



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΡΟΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ  
ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΝΙΤΡΙΚΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΑΛΙΩΝ  
Ν. ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ**

**ΠΑΤΡΙΚΑΛΑΚΗ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑ**

**ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:**  
**ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΚΑΡΑΤΖΑΣ (επιβλέπων)**  
**ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΚΑΛΟΓΕΡΑΚΗΣ**  
**ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΓΚΕΚΑΣ**

## Περίληψη

Η νιτρορύπανση των υπόγειων νερών αποτελεί ένα ιδιαίτερο κρίσιμο πρόβλημα καθώς οι βλάβες που προκαλούνται εξαιτίας της παρουσίας νιτρικών ιόντων στο νερό σε υψηλές τιμές συγκεντρώσεων αφορούν τόσο τη δημόσια υγεία όσο και το περιβάλλον. Κύρια αιτία της ρύπανσης αυτής αποτελούν οι αγροτικές δραστηριότητες και ιδίως η εκτεταμένη και αλόγιστη χρήση των αζωτούχων λιπασμάτων.

Η παρούσα εργασία αποτελείται από δυο μέρη. Στο πρώτο μέρος γίνεται παρουσίαση του κύκλου του αζώτου στη φύση, της προέλευσης νιτρικών, οι πηγές και οι διαδικασίες ρύπανσης των υπόγειων νερών. Στη συνέχεια γίνεται μια αναλυτική παρουσίαση της ισχύουσας νομοθεσίας και του κώδικα γεωργικής πρακτικής για την προστασία των νερών από νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης. Επίσης αναφέρονται αναλυτικά οι επιδράσεις των νιτρικών στην υγεία του ανθρώπου.

Στο δεύτερο μέρος γίνεται μελέτη ρύπανσης των υπογείων νερών με νιτρικά στην ευρύτερη περιοχή του Δήμου Μαλίων που βρίσκεται στο νομό Ηρακλείου Κρήτης. Αρχικά γίνεται παρουσίαση της υπό μελέτης περιοχής. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζονται τα τοπογραφικά, τεκτονικά, γεωγραφικά, γεωλογικά, και υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Στη συνέχεια με τη χρήση του μοντέλου Argus ONE γίνεται προσομοίωση της κίνησης των υπογείων νερών και της μεταφοράς των νιτρικών και εξάγονται κάποια συμπεράσματα. Η ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας περιλαμβάνει κάποιες προτάσεις αντιμετώπισης της ρύπανσης των υπογείων νερών με νιτρικά στην συγκεκριμένη περιοχή.

Αφιερώνεται στην ιερή θύμηση του πατέρα μου

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του κύκλου σπουδών μου στο **Πολυτεχνείο Κρήτης**, στο **Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος**, για την απόκτηση του πτυχίου μου.

Καταρχάς θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους ανθρώπους που με βοήθησαν να έρθει εις πέρας η εργασία αυτή:

- ο Τον κ. **Γεώργιο Π. Καρατζά**, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης και επιβλέπων καθηγητή της εργασίας αυτής για την πολύτιμη βοήθειά του και την άψογη συνεργασία.
- ο Την κ. Ανδριανή Πολυχρονάκη, γεωλόγο του ΙΓΜΕ (Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών) Παράρτημα Κρήτης, για το υλικό που μου παρείχε, χωρίς το οποίο θα ήταν αδύνατον να πραγματοποιηθεί το πρακτικό μέρος της εργασίας αυτής.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου για την συμπαράσταση και την βοήθειά τους καθώς και την τεράστια υπομονή όλο αυτόν τον καιρό.

## Περιεχόμενα

### ΜΕΡΟΣ Α

|    |  |    |
|----|--|----|
| 1  | Εισαγωγή.....  | 1  |
| 2  | Ενώσεις αζώτου.....  | 2  |
| 3  | Ο κύκλος του αζώτου.....   | 3  |
| 4  | Κύκλος του αζώτου σε υδρόβιο περιβάλλον.....   | 8  |
| 5  | Προέλευση νιτρικών ιόντων (πηγές ρύπανσης).....  | 9  |
| 6  | Διαδικασίες ρύπανσης υπόγειων νερών.....   | 10 |
| 7  | Κώδικας ορθής γεωργικής πρακτικής για την προστασία των νερών<br>από νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης |    |
|    | 7.1 Λιπάσματα.....   | 13 |
|    | 7.2 φυτοκάλυψη κατά την περίοδο φθινοπώρου – χειμώνα....   | 18 |
|    | 7.3 Κτηνοτροφικά απόβλητα.....   | 19 |
|    | 7.4 εφαρμογή αρδεύσεων.....  | 29 |
| 8  | Επιδράσεις νιτρικών στην υγεία   |    |
|    | 8.1 Κινητική και μεταβολισμός των νιτρικών ιόντων στον<br>άνθρωπο.....                                 | 36 |
|    | 8.2 Καρκίνος.....  | 37 |
|    | 8.3 “BLUE BABY SYNDROME” Methemoglobinemia.....  | 38 |
|    | 8.4 Νιτρικά άλατα και διατροφή.....  | 40 |
|    | 8.5 Άλλες επιπτώσεις νιτρικών στην υγεία.....  | 41 |
| 9  | Βασικοί μηχανισμοί μεταφοράς ποσότητας ουσίας (ρυπαντή)  |    |
|    | 9.1 Μεταφορά λόγω διαφοράς συγκεντρώσεων (Diffusion).....  | 42 |
|    | 9.2 Συμμεταφορά –Transport by Advection.....   | 42 |
|    | 9.3 Διασκορπισμός ή υδροδυναμική διασπορά (Dispersion)....   | 43 |
| 10 | Προσδιορισμός νιτρικών ιόντων.....   | 45 |
|    | 10.1 Μέθοδος Σαλικυλικού Οξέος.....  | 46 |
|    | 10.2 Μέθοδος αναγωγής με κάδμιο.....   | 46 |
| 11 | Νομοθεσία  |    |
|    | 11.1 Γενικά.....   | 48 |
|    | 11.2 Η οδηγία 91/676/ΕΟΚ.....  | 49 |
|    | 11.3 Εφαρμογή της οδηγίας 91/676/ΕΟΚ.....  | 52 |

|      |   |    |
|------|---|----|
| 11.4 | Η εφαρμογή της οδηγίας 91/676/ΕΟΚ στην Ελλάδα.....  | 53 |
| 12   | Μέθοδοι απομάκρυνσης νιτρικών από το πόσιμο.....  | 54 |
| 12.1 | Ιοντική ανταλλαγή (Ion Exchange, IX).....   | 54 |
| 12.2 | Συνδυασμένη ιονική ανταλλαγή /βιολογική αφαίρεση<br>Αζώτου.....   | 59 |
| 12.3 | Απονιτροποίηση.....   | 60 |
| 12.4 | Αντίστροφη όσμωση (Reverse Osmosis ,RO).....  | 61 |
| 12.5 | Ηλεκτροδιάλυση και αντίστροφη ηλεκτροδιάλυση.....   | 62 |
| 12.6 | Καταλυτική Απονιτροποίηση.....  | 64 |
| 12.7 | Σύγκριση Μεθόδων Απονιτροποίησης.....   | 64 |
| 13   | Μοντέλα αποφάσεων για το σχεδιασμό έργων προστασίας και<br>αποκατάστασης των υπόγειων υδατικών πόρων..... | 67 |
| 13.1 | Προβλήματα σχεδιασμού των έργων για την προστασία και<br>αποκατάσταση των υπόγειων νερών.....             | 68 |
| 13.2 | Ανάλυση Κόστους-Οφέλους.....  | 69 |
| 13.3 | Μέθοδοι Βελτιστοποίησης.....  | 70 |
| 13.4 | Ανάλυση αποφάσεων.....  | 71 |

## ΜΕΡΟΣ Β

### ΜΕΛΕΤΗ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΜΕ ΝΙΤΡΙΚΑ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΜΑΛΛΙΩΝ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ

|      |  |     |
|------|--|-----|
| 14   | Περιγραφή περιοχής μελέτης-χάρτες περιοχής.....  | 75  |
| 14.1 | Γενική γεωγραφία – Μορφολογία- Τεκτονική.....    | 77  |
| 14.2 | Γεωλογία περιοχής- Γεωλογικός χάρτης.....        | 79  |
| 14.3 | Υδρογεωλογία.....                                | 83  |
| 14.4 | Υφιστάμενη κατάσταση.....                        | 87  |
| 14.5 | Πηγές.....                                       | 92  |
| 15   | Μοντέλα προσομοίωσης των υπογείων νερών.....     | 95  |
| 16   | Περιγραφή του μοντέλου “Argus ONE”.....          | 97  |
| 16.1 | Layers (“φύλλα εργασίας”).....                   | 97  |
| 16.2 | Βασικές εξισώσεις του PTC.....                   | 99  |
| 16.3 | Ροή σε τρεις διαστάσεις του υπόγειου ύδατος..... | 100 |

#### 16.4 Μεταφορά μάζας σε τρεις διαστάσεις του υπόγειου

|    |  |     |
|----|--|-----|
|    | Ύδατος.....  | 100 |
| 17 | Χρήση του Argus ONE για τη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης..... | 102 |
| 18 | Συνθήκες χειμερινής περιόδου.....                            | 122 |
| 19 | Συμπεράσματα.....  | 124 |
| 20 | Προτάσεις.....   | 128 |
| 21 | Βιβλιογραφία.....  | 131 |
| 22 | Παράρτημα.....   | 135 |

## **ΜΕΡΟΣ Α**

### **1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Η ρύπανση από νιτρικά σχετίζεται άμεσα με τις ανθρώπινες αστικές ή αγροτικές δραστηριότητες. Τα αποτελέσματα χρήσης νερού με υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών στην ανθρώπινη υγεία είναι κυρίως η μεθαιμοσφαιριναιμία που προσβάλλει τα νήπια. Επιπρόσθετα υπάρχουν ενδείξεις, χωρίς να είναι ακόμα επιστημονικά αποδεδειγμένο για την επίδραση των νιτρικών στους ενήλικες που αφορά τον καρκίνο και την εξασθένηση του νευρικού συστήματος. Για να αντιμετωπιστεί αυτός ο κίνδυνος στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες καθορίστηκε ανώτερο επιτρεπτό όριο συγκέντρωσης νιτρικών ίσο με 50mg/L (EEC,1991).

Κύρια πηγή ρύπανσης των υπογείων νερών αποτελεί η εκτεταμένη και αλόγιστη χρήση αζωτούχων λιπασμάτων για τις αγροτικές καλλιέργειες. Το φαινόμενο της διήθησης των νιτρικών στο έδαφος και στον φρεάτιο υδροφορέα είναι πολύ σύνθετο και εξαρτάται από τις γεωλογικές και υδρογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν. Η έρευνα των παραμέτρων που επηρεάζουν την εξέλιξη των νιτρικών αναπτύσσεται σε ικανοποιητικό επίπεδο στην δυτική Ευρώπη. Στην Ελλάδα η αντιμετώπιση του προβλήματος με ολοκληρωμένη έρευνα τόσο μετρήσεων πεδίου όσο και επεξεργασίας αποτελεσμάτων άρχισε τα τελευταία χρόνια.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η παρουσίαση της εφαρμογής των αριθμητικών μεθόδων για την πρόγνωση της εξέλιξης της ρύπανσης των υπογείων νερών από νιτρικά στην ευρύτερη περιοχή των Μαλίων του Νομού Ηρακλείου.



## 2. Ενώσεις αζώτου

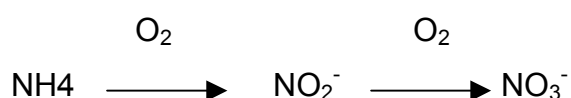
Στα επιφανειακά νερά –λίμνες, θάλασσες- και στα απόβλητα, το άζωτο απαντάται ως οργανικό και υπό τη μορφή ανόργανων ενώσεων όπως αμμωνία, νιτρικά και νιτρώδη ιόντα.

Μετά το θάνατο των ζώντων οργανισμών που προέρχονται από τον κύκλο της φωτοσύνθεσης, το άζωτο απελευθερώνεται από τα κύτταρα με τη μορφή διαλυτών, κολλοειδών και αδιάλυτων αζωτούχων οργανικών ενώσεων όπως πρωτεΐνες, πεπτίδια, νουκλεϊνικά οξέα, ουρία κλπ. Κατόπιν, διάφοροι μικροοργανισμοί μετατρέπουν το άζωτο των οργανικών ενώσεων σε  $\text{NO}_3^-$ . Επομένως το οργανικά ενωμένο άζωτο αποτελεί βασικό συστατικό του κύκλου του αζώτου.

Αυξημένες συγκεντρώσεις οργανικού αζώτου στο νερό αποτελούν ένδειξη ότι το νερό έχει ρυπανθεί και για το λόγο αυτό το οργανικό άζωτο αποτελεί μια παράμετρο ελέγχου της ποιότητας και του βαθμού ρύπανσης των νερών.

Η παρουσία της αμμωνίας στα νερά οφείλεται κυρίως στην υδρόλυση της ουρίας και την αποικοδόμηση οργανικών αζωτούχων ενώσεων, αλλά και στην αναγωγή των νιτρικών από αναερόβια βακτήρια. Οι συγκεντρώσεις της στα υπόγεια νερά είναι γενικά χαμηλές γιατί προσροφάται από το έδαφος, ιδιαίτερα στα αργιλώδη εδάφη. Η παρουσία της αμμωνίας αποτελεί ένδειξη ρύπανσης των φυσικών νερών από οργανικές ενώσεις και γι' αυτό το λόγο η αμμωνία ελέγχεται στα πόσιμα νερά. Σε υψηλές συγκεντρώσεις η αμμωνία είναι τοξική για τα ψάρια και άλλους υδρόβιους οργανισμούς. Κατά τη χλωρίωση των επεξεργασμένων λυμάτων παρατηρείται σχηματισμός μόνο- και διχλωροαμινών.

Τα νιτρικά ιόντα αντιστοιχούν στην ανώτατη οξειδωτική κατάσταση του αζώτου. Είναι θερμοδυναμικώς σταθερά και οι μεταβολές της συγκέντρωσής τους στα νερά, οφείλονται σε διάφορες βιολογικές δράσεις. Η παρουσία τους στα φυσικά νερά οφείλεται συνήθως σε οξείδωση των αζωτούχων ενώσεων, καταρχήν σε νιτρώδη ιόντα και στη συνέχεια σε νιτρικά:



Στα επιφανειακά και υπόγεια νερά, οι συγκεντρώσεις των νιτρικών είναι συνήθως μικρές. Η παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων στα επιφανειακά και υπόγεια νερά, είναι δείκτης ρύπανσης από λιπάσματα ή λύματα και απόβλητα. Στα φυσικά ύδατα που προέρχονται από γεωργικά εκμεταλλεύσιμες εκτάσεις, οι συγκεντρώσεις των νιτρικών ιόντων είναι σχετικά υψηλές και αυτό οφείλεται στην μεγάλη ευκινησία των ιόντων αυτών στο έδαφος. [Οικονομόπουλος, Χημεία και έλεγχος ρύπανσης νερών]

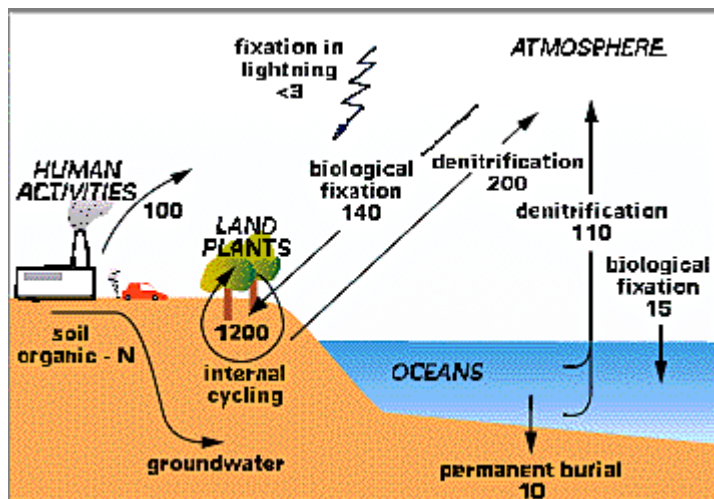
### **3. Ο κύκλος του αζώτου**

#### Γενικά

Το άζωτο είναι απαραίτητο για το σχηματισμό των πρωτεϊνών αλλά αν και αφθονεί στην ατμόσφαιρα δε μπορεί κατά κανόνα να χρησιμοποιηθεί στη μοριακή του μορφή. Οι περισσότεροι παραγωγικοί οργανισμοί μπορούν να το χρησιμοποιήσουν μόνο με τις δεσμευμένες μορφές του αμμωνιακού αζώτου  $\text{NH}_4^+$  και του νιτρικού αζώτου  $\text{NO}_3^-$ . Έτσι αν και το ατμοσφαιρικό άζωτο αποτελεί τεράστιο ταμείυμα ο κύκλος του αζώτου και μαζί μ' αυτόν η διαδικασία ζωής στον πλανήτη προσδιορίζονται από την ταχύτητα μετατροπής του ατμοσφαιρικού αζώτου στις παραπάνω χρησιμοποιήσιμες δεσμευμένες μορφές.

Ανεξάρτητα από τον τρόπο δέσμευσης, οι παραγωγικοί οργανισμοί ενσωματώνουν το άζωτο στις παρασκευαζόμενες πρωτεΐνες. Απ' αυτούς εφοδιάζονται με το αναγκαίο οργανικό άζωτο όλοι οι υπόλοιποι οργανισμοί, ενώ διάφοροι ειδικευμένοι αποικοδομητές αποσυνθέτουν τις αζωτούχες ενώσεις τις νεκρής οργανικής ύλης. Το μεγαλύτερο μέρος απ' αυτό το άζωτο παραμένει στο έδαφος ή στο νερό με τη μορφή νιτρικών ή αμμωνιακών αλάτων και ξαναχρησιμοποιείται απ' τα φυτά. Ένα μικρότερο μέρος ελευθερώνεται ως αέριο άζωτο στην ατμόσφαιρα και κλείνει τον κύκλο. Τέλος υπάρχουν κάποιες ποσότητες αζώτου που βγαίνουν απ' τον κύκλο διότι καταλήγουν ως ιζήματα στο βάθος των ωκεανών, ενώ υπάρχει και εμπλουτισμός της ατμόσφαιρας με άζωτο απ' την ηφαιστειακή δραστηριότητα [Χριστούλας- Χατζημπίρος- Ανδρεαδάκης, Μαθήματα Οικολογίας].

Οι κυριότερες γραμμές του κύκλου του αζώτου φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.

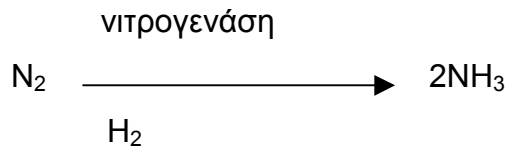


Nitrogen cycle

Οι κυριότερες γραμμές ροής του  $N_2$  είναι η **δέσμευση** η **αμμωνιοποίηση** η **νιτροποίηση** και η **απονιτροποίηση**.

#### A) δέσμευση

Δέσμευση του αζώτου είναι η μετατροπή του μοριακού  $N_2$  στις χρησιμοποιήσιμες μορφές, βασικά του αμμωνιακού αζώτου και των νιτρικών . Το μόριο του αζώτου  $N_2$  έχει τρεις ομοιοπολικούς δεσμούς που ενώνουν τα δυο άτομα αζώτου και απαιτείται μεγάλη ενέργεια για τη διάσπασή τους (226kcal/mol). Οι οργανισμοί που έχουν τη δυνατότητα να δεσμεύουν το άζωτο (nitrogen fixation), όπως τα κυανοφύκη Azotobacteracea, βακτήρια και συμβιωτικοί οργανισμοί στις ρίζες των ψυχανθών, περιέχουν ένα ένζυμο, την νιτρογενάση, η οποία καταλύει τη διάσπαση του τριπλού δεσμού του μορίου του αζώτου. Στην αρχή γίνεται διάσπαση του δεσμού του μοριακού αζώτου και αμέσως επακολουθεί υδρογόνωση με τελικό προϊόν την αμμωνία .

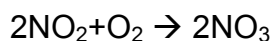


- ❖ Η φυσική δέσμευση πραγματοποιείται είτε με φυσικοχημικές διαδικασίες , κυρίως υπό την επίδραση των ηλεκτρικών εκκενώσεων των καταιγίδων , είτε με βιολογικές διαδικασίες .Κατά την εκτίμηση δεσμεύονται κάθε χρόνο με τις βιολογικές διαδικασίες  $54 \cdot 10^6$  τόνοι ατμοσφαιρικού  $\text{N}_2$  και με τις φυσικοχημικές διαδικασίες  $7,6 \cdot 10^6$  τόνοι. Άλλες εκτιμήσεις ανεβάζουν τη βιολογική δέσμευση σε  $150 \cdot 10^6$  τόνους.
- ❖ Η βιολογική δέσμευση πραγματοποιείται από ετεροτροφικούς αλλά και αυτοτροφικούς- φωτοσυνθετικούς μικροοργανισμούς. Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση του ριζόβιου που αναπτύσσεται στις ρίζες των ψυχανθών, όπως τριφύλλι, φασόλια, μπιζέλια . Το βακτηρίδιο αυτό δεσμεύει άζωτο που χρησιμοποιείται από τα ψυχανθή ενώ το ίδιο παίρνει από τα φυτά αυτά την απαιτούμενη ενέργεια(συμβίωση). Υπάρχουν επίσης μη συμβιωτικά βακτηρίδια που πραγματοποιούν δέσμευση, όπως το αερόβιο αζωτοβακτηρίδιο και το αναερόβιο κλωστρίδιο. Δέσμευση αζώτου πραγματοποιούν επίσης μερικά είδη αλγών που υπάγονται στην κατηγορία των κυανοφυκών.
- ❖ Η τεχνητή δέσμευση ,εφεύρεση του αιώνα μας πραγματοποιείται κυρίως με την παραγωγή λιπασμάτων. Η βιομηχανική δέσμευση αζώτου το 1968 ήταν ίση με  $30 \cdot 10^6$  τόνους και σήμερα έχει φτάσει κοντά στους  $80 \cdot 10^6$  τόνους.

Το άζωτο που ενσωματώνεται στους ζωντανούς οργανισμούς επιστρέφει στο περιβάλλον με ανόργανη μορφή, την αμμωνία και το προϊόν ιονισμού της  $\text{NH}_4^+$  ως αποτέλεσμα της αποσύνθεσης των νεκρών οργανισμών και των περιττωμάτων τους. Το φαινόμενο ονομάζεται αμμωνιοποίηση [Χριστούλας-Χατζημπίρος- Ανδρεαδάκης, Μαθήματα Οικολογίας].

## **Β) νιτροποίηση**

Η νιτροποίηση είναι η μετατροπή του αμμωνιακού αζώτου στα ,γενικώς πιο πρόσφορα για τις βιολογικές διαδικασίες νιτρικά. Τα αυτοτροφικά-χημικοσυνθετικά βακτηρίδια Νιτροσομονάδα (nitrosomonas) και το νιτροβακτηρίδιο (nitrobacter), που παίρνουν την απαιτούμενη ενέργεια οξειδώνοντας την αμμωνία σε νιτρώδη ( $\text{NO}_2^-$ ) και νιτρικά ( $\text{NO}_3^-$ ), είναι αυστηρά αερόβια .

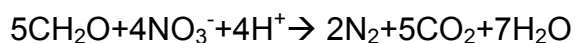


Το φαινόμενο της βιολογικής μετατροπής της αμμωνίας σε νιτρικά αποτελεί σημαντική φάση του κύκλου του αζώτου στον πλανήτη μας αλλά αποτελεί επίσης αξιόλογο παράγοντα ρύπανσης των υδατικών αποδεκτών. Με τη μορφή των νιτρικών ιόντων το άζωτο εύκολα αφομοιώνεται από το σύνολο των φυτικών οργανισμών για να σχηματιστούν αμινοξέα και πρωτεΐνες. Επειδή δε, τα νιτρικά έχουν μεγάλη διαλυτότητα στο νερό εκπλένονται εύκολα από το έδαφος, με αποτέλεσμα να μην γίνεται η αποθήκευσή τους στο έδαφος αλλά να καταλήγουν τελικά στους υδάτινους αποδέκτες.

Μια όψη της ρύπανσης είναι η αποξυγόνωση του νερού εξαιτίας της αερόβιας οξείδωσης.

## **Γ) απονιτροποίηση**

Απονιτροποίηση είναι η αναγωγή των νιτρικών σε  $\text{N}_2$  και  $\text{N}_2\text{O}$  κατά την αναερόβια οξείδωση της οργανικής ύλης από επαμφοτερίζοντες μικροοργανισμούς . Το  $\text{N}_2\text{O}$  ανάγεται σε  $\text{N}_2$  με περαιτέρω βακτηριδιακή δράση ή με φωτοχημικές αντιδράσεις στην ατμόσφαιρα. Χωρίς την επιστροφή αυτή το άζωτο θα είχε μέσα στη μακρά ιστορία της γης δεσμευθεί στην ξηρά και στη θάλασσα με τη μορφή των νιτρικών .



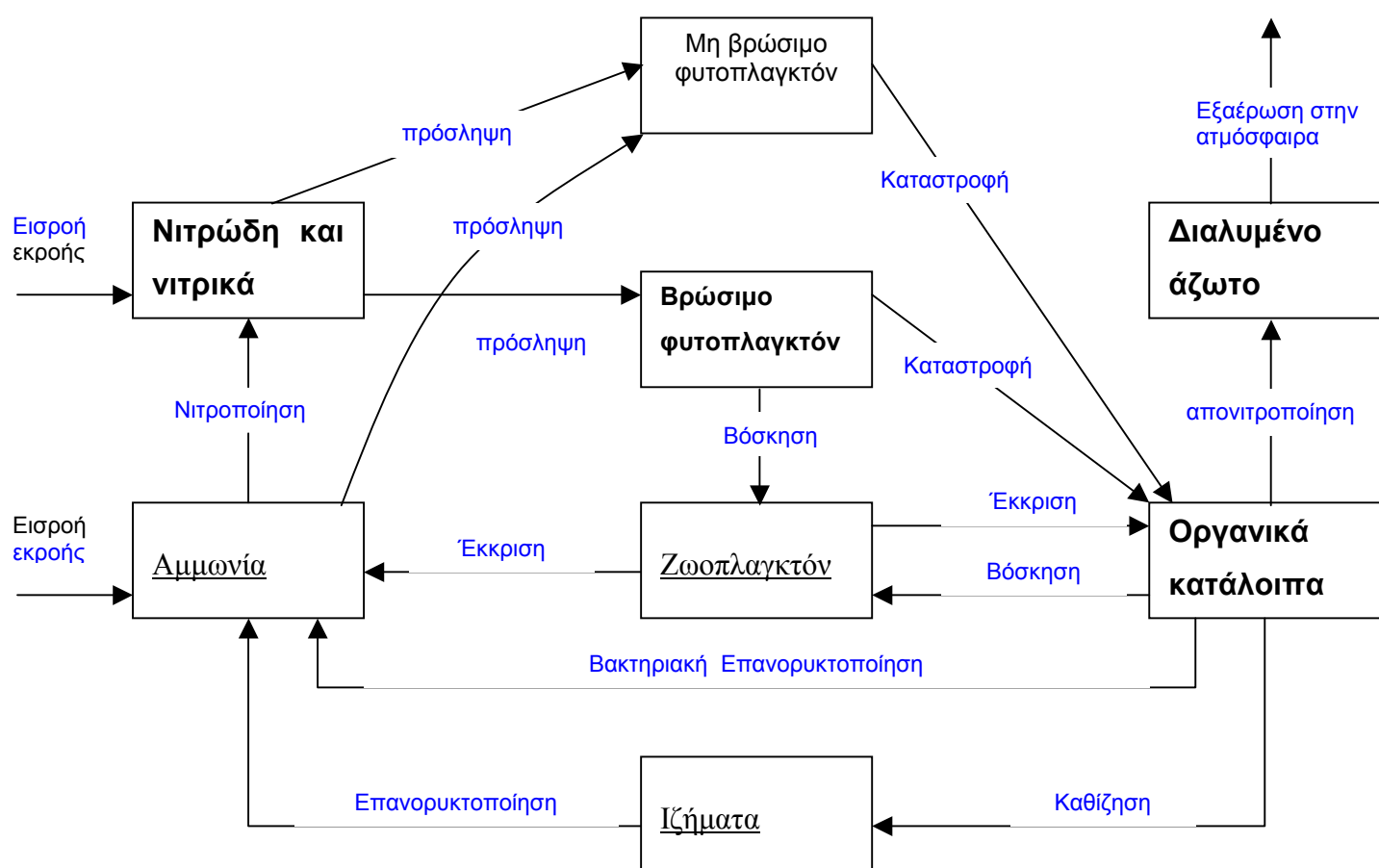
Οι βασικοί ταμειευτές του κύκλου του αζώτου και τα υπολογιζόμενα ταμειεύματα είναι τα εξής :

|                                |                                       |
|--------------------------------|---------------------------------------|
| <b>Θάλασσα<br/>(διαλυμένο)</b> | <b>20.000 *10<sup>9</sup> τόνοι</b>   |
| <b>Ατμόσφαιρα</b>              | <b>3.800.000*10<sup>9</sup> τόνοι</b> |
| <b>Οργανισμοί</b>              | <b>13*10<sup>9</sup> τόνοι</b>        |
| <b>Νεκρή οργανική ύλη</b>      | <b>1.660*10<sup>9</sup> τόνοι</b>     |
| <b>Αποθέσεις</b>               | <b>4.000.000*10<sup>9</sup> τόνοι</b> |

Μια συνέπεια της σοβαρής διαταραχής από τον άνθρωπο του κύκλου του αζώτου είναι η συσσώρευσή του στη Βιόσφαιρα . Αυτό συμβαίνει επειδή η συνολική ταχύτητα δέσμευσής του είναι σήμερα σημαντικά μεγαλύτερη από την ταχύτητα απονιτροποίησης. Έτσι οι υδάτινοι αποδέκτες (ποτάμια ,λίμνες, θάλασσα, υπόγεια νερά ), τουλάχιστον σε τοπική κλίμακα, συγκεντρώνουν κάθε χρόνο ένα πρόσθετο περίσσειμα, δεσμευμένου αζώτου. Αυτό αποτελεί σοβαρό παράγοντα ρύπανσης, μία μορφή της οποίας είναι ο ευτροφισμός των υδατικών οικοσυστημάτων [Χριστούλας- Χατζημπίρος- Ανδρεαδάκης, Μαθήματα Οικολογίας].

#### 4. Κύκλος του αζώτου σε υδρόβιο περιβάλλον

Στο σχήμα αυτό γίνεται προσομοίωση της μετατροπής και κατανάλωσης διαφόρων αζωτούχων μορφών (Nazarian *et. al.*, 1984). Περιλαμβάνονται δεκατέσσερις μετατροπές διαφόρων αζωτούχων ειδών με ταχύτητες μετατροπής εξαρτώμενες, κυρίως, από τις συγκεντρώσεις των επί μέρους ειδών. Αυτός ο κύκλος έχει εφαρμογή σε εκβολές θαλασσών που το άζωτο είναι περιορισμένο θρεπτικό στοιχείο



## 5. Προέλευση νιτρικών ιόντων (πηγές ρύπανσης)

Οι πηγές του αζώτου και των νιτρικών προέρχονται από ανθρωπογενείς και φυσικές πηγές είναι:

- Τα λιπάσματα
- Οι κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις
- Τα όμβρια ύδατα
- Τα βιομηχανικά υγρά απόβλητα
- Τα αστικά λύματα
- Οι σηπτικοί βόθροι και τα ιδιωτικά αποχετευτικά συστήματα
- Τα αποσυντεθημένα φυτά

Κατά τη δεκαετία του '80, παρατηρήθηκε συνεχής επιδείνωση της κατάστασης (αύξηση της συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων στα ύδατα περίπου **1mg/l** κατά μέσο όρο ετησίως), λόγω της ανάπτυξης μονάδων εντατικής κτηνοτροφίας (πτηνοτροφεία, χοιροτροφεία) σε ήδη κορεσμένες ζώνες και λόγω εντατικών καλλιεργειών, με χρήση χημικών ζιζανιοκτόνων και υπερβολικής ποσότητας λιπασμάτων.

Τα νιτρικά και τα φωσφορικά άλατα δρουν με τον ίδιο τρόπο που δρουν τα λιπάσματα στις καλλιέργειες της ξηράς και έχουν σαν αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγικότητας των υδάτων. Η προσθήκη τέτοιων ουσιών σε μεγάλη κλίμακα έχει συνδεθεί με την αυξημένη παραγωγικότητα των υδάτων σε φύκη τα οποία διαταράσσουν την οικολογική ισορροπία των θαλάσσιων κοινοτήτων [Αντωνόπουλος Β., Ποιότητα νερού και ρύπανση υδατικών πόρων].



## 6. Διαδικασίες ρύπανσης υπόγειων νερών

Η διαμόρφωση της ποιότητας του νερού στο έδαφος και τους υπόγειους υδροφορείς εξαρτάται από τη μεταφορά μάζας των διαφόρων ουσιών και στοιχείων που την καθορίζουν .

Η ποιότητα του υπόγειου και εδαφικού νερού αναφέρεται στη χημική του σύνθεση, με τα διαλυμένα και αιωρούμενα υλικά, στην ενεργειακή του κατάσταση, και στους μικροοργανισμούς. Η διαμόρφωση της σύστασης του νερού είναι αποτέλεσμα φυσικών, χημικών, βιολογικών διαδικασιών και ανθρώπινης επέμβασης, είτε με την απευθείας εισαγωγή χημικών και βιολογικών ουσιών στα υπόγεια νερά, είτε έμμεσα επεμβαίνοντας στις φυσικές διαδικασίες που επηρεάζουν το σύστημα των υπόγειων νερών (.. η εισροή θαλασσινού νερού). Η χημική σύσταση του φυσικού υπόγειου νερού εξαρτάται μόνο από τις φυσικές διαδικασίες και είναι αποτέλεσμα της υδρογεωλογικής και γεωχημικής ιστορίας του .

Η ανθρώπινη επέμβαση προσδιορίζεται σε περιοχές με σημαντική χρήση της γης, όπως στις αστικοποιημένες περιοχές, μεταλλεία και αγροτικές περιοχές. Το νερό, είτε προέρχεται από τις βροχοπτώσεις ή από τα υγρά απόβλητα που εφαρμόζονται στο έδαφος είναι ο κύριος παράγοντας μεταφοράς ουσιών μέσα στο έδαφος. Το επιφανειακό νερό διηθείται στο έδαφος και διαμέσου της ακόρεστης ζώνης κινείται προς τους υπόγειους υδροφορείς, όπου διακλαδίζεται προς διάφορες διευθύνσεις ανάλογα με τις συνθήκες ροής που επικρατούν στον υδροφορέα. Το ρυπασμένο νερό ακολουθεί τις καθορισμένες διαδικασίες κίνησης του υπόγειου νερού.

Με την παρέλευση του χρόνου η ένταση της ρύπανσης του νερού είτε μειώνεται μέσα στο υδροφορέα ή το ρυπασμένο νερό οδηγείται προς ένα φρεάτιο ή ευκαιριακά εξέρχεται στα επιφανειακά υδάτινα συστήματα ( λίμνες , θάλασσα).

Η ταφή των στερεών αποβλήτων (από σκουπίδια οικισμών και στερεών αποβλήτων βιομηχανιών) μπορεί να αποτελέσει αιτία υποβάθμισης της ποιότητας των υπόγειων νερών λόγω της έκπλυσης που προκαλεί το νερό που διέρχεται από τη μάζα των αποβλήτων. Τα εκπλύματα (leachates) αποτελούνται από το νερό που κατά την κίνησή του δια μέσου της μάζας των

στερεών αποβλήτων εμπλουτίζεται με ρύπους και τα παράγωγα της αποικοδόμησης των αποβλήτων με τις χημικές και βιοχημικές αντιδράσεις .

Η άρδευση σε ξηρά και ημίξηρα κλίματα είναι υπεύθυνη για τη μεταφορά και εναπόθεση των ανόργανων ενώσεων και αλάτων στην ακόρεστη ζώνη . Λόγω της εξατμισοδιαπνοής, αυξάνει η συγκέντρωση των αλάτων στο εδαφικό νερό με αποτέλεσμα το νερό που διηθείται να περιέχει διαλυμένα άλατα σε συγκεντρώσεις δύο και τρεις φορές μεγαλύτερες από αυτές του εφαρμοζόμενου νερού .

