" στο οποίο η θρεπτική ουσία θα αναμιχθεί για να οδηγήσει σε μια μετρήσιμη, αλλά όχι υψηλή, αύξηση της συγκέντρωσης διαλυτής ουσίας στο κατώτατο σημείο της περιοχής. Η εκτίμηση αυτού του όγκου ύδατος είναι λίγο δυσνόητη επειδή χρειάζεται να ληφθεί υπόψη ότι:

- α) τα αντιδραστήρια θα προστεθούν όλα συγχρόνως στο ποτάμι
- β) το slug διαλυτής ουσίας θα διασκορπιστεί καθώς θα ταξιδεύει προς τα κάτω.

Επομένως, ακόμα και καμία θρεπτική κατακράτηση να μην συμβαίνει κατά μήκος της περιοχής, η μέγιστη επακόλουθη συγκέντρωση στο κατώτατο σημείο της περιοχής θα είναι κάπως χαμηλότερη από τη μέγιστη συγκέντρωση λίγα μέτρα κάτω από το σημείο προσθήκης.

Το επιλεγμένο  $V_{\text{cell}}$  ( $\text{m}^3$ ) θα είναι επομένως κάπως εξαρτώμενο από την ταχύτητα ύδατος και την παροχή του ποταμού. Για να υπολογιστεί αυτός ο όγκος, χρειάζεται η μέση ταχύτητα ύδατος ( $v$ ,  $\text{m/s}$ ), το πλάτος του υγρού καναλιού ( $w$ ,  $\text{m}$ ) στο σημείο προσθηκών και την παροχή του ποταμού ( $Q$ ,  $\text{m}^3/\text{s}$ ).

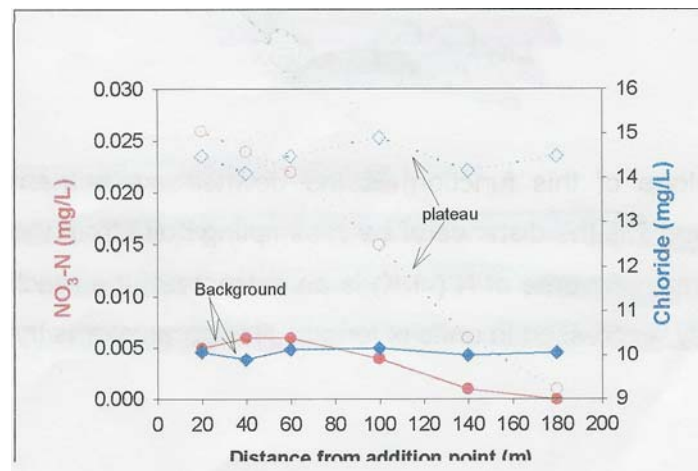
$$V_{\text{cell}} = (Q/v) * w$$

Από αυτήν την εξίσωση μπορεί να προσεγγιστεί το  $C_{\text{addition}}$  που θα έχει μονάδες mg διαλυτής ουσίας/lit. Αυτή η συγκέντρωση πρέπει να μεταφραστεί στη συγκέντρωση του συγκεκριμένου αντιδραστηρίου χρησιμοποιώντας τον κατάλληλο παράγοντα μετατροπής. Μόλις υπολογιστεί η συγκέντρωση του αντιδραστηρίου, αυτή η τιμή πρέπει να πολλαπλασιαστεί με το συνολικό ποσό ύδατος ( $V_{\text{addition}}$ ) που προστίθεται στο ποτάμι. Αυτή η τελική τιμή είναι το ποσό αντιδραστηρίου που απαιτείται για την έγχυση.

### ➤ Το μήκος πρόσληψης θρεπτικών ( $S_w$ )

#### Στην έγχυση με σταθερό ρυθμό

Το Stream Solute Workshop (1990) παρουσιάζει τον τρόπο υπολογισμού του μήκους πρόσληψης θρεπτικών, που βασίζεται στα στοιχεία που συλλέγονται από τις εγχύσεις θρεπτικών σταθερού ρυθμού. Η βάση αυτού του υπολογισμού είναι η σύγκριση του πρότυπου της συγκέντρωσης του ανιχνευτή (Cl) και της συγκέντρωσης του θρεπτικού κατά μήκος της περιοχής (Εικόνα 3).



**Εικόνα 3:** Σύγκριση διακυμάνσεων συγκέντρωσης ενός θεραπευτικού ιόντος (π.χ.  $\text{NO}_3$ ) και ανιχνευτή (Cl) σε σχέση με την απόσταση από το σημείο έγχυσης

Εάν η θεραπευτική ουσία που προστίθεται με την έγχυση δεν κατακρατείται κατά μήκος της περιοχής μελέτης, τότε οι μειώσεις στη συγκέντρωση θεραπευτικού στο plateau θα ακολουθούν ένα παρόμοιο πρότυπο με τις μειώσεις στη συγκέντρωση του ανιχνευτή στο plateau

Εντούτοις, εάν οι μειώσεις στη συγκέντρωση θεραπευτικής ουσίας που προστέθηκε με τις εγχύσεις στο plateau είναι εντονότερες από εκείνες της συγκέντρωσης ανιχνευτή στο plateau (π.χ., Εικόνα 3), τότε αυτές οι αλλαγές αποδίδονται στο ότι οι ποσότητες θεραπευτικής ουσίας έχουν κατακρατηθεί.

Για να υπολογιστεί το μήκος πρόσληψης θεραπευτικού, ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία: Η συγκέντρωση θεραπευτικού σε συνθήκες plateau ( $C_p$ ) πρέπει να διορθωθεί από την υπάρχουσα συγκέντρωση ( $C_b$ ) σε κάθε σημείο δειγματοληψίας. Η διορθωμένη τιμή υπολογίζεται με την αφαίρεση της υπάρχουσας συγκέντρωσης από τη συγκέντρωση plateau σε κάθε σημείο (δηλ.,  $(C_p - C_b)_x$ ). Αυτή η διαφορά θα μειωθεί βαθμιαία κατά μήκος της περιοχής εάν υπάρχει κατακράτηση θεραπευτικής ουσίας. Η συγκέντρωση ανιχνευτή πρέπει επίσης να διορθωθεί με την αφαίρεση της υπάρχουσας συγκέντρωσης ( $T_b$ ) από τη συγκέντρωση plateau ( $T_p$ ) σε κάθε σημείο δειγματοληψίας. Εάν η περιοχή δεν έχει οποιεσδήποτε πλευρικές ή κάθετες εισόδους ύδατος, η διορθωμένη συγκέντρωση χλωρίου (δηλ.,  $(T_p - T_b)_x$ ) πρέπει να είναι παρόμοια σε όλα τα σημεία δειγματοληψίας.

Μόλις διορθωθούν οι συγκεντρώσεις, υπολογίζεται η αναλογία της διορθωμένης θεραπευτικής ουσίας προς το διορθωμένο ανιχνευτή σε κάθε σημείο. Εάν η θεραπευτική

ουσία αφαιρείται βιοτικά ή αβιοτικά, αυτή η αναλογία θα ακολουθήσει μια αρνητική εκθετική καμπύλη κατά μήκος της περιοχής. Υποθέτοντας ένα σταθερό ρυθμό πρόσληψης κατά μήκος της περιοχής, η ακόλουθη εξίσωση περιγράφει την αλλαγή κατά μήκος της περιοχής του φυσικού λογαρίθμου αυτής της αναλογίας:

$$\ln \left[ \frac{C_p - C_b}{T_p - T_b} \right]_x = - Kx$$

Όπου το K (η κλίση αυτής της εξίσωσης) είναι ο συντελεστής θρεπτικής αλλαγής (nutrient change coefficient - m<sup>-1</sup>) και το x είναι η απόσταση των διατομών από το σημείο έγχυσης (m). Το αρνητικό αντίστροφο του K (-1/K) είναι μια εκτίμηση της κατακράτησης θρεπτικών της περιοχής, που εκφράζεται σε μονάδες μήκους. Αυτή η παράμετρος είναι το μήκος πρόσληψης θρεπτικών (S<sub>w</sub>, m). Μικρές αποστάσεις δείχνουν μεγάλη κατακράτηση θρεπτικών.

### “Στιγμιαία” έγχυση

Με αυτήν την μέθοδο υπολογίζεται άμεσα ο ρυθμός πρόσληψης θρεπτικού, αλλά όχι το μήκος πρόσληψης θρεπτικού. Σε αυτήν την περίπτωση, το μήκος πρόσληψης θρεπτικού υπολογίζεται βάση της σχέσης μεταξύ αυτής της παραμέτρου και του ρυθμού πρόσληψης θρεπτικού, όπως υποδεικνύεται στην ακόλουθη εξίσωση:

$$U = \frac{C_b \cdot Q}{S_w \cdot w} \cdot 60$$

### ➤ Υπολογισμός ρυθμού πρόσληψης (U)

Στην έγχυση με σταθερό ρυθμό

Μόλις υπολογίσουμε το μήκος πρόσληψης θρεπτικών (m), ο ρυθμός πρόσληψης θρεπτικών ανά μονάδα επιφάνειας του πυθμένα του ποταμού μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση:

$$U = \frac{C_b \cdot Q}{S_w \cdot w} \cdot 60$$

όπου U είναι ο ρυθμός πρόσληψης θρεπτικών (mg m<sup>-2</sup> min<sup>-1</sup>), C<sub>b</sub> είναι η υπάρχουσα συγκέντρωση θρεπτικών (mg/l), Q είναι παροχή του ποταμού (lt/s), S<sub>w</sub> είναι το μήκος πρόσληψης θρεπτικών (m), w είναι το μέσο πλάτος του ποταμού στο σταθμό (m), και 60 είναι μια σταθερά για τη μετατροπή των δευτερολέπτων σε λεπτά.

Ένας εναλλακτικός τύπος για να υπολογιστεί ο ρυθμός πρόσληψης θρεπτικών στα περιβαλλοντικά επίπεδα που βασίζεται στο μήκος πρόσληψης θρεπτικών είναι (Stream Solute Workshop, 1990):

$$U = \frac{C_b \cdot h \cdot v}{S_w} \cdot 60$$

όπου U είναι ο ρυθμός πρόσληψης θρεπτικών (mg m<sup>-2</sup> min<sup>-1</sup>), C<sub>b</sub> είναι η υπάρχουσα συγκέντρωση θρεπτικών (mg/m<sup>3</sup>), v είναι η μέση ταχύτητα του ποταμού (m/s), h είναι το μέσο βάθος του ποταμού (m), S<sub>w</sub> είναι το μήκος πρόσληψης θρεπτικών (m), w είναι το μέσο πλάτος του ποταμού στο σταθμό (m), και 60 είναι μια σταθερά για τη μετατροπή των δευτερολέπτων σε λεπτά.

### **“Στιγμιαία” έγχυση**

Ο ρυθμός πρόσληψης μπορεί να υπολογιστεί με αυτή τη μέθοδο χρησιμοποιώντας τις αλλαγές στη συγκέντρωση θρεπτικού κατά τη διάρκεια του χρόνου, που μετριέται στο κατώτατο σημείο του σταθμού.

Οι αποκτηθείσες θρεπτικές συγκεντρώσεις πρέπει να διορθωθούν πρώτα από τις υπάρχουσες συγκεντρώσεις. Αυτό γίνεται με την αφαίρεση της συγκέντρωσης θρεπτικού που μετριέται ακριβώς πριν από την προσθήκη από τις υπόλοιπες τιμές που λαμβάνονται από τα δείγματα που συλλέγονται μετά από την προσθήκη. Χρησιμοποιώντας τις διορθωμένες συγκεντρώσεις υπολογίζεται η περιοχή κάτω από την καμπύλη συγκέντρωσης - προς χρόνο. Αυτή η τιμή θα έχει τις μονάδες  $\text{mg}/\text{lt s}$ . Η συνολική μάζα της προστιθέμενης θρεπτικής ουσίας που ανακτάται στο κατώτατο σημείο της περιοχής ( $\text{mg}$ ) θα υπολογιστεί με τον πολλαπλασιασμό της περιοχής ( $\text{mg}/\text{lt}$ ) με την παροχή του ποταμού ( $\text{lt}/\text{s}$ ).

Ο ρυθμός πρόσληψης θρεπτικού ( $\text{mg m}^{-2} \text{min}^{-1}$ ) θα υπολογιστεί από τη διαφορά μεταξύ του ποσού θρεπτικής ουσίας που προστίθεται στο ποτάμι και αυτού που ανακτάται στο κατώτατο σημείο της περιοχής, διαιρεμένο με την επιφάνεια του βυθού (υγρή περίμετρος επί το μήκος της περιοχής της περιοχής,  $\text{m}^2$ ) και με τη διάρκεια της έγχυσης.

➤ **Ο συντελεστής του ρυθμού πρόσληψης θρεπτικών ( $K_c$ ) και ο συντελεστής μεταφοράς μάζας ( $V_f$ )**

Αλλαγές στην ταχύτητα και την παροχή ύδατος μπορούν να επηρεάσουν το μήκος πρόσληψης θρεπτικών (Butturini και Sabater, 1998). Η διόρθωση της τιμής για αυτές τις υδρολογικές παραμέτρους είναι χρήσιμη προκειμένου να συγκριθεί αυτή η παράμετρος μεταξύ των διαφορετικών ποτάμιων οικοσυστημάτων, ή μεταξύ των διαφορετικών ημερομηνιών σε ένα ποτάμι. Ο συντελεστής του ρυθμού πρόσληψης θρεπτικών ( $K_c$ ,  $1/\text{s}$ ) περιγράφει την πρόσληψη σε μια ογκομετρική βάση αντί ως ροή στο κατώτατο σημείο του ποταμού. Αυτή η παράμετρος σχετίζεται με το μήκος πρόσληψης θρεπτικών ως εξής:

$$K_c = \frac{v}{S_w}$$

Όπου  $S_w$  είναι το μήκος πρόσληψης θρεπτικών (m) και το  $v$  είναι η μέση ταχύτητα ύδατος (m/s).

Ο συντελεστής μεταφοράς μάζας ( $V_f$ , m/s) είναι η κάθετη ταχύτητα με την οποία μια διαλυτή ουσία μεταναστεύει μέσω της επιφάνειας αλληλεπίδρασης ιζήματος-ύδατος. Αυτή η παράμετρος σχετίζεται με τον συντελεστή του ρυθμού πρόσληψης θρεπτικών ( $K_c$ , 1/s) μέσω του μέσου βάθους ύδατος ( $d$ , m) ως εξής:

$$V_f = d * K_c = (d * v) / S_w$$

➤ **Υδρολογικές και υδραυλικές παράμετροι που μπορούν να υπολογιστούν χρησιμοποιώντας τα στοιχεία του ανιχνευτή:**

➤ **ταχύτητα ύδατος ( $v$ )**

Αυτή η παράμετρος μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τις αλλαγές στη συγκέντρωση ανιχνευτή ή στην αγωγιμότητα κατά τη διάρκεια του χρόνου στο κατώτατο σημείο της περιοχής για το άκρο αύξησης της καμπύλης. Η μορφή αυτής της καμπύλης εξαρτάται από την ποικιλομορφία των ταχυτήτων ύδατος μέσα στο κανάλι. Εάν το άκρο αύξησης της καμπύλης είναι απότομο, η ταχύτητα ύδατος είναι σχετικά ομοιογενής στην περιοχή εντούτοις, όσο λιγότερο απότομο είναι το άκρο αύξησης τόσο πιο ετερογενής είναι η περιοχή είναι από την άποψη της ταχύτητας ύδατος. Επομένως, ο υπολογισμός της ταχύτητας ύδατος από αυτήν την τεχνική παρέχει ένα ενσωματωμένο μέτρο αυτής της παραμέτρου για ολόκληρη την περιοχή. (Gordon et al 1992)

➤ **Παροχή (Q)**

Ο υπολογισμός αυτής της παραμέτρου από τα στοιχεία ανιχνευτή είναι βασισμένος στην προσέγγιση ισορροπίας μαζών του ανιχνευτή στην οποία η παροχή εκφράζεται ως εξής:

$$Q = \frac{Q_a \cdot (C_a - C_r)}{C_r - C_w}$$

Όπου Q είναι η παροχή του ποταμού (L/s), το  $Q_a$  είναι ο ρυθμός προσθήκης (L/s),  $C_a$  είναι η συγκέντρωση ανιχνευτή της προστιθέμενης διάλυσης (mg/L),  $C_r$  είναι η συγκέντρωση ανιχνευτή στο plateau στο κατώτατο σημείο δειγματοληψίας (mg/L), και το  $C_w$  είναι η background συγκέντρωση ανιχνευτή στο κατώτατο σημείο δειγματοληψίας (mg/L).



## 2.5 Βιομάζα περίφυτου

Τα στοιχεία από αυτήν την εργασία επιτρέπουν:

- Να εξεταστεί η επίδραση των σημειακών πηγών ρύπανσης στο περίφυτον.
- Να εξεταστεί ο ρόλος του περίφυτου στη δυναμική των θρεπτικών του ποταμού, συσχετίζοντας τη βιομάζα του και τα ποσά των φωτοσυνθετικών του χρωστικών με την ικανότητα κατακράτησης θρεπτικών.
- Να συμπληρωθούν τα στοιχεία για τον τροφικό ιστό, εξετάζοντας τις αυτόχθονες πηγές τροφής για τους καταναλωτές.

Δείγματα για τον υπολογισμό της βιομάζας του περίφυτου και της χλωροφύλλης α που περιέχει, συλλέχθηκαν σε κάθε ημερομηνία δειγματοληψίας και στους δύο σταθμούς. Σε κάθε σταθμό πήραμε 6 δείγματα, ένα ανά διατομή. Όλα τα δείγματα έπρεπε να συλλεχθούν σε μια βάση περιοχής. Στη συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιήθηκε corer γνωστής εσωτερικής διαμέτρου και συλλέχθηκαν τα 4 πρώτα εκατοστά του ιζήματος.

### ➤ **Μέτρηση του περιεχομένου χλωροφύλλης α**

Το περιεχόμενο των χρωστικών ουσιών, ιδιαίτερα για τη χλωροφύλλη α, παρέχει τις πληροφορίες για τη βιομάζα του περίφυτου που είναι φωτοσυνθετικά ενεργή.

Στα δείγματα προστέθηκε γνωστός όγκος ακετόνης 90%. Μετά από ομογενοποίηση και διήθηση μετρήθηκε η οπτική πυκνότητα (OD) των δειγμάτων στα 750, 665 και 664 nm.

Μόλις γίνουν όλες αυτές οι μετρήσεις, το εκχύλισμα οξύνεται σε δοκιμαστικό σωλήνα με 0,1 ml 0,1 N HCl. Κατόπιν το δείγμα ταράσσεται ήπια, υπάρχει περίοδος αναμονής 90 s, και καταμετρείται η OD σε 750 και 665 nm.

Η συγκέντρωση της χλωροφύλλης α ανά μονάδα εμβαδού δείγματος ( $\text{gr}/\text{cm}^2$ ) κάθε δείγματος υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την παρακάτω εξίσωση:

$$\text{Chlorophyll a (gr/cm}^2\text{)} = 26,7 (E_{664b} - E_{665a}) L V_{\text{ext}} / A$$

Όπου:  $E_{664b}$  είναι η OD στα 664 nm μείον την OD στα 750 nm πριν την οξίνιση.  $E_{665a}$  είναι η OD στα 665 nm μείον την OD στα 750 nm μετά την οξίνιση.  $V_{\text{ext}}$  είναι ο όγκος της ακετόνης 90% που χρησιμοποιείται για την εκχύλιση (ml),  $L$  είναι το μήκος που διανύει το φως μέσα στην κυβέττα (1cm), 26,7 είναι η διόρθωση της απορρόφησης για την χλωροφύλλη α, και  $A$  είναι το εμβαδόν της επιφάνειας του δείγματος σε  $\text{cm}^2$ .

Για να συσχετιστεί αυτή η παράμετρος με την κατακράτηση θρεπτικών, θα χρησιμοποιηθεί για κάθε σταθμό η μέση τιμή των 6 επαναλήψεων.

### ➤ **Μετρήσεις βιομάζας**

Αρχικά από τα δείγματα αφαιρέθηκαν τα ασπόνδυλα, για να μην προσμετρηθεί η βιομάζα τους. Κατόπιν μετρήθηκε το ξηρό βάρος των δειγμάτων μετά από 24 h στους  $60^\circ\text{C}$ . Μετά από 4 ώρες στους  $450^\circ\text{C}$  καταγράφηκε και το βάρος της στάχτης.

Υπολογίζεται το AFDM με την αφαίρεση του βάρους της στάχτης από το ξηρό βάρος και εκφράζεται σε δείγμα ανά μονάδα επιφάνειας.

Η βιομάζα του περιψυτού για κάθε σταθμό είναι η μέση τιμή του AFDM των 6 δειγμάτων.

## 2.6 Δομή κοινότητας ασπονδύλων

Ο γενικός στόχος αυτού του μέρους της μελέτης είναι να γίνει κατανοητός ο ρόλος των καταναλωτών στην κατακράτηση θρεπτικών. Η μελέτη στοχεύει να αξιολογήσει:

1. την επίδραση των αυξημένων ποσών θρεπτικών στην δομή της βενθικής κοινότητας
2. την ροή θρεπτικών μέσω του τροφικού ιστού. Το μοντέλο του τροφικού ιστού διαμορφώνεται από τα διαφορετικά «κουτιά», ένα για κάθε τύπο λειτουργικής τροφικής ομάδας (FFG) (functional feeding group).

Πραγματοποιείται μηνιαία δειγματοληψία για την πληρέστερη καταγραφή της δομής της βιοκοινότητας κατά τη διάρκεια του υδρολογικού κύκλου. Η συλλογή των δειγμάτων γίνεται βάση μιας καθορισμένης επιφάνειας, με τη χρήση δειγματολήπτη τύπου Hess. Τα δείγματα που συλλέγονται, ξεπλένονται στο πεδίο και κοσκινίζονται (450 $\mu$ m & 250 $\mu$ m) για να ελαχιστοποιηθεί η συνδεδεμένη ποσότητα ιζημάτων και συντηρούνται σε αιθανόλη 90%.

Σε κάθε σταθμό πρέπει να υπάρχουν εκτιμήσεις της περιοχής του βυθού που καλύπτεται από τους διαφορετικούς τύπους υποστρωμάτων (ή μικρο-βιότοπους) με οπτική παρατήρηση. Αυτά τα στοιχεία λαμβάνονται όπως περιγράφονται στο τμήμα «μορφολογικών και υδραυλικών μετρήσεων». Στην παρούσα μελέτη επιλέχθηκαν 2 μικρο-βιότοποι που θεωρήθηκαν σημαντικοί για τα ασπόνδυλα. Σε κάθε μία από τις 6 διατομές που καθορίζονται για να μετρηθούν τα μορφολογικά και υδραυλικά χαρακτηριστικά συλλέγεται 1 δείγμα ανά μικρο-βιότοπο. Αυτά τα δείγματα αντιμετωπίζονται ως επαναλήψεις (replicates) για

ένα δεδομένο σταθμό, για να υπολογιστεί η χωρική ετερογένεια στην διανομή των μακροασπονδύλων στο σταθμό.

#### ➤ **Αφθονία των ασπονδύλων**

Για κάθε δείγμα, καταγράφεται ο αριθμός ατόμων ανά taxon και διαιρείται με το εμβαδόν της δειγματοληπτικής συσκευής για να υπολογιστεί η πυκνότητα των οργανισμών ανά taxon. Τα δεδομένα από τα έξι δείγματα που συλλέγονται σε ένα σταθμό μπορούν έπειτα να ενοποιηθούν και να βρεθούν οι μέσοι όροι, για να παρέχουν τιμές για όλο τον σταθμό.

Εκτιμάται επίσης η σχετική αφθονία κάθε taxon με τον υπολογισμό του ποσοστού των ατόμων από το συνολικό αριθμό του δείγματος που εμπίπτουν σε κάθε taxon. Επειδή έχουν επιλεγεί 2 μικρο-βιότοποι, οι αφθονίες σε επίπεδο σταθμού υπολογίζονται από τις μέσες αφθονίες για κάθε μικρο-βιότοπο λαμβάνοντας υπόψη την περιοχή που καλύπτεται από αυτόν.

Οι αφθονίες διαφορετικών taxa που ανήκουν σε ένα συγκεκριμένο FFG μπορούν να συνδυαστούν (αριθμητικά προστιθέμενες) για να παρέχουν τις τιμές αφθονίας κάθε FFG. Αυτές οι πληροφορίες επιτρέπουν τον χαρακτηρισμό της δομής της κοινότητας ασπόνδυλων για κάθε πειραματικό σταθμό και τη σύγκριση των τιμών μεταξύ των δύο σταθμών (χρησιμοποιώντας τα στοιχεία από τις 6 διατομές ως επαναλήψεις από κάθε πειραματικό σταθμό).

#### ➤ **Ποικιλότητα**

Η ποικιλότητα σε κάθε σταθμό υπολογίστηκε με τη βοήθεια του δείκτη ποικιλότητας Shannon  $H'$  (Shannon & Weaver 1949), βάση του παρακάτω τύπου:

$$H' = -\sum p_i \log p_i$$

Όπου  $p_i$  είναι το ποσοστό του συνολικού αριθμού των ατόμων στο  $i$  είδος.

Η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του στατιστικού προγράμματος PRIMER 5 του εργαστηρίου Θαλάσσιας Βιολογίας του Plymouth Μεγάλης Βρετανίας. Καταρτίσθηκε μήτρα ομοιοτήτων μεταξύ των δεδομένων της πανίδας, σύμφωνα με τον συντελεστή ομοιότητας των Bray-Curtis (Bray & Curtis 1957), η οποία απεικονίστηκε με την τεχνική της ταξινόμησης (classification). Η ταξινόμηση, μια μαθηματική ομαδοποίηση που σκοπό έχει να βρει “φυσικές ομάδες” βιολογικών δειγμάτων (Whittaker 1971), συγχώνευσε σε αθροίσματα τα βιολογικά δείγματα που είχαν την ίδια αφθονία ζωικών taxa. Η γραφική της παράσταση είναι το δενδρόγραμμα. Τα αθροίσματα που βρίσκονται πιο κοντά στον άξονα  $\chi$ , έχουν τις μεγαλύτερες ομοιότητες. Όσο απομακρυνόμαστε από τον άξονα  $\chi$ , το επίπεδο ομοιότητας μεταξύ των δειγμάτων μειώνεται.