Στα διαπερατά εδάφη, η περίσσεια νερού που περνά τη ζώνη παρασέρνει τα διαλυμένα υλικά (ιόντα χλωρίου, θειικών, νιτρικών και νατρίου ) στα υπόγεια νερά. Η επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση του νερού για άρδευση είναι μία σοβαρή διαδικασία συσσώρευσης των αλάτων στα επιφανειακά και τα υπόγεια νερά

Με την εφαρμογή των λιπασμάτων στο έδαφος, που συνήθως περιέχουν ανόργανα στοιχεία, προκαλείται αύξηση των λιπασματικών στοιχείων στο εδαφικό διάλυμα.

Ποιοτικά οι πιο επιβλαβείς ρύποι για την υγεία του ανθρώπου, από τη γεωργία, είναι τα νιτρικά ιόντα, τα οποία με μεγάλη ευκολία μεταφέρονται με το νερό που διηθείται βαθιά δια μέσου της ακόρεστης ζώνης του εδάφους και της υπόγειας ροής στους υπόγειους υδροφορείς. Η άρδευση και η εφαρμογή των λιπασμάτων ανόργανου αζώτου φαίνεται ότι συντελούν στην ταχύτερη αύξηση των νιτρικών σε πολλές αγροτικές περιοχές. Η αύξησή τους μπορεί να παρατηρηθεί και σε μη αρδευόμενες περιοχές με οργανικά εδάφη. Σ 'αυτήν την περίπτωση τα νιτρικά απελευθερώνονται κατά την ανοργανοποίηση των φυτικών υπολειμμάτων και των ζωικών αποβλήτων που ενσωματώνονται στο έδαφος .

Τα στερεά απόβλητα των ζώων είναι επίσης σημαντικές πηγές νιτρικών και διαλυμένων αλάτων .

Τα φυτοφάρμακα που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα στη γεωργία για την προστασία των καλλιεργειών από τα έντομα, μύκητες και βακτήρια και την καταπολέμηση των ζιζανίων αποτελούν σημαντικό κίνδυνο ρύπανσης των υπογείων νερών. Παρόλο που οι οργανικές ουσίες που χρησιμοποιούνται σαν φυτοφάρμακα είναι ταχείας αποικοδόμησης, σημαντικές ποσότητες αυτών και των προϊόντων της διάσπασής τους έχουν καταγραφεί στα υπόγεια νερά.

Σημαντικό ρόλο για τη σοβαρότητα της ρύπανσης από τα αγροχημικά αποτελεί η τοξικότητα, η ποσότητα και ο χρόνος παραμονής της ουσίας στο έδαφος καθώς και ο τρόπος εφαρμογής τους στο έδαφος.

Οι πιο σπουδαίοι μικροοργανισμοί στα υπόγεια νερά είναι τα παθογόνα βακτήρια, οι μύκητες και διάφορα άλλα παράσιτα.

Τα σοβαρότερα προβλήματα υγείας που προκαλούνται από τους μικροοργανισμούς του υπόγειου νερού είναι ο τύφος, η χολέρα και η ηπατίτιδα.

Οι πηγές των μικροοργανισμών είναι τα ανθρώπινα και ζωικά λύματα και απόβλητα. Η ρύπανση των υπόγειων νερών προκαλείται από την εδάφια διάθεση των λυμάτων των σταθμών επεξεργασίας αστικών λυμάτων και σηπτικών δεξαμενών, τις εκπλύσεις από τους σκουπιδοτόπους, και τις ποικίλες γεωργικές πρακτικές, όπως η διάθεση στο έδαφος της ζωικής κόπρου για οργανική λίπανση.

Η μεταβολή της υδραυλικής ισορροπίας λόγω της άντλησης και υπεράντλησης των υπόγειων νερών είναι η αιτία για την εισροή νερών χαμηλής ποιότητας, υφάλμυρων ή εμπλουτισμένων με ιχνοστοιχεία και βαριά μέταλλα από διπλανούς, επάλληλους υδροφορείς και από τη θάλασσα. Είναι η αιτία της υφαλμύρωσης των παραθαλάσσιων υδροφορέων.

Η εκτίμηση της ρύπανσης των υπόγειων νερών και της επικινδυνότητας γίνεται με τη χρησιμοποίηση μαθηματικών μοντέλων που περιγράφουν τη μεταφορά μάζας, τους μετασχηματισμούς και τις αλληλοεπιδράσεις με τα στερεά του εδάφους στην κορεσμένη και ακόρεστη ζώνη [Αντωνόπουλος Β., Ποιότητα νερού και ρύπανση υδατικών πόρων].

## **7. Κώδικας ορθής γεωργικής πρακτικής για την προστασία των νερών από νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης** [Υπουργείο Γεωργίας]

### **7.1 Λιπάσματα**

#### **ΓΕΝΙΚΑ**

Τα νιτρικά που προέρχονται από τα αζωτούχα λιπάσματα, αλλά και από άλλες πηγές (οργανική ουσία του εδάφους, κοπριά) είναι πολύ ευκίνητα μέσα στο έδαφος. Διαλύονται εύκολα στο νερό και καθώς δεν συγκρατούνται από το έδαφος -όπως συμβαίνει με άλλα θρεπτικά στοιχεία- συμπαράσύρονται προς τα βαθύτερα στρώματα του εδάφους και τελικά καταλήγουν στα υπόγεια νερά (φρεάτιος ορίζοντας) όπου συσσωρεύονται. Όταν η περιεκτικότητά τους υπερβεί κάποια όρια, τότε το νερό γίνεται ακατάλληλο για πόση. Εξ' άλλου, στις περιπτώσεις που το έδαφος είναι επικλινές και έχει μικρή διηθητικότητα, τα νιτρικά παρασύρονται από τα νερά της επιφανειακής απορροής και μεταφέρονται στους υδάτινους αποδέκτες όπου και συσσωρεύονται προκαλώντας τον "ευτροφισμό" των επιφανειακών νερών και σε τελευταία ανάλυση την υποβάθμισή τους.

Τα λιπάσματα είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη των καλλιεργειών και την αύξηση των αποδόσεων, αλλά και τη βελτίωση της ποιότητας. Κατά συνέπεια, η χρήση τους στη γεωργία είναι ουσιώδους και βασικής σημασίας.

Για να είναι αποτελεσματικά θα πρέπει να χρησιμοποιούνται ορθολογικά, έτσι ώστε να ωφελούν τη γεωργία, αλλά και να ελαχιστοποιούν τους κινδύνους σε βάρος των φυσικών πόρων. Αντίθετα, η μη ορθολογική χρήση τους μπορεί να συμβάλει στην υποβάθμιση της γεωργικής παραγωγής και γενικότερα του περιβάλλοντος και της ποιότητας ζωής. Έτσι, με την επί μακρό χρονικό διάστημα υπερλίπανση των καλλιεργειών, μπορεί να δημιουργηθούν σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα με όλες τις δυσμενείς συνέπειες σε βάρος των υπογείων και επιφανειακών νερών .

## ΕΙΔΗ ΛΙΠΑΣΜΑΤΩΝ

Τα λιπάσματα κατατάσσονται στις παρακάτω κατηγορίες:

α) Ανόργανα στερεά λιπάσματα με κύρια θρεπτικά συστατικά:

Απλά, με ένα θρεπτικό συστατικό (N,P,K)

Σύνθετα με περισσότερα θρεπτικά συστατικά (N,P,K - N,P - P,K, N,K)

β) Ανόργανα υγρά: Απλά και σύνθετα.

γ) Με δευτερεύοντα συστατικά: Ασβεστίου (Ca), Νατρίου (Na), Θείου (S), Μαγνησίου (Mg)

δ) Με μικροστοιχεία: Βορίου (B), Κοβαλτίου (Co), χαλκού (Cu), Σιδήρου (Fe), Μαγγανίου (Mn), Μολυβδαινίου (Mo), Ψευδαργύρου (Zn).

ε) Οργανικά (οργανοχημικά ή οργανοανόργανα και χουμικά)

## ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΑΖΩΤΟΥΧΩΝ ΛΙΠΑΣΜΑΤΩΝ

Για την αποθήκευση των λιπασμάτων θα πρέπει να αποθηκεύονται σε χώρους που να απέχουν τουλάχιστον **50m** από τις επιφάνειες των νερών (ποτάμια, τάφροι στράγγισης, τεχνητές λίμνες, δεξαμενές κ.λ.π.)

Ειδικότερα, όσον αφορά τα υγρά λιπάσματα.

α. Η δεξαμενή αποθήκευσης θα πρέπει να είναι κατασκευασμένη από υλικό ανθεκτικό στη διάβρωση που μπορεί να προκαλέσει το υγρό λίπασμα. Η βάση θα πρέπει να υπολογιστεί να αντέχει το βάρος του λιπάσματος όταν η δεξαμενή θα είναι γεμάτη.

β. Για την αποφυγή εσωτερικής διάβρωσης από τα αζωτούχα λιπάσματα, η δεξαμενή θα πρέπει πρώτα να χρησιμοποιηθεί για λίπασμα που περιέχει και φωσφόρο, ο οποίος σχηματίζει ένα προστατευτικό αντιδιαβρωτικό στρώμα στην εσωτερική επιφάνειά της.

γ. Σωληνώσεις, βαλβίδες και αρμοί για την πλήρωση ή εκκένωση της δεξαμενής θα πρέπει να είναι κατασκευασμένα από υλικά ανθεκτικά στη διάβρωση.

δ. Δεξαμενή, σωληνώσεις, βαλβίδες κλπ. θα πρέπει να ελέγχονται για τυχόν διαρροές και διάβρωση.

ε. το έδαφος γύρω από τη δεξαμενή πρέπει να είναι στερεό ώστε να αντέχει στο βάρος των οχημάτων που προσεγγίζουν για φόρτωμα ή ξεφόρτωμα.

## ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΑΖΩΤΟΥΧΩΝ ΛΙΠΑΣΜΑΤΩΝ

Επειδή τα αζωτούχα λιπάσματα είναι εκείνα που επιβαρύνουν τα υπόγεια νερά είναι αναγκαίο, κατά τη χρήση τους να λαμβάνεται μέριμνα ώστε να ελέγχονται οι ποσότητες νιτρικών που προστίθενται στο έδαφος καθώς και ο τρόπος και ο χρόνος εφαρμογής τους. Με τη χρήση κατάλληλων μεθόδων μπορεί να αυξηθεί η αποτελεσματικότητα της αζωτούχου λίπανσης και να μειωθεί η ποσότητα των νιτρικών που χάνεται από το έδαφος στα υπόγεια νερά.

Τα αζωτούχα λιπάσματα είναι πολύ διαλυτά στο νερό και τα νιτρικά ιόντα είναι πολύ ευκίνητα στο έδαφος, σε αντίθεση με τα φωσφορικά ή το Κ, τα οποία είναι δυσκίνητα και μπορεί να μετακινηθούν εύκολα μόνο όταν το έδαφος είναι πλούσιο σε οργανική ουσία ή είναι ελαφριάς μηχανικής σύστασης. Εφ' όσον τα νιτρικά είναι ευκίνητα, είναι αντιληπτό ότι εύκολα μπορούν να εκπλυθούν με το νερό και να μεταφερθούν στα κατώτερα στρώματα. Η έκπλυση των νιτρικών από το έδαφος προς τους υπόγειους υδάτινους πόρους προκαλεί τη ρύπανση τους με κίνδυνο να καταστεί το νερό ακατάλληλο για πόση. Σύμφωνα δε με τις σχετικές Οδηγίες της (Ε.Ο.Κ.) το πόσιμο νερό δεν πρέπει να έχει νιτρικά περισσότερα από **50mg/l** ή **(50ppm)**, γιατί αλλιώς θεωρείται ακατάλληλο.

Η ποσότητα του νιτρικού αζώτου που χάνεται προς τα υπόγεια ή επιφανειακά νερά εξαρτάται από τις βροχοπτώσεις και την άρδευση, την κλίση του εδάφους, τη μηχανική σύσταση, τη διηθητικότητα, το βαθμό φυτοκάλυψης καθώς και από το σύστημα διαχείρισης των καλλιεργειών.

Ορισμένες περιοχές, όπου οι πιο πάνω παράγοντες δρουν κατά τρόπο πολύ έντονο, οι απώλειες νιτρικών είναι πολύ μεγάλες και γι' αυτό οι περιοχές αυτές χαρακτηρίζονται ως "ευαίσθητες στη νιτρορύπανση". Σ' αυτές τις περιοχές, η εφαρμογή του κώδικα είναι υποχρεωτική διότι η εύκολη συσσώρευση των νιτρικών μπορεί να προκαλέσει ή να επιτείνει ακόμη περισσότερο τα προβλήματα της νιτρορύπανσης.

Στις ευαίσθητες περιοχές θα πρέπει η χρήση των αζωτούχων λιπασμάτων να γίνεται κατά τρόπο ελεγχόμενο ούτως ώστε οι συνολικά προστιθέμενες ποσότητες αζώτου να μην υπερβαίνουν τις απαιτήσεις των καλλιεργειών.

#### Ποσότητα και χρόνος εφαρμογής των αζωτούχων λιπασμάτων

Για τη διατήρηση της περιεκτικότητας των νερών σε νιτρικά σε χαμηλό επίπεδο (μικρότερο του 50 ppm) θα πρέπει να εκτιμηθεί με προσοχή η ποσότητα των αζωτούχων λιπασμάτων που πρόκειται να εφαρμοστεί στη συγκεκριμένη καλλιέργεια.

Για το σκοπό αυτό ο γεωργός θα πρέπει να έχει υπόψη του: (α) τα δεδομένα ανάλυσης του εδάφους, (β) το είδος της καλλιέργειας, (γ) το είδος του εδάφους (ελαφρύ- μέσο- βαρύ), (δ) τις κλιματικές συνθήκες και ιδιαίτερα της βροχόπτωσης, (ε) την ιστορία λίπανσης του χωραφιού, (στ) την άριστη τιμή λίπανσης έτσι όπως δίνεται από έρευνες.

Επίσης θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ο χρόνος εφαρμογής του αζωτούχου λιπάσματος. Δηλ. το λίπασμα πρέπει να προστεθεί στο φυτό όταν το έχει ανάγκη. Αυτό ισχύει όταν τα φυτά αναπτύσσονται με μεγάλους ρυθμούς, δηλ. την Άνοιξη, Καλοκαίρι.

Πρέπει να αποφεύγεται όσο είναι δυνατόν, η λίπανση με αζωτούχα λιπάσματα από 15 Οκτωβρίου μέχρι 1 Φεβρουαρίου. Ούτως ή άλλως, τα φυτά δεν αναπτύσσονται κατά την περίοδο αυτή καθώς και κατά το χειμώνα. Άρα το άζωτο που προστίθεται, εφ' όσον δεν αξιοποιείται, είναι δυνατόν να εκπλυθεί και να χαθεί προς τα υπόγεια ή επιφανειακά νερά. Εξαιρούνται ορισμένες ειδικές περιπτώσεις (βασική λίπανση της φθινοπωρινής σποράς, χειμερινές καλλιέργειες, όπως είναι το λάχανο, το κουνουπίδι κα.). Επίσης τα λιπάσματα θα πρέπει να εφαρμόζονται κατά την επιφανειακή σε δύο ή περισσότερες δόσεις όπου το επιτρέπουν οι καιρικές συνθήκες.

Κατά την εφαρμογή ανόργανων ή οργανικών αζωτούχων λιπασμάτων θα πρέπει:

α) Να αποφεύγεται η χρήση ή διασπορά των λιπασμάτων σε τοποθεσίες όπου ο κίνδυνος της επιφανειακής απορροής είναι μεγάλος και ιδιαίτερα σε εδάφη που νεροκρατούν.

β) Να αποφεύγεται η λίπανση σε παγωμένες ή καλυμμένες με χιόνια επιφάνειες.

γ) Να αποφεύγεται γενικά η διάθεση υγρών κτηνοτροφικών αποβλήτων σε εδαφικές εκτάσεις με σημαντική κλίση (άνω του 8%). Η διάθεση είναι δυνατή μόνο εφ' όσον το επιτρέπει η διηθητικότητα του εδάφους και λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα (άροση κατά τις ισοϋψείς, μείωση της παροχής κ.λ.π.) ώστε να αποφεύγεται η επιφανειακή απορροή

δ) Να αποφεύγεται η χρήση αζωτούχων λιπασμάτων σε απόσταση μικρότερη των 2 μέτρων από όχθες υδάτινων όγκων (ποταμών, λιμνών, διωρύγων ή καναλιών άρδευσης ή στράγγισης) σε περίπτωση επίπεδης έκτασης και των 6 μέτρων σε παρόχθιες εκτάσεις που παρουσιάζουν σημαντική κλίση (μεγαλύτερη από 8%).

ε) Να ενσωματώνονται τα λιπάσματα σε μικρές ποσότητες, σε επικλινείς και ακάλυπτες από βλάστηση επιφάνειες.

στ) Κατά την προετοιμασία για σπορά και τις άλλες καλλιεργητικές φροντίδες επικλινών εκτάσεων οι αρόσεις να γίνονται κατά τις ισοϋψείς καμπύλες του εδάφους.

ζ) Όπου είναι δυνατό, να εφαρμόζεται η μέθοδος της διαδοχικής καλλιέργειας χειμερινών ψυχανθών στις επικλινείς εκτάσεις, για περιορισμό της ποσότητας των αζωτούχων λιπασμάτων και της εδαφικής διάβρωσης, που οδηγεί το αχρησιμοποίητο άζωτο στα υπόγεια και επιφανειακά νερά.

η) Να αποφεύγεται η γεωργική αξιοποίηση καλλιεργήσιμων εκτάσεων, που αποκαλύπτονται από την υποχώρηση της επιφάνειας υδάτινων αποδεκτών -κυρίως λιμνών- σε περιπτώσεις παρατεταμένης ανομβρίας. Σε περίπτωση καλλιέργειας των εκτάσεων αυτών δεν πρέπει να γίνεται χρήση χημικών λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων.

θ) Να επιδιώκεται η διασπορά των λιπασμάτων σε μικρές αποστάσεις με τη χρήση λιπασματοδιανομέα ο οποίος θα πρέπει πάντα να ευρίσκεται σε καλή κατάσταση και ρυθμισμένος προσεκτικά, με βάση τις οδηγίες του κατασκευαστή, ώστε να εφαρμόζει ακριβώς τα αναγκαία ποσά λιπάσματος.

ι) Να αποφεύγεται η διασπορά χημικών λιπασμάτων όταν πνέει ισχυρός άνεμος.



ια) Να μη χρησιμοποιούνται αυξημένες ποσότητες, για σιγουριά. Η περίσσια αζώτου όχι μόνο δεν αυξάνει την παραγωγή αλλά αντίθετα προκαλεί οικονομικές και περιβαλλοντικές ζημιές.

ιβ) Να μη χρησιμοποιείται στη βασική λίπανση της ανοιξιάτικης σποράς περισσότερο άζωτο από αυτό που εκείνη την περίοδο χρειάζεται η καλλιέργεια.

ιγ) Να γίνεται εφαρμογή των αζωτούχων λιπασμάτων στις ακριβείς αναγκαίες ποσότητες και να αποφεύγεται με κάθε τρόπο η διασπορά τους σε ακαλλιέργητες εκτάσεις, σε φυτοφράκτες, σε γειτονικά κτήματα.

## **7.2 Φυτοκάλυψη κατά την περίοδο φθινοπώρου – χειμώνα**

Η φυτοκάλυψη κατά την περίοδο του φθινοπώρου και του χειμώνα, όταν οι βροχοπτώσεις είναι έντονες, συμβάλλει σημαντικά στη μείωση των απωλειών των νιτρικών και στην ελαχιστοποίηση της νιτρορύπανσης λόγω περιορισμού της επιφανειακής απορροής και έκπλυσης.

Εδάφη που είναι κορεσμένα με νερό ευνοούν την έκπλυση και την απορροή. Η ύπαρξη φυτοκάλυψης δεν συμβάλλει μόνο στην προστασία από τη διάβρωση, αλλά λόγω πρόσληψης των νιτρικών από τα φυτά μειώνει σημαντικά τον κίνδυνο της νιτρορύπανσης.

Επομένως οι γεωργοί θα πρέπει:

α. Να καλλιεργούν το έδαφος με διάφορες φθινοπωρινές ή χειμωνιάτικες καλλιέργειες όπου αυτό είναι δυνατό (σιτηρά, λειμώνια φυτά κ.λ.π.).

β. Η σπορά να γίνεται όσο το δυνατό πιο πρώιμα 15 - 30 Σεπτεμβρίου) γιατί οι όψιμες σπορές ευνοούν τις απώλειες νιτρικών

γ. Η ύπαρξη φυτικής κάλυψης γενικά, έστω και με μη καλλιεργούμενα φυτά είναι αναγκαία.

Τα υπολείμματα καλλιεργειών, φτωχά σε άζωτο, όπως είναι το άχυρο των σιτηρών, μειώνει τις εδαφικές απώλειες σε άζωτο, αν ενσωματωθούν στο έδαφος το Φθινόπωρο, ιδιαίτερα αν ακολουθήσει σπορά κάποιας καλλιέργειας. Αντίθετα υπολείμματα άλλων καλλιεργειών όπως είναι τα λαχανικά, απελευθερώνουν γρήγορα σημαντικές ποσότητες αζώτου. Έτσι θα πρέπει να απομακρύνονται και όχι να ενσωματώνονται.

## 7.3 Κτηνοτροφικά απόβλητα

### ΓΕΝΙΚΑ

Η συνεχώς αυξανόμενη ρύπανση του νερού από τα νιτρικά ιόντα οφείλεται κατά κύριο λόγο στην υπέρμετρη χρήση της κόπρου και των χημικών λιπασμάτων.

Η μορφή των ζωικών αποβλήτων εξαρτάται από το είδος σταβλισμού, το είδος των εκτρεφόμενων ζώων, τον τρόπο συλλογής και απομάκρυνσης των αποβλήτων από τους χώρους εκτροφής, τον τρόπο αποθήκευσης και την περιεκτικότητά τους σε ολικά στερεά (Ο.Σ.)

Ο όγκος των παραγόμενων αποβλήτων ανά είδος ζώου δίνεται προσεγγιστικά από τον πίνακα 1.

| Είδος Ζώου | lt αποβλήτων /kgr Ζ.Β* | Ο.Σ.** % όγκου αποβλήτων |
|------------|------------------------|--------------------------|
| Αγελάδες   | 0,080                  | 12                       |
| Μοσχάρια   | 0,534                  | 14                       |
| Χοίροι     | 0,058                  | 10                       |
| Πτηνά      | 0,056                  | 27                       |
| Πρόβατα    | 0,040                  | 25                       |

Πίνακας 1. Όγκος παραγόμενων αποβλήτων ανά είδος ζώου

\*Ζ.Β = Ζων Βάρος

\*\*Ο.Σ= Ολικά Στερεά

Η ποσότητα των αποβλήτων που προκύπτει από τον πίνακα 1 αφορά τα απόβλητα (κοπριά και ούρα), όπως αυτά παράγονται από τα ζώα. Η αναλογία μεταξύ κοπριάς και ούρων φαίνεται ενδεικτικά στον πίνακα 2 .

|        | <b>Αγελάδες<br/>Γαλακτοπαραγωγής</b> | <b>Μόσχες<br/>Πάχυνσης</b> | <b>Χοιρινά</b> | <b>Πρόβατα</b> |
|--------|--------------------------------------|----------------------------|----------------|----------------|
| Κοπριά | 69                                   | 71                         | 55             | 50             |
| Ούρα   | 31                                   | 29                         | 45             | 50             |
| Σύνολο | 100                                  | 100                        | 100            | 100            |

Πίνακας 2. Αναλογία κοπριάς και ούρων (%) στα παραγόμενα απόβλητα

Στα καθαρά απόβλητα κατά τη λειτουργία της μονάδας προστίθενται και άλλα υλικά (νερά πλύσεως, στρωμνή κλπ.) που αυξάνουν την τελική ποσότητα των αποβλήτων. Ενδεικτικά οι χρησιμοποιούμενες επιπλέον ποσότητες αναφέρονται στους πίνακες 3 και 4.

| <b>Παραγωγική<br/>Κατεύθυνση</b> | <b>Σύστημα<br/>Σταβλισμού</b>                                    | <b>Είδος<br/>Στρωμνής</b>                               | <b>Χρησιμοποιούμενη<br/>ποσότητα για 180<br/>ημ(kgr)</b> |
|----------------------------------|--|---|--|
| Αγελάδες<br>Γαλακτοπαραγωγής     | Περιορισμένος ή<br>Ελεύθερος<br>Σταβλισμός με<br>ατομικές θέσεις | Ψιλοκομμένο<br>άχυρο                                    | 120/ζώο  |
| Αγελάδες<br>Γαλακτοπαραγωγής     | Χωρίς ατομικές<br>θέσεις   | Πριονίδι &<br>υπολείμματα<br>ξύλου                      | 150/ζώο  |
| Αγελάδες<br>Γαλακτοπαραγωγής     | Ελεύθερος<br>Σταβλισμός<br>χωρίς ατομικές<br>θέσεις              | Άχυρο   | 530/ζώο  |
| Χοιρινά                          | Σε κλουβιά   | Άχυρο   | 102/κλουβί   |
| Πτηνά Πάχυνσης                   | Με στρωμνή   | Ροκανίδια<br>Άχυρο<br>κομμένο<br>Υπολείμματα<br>Χαρτιού | 0,5/πτηνό & εκτροφή                                      |

Πίνακας 3. Ποσότητα προστιθέμενης στρωμνής

| Παραγωγική Κατεύθυνση        | Σύστημα Καθαρισμού   | Ποσότητα σε lt | M.O    |
|------------------------------|--|----------------|--------|
| Αγελάδες<br>Γαλακτοπαραγωγής | Καθαρισμός αμελκτικού εξοπλισμού, πλύσιμο θηλών κλπ. χωρίς νερό πίεσης | 14-22          | 18/ζώο |
|                              | Με χρήση νερού πίεσης  | 27-45          | 35/ζώο |
| Χοιρινά (10 ζώα/ κλουβί)     | Καθαρισμός κελιών μετά την αποχώρηση της τοκετοομάδας                  | 16-24          | 18/ζώο |

Πίνακας 4. Ποσότητα χρησιμοποιούμενου νερού καθαρισμού

Στα χοιρινά ο όγκος των παραγόμενων αποβλήτων αυξάνεται 2-5 φορές λόγω του προστιθέμενου νερού καθαρισμού, διαφυγής υδροδότησης και βροχής σε ακάλυπτους χώρους.

#### ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΜΕ ΝΙΤΡΙΚΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΖΩΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Είναι γεγονός ότι οι υδάτινοι πόροι στην Ελλάδα ποσοτικά είναι περιορισμένοι. Επιπλέον η ικανότητα του νερού για εξουδετέρωση της ρύπανσης, είναι σχετικά μικρή σε σχέση με εκείνη του εδάφους και για μεν την ανόργανη ρύπανση βασίζεται στην αραίωση ενώ για την οργανική στην ποσότητα του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό.

Αντίθετα το έδαφος έχει μεγάλη ικανότητα εξουδετέρωσης αλλά και αξιοποίησης των ρυπογόνων παραγόντων οι οποίοι στην περίπτωση αυτή (και με την προϋπόθεση ότι γίνεται ορθολογική εφαρμογή) θα πρέπει να θεωρηθούν σαν πηγές θρεπτικών στοιχείων και η εφαρμογή τους να συνδυαστεί με υποκατάσταση χημικών λιπασμάτων.

Για τους λόγους αυτούς τα επιφανειακά νερά και γενικά οι υδάτινοι αποδέκτες πρέπει να αποκλείονται από τη χρήση και μόνο σε απόλυτα εξαιρετικές περιπτώσεις να εξετάζεται η πιθανότητα χρησιμοποίησής τους. Εδώ πρέπει

να σημειωθεί ότι οι προδιαγραφές που καθορίζονται από τις σχετικές νομαρχιακές αποφάσεις είναι απαγορευτικές για την χρησιμοποίηση των νερών ως τελικών αποδεκτών.

Γενικά ο χειρισμός των στερεών αποβλήτων είναι πολύ ευκολότερος από τον χειρισμό των υγρών τόσο από πλευράς κατασκευής των εγκαταστάσεων όσο και από πλευράς λειτουργίας τους.

Για το λόγο αυτό πρέπει να αποφεύγεται κάθε προσθήκη νερού στα μη υγρά απόβλητα έτσι ώστε να είναι δυνατός ο χειρισμός τους σαν στερεών και παράλληλα να παραμένει η μικρότερη δυνατή ποσότητα υγρών για επεξεργασία. Για το λόγο αυτό πρέπει να αποφεύγεται η αποστράγγιση του νερού της βροχής, των στεγών, των προαυλίων κλπ. στις δεξαμενές αποβλήτων.

Επίσης στην περίπτωση που στη μονάδα παράγονται υγρά απόβλητα τα οποία είναι σχετικά καθαρά, όπως υγρά πλύσεως κλπ. και εφόσον τα παραγόμενα ζωικά απόβλητα δεν είναι υγρά, τα ξεπλύματα καλό είναι να συλλέγονται και να αποθηκεύονται χωριστά από τα απόβλητα των ζώων έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα τα τελευταία να συλλέγονται, αποθηκεύονται, επεξεργάζονται και διατίθενται ως στερεά.

## ΜΕΘΟΔΟΙ ΧΕΙΡΙΣΜΟΥ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

### Στερεά απόβλητα:

Στην περίπτωση που από τα στερεά απόβλητα (κοπριές στρωμνή και στερεά μηχανικού διαχωρισμού) υπάρχει πιθανότητα στράγγισης υγρών θα πρέπει αυτά να συγκεντρώνονται σε τσιμεντένια πλατφόρμα (κοπροσωρός) με κλίση 5-6% προς το κανάλι συλλογής των υγρών, εφοδιασμένη με προστατευτικό τοίχιο κατά τις δύο ή τρεις πλευρές, ύψους μέχρι 1,5m.

Η κοπριά στρωμνής που στερείται υγρών στράγγισης μπορεί να αποθηκευτεί και επί του εδάφους εφ' όσον βέβαια προβλεφθεί απομάκρυνση των υγρών από βροχοπτώσεις με την κατασκευή ενός μικρού καναλιού περιμετρικά του σωρού.

Εάν τα στερεά δεν έχουν ζυμωθεί τότε παραμένουν στον κοπροσωρό για ένα διάστημα 90-180 ημερών περίπου, μέχρι να γίνει η ζύμωση.

Στον πίνακα 5 φαίνεται ενδεικτικά η σύσταση χωνεμένων στερεών (compost) μηχανικού διαχωρισμού αποβλήτων χοιροστασίου.

| Παράμετροι             | Τιμές             | Παράμετροι | Τιμές            |
|------------------------|-------------------|------------|------------------|
| Υγρασία                | 5,64%             | P2 O5      | 4,03 % επί Ξ.Ο   |
| Ξηρή Ουσία (Ξ.Ο.)      | 94,36%            | P          | 1,76 % επί Ξ.Ο   |
| PH (1:5 σε νωπή ουσία) | 6,73%             | K2 O       | 0,66 % επί Ξ.Ο   |
| Αγωγιμότητα            |                   | K          | 0,55 % επί Ξ.Ο   |
| (1:5 σε νωπή ουσία)    | 4,90mmhos/cm/25oC | Mg         | 1,02 % επί Ξ.Ο   |
| Οργανική Ουσία         | 36,61% επί Ξ.Ο.   | Caο        | 10,61 % επί Ξ.Ο  |
| Τέφρα                  | 63,39% επί Ξ.Ο.   | Ca         | 7,58 % επί Ξ.Ο   |
| N - Ολικό              | 1,95% επί Ξ.Ο.    | Fe         | 0,35 % επί Ξ.Ο   |
| N - Ολικό              | 2,27% επί N.Ο.*   | Mn         | 0,06 % επί Ξ.Ο   |
| N - Ολικό              | 2,40% επί N.Ο.    | Zn         | 0,08 % επί Ξ.Ο   |
| N - NH4                | 0,45% επί Ξ.Ο.    | Cu         | 0,02 % επί Ξ.Ο   |
| Σχέση C/N              | 9,01%             | B          | 0,0032 % επί Ξ.Ο |

Πίνακας 5. Ενδεικτική σύσταση χωνεμένων στερεών (compost) που προκύπτουν μέσα από μηχανικό διαχωρισμό των αποβλήτων ενός συγκεκριμένου χοιροστασίου

\*N.Ο. = Νωπή Ουσία Ξ.Ο. = Ξηρά Ουσία

#### Υγρά απόβλητα:

Κατά τον χειρισμό των υγρών αποβλήτων θα πρέπει:

- Να περιοριστεί η απώλεια θρεπτικών στοιχείων των αποβλήτων.
- Να μειωθεί η οργανική ουσία στα προβλεπόμενα για εδαφική διάθεση όρια.
- Η μέθοδος χειρισμού να είναι απλή και αξιόπιστη.
- Το κόστος κατασκευής και λειτουργίας των εγκαταστάσεων επεξεργασίας των αποβλήτων να είναι το δυνατόν χαμηλότερο.

Ο χειρισμός των υγρών αποβλήτων αναφέρεται κυρίως στα χοιροστάσια, δεδομένου ότι στα βουστάσια τα απόβλητα απομακρύνονται σε στερεά μορφή με ξέστρα, εκτός και αν επιλεγεί ειδικά για τα απόβλητα αυτά που το χειμώνα είναι υδαρούς μορφής (λάσπη) λόγω βροχής, η προσθήκη νερού αραιώσης και στη συνέχεια ο διαχωρισμός τους σε μηχανικό διαχωριστή, σε υγρά και στερεά.

#### ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

Η δεξαμενή συγκέντρωσης (εξισορρόπησης) των αποβλήτων πρέπει να είναι στεγανή (τσιμεντένια) και να έχει ως ελάχιστη χωρητικότητα εκείνη του μεγαλύτερου καναλιού της μονάδας εφ' όσον το κανάλι εκκενώνεται ολόκληρο.

Στη συνέχεια τα υγρά οδηγούνται σε μηχανικό διαχωρισμό στερεών-υγρών και τα προκύπτοντα στερεά σε κοπροσωρό χωρητικότητας τόσης ώστε να εξασφαλίζεται ο χρόνος παραμονής τους για 90-180 ημέρες. Το δάπεδο του σωρού πρέπει να είναι τσιμεντένιο με κλίση προς το κανάλι συλλογής των υγρών τα οποία στη συνέχεια οδηγούνται στην προηγούμενη δεξαμενή. Τα υγρά από το διαχωριστή οδηγούνται σε δεξαμενή καθίζησης. Αυτή πρέπει να είναι στεγανή (τσιμεντένια) και χωρητικότητας ίσης με την ποσότητα παραγόμενων αποβλήτων 5-7 ημερών.

Από τη δεξαμενή καθίζησης τα υγρά μεταφέρονται στη δεξαμενή αναερόβιας ζύμωσης. Η δεξαμενή αυτή πρέπει να έχει χωρητικότητα τέτοια ώστε να μπορεί να συγκεντρώνει τουλάχιστον απόβλητα 100 ημερών. Συνήθως είναι χωμάτινη με τοιχώματα συμπιεσμένα ή επιστρωμένα με άργιλο για να επιτευχθεί σχετική στεγανότητα.

Στη συνέχεια τα υγρά μεταφέρονται στη δεξαμενή αποθήκευσης χωρητικότητας τέτοιας ώστε τα απόβλητα να διατηρούνται εκεί τουλάχιστον όσο διαρκεί η βροχερή περίοδος κατά την οποία δεν μπορεί να γίνει διάθεση υγρών στο έδαφος(90-180 ημέρες). Η δεξαμενή αυτή είναι συνήθως χωμάτινη εφ' όσον το έδαφος δεν είναι πορώδες και δεν έχει ρωγμές.

## ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΚΑΤΑ ΕΙΔΟΣ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ

### Απόβλητα αιγοπροβατοστασίων

Η εκτροφή των αιγοπροβάτων γενικά γίνεται σε στρωμνή και σπανιότερα σε εσχαρωτό δάπεδο. Και στις δύο περιπτώσεις τα απόβλητα είναι στερεά και παραμένουν στη στρωμνή ή κάτω από την εσχάρα αρκετό διάστημα ώστε να ζυμωθούν και να διατεθούν σε καλλιεργητές. Σε καμία περίπτωση δεν πρέπει η συλλογή της κοπριάς να γίνεται σε υπόγεια κανάλια γιατί η απομάκρυνση από αυτά προς τη δεξαμενή συλλογής, θα πρέπει να γίνεται με προσθήκη νερού.

Στην περίπτωση που η κοπριά δεν διατίθεται σύντομα σε καλλιεργητές θα πρέπει να εναποτίθεται σε σωρό, με τρόπο που να αποκλείεται η διήθηση νερών της βροχής από τον κοπροσωρό προς το έδαφος.

Όταν στη μονάδα παράγονται και άλλα υγρά απόβλητα όπως υγρά πλύσεως κλπ. που είναι σχετικά καθαρά πρέπει να συλλέγονται ξεχωριστά σε συστήματα σηπτικού και απορροφητικού βόθρου.

### Απόβλητα πτηνοτροφείων

Τα απόβλητα των πτηνοτροφείων διακρίνονται σε στερεά και ημιστερεά ανάλογα με τον τρόπο εκτροφής, σε στρωμνή ή σε κλουβιά αντίστοιχα.

Στην περίπτωση εκτροφής πτηνών πάχυνσης η απομάκρυνση της στρωμνής γίνεται κάθε 60 περίπου ημέρες. Στη συνέχεια εναποτίθεται σε σωρούς, μέχρι να ολοκληρωθεί η ζύμωση και να διατεθεί σε καλλιεργητές. Θα πρέπει να κατασκευάζεται περιφερειακή τάφρος για τη συλλογή των απορρεόντων υγρών.

Στην εκτροφή ορνίθων αυγοπαραγωγής σε στρωμνή, αυτή απομακρύνεται μετά το τέλος της εκτροφής, οπότε η ζύμωση διαρκεί 12-15 μήνες και μπορεί να διατεθεί απ' ευθείας σε καλλιεργητές.

Όταν η εκτροφή γίνεται σε κλωβοστοιχίες χωρίς σύστημα αφύγρανσης, η κοπριά είναι ημιστερεή και απομακρύνεται είτε καθημερινά ή σε μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα, οπότε πρέπει να τοποθετείται σε κοπροσωρό όπου και παραμένει για φυσική ξήρανση για διάστημα τουλάχιστον 6 μηνών ή οδηγείται σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας της κοπριάς. Στις σύγχρονες εγκαταστάσεις που διαθέτουν και σύστημα αερισμού και αφύγρανσης της κοπριάς,



βγαίνοντας από το θάλαμο η κοπριά έχει λιγότερη υγρασία και μπορεί να εναποτεθεί σε κοπροσωρό ή να ανακατευθεί 2-3 φορές για να επιταχυνθεί η ζύμωση και η κομποστοποίησή της.

#### Απόβλητα βουστασίων

Όπως προαναφέρθηκε η μορφή της κοπριάς των βοοειδών κυμαίνεται από στερεά μέχρι υγρή ανάλογα με τον τύπο σταβλισμού.

Η κοπροστρωμνή παραμένει στο στάβλο για διάστημα αρκετών μηνών (4-8). Υγρά δεν υπάρχουν διότι έχουν απορροφηθεί από το χρησιμοποιούμενο άχυρο ή έχουν εξατμιστεί. Κατά την απομάκρυνση από το στάβλο η στρωμνή έχει ήδη υποστεί σημαντική ζύμωση και μπορεί να τοποθετηθεί σε σωρούς χωρίς να υπάρχει κίνδυνος απορροής των υγρών. Για την αποφυγή απορροής των νερών της βροχής, θα πρέπει ή να υπάρχει περιφερειακό κανάλι για τη συλλογή τους ή η στρωμνή να τοποθετηθεί σε υπερυψωμένη τσιμεντένια πλατφόρμα πριν διατεθεί σε καλλιεργητές

#### Απόβλητα χοιροστασίων

Τα απόβλητα χοιροστασίων είναι συνήθως υγρής μορφής. Η διάθεση των επεξεργασμένων αποβλήτων μπορεί να γίνει:

- α) Σε καλλιεργούμενες εκτάσεις για λίπανση και εμπλουτισμό εκτάσεις για λίπανση και εμπλουτισμό του εδάφους με οργανική ουσία ή
- β) Σε εδαφικά - φυτικά φίλτρα καλυμμένα με αυτοφυή βλάστηση για απορρόφηση και εξάτμιση.

#### ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΘΕΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

##### Προσδιορισμός εδαφικής έκτασης για λίπανση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα.

Η διάθεση των αποβλήτων στις καλλιέργειες πρέπει να γίνεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε:

-Το Ν το περιεχόμενο στα εφαρμοζόμενα απόβλητα να μην υπερβαίνει τις ανάγκες της καλλιέργειας.

-Να εφαρμόζονται σε τέτοιες δόσεις ώστε εφ' ενός να αποκλείεται ή επιφανειακή απορροή και εφ' ετέρου η διήθηση σε βάθος κάτω του ριζοστρώματος.

Για τον προσδιορισμό της ελάχιστης αναγκαίας έκτασης της καλλιέργειας για την ασφαλή διάθεση των αποβλήτων καθώς των δόσεων για την κάλυψη των ανωτέρω απαιτήσεων πρέπει να ληφθούν υπ' όψη οι εξής παράγοντες.

-Ο όγκος των προς διάθεση αποβλήτων, ή περιεκτικότητά τους σε Ν καθώς και απώλειες Ν κατά την εφαρμογή τους στο έδαφος.

-Οι ανάγκες της καλλιέργειας σε Ν.

-Η απορροφητικότητα του εδάφους.

-Το βάθος του ριζοστρώματος

-Η ικανότητα του εδάφους για συγκράτηση ύδατος (υδατοϊκανότητα)

Προσδιορισμός εδαφικής έκτασης για εφαρμογή επεξεργασμένων αποβλήτων σε εδαφικό φυτικό φίλτρο αυτοφυούς βλάστησης με απορρόφηση και εξάτμιση.

Εδαφικό-φυτικό φίλτρο για απορρόφηση και εξάτμιση ονομάζουμε μία καθορισμένη εδαφική φυτική έκταση, στην οποία αναπτύσσεται αυτοφυής βλάστηση που απορροφά τα θρεπτικά στοιχεία των αποβλήτων και αποτρέπει την συσσώρευση θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος. Για να διατηρηθεί για μεγάλο χρονικό διάστημα η αποδοτική λειτουργία του εδαφικού-φυτικού φίλτρου απαραίτητη είναι η συστηματική κοπή και απομάκρυνση της αυτοφυούς βλάστησης.

Για τον προσδιορισμό της απαιτούμενης έκτασης εδαφικού-φυτικού φίλτρου απαραίτητο είναι να γνωρίζουμε:

-τον ετήσιο όγκο των αποβλήτων για διάθεση μαζί με τον ετήσιο όγκο των βροχοπτώσεων που αναμιγνύεται με αυτά

-τον αριθμό των ημερών που ο παραγωγός μπορεί να διαθέσει τα υγρά στο έδαφος. (Ο αριθμός αυτός εξαρτάται από τον αριθμό των βροχερών ημερών στην περιοχή και κυμαίνεται από 100 ως 300 ημέρες το χρόνο)

-το χρόνο επανόδου στην ίδια εδαφική έκταση (5-15 ημέρες), ανάλογα με τον τύπο του εδάφους και το κλίμα της περιοχής. (Ελαφρά εδάφη: 5-10 ημέρες ,Μέσα εδάφη : 7-12 ημέρες , Βαριά εδάφη: 10-15 ημέρες)

-τη μέγιστη επιτρεπόμενη δόση εφαρμογής αποβλήτων στο έδαφος ανάλογα με τον τύπο του εδάφους. {Ελαφρά εδάφη: 20cm/ημ (200m<sup>3</sup>/στρ),Μέσα εδάφη : 10cm/ημ (100m<sup>3</sup>/στρ),Βαριά εδάφη: 5cm/ημ (50m<sup>3</sup>/στρ)}

εδάφιο.

## ΓΕΝΙΚΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Η συνολική ετήσια ποσότητα αζώτου με το οποίο εφοδιάζεται το έδαφος των λιβαδιών από τη χρήση επεξεργασμένων κτηνοτροφικών αποβλήτων δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα **25 kggr/στρ.** στα καλυμμένα με βλάστηση εδάφη και τα **20 kggr/στρ.** στα ακάλυπτα. Τα όρια αυτά περιλαμβάνουν το σύνολο των οργανικών αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένων και των αποβλήτων από τα ζώα που πιθανόν να βόσκουν στις εκτάσεις αυτές.

Η ίδια παραπάνω οριακή ποσότητα ισχύει και για καλλιεργούμενες εκτάσεις για περίοδο 12 μηνών.

Δεν πρέπει να εφαρμόζεται, μέσω των οργανικών αποβλήτων, άζωτο περισσότερο από το ποσό που χρειάζεται η συγκεκριμένη καλλιέργεια.

Σε αμμώδη ή ρηχά εδάφη δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται υγρά απόβλητα και απόβλητα πτηνοτροφείων το δίμηνο Σεπτεμβρίου - Οκτωβρίου.

Για τον περιορισμό του κινδύνου απορροής δεν πρέπει να γίνεται εφαρμογή κτηνοτροφικών αποβλήτων όταν το έδαφος είναι πλημμυρισμένο, έντονα παγωμένο ή καλυμμένο με χιόνι .Σαν έντονα παγωμένο χαρακτηρίζεται το έδαφος όταν η επιφάνεια του είναι παγωμένη για περισσότερες από δώδεκα ώρες το 24ωρο. Η εφαρμογή επιτρέπεται κατά τις ημέρες που ο πρωινός πάγος λιώνει στη διάρκεια της ημέρας.

Δεν πρέπει να γίνεται εφαρμογή οργανικής κόπρου σε έντονα κεκλιμένα εδάφη, όπου ο κίνδυνος απορροής είναι μεγάλος και αυξάνεται ανάλογα με το βαθμό κλίσης.

Δεν υπάρχει νομοθετημένη κάποια κλίμακα κλίσεων πάνω από ένα σημείο της οποίας και απαγορεύεται η χρήση κτηνοτροφικών αποβλήτων. Αυτό βασικά εξαρτάται από το ανάγλυφο του εδάφους, τη φυτοκάλυψη, τις

βροχοπτώσεις της περιοχής, το είδος της καλλιέργειας και τις εφαρμοζόμενες τεχνικές (άροση κατά τις ισοϋψείς, διάθεση των υγρών με μικρές παροχές κ.α.)

Γενικά μια κλίση εδάφους πάνω από 8% θεωρείται άκρως επικίνδυνη για την απορροή και τη ρύπανση των νερών από τις αζωτούχες ενώσεις που περιέχονται στην κόπρο.

Δεν πρέπει να γίνεται εφαρμογή κτηνοτροφικών αποβλήτων σε ζώνη πλάτους τουλάχιστον 10 μέτρων από επιφανειακά νερά (λίμνες, ποτάμια, ρέματα, αποστραγγιστικές τάφροι κλπ.).

Για την προστασία των υπόγειων νερών, τα κτηνοτροφικά απόβλητα δεν πρέπει να εφαρμόζονται σε ζώνη τουλάχιστον 50 μέτρων από πηγές, πηγάδια ή γεωτρήσεις που χρησιμοποιούνται για ύδρευση ανθρώπων ή κτηνοτροφικών μονάδων

## **7.4 Εφαρμογή αρδεύσεων**

### **ΓΕΝΙΚΑ**

Η σωστή εφαρμογή του αρδευτικού νερού από τους παραγωγούς μπορεί να συμβάλει σημαντικά στην μείωση της συγκέντρωσης των νιτρικών στα υπόγεια νερά..

### **ΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ**

Τα υπόγεια νερά βρίσκονται μέσα σε γεωλογικούς σχηματισμούς και, εφόσον αυτοί είναι πορώδεις και υδατοπερατοί, αποτελούν τους υδροφόρους ορίζοντες από τους οποίους μπορεί να γίνει η άντληση του νερού. Οι υδροφόροι ορίζοντες χαρακτηρίζονται σαν "φρεάτιοι" ή "ελεύθεροι" εφόσον παρουσιάζουν ελεύθερη επιφάνεια ή σαν "αρτεσιανοί" εφόσον βρίσκονται υπό πίεση μεταξύ δύο αδιαπέρατων στρωμάτων.

Η ρύπανση των υπογείων νερών μπορεί να προέλθει από σημειακές ή μη σημειακές πηγές ρύπανσης. Σημειακές πηγές ρύπανσης μπορεί να είναι ένα εργοστάσιο χημικών ή μια γεωργική βιομηχανία που τα απόβλητά της διατίθενται στο έδαφος και ρυπαίνουν τον υπόγειο ορίζοντα καθώς διηθούνται προς τα βαθύτερα στρώματα. Οι μη σημειακές πηγές ρύπανσης είναι εκείνες που ρυπαίνουν τα υπόγεια νερά όχι από ένα σημείο αλλά από μεγαλύτερη

έκταση της επιφάνειας του εδάφους. Τυπικό παράδειγμα μη σημειακής ρύπανσης είναι αυτό που προκαλείται από τις αγροτικές δραστηριότητες και οφείλεται στην χρήση λιπασμάτων, την κόπρο των ζώων κλπ.

Γενικά μεγάλες δόσεις αζωτούχων λιπασμάτων προκαλούν μεγάλες απώλειες νιτρικών, παρόλο που ο κανόνας αυτός επηρεάζεται σημαντικά από τις βροχοπτώσεις, τις γεωργικές μεθόδους, την οργανική ουσία που προϋπάρχει στο έδαφος και τον χρόνο εφαρμογής των λιπασμάτων

Η ρύπανση του φρεάτιου ορίζοντα, κατά κανόνα, είναι πολύ μεγαλύτερη από εκείνη των αρτεσιανών ή υπό πίεση οριζόντων. Δεδομένου ότι η διάταξη των αδιαπέραστων στρωμάτων δεν είναι συνεχής και η διαπερατότητα τους δεν είναι μηδενική, αλλά έχει μία κάποια μικρή τιμή, η συνεχής ρύπανση του φρεάτιου ορίζοντα αργά ή γρήγορα οδηγεί και στην ρύπανση των βαθύτερων, υπό πίεση, οριζόντων απ' όπου και αντλούνται τα νερά για την ύδρευση των κατοίκων των πόλεων. Επιπλέον αν στην περιοχή της ζώνης τροφοδοσίας των υπογείων υδροφορέων υπάρχει έντονη γεωργική δραστηριότητα, τότε η έκπλυση των νιτρικών επηρεάζει άμεσα την ποιότητα του νερού των αρτεσιανών οριζόντων.

#### ΔΙΗΘΗΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

Μία επιτυχής άρδευση πρέπει να εφοδιάζει το έδαφος με τόσο νερό όσο χρειάζεται για την κανονική ανάπτυξη της καλλιέργειας, η δε εφαρμογή του να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να υπάρχουν όσο το δυνατό μικρότερες απώλειες νερού και θρεπτικών από διήθηση και επιφανειακή απορροή. Σε κάθε άρδευση πρέπει να εφαρμόζεται τόσο νερό όσο χρειάζεται για να ανέβει η εδαφική υγρασία του στην υδατοϊκανότητα στη ζώνη του ριζοστρώματος.

Είναι αυτονόητο ότι θα πετύχουμε τέλεια άρδευση όταν κατορθώσουμε να κρατήσουμε το νερό σε κάθε σημείο του εδάφους επί τόσο χρόνο όσο χρειάζεται για να απορροφήσει το έδαφος την αναγκαία ποσότητα νερού ώστε να φθάσει η υγρασία, της ζώνης του ριζοστρώματος, στην υδατοϊκανότητα και χωρίς καμία απώλεια από επιφανειακή απορροή στο στραγγιστικό δίκτυο.

Επιπλέον εάν η ποσότητα του λιπάσματος που εφαρμόζεται είναι ίση με αυτή που απαιτείται για την πλήρη ανάπτυξη του φυτού και εφαρμόζεται σταδιακά και σε μικρές δόσεις, οι απώλειες νερού ή νιτρικών, ακόμη και σε περίπτωση βροχοπτώσεων θα είναι ελάχιστες.

Από πρώτη άποψη, κάτω από συνθήκες αγρού, φαίνεται σχεδόν αδύνατο να επιτευχθούν ιδανικές συνθήκες διανομής του νερού και των θρεπτικών στον αγρό. Ωστόσο η διήθηση και η επιφανειακή απορροή μπορούν να περιοριστούν με τον κατάλληλο έλεγχο μιας σειράς παραγόντων από τους οποίους επηρεάζονται, όπως είναι:

- α. η παροχή αρδεύσεως,
- β. ο χρόνος εφαρμογής,
- γ. η κλίση του εδάφους,
- δ. το μήκος διαδρομής του νερού στον αγρό,
- ε. η διηθητικότητα του εδάφους και
- στ. η μέθοδος άρδευσης.

Οι παράγοντες αυτοί πρέπει να συνδυάζονται με τέτοιο τρόπο από τους παραγωγούς ώστε να έχουν σαν αποτέλεσμα την κάλυψη του εδάφους με νερό πριν διηθηθούν μεγάλες ποσότητες στα βαθύτερα στρώματα και χωρίς να προκαλείται υπερβολική επιφανειακή απορροή και συνεπώς εδαφική διάβρωση προς το στραγγιστικό δίκτυο και στους υδάτινους αποδέκτες προς τους οποίους τελικά εκβάλλουν.

## ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

### Επιφανειακή άρδευση

Στην επιφανειακή άρδευση, δηλ. την άρδευση με παράλληλες λωρίδες ή αυλάκια, το νερό παροχετεύεται στο επάνω άκρο του αγρού όπου, αφού διηθηθεί μία ποσότητα, το υπόλοιπο κινείται προς τα κάτω με συνεχώς μειωμένη παροχή σαν συνέπεια της συνεχιζόμενης διήθησης.

Ένας σωστός τρόπος ποτίσματος είναι να αρχίζουμε το πότισμα με τη μέγιστη επιτρεπόμενη, μη διαβρωτική παροχή, που δίνεται στον πίνακα 6 .

| Κλίση (%) | Μέγιστη μη διαβρωτική παροχή<br>l/sec |
|-----------|---------------------------------------|
| 0,05      | 3,0                                   |
| 0,1       | 3,0                                   |
| 0,2       | 2,5                                   |
| 0,3       | 2,0                                   |
| 0,5       | 1,2                                   |
| 1,0       | 0,6                                   |
| 1,5       | 0,5                                   |
| 2,0       | 0,3                                   |

Πίνακας 6. Μέγιστη μη Διαβρωτική Παροχή

Η εφαρμογή του νερού συνεχίζεται μέχρις ότου το υγρό μέτωπο καλύψει τα της διαδρομής. Τον υπόλοιπο χρόνο το νερό αφήνεται να τρέχει, μέχρι το τέλος του αγρού, προσέχοντας να μην φεύγει στο στραγγιστικό δίκτυο. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί φράζοντας το τέλος της διαδρομής με χώμα και δημιουργώντας ένα μικρό ανάχωμα, κάθετα στη ροή του νερού. Σε περίπτωση που το νερό λιμνάζει στο κατώτερο άκρο ή απορρέει στο στραγγιστικό δίκτυο, στην επόμενη άρδευση εφαρμόζεται μικρότερη παροχή ή διακόπτεται η άρδευση νωρίτερα. Εάν αντίθετα το υγρό μέτωπο δεν φθάνει το τέρμα το χωραφιού τότε αυξάνεται είτε ο χρόνος εφαρμογής του νερού είτε η παροχή άρδευσης.

#### Τεχνητή βροχή

Στην τεχνητή βροχή ή καταιονισμό, το νερό εφαρμόζεται σε όλη την επιφάνεια του αγρού σαν τεχνητή απομίμηση της βροχής και διηθείται στο έδαφος κατακόρυφα. Αν το σύστημα σχεδιαστεί σωστά, η κατανομή του νερού πάνω στο χωράφι γίνεται ομοιόμορφα χωρίς βαθιά διήθηση και επιφανειακή απορροή.

Η μέθοδος αυτή προσαρμόζεται για άρδευση σχεδόν όλων των καλλιεργειών, κάτω από μεγάλη ποικιλία συνθηκών. Ιδιαίτερα η μέθοδος συνιστάται:

-Για παραγωγούς που για πρώτη φορά θα ποτίσουν, διότι είναι εύκολο να ρυθμίσουν την ποσότητα νερού που χρειάζεται το χωράφι εφ' όσον έγινε καλή μελέτη.

-Όταν το χωράφι έχει κλίση πάνω από 2-3%, οπότε η εφαρμογή των επιφανειακών μεθόδων συνεπάγεται σημαντικές απώλειες λόγω επιφανειακής απορροής.

-Όταν το χωράφι δεν είναι ισοπεδωμένο και δεν μπορεί να ισοπεδωθεί ή γιατί έχει μεγάλες ανωμαλίες ή το πάχος του εδάφους είναι μικρό.

-Σε αμμώδη εδάφη με μεγάλη διηθητικότητα που η εφαρμογή επιφανειακών μεθόδων άρδευσης έχει σαν συνέπεια υπερβολικές απώλειες νερού και θρεπτικών στοιχείων από βαθιά διήθηση.

Για την αποφυγή επιφανειακής απορροής, ο ρυθμός εφαρμογής του νερού στο χωράφι, πρέπει να είναι ίσος ή και λίγο μικρότερος από την βασική διηθητικότητα του εδάφους δηλ. από την ταχύτητα με την οποία το έδαφος απορροφά το νερό. Για το σκοπό αυτό η επιλογή του μπεκ και της διάταξης των εκτοξευτήρων πρέπει να γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε η ένταση βροχής (σε mm/ ώρα) να είναι περίπου ίση με την βασική διηθητικότητα του εδάφους.

Στον πίνακα 7 φαίνεται το ωριαίο ύψος βροχής που μπορεί να εφαρμοστεί ανάλογα με τη μηχανική σύσταση του εδάφους και τη βασική διηθητικότητά του.

| Είδος εδάφους | Μέσον ωριαίο ύψος βροχής<br>Χιλ/ώρα |
|---------------|-------------------------------------|
| Αμμουδερά     | 50                                  |
| Ελαφρά        | 25                                  |
| Μέτρια        | 15                                  |
| Βαρειά        | 5                                   |

Πίνακας 7. Μέση Ωριαία Διηθητικότητα Εδαφών

#### Άρδευση με σταγόνες

Στη στάγδην άρδευση ή άρδευση με σταγόνες το νερό εφαρμόζεται σε μέρος του εδάφους και μάλιστα στην περιοχή του ριζοστρώματος. Η παροχή των σταλλακτήρων είναι πολύ μικρή της τάξεως των 2-3 λίτρων /ώρα με αποτέλεσμα όλο το εφαρμοζόμενο νερό να διηθείται στο έδαφος και να μην



υπάρχει επιφανειακή απορροή. Επιπλέον λόγω του ότι η άρδευση επαναλαμβάνεται καθημερινά επί δύο ή τρεις ώρες, ώστε να καλύπτει το νερό που εξατμίστηκε, δεν υπάρχουν απώλειες νερού ή θρεπτικών στοιχείων στα βαθύτερα στρώματα. Η μέθοδος αυτή άρδευσης θεωρείται ιδανική για περιοχές ιδιαίτερα ευαίσθητες στην έκπλυση των νιτρικών καθώς και για περιοχές με μικρές ποσότητες διαθέσιμου νερού.

Τα πλεονεκτήματα λοιπόν της άρδευσης με σταγόνες, εκτός από τον πλήρη έλεγχο της έκπλυσης των θρεπτικών, είναι το μειωμένο κόστος εργασίας, η καλή λειτουργία του συστήματος σε επικλινή εδάφη και εκεί όπου η ποιότητα του νερού είναι περιθωριακή. Τα μόνα μειονεκτήματα είναι το υψηλό αρχικό κόστος αγοράς του συστήματος και το υψηλό επίπεδο τεχνογνωσίας που απαιτείται για τη λειτουργία και συντήρησή του.

#### ΓΕΝΙΚΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ - ΑΝΤΙΔΙΑΒΡΩΤΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

Η άρδευση πρέπει να γίνεται με τρόπους που να αποκλείουν την υδατική διάβρωση του εδάφους.

Απαιτείται ακριβής υπολογισμός των αναγκών της καλλιέργειας, χορήγηση των απόλυτα αναγκαίων ποσοτήτων νερού και μεγάλη προσοχή στο άνοιγμα των βαλβίδων των συστημάτων στάγδην άρδευσης.

Μεγάλες σταγόνες πιθανώς να προκαλέσουν "ταράτσωμα" της επιφάνειας με αποτέλεσμα τη μη διήθηση του νερού στο έδαφος και κατά συνέπεια την απορροή του. Μόλις παρατηρηθεί απορροή θα πρέπει να διακόπτεται η άρδευση.

Συχνός έλεγχος απαιτείται στις συνδέσεις των σωληνώσεων για πιθανές απώλειες νερού.

Αν για διάφορους λόγους(μεγάλες κλίσεις, υψηλές βροχοπτώσεις, υφή του εδάφους, σύστημα άρδευσης, μεγάλες ποσότητες αρδευτικού νερού κ.λ.π) η υδατική διάβρωση αποτελεί συχνό και σοβαρό πρόβλημα είναι απαραίτητη η λήψη μιας σειράς μέτρων, όπως είναι:

- Η δημιουργία σταθερών ακαλλιέργητων λωρίδων, που λειτουργούν σαν ανασχετικές ζώνες και οι οποίες καλύπτονται από αυτοφυή βλάστηση (γρασίδα).

Οι ανασχετικές ζώνες εμποδίζουν την επιφανειακή απορροή και την μεταφορά του παρασυρόμενου χώματος στους υδάτινους αποδέκτες, χωρίς βεβαίως να θεωρούνται σαν μόνιμη λύση για την αποφυγή ρύπανσης των νερών και την προστασία του εδάφους από τη διάβρωση, ειδικά όταν οι κλίσεις είναι μεγάλες ή όταν γίνεται υπεράρδευση ή όταν οι βροχοπτώσεις είναι υψηλές. Τότε οι ανασχετικές ζώνες υπερπηδώνται και τα χημικά λιπάσματα μαζί με το χώμα οδηγούνται στους υδάτινους αποδέκτες.

Πέρα από φυσικό εμπόδιο οι ανασχετικές ζώνες, με την αυτοφυή χλωρίδα τους, αφαιρούν άζωτο από το εδαφικό νερό όταν ο υδατικός ορίζοντας είναι πολύ κοντά στην επιφάνεια.

Το πλάτος τους ποικίλει από 2-4 μέτρα ανάλογα με την κλίση του εδάφους, την υφή του εδάφους, το ύψος των βροχοπτώσεων, το είδος της καλλιέργειας, το ποσό του αρδευτικού νερού και τη μέθοδο άρδευσης.

-Η αλλαγή της καλλιέργειας, όπου αυτή μπορεί να γίνει ή τουλάχιστον η ενσωμάτωση λειμώνιων φυτών, γρασιδιών κλπ στην αμειψισπορά.

-Η δημιουργία σταθερού επιφανειακού χώματος με τη χρησιμοποίηση διαθέσιμου οργανικού υλικού, αλλά σε τέτοιες ποσότητες που δεν θα επιβαρύνουν το έδαφος σε αζωτούχες ενώσεις που πιθανώς να καταλήξουν σε επιφανειακά ή υπόγεια νερά.

--Η παρουσία φυσικών φυτοφρακτών στα όρια των κτημάτων ή και ενδιάμεσα σε μεγάλες εκτάσεις με σημαντικές κλίσεις. Πέρα από την οικολογική τους αξία έχουν και ανασχετικό ως προς τη διάβρωση ρόλο, συγκρατώντας το χώμα, με αποτέλεσμα τον περιορισμό απώλειας αζώτου που θα κατέληγε στους υδάτινους αποδέκτες.

## 8. Επιδράσεις νιτρικών στην υγεία

### 8.1 Κινητική και μεταβολισμός των νιτρικών ιόντων στον άνθρωπο

#### Απορρόφηση ,κατανομή και αποβολή των νιτρικών ιόντων

Το νιτρικό άλας που εισάγεται στο στομάχι απορροφάται γρήγορα και πλήρως από το άνω λεπτό έντερο. Το νιτρώδες άλας μπορεί να απορροφηθεί άμεσα τόσο από το στομάχι όσο και από το άνω λεπτό έντερο. Μέρος του νιτρώδους άλατος αντιδρά με το γαστρικό υγρό πριν από την απορρόφηση.

Το νιτρικό άλας κατανέμεται ταχύτατα σε όλους τους ιστούς .Περίπου το 25% του νιτρικού άλατος που εισέρχεται στο στομάχι εκκρίνεται στη σίελο , όπου μερικώς (20%) μεταβάλλεται σε νιτρώδες άλας από τη στοματική μικροχλωρίδα. Στη συνέχεια το νιτρικό και το νιτρώδες άλας με την κατάποση εισέρχονται ξανά στο στομάχι .Η βακτηριακή μείωση του νιτρικού άλατος μπορεί επίσης να λάβει χώρα σε άλλα τμήματα του ανθρώπινου πεπτικού σωλήνα , αλλά φυσιολογικά όχι στο στομάχι ,αν και αναφέρονται εξαιρέσεις σ' αυτόν τον κανόνα σε άτομα με χαμηλή γαστρική οξύτητα ,όπως τα βρέφη που τρέφονται με συνθετικές τροφές , ορισμένοι ασθενείς των οποίων η έκκριση του υδροχλωρικού οξέος είναι βραδύτερη απ' τη φυσιολογική ,ή σε ασθενείς που λαμβάνουν αντιόξινα φάρμακα (Colbers και άλλοι 1995).

Το νιτρώδες άλας που απορροφάται οξειδώνεται ταχύτατα σε νιτρικό άλας στο αίμα. Το νιτρώδες άλας στην κυκλοφορία του αίματος εμπλέκεται στην οξείδωση της αιμοσφαιρίνης σε μεθαιμοσφαιρίνη: ο  $\text{Fe}_2^+$  που βρίσκεται στην αιματική ομάδα οξειδώνεται σε  $\text{Fe}_3^+$ , και το νιτρώδες άλας που υπολείπεται συνδέεται σταθερά με αυτήν την οξειδωμένη αιματική ομάδα .Η μορφή  $\text{Fe}_3^+$ ,δεν επιτρέπει τη μεταφορά οξυγόνου λόγω της ισχυρής δέσμευσης του οξυγόνου . Κατά συνέπεια η μεθαιμοσφαιριναιμία (βλ. συνέχεια) μπορεί να οδηγήσει στην κυάνωση.

Έχει αποδειχθεί ότι το νιτρώδες άλας μπορεί να διαπεράσει τον πλακούντα και να προκαλέσει το σχηματισμό εμβρυακής μεθαιμοσφαιριναιμίας στα ποντίκια. Μπορεί να αντιδράσει στο στομάχι με ικανές να κορεστούν από

νιτρώδεις ενώσεις (πχ δευτερεύουσες και τριτεύουσες αμίνες ή αμίδια σε τροφές) για να σχηματίσει N-νιτροζοενώσεις. Παρόμοια ενδογενής νιτροζώση έχει αποδειχθεί ότι προκύπτει σε ανθρώπινο αλλά και ζωικό γαστρικό υγρό τόσο σε ζωντανά όσο και σε εργαστηριακά πειράματα , κυρίως σε υψηλότερα επίπεδα PH ,σε περίπτωση που τόσο οι νιτρώδεις όσο και οι ικανές να κορεστούν από νιτρώδη ενώσεις υπήρχαν ταυτόχρονα. (Sheephard, 1995, Π.Ο.Υ.,1996).

Το μεγαλύτερο μέρος του νιτρικού άλατος που εισέρχεται στο στομάχι τελικά αποβάλλεται από τα ούρα σε μορφή νιτρικού άλατος ,αμμωνίας ή ουρίας. Η αποβολή μέσω των κοπράνων είναι ασήμαντη. Η αποβολή του νιτρώδους άλατος είναι λίγη (Π.Ο.Υ1985β.ICAIR Life Systems,Inc.1987,Speijers και άλλοι 1989).

## **8.2 Καρκίνος**

Η κύρια μορφή αζώτου που απορροφάται από τα φυτά και το χώμα είναι τα νιτρικά άλατα. Οι μικροοργανισμοί στο χώμα χωρίζουν τις οργανικές ενώσεις, και τις μετατρέπουν σε νιτρικά άλατα για να λαμβάνονται εύκολα από τις ρίζες των φυτών. Τα οργανικά λιπάσματα υπόκεινται στις ίδιες διαδικασίες με την οργανική ουσία στο χώμα .Τα νιτρικά άλατα εμφανίζονται σε πολλά τρόφιμα και στο πόσιμο νερό με κύρια πηγή εμφάνισης νιτρικών τα λαχανικά. Περισσότερο από τα τρία τέταρτα της μέσης εισαγωγής νιτρικών αλάτων στον ανθρώπινο οργανισμό προέρχεται από τα λαχανικά. Ορισμένοι τύποι λαχανικών τείνουν να συσσωρεύσουν το νιτρικό άλας όπως σπανάκι, μαρούλι, μπρόκολο, λάχανο, σέλινο, ραδίκι, και παντζάρια. Σε κάποια άλλα λαχανικά όπως τα καρότα, κουνουπίδι, μπιζέλια και πατάτες δεν παρατηρείται αυξημένη ποσότητα νιτρικών .

Ο κύριος κίνδυνος στον ανθρώπινο οργανισμό από κατανάλωση λαχανικών με υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών είναι η εμφάνιση καρκίνου του στομάχου. Η ιδέα ότι υπάρχει συσχετισμός των νιτρικών και του καρκίνου του στομάχου προέρχεται από το γεγονός ότι το νιτρικό άλας μπορεί ενδογενώς να μετατραπεί στις νιτρο- ενώσεις, οι οποίες είναι καρκινογόνες χημικές ουσίες.

Η έκθεση στα νιτρώδη και τα νιτρικά άλατα, είναι άμεσα συνδεδεμένη με τον σχηματισμό των καρκινογόνων παραγώγων νιτρο-αμινών,.

Τα νιτρικά άλατα στο πόσιμο νερό είναι στατιστικά συνδεδεμένα με έναν αυξανόμενο κίνδυνο καρκίνου της ουροδόχου κύστης ακόμα και σε επίπεδα χαμηλότερα από 10 PPM. Η μακροπρόθεσμη, βαριά χρήση των λιπασμάτων αζώτου οδηγεί στις συγκεντρώσεις νιτρικών αλάτων παραπάνω από 5 PPM.

Σε μία αντίστοιχη μελέτη, αναλύθηκαν οι εμφανίσεις καρκίνου, σε γυναίκες 55-69 ετών που είχαν χρησιμοποιήσει την ίδια παροχή νερού για περισσότερο από 10 έτη. Χρησιμοποιώντας τα στοιχεία που συλλέχθηκαν από το 1955 ως το 1988 στις δημοτικές παροχές νερού, οι ερευνητές υπολόγισαν το μέσο επίπεδο έκθεσης νιτρικών αλάτων κάθε γυναίκας, ρυθμίζοντας για διάφορους παράγοντες που επηρεάζουν την εμφάνιση καρκίνου της ουροδόχου κύστης όπως το κάπνισμα, την ηλικία, την εκπαίδευση, τη σωματική δραστηριότητα, και την κατανάλωση φρούτων .

Διαπιστώθηκε ότι όταν το πόσιμο νερό περιέχει μέσο επίπεδο νιτρικών αλάτων μεγαλύτερο από 2.46 PPM , η πιθανότητα εμφάνισης καρκίνου της ουροδόχου κύστης στις γυναίκες είναι 2.83 φορές μεγαλύτερη, απ' όταν το μέσο επίπεδο των νιτρικών αλάτων στο πόσιμο νερό είναι μικρότερο από 0.36 PPM.

Η ανησυχία σχετικά με τη δυνατότητα των νιτρικών αλάτων να προκαλέσουν καρκίνο δεν είναι τελείως τεκμηριωμένη . Δεν υπάρχουν άμεσα στοιχεία ότι το πόσιμο νερό που περιέχει υψηλά επίπεδα νιτρικών αλάτων προκαλεί καρκίνο, αλλά συνιστάται η μείωση της έκθεσης σε αυτές τις ενώσεις

### **8.3 “BLUE BABY SYNDROME” Methemoglobinemia**

Η Methemoglobinemia είναι μια διαταραχή στο αίμα που προκαλείται με την αλληλεπίδραση του νιτρώδους άλατος και της την αιμογλοβίνης στα ερυθρά αιμοσφαίρια. Αντίθετα από την αιμογλοβίνη, η μεθεμογλοβίνη που παράγεται με αυτήν την αλληλεπίδραση δεν μπορεί να φέρει το ικανοποιητικό οξυγόνο στα κύτταρα του σώματος και τους ιστούς. Αν και η ασθένεια αυτή είναι σπάνια στους ενήλικες, είναι πολλές οι περιπτώσεις που αναφέρθηκαν

μεταξύ των νηπίων, όπου νερό που χρησιμοποιήθηκε στο γάλα και στις παιδικές τροφές περιείχε νιτρικά.

Το νιτρικό άλας, μια σχετικά μη τοξική ουσία, είναι τμήμα του κύκλου του αζώτου στη φύση. Εντούτοις, τα βακτηρίδια μπορούν να μετατρέψουν το νιτρικό άλας σε νιτρώδες άλας ,στο περιβάλλον, στα τρόφιμα και στο ανθρώπινο σώμα.