## Κεφάλαιο 3ο Αποτελέσματα

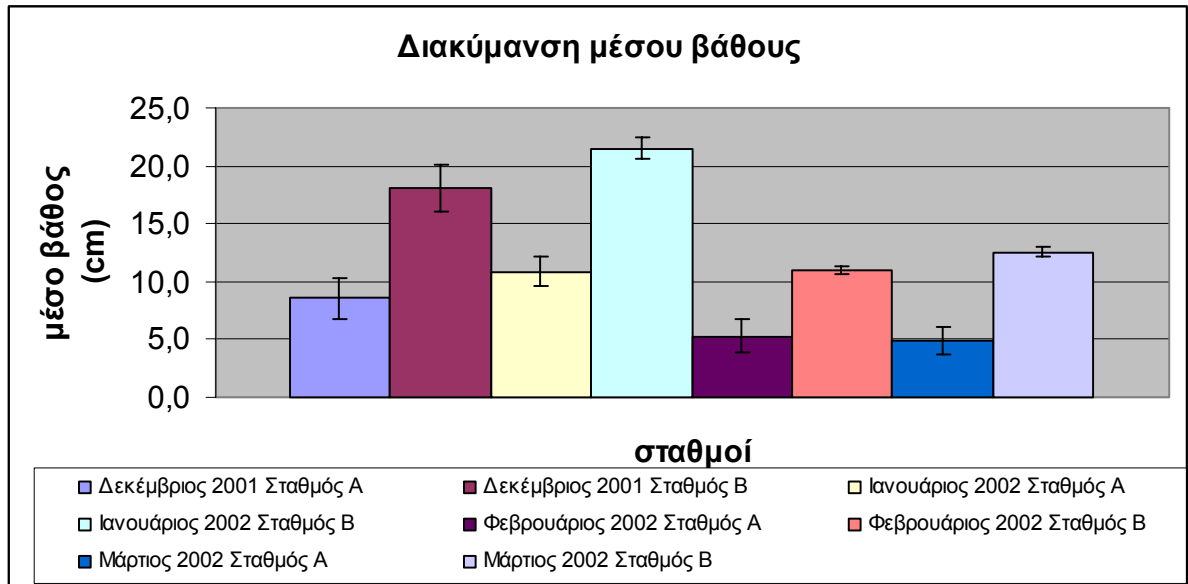
### 3.1 Φυσικοχημικές παράμετροι

Οι υδραυλικές και φυσικοχημικές μετρήσεις στους σταθμούς Α και Β για τους τέσσερις μήνες δειγματοληψίας έδωσαν τα παρακάτω συνολικά αποτελέσματα.

	Δεκέμβριος 2001		Ιανουάριος 2002		Φεβρουάριος 2002		Μάρτιος 2002	
	Σταθμός Α	Σταθμός Β	Σταθμός Α	Σταθμός Β	Σταθμός Α	Σταθμός Β	Σταθμός Α	Σταθμός Β
μέσο πλάτος-w (m)	1,4	3,05	1,57	3,43	1,1	2,08	1,13	2,27
μέσο βάθος-h (cm)	8,6	18,0	10,9	21,5	5,3	11,0	4,9	12,6
μέση παροχή-Q (lt/s)	20,6	152,6	31,58	197,12	5,56	81,1	5,6	82
μέση ταχύτητα-v (m/s)	1,5	1,95	2,5	3	0,1	0,5	0,1	0,5
μέση θερμοκρασία-T (οC)	11	14	10	12	12	14	13	15
μέση αγωγιμότητα (μS/cm)	1012	729	1014	728	1014	727	1025	779
υδραυλικό βάθος-D (m)	0,02	0,03	0,02	0,03	0,01	0,02	0,01	0,02
δείκτης Reynolds-Re	17333	53965	31412	90764	921	9556	969	10340
δείκτης Froude-Fr	3,90	3,50	6,23	5,16	0,29	1,08	0,28	1,04
επιφάνεια βυθού-S (m <sup>2</sup> )	143,29	313,87	162,26	348,31	115,72	217,81	123,33	236,18
περίμετρος-P (m)	1,43	3,14	1,62	3,48	1,16	2,18	1,23	2,36
μέσο εμβαδό κάθετης διατομής-A (m <sup>2</sup> )	0,13	0,57	0,18	0,74	0,06	0,24	0,06	0,30
μέση συγκέντρωση NH <sub>4</sub> -N (mg/lit)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,04
μέση συγκέντρωση NO <sub>3</sub> -N (mg/lit)	10,10	12,77	3,74	11,58	0,54	3,79	0,17	2,87
μέση συγκέντρωση PO <sub>4</sub> -P (mg/lit)	0,01	0,05	0,03	0,04	0,01	0,03	0,02	0,03

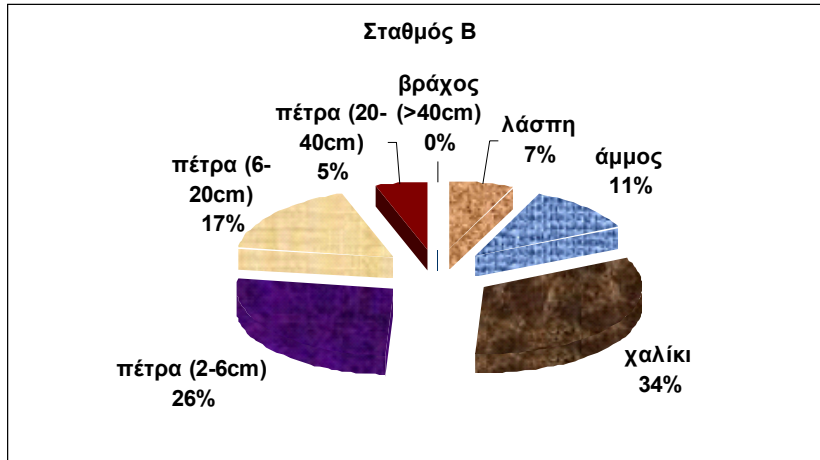
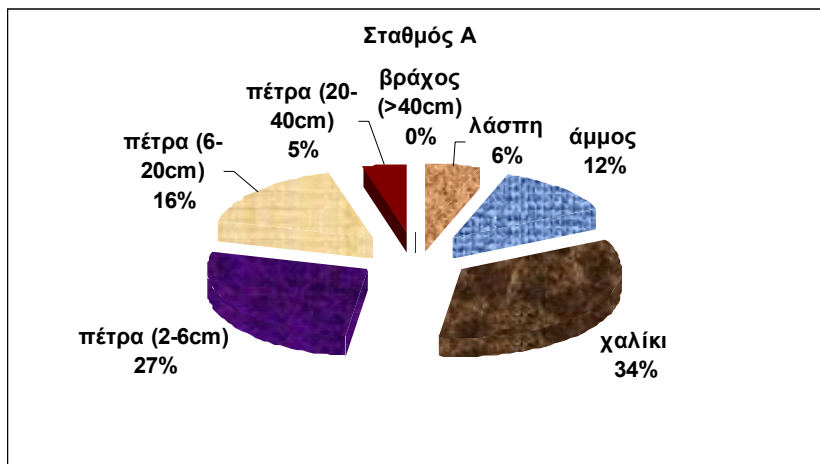
Πίνακας 2: Φυσικοχημικές και υδραυλικές μετρήσεις στους δύο σταθμούς και στους τέσσερις μήνες δειγματοληψίας

Ειδικά για το βάθος (cm) του καναλιού στους δύο σταθμούς, παρατίθεται το παρακάτω διάγραμμα που εμφανίζει το μέσο βάθος ολόκληρου του σταθμού για κάθε μήνα δειγματοληψίας.



**Διάγραμμα 1:** Διακύμανση μέσου βάθους στους δύο σταθμούς για τους τέσσερις μήνες δειγματοληψίας

Η σύνθεση του υποστρώματος εμφανίζεται στα παρακάτω διαγράμματα:



Διαγράμματα 2 & 3: Σύνθεση υποστρώματος



Από τα αποτελέσματα αυτά μπορούν να εξαχθούν τα εξής συμπεράσματα:

- ❖ Ο σταθμός B εμφανίζεται βαθύτερος και φαρδύτερος από τον A
- ❖ Το βάθος του ποταμού στον σταθμό A έχει μεγαλύτερη διακύμανση από τον σταθμό B
- ❖ Η παροχή και η ταχύτητα του νερού είναι μεγαλύτερες στον σταθμό B
- ❖ Η θερμοκρασία στο σταθμό B είναι μεγαλύτερη από το σταθμό A, γιατί η κάλυψη του σταθμού B από την παρόχθια βλάστηση είναι μικρότερη και το φως μπορεί να φτάνει στην επιφάνεια του νερού και να το θερμαίνει
- ❖ Και οι δύο σταθμοί δεν έχουν δυνατό ρεύμα ( $Fr < 1$ ) λόγω της μικρής κλίσης του ποταμού, ενώ η ροή του νερού είναι πολύ τυρβώδης ( $Re > 2000$ )
- ❖ Το υπόστρωμα έχει παρόμοια σύσταση και στους δύο σταθμούς. Κυρίαρχοι τύποι υποστρώματος είναι οι μικρές πέτρες (2-6 cm) και τα χαλίκια (0,2-2 cm).

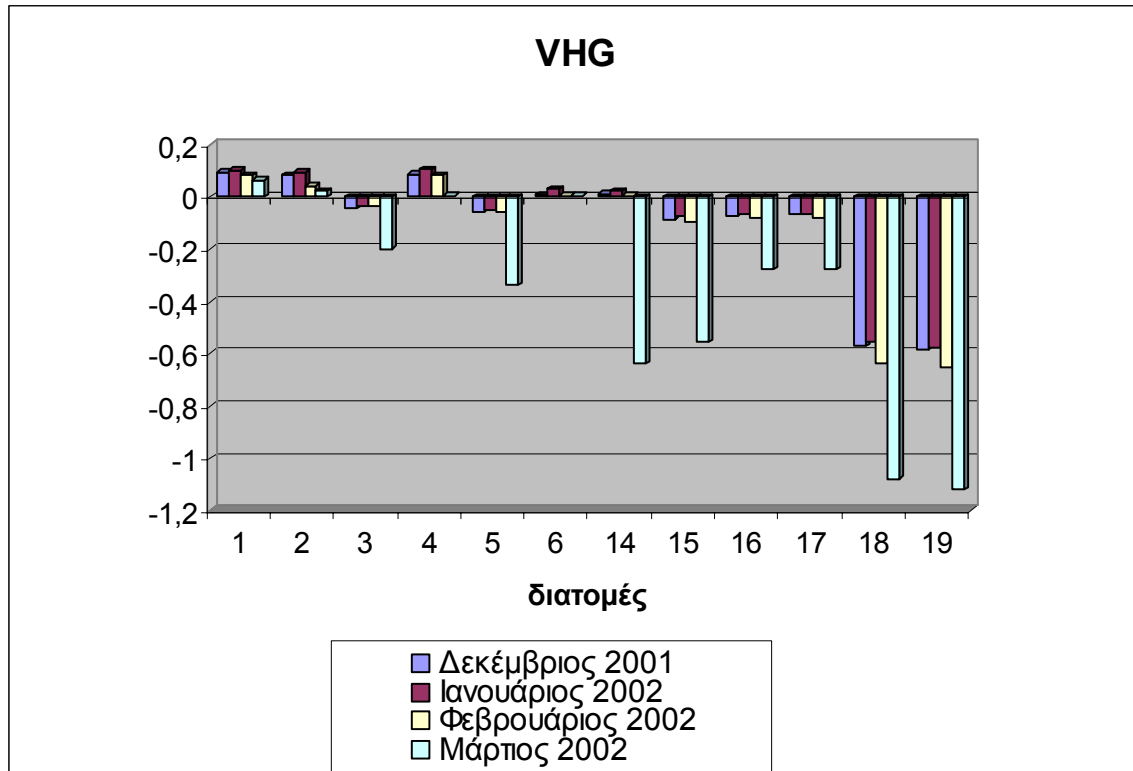
### 3.1.2 Υδραυλικές μετρήσεις κατά τον κατακόρυφο άξονα

Σε αυτό το πεδίο της μελέτης, αρχικά εξετάστηκαν η αγωγιμότητα και η θερμοκρασία επιφανειακού και υπόγειου νερού. (βλ. παράρτημα) Για να συγκριθούν οι τιμές χρησιμοποιήθηκε T-test με  $\alpha = 0,05$ .

Τα αποτελέσματα δεν δείχνουν διαφορές μεταξύ επιφανειακού και υπόγειου νερού, άρα αυτά τα δυο διαμερίσματα αναμιγνύονται καλά.

Κατόπιν μελετήθηκε η κάθετη υδραυλική διαβάθμιση VHG και στους δυο σταθμούς για να βρεθούν τα σημεία όπου το κανάλι κερδίζει νερό από το υπόγειο στρώμα (VHG θετική) και τα σημεία όπου χάνει νερό προς το ίζημα (VHG αρνητική).

Το παρακάτω διάγραμμα δείχνει την τιμή της VHG σε κάθε διατομή (1-6 και 14-19) και για τους τέσσερις μήνες.



**Διάγραμμα 4:** Μέτρηση της κάθετης υδραυλικής διαβάθμισης (VHG)

Όπως είναι εμφανές το ποτάμι χάνει νερό προς τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα καθ'όλο το μήκος του Β σταθμού, ενώ νερό αναβλύζει από το υπόγειο στρώμα μόνο στις διατομές 1,2,4 και 6.

Παράλληλα υπάρχει διαφοροποίηση στην ένταση της ανταλλαγής νερού ανάμεσα στο υπόγειο και το επιφανειακό νερό, όπου ο χειμάρρος εμφανίζεται να κερδίζει λιγότερο και να χάνει περισσότερο νερό το κανάλι όσο περνούσαν οι μήνες.

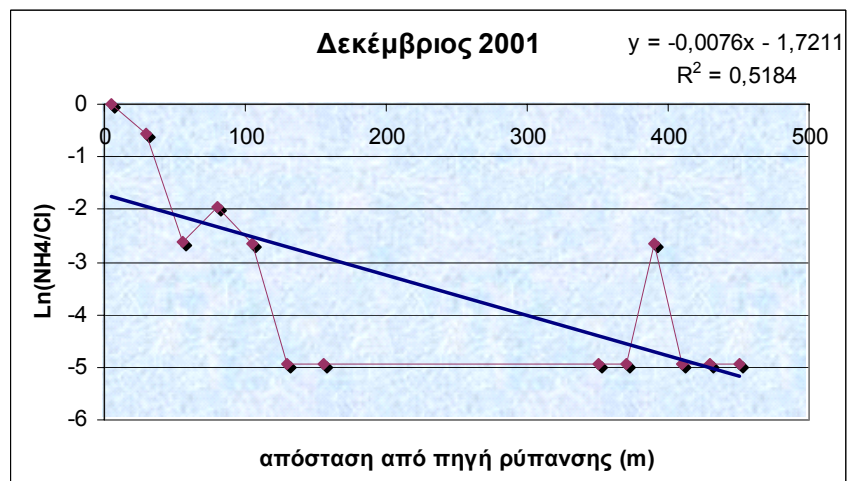
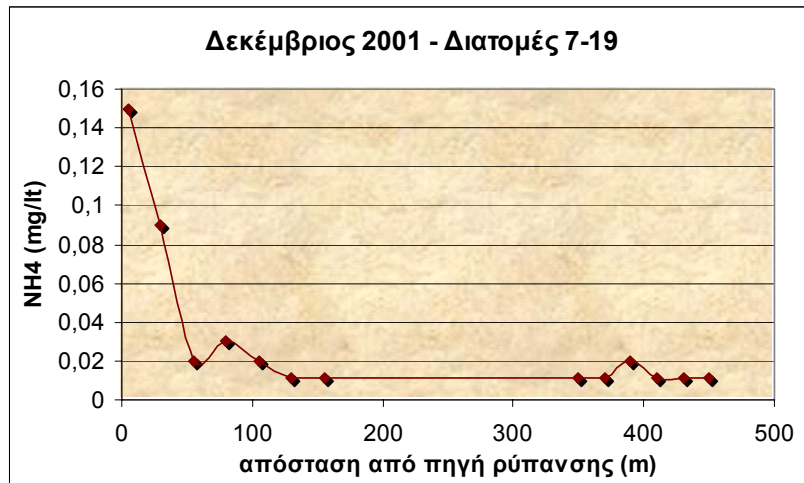
Η υδραυλική αγωγιμότητα  $K$  μετρήθηκε το μήνα Φεβρουάριο και έδωσε τις εξής τιμές:

Διατομές	$K$ (cm/s)
1	0,000001975
2	0,000001906
3	0,000001024
4	0,000001128
5	0,000001455
6	0,000001229
14	0,000002211
15	0,000001106
16	0,000002304
17	0,000002304
18	0,000000747
19	0,000001119

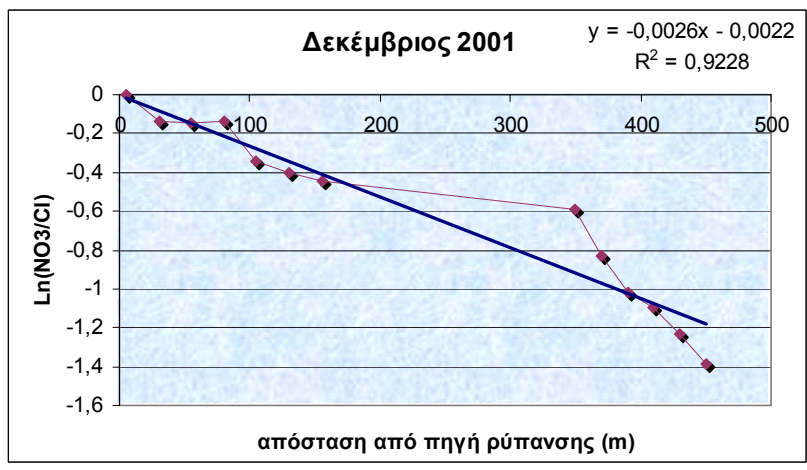
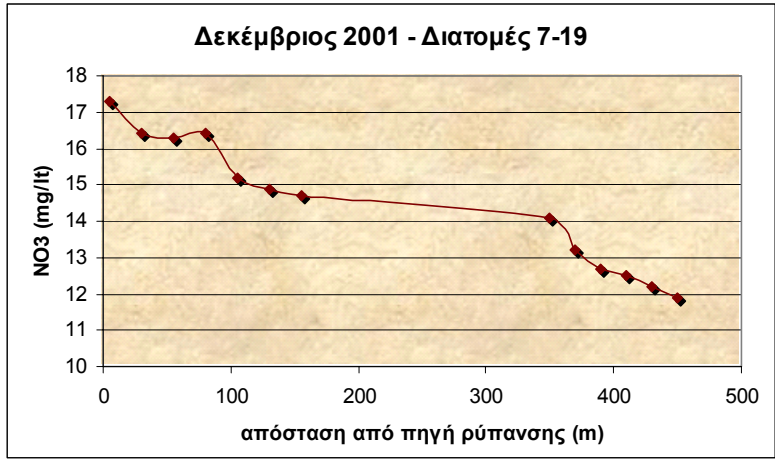
Οι τιμές δείχνουν ότι το ίζημα είναι περατό για το νερό, γεγονός που συμβαδίζει με τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν προηγουμένως.

### 3.2 Ανάλυση της χωρικής διακύμανσης των θρεπτικών ουσιών

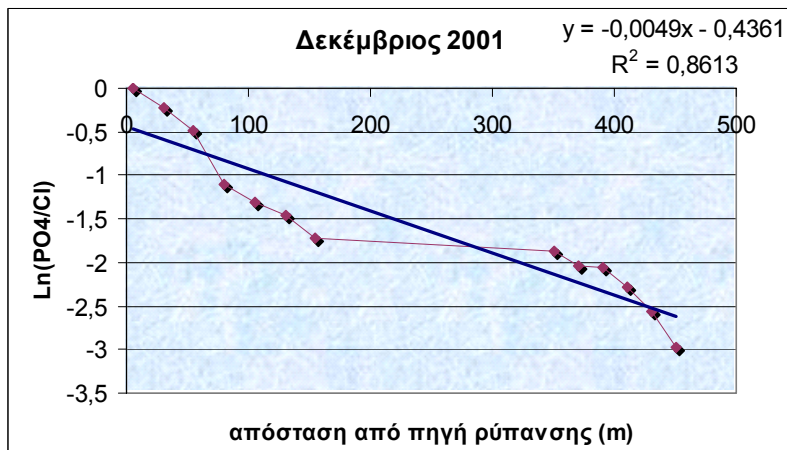
Η διακύμανση των συγκεντρώσεων θρεπτικών στις διατομές κάτω από το σημείο εισροής των αποβλήτων (διατομές 7-19) και ο υπολογισμός του μήκους επεξεργασίας, εμφανίζεται στα παρακάτω διαγράμματα για τους 4 μήνες δειγματοληψίας:



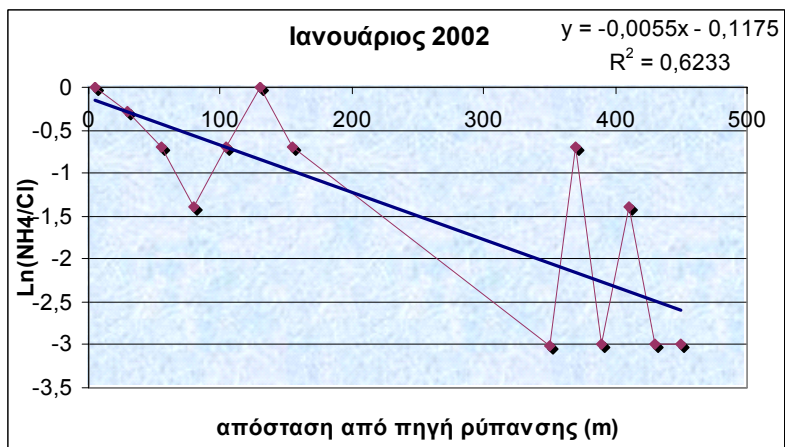
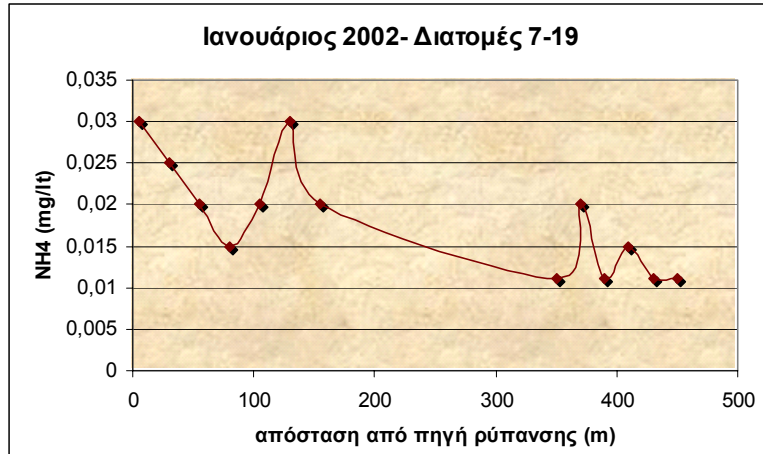
Διαγράμματα 5 & 6: Διακύμανση NH<sub>4</sub> και υπολογισμός του μήκους επεξεργασίας αντίστοιχα



**Διαγράμματα 7 & 8:** Διακύμανση NO<sub>3</sub> και υπολογισμός του μήκους επεξεργασίας αντίστοιχα

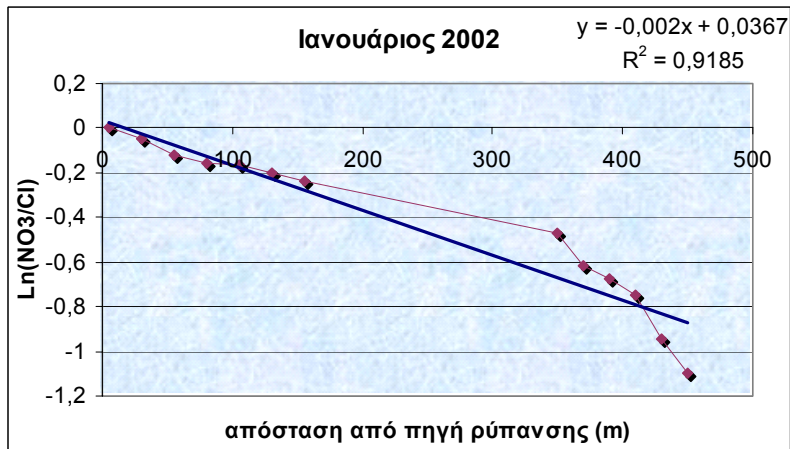
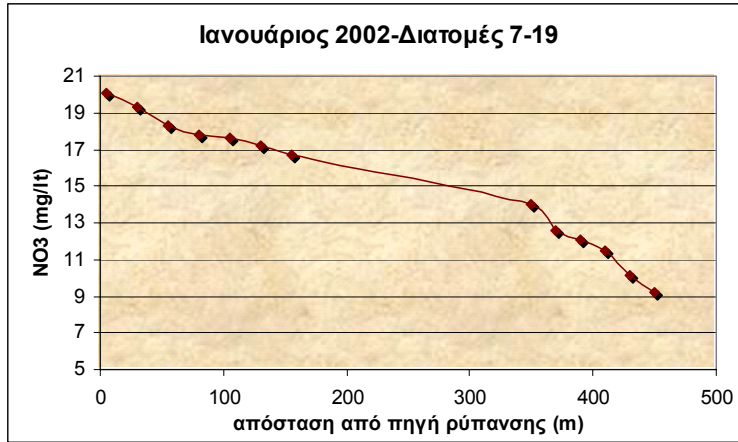


Διαγράμματα 9 & 10: Διακύμανση PO<sub>4</sub> και υπολογισμός του μήκους επεξεργασίας αντίστοιχα

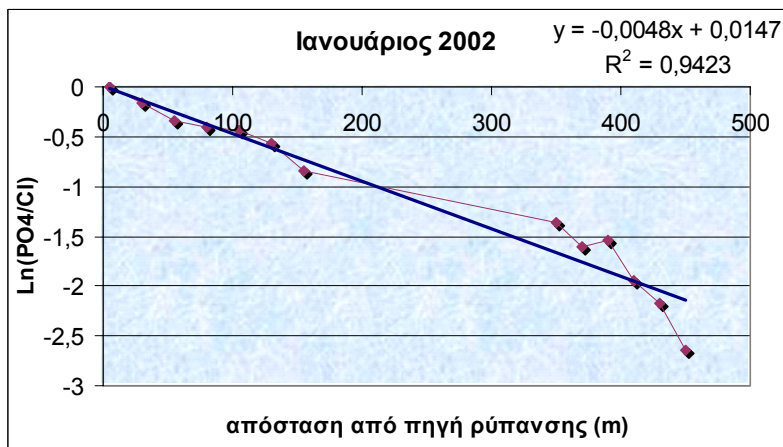
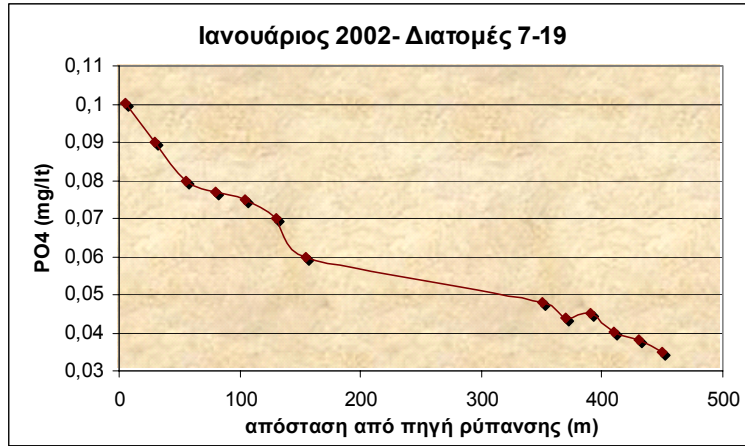


**Διαγράμματα 11 & 12:** Διακόμενη NH<sub>4</sub> και υπολογισμός του μήκους επεξεργασίας αντίστοιχα

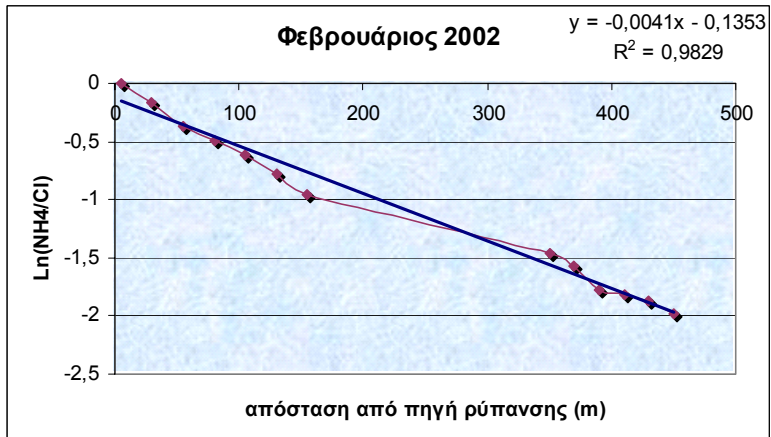
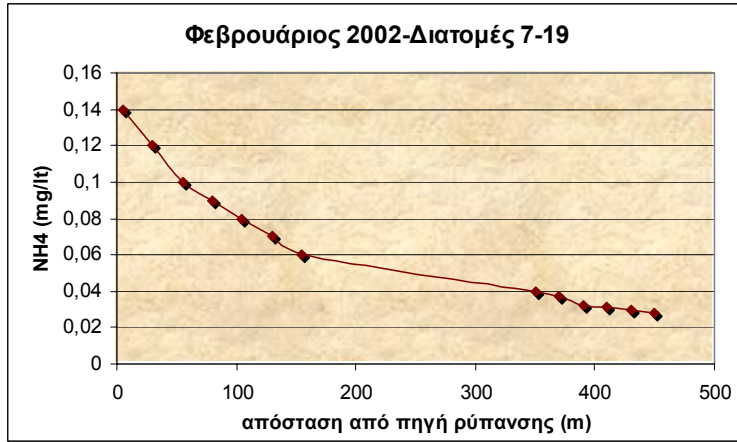




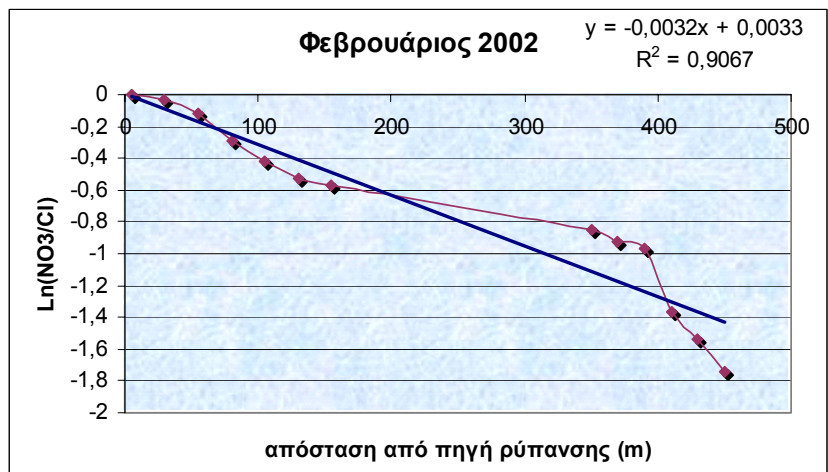
**Διαγράμματα 13 & 14:** Διακόμανση NO<sub>3</sub> και υπολογισμός του μήκους επεξεργασίας αντίστοιχα



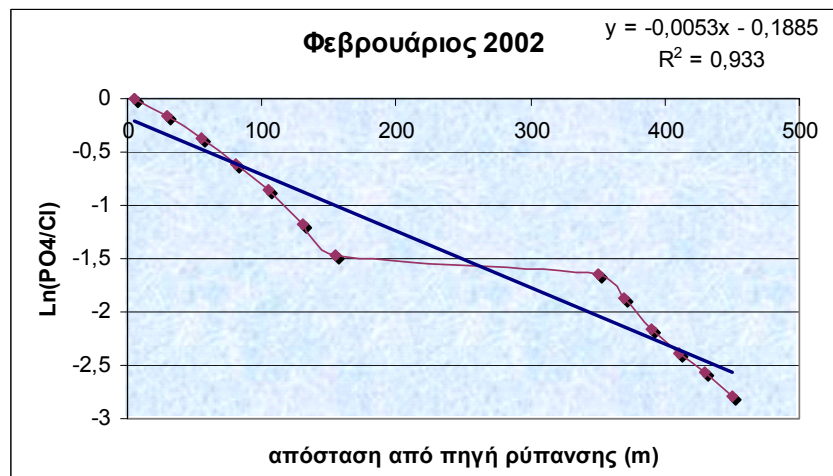
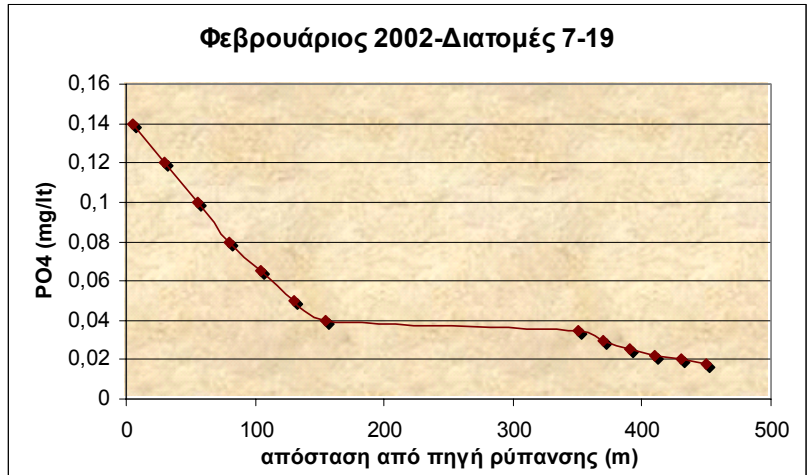
**Διαγράμματα 15 & 16:** Διακύμανση PO<sub>4</sub> και υπολογισμός του μήκους επεξεργασίας αντίστοιχα



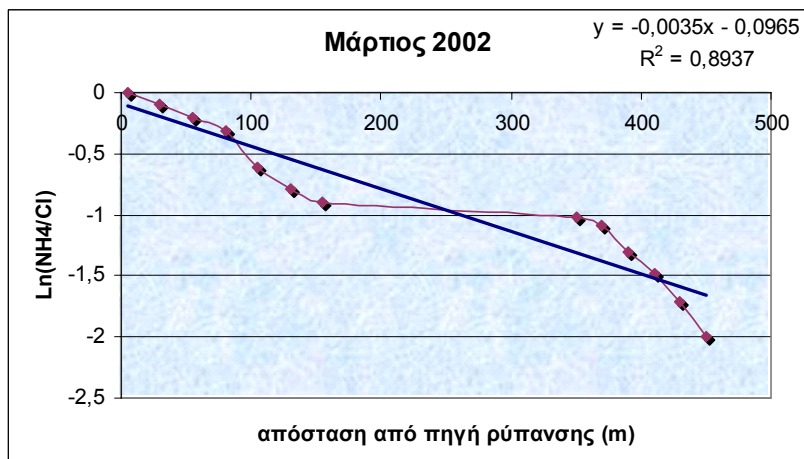
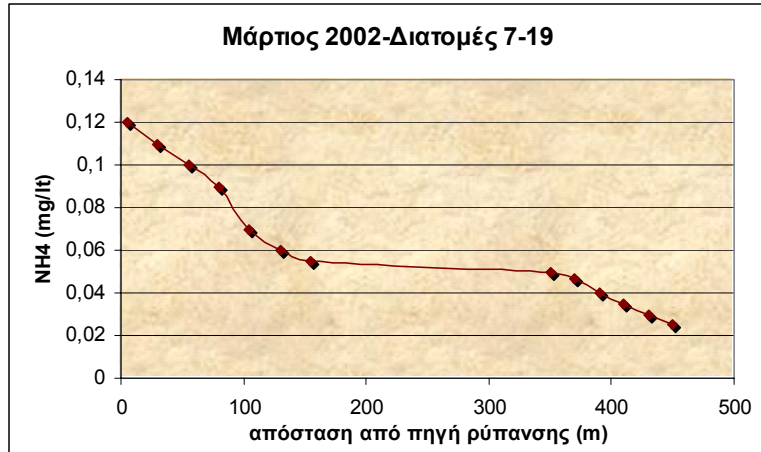
**Διαγράμματα 17 & 18:** Διακόμενη NH<sub>4</sub> και υπολογισμός του μήκους επεξεργασίας αντίστοιχα



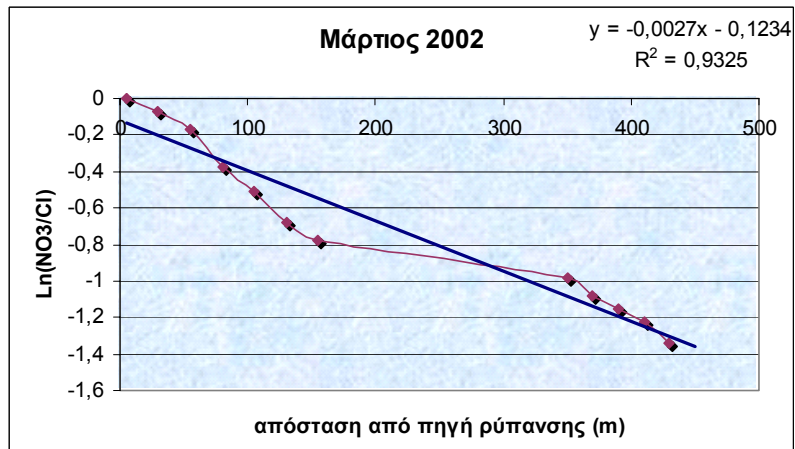
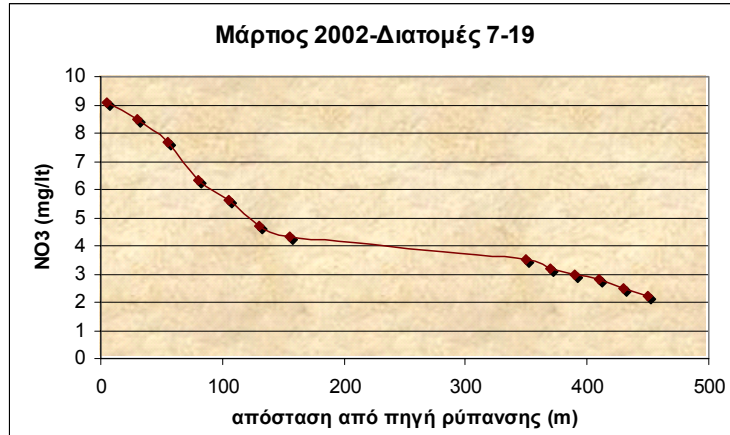
**Διαγράμματα 19 & 20:** Διακόμανση NO<sub>3</sub> και υπολογισμός του μήκους επεξεργασίας αντίστοιχα



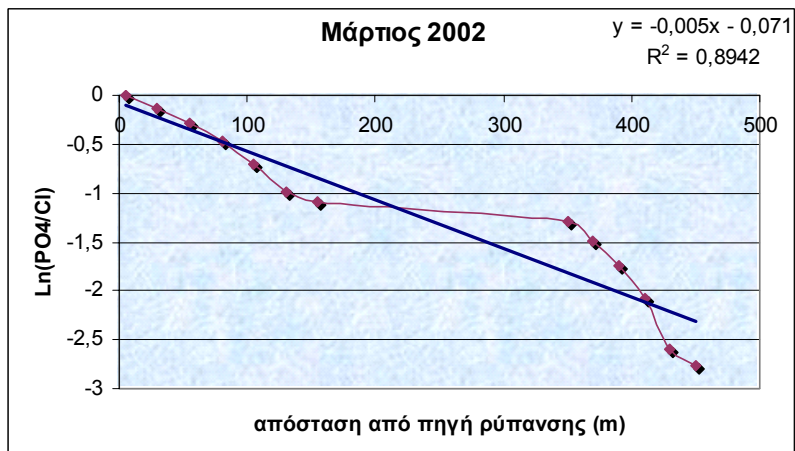
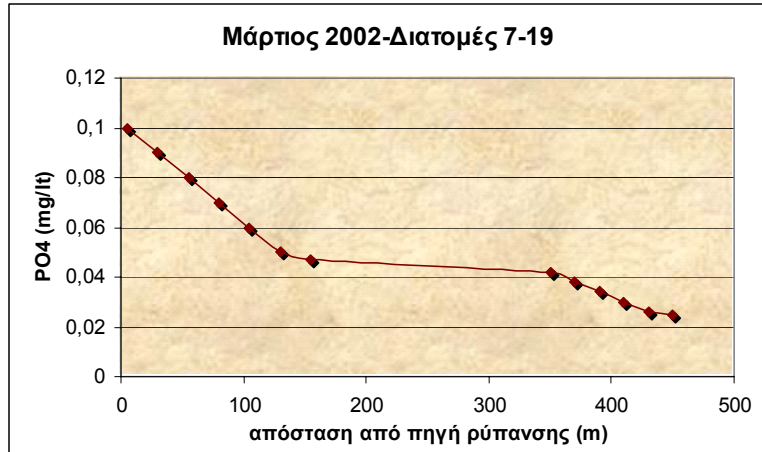
**Διαγράμματα 21 & 22:** Διακύμανση PO<sub>4</sub> και υπολογισμός του μήκους επεξεργασίας αντίστοιχα



**Διαγράμματα 23 & 24:** Διακύμανση NH<sub>4</sub> και υπολογισμός του μήκους επεξεργασίας αντίστοιχα



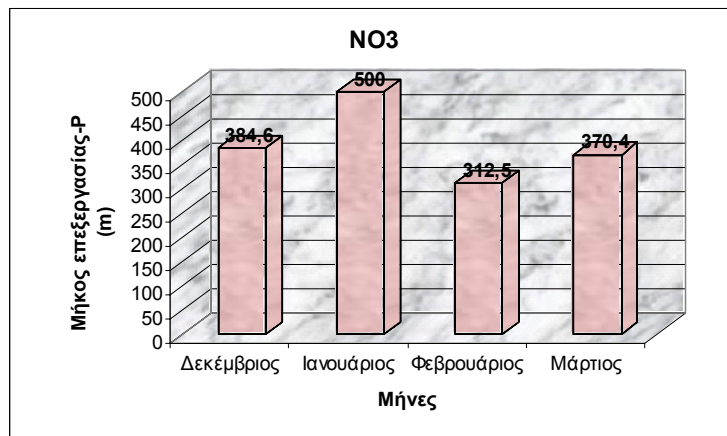
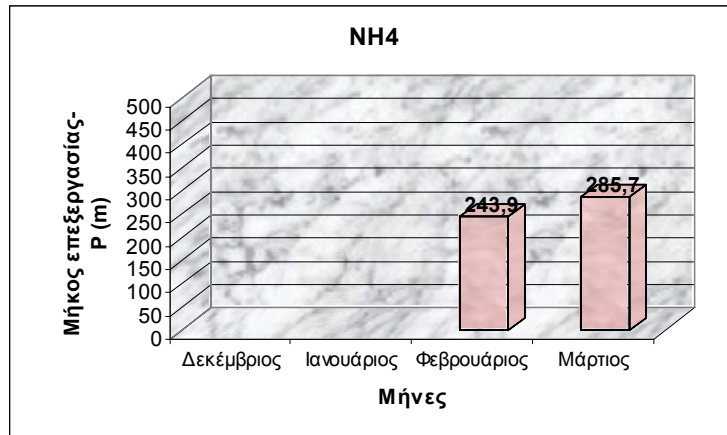
**Διαγράμματα 25 & 26:** Διακύμανση NO<sub>3</sub> και υπολογισμός του μήκους επεξεργασίας αντίστοιχα



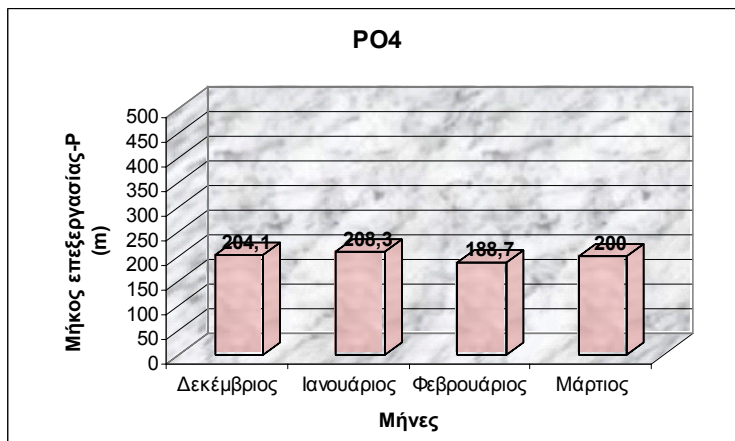
**Διαγράμματα 27 & 28:** Διακύμανση PO<sub>4</sub> και υπολογισμός του μήκους επεξεργασίας αντίστοιχα



Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα συνοπτικά για κάθε θρεπτικό ανά μήνα:



Διαγράμματα 29 & 30: Μήκος επεξεργασίας P (NH<sub>4</sub>) και (NO<sub>3</sub>) αντίστοιχα

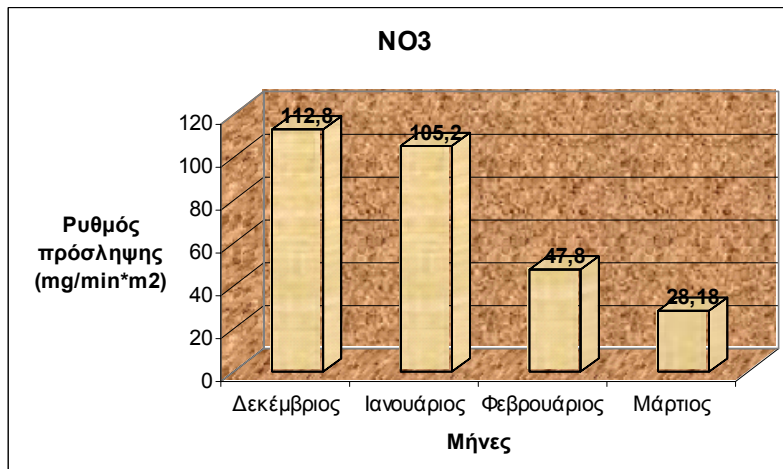
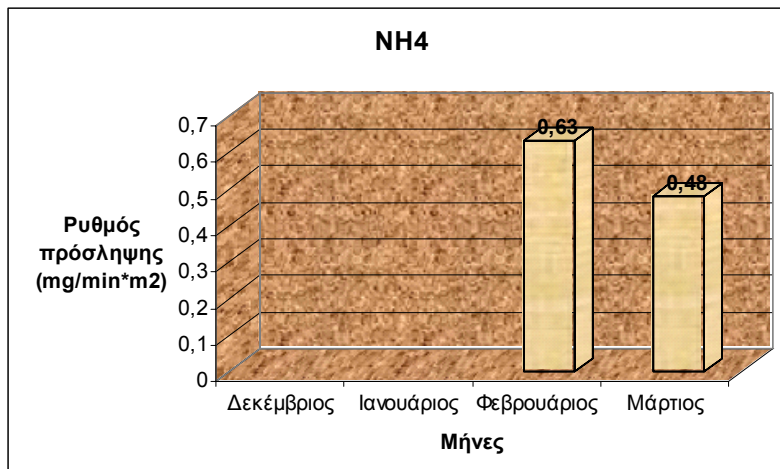


Διάγραμμα 31: Μήκος επεξεργασίας P (PO<sub>4</sub>)

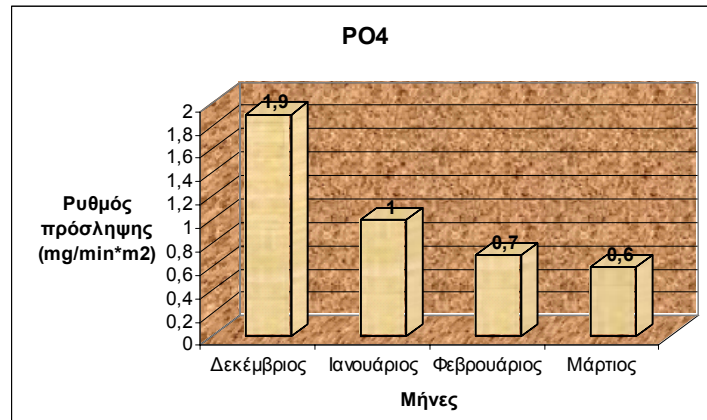
Το μήκος επεξεργασίας (Processing length) υπολογίστηκε για όλα τα θρεπτικά, όπου τα δεδομένα ήταν στατιστικά σημαντικά. Είναι εμφανές από τα διαγράμματα ότι οι μηχανισμοί κατακράτησης υπερέρχουν των μηχανισμών απελευθέρωσης σε όλους τους μήνες δειγματοληψίας, για τα  $\text{NO}_3$  και  $\text{PO}_4$  (θετικό μήκος επεξεργασίας). Στην  $\text{NH}_4$  εμφανίζεται η ίδια τάση.

Τα δεδομένα επεξεργάστηκαν περαιτέρω για την εύρεση του ρυθμού πρόσληψης (uptake rate -  $U$ ) και του συντελεστή μεταφοράς μάζας (mass transfer coefficient -  $V_f$ ) μόνο στους μήνες όπου ήταν στατιστικά σημαντικά (βλ. παράρτημα). Γι αυτό δεν υπάρχουν αναφορές για το  $\text{NH}_4$  κατά τους δύο πρώτους μήνες.

Παρακάτω εμφανίζονται τα διαγράμματα για τον ρυθμό πρόσληψης -  $U$ :



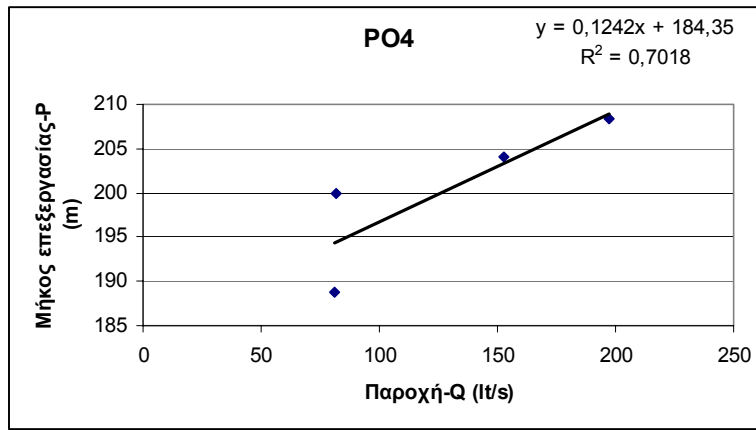
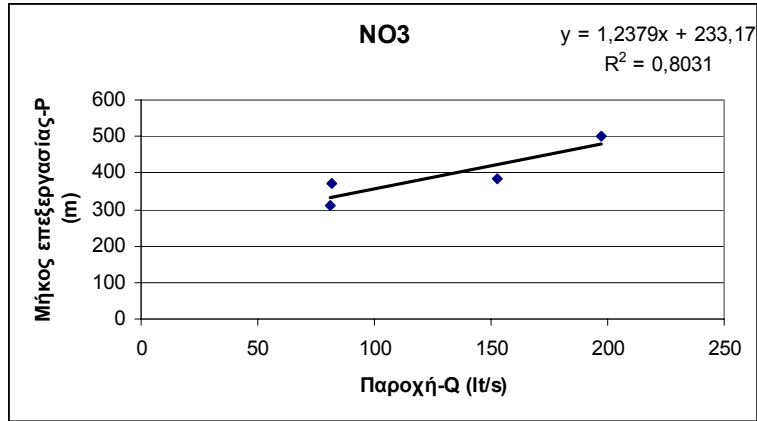
**Διαγράμματα 32 και 33:** Ρυθμός πρόσληψης U ( $\text{NH}_4$ ) και ( $\text{NO}_3$ ) αντίστοιχα



**Διάγραμμα 34:** Ρυθμός πρόσληψης P ( $\text{PO}_4$ )

Υπάρχει κατακράτηση θρεπτικών με σημαντικούς ρυθμούς και το υπόστρωμα είναι ένας παράγοντας που συντελεί στην κατακράτηση. Επίσης εμφανίζεται μια αύξηση του μήκους επεξεργασίας (Processing length) όταν αυξάνεται αντίστοιχα και η παροχή, η οποία μεταφράζεται σε εξασθένιση της κατακράτησης θρεπτικών ή της ικανότητας αυτοκαθαρισμού του ποταμού (Fisher et al.,1994).