Στα βρέφη ,(ηλικίας έως έξι μηνών) ,η ποσότητα γαστρικού οξέος που εκκρίνεται στο στομάχι είναι χαμηλότερη, και το επίπεδο pH του πεπτικού τους συστήματος είναι πιο υψηλό απ' ότι στους περισσότερους ενήλικες. Οι ενήλικοι που έχουν μειωμένη ικανότητα έκκρισης γαστρικού οξέος μπορούν επίσης να παρουσιάσουν αύξηση στο pH του πεπτικού τους συστήματος . Και στις δύο περιπτώσεις, τα βακτηρίδια μπορούν να πολλαπλασιαστούν, αυξάνοντας το μετασχηματισμό του νιτρικού αλατος σε νιτρώδες άλας.

Το νιτρώδες άλας οξειδώνει το σίδηρο στην αιμογλοβίνη των ερυθρών αιμοσφαιρίων για να παράγει τη μεθεμογλοβίνη, η οποία στερείται τη δυνατότητα μεταφοράς οξυγόνου της αιμογλοβίνης. Το νιτρώδες άλας μπορεί να προέλθει από το νιτρικό άλας στο πόσιμο νερό ή από τα τρόφιμα, μερικά φάρμακα ή άλλες πηγές.

Αν και η μεθεμογλοβίνη παράγεται συνεχώς στους ανθρώπους, ένα ένζυμο στο ανθρώπινο σώμα μειώνει την παραγωγή μεθεμογλοβίνης και την μετατρέπει ξανά σε αιμογλοβίνη. Χαρακτηριστικά, λιγότερο από 1 τοις εκατό της συνολικής αιμογλοβίνης σε έναν υγιή ενήλικο είναι σε μορφή μεθεμογλοβίνης. Τα βρέφη, εντούτοις, έχουν χαμηλή συγκέντρωση (περίπου 60 τοις εκατό της συγκέντρωσης που έχουν οι ενήλικες) του ενζύμου που χρειάζεται για την μετατροπή, όπως επίσης και μερικοί ενήλικες με ενζυμική ανεπάρκεια. Σε αυτούς τους ανθρώπους, η μεθεμογλοβίνη δεν μετατρέπεται εύκολα σε αιμογλοβίνη.

Όταν τα επίπεδα μεθεμογλοβίνης αυξάνονται, {ο όρος γνωστός ως methemoglobinemia, ή σύνδρομο "blue baby"}, το αίμα δε μπορεί να μεταφέρει την απαραίτητη ποσότητα οξυγόνου στα κύτταρα.

#### Συμπτώματα

Τα βρέφη που πάσχουν από το methemoglobinemia παρουσιάζουν μελανό χρώμα στο στόμα, στα χέρια και στα πόδια. Μπορεί να παρουσιάσουν

αναπνευστικά επεισόδια, διάρροια και εμετό. Τα δείγματα αίματος έχουν σκούρο καφέ χρώμα και δεν γίνονται ρόδινα όταν εκτίθενται στον αέρα. Όταν το επίπεδο μεθεμογλοβίνης είναι υψηλό, τα βρέφη έχουν μερική απώλεια συνείδησης. Σπασμοί και θάνατος μπορούν να εμφανιστούν σε ακραία επίπεδα μεθεμογλοβίνης.

#### Θεραπεία

Εάν η ασθένεια προσδιοριστεί νωρίς δεν είναι απειλητική για τη ζωή. Με αλλαγή του πόσιμου νερού, με χαμηλή περιεκτικότητα σε νιτρικά (λιγότερο από 10 mg/l), είναι συνήθως η μόνη αναγκαία θεραπεία. Αυτό θα μειώσει τη μεθεμογλοβίνη στην αιμογλοβίνη σε δύο έως τρεις ημέρες. Σε σοβαρές περιπτώσεις, θα πρέπει στα βρέφη να χορηγηθεί ενδοφλεβίως διάλυμα μπλε μεθυλενίου.

#### Πρόληψη

Σύμφωνα με την EPA το ανώτατο όριο νιτρικών στο πόσιμο νερό είναι 10 mg/l ή 10 ppm. Αυτό το επίπεδο παρέχει ένα περιθώριο ασφάλειας ενάντια σε έναν σημαντικό κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία. Η EPA θεωρεί το νερό που περιέχει νιτρικά κάτω από αυτό το επίπεδο ότι είναι αποδεκτό για καθημερινή χρήση χωρίς να τίθεται κίνδυνος υγείας για τα νήπια ή τους ενήλικους.

Η πρόληψη Methemoglobinemia είναι ιδιαίτερα σημαντική για τα νήπια κάτω των έξι μηνών, για τις έγκυες γυναίκες, γυναίκες που είναι σε θηλασμό και άλλα άτομα υψηλού κινδύνου.

### 8.4 Νιτρικά άλατα και διατροφή

Το νιτρικό άλας ( $\text{NO}_3$ ) είναι μια ένωση του αζώτου και του οξυγόνου που βρίσκονται σε πολλά στοιχεία τροφίμων στην καθημερινή διατροφή σας. Γενικά, η συγκέντρωση στο υπόγειο νερό είναι χαμηλή. Η σημαντικότερη πηγή εισαγωγής του νιτρικού άλατος είναι τα τρόφιμα παρά από το ύδωρ. Τα λαχανικά όπως το σπανάκι, το μαρούλι, τα τεύτλα και τα καρότα περιέχουν τα σημαντικά ποσά νιτρικού άλατος. Το πόσιμο νερό συμβάλλει κανονικά μόνο ένα μικρό ποσοστό της συνολικής εισαγωγής νιτρικών αλάτων [Σιώμος Α, Νιτρικά και Φυτό].

## 8.5 Άλλες επιπτώσεις νιτρικών στην υγεία

Εκ γενετής παραμορφώσεις έχουν συσχετισθεί με υψηλά επίπεδα νιτρικού άλατος στην Αυστραλία .Ωστόσο οι παρατηρήσεις αυτές δεν έχουν επιβεβαιωθεί. Άλλες μελέτες απέτυχαν επίσης να αποδείξουν ότι υπάρχει σχέση μεταξύ εκ γενετής παραμορφώσεων και νιτρικού άλατος. (Π.Ο.Υ,1958β,ECETOC,1988).

Μελέτες σχετικά με καρδιαγγειακές επιπτώσεις των επιπέδων νιτρικών αλάτων στο πόσιμο νερό έχουν αποδώσει ασυνεπή αποτελέσματα. (Π.Ο.Υ,1958β)

Η πιθανή σχέση ανάμεσα στην πρόληψη νιτρικού άλατος και στον θυρεοειδή έχει επίσης μελετηθεί , καθώς το νιτρικό άλας καταστέλλει ανταγωνιστικά την πρόληψη ιωδίου. Επιπλέον των αποτελεσμάτων του νιτρικού άλατος επί του θυρεοειδούς που παρατηρήθηκαν σε μελέτες ζώων κτηνοτροφίας , οι επιδημιολογικές μελέτες αποκάλυψαν ενδείξεις για αντι- θυρεοειδική επίδραση του νιτρικού άλατος σε ανθρώπους. Σε περίπτωση που το διαιτητικό ιώδιο είναι διαθέσιμο σε ικανό βαθμό (που να αντιστοιχεί σε καθημερινή έκκριση των 150-300mg/ημέρα )η επίδραση του νιτρικού άλατος είναι αδύνατη, δηλαδή έχει μηδενική τάση .Η επίδραση του νιτρικού άλατος στην λειτουργία του θυρεοειδούς είναι ισχυρή σε περίπτωση που ταυτόχρονα υπάρχει έλλειψη ιωδίου.

Τόσο οι πειραματικές όσο και οι επιδημικές μελέτες δίνουν την εντύπωση ότι το νιτρικό άλας στο πόσιμο νερό έχει ισχυρότερη επίδραση στη λειτουργία του θυρεοειδούς απ' ότι έχει το νιτρικό άλας στην τροφή. Οι διαφορές κινητικότητας του νιτρικού άλατος μετά την εισαγωγή του στο στομάχι μέσω πόσιμου νερού και μέσω φαγητού θα μπορούσε να είναι η αιτία της διαφοράς επί των θυρεοειδικών επιδράσεων. Ωστόσο δεν υπάρχουν επαρκείς μελέτες αναφορικά με το ζήτημα επί του παρόντος.

Ο Hettche περιέγραψε κάποια σχέση ανάμεσα στις υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικού άλατος στο πόσιμο νερό και περιπτώσεις βρογχοκήλης το 1955. καθώς επίσης ότι το ανόργανο νιτρικό άλας είναι έκδηλος παράγοντας ενδημικής βρογχοκήλης.



## 9. Βασικοί μηχανισμοί μεταφοράς ποσότητας ουσίας (ρυπαντή) .

### 9.1.Μεταφορά λόγω διαφοράς συγκεντρώσεων (Diffusion).

Βάση του φαινομένου της διάχυσης είναι η μικροσκοπική κίνηση των μορίων. Μια διαλυμένη ουσία στο νερό κινείται από μια περιοχή υψηλής συγκέντρωσης προς μια άλλη χαμηλής συγκέντρωσης. Αυτό είναι γνωστό ως «**μοριακή διάχυση**» ή «**διάχυση**». Διάχυση συμβαίνει όσο υπάρχει μεταβολή συγκέντρωσης ακόμη και αν το υγρό δεν κινείται. Η μάζα του υγρού που διαχύνεται είναι ανάλογη της διαφοράς (κλίσης) των συγκεντρώσεων και μπορεί να εκφραστεί από τον πρώτο νόμο του Fick:

$$F = - D_d \frac{dC}{dx}$$

όπου:

F= ροή μάζας της διαλυμένης ουσίας ανά μονάδα επιφάνειας και ανά μονάδα χρόνου.

$D_d$ = σταθερά της διάχυσης ( $L^2/T$ )

C= συγκέντρωση της διαλυμένης ουσίας ( $M/L^3$ )

$DC/dx$ = μεταβολή της συγκέντρωσης ( $M/L/L^3$ )

Το αρνητικό πρόσημο δηλώνει ότι η κίνηση είναι από περιοχές μεγάλης συγκέντρωσης προς περιοχές μικρότερης συγκέντρωσης.

Διάχυση συμβαίνει όταν η συγκέντρωση ενός χημικού στοιχείου σε ένα στρώμα είναι μεγαλύτερη από ότι σε άλλο γειτονικό στρώμα.

### 9.2. Συμμεταφορά –Transport by Advection

Διαλυμένες ουσίες μεταφέρονται με τη ροή υπογείων υδάτων. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται **συμμεταφορά (advection)**. Σχετίζεται με τη μακροσκοπική κίνηση του ρευστού και εκφράζεται με τη μέση ταχύτητα ογκομετρικής ροής [Γκέκας Χ, Πρωιμάκη Σ, Φαινόμενα Μεταφοράς]. Η ποσότητα της ουσίας που μεταφέρεται είναι συνάρτηση της συγκέντρωσής

της στα υπόγεια ύδατα και της ποσότητας του νερού της υπόγειας ροής. Για μονοδιάστατη ροή σε μια κατά πλάτος τομή του πορώδους υλικού η ποσότητα του νερού της υπόγειας ροής είναι ίση με τη μέση γραμμική ταχύτητα πολλαπλασιασμένη με το ενεργό πορώδες.

Μέση γραμμική ταχύτητα  $v_x$  (average linear velocity) είναι η τιμή της ροής (flux) του νερού σε κατά πλάτος τομή ενός πορώδους υλικού. Δεν είναι η μέση τιμή της ταχύτητας στην οποία τα μόρια του νερού κινούνται κατά μήκος των γραμμών ροής η οποία είναι μεγαλύτερη από την μέση γραμμική ταχύτητα που οφείλεται στην στρεβλότητα (Tortuosity). Το ενεργό πορώδες (the effective porosity)  $n_e$ , είναι το πορώδες δια μέσου του οποίου υφίσταται ροή. Νεκροί πόροι δεν περιλαμβάνονται στο ενεργό πορώδες (effective porosity).

$$v_x = \frac{K}{n_e} \frac{dh}{dl}$$

όπου:

$v_x$ =μέση γραμμική ταχύτητα (L/T)

$K$ =υδραυλική αγωγιμότητα (L/T)

$n_e$ =ενεργό πορώδες

$dh/dl$ = υδραυλική κλίση (L/L)

Η μονοδιάστατη ροή μάζας  $F_x$  λόγω οριζόντιας μεταφοράς είναι ίση με την ποσότητα του ύδατος που ρέει ,πολλαπλασιασμένη με την συγκέντρωση των διαλυμένων στερεών, και δίδεται απ την εξίσωση

$$F_x = v_x n_e C$$

### 9.3. Διασκορπισμός ή υδροδυναμική διασπορά (Dispersion).

Μοιάζει με τη διάχυση ως προς τη μαθηματική περιγραφή και με τη συμμεταφορά ως προς την προέλευση (ρεύματα). χαρακτηρίζεται από το συντελεστή  $E$ . Στην περίπτωση που η ουσία βρίσκεται στην αέρια φάση χρησιμοποιείται η έννοια διασκορπισμός. Αν η ουσία είναι υγρό απόβλητο ο όρος που χρησιμοποιείται είναι υδροδυναμική διασπορά [Γκέκας Χ, Πρωιμάκη Σ, Φαινόμενα Μεταφοράς].

Τα υπόγεια ύδατα κινούνται με ταχύτητες μικρότερες ή μεγαλύτερες της μέσης γραμμικής ταχύτητας. Σε μακροσκοπική κλίμακα υπάρχουν τρεις βασικές αιτίες για αυτό το φαινόμενο.

- Όπως το υγρό κινείται δια μέσου των πόρων , η ταχύτητα είναι μεγαλύτερη στο μέσο των πόρων απ' ότι κατά μήκος των πλευρών.
- Μερικά από τα μόρια του υγρού ταξιδεύουν στο πορώδες υλικό κατά μήκος μεγαλύτερων διαδρομών απ' ότι άλλα μόρια που εκτελούν την ίδια γραμμική απόσταση.
- Μερικοί πόροι είναι μεγαλύτεροι από άλλους και έτσι επιτρέπουν στο υγρό να κινείται γρηγορότερα.

Εάν όλα τα υπόγεια ύδατα που περιέχουν διαλυμένες ουσίες ήταν να ταξιδεύουν με ακριβώς την ίδια τιμή ,θα μπορούσε να αντικατασταθεί το νερό που δεν περιέχει διαλυμένη ουσία και να δημιουργηθεί μια ασυνεχής διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ των δυο υδάτων. Εν τούτοις εξ' αιτίας των ουσιών που εισέρχονται και αναμιγνύονται στα μονοπάτια της ροής ,το νερό δεν ταξιδεύει με την ίδια ταχύτητα. Αυτή η ανάμιξη ονομάζεται *μηχανική διασπορά (mechanical dispersion)* και έχει ως αποτέλεσμα την διάλυση των ουσιών στη ροή. Η ανάμιξη που συμβαίνει κατά μήκος των διαδρομών της ροής ονομάζεται *διαμήκης διασπορά (longitudinal dispersion)*.

Η μέθοδος της μοριακής διάχυσης δεν ξεχωρίζει από τη μηχανική διασπορά στα κινούμενα υπόγεια ύδατα. Τα δυο είναι συνδυασμένα και καθορίζουν μια παράμετρο που ονομάζεται συντελεστής υδροδυναμικής διασποράς  $D$  (Hydrodynamic dispersion coefficient) και εκφράζεται από τις παρακάτω εξισώσεις

$$D_L = a_L v_i + D^*$$

$$D_T = a_T v_i + D^*$$

Όπου:

$D_L$ = Σταθερά Υδροδυναμικής Διασποράς παράλληλη στην κύρια κατεύθυνση ροής (διαμήκης\_ longitudinal)

$D_T$ = Σταθερά Υδροδυναμικής Διασποράς κάθετη στην κύρια κατεύθυνση ροής (εγκάρσια \_ transverse)

$a_L$ = συντελεστής διαμήκης δυναμικής διασποράς (longitudinal dynamic dispersivity)

$a_T$ = συντελεστής εγκάρσιας δυναμικής διασποράς (transverse dynamic dispersivity)

## 10. Προσδιορισμός νιτρικών ιόντων

Αμέσως μετά τη δειγματοληψία τα δείγματα πρέπει να ψυχθούν και να διατηρηθούν σε θερμοκρασία 4 °C μέχρι να αναλυθούν . Τα θολά δείγματα διηθούνται από πορώδη ηθμό 0,45μm. Η ανάλυση πρέπει να γίνεται το γρηγορότερο δυνατό.

Η μέθοδος προσδιορισμού των νιτρικών ιόντων πρέπει να επιλεγεί γιατί οι γνωστές τεχνικές έχουν περιορισμένα όρια εφαρμογής και επηρεάζονται από πολλές παρεμποδιστικές ουσίες. Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου διευκολύνεται από ένα προκαταρκτικό καθορισμό της συγκέντρωσης των νιτρικών που υπάρχουν στο δείγμα.

Η προκαταρκτική προσέγγιση της συγκέντρωσης του δείγματος σε νιτρικά μπορεί να γίνει με μια από τις παρακάτω μεθόδους:

- Με τη μέθοδο των υπεριωδών ακτινών με την οποία προσδιορίζεται η απορρόφηση των  $\text{NO}_3^-$  στα 220nm. Η μέθοδος αυτή είναι κατάλληλη για καθαρά νερά.
- Με εκλεκτικό ηλεκτρόδιο νιτρικών που χρησιμοποιείται τόσο σε καθαρά όσο και σε ρυπασμένα νερά.

Στη συνέχεια ,ανάλογα με τη συγκέντρωση που προκύπτει από την προκαταρκτική διαδικασία επιλέγεται μια από τις παρακάτω μεθόδους:

- Αν η συγκέντρωση των νιτρικών στο δείγμα είναι μεταξύ 50μg/L και 5mg/L μπορεί να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος του σαλικυλικού οξέος.
- Αν η συγκέντρωση των νιτρικών στο δείγμα είναι μικρότερη από 0,1 mg/L μπορεί να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος του καδμίου .

Τα νιτρικά μπορούν να προσδιοριστούν επιτόπου και με kit-test ,τα οποία κυκλοφορούν στο εμπόριο με διάφορα είδη ευαισθησίας. Η ακρίβεια των kit-test πρέπει να ελέγχεται με τις κλασσικές μεθόδους πριν τη χρήση τους [Οικονομόπουλος, Χημεία και Έλεγχος Ρύπανσης Νερών].

Μερικές από τις κυριότερες κλασσικές μεθόδους προσδιορισμού των νιτρικών είναι οι ακόλουθες:

### **10.1 Μέθοδος Σαλικυλικού Οξέος**

Αντίδραση των νιτρικών που υπάρχουν στο υπόλειμμα του δείγματος ,μετά από εξάτμιση με σαλικυλικό νάτριο και θειικό οξύ ,παράγει μίγμα νιτροσαλικυλικών οξέων ,τα οποία σε αλκαλικό περιβάλλον δίνουν ένα σταθερό κίτρινο χρώμα. Η μέτρηση της έντασης του χρώματος αυτού γίνεται φασματοφωτομετρικά σε μήκος κύματος 415nm.

Αν το δείγμα περιέχει περισσότερο από 5mg/L  $\text{NO}_3^-$  αραιώνεται πριν την ανάλυση.

Τα χλωριούχα επηρεάζουν τη μέτρηση και γι' αυτό το λόγο απομακρύνονται με προσθήκη ποσότητας  $\text{AgSO}_4$ . [Οικονομόπουλος, Χημεία και Έλεγχος Ρύπανσης Νερών].

### **10.2 Μέθοδος αναγωγής με κάδμιο**

Τα νιτρικά ανάγονται σχεδόν ποσοτικά σε νιτρώδη παρουσία καδμίου ,με διέλευση του δείγματος από μια στήλη αναγωγής. Για την πλήρωση της στήλης αναγωγής χρησιμοποιείται ποσότητα ρινισμάτων Cu-Cd. Γίνεται διόρθωση ως προς τα νιτρώδη που τυχόν υπάρχουν στο δείγμα με προσδιορισμό τους πριν την αναγωγή των νιτρικών.

Η παρουσία σιδήρου, χαλκού ή άλλων μετάλλων σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από λίγα mg/L ,μειώνουν την αποτελεσματικότητα της αναγωγής δίνοντας χαμηλά αποτελέσματα. Για να μειωθεί η παρεμποδιστική δράση των μετάλλων προστίθεται διάλυμα EDTA. Επίσης ,η παρουσία λιπών και ελαίων

επικαλύπτει την επιφάνεια του καδμίου και μειώνει την αποτελεσματικότητα της αναγωγής. Τα λίπη και τα έλαια μπορούν να απομακρυνθούν με εκχύλιση, με οργανικό διαλύτη πριν την αναγωγή. Το υπολειμματικό χλώριο μπορεί να προκαλέσει οξείδωση της αναγωγικής στήλης του καδμίου. Το υπολειμματικό χλώριο πρέπει να απομακρύνεται με προσθήκη διαλύματος υποχλωριώδους νατρίου πριν την έναρξη της διαδικασίας αναγωγής.

## 11. Νομοθεσία

### 11.1 Γενικά

Η συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων στο πόσιμο νερό έχει ρυθμιστεί νομοθετικά στην Ευρωπαϊκή Ένωση από το 1975 με την έκδοση της οδηγίας 75/440/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 16ης Ιουνίου 1975 περί της απαιτούμενης ποιότητας των υδάτων επιφάνειας που προορίζονται για την παραγωγή του πόσιμου ύδατος στα κράτη μέλη. Εν συνεχεία η Ευρωπαϊκή Ένωση εξέδωσε την οδηγία 80/778/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 15ης Ιουλίου 1980 περί της ποιότητας του πόσιμου νερού. Και οι δυο οδηγίες έχουν ως κατευθυντήρια τιμή για τα νιτρικά ιόντα τα 25mg/l και ανώτατη επιτρεπτή συγκέντρωση 50 mg/l. Πρέπει να αναφέρουμε ότι και στις υπόλοιπες χώρες του κόσμου το ανώτατο επιτρεπτό όριο συγκέντρωσης νιτρικών είναι 50 mg/l σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (Π.Ο.Υ.). Σύμφωνα με την ΕΡΑ το όριο για τα νιτρικά είναι 45 mg/l. Εντούτοις πρέπει να σημειωθεί ότι η Greenpeace κάνει εκστρατεία για να πετύχει αυστηρότερο όριο για την τιμή της συγκέντρωσης των νιτρικών, περίπου 10 mg/l, αιτιολογώντας το παρουσιάζοντας τις σοβαρές συνέπειες που έχουν τα νιτρικά στα βρέφη.

Επιστρέφοντας πάλι στο ευρωπαϊκό προσκήνιο πρέπει να πούμε ότι με το πέρασμα των χρόνων έχουν αλλάξει πολλά όσον αφορά τις γνώσεις μας για τις επιδράσεις διαφόρων παραμέτρων του νερού στην ανθρώπινη υγεία. Το γεγονός αυτό είχε ως αποτέλεσμα η οδηγία 80/778/ΕΟΚ να καταργηθεί και να αντικατασταθεί από την οδηγία 93/83/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 3ης Νοεμβρίου 1998 σχετικά με την ποιότητα νερού ανθρώπινης κατανάλωσης, χωρίς όμως καμία αλλαγή στα όρια των συγκεντρώσεων των νιτρικών. Η εφαρμογή των διατάξεων της οδηγίας 80/778/ΕΟΚ καταργείται από τις 3 Νοεμβρίου του 2003.

Το 1991 το Συμβούλιο εξέδωσε την οδηγία για την νιτρορύπανση, η οποία αποσκοπεί στον περιορισμό της ρύπανσης των υδάτων που προκαλείται άμεσα ή έμμεσα από νιτρικά ιόντα γεωργικής προέλευσης και στην πρόληψη της περαιτέρω ρύπανσης αυτού του είδους. Η έκδοση της οδηγίας αυτής αποτέλεσε σημαντικό βήμα για την εξέλιξη της πολιτικής στον τομέα των υδάτων, δεδομένου ότι στις διατάξεις της τηρούνται και οι δυο θεμελιώδεις

αρχές «ο ρυπαίνων πληρώνει» και «πρόληψη στην πηγή» και επιχειρείται να αντιμετωπιστεί η διάχυτη ρύπανση.

## **11.2 Η οδηγία 91/676/ΕΟΚ**

Η οδηγία έχει διττό στόχο: τη μείωση της ρύπανσης των υδάτων που προκαλείται άμεσα ή έμμεσα από νιτρικά ιόντα γεωργικής προέλευσης και την πρόληψη της περαιτέρω ρύπανσης αυτού του είδους. Για να επιτευχθούν οι στόχοι αυτοί η οδηγία επιβάλλει στα κράτη μέλη να προσδιορίσουν τα ύδατα που υφίστανται ρύπανση και τα ύδατα που ενδέχεται να υποστούν και να χαρακτηριστούν ευπρόσβλητες ζώνες με βάση τα αποτελέσματα της παρακολούθησης που απαιτεί η οδηγία. Για τις εν λόγω ζώνες τα κράτη μέλη οφείλουν να καταρτίσουν προγράμματα δράσης που περιλαμβάνουν μέτρα υποχρεωτικής εφαρμογής σχετικά με τις γεωργικές πρακτικές στα οποία συγκαταλέγεται ο καθορισμός της μέγιστης κοπριάς που μπορεί να διασπείρεται στο έδαφος κατά έτος. Τα κράτη μέλη οφείλουν να θεσπίσουν ένα τουλάχιστο κώδικα ορθής γεωργικής πρακτικής εκτός των ευπρόσβλητων ζωνών αλλά υποχρεωτική στο εσωτερικό τους.

Τα βασικά μέρη της οδηγίας είναι τα εξής:

Το Άρθρο 3 παράγραφος 1 της οδηγίας ορίζει ότι «Σύμφωνα με τα κριτήρια του παραρτήματος Ι, τα κράτη μέλη προσδιορίζουν τα ύδατα που υφίστανται ρύπανση και τα ύδατα που ενδέχεται να την υποστούν εάν δεν αναληφθεί δράση σύμφωνα με το άρθρο 5». Το Άρθρο 3 εν συνεχεία καθορίζει στην παράγραφο 2 ότι «Εντός δύο ετών από την κοινοποίηση της παρούσας οδηγίας, τα κράτη μέλη χαρακτηρίζουν ευπρόσβλητες ζώνες όλες τις γνωστές περιοχές ξηράς που βρίσκονται στο έδαφός τους, των οποίων τα ύδατα απορρέουν στα ύδατα έχουν προσδιοριστεί σύμφωνα με την παράγραφο 1 και οι οποίες συμβάλλουν στη ρύπανση» .

Ύδατα που πληρούν ένα ή περισσότερα από τα κριτήρια του παραρτήματος Ι πρέπει να προσδιορίζονται. Αυτό σημαίνει ότι στην περίπτωση των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων ,πρέπει να χαρακτηρίζονται οι περιοχές που έχουν ή πρόκειται να έχουν νιτρικά ιόντα σε συγκέντρωση μεγαλύτερη των 50 mg/l. Επιπλέον πρέπει να χαρακτηρίζονται όλα τα ύδατα που



διαπιστώνεται ότι είναι ή ότι μπορεί στο προσεχές μέλλον να γίνουν ευτροφικά. Αξίζει να σημειωθεί ότι όλοι οι προαναφερόμενοι ορισμοί ισχύουν για όλα τα ύδατα και όχι μόνο για τα ύδατα που χρησιμοποιούνται ως πηγές πόσιμου νερού. Πρέπει επίσης να τονιστεί ότι το επίπεδο των 50 mg/l ενδέχεται να μην αρκεί για να περιοριστεί ο ευτροφισμός. Για το λόγο αυτό το ανώτερο επίπεδο δεν θεωρείται ως η οριακή τιμή που καθορίζεται στην οδηγία καθώς είναι πιθανόν να είναι πολύ υψηλό για να επιλύσει το πρόβλημα του ευτροφισμού.

Σύμφωνα με το Άρθρο 3 παράγραφος 5 απαλλάσσονται από την υποχρέωση του χαρακτηρισμού συγκεκριμένων ευπρόσβλητων ζωνών εφόσον καταρτίζουν και εφαρμόζουν στο σύνολο του εθνικού τους εδάφους τα προγράμματα δράσης στο σύνολο της επικράτειας τους. Το Άρθρο 3 παράγραφος 4 επιβάλλει στα κράτη μέλη την υποχρέωση να «επανεξετάζουν και, εφόσον είναι αναγκαίο, αναθεωρούν ή συμπληρώνουν τον κατάλογο των ευπρόσβλητων ζωνών, σε κατάλληλα χρονικά διαστήματα, τουλάχιστον δε ανά τετραετία, ώστε να λαμβάνονται υπόψη οι μεταβολές και οι απρόβλεπτοι κατά τον προηγούμενο χαρακτηρισμό παράγοντες» . τα κράτη μέλη που επέλεξαν να εφαρμόσουν το Άρθρο 3 παράγραφος 5 απαλλάσσονται από την υποχρέωση τήρησης των απαιτήσεων του άρθρου 6 εκτός αν αποφασίσουν να αλλάξουν καθεστώς και να χαρακτηρίσουν ευπρόσβλητες ζώνες σύμφωνα με το Άρθρο 3 παράγραφος 2 ,οπότε υποχρεούνται να διενεργήσουν την οριζόμενη παρακολούθηση επί ένα έτος πριν την αλλαγή του καθεστώτος. Το Άρθρο 5 παράγραφος 6 έχει εφαρμογή στα κράτη μέλη που κάνουν χρήση της παραγράφου 5 του άρθρου 3 στα οποία επιβάλλει την υποχρέωση να «παρακολουθούν την περιεκτικότητα σε νιτρικά ιόντα των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων σε επιλεγμένα σημεία μέτρησης, ώστε να προσδιορίζουν την έκταση της γεωργικής νιτρορύπανσης των υδάτων.»

Το Άρθρο 4 της οδηγίας ορίζει ότι «εντός δύο ετών από την κοινοποίηση της παρούσας οδηγίας, τα κράτη μέλη θεσπίζουν έναν ή περισσότερους κώδικες ορθής γεωργικής πρακτικής, που θα εφαρμόζονται προαιρετικά από τους γεωργούς και οι οποίοι περιέχουν διατάξεις που καλύπτουν τουλάχιστον τα στοιχεία του παραρτήματος II σημείο Α».

Το Άρθρο 4 της οδηγίας ορίζει ότι «Εντός διετίας μετά τον προβλεπόμενο στο άρθρο 3 παράγραφος 2 αρχικό χαρακτηρισμό, ή εντός ενός έτους μετά από

κάθε χαρακτηρισμό προβλεπόμενο στο άρθρο 3 παράγραφος 4, τα κράτη μέλη εκπονούν προγράμματα δράσης όσον αφορά τις χαρακτηρισμένες ευπρόσβλητες περιοχές για να επιτύχουν τους στόχους του άρθρου 1». Τα προγράμματα δράσης ισχύουν για τέσσερα έτη. Το πρώτο θα έπρεπε να έχει τεθεί σε εφαρμογή στις 20 Δεκεμβρίου 1995 και να λήγει στις 20 Δεκεμβρίου 1999. Εν συνεχεία θα έπρεπε να αρχίζει το 2<sup>ο</sup> πρόγραμμα δράσης για τα 4 επόμενα έτη το οποίο θα λήγει στις 21 Δεκεμβρίου 2003. Τα προγράμματα δράσης συνιστούν το βασικό στοιχείο του διατακτικού της οδηγίας ,διότι απαιτούν την επιβολή υποχρεωτικών περιορισμών στις δραστηριότητες των αγροτών για να επιτευχθούν οι στόχοι της οδηγίας. Οι εν λόγω περιορισμοί παρατίθενται στο παράρτημα ΙΙΙ της οδηγίας. Οι πιο σημαντικές είναι η παράγραφος 1 του παραρτήματος ΙΙΙ επιβάλλει η ποσότητα των λιπασμάτων που διασπείρεται στο έδαφος να βασίζεται στην εξισορρόπηση των αναγκών των καλλιεργειών σε άζωτο ,με τον εφοδιασμό τους με άζωτο από το έδαφος και από τη λίπανση.

Η παράγραφος 2 ορίζει 170 kg άζωτο ανά εκτάριο ετησίως τη μέγιστη αζώτου που μπορεί να διασπείρεται στο έδαφος υπό την μορφή ζωικής κοπριάς. Κατά το 1<sup>ο</sup> πρόγραμμα δράσης η οδηγία επιτρέπει τη διασπορά ποσότητας αζώτου έως 270 kg ανά εκτάριο ετησίως. Η ίδια παράγραφος παρέχει στα κράτη μέλη την δυνατότητα να παρεκκλίνουν των ανωτέρω ποσοτήτων μόνο υπό την προϋπόθεση ότι οι παρεκκλίσεις αυτές είναι δικαιολογημένες με βάση αντικειμενικά κριτήρια και δεν θέτουν σε κίνδυνο την επίτευξη στόχων της οδηγίας.

Τα κράτη μέλη που χαρακτηρίζονται ευπρόσβλητες περιοχές πρέπει να τηρούν τις διατάξεις του άρθρου 6. το άρθρο αυτό παρέχει κατευθύνσεις σχετικά με τις μεθόδους παρακολούθησης για όλα τα ύδατα. Τα κράτη μέλη πρέπει να επανεξετάζουν ανά 4ετία την κατάσταση από πλευράς ευτροφισμού των γλυκών επιφανειακών υδάτων , των υδάτων των εκβολών των ποταμών και των παράκτιων υδάτων τους.

Το άρθρο 10 της οδηγίας ορίζει ότι «Σχετικά με την τετραετία που ακολουθεί την κοινοποίηση της παρούσας οδηγίας και με κάθε επόμενη τετραετία, τα κράτη μέλη υποβάλλουν στην Επιτροπή έκθεση με τις πληροφορίες που καθορίζονται στο παράρτημα V»

Το άρθρο 10 της οδηγίας ορίζει ότι τα κράτη μέλη «Τα κράτη μέλη θέτουν σε ισχύ τις νομοθετικές, κανονιστικές και διοικητικές διατάξεις που είναι αναγκαίες για να συμμορφωθούν με την παρούσα οδηγία εντός δύο ετών από την κοινοποίησή της».

### **11.3 Εφαρμογή της οδηγίας 91/676/ΕΟΚ** [Ευρωπαϊκή Ένωση, Έκθεση της Επιτροπής προς το Συμβούλιο και το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο]

Η οδηγία 91/676 κοινοποιήθηκε στα κράτη μέλη το 1991 . το 1998 εκδόθηκαν δυο εκθέσεις της Επιτροπής προς το συμβούλιο και το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο , που είχαν ως κοινό αντικείμενο την αξιολόγηση μέχρι το τέλος του 1997 της πορείας εφαρμογής της οδηγίας για την νιτρορύπανση. Στην 1<sup>η</sup> από αυτές γίνεται μια ανασκόπηση σε συνολικό επίπεδο του βαθμού ανταπόκρισης των κρατών μελών, τόσο από την άποψη εφαρμογής του χρονοδιαγράμματος ,όσο και από την ουσιαστική εκπλήρωση των επιμέρους υποχρεώσεων. Η 2<sup>η</sup> έκθεση παρουσίαζε αναλυτικά ανά κράτος μέλος τις περιλήψεις των εκθέσεων που υποβλήθηκαν από το καθένα αναφορικά με τον προσδιορισμό των νερών και το χαρακτηρισμό των ζωνών τους κώδικες ορθής γεωργικής πρακτικής και τα προγράμματα δράσης.

Το κύριο αλλά εντυπωσιακό συμπέρασμα ,που συνάγεται και από τις 2 εκθέσεις είναι ότι 6 χρόνια μετά την έκδοση της οδηγίας στα περισσότερα κράτη μέλη η κατάσταση όσον αφορά την εφαρμογή της δεν είναι ικανοποιητική γεγονός που καθιστά αναγκαίο να ληφθούν μέτρα κατά των περισσότερων κρατών για τις επιμέρους παραβάσεις των διατάξεων της οδηγίας. Πράγματι έτσι και έγινε ,η Επιτροπή κινεί τις διαδικασίες για παράβαση των κρατών που δεν συμμορφώνονται και μάλιστα σε πολλά κράτη σε περισσότερες από μια παράβαση. Είναι χαρακτηριστικό ότι στην πρώτη έκθεση οι χώρες της νότια Ευρώπης (Ελλάδα , Ιταλία Ισπανία και Πορτογαλία) εμφανίζονται με προσφυγή στο Ευρωπαϊκό Δικαστήριο για θέματα όπως μεταφορά τις οδηγίας στο εθνικό δίκαιο , χαρακτηρισμός ευπρόσβλητων ζωνών και κώδικας ορθής γεωργικής πρακτικής. Όμως στη

συνέχεια οι δικαστικές υποθέσεις εναντίον της Ελλάδας και της Πορτογαλίας έκλεισαν αφού τα κράτη μέλη αυτά έλαβαν τα απαραίτητα μέτρα.