Το γεγονός αυτό φαίνεται καθαρά στα παρακάτω διαγράμματα:



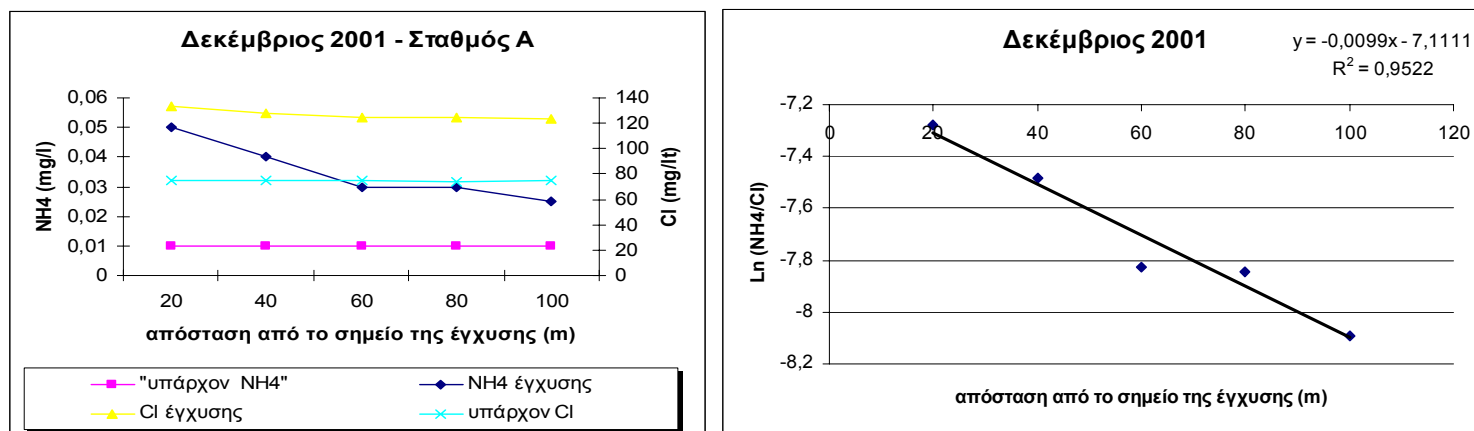
**Διάγραμμα 35:** Σχέση μήκους επεξεργασίας P και παροχής για NO<sub>3</sub> και PO<sub>4</sub> αντίστοιχα



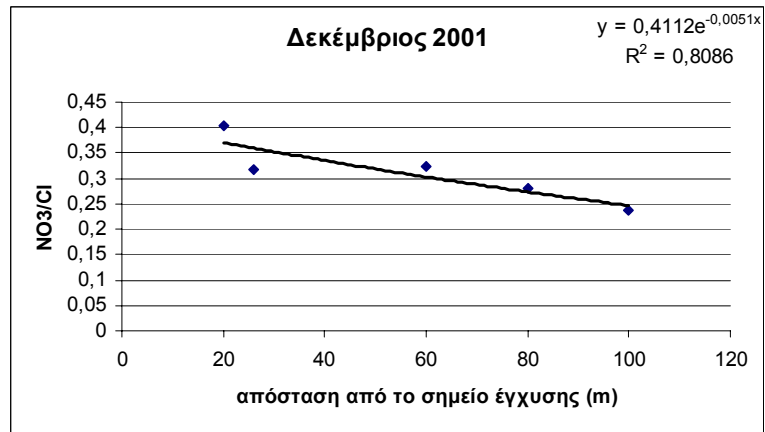
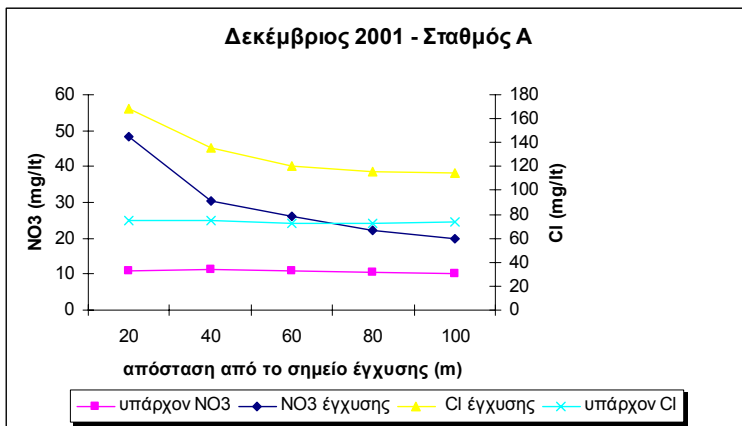
### 3.3 Μετρήσεις κατακράτησης θρεπτικών

Με τη διαδικασία των εγχύσεων μελετήθηκε η ικανότητα του ποταμού να κατακρατεί θρεπτικά ιόντα. Οι εγχύσεις πραγματοποιήθηκαν στους σταθμούς Α και Β και στους τέσσερις μήνες δειγματοληψίας. Στον σταθμό Α, τον μήνα Δεκέμβριο πραγματοποιήθηκε προσθήκη διαλυτής ουσίας με σταθερό ρυθμό (short term addition), λόγω των υπαρχόντων τιμών θρεπτικών και της παροχής. Η διαδικασία αυτή δεν ακολουθήθηκε τους επόμενους μήνες στον σταθμό Α, λόγω μεταβολής των τιμών. Στο σταθμό Β χρησιμοποιήθηκε η στιγμιαία μέθοδος (slug addition), για τους ίδιους λόγους.

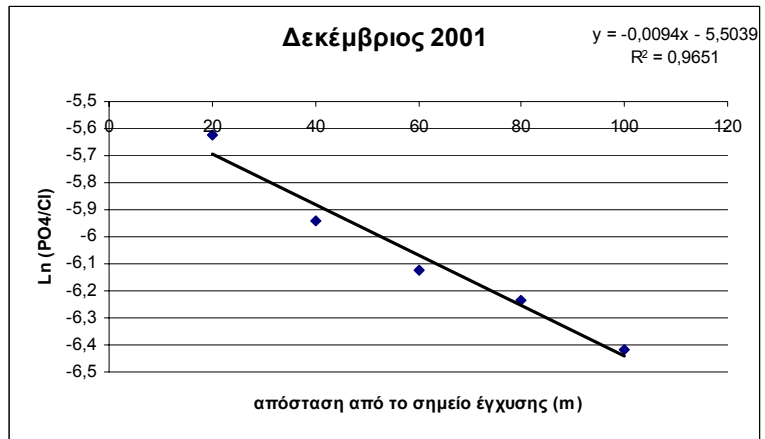
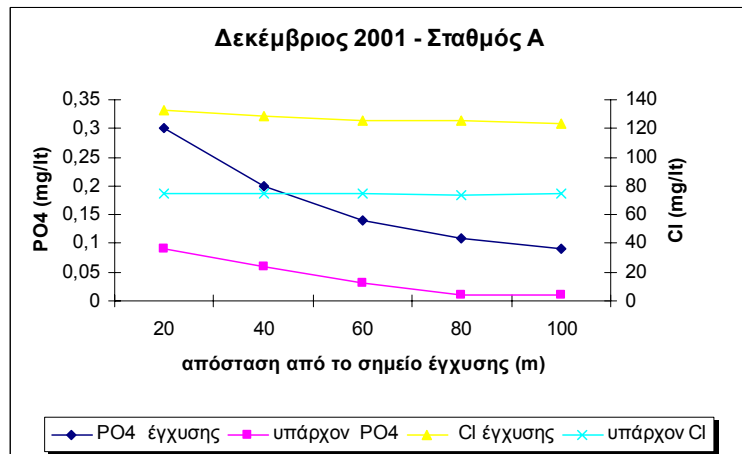
Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζεται η μέθοδος που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό του μήκους πρόσληψης  $S_w$ .



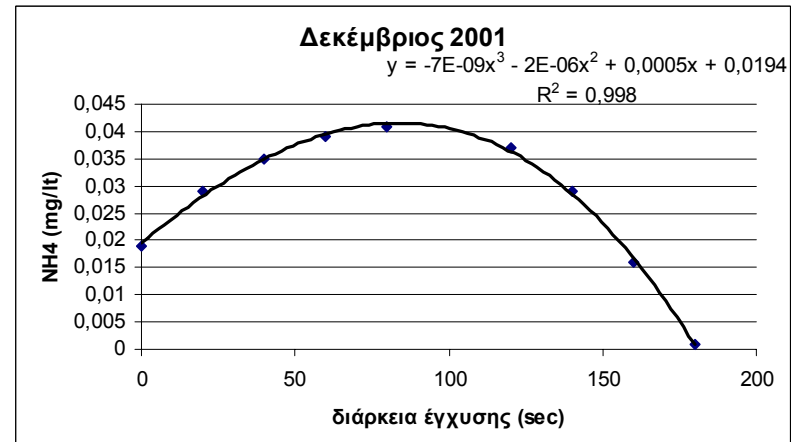
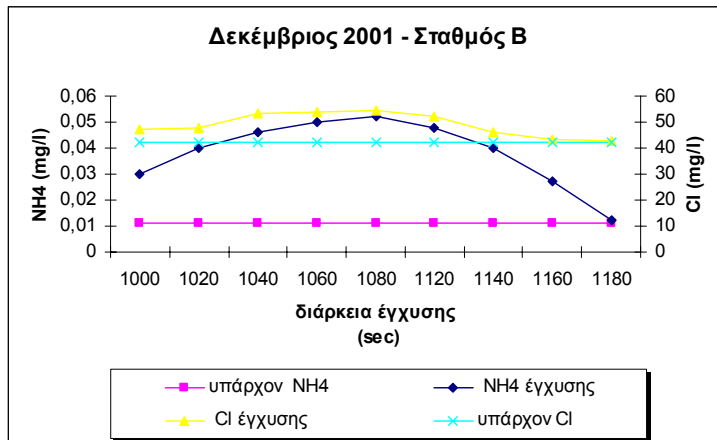
Διαγράμματα 36 & 37: Διακύμανση  $NH_4$  και  $Cl$  και υπολογισμός του μήκους πρόσληψης  $S_w$  αντίστοιχα



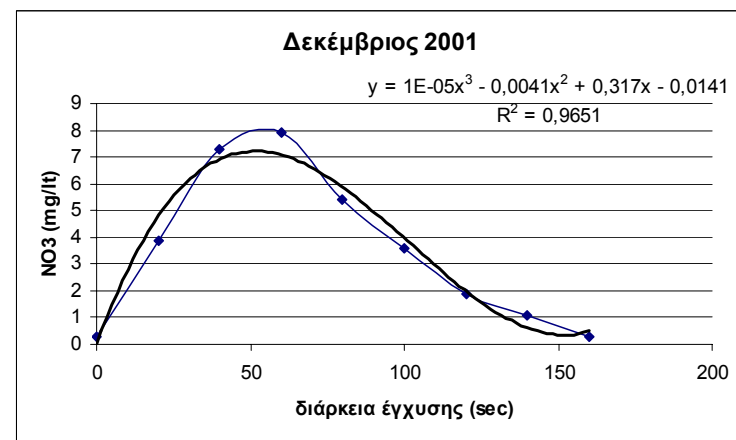
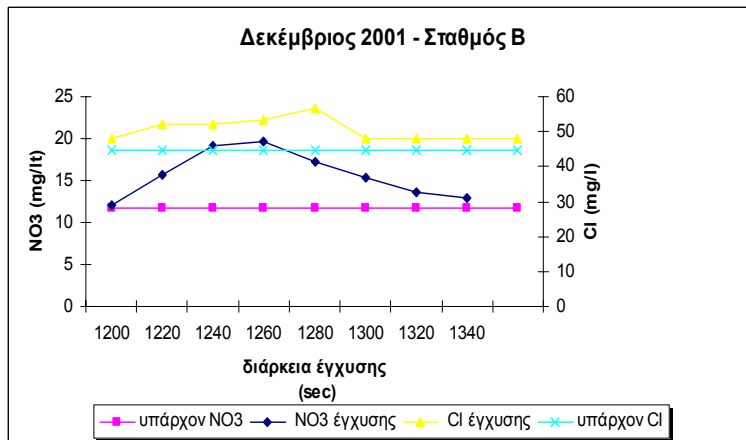
**Διαγράμματα 38 & 39:** Διακύμανση NO<sub>3</sub> και Cl και υπολογισμός του μήκους πρόσληψης S<sub>w</sub> αντίστοιχα



**Διαγράμματα 40 & 41:** Διακύμανση PO<sub>4</sub> και Cl και υπολογισμός του μήκους πρόσληψης S<sub>w</sub> αντίστοιχα

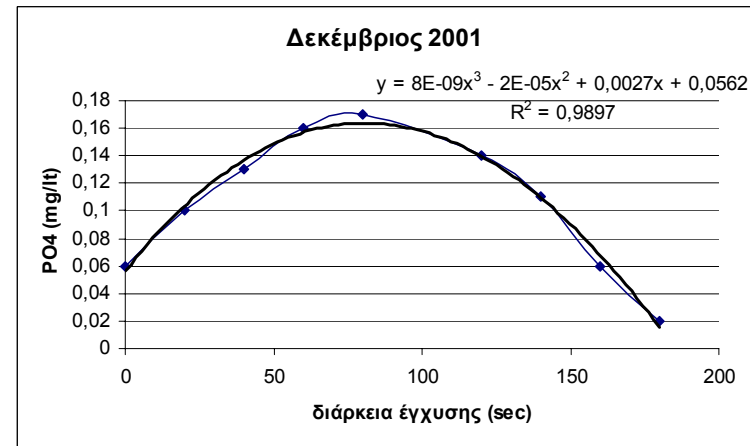
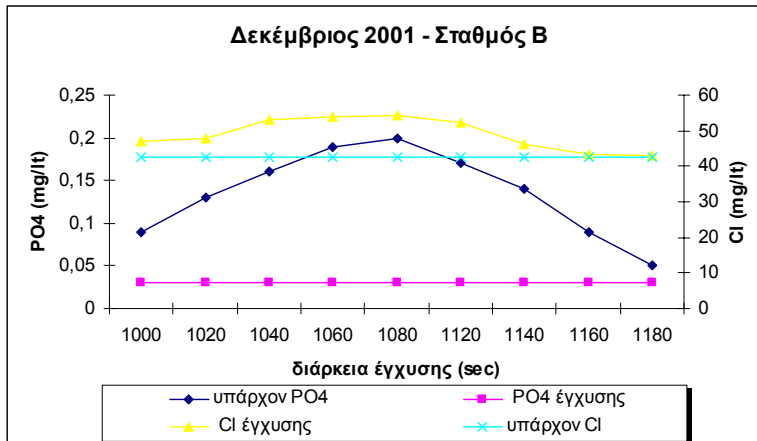


**Διαγράμματα 42 & 43:** Διακόμανση NH<sub>4</sub> και Cl και υπολογισμός του ρυθμού πρόσληψης U αντίστοιχα

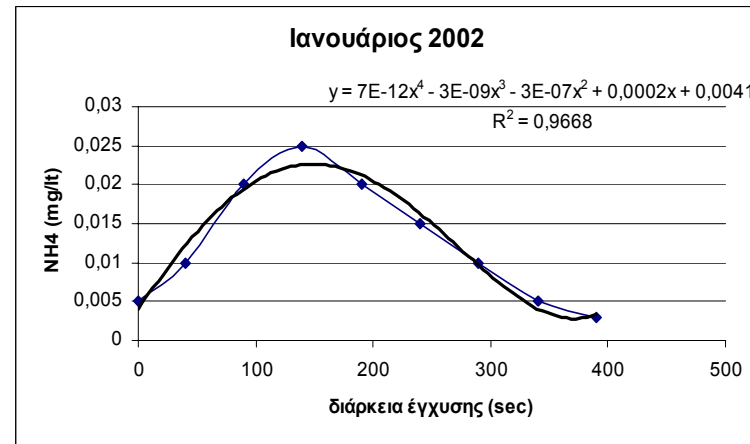
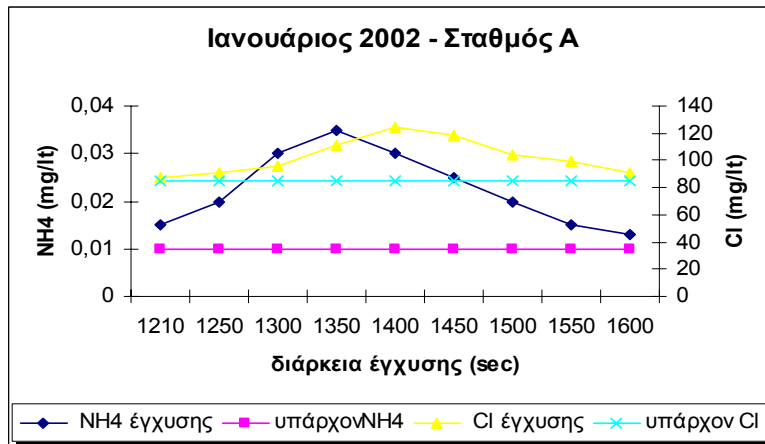


**Διαγράμματα 44 & 45:** Διακόμανση NO<sub>3</sub> και Cl και υπολογισμός του ρυθμού πρόσληψης U αντίστοιχα

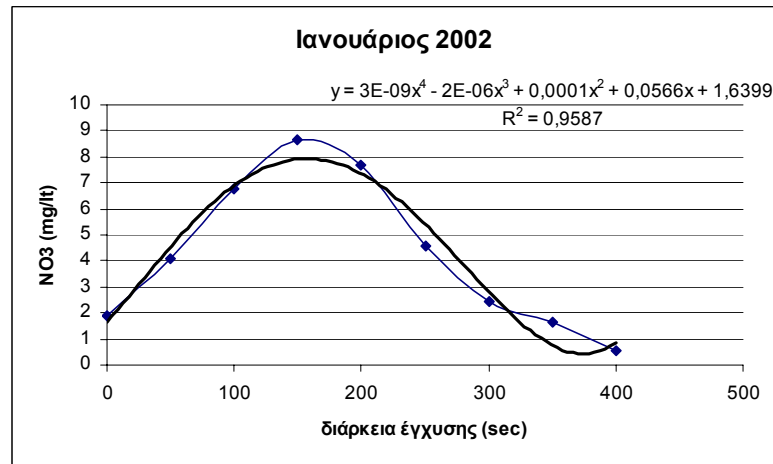
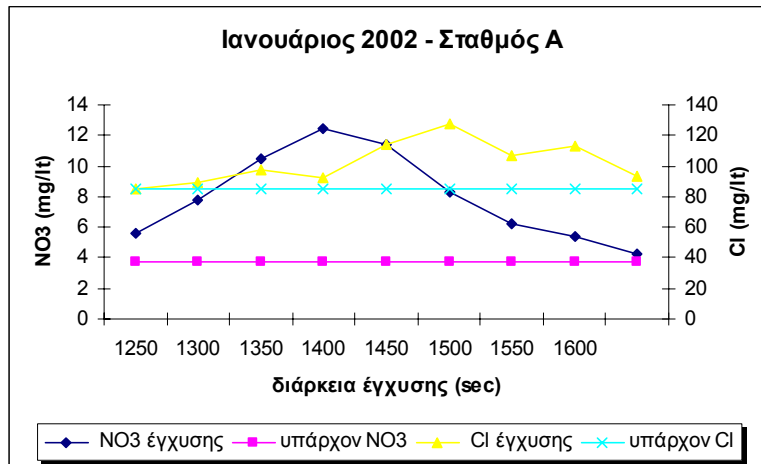




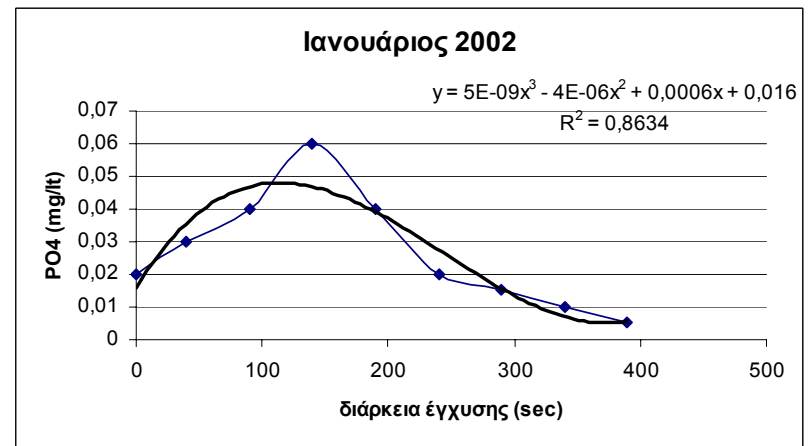
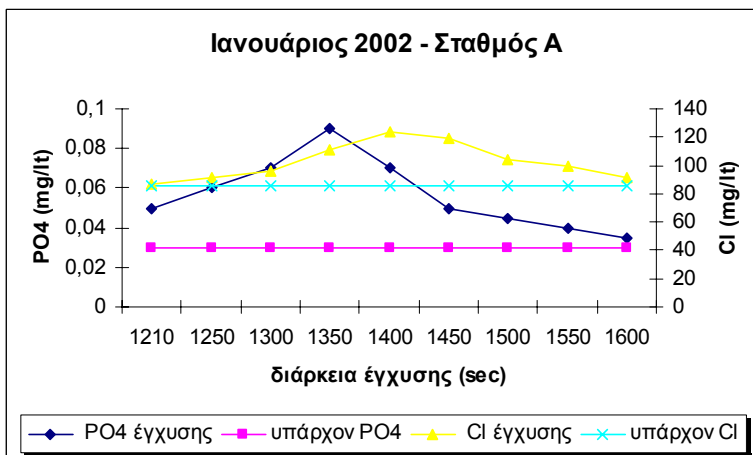
Διαγράμματα 46 & 47: Διακόμευση PO<sub>4</sub> και Cl και υπολογισμός του ρυθμού πρόσληψης U αντίστοιχα



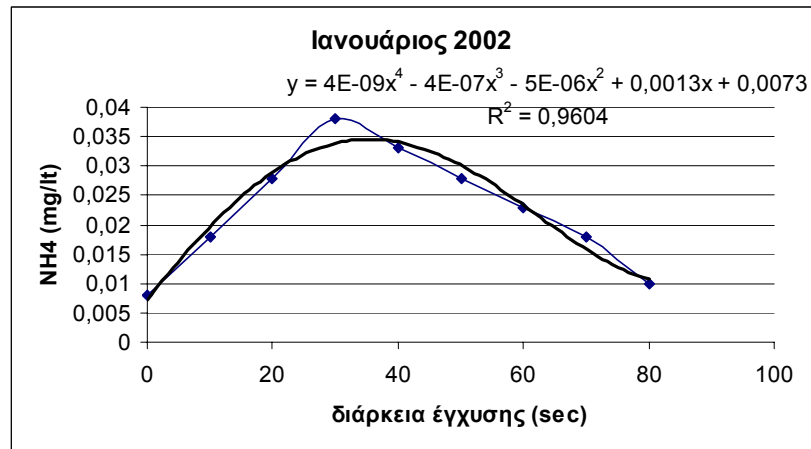
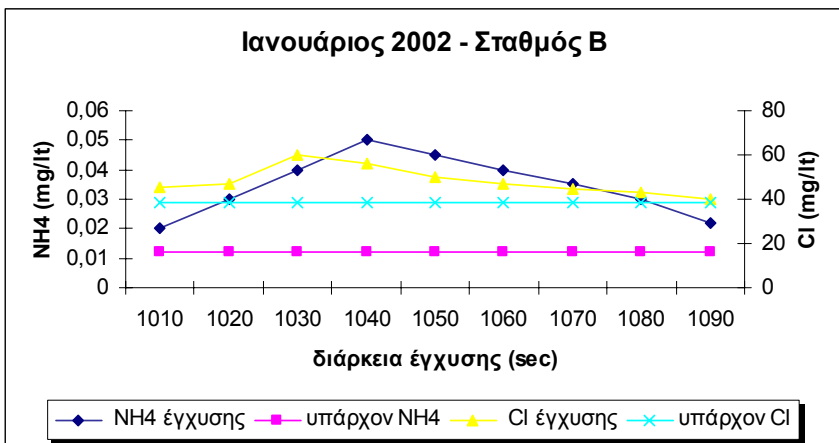
Διαγράμματα 48 & 49: Διακόμευση NH<sub>4</sub> και Cl και υπολογισμός του ρυθμού πρόσληψης U αντίστοιχα



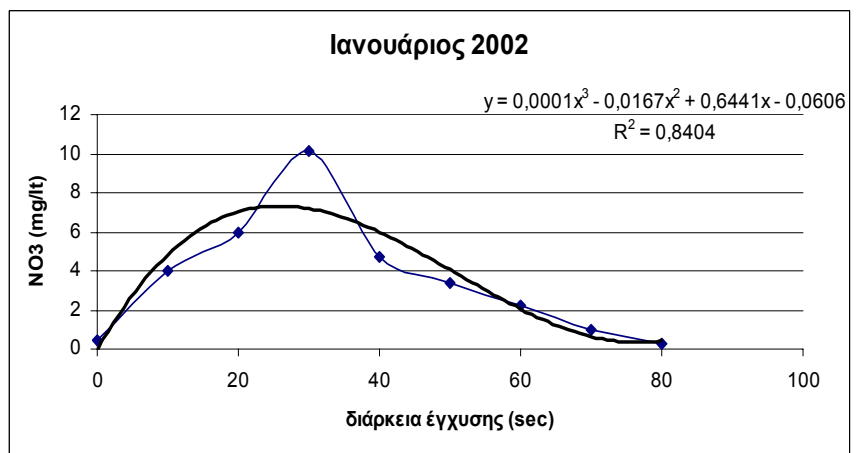
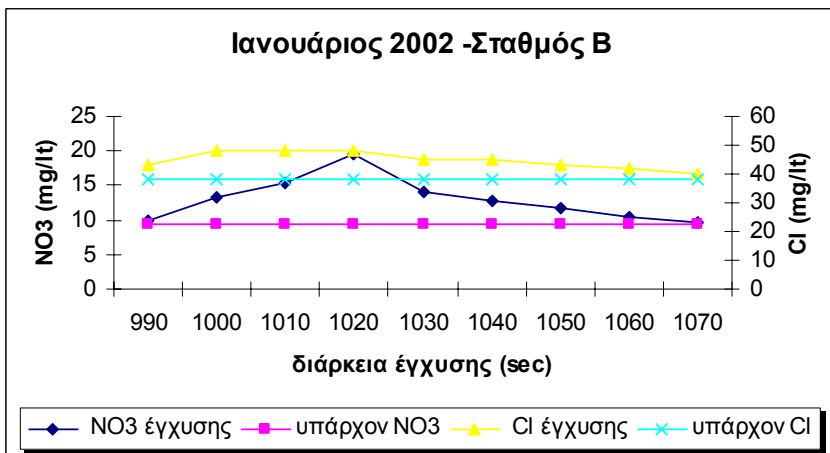
**Διαγράμματα 50 & 51:** Διακόμευση  $NO_3$  και Cl και υπολογισμός του ρυθμού πρόσληψης U αντίστοιχα



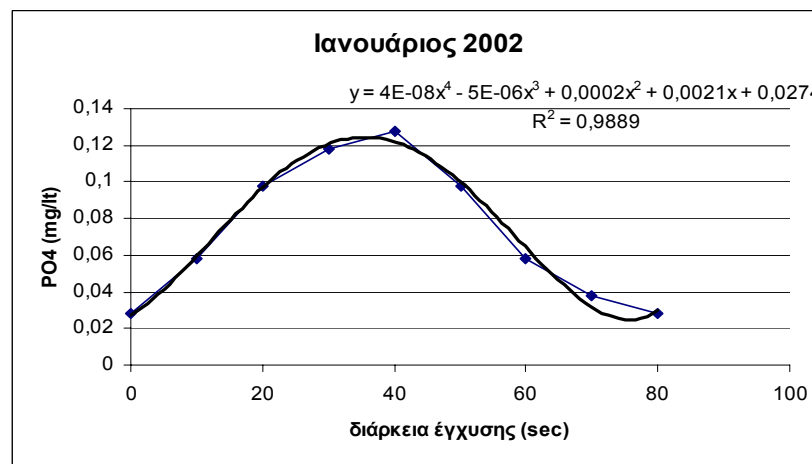
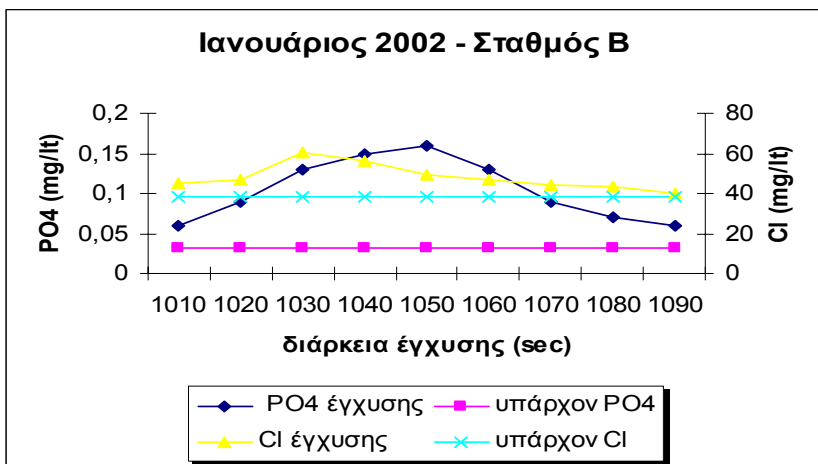
**Διαγράμματα 52 & 53:** Διακόμευση  $PO_4$  και Cl και υπολογισμός του ρυθμού πρόσληψης U αντίστοιχα



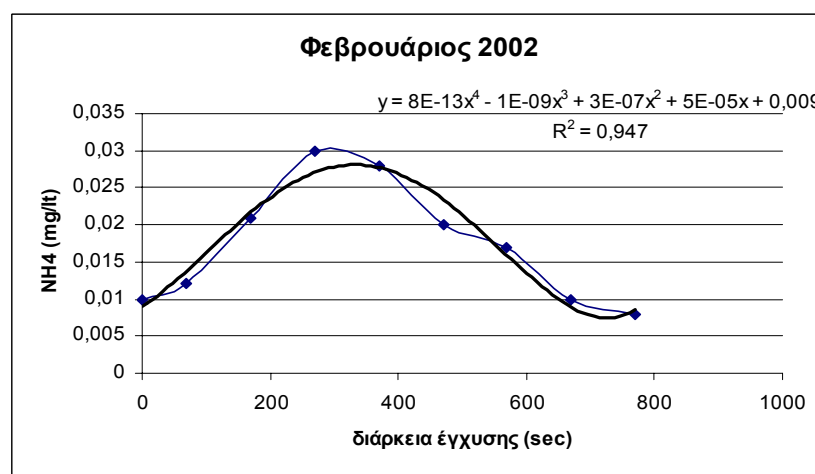
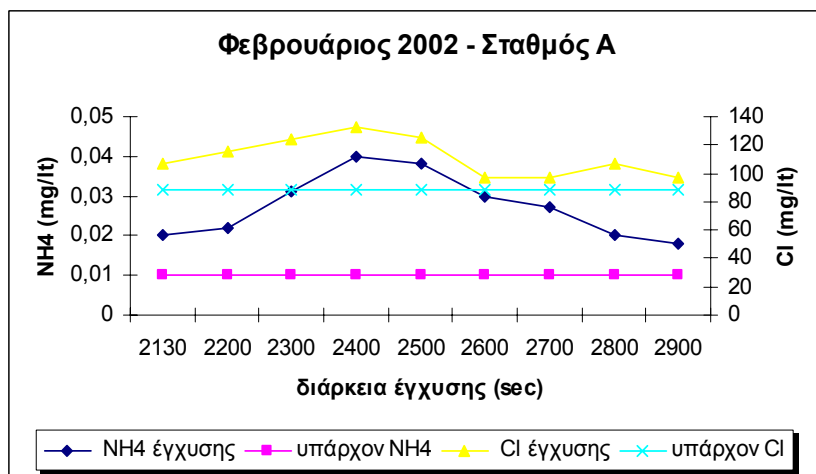
Διαγράμματα 54 & 55: Διακύμανση NH<sub>4</sub> και Cl και υπολογισμός του ρυθμού πρόσληψης U αντίστοιχα



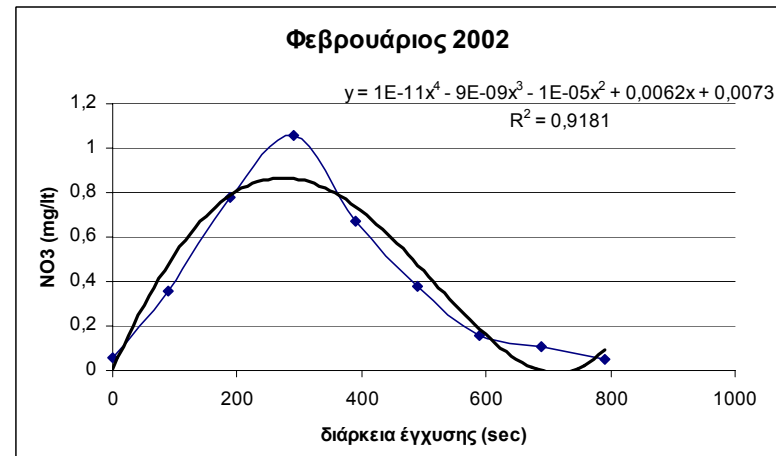
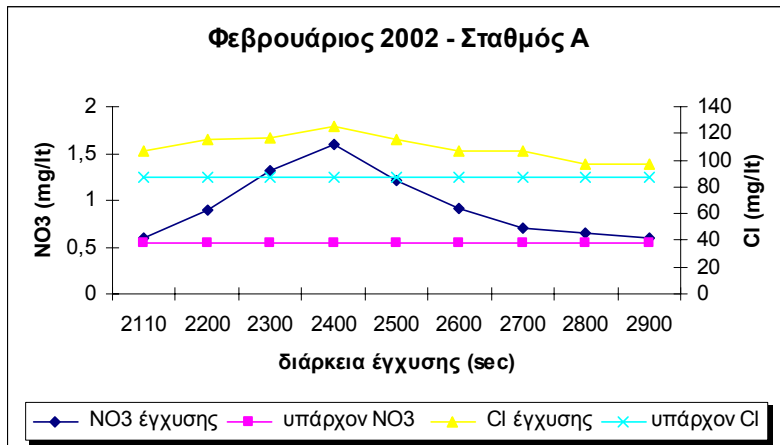
Διαγράμματα 56 & 57: Διακύμανση NO<sub>3</sub> και Cl και υπολογισμός του ρυθμού πρόσληψης U αντίστοιχα



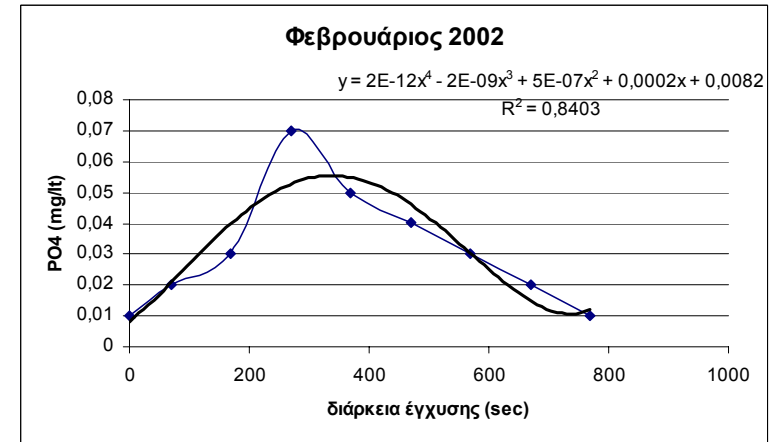
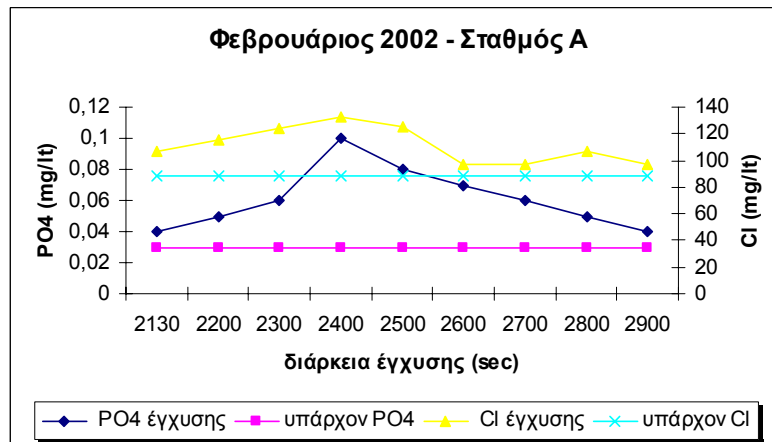
Διαγράμματα 58 & 59: Διακύμανση PO<sub>4</sub> και Cl και υπολογισμός του ρυθμού πρόσληψης U αντίστοιχα



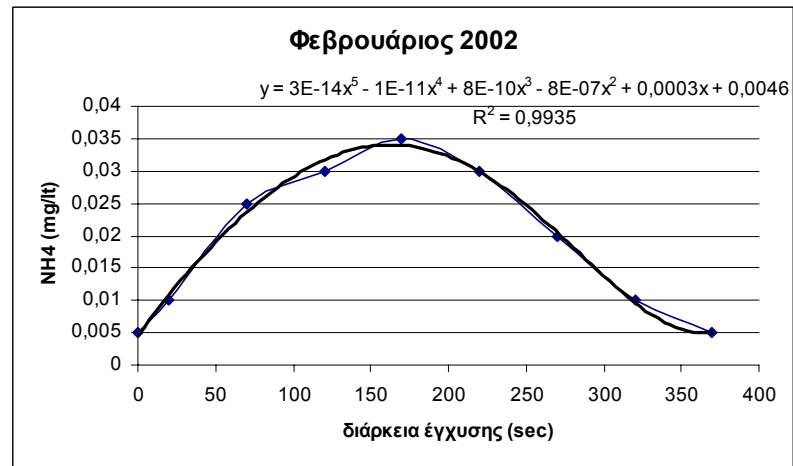
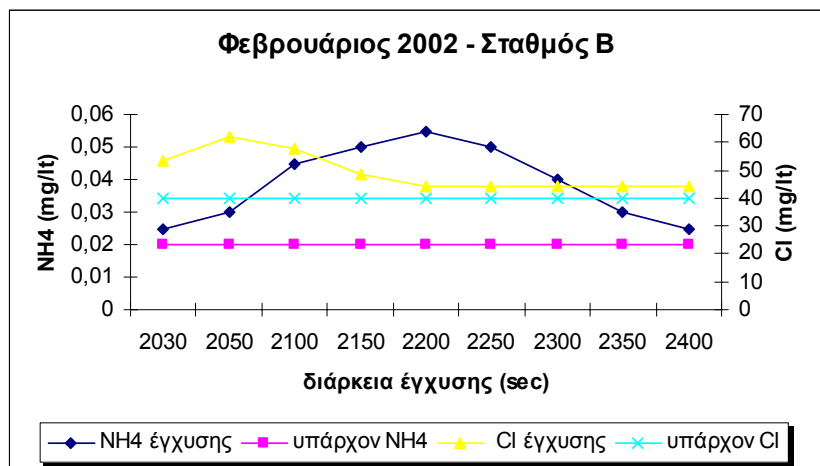
Διαγράμματα 60 & 61: Διακύμανση NH<sub>4</sub> και Cl και υπολογισμός του ρυθμού πρόσληψης U αντίστοιχα



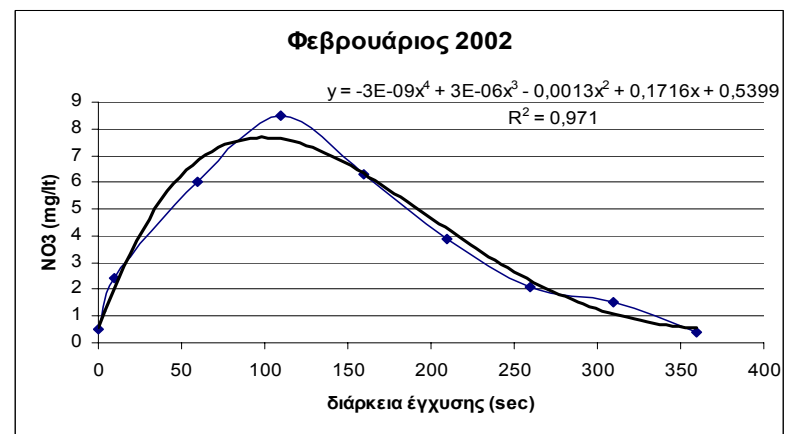
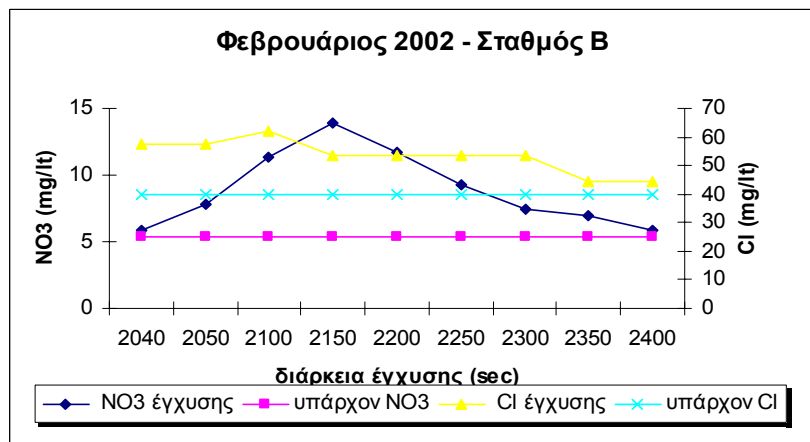
Διαγράμματα 62 & 63: Διακύμανση NO<sub>3</sub> και Cl και υπολογισμός του ρυθμού πρόσληψης U αντίστοιχα



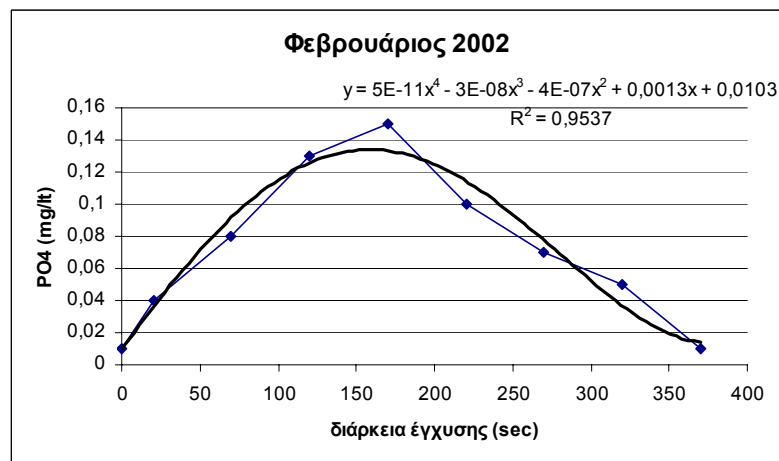
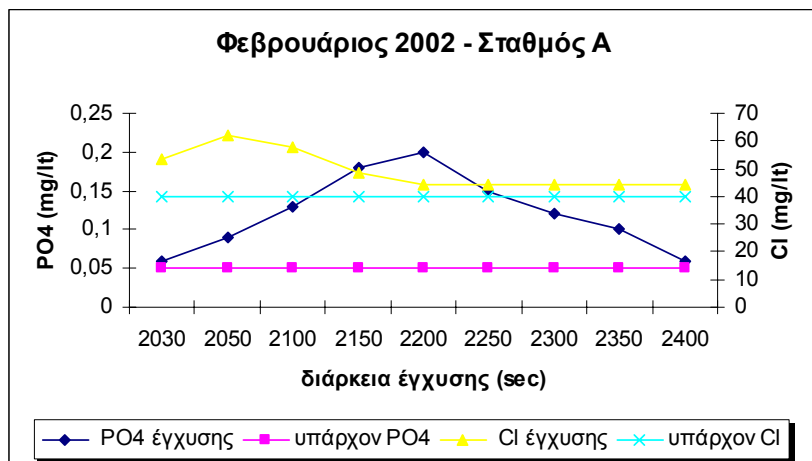
Διαγράμματα 64 & 65: Διακύμανση PO<sub>4</sub> και Cl και υπολογισμός του ρυθμού πρόσληψης U αντίστοιχα



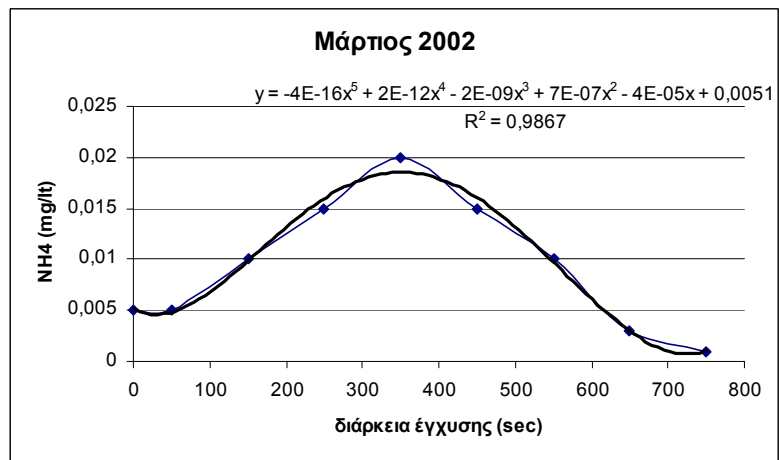
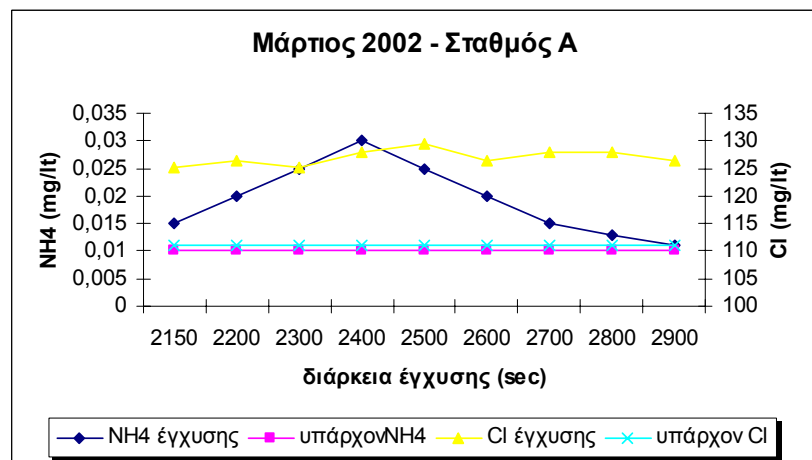
Διαγράμματα 66 & 67: Διακύμανση NH<sub>4</sub> και Cl και υπολογισμός του ρυθμού πρόσληψης U αντίστοιχα



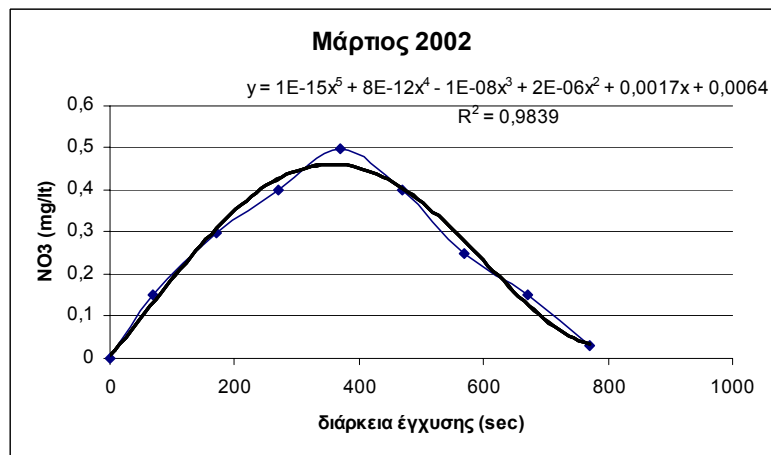
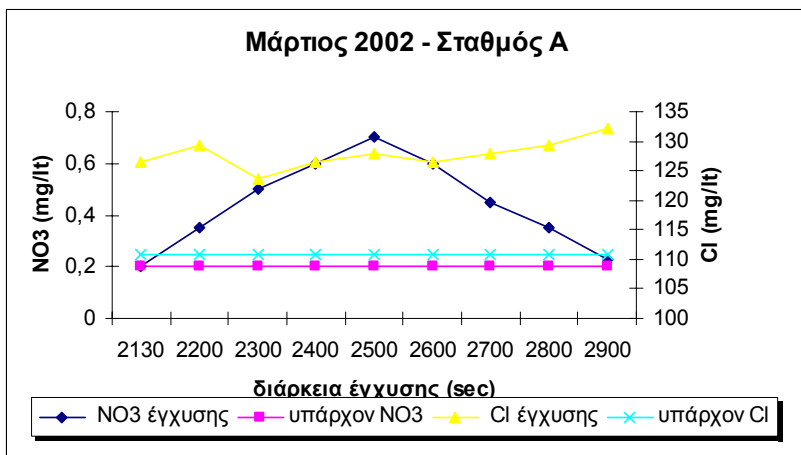
Διαγράμματα 68 & 69: Διακύμανση NO<sub>3</sub> και Cl και υπολογισμός του ρυθμού πρόσληψης U αντίστοιχα



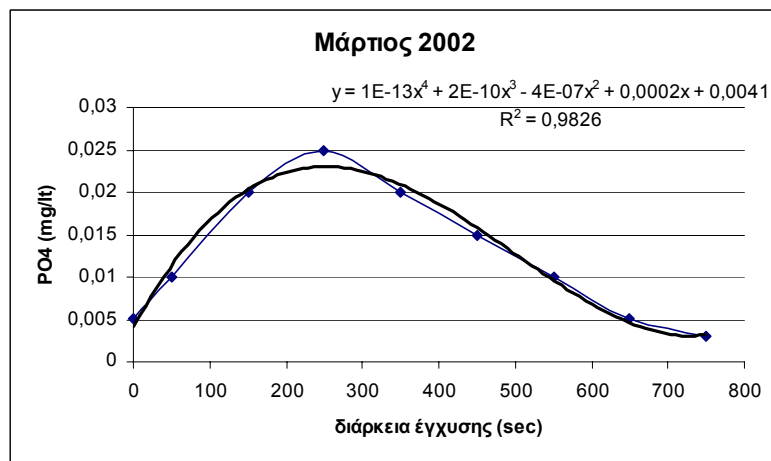
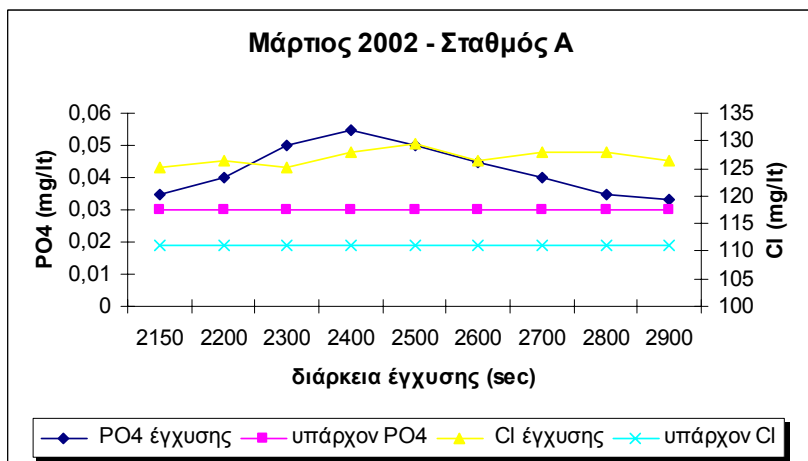
Διαγράμματα 70 & 71: Διακόμευση PO<sub>4</sub> και Cl και υπολογισμός του ρυθμού πρόσληψης U αντίστοιχα



Διαγράμματα 72 & 73: Διακόμευση NH<sub>4</sub> και Cl και υπολογισμός του ρυθμού πρόσληψης U αντίστοιχα

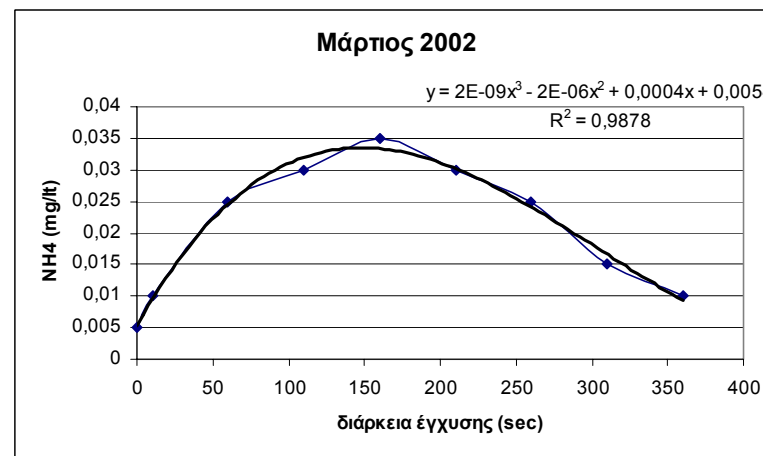
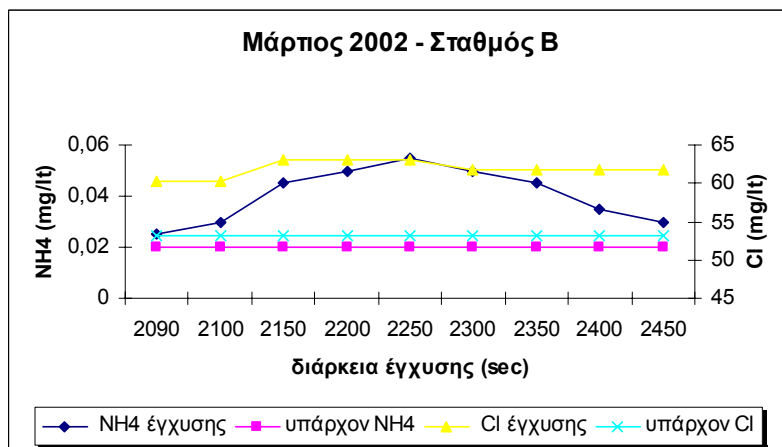