#### **11.4 Η εφαρμογή της οδηγίας 91/676/ΕΟΚ στην Ελλάδα**

Η περίληψη της έκθεσης της Επιτροπής προς το Συμβούλιο και το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο όσον αφορά την Ελλάδα αναφέρει τα παρακάτω. Η Ελλάδα άργησε να προσαρμοστεί με τις απαιτήσεις της κοινοτικής οδηγίας. Οι ελληνικές αρχές με επιστολή τους κοινοποίησαν στις υπηρεσίες της Επιτροπής την υπουργική απόφαση 16190/1335/1997( εφημερίδα της κυβερνήσεως της 25<sup>ης</sup> Ιουνίου 1997 ,τεύχος Β, αρ . φύλλου 519) που μεταφέρει την προαναφερόμενη οδηγία στο εθνικό δίκαιο.

Σχετικά με τον κώδικα η ελληνική έκθεση ισχυρίζεται ότι καταρτίσθηκε το 1994 αλλά δεν το συμπεριλαμβάνει το κείμενο. Προγράμματα δράσης δεν υποβλήθηκαν καθόλου.

Όσον αφορά τις υποχρεώσεις παρακολούθησης των νιτρικών ,δεν υπάρχουν αποδείξεις ότι οποιαδήποτε από τις εν λόγω απαιτήσεις έχει ικανοποιηθεί ή βρίσκεται στο στάδιο ικανοποίησής της. Την περίοδο 1989-1992 εκπονήθηκε μελέτη για τα επιφανειακά νερά για αναλύσεις σε 18 ποταμούς και 21 λίμνες και σε καμία περίπτωση δεν παρατηρήθηκαν υπερβάσεις του επιτρεπόμενου ορίου. Τέλος η κατάσταση για τα υπόγεια νερά , σύμφωνα με την έκθεση, είναι ασαφής. Οι ελληνικές αρχές γνωρίζοντας τις ατέλειες του ισχύοντος συστήματος παρακολούθησης αναφέρουν ότι ετοιμάζουν τη δημιουργία ενός δικτύου παρακολούθησης των υπόγειων υδάτων. Έτσι με επιστολή τους στις 15 Ιουλίου 1998 οι ελληνικές αρχές κοινοποίησαν στην Επιτροπή περίληψη μελέτης του Πανεπιστημίου Πατρών σχετικά με την παρακολούθηση των υπογείων υδάτων κατά την περίοδο 1996-1997 (α' φάση). Από την μελέτη αυτή προσδιορίσθηκαν οι ευπρόσβλητες ζώνες.

Χαρακτηρίζονται ως ευπρόσβλητες ζώνες οι ακόλουθες χερσαίες περιοχές

- 1. Η περιοχή της Δυτικής και Ανατολικής Θεσσαλίας**
- 2. Η περιοχή του Κωπαϊδικού πεδίου**

3. Η περιοχή του Αργολικού πεδίου
4. Η λεκάνη του Πηνειού Ηλείας
5. Η λεκάνη του Στρυμόνα
6. Η πεδιάδα της Θεσσαλονίκης
7. Η πεδιάδα Άρτας –Πρέβεζας

[ΥΠΕΧΩΔΕ,1996]

## **12. Μέθοδοι απομάκρυνσης νιτρικών από το πόσιμο νερό**

Οι συγκεντρώσεις των νιτρικών στα επιφανειακά νερά και ειδικότερα στα υπόγεια έχει αυξηθεί στον Καναδά, στις Ηνωμένες Πολιτείες, στην Ευρώπη αλλά και σε άλλες περιοχές του πλανήτη. Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι για την απομάκρυνση των νιτρικών ιόντων μέσα στις οποίες είναι η ιοντοανταλλαγή ,η βιολογική απονιτροποίηση, η χημική απονιτροποίηση ,η αντίστροφη όσμωση, η ηλεκτροδιάλυση, και η καταλυτική ηλεκτροδιάλυση. Οι μέθοδοι αυτές διαφέρουν στην απόδοσή τους ,στο κόστος τους και στην ευκολία χρήσης τους. Η διαθεσιμότητα των τεχνικών γνώσεων ,η εμπειρία και οι εκάστοτε οικονομικές δυνατότητες οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η ιοντοανταλλαγή και η βιολογική απονιτροποίηση είναι οι πιο κατάλληλες μέθοδοι για την απομάκρυνση των νιτρικών από ότι είναι η αντίστροφη όσμωση. Ειδικότερα η ιοντοανταλλαγή είναι πιο κατάλληλη για τα υπόγεια νερά ενώ η βιολογική απονιτροποίηση για τα επιφανειακά .

### **12.1 Ιοντική ανταλλαγή (Ion Exchange, IX)**

Η διαδικασία ιοντικής ανταλλαγής (IX) συνεπάγεται το πέρασμα ύδατος με φορτίο νιτρώδων ιόντων από μια κλίνη ρητίνης που περιέχει ανταλλάξιμα ανιόντα ρητίνης γερής βάσεως (SBA) όπου τα νιτρώδη ιόντα ανταλλάσσονται με ιόντα χλωρίου ή διττανθρακικά ιόντα ώσπου να εξαντληθεί η ικανότητα ανταλλαγής της ρητίνης. Η ρητίνη που έχει εξαντληθεί μπορεί να αναγεννηθεί αν χρησιμοποιηθεί ένα συμπυκνωμένο διάλυμα χλωριούχου ή διττανθρακικού νατρίου.

Οι συγκεντρώσεις νιτρωδών ιόντων σε μια ενεργή εγκατάσταση εκροής ιλύος μειώθηκαν από 18 σε 6,8 mg NO<sub>3</sub>-N/l σε 200 όγκους κλίνης που χρησιμοποιούν μια διαδικασία ΙΧ βασισμένη στη ρητίνη SBA. Η ρύπανση της ρητίνης προκλήθηκε από την παρουσία οργανικής ύλης στην εισροή ΙΧ. Η προσθήκη απορροφητικού πηλού στα απόνερα βοήθησε στην αποκατάσταση της ρητίνης, που αναγεννήθηκε από 1N NaOH και HCl. Τα ιζήματα χαλαζία και σιδήρου μειώνουν την ικανότητα των ρητινών να απομακρύνουν τα νιτρώδη ιόντα. Ο Gauntlett(1975) εξέτασε την απομάκρυνση των νιτρωδών ιόντων χρησιμοποιώντας ένα βρόχο όπου η ρητίνη μετακινείται από το τμήμα όπου αναγεννήθηκε στο τμήμα επεξεργασίας όπου εξαντλήθηκε. Σε συνεχείς βρόχους ΙΧ, επεξεργασία και αναγέννηση συμβαίνουν ταυτόχρονα. Δεν υπάρχουν πληροφορίες για το σύστημα συνεχούς βρόχου ΙΧ στη δημοσιευμένη βιβλιογραφία.

Ο Guter(1982) δοκίμασε μια διαδικασία ΙΧ για την απομάκρυνση των νιτρωδών ιόντων από τα υπόγεια ύδατα που περιέχει NO<sub>3</sub>-N/l επίπεδα στην κλίμακα 16-23mg/l. Μια αυτόματη αποσκλήρυνση του νερού μετατράπηκε σε μια ημιαυτόματη ανταλλαγή ανιόντων. Η μελέτη απέδειξε ότι ο αυτόματος εξοπλισμός ΙΧ που χρησιμοποιείται συνήθως για την αποσκλήρυνση του ύδατος θα μπορούσε να υιοθετηθεί για την απομάκρυνση των νιτρωδών ιόντων σε αναλογίες ροής μέχρι 45 gpm/sq ft (31,5 l/m<sup>2</sup> s).

Συνήθως η ακολουθία της ιοντικής επιλεκτικότητας για μια ρητίνη ΙΧ είναι διττανθρακικό, χλωριούχο, νιτρώδη ιόντα, και μετά θειικό οξύ. Η επεξεργασία υδάτων με υψηλή περιεκτικότητα σε θειικό οξύ με κανονικές ρητίνες είναι δύσκολη γιατί η ικανότητα της ρητίνης να απομακρύνει τα νιτρώδη ιόντα μειώνεται παρουσία θειικών ιόντων. Η χρήση ρητινών με προτίμηση σε νιτρώδη ιόντα αντί των θειικών θα αποδειχθεί ευεργετική. Οι ρητίνες με υψηλότερη επιλεκτικότητα των νιτρωδών ιόντων μπορούν να αναγεννηθούν αυξάνοντας τον αριθμό των ατόμων του άνθρακα γύρω από το αμμωνιακό άζωτο στη δομή της ρητίνης. Η ακολουθία της ιοντικής επιλεκτικότητας τέτοιων ρητινών αλλάζει σε διττανθρακικό, χλωριούχο, θειικό οξύ και μετά νιτρώδη ιόντα. Η επιλεκτικότητα από νιτρώδη ιόντα σε θειικό οξύ αυξάνεται

από 100 σε 1000 όταν το αμμωνιακό άζωτο περιστοιχίζεται από αιθυλικές ομάδες στη θέση των μεθυλικών ομάδων.

Οι Clifford και Weber (1978) παρατήρησαν ότι η επιλεκτικότητα του θειικού οξέος μπορεί να μειωθεί αυξάνοντας την απόσταση μεταξύ των θέσεων ιοντικής ανταλλαγής και η επιλεκτικότητα των νιτρωδών ιόντων μπορεί να αυξηθεί αυξάνοντας την υδροφοβία της μητρικής και λειτουργικής ομάδας. Η αυξημένη επιλεκτικότητα για τα νιτρώδη ιόντα αποδόθηκε στους χωρικούς περιορισμούς της ρητίνης που προκύπτουν από τις υψηλότερες απαιτήσεις σε χώρο των αλκυλιωμένων ομάδων και από τη μεγαλύτερη ικανότητα των νιτρωδών ιόντων να μειώνουν τους χωρικούς περιορισμούς πάνω στο θειικό οξύ (Guter 1982). Ο Guter παρατήρησε ότι συγκρινόμενες με τις τριμεθυλικές ρητίνες, οι ρητίνες τριαιθυλικών αμινών αύξησαν τη ζωή της κλίνης κατά 62% κατά την επεξεργασία ύδατος που περιείχε 1,5 meq/lit νιτρώδη ιόντα και 6,5 meq/lit θειικό οξύ. Η αναγεννητική χρήση μειώθηκε επίσης κατά 25-50% συμβάλλοντας έτσι στη μείωση του λειτουργικού κόστους της διαδικασίας ΙΧ. Η χρήση ρητινών με επιλεκτικότητα νιτρωδών ιόντων μειώνει επίσης την αποκορύφωση των νιτρωδών ιόντων που συμβαίνει με τις συμβατικές ρητίνες λόγω της εκτόπισης των νιτρωδών ιόντων από το θειικό οξύ.

Οι Lauch and Guter (1986) περιέγραψαν τις λεπτομέρειες μιας εγκατάστασης ΙΧ δυναμικότητας 1 mgd (0,043 m<sup>3</sup>/s). Η εγκατάσταση χρησιμοποίησε μια ρητίνη δίχως επιλεκτικότητα νιτρωδών ιόντων, που αναγεννήθηκε με τη χρήση ενός κορεσμένου διαλύματος αλατόνευρου. Η εγκατάσταση αποτελούνταν από 3 συσκευές κλινών που λειτουργούσαν σε τμηματική μορφή (πχ μόλις μια αναγεννηθείσα συσκευή μπαίνει σε λειτουργία, η δεύτερη συσκευή θα βρίσκεται στο μέσον της λειτουργίας της και η τρίτη θα ξεκινά την αναγέννηση). Το απορριπτόμενο αλατόνευρο οδηγήθηκε στις δημοτικές εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων που αποτελούνταν από αεριζόμενες λίμνες. Το συνολικό κόστος επεξεργασίας συμπεριλαμβανομένου και του κεφαλαίου λειτουργίας και κόστος συντήρησης αναφέρθηκε στα 24,2 σεντ/1000 γαλόνια. Η κεφαλαιουχική δαπάνη είναι το κόστος που έχει κάνει με τον εξοπλισμό και την κατασκευή των διαδικασιών επεξεργασίας. Το λειτουργικό κόστος περιλαμβάνει το κόστος του ανθρώπινου δυναμικού, του ηλεκτρισμού και της αντικατάστασης των διάφορων εξαρτημάτων της

διαδικασίας όπως οι ρητίνες και το αλάτι για αναγέννηση σαν αποτέλεσμα της χρήσης. Οι ενεργειακές απαιτήσεις της εγκατάστασης ήταν 0,244 kwh για 1000 γαλόνια διανεμημένου ύδατος συμπεριλαμβανομένων 1,4 γαλονιών αλατόνερου 6,6 γαλονιών υδάτων από έκπλυση και 10,3 γαλονιών απόνερων.

Οι Clifford et al. (1987) σε ένα διάστημα 15 μηνών εκπόνησαν μια πιλοτική μελέτη ώστε να αξιολογήσουν την απομάκρυνση των νιτρωδών ιόντων από το πόσιμο νερό μέσω της ΙΧ αντίστροφης όσμωσης (RO) και της ηλεκτροδιάλυσης (ED). Η απόληψη των υδάτων περιείχε 18-25mg/lit NO<sub>3</sub>-N, 43 mg/lit θειικό οξύ και 530 mg/lit συνολικά διαλυμένα στερεά (TDS). Όλες οι διαδικασίες κατάφεραν να μειώσουν τη συγκέντρωση των νιτρωδών ιόντων κάτω από τα 10 mg/lit NO<sub>3</sub>-N. Το παραγόμενο ύδωρ ΙΧ είχε υψηλή περιεκτικότητα (500 mg/lit ) σε TDS. Η απότομη άνοδος των νιτρωδών ιόντων προηγούταν πάντοτε της απότομης ανόδου του θειικού οξέος και συνοδευόταν πάντα από μια σημαντική αύξηση σε PH. Μια αύξηση στη συγκέντρωση θειικού οξέος από 42,5 σε 310 mg/lit στα ύδατα μείωσε το χρόνο της απότομης ανόδου των νιτρωδών ιόντων από 400 σε 180 όγκους κλίνης (BV).

Η αναγέννηση και οι δαπάνες που σχετίζονται με τη διάθεση του χρησιμοποιημένου αναγεννητικού αποτελούν σημαντικούς παράγοντες κατά την εφαρμογή μιας διαδικασίας ΙΧ. Η εγκατάσταση που προαναφέραμε δυναμικότητας 1mgd κατανάλωσε περισσότερο από 250τόνους αλάτι για την απομάκρυνση των νιτρωδών ιόντων. Η διάθεση μεγάλης ποσότητας απορριπτόμενου αλατιού εμφανίζει σοβαρά προβλήματα και θα απαιτούσε τον έλεγχο του χώρου διάθεσης ίσως και των υπόγειων πηγών. Το κόστος αναγέννησης στην εικοσάχρονη διάρκεια ζωής μιας εγκατάστασης μπορεί να προκύψει υπερδιπλάσιο από το αρχικό κόστος σε εξοπλισμό. Η λειτουργία μιας στήλης ΙΧ σε κατάσταση μερικής αναγέννησης διαπιστώθηκε πιο οικονομική από την κατάσταση πλήρους αναγέννησης. Η διαδικασία είναι σχεδόν 5 φορές πιο οικονομική σε σύγκριση με τη διαδικασία RO.

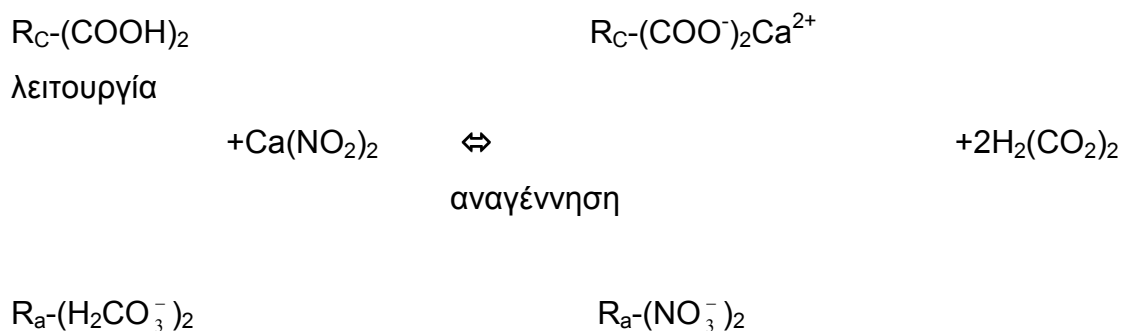
Η επένδυση κεφαλαίου στις εγκαταστάσεις ΙΧ μπορεί να είναι 2,5-3 φορές μικρότερη από εκείνη για τις εγκαταστάσεις αφαίρεσης αζώτου. Το λειτουργικό



κόστος των εγκαταστάσεων ΙΧ αποδείχθηκε κάπως χαμηλότερο από εκείνο της εγκατάστασης βιολογικής αφαίρεσης αζώτου.

Η επεξεργασία ΙΧ του πόσιμου νερού εμποδιζόταν για πολλά χρόνια εξαιτίας της έλλειψης επιστημονικών γνώσεων σχετικά με την απόρριψη των ανεπιθύμητων οργανικών ουσιών που προκύπτουν από τις συνθετικές ρητίνες. Εξετάστηκε η ποιότητα των υδάτων που υπέστησαν επεξεργασία με ρητίνη SBA αναγεννημένη με αλατόνερο. Τα μονομερή συστατικά που προήλθαν από τη διήθηση της ρητίνης ήταν τα εξής: στυρόλιο, διβινυλοβενζόλιο, τριμεθυλαμίνη, και τα παράγωγα αυτών. Προετοιμασία με NaOH, αποσταγμένο νερό, διάλυμα HCl και ξανά με αποσταγμένο νερό εξάλειψαν την πλειοψηφία των διηθητών μονομερών συστατικών. Διαπιστώθηκε ότι η ρητίνη δεν προκαλεί κάποια μεταβολή στην οργανική σύσταση των επεξεργασμένων υδάτων. Αντίθετα, η ρητίνη απορρόφησε μικρορυπαντές, όπως αρωματικές ενώσεις, χλωριωμένους διαλύτες, ζιζανιοκτόνα και νιτροζαμίνες. Έτσι η διαδικασία ΙΧ αποδείχθηκε ότι δεν ρυπαίνει με τοξικά οργανικά χημικά τα επεξεργασμένα ύδατα.

Η διαδικασία που εμπεριέχει αναγεννημένες ρητίνες διοξειδίου του άνθρακα με ιοντική ανταλλαγή για την απομάκρυνση των νιτρωδών ιόντων, του θειικού οξέος και της σκληρότητας από το νερό στηρίζεται στις αρχές ΙΧ. Η διαδικασία χρησιμοποιεί μια συνδυασμένη εφαρμογή μιας ασθενώς όξινης ρητίνης σε μορφή ελεύθερου οξέος και έναν ανταλλάκτη ανιόντων σε διττανθρακική μορφή μέσα σε μια κλίνη ανάμιξης. Η διαδικασία συμβαίνει ως εξής:



Οι ανταλλαγμένες ρητίνες που έχουν εξαντληθεί αναγεννιούνται μέσα από την επαφή με ένα συμπυκνωμένο διάλυμα διοξειδίου του άνθρακα. Οι ανταλλάκτες απομακρύνουν τα ουδέτερα άλατα από το διάλυμα και ελευθερώνουν ισόποσο διοξείδιο του άνθρακα. Η διαδικασία δεν αυξάνει το ποσοστό του αλατιού στην αναγεννητική εκροή σε σύγκριση με τις συμβατικές διαδικασίες ΙΧ. Κατά συνέπεια το μόνο που χρειάζεται να απορριφθεί είναι το ποσοστό του αλατιού που απομακρύνθηκε κατά τους κύκλους λειτουργίας.  
[Anoop Kapoor, T.Viraraghavan, Nitrate Removal From Drinking Water]

## **12.2 Συνδυασμένη ιονική ανταλλαγή /βιολογική αφαίρεση αζώτου**

Οι διαδικασίες ΙΧ απαιτούν μεγάλες ποσότητες συμπυκνωμένου διαλύματος NaCl (50-100g/lit) για την αναγέννηση. Το αλατόνερο από απόρριψη είναι συνήθως πλούσιο σε νιτρώδη ιόντα,θειικό οξύ και συγκεντρώσεις χλωρίου. Η διάθεσή του απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό και αυξάνει το λειτουργικό κόστος. Το επεξεργασμένο ύδωρ μέσα από μια διαδικασία βιολογικής αφαίρεσης αζώτου απαιτεί περαιτέρω επεξεργασία για την απομάκρυνση των μικροοργανισμών και του οργανικού υποστρώματος. Ο συνδυασμός ΙΧ και βιολογικής αφαίρεσης αζώτου μπορεί να ξεπεράσει μερικά από τα προβλήματα που σχετίζονται με τις επιμέρους διαδικασίες. Σε μια διαδικασία συνδυασμού ,η ΙΧ χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση των νιτρωδών ιόντων από τα υπόγεια ύδατα, και η βιολογική αφαίρεση αζώτου χρησιμοποιείται για την επεξεργασία του αναγεννητικού διαλύματος που είναι πλούσιο σε νιτρώδη ιόντα από τη ρητίνη με φορτίο νιτρωδών ιόντων. Το σύστημα συνδυασμένης επεξεργασίας εμποδίζει την άμεση επαφή ανάμεσα στους αφαιρετές του αζώτου και στο ύδωρ υπό επεξεργασία. Χρησιμοποιείται ένας σκεπασμένος αναδευτήρας στην εγκατάσταση ιλύος για την αναγεννητική αφαίρεση αζώτου. Ο βιολογικός αναδευτήρας μπορεί να αφαιρέσει άζωτο από ένα διάλυμα με υψηλή αλκαλικότητα που περιέχει 25-30g/lit  $\text{NaHCO}_3$  και 10-15 g NaCl/l. Η διαδικασία προσφέρεται για την επεξεργασία υδάτων με υψηλές συγκεντρώσεις θειικού οξέος. Το απορριπτόμενο αλατόνερο που προκύπτει αποτελεί το 13-20% του ποσοστού

που παράγεται στις στήλες ΙΧ. Συνιστάται η τοποθέτηση ενός φίλτρου για την άμμο ανάμεσα στο βιολογικό αναδευτήρα και μια στήλη ΙΧ μαζί με την απολύμανση της ρητίνης με υπεροξικό οξύ που προστίθεται κατά την έκπλυση. Η διαδικασία συνδυασμού εξετάστηκε επίσης με τη χρήση υπογείων υδάτων με ρητίνες με επιλεκτικότητα σε θειικό οξύ και σε νιτρώδη ιόντα. Σε σύγκριση με τη συμβατική ΙΧ η διαδικασία συνδυασμού κατέληξε με 95% μείωση σε απορριπτόμενο αλατόνερο.

Οι Clifford and Liu (1993) ανέπτυξαν μια διαδικασία συνδυασμού χρησιμοποιώντας ΙΧ και ένα σειριακό αναδευτήρα στοιβάδας (SBR) και τη βιολογική αφαίρεση αζώτου του 0,5N χλωριούχου νατρίου που ξοδεύτηκε για το αναγεννητικό διάλυμα που περιείχε ως και 835mg NO<sub>3</sub>-N/L. Η πλήρης αφαίρεση αζώτου του καταναλωμένου 0,5 N NaCl αλατόνερου επιτεύχθηκε σε 20 ώρες χρησιμοποιώντας μια αναλογία 2:2 μεθανόλης προς νιτρώδη ιόντα-άζωτο. Περισσότερο από 95% της αφαίρεσης του αζώτου επιτεύχθηκε σε 8 ώρες χρησιμοποιώντας αναλογία 2:7 μεθανόλης προς νιτρώδη ιόντα-άζωτο. Η διαδικασία συνδυασμού είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση κατά 50% της κατανάλωσης του αναγεννητικού και μείωση κατά 90% στην ποσότητα απόρριψης του αλατιού. [Anoop Kapoor, T.Viraraghavan, Nitrate Removal From Drinking Water]

### 12.3 Απονιτροποίηση

Απονιτροποίηση είναι η αναγωγή του νιτρικού αζώτου (NO<sub>3</sub>-N) καθώς χρησιμοποιείται στη μικροβιακή αναπνοή σαν τελικός δέκτης ηλεκτρονίων σε απουσία μοριακού οξυγόνου. Τα βακτήρια της απονιτροποίησης είναι κατά κανόνα επαμφοτερίζοντα και χρησιμοποιούν τις ίδιες βασικές βιοχημικές διαδικασίες κατά τη διάρκεια της αερόβιας και αναερόβιας αναπνοής. Έχουν αναφερθεί περίπου 36 διαφορετικά είδη βακτηρίων που εμπλέκονται στη διεργασία με σπουδαιότερα από αυτά τα *Achromobacter*, *Aerobacter*, *Alcaligenes*, *Micrococcus*, *Bacillus* κ.α. Μερικά από αυτά είναι αυτότροφα.

Συστήματα απονιτροποίησης χρησιμοποιούνται όταν απαιτείται ελάττωση της συγκέντρωσης των νιτρικών για αποφυγή ευτροφισμού του αποδέκτη.

### Μηχανισμός της απονιτροποίησης :

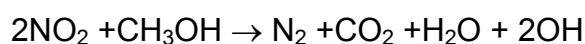
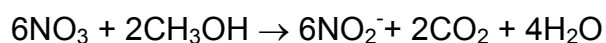
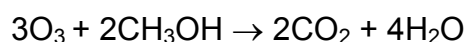
Τα βήματα αναγωγής των νιτρικών είναι:



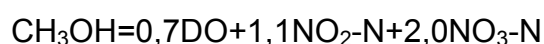
Οποιαδήποτε από τις τρεις τελευταίες ενώσεις μπορεί να απελευθερωθεί σαν τελικό προϊόν αλλά ο σχηματισμός του αζώτου είναι προτιμότερος από περιβαλλοντική άποψη και πράγματι είναι το κυριότερο προϊόν που σχηματίζεται. Κατά την απονιτροποίηση αφαιρείται ένας δέκτης ηλεκτρονίων (electron acceptor ) που είναι τα νιτρικά και για να γίνει αυτό πρέπει να υπάρχει ένα σημαντικό ποσό δοτών ηλεκτρονίων (electron donor) που είναι οργανική ύλη. Τα νιτρικά αντικαθιστούν εύκολα το οξυγόνο σαν δέκτη ηλεκτρονίων διότι η διαδικασία για τη μεταφορά των ηλεκτρονίων από το οργανικό υπόστρωμα στον τελικό αποδέκτη των ηλεκτρονίων είναι παρόμοια. Η παρουσία διαλυμένου οξυγόνου στην απονιτροποίηση εμποδίζει το σχηματισμό των απαραίτητων ενζύμων για την τελική μεταφορά ηλεκτρονίων στα νιτρικά.

Ο δότης ηλεκτρονίων μπορεί είτε να προστίθεται εξωτερικά όσο χρειάζεται, είτε να προέρχεται από οργανισμούς (όπως κατά την αποσύνθεση) ,είτε να η οργανική ύλη των αποβλήτων. Η ύλη που συνήθως προστίθεται είναι η μεθανόλη. Πάντως θεωρείται αντισυμβαλλοτική και αντιπεριβαλλοντική η λύση της μεθανόλης εφόσον οι μικροοργανισμοί περιέχουν οργανικές ουσίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε απουσία εξωτερικής πηγής ενέργειας.

Αρχικά η μεθανόλη ανάγει το διαλυμένο οξυγόνο (DO) και στη συνέχεια τα νιτρικά και τα νιτρώδη σύμφωνα με τις παρακάτω αντιδράσεις:



Οπότε η ποσότητα της μεθανόλης που απαιτείται για πλήρη απονιτροποίηση είναι:



με όλα τα μεγέθη σε mg/l. Επειδή απαιτείται 30% περίπου περίσσεια μεθανόλης για σύνθεση , η χημική κατανάλωση για την ικανοποίηση ενέργειας και σύνθεσης υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{CH}_3\text{OH}=0,9\text{DO}+1,5\text{NO}_2\text{-N}+2,5\text{NO}_3\text{-N}$$

[Anoop Kapoor, T.Viraraghavan, Nitrate Removal From Drinking Water]

## **12.4 Αντίστροφη όσμωση (Reverse Osmosis ,RO)**

Η μέθοδος της αντίστροφης όσμωσης έχει ως δρώσα δύναμη την πίεση. Στην διαδικασία αντίστροφης όσμωσης ,τα ιοντικά είδη που είναι παρόντα στο νερό απομακρύνονται με το πιεστικό πέρασμα του νερού μέσω μιας ημιπερατής μεμβράνης αφήνοντας τα νιτρικά άλατα και τα άλλα ιοντικά είδη πίσω. Η αφαίρεση των νιτρικών αλάτων επιτυγχάνεται με την άσκηση πίεσης στο νερό που βρίσκεται στα στοιχεία αντίστροφης όσμωσης που ξεπερνά την αντίστοιχη του οσμωτική πίεση. Πιέσεις που ποικίλλουν από 300-1500 psi (2,070-10,350 kPa) εφαρμόζονται για να αντιστρέψουν τη φυσιολογική οσμωτική πίεση του νερού. Οι μεμβράνες οι οποίες χρησιμοποιούνται είναι από ακετυλοκυτταρίνη ,ενώ μεμβράνες που είναι από πολυαμίδια και συνθετικές μεμβράνες είναι επίσης διαθέσιμες. Οι μεμβράνες αυτές δεν δείχνουν οποιαδήποτε προτίμηση σε κάποιο από τα ιόντα όμως ο βαθμός απόρριψης αλάτων βρέθηκε ότι είναι ανάλογος με τη δυναμικότητα των ιόντων που υπάρχουν στην παροχή νερού. Η αντίστροφη όσμωση έχει γενικά ως αποτέλεσμα τη μείωση του μεταλλικού περιεχομένου του νερού. Συνήθη προβλήματα που είναι σχετικά με μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης περιλαμβάνουν την ρύπανση την πήξη και τη φθορά τους με την πάροδο του χρόνου. Τα προβλήματα αυτά προκύπτουν από την εναπόθεση διαλυτών υλικών ,οργανικής ύλης, αιωρούμενων και κολλοειδών μορίων και άλλων μολυντών ,παραλλαγών PH , και έκθεση στη χλωρίνη. Συνεπώς η διαδικασία αντίστροφης όσμωσης απαιτεί προεπεξεργασία. [Anoop Kapoor, T.Viraraghavan, Nitrate Removal From Drinking Water]

## 12.4 Ηλεκτροδιάλυση και αντίστροφη ηλεκτροδιάλυση

Η ηλεκτροδιάλυση (electro dialysis) (ΗΔ ή ED) ,είναι μια ηλεκτροχημική διεργασία διαχωρισμού ,κατά την οποία τα ιόντα μεταφέρονται δια μέσου ανιοντοεπιλεκτικών (και κατιοντοεπιλεκτικών) μεμβρανών από διάλυμα μικρότερης σε διάλυμα μεγαλύτερης συγκέντρωσης ,σαν αποτέλεσμα της ροής συνεχούς ηλεκτρικού ρεύματος.

Αντίστροφη ηλεκτροδιάλυση (electro dialysis reversal ) (ΑΗΔ ή EDR) είναι η διεργασία ηλεκτροδιάλυσης κατά την οποία η πολικότητα των ηλεκτροδίων αντιστρέφεται σε κανονικά χρονικά διαστήματα οπότε αντιστρέφεται η κατεύθυνση κίνησης των ιόντων σε ένα σύστημα μεμβρανών.

Στην ηλεκτροδιάλυση τα ιόντα μεταφέρονται μέσω μεμβρανών από ένα λιγότερο πυκνό σε ένα πυκνότερο διάλυμα λόγω του περάσματος συνεχούς ηλεκτρικού ρεύματος. Η ηλεκτροδιάλυση επεξεργάζεται το νερό με μια επιλεκτική απομάκρυνση των ανεπιθύμητων ιόντων μέσω μιας ημιπερατής μεμβράνης. Το σύστημα ηλεκτροδιάλυσης απαιτεί την παροχή πεπιεσμένου νερού [50-75 psi (345-578 kPa)], μια διάταξη μεμβράνης και μια πηγή συνεχούς ηλεκτρικού ρεύματος (DC). Το νερό χρειάζεται να περάσει πρώτα από συστήματα προ-επεξεργασίας , όμοια με αυτά που χρησιμοποιούνται στην περίπτωση της αντίστροφης όσμωσης.

Στην αντίστροφη διαδικασία της ηλεκτροδιάλυσης η πολικότητα των ηλεκτροδίων αντιστρέφεται δύο έως τέσσερις φορές την ώρα ώστε να αλλάζει η κατεύθυνση της κίνησης των ιόντων. Η διαδικασία αντίστροφης ηλεκτροδιάλυσης μειώνει την απολέπιση και τη χημική χρήση σε σύγκριση με τη συμβατική ηλεκτροδιάλυση και έχει χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή πόσιμου νερού από γλυφό και θαλάσσιο νερό . Η μετανάστευση των ιόντων είναι περιορισμένη καθώς τα ανιόντα μπορούν να περάσουν μόνο μέσω των μεταστροφικών μεμβρανών ανιόντων και τα κατιόντα μόνο μέσω των μεταστροφικών μεμβρανών κατιόντων . Η ικανότητα αφαίρεσης των νιτρικών αλάτων των διαδικασιών ηλεκτροδιάλυσης και αντίστροφης όσμωσης είναι περίπου ίδια . Η διαδικασία ηλεκτροδιάλυσης περιορίζεται στην επεξεργασία μαλακών νερών και απαιτεί λιγότερες δόσεις οξέων σε σύγκριση με τη

διαδικασία αντίστροφης όσμωσης και έχει υψηλότερα ποσοστά ανάκτησης . Επί του παρόντος η αφαίρεση του νιτρικού άλατος με ηλεκτροδιάλυση θεωρείται μια ακριβή διεργασία , που απαιτεί στενή παρακολούθηση.

Οι Miquel και Oldani ανέπτυξαν μια επιλεκτική διαδικασία αφαίρεσης των νιτρικών και νιτρωδών αλάτων (NitRem), που βασίζεται στην ηλεκτροδιάλυση. Η διαδικασία ήταν αποτελεσματική στην μείωση των συγκεντρώσεων νιτρικών αλάτων από 50 mg NO<sub>3</sub>/l ή και περισσότερο, σε λιγότερο από 24 mg NO<sub>3</sub>/l. Ένα ελκυστικό χαρακτηριστικό της διαδικασίας αυτής ήταν το ότι η απομάκρυνση των νιτρικών αλάτων επιτεύχθηκε δίχως την προσθήκη οποιονδήποτε χημικών. Ο Ratenbach (1986) σημείωσε ότι για τη μείωση των νιτρικών αλάτων από 100 σε 50 mg NO<sub>3</sub>/l τα κόστη της ηλεκτροδιάλυσης και της αντίστροφης όσμωσης είναι περίπου τα ίδια. Η διαδικασία αντίστροφης όσμωσης έχει ωριμάσει σημαντικά τα τελευταία χρόνια, σε σύγκριση με τη διαδικασία ηλεκτροδιάλυσης και κατά συνέπεια η ανάλυση κόστους του Ratenbach μπορεί να μην αντικατοπτρίζει τα σημερινά κόστη. Η διαδικασία αντίστροφης ηλεκτροδιάλυσης δεν απαιτεί την εκτεταμένη προεπεξεργασία που απαιτείται στη διαδικασία αντίστροφης όσμωσης και δεν είναι ευαίσθητη στη απολέπιση σε σύγκριση με τη διαδικασία αντίστροφης όσμωσης , αν και το σύστημα αντίστροφης ηλεκτροδιάλυσης απαιτεί πολύπλοκες ρυθμίσεις. [Anoop Kapoor, T.Viraraghavan, Nitrate Removal From Drinking Water] .

## 12.5 Καταλυτική Απονιτροποίηση

Για την αφαίρεση των νιτρικών και νιτρωδών αλάτων από το πόσιμο νερό αναπτύχθηκε (Horold 1993) μια καταλυτική διαδικασία. Καταλύτες Παλλαδίου-Οξειδίου Αλουμινίου υπήρξαν αποτελεσματικοί στη μείωση της παρουσίας του νιτρώδους άλατος και του αζώτου (98%) στην παρουσία υδρογόνου. Ο καταλύτης από μόλυβδο (5%) χαλκό (1,5%)) και Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> βρέθηκε ότι αφαιρεί πλήρως τα νιτρικά άλατα από νερό που είχε μία αρχική συγκέντρωση νιτρικών αλάτων της τάξεως των 100 mg NO<sub>3</sub>/l. Η αντίδραση ολοκληρώθηκε σε 50 λεπτά. Η αφαιρετική λειτουργία του καταλύτη αναφορικά με τα νιτρικά άλατα ήταν 3.13 mg NO<sub>3</sub>/min/g καταλύτη. Η λειτουργία ήταν 30 φορές μεγαλύτερη

από αυτή της μικροβιακής απονιτροποίησης. Η διαδικασία λειτούργησε αποτελεσματικά σε συνθήκες που είναι συνήθεις για νερά επιφανείας (10°C , pH 6-8). Η εν λόγω διαδικασία μπορεί εύκολα να αυτοματοποιηθεί και να είναι χρήσιμη για μικρά συστήματα επεξεργασίας νερού. Η διαδικασία αυτή βρίσκεται ακόμα στη φάση ανάπτυξης και οι κινητικοί παράμετροι και η μακροπρόθεσμη απόδοση των καταλυτών θα πρέπει ακόμα να μελετηθεί. [Anoop Kapoor, T.Viraraghavan, Nitrate Removal From Drinking Water]

## 12.7 Σύγκριση Μεθόδων Απονιτροποίησης

Οι τρεις διαδικασίες επεξεργασίας που εφαρμόστηκαν σε πλήρη κλίμακα για την αφαίρεση των νιτρικών ιόντων περιλαμβάνουν ιοντική ανταλλαγή, βιολογική αφαίρεση αζώτου και αντίστροφη όσμωση. Οι υπόλοιπες μέθοδοι που συζητήθηκαν έχουν περιορισμένες δυνατότητες για εφαρμογή σε πλήρη κλίμακα. Η ΙΧ μπορεί να παρέχει μια ελκυστική εναλλακτική λύση , ειδικότερα για τις μικρό και μεσαίου μεγέθους εγκαταστάσεις . Η ΙΧ θεωρείται κατάλληλη για τα υπόγεια ύδατα όπου εκλείπουν σε κάποιο βαθμό οργανικές ουσίες σε διαλυτή μορφή. Η παρουσία οργανικής ύλης μπορεί να προκαλέσει την ρύπανση των ρητινών ΙΧ και των μεμβρανών ΚΟ. Ύδωρ με χαμηλή περιεκτικότητα σε TDS (500 mg/l μπορεί να τύχει αποτελεσματικής επεξεργασίας εάν η συγκέντρωση σε θειικό οξύ είναι μικρότερη από 300 mg/l. Όσον αφορά την απομάκρυνση νιτρικών ιόντων από ύδατα που περιέχουν περισσότερο από 1000 mg/l , TDS, θα είναι πιο αποτελεσματική η ED ή/και η RO. Η εφαρμογή του ED σε πλήρη κλίμακα δεν φαίνεται πιθανή στο κοντινό μέλλον. Η σημαντικότερη ανησυχία για τη χρήση της διαδικασίας ΙΧ είναι η διάθεση του καταναλισκόμενου αναγεννητικού αλατόνευρου που περιέχει νιτρώση ιόντα, θειικό οξύ και υπερβολικό NaCl. Επιπρόσθετα, το παραγόμενο ύδωρ από την ΙΧ είναι τοξικό και μπορεί να προκαλέσει ανησυχία για τη δημόσια υγεία λόγω της υψηλής συγκέντρωσης χλωρίου (συγκεντρώσεις εκροής σχεδόν διπλάσιες από τις εισροές). Η διάθεση του απορριπτόμενου αλατόνευρου ίσως να μην αποτελεί σημαντικό ζήτημα για εγκαταστάσεις σε παράκτιες περιοχές ή σε γειτονία με ύδατα απόρριψης μεγάλου όγκου. Η βιολογική αφαίρεση αζώτου για το πόσιμο νερό έχει μελετηθεί περισσότερο στην Ευρώπη παρά στις ΗΠΑ. Η βιβλιογραφία παρουσιάζει ευρύτερη



εφαρμογή της ετεροτροφικής αφαίρεσης αζώτου συγκριτικά με την αυτοτροφική σε επίπεδο πλήρους κλίμακας. Οι διαδικασίες ετεροτροφικής αφαίρεσης αζώτου κατέχουν υψηλότερα ποσοστά ειδικής ογκομετρικής αφαίρεσης αζώτου ( $0,4-24 \text{ kg NO}_3/\text{m}^3/\text{d}$ ) από την αυτοτροφική αφαίρεση ( $0,5-1,3 \text{ kg NO}_3/\text{m}^3/\text{d}$ ). Οι τεχνικές και οικονομικές αδυναμίες της ετεροτροφικής αφαίρεσης αζώτου έχουν επιβεβαιωθεί σε πλήρη κλίμακα σε μερικές Ευρωπαϊκές χώρες. Η ετεροτροφική αφαίρεση αζώτου μπορεί να απομακρύνει επίσης οργανικούς μικρορυπαντές όπως τετραχλωράνθρακες και τριχλωροαιθέριο. [Anoop Kapoor, T.Viraraghavan, Nitrate Removal From Drinking Water]

### **13. Μοντέλα αποφάσεων για το σχεδιασμό έργων προστασίας και αποκατάστασης των υπόγειων υδατικών πόρων** [Μυλόπουλος, 3<sup>ο</sup> Συνέδριο Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας]

Ο σχεδιασμός των έργων για την αντιμετώπιση της ρύπανσης των υπόγειων υδατικών πόρων ,είτε πρόκειται για έργα προστασίας στην περίπτωση όπου οι υδροφορείς απειλούνται, είτε για έργα αποκατάστασης όταν έχουν ήδη υποβαθμιστεί ποιοτικά ,είναι μια διαδικασία λήψης αποφάσεων σε συνθήκες επικινδυνότητας.

Οι λύσεις που ικανοποιούν τις τεχνικές απαιτήσεις των προβλημάτων είναι περισσότερες από μια και αυτό που συνήθως ζητείται ,δεδομένου ότι τα έργα αυτά είναι πολύ δαπανηρά ,είναι η εύρεση της καλύτερης από αυτές ,εκείνης δηλαδή που εξασφαλίζει την τεχνική αρτιότητα με τον οικονομικότερο τρόπο. Η αξιολόγηση των εναλλακτικών σεναρίων και η επιλογή του καλύτερου γίνεται ή με τη μέθοδο *κόστους- οφέλους* είτε με τις *μεθόδους βελτιστοποίησης*. Σύμφωνα με την ανάλυση κόστους –οφέλους ,εξετάζεται ένας συγκεκριμένος αριθμός εναλλακτικών σεναρίων και η αξιολόγηση στηρίζεται αφενός στον συνυπολογισμό του κόστους κατασκευής και λειτουργίας των σχεδιαζόμενων έργων, και αφετέρου στο όφελος που αναμένεται να προκύψει από την εφαρμογή τους. Οι μέθοδοι βελτιστοποίησης, που στηρίζονται στο πνεύμα και τις μεθόδους της *ανάλυσης συστημάτων* ,παρέχουν τη δυνατότητα εξέτασης του συνόλου των εναλλακτικών ,αφού η επιλογή της καλύτερης λύσης επιτυγχάνεται με τη βελτιστοποίηση της οικονομικής αντικειμενικής συνάρτησης του προβλήματος στο χώρο της δυνατής πολιτικής ,στο χώρο δηλαδή που εξαρτάται από το σύνολο των φυσικών ,τεχνικών ή οικονομικών περιορισμών.

Οι παραπάνω μέθοδοι εφαρμόζονται όταν ο σχεδιασμός γίνεται σε συνθήκες βεβαιότητας ,που σημαίνει ότι δεν αντιμετωπίζεται το ενδεχόμενο αστοχίας των έργων λόγω κακής εκτίμησης των παραμέτρων του σχεδιασμού. Η ιδιαιτερότητα των προβλημάτων αντιμετώπισης της ρύπανσης των υπόγειων υδατικών πόρων , συνίσταται στις αβέβαιες συνθήκες που αναπτύσσονται και συνήθως επικρατούν στο υδρογεωλογικό περιβάλλον. Κύριες αιτίες της

αβεβαιότητας είναι η έντονη μεταβλητότητα στον χώρο των φυσικών παραμέτρων που παίζουν καθοριστικό ρόλο στα προβλήματα ρύπανσης των υπόγειων νερών (υδραυλική αγωγιμότητα, πορώδες, συντελεστής διασποράς) σε συνδυασμό και με την αδυναμία συστηματικής παρακολούθησης και επί τούτου ελέγχου των τιμών τους. Στο γεγονός αυτό αν προστεθεί και η έλλειψη πληροφοριών για τις γεωλογικές συνθήκες και για την γεωμετρία των υπό μελέτη σχηματισμών, γίνεται σαφές το μέγεθος και η σημασία του προβλήματος.

Η αβεβαιότητα στα στάδια του σχεδιασμού θέτει σε αμφιβολία την επιτυχία των στόχων των προβλημάτων αυτών. Επομένως τίθεται υπό αμφισβήτηση η αποτελεσματικότητα των έργων σχεδιασμού, γεγονός που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την αξιολόγηση των εναλλακτικών σεναρίων. Η λήψη των αποφάσεων γίνεται σε συνθήκες επικινδυνότητας και τίθεται πρόβλημα ποσοτικοποίησης και συνυπολογισμού των αρνητικών επιπτώσεων από τυχόν αστοχία των σχεδιαζόμενων έργων.

Η μέθοδος με την οποία επιτυγχάνεται η αξιολόγηση των εναλλακτικών σεναρίων σε συνθήκες επικινδυνότητας είναι η Ανάλυση Αποφάσεων και η τεχνική που εφαρμόζεται στηρίζεται στην ανάπτυξη μοντέλων Κόστους-Οφέλους- Διακινδύνευσης. Με τη μέθοδο αυτή παρέχεται η δυνατότητα σύνδεσης των οικονομικών κριτηρίων με βάση των οποίων λαμβάνονται οι αποφάσεις ,με τα αποτελέσματα της τεχνικής ανάλυσης στα οποία πρέπει πλέον οι αποφάσεις να στηρίζονται, προκειμένου να ενσωματώνεται στη διαδικασία αξιολόγησης των εναλλακτικών πολιτικών και ο υπολογισμός των πιθανοτήτων αστοχίας των σχεδιαζόμενων έργων και να αποτιμώνται οι επιπτώσεις από ένα τέτοιο ενδεχόμενο.

### **13.1 Προβλήματα σχεδιασμού των έργων για την προστασία και αποκατάσταση των υπόγειων νερών**

Τα τεχνικά έργα που σχεδιάζονται για την αντιμετώπιση της ρύπανσης των υπόγειων νερών διακρίνονται σε έργα προστασίας στις περιπτώσεις που οι υδατικοί πόροι απειλούνται από τη ρύπανση και σε έργα αποκατάστασης στις

περιπτώσεις που οι ρυπαντές έχουν ήδη διαρρεύσει και υποβαθμίσει ποιοτικά το υπόγειο νερό.

Στην περίπτωση σχεδιασμού των έργων αποκατάστασης των υδροφορέων που έχουν ήδη υποβαθμιστεί ποιοτικά ,οι αποφάσεις που πρέπει να ληφθούν αναφέρονται στη χωροθέτηση και στο σχεδιασμό της λειτουργίας των συστημάτων άντλησης και επεξεργασίας του μολυσμένου υπόγειου νερού. Οι μεταβλητές απόφασης είναι οι θέσεις εγκατάστασης των γεωτρήσεων ,το πλήθος και οι παροχές λειτουργίας τους. Στόχος είναι η απορρύπανση των υδροφορέων με τον οικονομικότερο τρόπο ,ενώ οι περιορισμοί αναφέρονται στη διατήρηση της ποιότητας του υπόγειου νερού στα επιθυμητά επίπεδα. Ο τεχνικός στόχος στα προβλήματα αυτά είναι η αντιστροφή της ροής και η δημιουργία τεχνητού υδραυλικού φράγματος ,προκειμένου σε πρώτη φάση να εμποδιστεί η επέκταση της κηλίδας των ρυπαντών ,ενώ σε δεύτερη φάση να αντληθεί όλο το μολυσμένο νερό ,να υποστεί την κατάλληλη επεξεργασία και να επανατοποθετηθεί στον υδροφορέα ή να αποδοθεί απευθείας στις χρήσεις. Ως αστοχία σ' αυτήν την περίπτωση θεωρείται η αδυναμία να ελεγχθεί και να περιοριστεί η μολυσμένη κηλίδα ,με αποτέλεσμα την επέκτασή της σε όλο το υπόγειο νερό. Η πιθανότητα ενός τέτοιου συμβάντος μπορεί να σχετίζεται με τον κακό υπολογισμό της αρχικής θέσης της κηλίδας λόγω έλλειψης των αναγκαίων επιτόπου μετρήσεων. Μπορεί επίσης να εξαρτάται από την κακή εκτίμηση των τιμών της υδραυλικής αγωγιμότητας ,του πορώδους ,των συντελεστών διασποράς ,εξαιτίας ανεπαρκών μετρήσεων ή στοιχείων. Ένας άλλος λόγος αστοχίας είναι ο λάθος προσδιορισμός των υδραυλικών υψών ή των ορίων του υδροφόρου σχηματισμού ,που μπορεί να οφείλεται σε σφάλματα στους υδρογεωλογικούς χάρτες της περιοχής. Τέλος η αστοχία μπορεί να οφείλεται σε καθαρά τεχνικούς παράγοντες ,όπως η κακή κατασκευή των έργων άντλησης και επεξεργασίας του υπόγειου νερού.

### **13.2 Ανάλυση Κόστους-Οφέλους**

Όταν οι παράμετροι που επηρεάζουν το σχεδιασμό των έργων είναι σαφώς προσδιορισμένες και δεν τίθεται θέμα αβεβαιότητας η επιλογή της καλύτερης απόφασης στηρίζεται σε ντετερμινιστικά μοντέλα και εξαρτάται από καθαρά

οικονομικά κριτήρια. Αυτό γίνεται διότι η αποτελεσματικότητα των έργων και η τεχνική τους αρτιότητα έχουν εξεταστεί ήδη και έχουν εξασφαλισθεί από τα προηγούμενα στάδια της ανάπτυξης των εναλλακτικών σεναρίων οπότε μένει η αξιολόγηση των λύσεων και η επιλογή της καλύτερης για την οποία επιτυγχάνονται οι τεχνικοί στόχοι του προβλήματος με τον οικονομικότερο τρόπο. Η μέθοδος στην οποία στηρίζεται η αξιολόγηση των εναλλακτικών σεναρίων είναι η ανάλυση Κόστους –Οφέλους.

Με τη μέθοδο αυτή υπολογίζεται το συνολικό κόστος των έργων ,δηλαδή το κόστος κατασκευής και λειτουργίας τους, ενώ συγχρόνως αποτιμώνται τα αναμενόμενα οφέλη από την εφαρμογή τους.

Για κάθε σενάριο υπολογίζεται μια τιμή η οποία αντιστοιχεί στη διαφορά κόστους –οφέλους ,η οποία αποτελεί το κριτήριο αξιολόγησης των σεναρίων. Η γενική μορφή της αντικειμενικής συνάρτησης είναι:

$$\Phi_j = \sum_{t=0}^T \frac{1}{(1+i)^t} [B_j(t) - C_j(t)]$$

Όπου:

$\Phi_j$  : η αντικειμενική συνάρτηση για την εναλλακτική λύση j

$B_j(t)$  : όφελος σε χρόνο t

$C_j(t)$ : κόστος σε χρόνο t

t: ο χρονικός ορίζοντας (years)

i: το ισχύον επιτόκιο

### 13.3 Μέθοδοι Βελτιστοποίησης

Με την ανάλυση κόστους –οφέλους επιλέγεται η καλύτερη λύση απ' όσες εξετάζονται ,χωρίς όμως να σημαίνει ότι είναι και η βέλτιστη λύση. Η μέθοδος κόστους –οφέλους είναι λιγότερο γενική από τις μεθόδους βελτιστοποίησης, όπου αντιμετωπίζονται τα θέματα με τις αρχές της Ανάλυσης Συστημάτων, και παρέχουν τη συνολικά βέλτιστη λύση ,εξετάζοντας όλες τις πιθανές εναλλακτικές. Οι μέθοδοι βελτιστοποίησης αποτελούν την τεχνική λήψης αποφάσεων στα προβλήματα σχεδιασμού των έργων προστασίας και

αποκατάστασης υπογείων νερών ,όταν οι συνθήκες είναι βέβαιες και δεν υπάρχει θέμα επικινδυνότητας.

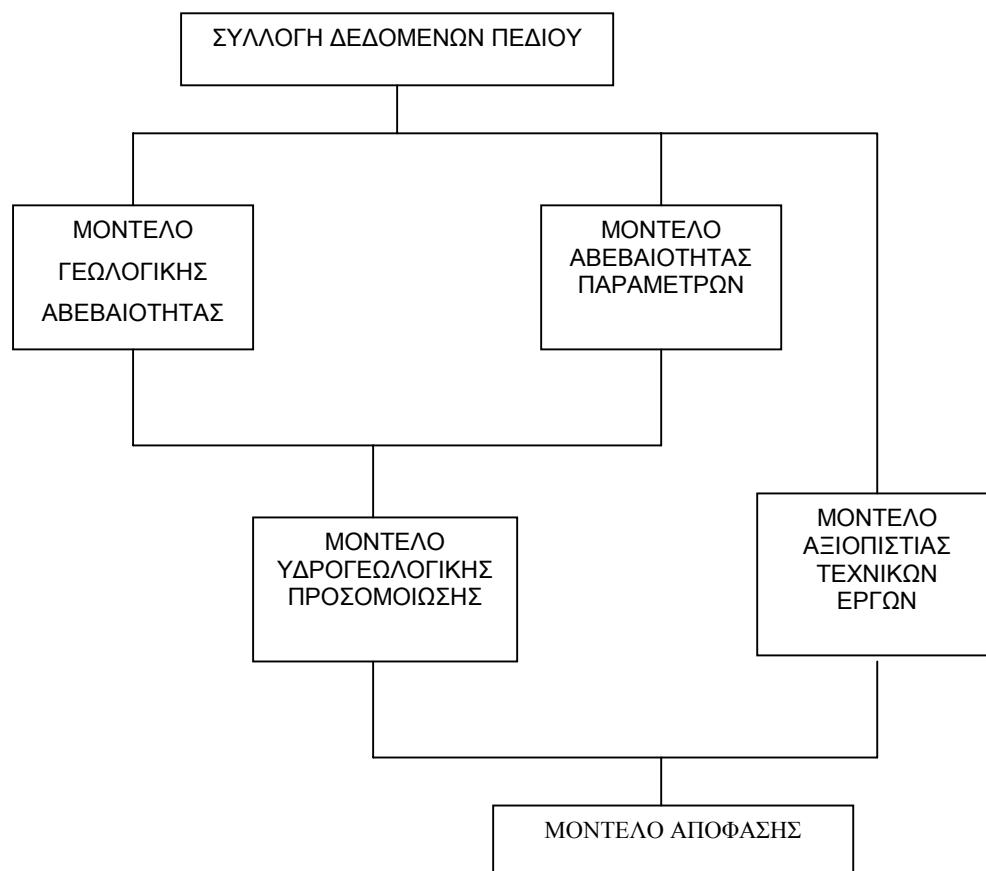
Οι βέλτιστες τιμές των μεταβλητών απόφασης για ένα σχεδιαζόμενο έργο, προκύπτουν με την ελαχιστοποίηση ή τη μεγιστοποίηση μιας αντικειμενικής συνάρτησης που αντιστοιχεί στους στόχους του προβλήματος. Ο υπολογισμός του μέγιστου ή του ελάχιστου γίνεται στην περιοχή των επιτρεπόμενων τιμών των μεταβλητών απόφασης. Η περιοχή αυτή καθορίζεται από το σύνολο των περιορισμών που περιλαμβάνουν τις φυσικές ,τεχνικές ,οικονομικές ,και περιβαλλοντικές δεσμεύσεις του προβλήματος.

Τα μειονεκτήματα των μεθόδων βελτιστοποίησης είναι τα εξής: Πρώτον, εφαρμόζονται με επιτυχία στην περίπτωση γραμμικών προβλημάτων ,γεγονός που προϋποθέτει την ύπαρξη γραμμικής αντικειμενικής συνάρτησης ή γραμμικών περιορισμών. Στα μη γραμμικά μοντέλα προσομοίωσης ,όπως είναι οι υδροφορείς με ελεύθερη επιφάνεια, πρέπει να γίνουν κάποιες παραδοχές για να γραμμικοποιηθούν οι εξισώσεις της ροής. Δεύτερον, ότι οι μέθοδοι βελτιστοποίησης είναι συνδεδεμένες με ντετερμινιστικές μεθόδους και δεν είναι κατάλληλες για συνθήκες επικινδυνότητας ,όπου η ανάλυση είναι στοχαστική.

### **13.4 Ανάλυση αποφάσεων**

Η μέθοδος αυτή αποτελεί την εξέλιξη της ανάλυσης κόστους οφέλους παρέχοντας ένα πλαίσιο αξιολόγησης των εναλλακτικών λύσεων και επιλογής της καλύτερης από αυτές πιο ολοκληρωμένο και περισσότερο αποτελεσματικό. Η βασική διαφορά των δυο μεθόδων συνοψίζεται στις επιπλέον δυνατότητες που παρέχει η μέθοδος αυτή εξετάζοντας και επιλύοντας τα προβλήματα σχεδιασμού με βάση όχι μόνο τα οικονομικά κριτήρια ,αλλά συνδυάζοντας στοιχεία και τεχνικές από περισσότερους επιστημονικούς κλάδους (στατιστική, ανάλυση συστημάτων, επιχειρησιακή έρευνα). Στο γεγονός αυτό οφείλεται και η δυνατότητα εφαρμογής της μεθόδου σε συνθήκες επικινδυνότητας .

Η μέθοδος συνοψίζεται στα παρακάτω στάδια:



Στο πρώτο στάδιο της *συλλογής δεδομένων πεδίου* καθορίζεται ο βαθμός της αβεβαιότητας με την οποία θα γίνει ο σχεδιασμός ,καθώς εκτιμάται η αξιοπιστία των διαθέσιμων πληροφοριών και ελέγχεται η σκοπιμότητα της συλλογής περισσότερων στοιχείων .Ο βαθμός στον οποίο θα πρέπει να προχωρήσουν οι επιτόπου μετρήσεις ,η πυκνότητα του δικτύου και η συχνότητα των παρατηρήσεων ,αποτελούν αντικείμενο ξεχωριστού προβλήματος ,καθώς η αναβάθμιση των πληροφοριών έχει ένα σοβαρό κόστος ,προκαλεί όμως βελτίωση στις συνθήκες κινδύνου, περιορίζοντας τις πιθανότητες αστοχίας των έργων, και βελτιώνει το κόστος.

Οι αβέβαιες συνθήκες με τις οποίες θα γίνει ο σχεδιασμός περιγράφονται με στατιστικές μεθόδους στα μοντέλα αβεβαιότητας. Αβεβαιότητα μπορεί να υπάρξει σχετικά με τη γεωλογία της περιοχής (γεωλογική αβεβαιότητα) σχετικά με την ασαφή γνώση των χωρικά κατανεμημένων τιμών των βασικών υδρογεωλογικών και υδραυλικών παραμέτρων (αβεβαιότητα των

παραμέτρων) .Τα πεδία της υδραυλικής διαπερατότητας ,του πορώδους ή των συντελεστών διασποράς αντιμετωπίζονται ως τυχαία πεδία και περιγράφονται από μια συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας ,με συγκεκριμένα στατιστικά χαρακτηριστικά.

Στη συνέχεια χρησιμοποιώντας μια από τις στοχαστικές μεθόδους η αβεβαιότητα εισάγεται στο υδρογεωλογικό μοντέλο προσομοίωσης ,το οποίο έχει στοχαστική δομή και περιγράφει τη λειτουργία του φυσικού συστήματος, με τις διαφορικές εξισώσεις της υπόγειας ροής και της μεταφοράς των ρυπαντών, οι οποίες λύνονται με αριθμητικά σχήματα πεπερασμένων στοιχείων των πεπερασμένων διαφορών ή της μεθόδου των χαρακτηριστικών.

Η επίλυση των στοχαστικών μοντέλων της προσομοίωσης παρέχει την πιθανότητα αστοχίας για κάθε σενάριο ,εξαιτίας της αβέβαιης περιγραφής των γεωλογικών συνθηκών και της ασαφούς γνώσεις των τιμών των χωρικά κατανεμημένων παραμέτρων. Οι πιθανότητες αστοχίας λόγω τεχνικών ατελειών ή κακής κατασκευής υπολογίζονται χωριστά στο μοντέλο αξιοπιστίας τεχνικών έργων.

Το μοντέλο απόφασης είναι το μοντέλο Κόστους- Οφέλους –Επικινδυνότητας της μορφής:

$$\Phi_j = \sum_{t=0}^T \frac{1}{(1+i)^t} [B_j(t) - C_j(t) - R_j(t)]$$

Όπου:

$$R_j(t) = Pf(t) * Cf(t) * \gamma(Cf)$$

$\Phi_j$  : η αντικειμενική συνάρτηση για την εναλλακτική λύση j

$B_j(t)$  : όφελος σε χρόνο t

$C_j(t)$ : κόστος σε χρόνο t

t: ο χρονικός ορίζοντας (years)

i: το ισχύον επιτόκιο

$R_j(t)$ :επικινδυνότητα για το σενάριο j σε χρόνο t

$Pf(t)$ :η πιθανότητα αστοχίας σε χρόνο t

$Cf(t)$ :κόστος αρνητικών επιπτώσεων σε χρόνο t

$\gamma(Cf)$ :συνάρτηση ωφελιμότητας



Το μοντέλο απόφασης εφαρμόζεται για όλα τα σενάρια και υπολογίζεται η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης για κάθε σενάριο. Το σενάριο που η αντικειμενική συνάρτηση παρουσιάζει μέγιστο, είναι και το ευνοϊκότερο .

## ΜΕΡΟΣ Β

### ΜΕΛΕΤΗ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΜΕ ΝΙΤΡΙΚΑ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΜΑΛΛΙΩΝ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ

#### 14. Περιγραφή περιοχής μελέτης-χάρτες περιοχής

Η περιοχή της έρευνας βρίσκεται 35 χιλιόμετρα ανατολικά της πόλης του Ηρακλείου, επί της Εθνικής οδού Ηρακλείου -Αγίου Νικολάου, χτισμένη στην παραλία του κόλπου των Μαλίων.



Καταλαμβάνει έκταση περίπου 50km<sup>2</sup> και αριθμεί 3500 κατοίκους που το καλοκαίρι αυξάνονται λόγω τουρισμού στους 15000-18000.

Αποτελεί το διοικητικό κέντρο της περιοχής και την έδρα των διοικητικών υπηρεσιών του Δήμου Μαλίων στον οποίο υπάγεται διοικητικά και το χωριό Κράσι.

Η οικονομία της περιοχής είναι μικτή, αγροτουριστική. Εξαρτάται άμεσα από τον τουρισμό με την πλειοψηφία των κατοίκων να απασχολούνται στην παροχή υπηρεσιών, ένα σημαντικό ποσοστό από αυτούς ασχολείται παράλληλα με γεωργικές εργασίες. Το εύφορο έδαφος, το πολύ ήπιο κλίμα και η ύπαρξη άφθονου νερού δίνουν την δυνατότητα για παραγωγή αρκετά

μεγάλων ποσοτήτων κηπευτικών , λουλουδιών και μπανανών (σε θερμοκήπια), πατάτας που είναι γνωστή για την ποιότητα της, καθώς βέβαια και ελαιόλαδου όπως σε όλη την Κρήτη.

Η περιοχή των Μαλίων είναι προικισμένη με εύφορα εδάφη, και άφθονα νερά από τις πηγές του όρους Σελένα, που βρίσκεται νότια της πόλης των Μαλίων. Είναι από τις πιο πλούσιες σε υδάτινους πόρους σε όλη την Κρήτη. Αρκετές πηγές της περιοχής είναι εκμεταλλεύσιμες και τοπικοί αναπτυξιακοί σύνδεσμοι και εταιρείες, εμφιαλώνουν νερό το οποίο πωλείται στην τοπική αγορά αλλά και εξάγεται.

Στη Λεκάνη των Μαλίων αναπτύσσονται υπόγειες υδροφορίες σε νεογενείς σχηματισμούς (μαργαϊκούς ασβεστόλιθους) σε κορήματα προνεογενών ανθρακικών σχηματισμών και σε προνεογενείς ανθρακικούς σχηματισμούς.

Η ύδρευση γίνεται αποκλειστικά από ιδιωτικές γεωτρήσεις και πηγάδια που έχουν διανοιχτεί στη λεκάνη των Μαλίων. Οι γεωτρήσεις ανάλογα με το χώρο διάνοιξης έχουν βάθος συνήθως 35-270m και παροχή από 10-100 m<sup>3</sup>/h.

Η ύδρευση γίνεται από δύο κοινοτικές γεωτρήσεις των οποίων το σύνολο της παροχής είναι 160 m<sup>3</sup>/h σύμφωνα με πληροφορίες του Δήμου Μαλίων. Την ποιότητα του νερού και γεωτρήσεων παρακολουθεί η ΥΕΒ ,η ΔΕΥΑΗ (γεωτρήσεις Δ .Ηρακλείου) και το ΙΓΜΕ.

Στην περιοχή του χωριού Κράσι η ύδρευση γίνεται από πηγές των οποίων η παροχή είναι αρκετά μικρή ,ενώ η άρδευση είναι σχεδόν ανύπαρκτη.

Από το σύνολο των γεωτρήσεων εκτιμούμε ότι αντλούνται ετησίως περίπου 10.000.000 κυβικά νερό από τα οποία τα 4.000.000 μεταφέρονται στην πόλη του Ηρακλείου

Σημειώνουμε ότι από την περιοχή της λεκάνης των Μαλίων παίρνουν νερό για ύδρευση εκτός από τα Μάλια και τον Δήμο Ηρακλείου, ο Λιμένας Χερσονήσου κ.α.

Από άποψη ποιότητας το νερό είναι καλό. Τους καλοκαιρινούς μήνες λόγω εντατικοποίησης των αντλήσεων παρατηρείται αύξηση των χλωριόντων και νιτρικών. Γίνεται όμως συστηματική παρακολούθηση από τη ΔΕΥΑΗ και έτσι τα προβλήματα αντιμετωπίζονται με τη μείωση της παροχής των γεωτρήσεων. Αυτό φαίνεται και στο διάγραμμα της διακύμανσης της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα που παραμένει σε σταθερά επίπεδα [ΙΓΜΕ ,1996].

## 14.1 Γενική γεωγραφία – Μορφολογία- Τεκτονική

Στο νότιο-ανατολικό τμήμα της περιοχής υψώνεται ο ορεινός όγκος της Δίκτης με υψηλότερη κορφή τα 2148 μέτρα, που ανήκει στο Νομό Λασιθίου.

Οι υψηλότερες κορφές όσον αφορά την Δίκτη είναι οι κορυφές Αφέντη 1578 μέτρα, Μάλια και Σελένα 1300 μέτρα. .

Οι παραπάνω αναφερθέντες ορεινοί όγκοι δομούνται κύρια από προνεογενείς ανθρακικούς σχηματισμούς.

Τα καρστικά φαινόμενα στους ανθρακικούς σχηματισμούς ποικίλουν σε μορφή και συχνότητα. Ανάλογα με το βαθμό καρστικοποίησης διακρίνουμε δυο διαφορετικά καρστ. Στους πλακώδεις ασβεστόλιθους το καρστ είναι ηπιότερο και αραιότερο από αυτό των ανθρακικών σχηματισμών της Ζώνης της Τρίπολης.

Η διαφορά αυτή οφείλεται στο ότι οι ασβεστόλιθοι της Τρίπολης είναι έντονα τεκτονισμένοι λόγω της επώθησης και δεν παρουσιάζουν κερατολιθικές ενστρώσεις όπως οι πλακώδεις με αποτέλεσμα η διαλυτότητα του πετρώματος να είναι πιο εύκολη.

Έτσι στις περιοχές που καλύπτονται από ασβεστόλιθους της Τρίπολης αναπτύσσεται ένα πολύπλοκο και πολύμορφο καρστ με έντονα χαρακτηριστικά που διαμορφώνει ένα δύσβατο και πολλές φορές αδιάβατο τοπίο στο οποίο αναπτύσσονται καρστικά φαινόμενα.

Αντίθετα οι περιοχές που καλύπτονται από πλακώδεις ασβεστόλιθους είναι πιο ήπιες.

Ήπιες είναι επίσης οι περιοχές που καλύπτονται από σχηματισμούς της Φυλλιτικής –Χαλαζιτικής σειράς και Φλύσχη παρόλο που βρίσκονται στην ημιορεινή ή ορεινή ζώνη.

Η περιοχή μελέτης καλύπτεται από νεογενείς σχηματισμούς και έχει υψόμετρο κάτω των 400μέτρων. [ΙΓΜΕ ,1996]

**Τεκτονική** (\*από την διατριβή του Δρ.Ν.Φυτρολάκη με τίτλο «η γεωλογική δομή της Κρήτης»)

1.Παλαιότερη τεκτονική επίδρασης στην Κρήτη αυτήν της Πφαλζικής φάσης του Ερκυνίου κύκλου.

2.Μεταξύ των τεκτονικών γεγονότων του Αλπικού κύκλου διακρίνονται :

2.1. πτυχωγόνος τεκτονική

2.1.1 Πριν την τελική ανάδυση και πτύχωση επέδρασαν στην περιοχή η Λαμπίνιος και η αμέσως νεότερη Παλαιοκιμμερική Φάση.

2.1.2 Κατά το μέσο Βουρδιγάλιο έγινε η επιζωνική μεταμόρφωση και αμέσως μετά ακολούθησε η ανάδυση και η σταδιακή πτύχωση της αυτόχθονης ενότητας.

2.1.3 Οι πτυχωγόνες δυνάμεις επέδρασαν από το βορρά προς το νότο και η επικρατέστερη διεύθυνση των αξόνων είναι Α-Δ. Τα αξονικά επίπεδα των πτυχών των αυτοχθόνων στρωμάτων κλίνουν συνήθως προς βορρά. Εκτός από την πιο πάνω κύρια διεύθυνση των πτυχών παρατηρείται και μια δευτερεύουσα διεύθυνση Β-Ν. Τα αυτόχθονα στρώματα χαρακτηρίζονται από όρθιες έως κεκλιμένες συμμετρικές πτυχές, χωρίς λεπιώσεις ή άλλα μεγάλα επωθησιγενή ρήγματα.

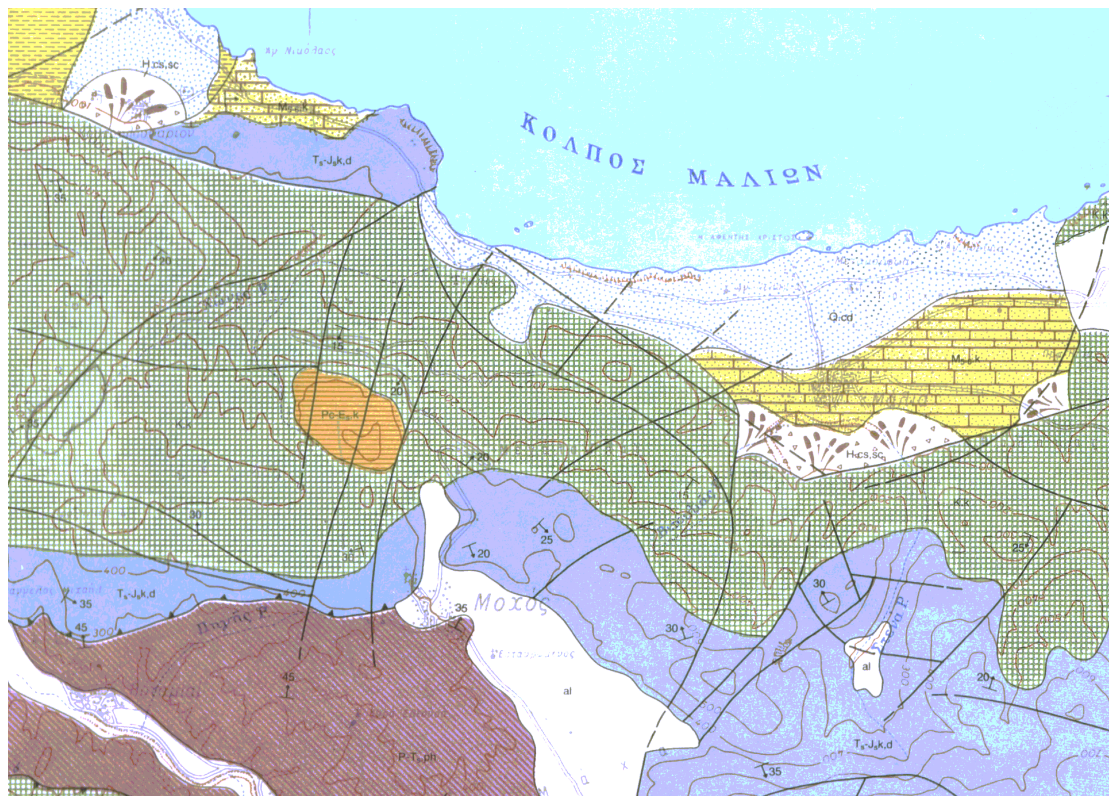
2.1.4. Κατά το τέλος του Βουρδιγαλίου έως Λαγγίου έγινε η επώθηση των αλλόχθονων ενοτήτων. Η πτυχωγόνος τεκτονική αυτών διαφέρει αυτής της αυτόχθονης σειράς στο ότι χαρακτηρίζεται από πλήθος λεπιώσεων και επωθησιγενών ρηγμάτων, από έντονες παραμορφώσεις ,από ποικίλες διευθύνσεις των αξόνων των πτυχών και από διάφορες κλίσεις των αξόνων επιπέδων .Βέβαια παρατηρούνται και οι διευθύνσεις που αναφέρθηκαν στην αυτόχθονο ενότητα αλλά επικρατούν έναντι άλλων.