Διαγράμματα 74 & 75: Διακύμανση NO<sub>3</sub> και Cl και υπολογισμός του ρυθμού πρόσληψης U αντίστοιχα

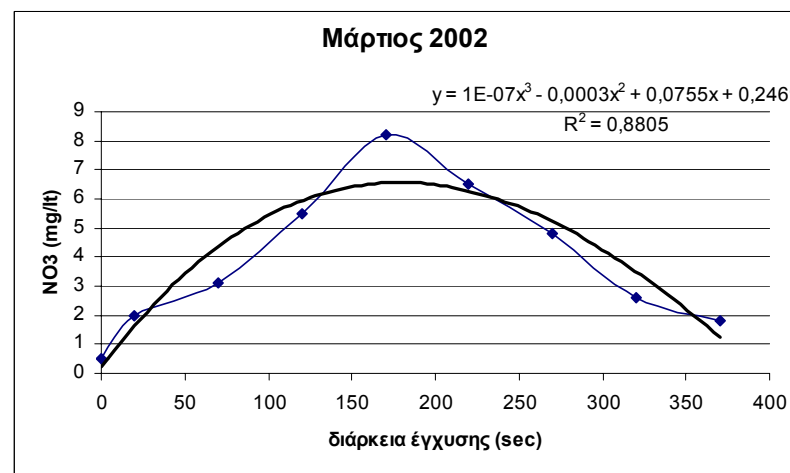
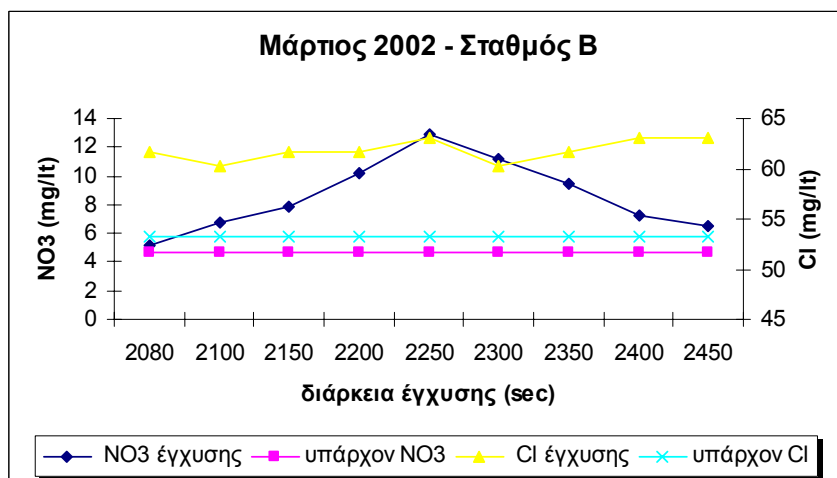


Διαγράμματα 76 & 77: Διακύμανση PO<sub>4</sub> και Cl και υπολογισμός του ρυθμού πρόσληψης U αντίστοιχα

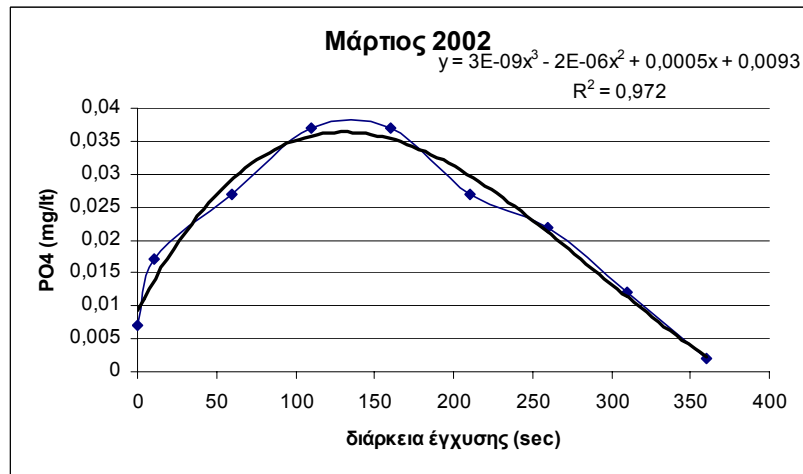
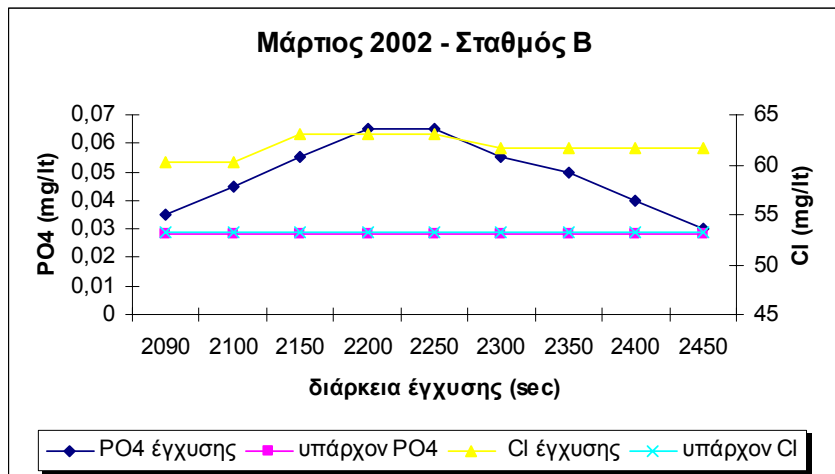




Διαγράμματα 78 & 79: Διακύμανση NH<sub>4</sub> και Cl και υπολογισμός του ρυθμού πρόσληψης U αντίστοιχα

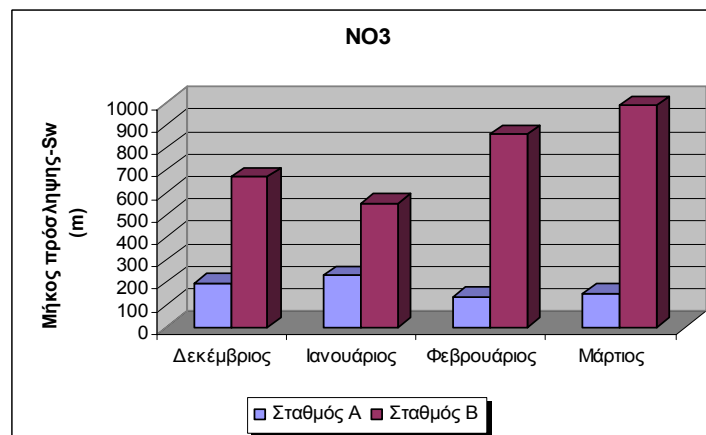
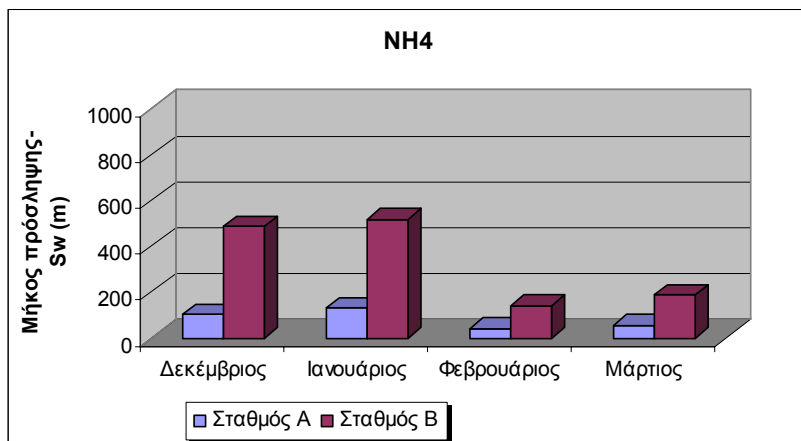


Διαγράμματα 80 & 81: Διακύμανση NO<sub>3</sub> και Cl και υπολογισμός του ρυθμού πρόσληψης U αντίστοιχα

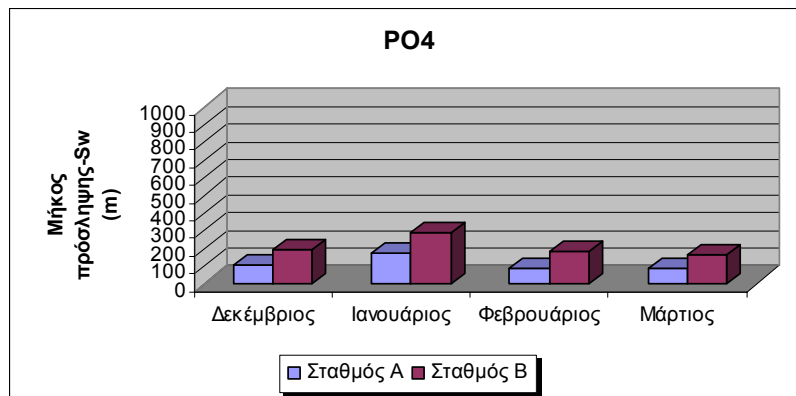


Διαγράμματα 82 & 83: Διακόμανση PO<sub>4</sub> και Cl και υπολογισμός του ρυθμού πρόσληψης U αντίστοιχα

Το μήκος πρόσληψης θρεπτικών παρουσιάζεται και για τους 2 σταθμούς και για τους τέσσερις μήνες δειγματοληψίας, συνοπτικά στα παρακάτω διαγράμματα:

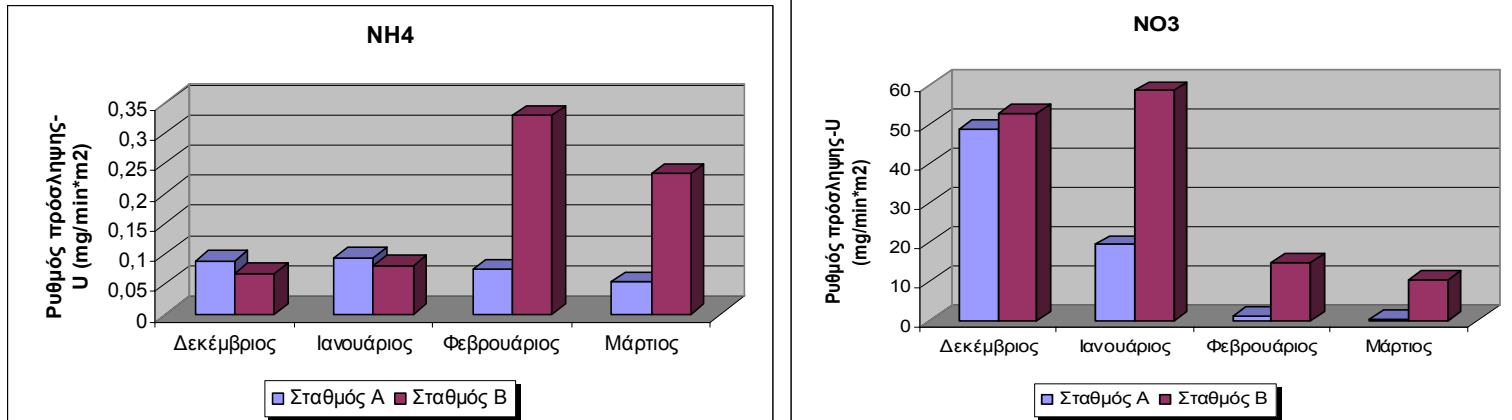


Διαγράμματα 84 & 85: Μήκος πρόσληψης  $S_w$   $NH_4$  και  $NO_3$

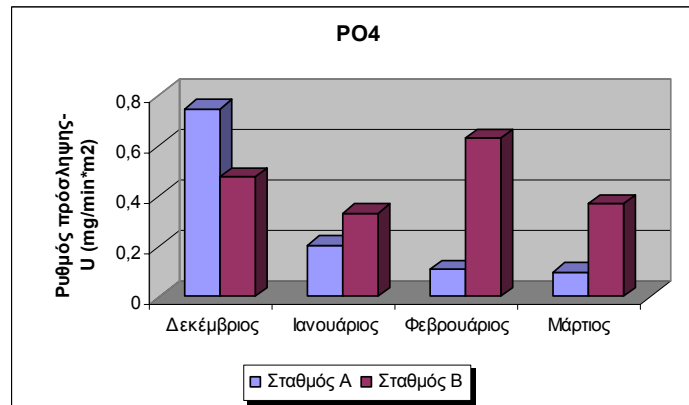


Διάγραμμα 86: Μήκος πρόσληψης  $PO_4$

Παρόμοια για τον ρυθμό πρόσληψης U έχουμε:

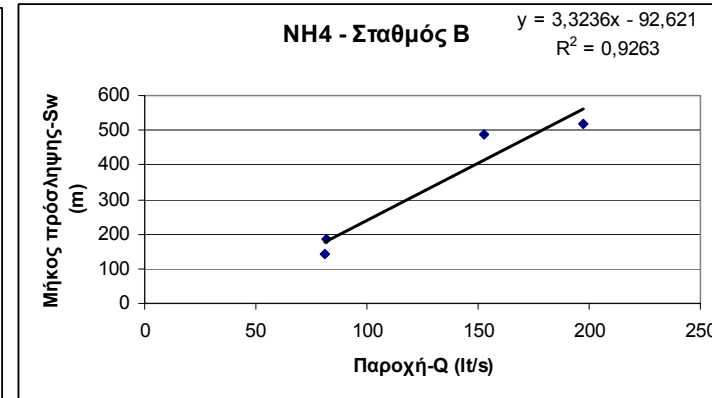
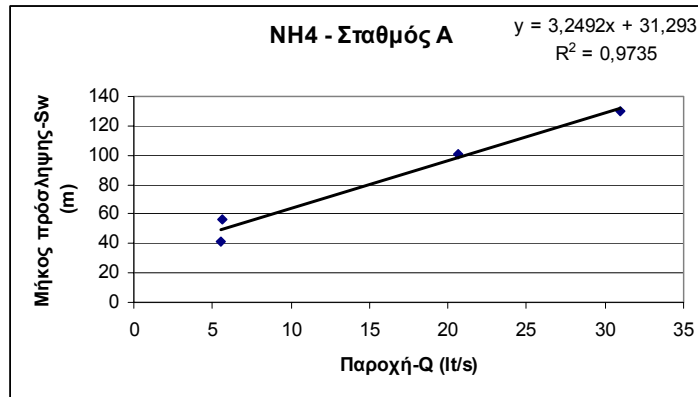


Διαγράμματα 87 & 88: Ρυθμός πρόσληψης U NH<sub>4</sub> και NO<sub>3</sub>

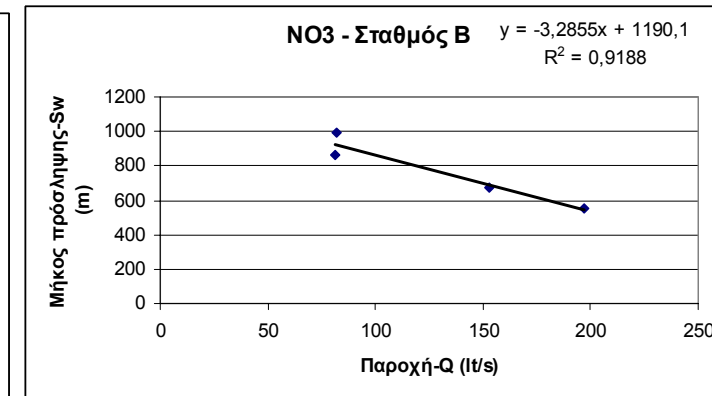
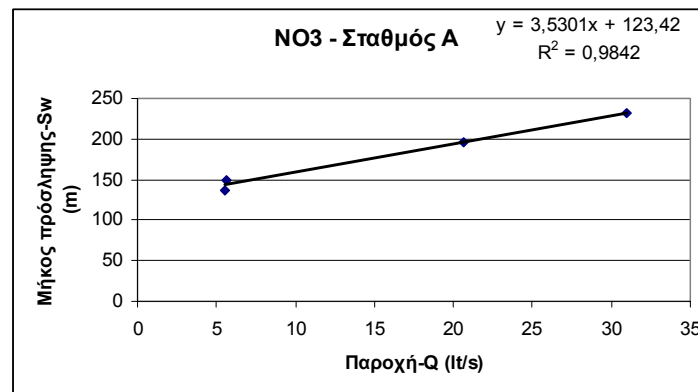


Διάγραμμα 89: Ρυθμός πρόσληψης U PO<sub>4</sub>

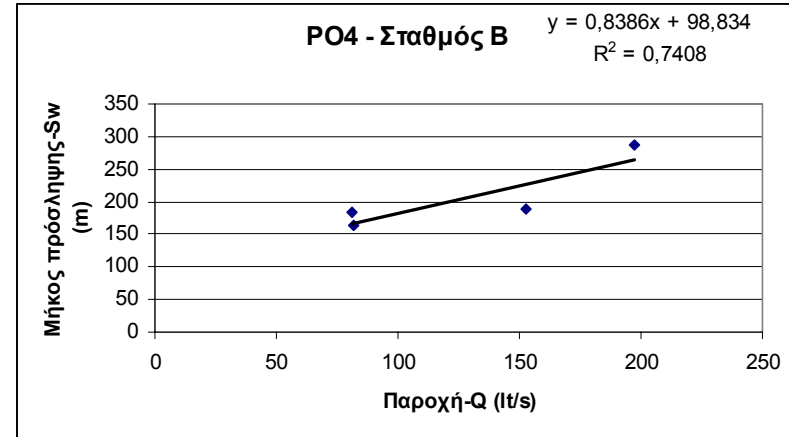
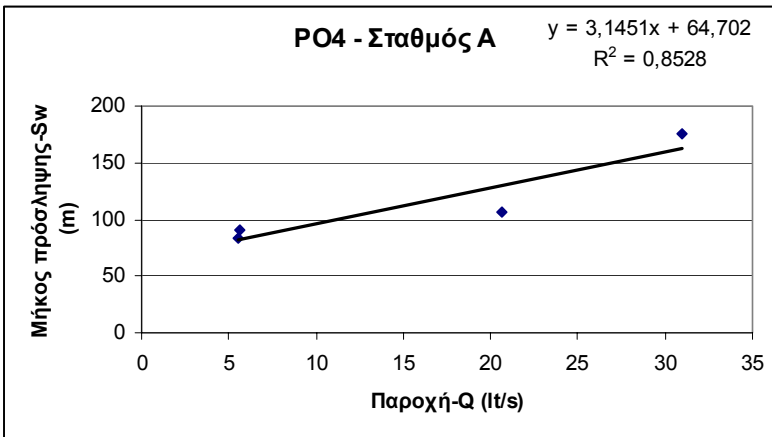
Αυτό που μπορεί άμεσα να παρατηρηθεί για τα  $\text{NH}_4$ ,  $\text{PO}_4$  και στους δύο σταθμούς και για το  $\text{NO}_3$  στον σταθμό Α, είναι ότι το μήκος πρόσληψης αυξάνεται όταν αυξάνεται η παροχή. Παρακάτω παρατίθενται ορισμένα διαγράμματα που δείχνουν τη σχέση αυτή:



Διαγράμματα 90 & 91: Σχέση μήκους πρόσληψης  $\text{NH}_4$  και παροχής



Διαγράμματα 92 & 93: Σχέση μήκους πρόσληψης  $\text{NO}_3$  και παροχής

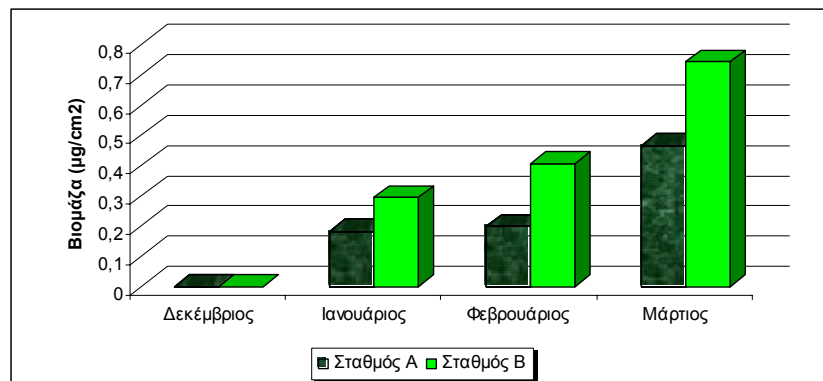


**Διαγράμματα 94 & 95:** Σχέση μήκους πρόσληψης PO<sub>4</sub> και παροχής

Στις παρακάτω παραγράφους το μήκος πρόσληψης εξετάζεται σε συνδυασμό και με άλλους παράγοντες, όπως το ποσό χλωροφύλλης α, η βιομάζα του περιφύτου και η αφθονία της ασπόνδυλης πανίδας του ποταμού.

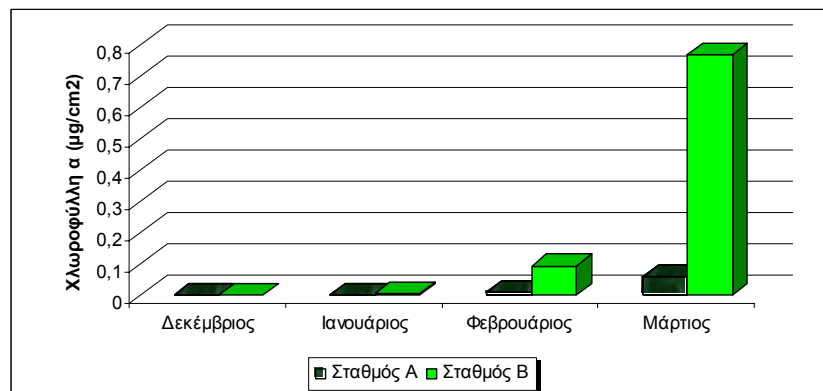
### 3.4 Βιομάζα περίφυτου

Τα αποτελέσματα της μελέτης για την βιομάζα του περίφυτου είναι τα εξής:



**Διάγραμμα 96:** Βιομάζα περίφυτου

Ενώ για το ποσό χλωροφύλλης α τα αποτελέσματα δίνονται παρακάτω:



**Διάγραμμα 97:** Χλωροφύλλη α του περίφυτου

Παρατηρείται, δηλαδή μια σταδιακή αύξηση της χλωροφύλλης α από τον Δεκέμβριο έως τον Μάρτιο, ιδιαίτερα τον Φεβρουάριο και τον Μάρτιο. Κατά τους δύο αυτούς μήνες εμφανίζεται και η μεγαλύτερη πτώση στο μήκος πρόσληψης –  $S_w$ , δηλαδή η μεγαλύτερη ικανότητα κατακράτησης θρεπτικών ιόντων.





### 3.5 Δομή κοινότητας ασπονδύλων

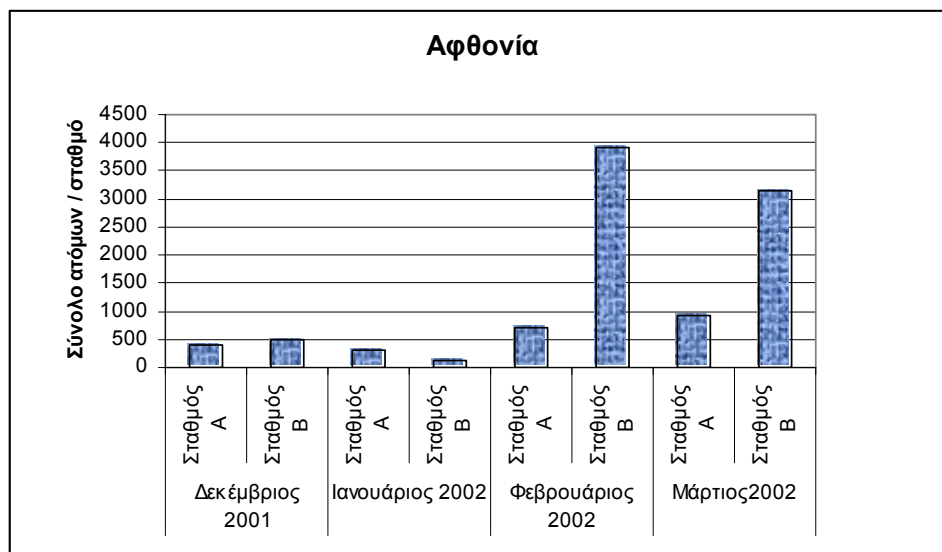
Στο σημείο αυτό παρατίθενται τα αποτελέσματα της μελέτης της βιοκοινότητας, ως προς την σύνθεση, την αφθονία, την πυκνότητα και τις λειτουργικές τροφικές ομάδες (FFG).