2.2 Ρηγματογόνος τεκτονική

Μετά την πτυχωγόνο τεκτονική ,μεταξύ του τέλους του Λαγγίου και του Μέσου Σερραβαλλίου η Κρήτη κατετμήθει από ρήγματα με διεύθυνση Β-Ν και Α-Δ. Τα ρήγματα αυτά δραστηριοποιούνταν κατά διαστήματα και κυρίως κατά το τέλος του Σερραβαλλίου. Από το τέλος του Πλειόκαινου και κατά το Πλειστόκαινο υπήρξαν έντονες κατακόρυφες κινήσεις παράλληλες προς τα υφιστάμενα ρήγματα με αποτέλεσμα οι ορεινοί όγκοι της Κρήτης να ανυψωθούν και άλλα τμήματα να καταποντιστούν υπό την επιφάνεια της

θάλασσας και να αρχίσει η ιζηματογένεση των νεογενών σχηματισμών. Οι κατακόρυφες κινήσεις και οι συνεχείς ανυψώσεις συνεχίστηκαν και μετά την εναπόθεση των νεογενών σχηματισμών με αποτέλεσμα να παρατηρούνται σήμερα νεογενείς εναποθέσεις και σε μεγάλα υψόμετρα. Τα ρήγματα του νεογενούς ποικίλλουν σε διευθύνσεις από περιοχή σε περιοχή. Επικρατούν όμως αυτά με ΒΑ-ΝΔ και ΝΑ-ΒΔ διεύθυνση.

## 14.2 Γεωλογία περιοχής- Γεωλογικός χάρτης



Η ευρύτερη περιοχή της έρευνας καλύπτεται από τους παρακάτω σχηματισμούς ,οι οποίοι από τους νεότερους προς τους παλαιότερους είναι [ΙΓΜΕ ,1996]:

## **ΟΛΟΚΑΙΝΟ**

Κώνοι κορημάτων και πλευρικά κορήματα :Λατύπες κυρίως ανθρακικής σύστασης ,ποικίλου μεγέθους ,αναμεμειγμένες με ερυθρογή ,χαλαρές και κατά θέσεις ελαφρά συγκολλημένες.

Οι σχηματισμοί αυτοί εμφανίζονται ανάντι των Μαλίων και του οικισμού Κράσι στα πρηνή των ορεινών όγκων.

## **ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΟ- ΟΛΟΚΑΙΝΟ**

Ιζήματα της παράκτιας περιοχής : Άμμοι ακτών και αδιαίρετες θαλάσσιες αναβαθμίδες.

Αλουβιακές αποθέσεις :χαλαρά αργιλοαμμώδη υλικά ,ερυθρογή με κροκαλολατύπες σε μικρές εσωτερικές λεκάνες .

Οι σχηματισμοί αυτοί καλύπτουν την παράκτια ζώνη των Μαλίων και έχουν μεγάλη επιφάνεια ή έκταση. Επίσης καλύπτουν το μορφολογικό βύθισμα του οικισμού Κράσι.

## **ΑΝΩΤΕΡΟ ΜΕΙΟΚΑΙΝΟ**

Σχηματισμός Αγ. Βαρβάρας :αποτελείται από εναλλαγές φυλλωδών και ομοιογενών συχνά ασβεστιτικών μαργών ή μαργαϊκών ασβεστόλιθων. Γύψοι παρεμβάλλονται στη σειρά των φυλλωδών ομοιογενών μαργών.

Εντός του σχηματισμού παρεμβάλλονται βιοκλαστικοί και υφαλογενείς ασβεστόλιθοι πλούσιοι σε Clipeaster, Pecten, Heterostegina, Bryozoa και κατά θέσεις Κοράλλια.

Στις φυλλώδεις μάργες αφθονούν υπολείμματα ψαριών και φυτικά λείψανα και στις ομοιογενείς μάργες Discospirina sp.

Στο σχηματισμό Αγ. Βαρβάρας υπάγονται και οι βιοκλαστικοί κατά θέσεις κροκαλοπαγείς ασβεστόλιθοι ,υφαλώδεις ασβεστόλιθοι και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι.

Η ηλικία των πετρωμάτων αυτών καθορίστηκε βάση των απολιθωμάτων Globorotalia, Globigerina.

Τοπικά παρατηρούνται ενστρώσεις μαργών και ψαμμιτών .Ο σχηματισμός αυτός εμφανίζεται στο χώρο των Μαλίων.

### **ΖΩΝΗ ΤΡΙΠΟΛΗΣ**

Η ζώνη Τρίπολης στην περιοχή ενδιαφέροντος εμφανίζεται με ανθρακικά πετρώματα που έχουν μεγάλη έκταση και πάχος. Κυρίως τα πετρώματα αυτά εμφανίζονται ανάντι των Μαλίων και δομούν στον ευρύτερο χώρο τους ορεινούς όγκους Σελένα και Οροπεδίου. Η ηλικία των πετρωμάτων της Τρίπολης είναι μεσοζωική ως ακολούθως:

### **ΚΡΗΤΙΔΙΚΟ**

Ασβεστόλιθοι: Τέφροι μέχρι και τεφρόμαυροι ,μεσοπαχυστρωματώδεις μέχρι άστρωτοι , βιτουμενιούχοι, με πλούσια νηριτική πανίδα. Οι ασβεστόλιθοι αυτοί αποτελούν το ανώτερο μεσαίο στρώμα του τεκτονικού καλύμματος της ζώνης Τρίπολης για την περιοχή έρευνας που εμφανίζονται.

### **ΑΝΩΤΕΡΟ ΤΡΙΑΔΙΚΟ –ΑΝΩΤΕΡΟ ΙΟΥΡΑΣΙΚΟ**

Ασβεστόλιθοι ,δολομιτικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες: αποτελούν τη βάση του τεκτονικού καλύμματος (Τρίπολης) των εσωτερικών ζωνών της Ηπειρωτικής Ελλάδας στην Κρήτη και βρίσκονται κατά κανόνα πάνω στην φυλλιτική-χαλαζιτική σειρά με αποτέλεσμα στη βάση τους να είναι κατά θέσεις μυλονιτωμένοι λόγω του τεκτονισμού και των διάφορων κινήσεων αυτών.

Τα κατώτερα μέλη τους αποτελούνται από ημικρυσταλλικούς δολομίτες, παχυστρωματώδεις μέχρι άστρωτους ,τέφρους ,ενώ τα ανώτερα μεταπίπτουν σε ασβεστόλιθους και δολομιτικούς ασβεστόλιθους μεσοστρωματώδεις τεφρόλευκους μέχρι τεφρόμαυρους. Στο σύνολό τους τα ανθρακικά πετρώματα του Ιουρασικού Τριαδικού όπως άλλωστε και όλα αυτά της Τρίπολης είναι συνήθως κερματισμένα και έντονα καρστικοποιημένα.

Συνήθως τα κατώτερα μέλη των παραπάνω ανθρακικών πετρωμάτων της Τρίπολης που συναντούμε στην επαφή τους με την υποκείμενη φυλλιτική χαλαζιτική σειρά είναι πετρώματα Ιουρασικής ηλικίας και μόνο κατά θέσεις συναντώνται πετρώματα της Τριαδικής ηλικίας.

### **ΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΚΑΛΥΜΜΑ ΦΥΛΛΙΤΙΚΗΣ- ΧΑΛΑΖΙΤΙΚΗΣ ΣΕΙΡΑΣ**

Η ηλικία των Φυλλιτών- Χαλαζιτών είναι Πέρμιο- Ανώτερο Τριαδικό.

Είναι ενότητα πετρωμάτων χαμηλής μεταμόρφωσης που έχει απωθηθεί μαζί με τους τεκτονικά υπερκείμενους σχηματισμούς της ενότητας Τρίπολης πάνω



στην αυτόχθονη σειρά των Πλακωδών ασβεστόλιθων και των ανθρακικών πετρωμάτων της ενότητας Τρίπολης .

Επικρατούν:

- Μαργαριγιακοί- ανθρακικοί σχιστόλιθοι με ιστό μικροκρυσταλλικό – λεπιδοβλαστικό και υφή σχιστώδη παράλληλα προσανατολισμένη.
- Χαλαζιακοί μεταψαμμίτες με ιστό μικροψαμμιτικό και υφή συμπαγή ελαφρά παράλληλα προσανατολισμένη και πτυχωμένη. Αποτελούνται κυρίως από θραυστιγενείς γωνιώδεις κόκκους χαλαζία με πολύ μικρή συμμετοχή αστριών και θραύσματα πυριτόλιθων ,τα διάκενα των οποίων πληρούν με μορφή συγκολλητικής μάζας λεπτοφυλλάρια σερικήτη και λιγότερο υδροβιοτίτη .

Μερικές φορές διασχίζονται από αδροκρυσταλλικές φλέβες χαλαζία πάχους 10cm περίπου. Κατά θέσεις φέρουν φακοειδή σώματα από μεταβασίτες.

Στην περιοχή της έρευνας εμφανίζονται στον ευρύτερο χώρο νότια της έκτασης του Δήμου Μαλίων (Γωνίες, πρηνή Οροπεδίου ).

### **ΑΥΤΟΧΘΟΝΟΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΚΡΗΤΗΣ**

Πλακώδεις ασβεστόλιθοι: κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι κατά θέσεις μάρμαρα μεσοκρυσταλλικά ,χρώματος τεφρόμαυρου ,καλά στρωμένα σε πάγκους με πάχος που ποικίλλει από λίγα εκατοστά μέχρι και ένα μέτρο. Στα κατώτερα μέλη τους εμφανίζονται παχυστρωματώδεις ενώ προς τα πάνω εξελίσσονται μέσο και στη συνέχεια λεπτόστρωματώδεις. Φέρουν ενστρώσεις πυριτόλιθων πάχους μέχρι και 20 εκατοστά περίπου χρώματος λευκού μέχρι τεφρού ή φακούς και κονδύλους πυριτόλιθων. Η συχνότητα εμφάνισης των πυριτολιθικών παρεμβολών είναι μεγάλη στα μεσαία μέλη ,ενώ ελαττώνεται προς τα κατώτερα και ανώτερα μέλη.

Κατά θέσεις στους μεσαίους ορίζοντες παρατηρούνται μικροψαμμιτικά μέχρι μικρολατυποπαγή στρώματα μικρού πάχους ή παρεμβάλλονται τεφροπράσινοι ή και ερυθροϊώδεις σερικήτικοί φυλλίτες με μορφή λεπτών ενστρώσεων.

Οι πλακώδεις ασβεστόλιθοι είναι πελαγικά ιζήματα των οποίων η ιζηματογένεση άρχισε πιθανότατα στο μέσο Ιουρασικό και έληξε στο ανώτερο Ηώκαινο.

Ο σχηματισμός των πλακωδών ασβεστόλιθων (Platenkalk) εμφανίζεται στον ευρύτερο χώρο του πεδίου ενδιαφέροντος (Γωνιές ,Οροπέδιο) και δεν επηρεάζουν τις υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής.

### 14.3 Υδρογεωλογία

Τους σχηματισμούς που καλύπτουν την περιοχή της έρευνας θα χωρίσουμε:

1. Στους υδροπερατούς σχηματισμούς στους οποίους αναφέρονται τα προνεογενή ανθρακικά πετρώματα, οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι ,γύψοι, κροκαλοπαγή κορήματα του τεταρτογενούς.
2. Στους υδατοστεγείς σχηματισμούς στους οποίους αναφέρονται οι φυλλίτες-χαλαζίτες και φλύσχης του προνεογενούς καθώς και οι μάργες, άργιλοι του νεογενούς.

Βασική σημασία για την υδρογεωλογική έρευνα έχουν οι υδροπερατοί σχηματισμοί, δεδομένου ότι εντός αυτών αναπτύσσονται υπόγειοι υδροφορείς. Στην διαμόρφωση των υπόγειων υδροφορέων την διακίνηση και κατανομή του υπόγειου και επιφανειακού νερού παίζουν όμως ιδιαίτερο ρόλο και οι υδατοστεγείς σχηματισμοί.

Όπως αναφέραμε και πιο πάνω η περιοχή της έρευνας καλύπτεται από τους παρακάτω γεωλογικούς σχηματισμούς :

- ✓ Κώνοι κορημάτων
- ✓ Ιζήματα παράκτιας περιοχής
- ✓ Αλουβιακές αποθέσεις
- ✓ Σχηματισμοί Αγ. Βαρβάρας
- ✓ Ασβεστόλιθοι Κρητιδικού
- ✓ Ασβεστόλιθοι και δολομίτες Ανωτ. Τριαδικού- Ανωτ. Ιουρασικού
- ✓ Φυλλίτες –χαλαζίτες
- ✓ Πλακώδεις ασβεστόλιθοι

### ΚΩΝΟΙ ΚΟΡΗΜΑΤΩΝ

Όπως αναφέραμε και πιο πάνω είναι λατύπες κυρίως ανθρακικής σύστασης ποικίλου μεγέθους αναμειγμένες με ερυθρογή χαλαρές και κατά θέσεις ελαφρά συγκολλημένες. Ο σχηματισμός αυτός εμφανίζεται νότια του Δήμου Μαλίων.

Μέσα στο σχηματισμό αυτό έχουν ανοιχθεί αρκετές γεωτρήσεις οι οποίες έδωσαν ικανοποιητικές παροχές νερού ,πράγμα που σημαίνει ότι οι λατύπες αυτές τροφοδοτούνται υπόγεια από τους προνεογενείς ασβεστόλιθους με τους οποίους έρχονται σε άμεση επαφή και αποτελούν και το υπόβαθρο του σχηματισμού αυτού των κορημάτων. Αυτό αποδεικνύουν και οι γεωτρήσεις που έγιναν στο σχηματισμό αυτό και μετά τη διατήρηση των κορημάτων διέτρησαν ασβεστόλιθο της ζώνης Τρίπολης. [ΙΓΜΕ ,1989]

### ΙΖΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Ο σχηματισμός αυτός είναι κυρίως άμμοι ακτών και θαλάσσιες αναβαθμίδες που επικάθονται στους μαργαϊκούς ασβεστόλιθους του σχηματισμού της Αγ. Βαρβάρας (νεογενές).

Παρουσιάζει ιδιαίτερο υδρογεωλογικό ενδιαφέρον γιατί λόγω της σύστασης του επιτρέπει να σχηματίζεται σε αυτό επιφανειακός φρεάτιος υδροφόρος ορίζοντας ο οποίος εκμεταλλεύεται με πηγάδια που έχουν διανοιχτεί από παλιά και χρησιμοποιείται το νερό για άρδευση (μερικά από αυτά χρησιμοποιούνται και σήμερα ).

Η τροφοδοσία του σχηματισμού αυτού με νερό γίνεται υπόγεια από τα νερά βασικά των προνεογενών ασβεστόλιθων καθώς και δευτερευόντως από αυτά των μαργαϊκών ασβεστόλιθων του νεογενούς που υπάρχουν στην περιοχή και αποτελούν το υπόβαθρο του σχηματισμού των παράκτιων ιζημάτων.

[ΙΓΜΕ ,1989]

### ΑΛΟΥΒΙΑΚΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ

Οι Αλουβιακές αποθέσεις εμφανίζονται κυρίως σε μικρές εσωτερικές λεκάνες και αποτελούνται από χαλαρά αργιλοαμμώδη υλικά ,ερυθρογή με κροκάλες και υλικά αλουβιακού μανδύα.

Υδρογεωλογικά δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον λόγω του μικρού πάχους και του αργιλώδους υλικού που περιέχουν κατά τόπους (terra rossa Κράσι) [ΙΓΜΕ ,1989].

#### ΜΑΡΓΑΪΚΟΙ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ

Οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι χαρακτηρίζονται σαν υδροπερατό πέτρωμα ,λόγω του καρστ και των ρωγμών που έχει υποστεί το πέτρωμα και που επιτρέπουν το νερό να διεισδύει εντός αυτού και να σχηματίζει υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες. Στην περιοχή των Μαλίων εκτός του νερού που δέχεται ο σχηματισμός απ' ευθείας από τα νερά της βροχής γίνεται ενδεχομένως τροφοδοσία υπόγεια και πλευρικά από τους ασβεστόλιθους του προνεογενούς. Έτσι οι γεωτρήσεις που έχουν ανοιχτεί στον σχηματισμό αυτό έδωσαν σημαντικές παροχές νερού.

Ο σχηματισμός αυτός της Αγ. Βαρβάρας(μαργαϊκών ασβεστόλιθων) παρατηρείται στην περιοχή του οικιστικού σχεδίου της πόλης των Μαλίων και ανατολικά αυτού σε μια αξιόλογη εμφάνιση. [ΙΓΜΕ ,1989]

#### ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ ΚΡΗΤΙΔΙΚΟΥ

Οι ασβεστόλιθοι του Κρητιδικού αποτελούν το ανώτερο στρώμα της τεκτονικής ζώνης της Τρίπολης και παρατηρούνται στην βόρεια πλευρά της περιοχής έρευνας και νότια των παράκτιων ιζημάτων και των μαργαϊκών ασβεστόλιθων.

Συνήθως εμφανίζονται σε υψόμετρα 100-500 μέτρα.

Οι ασβεστόλιθοι αυτή στη συγκεκριμένη περιοχή της έρευνας παρατηρούνται έντονα τεκτονισμένοι και κατακερματισμένοι με αποτέλεσμα δια μέσου των ρωγμών να διεισδύει το νερό από τις βροχές εντός του πετρώματος και να σχηματίζει υπόγειες υδροφορίες .σημαντικό όμως στοιχείο το οποίο πρέπει να αναφέρουμε είναι το μεγάλο ποσοστό ερυθρογής που παρατηρείται στις ρωγμές του πετρώματος που είναι προϊόν εξαλλοίωσής του (καρστική αποσάθρωση). Η ερυθρογή αυτή παρατηρείται στις παλαιές ρωγμές και το παλιό καρστ γεγονός το οποίο επιδρά στην γενική περατότητα του πετρώματος. Επίσης η παρουσία της ερυθρογής επηρεάζει την καθαρότητα των νερών του άνω σχηματισμού όπως φαίνεται από τις αντλήσεις των γεωτρήσεων της περιοχής. [ΙΓΜΕ ,1989]

### ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ ΚΑΙ ΔΟΛΟΜΙΤΕΣ ΤΡΙΑΔΙΚΟΥ- ΙΟΥΡΑΣΙΚΟΥ

Τα ανθρακικά αυτά πετρώματα αποτελούν τα κατώτερα στρώματα της τεκτονικής ζώνης η οποία είναι όπως αναφέρθηκε εποθνημένη πάνω στη φυλλιτική- χαλαζιτική σειρά ,με αποτέλεσμα στη βάση τους να είναι κατά τόπους μυλωνιτιωμένα λόγω του τεκτονισμού ,γεγονός που επηρεάζει ως ένα βαθμό την συμπεριφορά των ανθρακικών πετρωμάτων όσον αφορά τη διαμόρφωση των υπόγειων υδροφοριών.

Όπως ήδη αναφέραμε είναι ασβεστόλιθοι και δολομίτες παχυστρωματώδεις μέχρι άστρωτοι ,λευκότεφροι μέχρι τεφρόμαυροι και συνήθως καρστικοποιημένοι και ρωγματοωμένοι με αποτέλεσμα να έχουν αυξημένη υδροπερατότητα επειδή το νερό μέσω του καρστ και των ρωγμών του πετρώματος διεισδύει σε βάθος και σχηματίζει υπόγειους υδροφορείς κυρίως στην επαφή τους με την υποκείμενη Φυλλιτική- Χαλαζιτική σειρά.

Στην περιοχή μελέτης ένα ποσοστό από το νερό της κατείσδησης στους ασβεστόλιθους αυτούς του ευρύτερου χώρου εκφορτίζεται και επιφανειακά στην επαφή του ασβεστόλιθου (πηγές Π1,Π4,Π5,Π6) και λόγω τοπικών τεκτονικών συνθηκών νότια από το Κράσι, το υπόλοιπο εμπλουτίζει τους βαθύτερους υδροφόρους ορίζοντες της κατάντη περιοχής και εκφορτίζεται υπόγεια .

Οι ασβεστόλιθοι αυτοί έχουν μεγάλη εξάπλωση στην περιοχή και αποτελούν τους κυριότερους ορεινούς όγκους Σελένα και Οροπεδίου. Το μεγάλο υψόμετρο και το μεγάλο πάχος τους ,καθιστούν την έρευνα δύσκολη στην ευρύτερη περιοχή.

Σημειώνεται ότι το πάχος των ασβεστόλιθων αυτών στο μορφολογικό βύθισμα του Κράσι έχει καθοριστεί και με τις γεωφυσικές βυθοσκοπήσεις οι οποίες έδωσαν στον ασβεστόλιθο τουλάχιστον 500μέτρα πάχος σε υψόμετρο 600μέτρων. [ΙΓΜΕ ,1989]

### ΦΥΛΛΙΤΕΣ-ΧΑΛΑΖΙΤΕΣ

Στην ενότητα αυτή των πετρωμάτων ανήκουν οι φυλλίτες-χαλαζίτες και οι σχιστόλιθοι. Θεωρητικά ο σχηματισμός αυτός είναι αδιαπέρατος και αποτελεί συνήθως το αδιαπέρατο υπόβαθρο των ασβεστόλιθων της ζώνης της Τρίπολης.

Η σημαντική εμφάνιση των Φυλλιτών- Χαλαζιτών στην περιοχή της έρευνας βρίσκεται νοτιοδυτικά της κοινότητας Κράσι.

Συχνά στον εξαλλοιωμένο μανδύα του σχηματισμού αυτού δημιουργούνται μικρές υδροφορίες που συνήθως τους χειμερινούς μήνες εκφορτίζονται υπό τύπου πηγών. Η μόνιμης παροχή πηγή Π3 που βρίσκεται στο σχηματισμό αυτό πιθανόν να έχει υπόγεια τροφοδοσία και από τους ασβεστόλιθους της ζώνης Τρίπολης ,αναβλύζει όμως στο σχηματισμό των Φυλλιτών- Χαλαζιτών γιατί στο σημείο αυτό το νερό συναντά το υγιές πέτρωμα το οποίο είναι αδιαπέρατο.

Σημειώνουμε ακόμα ότι λόγω του ότι ο σχηματισμός αυτός είναι αδιαπέρατος και επικάθονται σε αυτόν οι σχηματισμοί της ζώνης Τρίπολης που είναι υδροπερατοί στην επαφή τους αναβλύζουν οι πηγές (επαφής) Π1,Π4,Π5,Π6 . [ΙΓΜΕ ,1989]

#### ΠΛΑΚΩΔΕΙΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ

Οι πλακώδεις ασβεστόλιθοι εμφανίζονται νοτιοανατολικά της κοινότητας Γωνιές και δεν θα ασχοληθούμε ιδιαίτερα με το σχηματισμό αυτό διότι δεν ανήκει στην περιοχή μελέτης. Αναφέρουμε μόνο ότι οι ασβεστόλιθοι αυτοί αποτελούν το αυτόχθονο σύστημα της Κρήτης και το γεωλογικό υπόβαθρο των τεκτονικών ζωνών[ΙΓΜΕ ,1989].

#### **14.4 Υφιστάμενη Κατάσταση**

Σήμερα στη λεκάνη των Μαλίων εκτός από τα πηγάδια που έχουν διανοιχτεί από παλιά μέσα στις παράκτιες αποθέσεις κατά μήκος της παραλίας και το νερό τους χρησιμοποιείται για άρδευση έχουν ανοιχτεί και αρκετές γεωτρήσεις κυρίως νοτιότερα μέσα στο σχηματισμό των μαργαϊκών ασβεστόλιθων, των κορημάτων και του ασβεστόλιθου της ζώνης Τρίπολης.

Όλες σχεδόν οι γεωτρήσεις έχουν διανοιχτεί λίγα μέτρα κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας ,έτσι έχουν βάθος ανάλογα με το υψόμετρο που βρίσκονται. Αναλύοντας τα στοιχεία τα οποία έχουμε στη διάθεσή μας προκύπτει ότι η υδροστατική στάθμη (στάθμη ηρεμίας) των γεωτρήσεων βρίσκεται περίπου στο ύψος της στάθμης της θάλασσας. Η στάθμη αντλήσεων έχει μεγάλες διακυμάνσεις από ξηρά σε υγρά περίοδο.

Παρατηρείται πτώση στάθμης μέχρι και 20 μέτρα. Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ο υδροφόρος ορίζοντας αν και πολύ πλούσιος έχει άμεση σχέση με τις ετήσιες βροχοπτώσεις της ευρύτερης περιοχής. Επιπλέον παρατηρούμε ότι υπάρχει πλήρης αναπλήρωση των απωλειών από τις αντλήσεις (από γεωτρήσεις πηγάδια κλπ).

Στη λεκάνη των Μαλίων οι γεωλογικές, υδρογεωλογικές τεκτονικές και μορφολογικές συνθήκες ευνοούν την διαμόρφωση υπόγειων υδροφοριών. Στη λεκάνη αυτή διαμορφώνονται πέντε διαφορετικές υπόγειες υδροφορίες που έχουν άμεση σχέση με το νερό της κατείσδυσης στους σχηματισμούς των ασβεστόλιθων της γεωλογικής ενότητας Τρίπολης της ευρύτερης περιοχής.

Εντός των τεταρτογενών αποθέσεων της περιοχής (άμμοι ακτών και θαλάσσιες αναβαθμίδες) έχουν διανοιχτεί αρκετά πηγάδια μέσω των οποίων γίνεται συστηματική εκμετάλλευση του φρεατίου υδροφόρου ορίζοντα. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι παροχές των πηγαδιών της λεκάνης είναι σημαντικές για το λόγο ότι τα ιζήματα ,εντός των οποίων έχουν διανοιχτεί αυτά τροφοδοτούνται πλευρικά με νερό από τους πρωτογενείς σχηματισμούς. Έτσι παρόλο που βρίσκονται στη θαλάσσια ακτή, μόνο τους καλοκαιρινούς μήνες παρατηρείται υφαλμύριση του νερού τους. Για το λόγο ότι η ποιότητα του νερού των φρεατίων υδροφορέων είναι αρκετά βεβαρημένη κυρίως με νιτρικά, χρησιμοποιούνται μόνο για αρδευτικές ανάγκες.

Οι υδροφορείς που διαμορφώνονται εντός του σχηματισμού των μαργαϊκών ασβεστόλιθων εμφανίζονται νότια των τεταρτογενών αποθέσεων.

Όπως βλέπουμε και από τον παρακάτω πίνακα οι παροχές των γεωτρήσεων είναι σημαντικές και δεν δικαιολογείται η τροφοδοσία τους μόνο από το νερό που κατεισδύει στους μαργαϊκούς ασβεστόλιθους ,δεδομένου ότι η έκταση που καταλαμβάνει είναι αρκετά μικρή ,δεν ξεπερνά τα 2,5 km<sup>2</sup>. [ΙΓΜΕ ,1996]

| ΠΙΝΑΚΑΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΕΝΤΟΣ ΝΕΟΓΕΝΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ |        |         |                          |
|---|--------|---------|--------------------------|
| ΑΡ.ΠΡΩΤ                                       | Δήμος  | Βάθος m | Παροχή m <sup>3</sup> /h |
| Γ477  | Μαλίων | 45      | 50                       |
| Γ478  | Μαλίων | 126     | 40                       |
| Γ479  | Μαλίων | 126     | 40                       |
| Γ480  | Μαλίων | 40      | 30                       |
| Γ481  | Μαλίων | 50      | 60                       |
| Γ482  | Μαλίων | 50      | 40                       |
| Γ483  | Μαλίων | 57      | 70                       |
| Γ484  | Μαλίων | 45      | 30                       |
| Γ485  | Μαλίων | 47      | 60                       |
| Γ486  | Μαλίων | 30      | 60                       |
| Γ487  | Μαλίων | 28      | 25                       |
| Γ488  | Μαλίων | ?       | ?                        |

[ΙΓΜΕ ,1996]



Εντός των Κορημάτων των προνεογενών ανθρακικών σχηματισμών αναπτύσσεται πλούσια υπόγεια υδροφορία. Αρκετές από τις γεωτρήσεις αυτές ανήκουν στο Δήμο Ηρακλείου των οποίων το νερό μεταφέρεται και χρησιμοποιείται για την ύδρευση των κατοίκων του Δήμου

| ΠΙΝΑΚΑΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΕΝΤΟΣ ΚΟΡΗΜΑΤΩΝ |           |         |                          |
|------------------------------------|-----------|---------|--------------------------|
| ΑΡ.ΠΡΩΤ                            | Δήμος     | Βάθος m | Παροχή m <sup>3</sup> /h |
| Γ456                               | Ηρακλείου | 76      | 40                       |
| Γ457                               | Ηρακλείου | 62      | 35                       |
| Γ458                               | Ηρακλείου | 60      | 15                       |
| Γ459                               | Ηρακλείου | 75      | 25                       |
| Γ460                               | Ηρακλείου | 64      | 60                       |
| Γ461                               | Ηρακλείου | 79      | 60                       |
| Γ469                               | Μαλίων    | ?       | 50                       |
| Γ473                               | Μαλίων    | 35      | 60                       |
| Γ474                               | Μαλίων    | 50      | 60                       |
| Γ475                               | Μαλίων    | 85      | 50                       |

[ΙΓΜΕ ,1996]

Όπως βλέπουμε και από τον παρακάτω πίνακα οι γεωτρήσεις που έχουν διανοιχτεί στους Κρητιδικούς ασβεστόλιθους της γεωλογικής ενότητας Τρίπολης παρουσιάζουν σημαντικές παροχές σε σχέση με αυτές που έχουν διανοιχτεί στους Ιουρασικούς ασβεστόλιθους. Και αυτό γιατί τα καρστικά και τεκτονικά διάκενα των ασβεστόλιθων του Ιουρασικού είναι συμπληρωμένα με αργιλικό υλικό.

| ΠΙΝΑΚΑΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΕΝΤΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΩΝ ΙΟΥΡΑΣΙΚΟΥ-ΚΡΗΤΙΔΙΚΟΥ |        |         |                             |                            |
|---|--------|---------|-----------------------------|----------------------------|
| ΑΡ.ΠΡΩΤ   | Δήμος  | Βάθος m | Παροχή<br>m <sup>3</sup> /h | Πέτρωμα                    |
| Γ465  | Μαλίων | 230     | 20                          | Ιουρασικός<br>Ασβεστόλιθος |
| Γ466  | Μαλίων | 200     | 10                          | Ιουρασικός<br>Ασβεστόλιθος |
| Γ467  | Μαλίων | 270     | 15                          | Ιουρασικός<br>Ασβεστόλιθος |
| Γ468  | Μαλίων | 118     | 40                          | Κρητιδικός<br>Ασβεστόλιθος |
| Γ476  | Μαλίων | 120     | 80                          | Κρητιδικός<br>Ασβεστόλιθος |

[ΙΓΜΕ ,1996]

Από άποψη ποιότητας αναφέρουμε ότι στις γεωτρήσεις της λεκάνης Μαλίων τους καλοκαιρινούς μήνες λόγω και της εντατικοποίησης των αντλήσεων παρατηρείται μικρή αύξηση των χλωριόντων.

Το γεγονός όμως ότι στην περιοχή αυτή υπάρχουν πολλές γεωτρήσεις της ΔΕΥΑΗ ,το νερό των οποίων χρησιμοποιείται για την ύδρευση των κατοίκων της πόλης του Ηρακλείου , γίνεται από την ΔΕΥΑΗ ουσιαστικός έλεγχος ,τόσο της παροχής που πρέπει να αντλείται από τις γεωτρήσεις ,όσο και της ποιότητας του νερού ,και έτσι δεν υπάρχουν ουσιαστικά προβλήματα.

Γεγονός είναι πάντως ότι όσον αφορά τη στενή περιοχή της λεκάνης των Μαλίων (μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, κορύμματα) δεν αναμένονται αποθέματα νερού στους υπόγειους υδροφορείς και γι' αυτό δε θεωρούμε σκόπιμη τη διάνοιξη καινούργιων γεωτρήσεων .

Όσον αφορά την ευρύτερη περιοχή που καλύπτεται από Ιουρασικούς ανθρακικούς σχηματισμούς πιστεύουμε ότι υπάρχουν περιθώρια περαιτέρω μελέτης για τον εντοπισμό υπόγειων υδροφορέων ,χρειάζεται όμως ιδιαίτερη προσοχή ,αφού τα καρστικά και τεκτονικά διάκενα του ασβεστόλιθου είναι συμπληρωμένα με αργιλικό υλικό. Ως πιο πιθανό θεωρούμε τις ρηγματογενείς περιοχές και ιδιαίτερα αυτές που λειτουργούν θετικά στην κίνηση του νερού της κατείσδησης στην ευρύτερη περιοχή.

#### 14.5 Πηγές

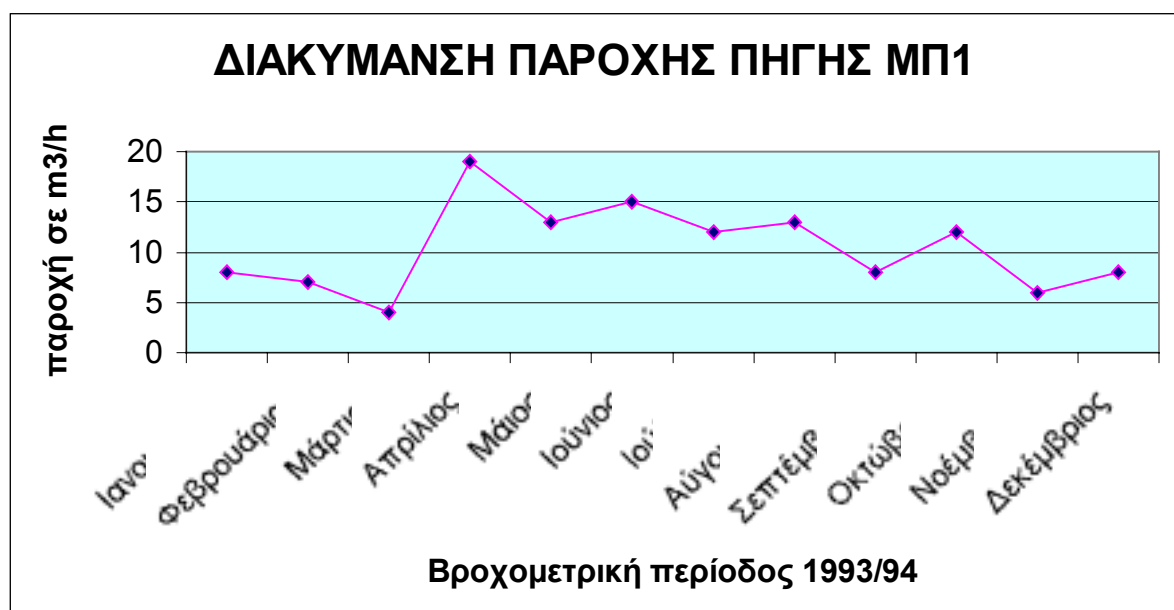
Στην περιοχή μελέτης αναβλύζουν αρκετές πηγές οι περισσότερες των οποίων είναι μικρών παροχών. Οι κυριότερες από αυτές και η διακύμανση της παροχής τους φαίνεται παρακάτω.

##### **ΜΠ1, ΜΠ2, ΜΠ3, ΥΦΑΛΜΥΡΕΣ ΠΗΓΕΣ ΜΑΛΙΩΝ**

Οι υφάλμυρες πηγές Μαλίων τροφοδοτούνται από το νερό της κατείσδησης από τις βροχές ,στους ανθρακικούς σχηματισμούς της Ζώνης Τρίπολης και αναβλύζουν κοντά στην ακτή του κόλπου Μαλίων.

Η πηγή ΜΠ1( Γραμματικάκη) παρουσιάζει μια σταθερή παροχή με μικρές διακυμάνσεις από υγρή σε ξηρή περίοδο. Το νερό της πηγής είναι υφάλμυρο.