Αρχικά τα αποτελέσματα για την αφθονία, όπου τα αντίστοιχα ποσοστά των taxa είναι:

		Δεκέμβριος 2001		Ιανουάριος 2002		Φεβρουάριος 2002		Μάρτιος 2002		
taxa		Σταθμός A	Σταθμός B	Σταθμός A	Σταθμός B	Σταθμός A	Σταθμός B	Σταθμός A	Σταθμός B	
Platyhelminthes		0	0	0	0	0	0	0	1	
Nematoda		0	1	0	0	0	0	3	0	
Annelida	<i>Oligochaeta</i>	225	146	51	95	373	3804	376	2887	
Mollusca	<i>Pulmonata</i>	3	4	1	1	0	2	1	12	
	<i>Gyraulus</i>	0	38	8	8	0	4	10	17	
	<i>Ancylus</i>	2	10	0	0	0	0	0	3	
Arthropoda (Arachnida)	<i>Acari</i>	0	0	0	0	2	4	1	8	
	<i>Hydracarina</i>	1	0	3	0	0	0	0	0	
Arthropoda (Crustacea)	<i>Ostracoda</i>	9	160	7	3	58	24	33	16	
	<i>Copepoda</i>	0	33	0	1	4	20	118	17	
	<i>Isopoda</i>	7	9	1	0	0	0	1	0	
	<i>Amphipoda</i>	1	0	0	0	0	0	1	1	
Arthropoda (Insecta)	<i>Collembola</i>	44	23	1	1	1	0	0	0	
	<i>Coleoptera</i>	5	2	1	0	4	0	9	1	
	<i>Plecoptera</i>	0	0	22	0	243	0	220	0	
	<i>Diptera</i>	<i>diptera 1</i>	13	5	5	0	6	0	22	20
		<i>diptera 2</i>	11	0	1	0	0	0	0	0
		<i>Ceratopogonidae</i>	9	3	0	2	8	5	22	7
		<i>Simuliidae</i>	0	0	0	12	0	0	0	0
	<i>Chironomidae</i>	65	58	194	14	23	58	56	106	

	<i>Trichoptera</i>	<i>Trichoptera 1</i>	0	0	2	0	0	0	0	0
		<i>Limnephilidae</i>	0	0	2	0	1	1	40	42
<b>Tartigrada</b>			0	0	0	0	0	3	0	1
total			395	492	299	137	723	3925	913	3139

**Πίνακας 3:** Αριθμός ατόμων ανά taxon στους σταθμούς Α και Β



**Διάγραμμα 98:** Σύνολο ατόμων ανά σταθμό

Τα αντίστοιχα ποσοστά είναι:

		Δεκέμβριος 2001		Ιανουάριος 2002		Φεβρουάριος 2002		Μάρτιος 2002		
taxa		Σταθμός Α	Σταθμός Β	Σταθμός Α	Σταθμός Β	Σταθμός Α	Σταθμός Β	Σταθμός Α	Σταθμός Β	
<b>Platyhelminthes</b>		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
<b>Nematoda</b>		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
<b>Annelida</b>	<i>Oligochaeta</i>	57%	30%	17%	69%	52%	97%	41%	92%	
<b>Mollusca</b>	<i>Pulmonata</i>	1%	1%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	
	<i>Gyraulus</i>	0%	8%	3%	6%	0%	0%	1%	1%	
	<i>Ancylus</i>	1%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
<b>Arthropoda (Arachnida)</b>	<i>Acari</i>	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
	<i>Hydracarina</i>	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	
<b>Arthropoda (Crustacea)</b>	<i>Ostracoda</i>	2%	33%	2%	2%	8%	1%	4%	1%	
	<i>Copepoda</i>	0%	7%	0%	1%	1%	1%	13%	1%	
	<i>Isopoda</i>	2%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
	<i>Amphipoda</i>	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
<b>Arthropoda (Insecta)</b>	<i>Collembola</i>	11%	5%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	
	<i>Coleoptera</i>	1%	0%	0%	0%	1%	0%	1%	0%	
	<i>Plecoptera</i>	0%	0%	7%	0%	34%	0%	24%	0%	
	<i>Diptera</i>	<i>diptera 1</i>	3%	1%	2%	0%	1%	0%	2%	1%
		<i>diptera 2</i>	3%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
		<i>Ceratopogonidae</i>	2%	1%	0%	1%	1%	0%	2%	0%
		<i>Simuliidae</i>	0%	0%	0%	9%	0%	0%	0%	0%
		<i>Chironomidae</i>	16%	12%	65%	10%	3%	1%	6%	3%
	<i>Trichoptera</i>	<i>Trichoptera 1</i>	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%
<i>Limnephilidae</i>		0%	0%	1%	0%	0%	0%	4%	1%	

Tartigrada			0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
------------	--	--	----	----	----	----	----	----	----	----

**Πίνακας 4:** Ποσοστά των taxa που βρέθηκαν στους δύο σταθμούς

Τα κυριότερα taxa είναι οι Ολιγόχαιτοι και τα δίπτερα, ενώ τα Πλεκόπτερα, μια ομάδα που χρησιμοποιείται ως βιολογικός δείκτης της ποιότητας του νερού (Armitage et al., 1983), εμφανίζονται μόνο στον σταθμό Α.

Η πυκνότητα των taxa (άτομα / cm<sup>2</sup>) είναι:

		Δεκέμβριος 2001		Ιανουάριος 2002		Φεβρουάριος 2002		Μάρτιος 2002	
taxa		Σταθμός Α	Σταθμός Β	Σταθμός Α	Σταθμός Β	Σταθμός Α	Σταθμός Β	Σταθμός Α	Σταθμός Β
<b>Platyhelminthes</b>		0	0	0	0	0	0	0	0,00025
<b>Nematoda</b>		0	0,00025	0	0	0	0	0,00068	0
<b>Annelida</b>	<i>Oligochaeta</i>	0,05114	0,0365	0,01063	0,03958	0,1225	0,86455	0,08545	0,72175
<b>Mollusca</b>	<i>Pulmonata</i>	0,00068	0,001	0,00021	0,00042	0	0,00045	0,00023	0,003
	<i>Gyraulus</i>	0	0,0095	0,00167	0,00333	0	0,00091	0,00227	0,00425
	<i>Ancylus</i>	0,00045	0,0025	0	0	0	0	0	0,00075
<b>Arthropoda (Arachnida)</b>	<i>Acari</i>	0	0	0	0	0	0,00091	0,00023	0,002
	<i>Hydracarina</i>	0,00023	0	0,00063	0	0	0	0	0
<b>Arthropoda (Crustacea)</b>	<i>Ostracoda</i>	0,00205	0,04	0,00146	0,00125	0,0125	0,00545	0,0075	0,004
	<i>Copepoda</i>	0	0,00825	0	0,00042	0	0,00455	0,02682	0,00425
	<i>Isopoda</i>	0,00159	0,00225	0,00021	0	0	0	0,00023	0
	<i>Amphipoda</i>	0,00023	0	0	0	0	0	0,00023	0,00025
<b>Arthropoda</b>	<i>Collembola</i>	0,01	0,00575	0,00021	0,00042	0,0025	0	0	0

<b>(Insecta)</b>	<i>Coleoptera</i>		0,00114	0,0005	0,00021	0	0	0	0,00205	0,00025	
	<i>Plecoptera</i>		0	0	0,00458	0	0,1225	0	0,05	0	
	<i>Diptera</i>	<i>diptera 1</i>		0,00295	0,00125	0,00104	0	0,005	0	0,005	0,005
		<i>diptera 2</i>		0,0025	0	0,00021	0	0	0	0	0
		<i>Ceratopogonidae</i>		0,00205	0,00075	0	0,00083	0,005	0,00114	0,005	0,00175
		<i>Simuliidae</i>		0	0	0	0,005	0	0	0	0
		<i>Chironomidae</i>		0,01477	0,0145	0,04042	0,00583	0,0125	0,01318	0,01273	0,0265
	<i>Trichoptera</i>	<i>Trichoptera 1</i>		0	0	0,00042	0	0	0	0	0
<i>Limnephilidae</i>			0	0	0,00042	0	0	0,00023	0,00909	0,0105	
<b>Tartigrada</b>			0	0	0	0	0	0,00068	0	0,00025	

**Πίνακας 5:** Πυκνότητα κάθε taxon στους δύο σταθμούς

Τα αριθμός των ατόμων που αντιστοιχεί σε κάθε λειτουργική τροφική ομάδα παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα:

	Δεκέμβριος 2001		Ιανουάριος 2002		Φεβρουάριος 2002		Μάρτιος 2002	
	Σταθμός A	Σταθμός B	Σταθμός A	Σταθμός B	Σταθμός A	Σταθμός B	Σταθμός A	Σταθμός B
<b>Shredders</b>	17	202	30	4	305	44	373	34
<b>Collectors</b>	369	236	251	123	415	3866	525	3060
<b>Scrapers</b>	5	52	9	9	0	6	11	32
<b>Predators</b>	4	2	9	1	3	9	4	13
<b>Σύνολο</b>	395	492	299	137	723	3925	913	3139

**Πίνακας 6:** Αριθμός ατόμων ανά λειτουργική τροφική ομάδα

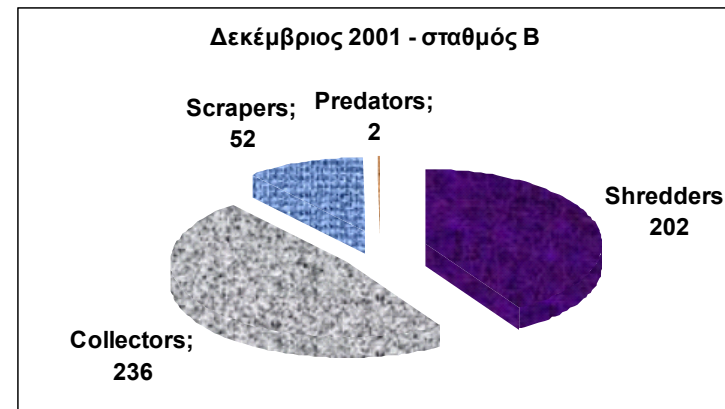
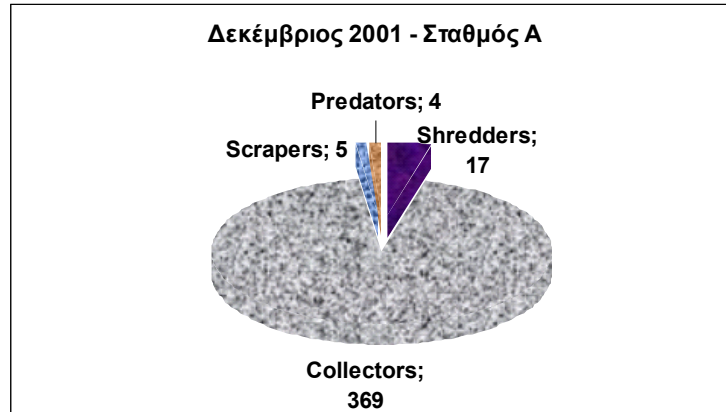
Τα αντίστοιχα ποσοστά είναι:

	Δεκέμβριος 2001		Ιανουάριος 2002		Φεβρουάριος 2002		Μάρτιος 2002	
	Σταθμός A	Σταθμός B	Σταθμός A	Σταθμός B	Σταθμός A	Σταθμός B	Σταθμός A	Σταθμός B
<b>Shredders</b>	4%	41%	10%	3%	42%	1%	41%	1%
<b>Collectors</b>	93%	48%	84%	90%	57%	98%	58%	97%
<b>Scrapers</b>	1%	11%	3%	7%	0%	0%	1%	1%
<b>Predators</b>	1%	0%	3%	1%	0%	0%	0%	0%

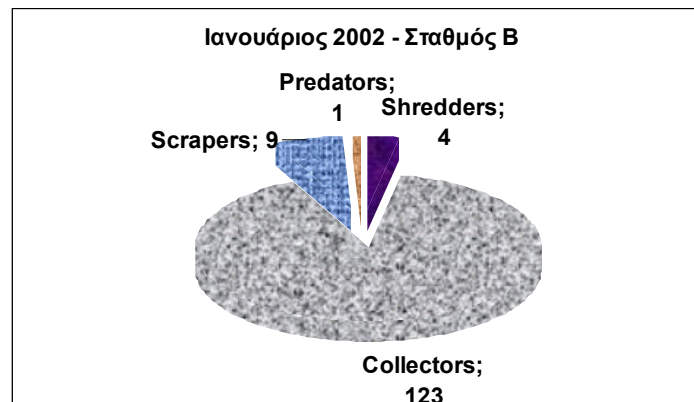
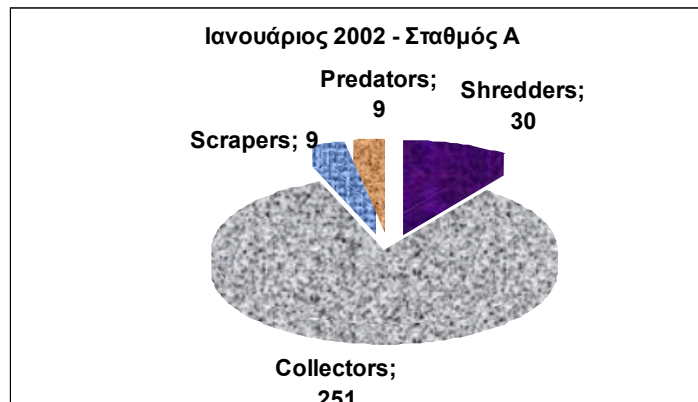
**Πίνακας 7:** Ποσοστά των τροφικών λειτουργικών ομάδων στους δύο σταθμούς

Παρατηρείται ότι αν και ο σταθμός B έχει την μεγαλύτερη αφθονία, εντούτοις δεν διαθέτει μεγάλη ποικιλομορφία καθώς το 30 έως και το 97% της κοινότητας αποτελούν οι Ολιγόχαιτοι. Αυτό εμφανίζεται και στις τροφικές ομάδες όπου οι collectors και οι shredders αποτελούν σχεδόν την ολότητα της κοινότητας.

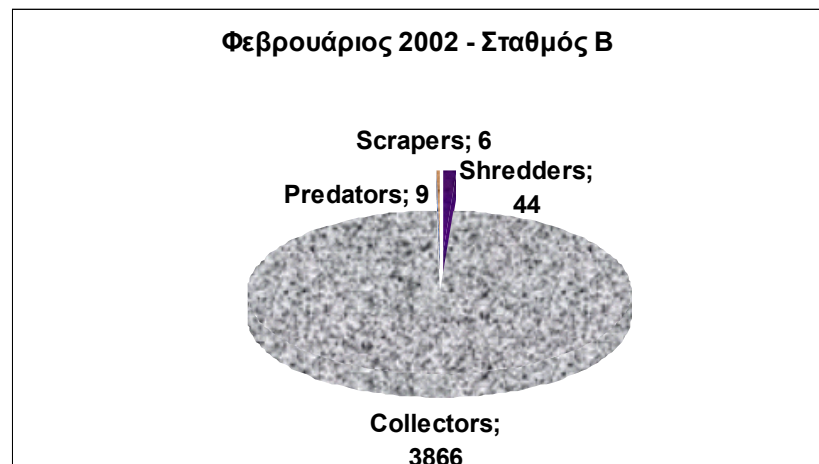
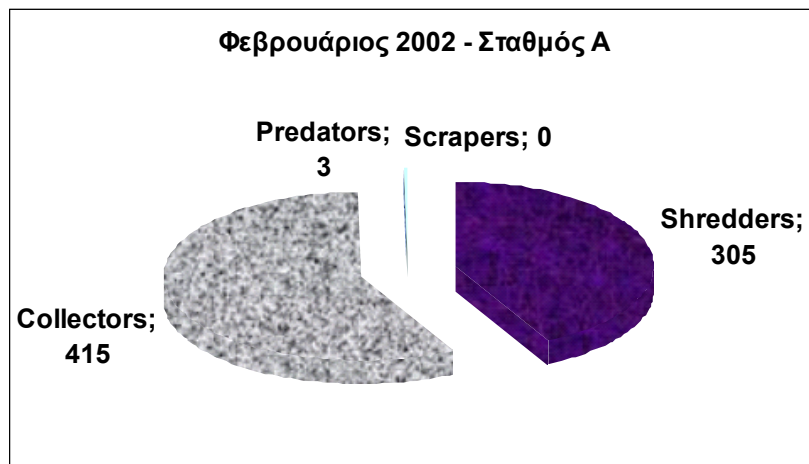
Παρακάτω εμφανίζονται τα αποτελέσματα των λειτουργικών τροφικών ομάδων σχηματικά:



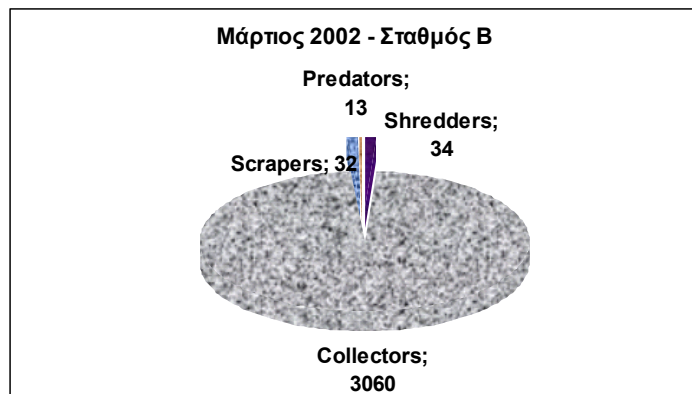
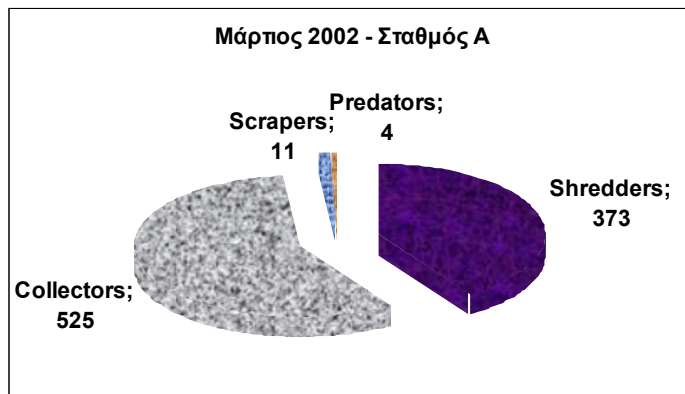
**Διαγράμματα 99 & 100:** Σύνθεση των λειτουργικών τροφικών ομάδων το Δεκέμβριο στους σταθμούς Α και Β αντίστοιχα



**Διαγράμματα 101 & 102:** Σύνθεση των λειτουργικών τροφικών ομάδων τον Ιανουάριο στους σταθμούς Α και Β αντίστοιχα



**Διαγράμματα 103 & 104:** Σύνθεση των τροφικών λειτουργικών ομάδων το Φεβρουάριο στους σταθμούς Α και Β αντίστοιχα



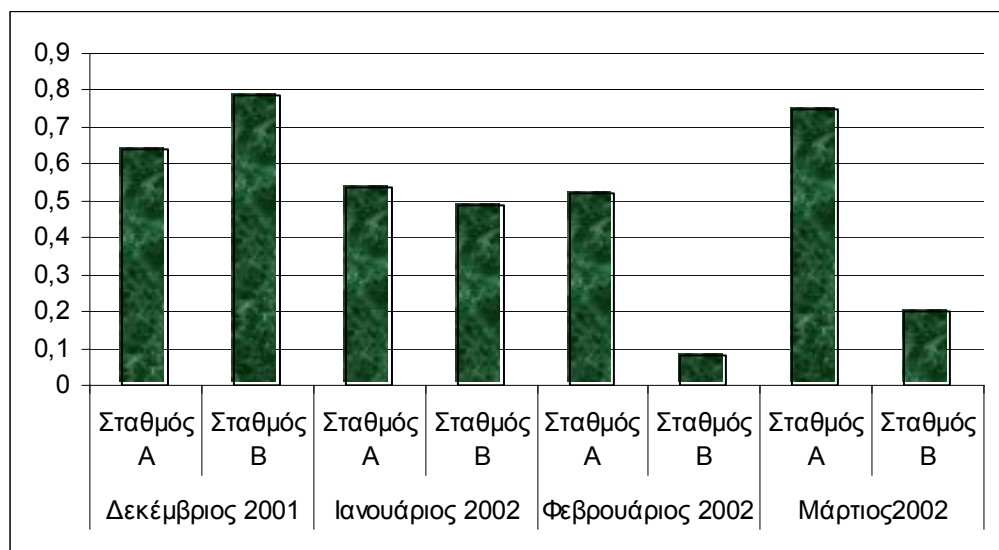
**Διαγράμματα 105 & 106:** Σύνθεση των λειτουργικών τροφικών ομάδων το Μάρτιο στους σταθμούς Α και Β αντίστοιχα



Για την ποικιλότητα των δύο σταθμών χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης Shannon H' (Shannon & Weaver, 1949). Τα αποτελέσματα ήταν:

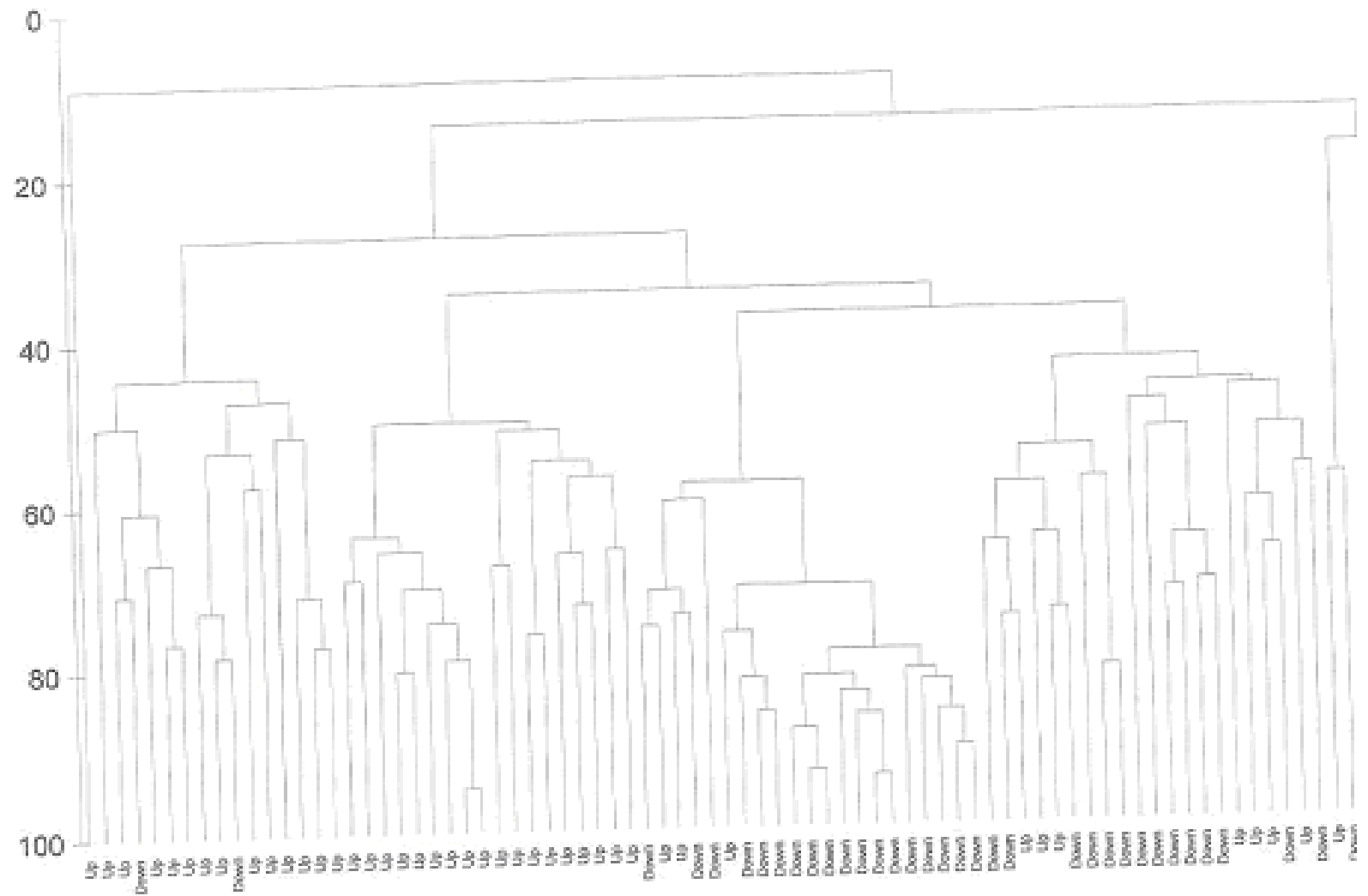
Δείκτης Shannon							
Δεκέμβριος 2001		Ιανουάριος 2002		Φεβρουάριος 2002		Μάρτιος 2002	
Σταθμός A	Σταθμός B	Σταθμός A	Σταθμός B	Σταθμός A	Σταθμός B	Σταθμός A	Σταθμός B
0,63723	0,78359	0,5368	0,48608	0,52185	0,08021	0,74879	0,1992

**Πίνακας 8:** Δείκτης Shannon στους δύο σταθμούς κατά τους μήνες δειγματοληψίας



**Διάγραμμα 107:** Δείκτης Shannon στους δύο σταθμούς

# Similarity



Στα παραπάνω διαγράμματα που έγιναν με τη μέθοδο Cluster analysis (χρήση του προγράμματος Primer 5) εμφανίζεται μια διαφοροποίηση και ομαδοποίηση των σταθμών σε Up και Down , δηλαδή σε Α και Β σταθμό, ως προς την αφθονία.

## Κεφάλαιο 4

### Συμπεράσματα - Συζήτηση

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής, και συγκεκριμένα όσον αφορά το κεντρικό θέμα της μελέτης, που είναι η πορεία και η συμπεριφορά των θρεπτικών ιόντων του αζώτου και του φωσφόρου σ'ένα χειμάρρο, διαπιστώνουμε ότι υπάρχει κατακράτηση των ιόντων αυτών. Αυτό ήταν αναμενόμενο, βασικά λόγω των χαμηλών παροχών του νερού του χειμάρρου, αλλά και της χαμηλής ταχύτητας ροής του νερού.

Πράγματι, η κατακράτηση αυτή φάνηκε ότι έχει άμεση σχέση με την διακύμανση της παροχής. Συγκεκριμένα φάνηκε ότι κατά την αρχή του υδρολογικού κύκλου όπου η παροχές ήταν αυξημένες (Δεκέμβριος 2001 και Ιανουάριος 2002), η κατακράτηση ήταν μικρή (μεγάλο μήκος πρόσληψης), ενώ αυξήθηκε (μικρό μήκος πρόσληψης), στην συνέχεια όπου η παροχή μειώθηκε.

Ένα αποτέλεσμα της μελέτης που επιβεβαιώνει για μια ακόμη φορά το ρόλο της παροχής του χειμάρρου στην κατακράτηση των θρεπτικών είναι ότι και ανάμεσα στους δύο σταθμούς A και B, οι οποίοι διαφέρουν σημαντικά όσον αφορά την παροχή, εμφανίζονται διαφορές στην κατακράτηση. Ο σταθμός A, που έχει μικρότερη παροχή από το σταθμό B, φαίνεται να κατακρατεί περισσότερο τα θρεπτικά απ'ότι ο σταθμός B.

Επίσης με τη μέθοδο των εγχύσεων, όπου οι συνθήκες είναι ελεγχόμενες και οι ποσότητες των θρεπτικών που προσθέτουμε έχουν άμεση σχέση με τις υπάρχουσες συγκεντρώσεις θρεπτικών στο ποτάμι ενώ έχει ληφθεί υπόψη και η παροχή, μπορούμε να εξετάσουμε τις διαφορές στην κατακράτηση των

θρεπτικών μεταξύ τους. Εμφανίζεται λοιπόν, ότι κατά πρώτο λόγο τα  $\text{PO}_4$  ιόντα και κατά δεύτερο τα  $\text{NH}_4$  ιόντα κατακρατούνται σε μεγαλύτερο βαθμό από τα  $\text{NO}_3$  ιόντα (μικρότερα μήκη πρόσληψης). Στο ίδιο αποτέλεσμα έχουν καταλήξει και άλλες μελέτες (Marti & Sabater 1996).

Όσον αφορά τη μεταφορά των θρεπτικών στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα, από ότι έδειξαν οι μετρήσεις μας, το ιζημά μας είναι περατό και παράλληλα ειδικά στον σταθμό Α αναβλύζει, ενώ στον σταθμό Β μεταφέρεται προς τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα. Το νερό που αναβλύζει μειώνεται σταδιακά με το πέρασμα των μηνών, ενώ το νερό που “χάνεται” προς τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα αυξάνεται. Η ένδειξη αυτή ισχυροποιεί την πιθανότητα μεταφοράς των θρεπτικών προς τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα. Αυτή η μεταφορά των θρεπτικών θα πρέπει να αλλάζει και εποχιακά, λόγω της διαφορετικής μετακίνησης του νερού κατά τον κάθετο άξονα, που αναφέραμε προηγουμένως.

Λόγω του ότι τα υπόγεια νερά στην Κρήτη είναι αρκετά πλούσια σε σχέση με τα επιφανειακά, ακριβώς λόγω της περατότητας των ασβεστολιθικών πετρωμάτων που κυριαρχούν, μια επιβάρυνσή τους με θρεπτικά από τα επιφανειακά νερά, δημιουργεί σοβαρό πρόβλημα ρύπανσης ενός σημαντικού αποθέματος νερού για την Κρήτη. Επί πλέον, μιας και το υπόγειο νερό αναβλύζει και βγαίνει στην επιφάνεια ξανά, όπως έδειξε η μελέτη μας, αυτή η ρύπανση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα μεταφέρεται ξανά στην επιφάνεια και επαναρυπαίνει τα νερά της κοίτης.

Θεωρούμε ότι λόγω της σημαντικότητας του θέματος αυτού για την Μεσόγειο γενικότερα, η περαιτέρω κατανόηση των μηχανισμών ανταλλαγής νερού κατά τον κάθετο άξονα και η απλοποίηση της μεθοδολογίας, έτσι ώστε να επιτρέπει τη συνεχή παρακολούθηση της χημείας του υπόγειου νερού είναι επιβεβλημένη.

Όσον αφορά το βιολογικό κομμάτι της μελέτης, που μας επιτρέπει να κατανοήσουμε τη συμμετοχή των φυτικών και ζωικών οργανισμών στην κατακράτηση των θρεπτικών, οι πληροφορίες από τη μελέτη αυτή είναι σημαντικές, αλλά όχι ολοκληρωμένες. Και τούτο διότι λείπει, προς το παρόν, το τελικό αποτέλεσμα που θα μας δείξει συγκεκριμένα πόσο N και πόσο P έχουν κατακρατήσει οι οργανισμοί, μέσα από μια μεθοδολογία ανάλυσης της βιομάζας τους. Αυτό βέβαια σαν αποτέλεσμα θα υπάρξει από το πρόγραμμα STREAMES, έτσι ώστε να μπορούμε να εκτιμήσουμε το ρόλο των οργανισμών στην πορεία των θρεπτικών μέσα σ'ένα χειμάρρο.

Και με τα υπάρχοντα δεδομένα όμως της μελέτης αυτής, τα συμπεράσματα είναι σημαντικά, καθ'όσον φαίνεται ότι υπάρχει μια σημαντική βιομάζα αυτότροφων οργανισμών, η οποία θα μπορούσε να κατακρατήσει ποσότητες θρεπτικών. Η σημαντική βιομάζα των αυτότροφων οργανισμών σε Μεσογειακά ποτάμια μικρής παροχής ή σε χειμάρρους είναι επίσης αναμενόμενη, διότι πολλοί από τους παράγοντες που επηρεάζουν θετικά την αύξηση των αυτότροφων οργανισμών είναι υπαρκτοί, όπως: ρηχό νερό (διείσδυση του φωτός), αυξημένη θερμοκρασία (μεταβολική δραστηριότητα, παροχή θρεπτικών) και μικρές κοίτες, άρα επαφή με την παρόχθια βλάστηση που συνεπάγεται συσσώρευση οργανικής ουσίας.

Πράγματι, παρατηρούμε ότι ξεκινώντας από τον χειμώνα και πηγαινόντας προς την άνοιξη, η βιομάζα και το ποσό χλωροφύλλης του περιφύτου αυξάνει και από σχεδόν ανύπαρκτη κατά τους μήνες Δεκέμβριο και Ιανουάριο, αυξάνει υπέρμετρα το Φεβρουάριο και το Μάρτιο και στους δύο σταθμούς. Ο σταθμός Β εμφανίζει περισσότερη βιομάζα, καθ'ότι η παρόχθια βλάστηση στην περιοχή είναι λιγότερο πυκνή απ'ότι στον σταθμό Α, αφήνοντας το φως να φτάσει στην επιφάνεια του νερού, σε μεγαλύτερα ποσά, αλλά και διότι δέχεται ρυπαντικά φορτία, περισσότερα από τον Α.

Παρόλο όμως, που οι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί στον σταθμό Β είναι περισσότερο ανεπτυγμένοι, εντούτοις η κατακράτηση των θρεπτικών στο σταθμό αυτό, είναι μικρότερη. Αυτό επιβεβαιώνει το ρόλο της παροχής, που φαίνεται να παίζει πιο σημαντικό ρόλο στην κατακράτηση των θρεπτικών, ακόμα και από τους αυτότροφους οργανισμούς.

Όσον αφορά τους ασπόνδυλους ζωικούς οργανισμούς, υπάρχει διαφοροποίηση των δύο σταθμών με βάση το δενδρόγραμμα, όπου τα δείγματα του ρυπασμένου σταθμού Β (down) ομαδοποιούνται χωριστά από τα δείγματα του καθαρού σταθμού Α (up).

Όσον αφορά τη βιοποικιλότητα, όπως εμφανίζεται από το δείκτη Shannon, αυτή είναι παρόμοια στους δύο σταθμούς κατά τους πρώτους δύο μήνες δειγματοληψίας. Αυτό οφείλεται στο ότι βρισκόμασταν στην αρχή του υδρολογικού κύκλου και η κοινότητα δεν είχε αναπτυχθεί. Τους επόμενους μήνες η ποικιλότητα στον σταθμό Β ελαττώνεται, σαν αποτέλεσμα της ρύπανσης που υφίσταται.

Ο σταθμός Β είναι υποβαθμισμένος, αφού δεν εμφανίζονται σε αυτόν τα Πλεκόπερα, που αποτελούν δείκτη καθαρότητας του νερού (Armitage et al. 1982). Ένα επίσης σοβαρό στοιχείο που ισχυροποιεί το γεγονός ότι ο σταθμός Β είναι υποβαθμισμένος, είναι η έξαρση των Ολιγόχαιτων, που θεωρούνται «οπορτουμιστικοί» οργανισμοί, οι οποίοι επιβιώνουν και στις πιο δυσμενείς συνθήκες. Γι' αυτό, ενώ η αφθονία στον σταθμό Β είναι αυξημένη, η ποικιλότητά του είναι μικρότερη απ' την ποικιλότητα στον σταθμό Α. Παρατηρούμε δηλαδή ότι εξαιτίας της ρύπανσης, που δέχεται ο σταθμός Β, η κοινότητα των ασπονδύλων είναι διαφοροποιημένη.

Όσον αφορά τη συμμετοχή των ασπόνδυλων οργανισμών στην πορεία των θρεπτικών, δεν μπορούμε να έχουμε ακόμη ολοκληρωμένα συμπεράσματα, μιας και η ανάλυση που θα μας δείχνει το N και το P που αυτοί έχουν απορροφήσει, δεν είναι ολοκληρωμένη. Μπορούμε όμως να υποθέσουμε ότι τουλάχιστον οι ασπόνδυλοι οργανισμοί που τρέφονται με τους αυτότροφους μικροοργανισμούς του περίφυτου, θα εμφανίζουν υψηλές συγκεντρώσεις N και P με την προϋπόθεση ότι και οι συγκεντρώσεις N και P στους οργανισμούς του περίφυτου θα είναι αυξημένες.

Συνοψίζοντας μπορούμε με βεβαιότητα να ισχυριστούμε ότι στο ποτάμι της μελέτης μας υπάρχει κατακράτηση θρεπτικών, η οποία επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, αλλά κατά κύριο λόγο είναι αντιστρόφως ανάλογη της παροχής. Άλλοι παράγοντες, όπως οι φυτικοί και ζωικοί οργανισμοί, καθώς και η επικοινωνία με τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης σε μελλοντικές εργασίες.



## Βιβλιογραφία

1. Apha, Awwa and Wef, 1992. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18<sup>th</sup> ed. American Public Health Association, Washington DC, USA
2. Armitage P.D., D. Moss, J.F. Wright & Furse M.T., 1982, The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running-water sites. *Water Research* 17:333-347
3. Bencala K.E., & Walters R.A, 1983, Simulation of solute transport in a mountain pool-and-riffle streamQ A transient storage model., *Water Resources Research*, 19: 718-724
4. Bray J.R. & Curtis J.T., 1957, An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin, *Ecol. Monogr.* 27(4): 325-349
5. Butturini A. & Sabater F., 1998, Ammonium and phosphate retention in a Mediterranean stream: hydrological versus temperature control. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 55:1938-1945
6. Cummins K.W., 1973, Trophic relations of aquatic insects. *Annual Review of Entomology* 18: 183 - 206
7. Cummins K.W., 1974, Structure and function of stream ecosystems, *BioScience* 24: 631-641

8. Cummins K.W. & Klug M.J., 1979, Feeding ecology of stream invertebrates, *Annual Review of Ecology and Systematics* 10: 147-172
9. Cummins K.W. & Wilzbach M.A., 1985, Field Procedures for the Analysis of Functional Feeding Groups in Stream Ecosystems, Appalachian Environmental Laboratory, Contribution 1611, University of Maryland, Frostburg, MD
10. Cummins K.W., 1992, Invertebrates, *The Rivers Handbook : Hydrological and Ecological Principles*, Blackwell Scientific, London, UK
11. Cummins K.W., 1993, Bioassessment and analysis of functional organization of running water ecosystems, *Biological Monitoring of Aquatic Systems*, Lewis, Boca Raton, FL
12. Elwood J. W., J.D. Newbold, R.V. O'Neil & W.V. Vanwinkle, 1983. Resources spiralling: an operational paradigm for analyzing lotic ecosystems. In T. D. Fontaine III & S. M. Bartell (eds) *Dynamics of lotic ecosystem*. Ann Arbor Science, Ann Arbor, Michigan: 3-27
13. Fisher S.G., Grimm, N.B., Marti E., Holmes R.M. & J.B. Jones Jr., 1998, Material spiraling in stream corridors: A telescoping ecosystem model. *Ecosystems* 1:19-34
14. Gaussen , 1954, *Biology and Wildlife of the Mediterranean region*, J. Blondel & J. Aronson (eds), Oxford University Press

15. Gregory S.V., 1980, Effects of Light, Nutrients and Grazing on Periphyton Communities in streams, PhD dissertation, Oregon State University, Corvallis, OR
16. Gordon N.D., T.A. McMahon & Finlayson B.L., 1992, Stream hydrology: an introduction for ecologists. John Wiley and Sons, west Sussex, England
17. Hauer F.R & Lamberti G.A, 1996, Methods in Stream Ecology, Academic Press
18. Maltchik L., S. Molla, C. Montes & Casado C., 1996, Measurement of nutrient spiraling during a period of continuous surface flow in a Mediterranean temporary stream (Arroyo de La Montesina, Spain). *Hydrobiologia* 335: 133-139
19. Marti E. & Sabater F.,1996, High variability in temporal and spatial nutrient retention in Mediterranean streams. *Ecology* 77(3): 854-869
20. Mayer M.S. & Likens G.E. 1987, The importance of algae in a shaded headwater stream as food for an abundant caddisfly (Trichoptera), *Journal of the North American Benthological Society* 6: 262-269
21. Merritt R.W & Cummins K.W., 1996, An Introduction to the Aquatic Insects of North America, Kendall/Hunt, Dubuque, IA
22. Merritt R.W., K.W. Cummins and T.M. Burton, 1984, The role of aquatic insects in the processing and cycling of nutrients, The Ecology of Aquatic Insects, Praeger Scientific, New York

23. McClain M.E, J.E. Richey and T.P. Pimentel, 1994, Groundwater nitrogen dynamics at the terrestrial-lotic interface of a small catchment in the Central Amazon Basin. *Biogeochemistry* 27: 113-127
24. McDowell W.H., W.B. Bowden, and C.E. Asbury, 1992, Riparian nitrogen dynamics in two geomorphologically distinct tropical forest watersheds: Subsurface solute patterns, *Biogeochemistry* 18: 53-76
25. Mulholland P.J., Newbold J.D., J.W. Elwood, L.A. Ferren & J. R. Webster, 1985. Phosphorus spiralling in a woodland stream seasonal variations. *Ecology* 66: 1012 - 1023
26. Munn N.L. & Meyer J.L., 1990, Habitat -specific solute retention in two small streams: intersite comparison. *Ecology* 6: 2069-2082
27. Newbold J. D. 1992. Cycles and spirals of nutrients. In P. Calow & G. E. Petts (eds). *The Rivers Handbook*. Blackwell Scientific, Oxford: 370 - 408
28. Newbold J.D., J.W. Elwood, R. V. O'Neil & W. Vanwinkle, 1981. Measuring nutrient spiralling in stream. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38: 60 - 863
29. Newbold J.D., R.V. O'Neil, J.W. Elwood and w. Vanwinkle, 1982, Nutrient spiralling in stream: implications for nutrient limitation and invertebrate activity. *Am. Nat.* 120:628-652
30. Newbold J.D., J.W. Elwood, R. V. O'Neil, & A. L. Sheldon, 1983. Phosphorus dynamics in a woodland stream ecosystem: a study of nutrient spiralling. *Ecology* 64: 1249 - 1265

31. Shannon C. & Weaver W., 1949, The mathematical theory of communication, Univ. of Illinois Press, Urbana
32. Steinman A.D, 1992, Does an increase in irradiance influence periphyton in a heavily-grazed woodland system? *Oecologia* 91: 163-170
33. Stream Solute Workshop, 1990, Concepts and methodologies for studying solute dynamics in stream ecosystems. *J. North Am. Benthol. Soc.* 9:95-119
34. Sfakianakis D., Voreadou C., 2001, Evaluation of purification capacity of an intermittent stream of Eastern Mediterranean area, fifteen years after a heavy impact by organic pollution, (submitted)
35. Wallace J.B & Merritt R.W., 1980, Filter-feeding ecology of aquatic insects, *Annual Review of Entomology* 25: 103-132
36. Webster, J.R. & B.C. Patten, 1979. Effect of watershed perturbation on stream potassium and calcium dynamics. *Ecol. Monog.* 19: 19 - 51
37. Whittaker R.H., 1973, Ordination and classification of communities, Junk, The Hague
38. Williams D.D. & Hynes H.B.N., 1976, The ecology of temporary streams II. General remarks on temporary streams. *Int. Revue ges. Hydrobiol.* 61(6): 53-61

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Δεκέμβριος 2001				
Διατομές	ελάχιστο	μέγιστο	μέσο	συντελεστής διακύμανσης
1	0,0	19,0	11,0	55,4
2	0	28	16,13	57,2
3	0	7	4,2	44,7
4	0	10	5,857	56,0
5	2	15	8,469	44,4
6	0	10	5,857	56,0
14	0	28	13,83	57,2
15	0	26	14,14	45,5
16	0	24	13,24	47,4
17	0	38	20,49	50,7
18	0	45	22,66	51,5
19	0	45	23,9	49,5
Ιανουάριος 2002				
Διατομές	ελάχιστο	μέγιστο	μέσο	συντελεστής διακύμανσης
1	0	20	10,8	54,8
2	0	24	16,34	45,5
3	0	19	11,8	36,7
4	0	14	9,471	40,6
5	0	16	8,972	53,7
6	0	14	7,947	47,7
14	1	51	24	69,4
15	0	40	23,44	49,6
16	0	29	17,47	54,2
17	0	40	20,03	52,5
18	0	45	21,69	57,4
19	2	47	22,46	53,1
Φεβρουάριος 2002				
Διατομές	ελάχιστο	μέγιστο	μέσο	συντελεστής διακύμανσης
1	0	12,5	7,75	48,2
2	2	15	11,21	38,6
3	0,0	6	2,5	74,2
4	0,5	6	3,583	47,9
5	1,0	7	3,654	44,1
6	0	5	2,85	55,5

14	0	16,3	9,875	53,4
15	2	18,5	11,09	40,0
16	0	18	10,58	43,1
17	0	19	11,41	48,4
18	2	19	12	43,8
19	1	18	11,18	46,4
<b>Μάρτιος 2002</b>				
<b>Διατομές</b>	<b>ελάχιστο</b>	<b>μέγιστο</b>	<b>μέσο</b>	<b>συντελεστής διακύμανσης</b>
1	0	8	3,923	57,0
2	0	16	10,09	47,3
3	0	7	2,727	85,3
4	0	12,3	6,125	71,8
5	0	5,5	2,777	55,5
6	0	8,2	4	71,4
14	0	22	11,56	56,0
15	2	21,7	14,26	39,7
16	1	18,6	12,17	43,2
17	0	18,5	11,63	42,2
18	0	20,2	12,44	47,3
19	2	22	13,44	41,5

**Πίνακας 9:** Ελάχιστο, μέγιστο, μέσο βάθος (cm) και συντελεστής διακύμανσης σε κάθε διατομή





	Δεκέμβριος 2001		Ιανουάριος 2002		Φεβρουάριος 2002		Μάρτιος 2002	
	Σταθμός A	Σταθμός B	Σταθμός A	Σταθμός B	Σταθμός A	Σταθμός B	Σταθμός A	Σταθμός B
μέσο βάθος (cm)	8,6	18,0	10,9	21,5	5,3	11,0	4,9	12,6
συντελεστής διακύμανσης	51,3	26,9	27,5	11,3	66,1	6,6	56,9	8,5
standard error	1,8	2,0	1,2	1,0	1,4	0,3	1,1	0,4

Πίνακας 10: Μέσο βάθος (cm), συντελεστής διακύμανσης και standard error σε κάθε μήνα δειγματοληψίας στους δύο σταθμούς

Τύπος υποστρώματος (%)		Δεκέμβριος 2001		Ιανουάριος 2002		Φεβρουάριος 2002		Μάρτιος 2002	
		Σταθμός A	Σταθμός B	Σταθμός A	Σταθμός B	Σταθμός A	Σταθμός B	Σταθμός A	Σταθμός B
λάσπη	< 0,006 mm	5,85	5,33	5,18	6,51	5,62	6,79	5,5	7,77
άμμος	0,006 mm - 0,2 cm	12,25	13,13	13,31	10,87	12,63	10,73	10,75	10,54
χαλίκι	0,2 cm - 2 cm	35,52	32,68	33,09	33,92	34,04	32,01	34,83	32,79
πέτρα (1)	2 cm - 6 cm	25,77	26,36	28,26	26,73	26,03	27,54	28,18	25,32
πέτρα (2)	6 cm - 20 cm	16,22	17,21	16,21	17,17	15,68	16,22	16,78	18,83
πέτρα (3)	20 cm - 40 cm	4,38	5,3	3,94	4,79	6	6,71	3,95	4,73
βράχος	> 40 cm	0	0	0	0	0	0	0	0

Πίνακας 11: Σύνθεση υποστρώματος στους σταθμούς A και B κατά τους μήνες δειγματοληψίας

Στους παρακάτω πίνακες εμφανίζονται οι μέσοι όροι και τα standard errors της αγωγιμότητας και της θερμοκρασίας στους δύο σταθμούς και για τους τέσσερις μήνες της δειγματοληψίας.

### Δεκέμβριος 2001

	Αγωγιμότητα ( $\mu\text{S/cm}$ )				Θερμοκρασία ( $^{\circ}\text{C}$ )			
	υπόγειο	επιφανειακό	υπόγειο	επιφανειακό	υπόγειο	επιφανειακό	υπόγειο	επιφανειακό
	μέση τιμή		sterror		μέση τιμή		sterror	
<b>Σταθμός Α</b>	1011,8	1011,5	0,6	0,3	10,1	10,1	0,0	0,0
<b>Σταθμός Β</b>	730,7	729,3	1,3	1,4	11,4	11,3	0,0	0,0

Πίνακας 12: Θερμοκρασία και αγωγιμότητα επιφανειακού και υπόγειου νερού.

### Ιανουάριος 2002

	Αγωγιμότητα ( $\mu\text{S/cm}$ )				Θερμοκρασία ( $^{\circ}\text{C}$ )			
	υπόγειο	επιφανειακό	υπόγειο	επιφανειακό	υπόγειο	επιφανειακό	υπόγειο	επιφανειακό
	μέση τιμή		sterror		μέση τιμή		sterror	
<b>Σταθμός Α</b>	1014,7	1014,2	2,1	1,5	10,5	10,6	0,1	0,1
<b>Σταθμός Β</b>	730,0	728,3	0,8	0,7	12,2	12,3	0,0	0,0

Πίνακας 13: Θερμοκρασία και αγωγιμότητα επιφανειακού και υπόγειου νερού.

### Φεβρουάριος 2002

	Αγωγιμότητα (μS/cm)				Θερμοκρασία (οC)			
	υπόγειο	επιφανειακό	υπόγειο	επιφανειακό	υπόγειο	επιφανειακό	υπόγειο	επιφανειακό
	μέση τιμή		sterror		μέση τιμή		sterror	
<b>Σταθμός A</b>	1018,2	1014,0	3,1	1,5	12,2	11,8	0,2	0,1
<b>Σταθμός B</b>	731,2	727,0	1,5	1,5	14,3	14,2	0,0	0,0

**Πίνακας 14:** Θερμοκρασία και αγωγιμότητα επιφανειακού και υπόγειου νερού.

### Μάρτιος 2002

	Αγωγιμότητα (μS/cm)				Θερμοκρασία (οC)			
	υπόγειο	επιφανειακό	υπόγειο	επιφανειακό	υπόγειο	επιφανειακό	υπόγειο	επιφανειακό
	μέση τιμή		sterror		μέση τιμή		sterror	
<b>Σταθμός A</b>	999,8	1024,7	8,6	1,1	13,1	13,0	0,0	0,0
<b>Σταθμός B</b>	763,5	779,2	11,7	1,7	14,9	15,0	0,1	0,1

**Πίνακας 15:** Θερμοκρασία και αγωγιμότητα επιφανειακού και υπόγειου νερού.

Αποτελέσματα από την χωρική διακύμανση των υπαρχόντων συγκεντρώσεων θρεπτικών

	Δεκέμβριος 2001			Ιανουάριος 2002			Φεβρουάριος 2002			Μάρτιος 2002		
	NH4	NO3	PO4	NH4	NO3	PO4	NH4	NO3	PO4	NH4	NO3	PO4
<b>Ρυθμός πρόσληψης-U (mg/min*m2)</b>		112,80	1,90		105,20	1,00	0,63	47,80	0,70	0,48	28,18	0,60
<b>Μήκος πρόσληψης-Sw (m)</b>		384,60	204,10		500,00	208,30	243,90	312,50	188,70	285,70	370,40	200,00
<b>Συντελεστής μεταφοράς μάζας-Vf (m/s)</b>		0,0009	0,00172		0,0013	0,0032	0,000226	0,000176	0,00029	0,000228	0,000175	0,00032

**Πίνακας 16:** Συνοπτικά τα αποτελέσματα της χωρικής διακύμανσης των θρεπτικών

Αποτελέσματα από τις εγχύσεις:

NH4	Δεκέμβριος 2001		Ιανουάριος 2002		Φεβρουάριος 2002		Μάρτιος 2002	
	Σταθμός A	Σταθμός B	Σταθμός A	Σταθμός B	Σταθμός A	Σταθμός B	Σταθμός A	Σταθμός B
Ρυθμός πρόσληψης-U (mg/min*m2)	0,09	0,07	0,09	0,08	0,07	0,33	0,05	0,23
Μήκος πρόσληψης-Sw (m)	101,01	487,17	130,36	517,73	40,99	142,38	56,73	186,64
Συντελεστής ρυθμού πρόσληψης-Kc (1/s)	0,0149	0,0040	0,0192	0,0058	0,0024	0,0035	40,9907	0,0027
Συντελεστής μεταφοράς μάζας-Vf (m/s)	0,0013	0,0007	0,0021	0,0013	0,0001	0,0004	0,0001	0,0003
<b>NO3</b>								
	Δεκέμβριος 2001		Ιανουάριος 2002		Φεβρουάριος 2002		Μάρτιος 2002	
	Σταθμός A	Σταθμός B	Σταθμός A	Σταθμός B	Σταθμός A	Σταθμός B	Σταθμός A	Σταθμός B
Ρυθμός πρόσληψης-U (mg/min*m2)	48,85	52,84	19,38	58,60	1,20	14,67	0,40	10,28
Μήκος πρόσληψης-Sw (m)	196,08	670,43	232,88	553,13	136,25	861,13	150,02	990,68
Συντελεστής ρυθμού πρόσληψης-Kc (1/s)	0,00765	0,00291	0,01074	0,00542	0,00073	0,00058	0,00067	0,00050
Συντελεστής μεταφοράς μάζας-Vf (m/s)	0,00069	0,00052	0,00118	0,00119	0,00004	0,00006	0,00003	0,00007
<b>PO4</b>								
	Δεκέμβριος 2001		Ιανουάριος 2002		Φεβρουάριος 2002		Μάρτιος 2002	
	Σταθμός A	Σταθμός B	Σταθμός A	Σταθμός B	Σταθμός A	Σταθμός B	Σταθμός A	Σταθμός B
Ρυθμός πρόσληψης-U (mg/min*m2)	0,75	0,48	0,21	0,33	0,11	0,63	0,10	0,37
Μήκος πρόσληψης-Sw (m)	106,38	188,25	175,85	287,93	83,36	184,84	90,61	164,38
Συντελεστής ρυθμού πρόσληψης-Kc (1/s)	0,0141	0,0104	0,0142	0,0104	0,0012	0,0027	0,0011	0,0030
Συντελεστής μεταφοράς μάζας-Vf (m/s)	0,0013	0,0019	0,0016	0,0023	0,0001	0,0003	0,0001	0,0004

Πίνακας 17: Συνοπτικά τα αποτελέσματα για τις εγχύσεις

	Δεκέμβριος 2001		Ιανουάριος 2002		Φεβρουάριος 2002		Μάρτιος 2002	
	Σταθμός Α	Σταθμός Β	Σταθμός Α	Σταθμός Β	Σταθμός Α	Σταθμός Β	Σταθμός Α	Σταθμός Β
Βιομάζα ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	0	0	0,183	0,295	0,200	0,406	0,466	0,744

Πίνακας 18: Βιομάζα περιφύτου

	Δεκέμβριος 2001		Ιανουάριος 2002		Φεβρουάριος 2002		Μάρτιος 2002	
	Σταθμός Α	Σταθμός Β	Σταθμός Α	Σταθμός Β	Σταθμός Α	Σταθμός Β	Σταθμός Α	Σταθμός Β
Χλωροφύλλη α-Chl α ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	0	0	0,0011	0,0020	0,0092	0,0928	0,0596	0,7686

Πίνακας 19: Ποσό χλωροφύλλης α στους δύο σταθμούς δειγματοληψίας