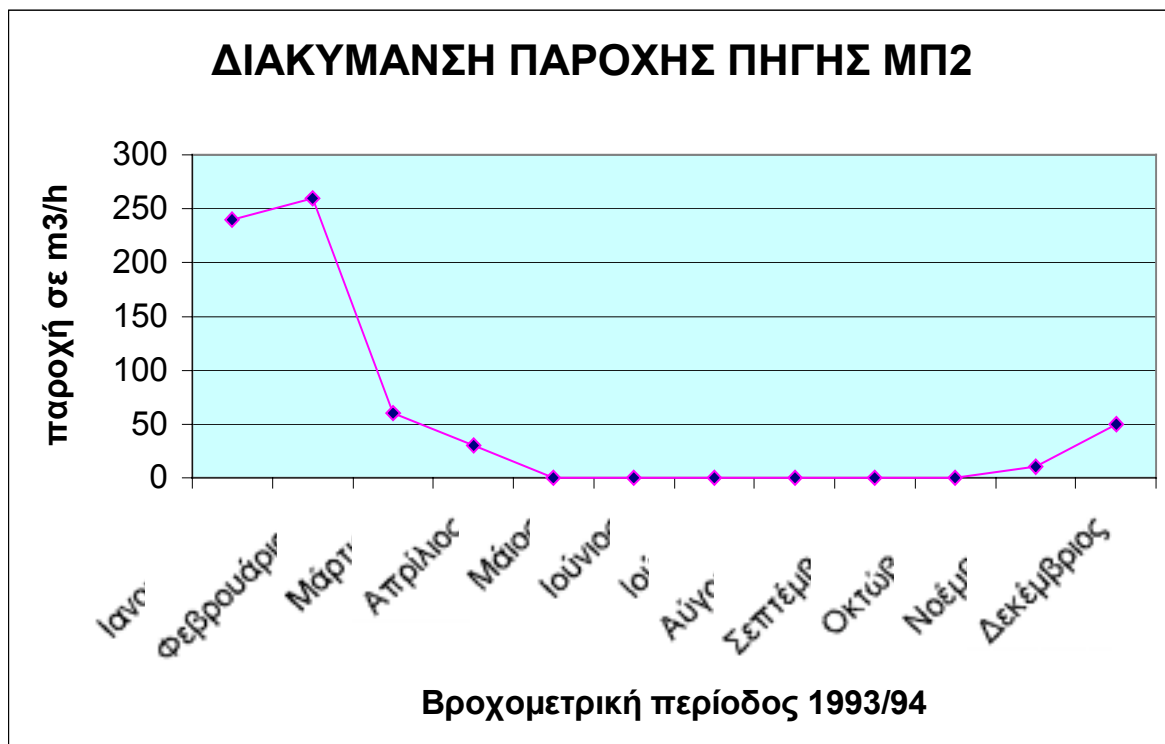
Τα στοιχεία των παροχών που παραθέτουμε είναι από την Υ.Ε.Β Ηρακλείου.



[ΙΓΜΕ ,1996]

Από την πηγή αυτή εκφορτίζονται ετησίως **80.640m<sup>3</sup>** νερό.

Η πηγή **ΜΠ2** (Αλμυρός Μαλίων ) τους χειμερινούς μήνες παρουσιάζει μεγάλες παροχές οι οποίες το καλοκαίρι μηδενίζονται. Όσον αφορά την ποιότητα του νερού αναφέρουμε ότι τα χλωριόντα αυξομειώνονται αντιστρόφως ανάλογα με την παροχή. Τα στοιχεία των παροχών που παραθέτουμε είναι από την Υ.Ε.Β Ηρακλείου.



[ΙΓΜΕ ,1996]

Από την πηγή αυτή εκφορτίζονται ετησίως **468.000m<sup>3</sup>** νερό.

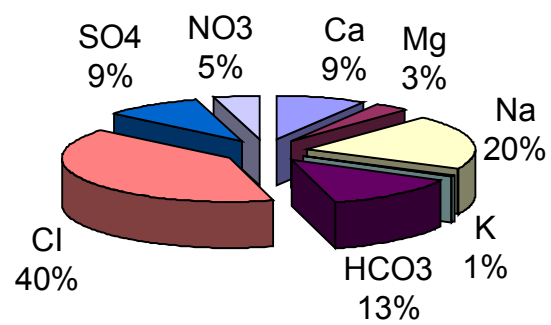
Για την πηγή **ΜΠ3** δεν έχουμε στοιχεία παροχών .

Σημειώνουμε επίσης ότι στην περιοχή Κασταμονίτσας υπάρχει πηγή η οποία αναβλύζει μόνο κατά τις περιόδους που το οροπέδιο Λασιθίου πλημμυρίζει .

Οι πηγές που αναφέραμε πιο πάνω εκφορτίζουν ετησίως περίπου 1.200.000m<sup>3</sup> νερό από αυτό που κατεισδύει στους ανθρακικούς σχηματισμούς της γεωλογικής ενότητας της Τρίπολης.

Το νερό των πηγών των Μαλίων είναι υφάλμυρο. Μικρά προβλήματα παρουσιάζονται τους θερινούς μήνες από την αύξηση των χλωριόντων και αντιμετωπίζονται με τη μείωση της παροχής των αντλήσεων. Η ποιότητα του νερού των φρεάτιων υδροφορέων είναι βεβαρημένη με νιτρικά κυρίως ,το νερό τους όμως χρησιμοποιείται για τοπικές αρδευτικές ανάγκες.

### ΥΦΑΛΜΥΡΟ ΝΕΡΟ ΠΗΓΗΣ ΜΠ2 ΜΑΛΙΩΝ



[ΙΓΜΕ ,1996]

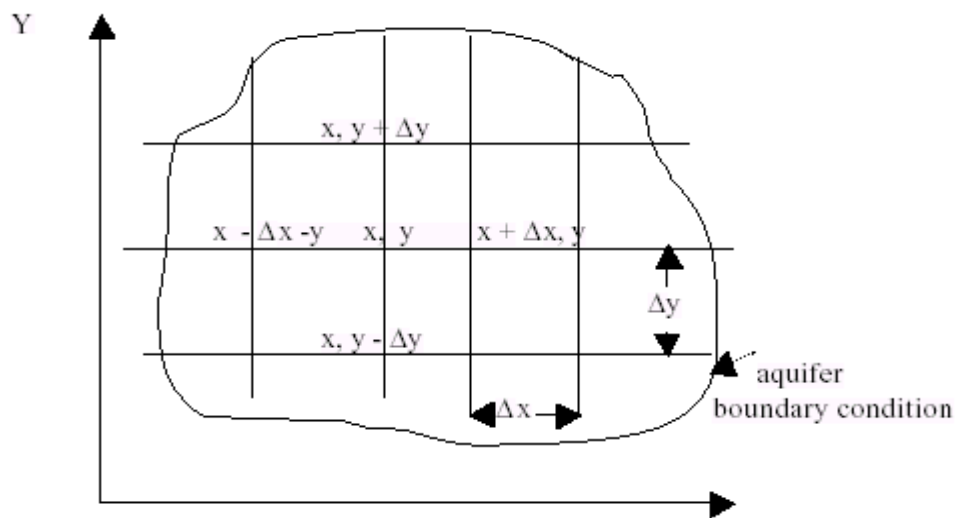
## **15. Μοντέλα προσομοίωσης των υπογείων νερών.**

Η ανάγκη χρήσης αριθμητικών μεθόδων για την προσομοίωση των φυσικών φαινομένων στα οποία κυριαρχούν οι υπόγειες ροές προκύπτει από την αδυναμία των αναλυτικών λύσεων να καλύψουν με αξιοπιστία τα πρακτικά προβλήματα διάφορων εφαρμογών. Οι λόγοι της αδυναμίας αυτής μπορούν να συνοψισθούν στα εξής. α) Δεν είναι δυνατόν να βρεθούν αναλυτικές λύσεις για τις γενικές μορφές των εξισώσεων ροής ιδίως για δισδιάστατα και τρισδιάστατα προβλήματα. β) Δεν είναι δυνατόν να περιγραφούν πεδία ροής με σύνθετη ή ακανόνιστη γεωμετρία ορίων. γ) Είναι πολύ δύσκολο να επιλυθούν σύνθετα προβλήματα όπως έντονη ετερογένεια των παραμέτρων, λειτουργία συστημάτων πηγαδιών κλπ.

Σύμφωνα με τα παραπάνω σκοπός των αριθμητικών μοντέλων προσομοίωσης είναι η μελέτη και η πρόγνωση της εξέλιξης σύνθετων φαινομένων σχετικών με υπόγειες ροές (π.χ. Εκμετάλλευση και διαχείριση υπογείων πόρων, προστασία από την υπαλμύρωση παράκτιων υδροφορέων, υποβιβασμός για αποστράγγιση εδαφών κλπ).

Οι αριθμητικές μέθοδοι προσομοίωσης που χρησιμοποιούν τα μοντέλα είναι η μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών, η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων και η μέθοδος των οριακών στοιχείων. Γενικά ένας αριθμητικός προσομοιωτής μειώνει μια ή περισσότερες μερικές διαφορικές εξισώσεις σε ένα σύνολο αλγεβρικών εξισώσεων, οι οποίες μπορούν να λυθούν για συγκεκριμένες τιμές των εξαρτημένων μεταβλητών.

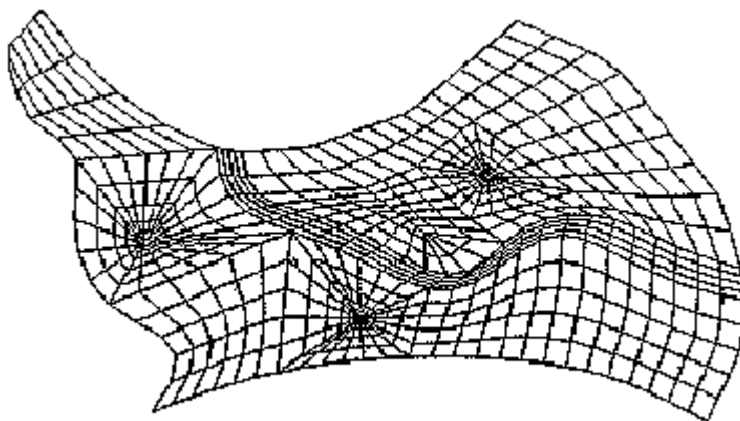
Η μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών είναι η παλαιότερη μέθοδος διακριτοποίησης των διαφορικών εξισώσεων. Στόχος της μεθόδου είναι να μετατραπεί η διαφορική εξίσωση σε εξίσωση διαφορών, δηλαδή αλγεβρική, πράγμα που επιτυγχάνεται με την προσέγγιση των μερικών παραγώγων με όρους διαφορών. [Τσακίρης, Τεχνική Υδρολογία]



Τυπική μορφή πλέγματος πεπερασμένων διαφορών

Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων έχει κάποια πλεονεκτήματα που την καθιστούν πού εύχρηστη και αποτελεσματική. Αναπαριστούνται με φυσικό τρόπο τα ακανόνιστα γεωμετρικά όρια των πεδίων και οι οριακές συνθήκες. Προσομοιώνονται η ακρίβεια, η ετερογένεια, και η ανισοτροπία των πεδίων ροής. Ειδικές περιοχές όπου υπάρχουν ή αναμένονται έντονες μεταβολές του φορτίου προσομοιώνονται με ακρίβεια καθώς είναι πολύ εύκολη η τοπική μόνο πύκνωση των στοιχείων του πλέγματος στις περιοχές αυτές. Για την επίλυση με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων ενός δισδιάστατου προβλήματος υπόγειας ροής διακριτοποιείται το πεδίο με το χωρισμό του σε ένα αριθμό στοιχείων. Τα στοιχεία είναι διάφορα επίπεδα σχήματα τα πιο εύκολα από τα οποία είναι τα τριγωνικά. Μετά την κατασκευή του πλέγματος ακολουθεί η επιλογή μιας συνάρτησης παρεμβολής που περιγράφει τη μεταβολή της εξαρτημένης μεταβλητής σε κάθε στοιχείο σαν συνάρτηση των τιμών της στους κόμβους. Με τη συναρμολόγηση όλων των πεπερασμένων στοιχείων ώστε να δημιουργηθεί το πεδίο ροής γίνεται η αλληλεπίδραση των επιμέρους συναρτήσεων στη συνολική προσέγγιση για όλο το πεδίο.

Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων εφαρμόζεται με επιτυχία τόσο για δισδιάστατα όσο και για τρισδιάστατα στοιχεία. [Τσακίρης, Τεχνική Υδρολογία]



Τυπική μορφή πλέγματος πεπερασμένων στοιχείων

## 16. Περιγραφή του μοντέλου “Argus ONE”

Το μοντέλο Argus Open Numerical Environments (Argus ONE) είναι ένα αριθμητικό μοντέλο προσομοίωσης για την περιγραφή και τη μελέτη των φυσικών συστημάτων και φαινομένων.

Το Argus ONE είναι ένα πρόγραμμα δημιουργίας πλέγματος πεπερασμένων στοιχείων ή πεπερασμένων διαφορών. Μπορεί να περιγράψει με γραφικό τρόπο, εφόσον εισάγουμε κάποια αρχικά δεδομένα, την κίνηση των υπογείων υδάτων και την μετακίνηση των μολυσματικών παραγόντων. Ο σκοπός της χρήσης του μοντέλου είναι να προβλεφθούν οι μακροπρόθεσμες επιδράσεις της κίνησης μολυσματικών παραγόντων και να εξεταστούν οι εναλλακτικές λύσεις υπόγειων νερών για μια συγκεκριμένη περιοχή μελέτης.

Με την εφαρμογή του Argus ONE δίδεται η δυνατότητα στο χρήστη να εισάγει στοιχεία από διαφορετικές πηγές, να ορίσει την περιοχή μελέτης, να δημιουργήσει αυτόματα πλέγματα πεπερασμένων στοιχείων ή πεπερασμένων διαφορών, και να «εισάγει» τα δεδομένα σε κάθε ένα βρόγχο του πλέγματος χωριστά. Επίσης το μοντέλο παρέχει τη δυνατότητα τόσο αριθμητικής όσο και γραφικής απεικόνισης των δεδομένων και των αποτελεσμάτων στον χρήστη. [GES, surface water]

### 16.1 Layers (“φύλλα εργασίας”)

Τα layers μπορούν να χαρακτηριστούν ως διάφανα φύλλα εργασίας μέσω των οποίων ο χρήστης εισάγει, αποθηκεύει, και παίρνει πληροφορίες για τα



διάφορα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης. Παρέχεται η δυνατότητα στο χρήστη, εφόσον έχει εισάγει τις διάφορες πληροφορίες στα διαφορετικά φύλλα εργασίας να διαγράψει ή απλά να κρύψει στοιχεία, να προσθέσει καινούργια, ή να αλλάξει δεδομένα με ένα γραφικό τρόπο. Δηλαδή μπορεί να συνδυάσει γραφικά τις πληροφορίες που υπάρχουν σε κάθε διαφανές φύλλο εργασίας, γραφικά, ανάλογα με το πρόβλημα της περιοχής μελέτης.

Τα βασικά στοιχεία με τα οποία το Argus ONE μπορεί να εφαρμοστεί, τα όρια της περιοχής μελέτης, τους βρόγχους, και το πλέγμα, καθορίζονται από τα layers Domain, Mesh, και Grid αντίστοιχα. Τα άλλα είδη των layers είναι τα Information, Maps και Data.

*Domain Outline:* Είναι το φύλλο εργασίας στο οποίο σημειώνονται τα όρια της περιοχής μελέτης, και πληροφορίες για αυτήν όπως πιθανά ποτάμια, σημειακές πηγές κλπ. Επίσης στο *Domain Outline* ο χρήστης μπορεί να εισάγει την επιθυμητή πυκνότητα του πλέγματος.

*Mesh Layers:* Είναι το φύλλο εργασίας των βρόγχων, όπου ο χρήστης μπορεί να επιλέξει το είδος των βρόγχων (τετράγωνο ή τριγωνικό). Σε κάθε ένα βρόγχο υπάρχουν οι πληροφορίες από άλλα φύλλα πληροφοριών. Για κάθε ένα κόμβο του δικτύου λύνονται χωριστά οι εξισώσεις ροής και στη συνέχεια μετατρέπεται σε σύστημα αλγεβρικών εξισώσεων ως προς το χρόνο.

*Grid Layer :* Στο layer του πλέγματος ο χρήστης μπορεί να εισάγει ή να διαγράψει στήλες ή γραμμές, να αλλάξει το μέγεθος και τη θέση του πλέγματος.

*Information Layers:* Είναι τα φύλλα εργασίας που περιέχουν κάθε είδους πληροφορία που χρειάζεται για την περιοχή μελέτης, όπως τοπογραφικά, γεωγραφικά και υδρογεωλογικά δεδομένα, οριακές συνθήκες κ.α. Τα δεδομένα αυτά μπαίνουν αυτόματα σε κάθε κόμβο.

*Maps Layer :* Στα layers αυτά εισάγουμε ψηφιοποιημένους χάρτες της περιοχής.

Με την εισαγωγή των πληροφοριών στα layers και όχι απευθείας στους κόμβους, υπάρχει συσχέτιση των διαφορετικών πληροφοριών σε κάθε κόμβο, και συσχέτιση μεταξύ όλων των κόμβων για να δημιουργηθεί το πεδίο ροής σε όλο το πεδίο μελέτης.

## 16.2 Βασικές εξισώσεις του PTC

Το Argus ONE κάνει την προσομοίωση της ροής με τον **Princeton Transport Code (PTC)** ο οποίος είναι ένας κώδικας πεπερασμένων στοιχείων/ πεπερασμένων διαφορών που χρησιμοποιεί το παρακάτω σύστημα μερικών διαφορικών εξισώσεων για να περιγράψει την υπόγεια ροή και μεταφορά.

### 1. εξίσωση ταχύτητας

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) - S \frac{\partial h}{\partial t} + Q = 0 \quad (1)$$

### 2. εξίσωση Darcy (ταχύτητες)

$$V_x = - K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x}, \quad V_y = - K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y}, \quad V_z = - K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \quad (2)$$

### 3. εξίσωση μεταφοράς ρυπαντή

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial x} \left( D_{xx} \frac{\partial c}{\partial x} + D_{xy} \frac{\partial c}{\partial y} + D_{xz} \frac{\partial c}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( D_{yx} \frac{\partial c}{\partial x} + D_{yy} \frac{\partial c}{\partial y} + D_{yz} \frac{\partial c}{\partial z} \right) + \\ & \frac{\partial}{\partial z} \left( D_{zx} \frac{\partial c}{\partial x} + D_{zy} \frac{\partial c}{\partial y} + D_{zz} \frac{\partial c}{\partial z} \right) - \left( V_x \frac{\partial c}{\partial x} + V_y \frac{\partial c}{\partial y} + V_z \frac{\partial c}{\partial z} \right) + Q (c^\omega - c) - \\ & \theta [1 + E(c)] \left( \frac{\partial c}{\partial t} \right) = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

Για τη λύση του συστήματος των εξισώσεων ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία: Πρώτα λύνεται η εξίσωση (1) για τα υδραυλικά ύψη, μετά υπολογίζονται οι ταχύτητες  $V_x$ ,  $V_y$ ,  $V_z$  από την εξίσωση (2), και τέλος λύνεται η εξίσωση (3) για τη συγκέντρωση του ρυπαντή  $c$ . [Karatzas, Pinder, 6<sup>th</sup> International Conference on Environmental Science and Technology]

### 16.3 Ροή σε τρεις διαστάσεις του υπόγειου ύδατος

Οι βασικές εξισώσεις που χρησιμοποιούνται από το PTC είναι:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) - S \frac{\partial h}{\partial t} + \sum_{i=1}^r Q_i \delta(x - x_i) \delta(y - y_i) \delta(z - z_i) = 0$$

όπου οι θεμελιώδεις μεταβλητές των μονάδων σημαίνουν μήκος [L], χρόνο [T], και μάζα [M].

$h$  είναι το υδραυλικό ύψος [L]

$K_{xx}$  είναι η υδραυλική αγωγιμότητα στην  $x$  οριζόντια κατεύθυνση [ $L T^{-1}$ ]

$K_{yy}$  είναι η υδραυλική αγωγιμότητα στην  $y$  οριζόντια κατεύθυνση [ $L T^{-1}$ ]

$K_{zz}$  είναι η υδραυλική αγωγιμότητα στην  $z$  κατακόρυφη κατεύθυνση [ $L T^{-1}$ ]

$S$  είναι ο ειδικός συντελεστής αποθηκευτικότητας [ $L^{-1}$ ]

$Q_i$  είναι ο όρος εκροής /κατείσδυσης στην περιοχή  $i$  [ $L^3 T^{-1}$ ]

$V_x$  είναι η συνιστώσα της ταχύτητας στην  $x$  διεύθυνση [ $L T^{-1}$ ]

$V_y$  είναι η συνιστώσα της ταχύτητας στην  $y$  διεύθυνση [ $L T^{-1}$ ]

$V_z$  είναι η συνιστώσα της ταχύτητας στην  $z$  διεύθυνση [ $L T^{-1}$ ]

$\delta()$  είναι η Dirac δέλτα συνάρτηση

$r$  είναι ο αριθμός των σημείων εκροής/ κατείσδυσης

### 16.4 Μεταφορά μάζας σε τρεις διαστάσεις του υπόγειου ύδατος

Οι βασικές εξισώσεις που χρησιμοποιούνται από το PTC είναι:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial x} \left( D_{xx} \frac{\partial c}{\partial x} + D_{xy} \frac{\partial c}{\partial y} + D_{xz} \frac{\partial c}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( D_{yx} \frac{\partial c}{\partial x} + D_{yy} \frac{\partial c}{\partial y} + D_{yz} \frac{\partial c}{\partial z} \right) + \\ & \frac{\partial}{\partial z} \left( D_{zx} \frac{\partial c}{\partial x} + D_{zy} \frac{\partial c}{\partial y} + D_{zz} \frac{\partial c}{\partial z} \right) - \left( V_x \frac{\partial c}{\partial x} + V_y \frac{\partial c}{\partial y} + V_z \frac{\partial c}{\partial z} \right) + Q (c^w - c) - \\ & \theta [1 + E(c)] \left( \frac{\partial c}{\partial t} \right) = 0 \end{aligned}$$

όπου:

$$D_{xx} = (a_L V_x^2 + a_T V_y^2 + a_v V_z^2) / V + D_M$$

$$D_{yy} = (a_T V_x^2 + a_L V_y^2 + a_v V_z^2) / V + D_M$$

$$D_{zz} = (a_v V_x^2 + a_v V_y^2 + a_L V_z^2) / V + D_M$$

$$D_{yx} = D_{xy} = (a_L - a_T) V_x V_y / V$$

$$D_{yz} = D_{zy} = (a_L - a_v) V_y V_z / V$$

$$D_{zx} = D_{xz} = (a_L - a_v) V_z V_x / V$$

Όπου:

$D_M$  είναι ο μοριακός συντελεστής διάχυσης [ $L^2/T$ ]

$a_L$  είναι η διαμήκης διασπορά [ $L$ ]

$a_T$  είναι η κατά πλάτος διασπορά [ $L$ ]

$a_v$  είναι η κατακόρυφη εγκάρσια διασπορά [ $L$ ]

$V$  είναι το μέγεθος του διανύσματος της ταχύτητας [ $L/T$ ]

$c$  είναι η χημική συγκέντρωση στο σημείο  $(x,y,z)$  τη χρονική στιγμή  $t$  [ $M/L^3$ ]

$\theta$  πορώδες (αδιάστατο)

$E(c)$  είναι ο όρος που αντιπροσωπεύει ιδιότητες χημικής προσρόφησης

$Q$  είναι η ισχύς της άντλησης [ $T^{-1}$ ]

$Q_i$  είναι ο ογκομετρικός ρυθμός έκχυσης /εκκένωσης [ $L^3/T$ ]

$c^\omega$  η συγκέντρωση του αντλούμενου υγρού στο σημείο  $(x_i, y_i, z_i)$

## 17. Χρήση του Argus ONE για τη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης

### **Βήμα 1**

Δημιουργούμε ένα νέο PTC project από το menu/PIEs/New PTC Project (figure1).

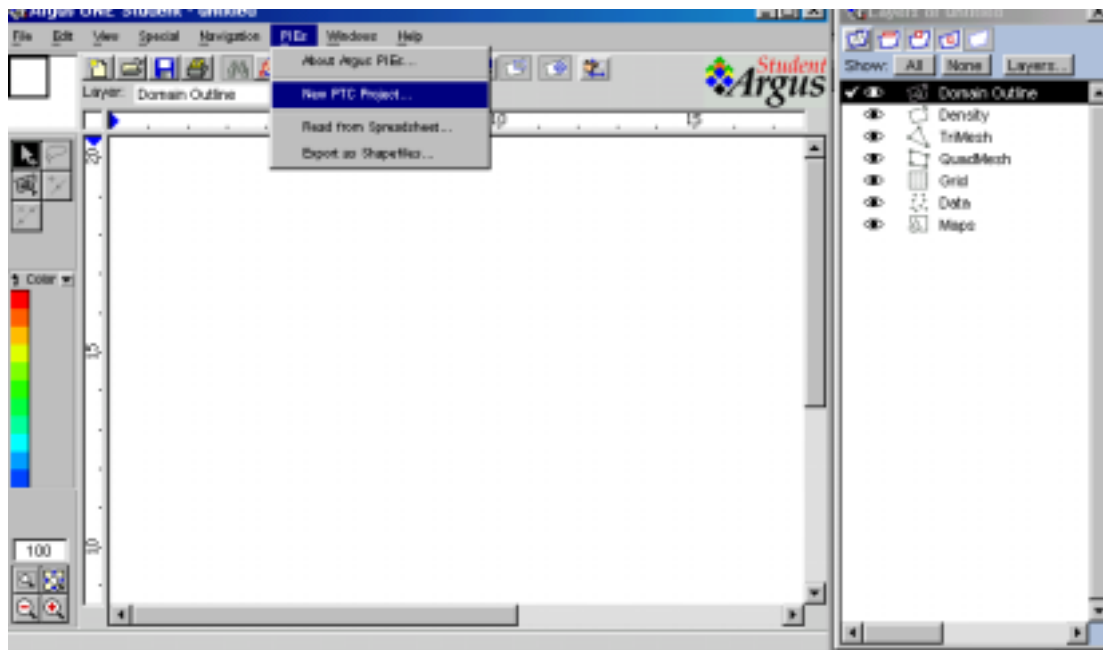


figure 1

### **Βήμα 2**

Στο παράθυρο διαλόγου PTC Configuration καθορίζουμε:

Γενικές μεταβλητές (general) (figure 2)

- Mesh type / triangular (είδος πλέγματος τριγωνικό διότι είναι και το πιο εύχρηστο).
- Molecular diffusion =0.000008 (συντελεστής μοριακής διάχυσης για τα νιτρικά)
- Use water table (διότι ο υδροφορέας της περιοχής μας είναι ελεύθερος)
- Καθορίζουμε τη διαφορά των διαδοχικών χρονικών βημάτων ροής να είναι μικρότερη ή ίση με 0,001
- Στο output control επιλέγουμε όλα τα echo (για να έχουμε καλύτερο έλεγχο του output)

Stresses (figure 3)

- Total number of time steps =360 (χρονικά βήματα)
- No. of flow time step reset =20 (κάθε 20 χρονικά βήματα ορίζουμε να γίνεται επαναρίθμηση του μοντέλου)
- No. of flow time steps no- change= 1
- No. of conc. time steps per flow =2 (αριθμός χρονικών βημάτων ανά ροή)

- Time-step multiplier =1
- Total time= 180 (συνολικός χρόνος για να τρέξει το πρόγραμμα 180 ημέρες)
- Time step of first flow output =360 (το πρώτο output της ροής θα είναι μετά το 360<sup>ο</sup> χρονικό βήμα)
- Output period flow=360 (θα μας δίδονται output ροής ανά 360 χρονικά βήματα)
- Time step of first conc. output =720 (το πρώτο output της μεταφοράς του ρύπου θα είναι μετά το 720<sup>ο</sup> χρονικό βήμα)
- Output period conc. =720 (θα μας δίδονται output μεταφοράς ρύπου ανά 720 χρονικά βήματα)

Στο στάδιο που είμαστε τώρα θέλουμε το μοντέλο να υπολογίσει μόνο την ροή και την διατήρηση της μάζας ,επομένως δεν επιλέγουμε τα “do velocity” και “do transport”.

Για να αποθηκευθούν οι αλλαγές μας κάνουμε click στο “Modify”.

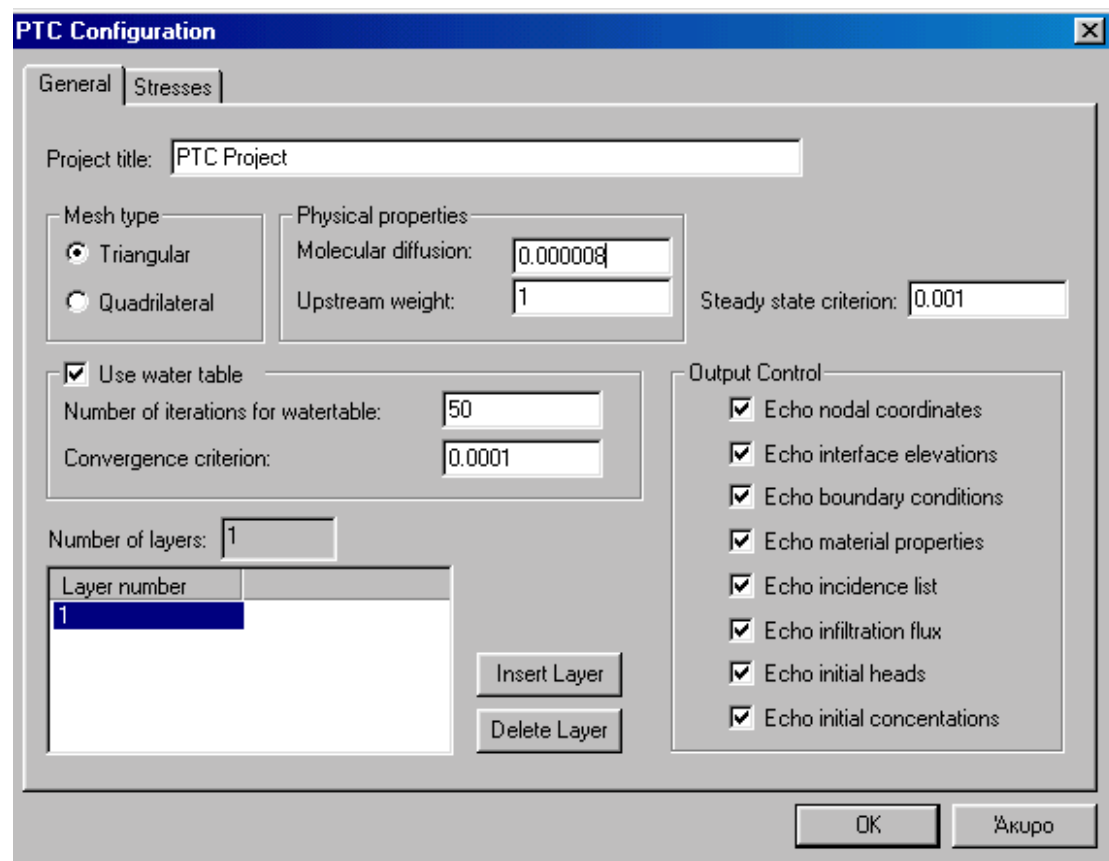


figure 2

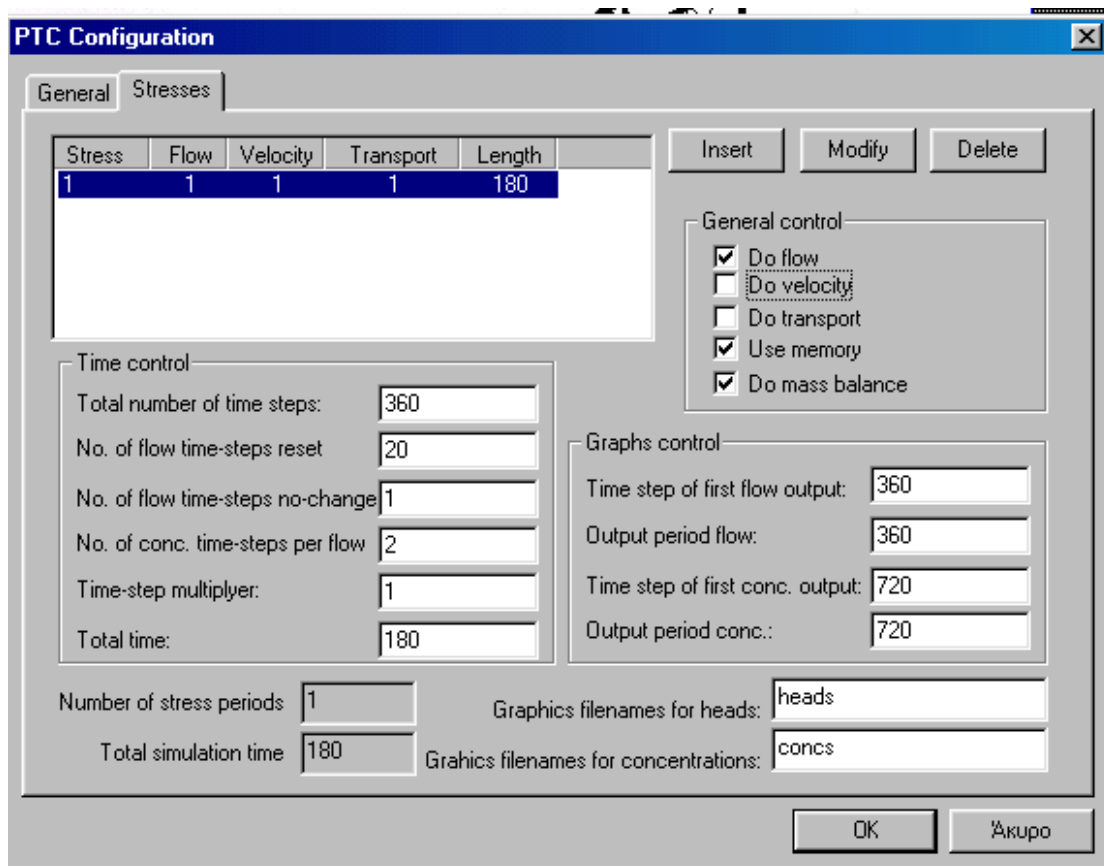


figure 3

### Βήμα 3

#### Εισαγωγή χάρτη περιοχής μελέτης

- Ενεργοποίηση του layer "Maps"
- Εισάγουμε το χάρτη από το μενού File/ place image και επιλέγουμε το χάρτη που θέλουμε
- Στο παράθυρο που μας ανοίγει μετά την εισαγωγή του χάρτη "Import out of drawing size" επιλέγουμε "fit only the imported objects"
- Επιλέγουμε από το μενού special / scale and units "label unit as m" και έτσι για μονάδα μέτρησης μήκους χρησιμοποιούμε τα μέτρα. (figure 4)
- Φτιάχνουμε την κλίμακα στο χάρτη (figure 5 και 6)

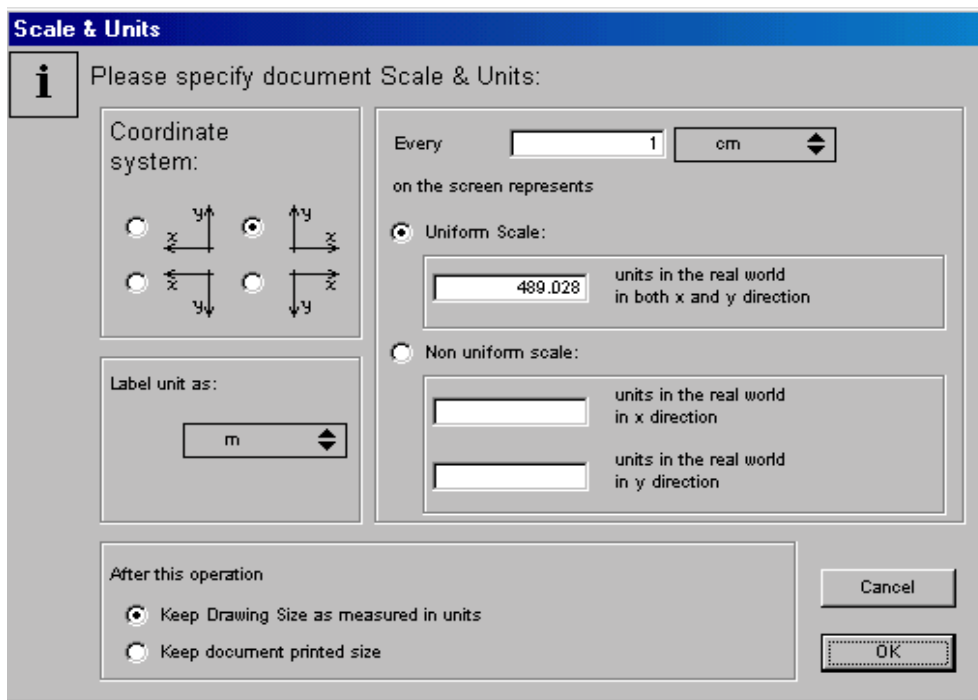


figure 4

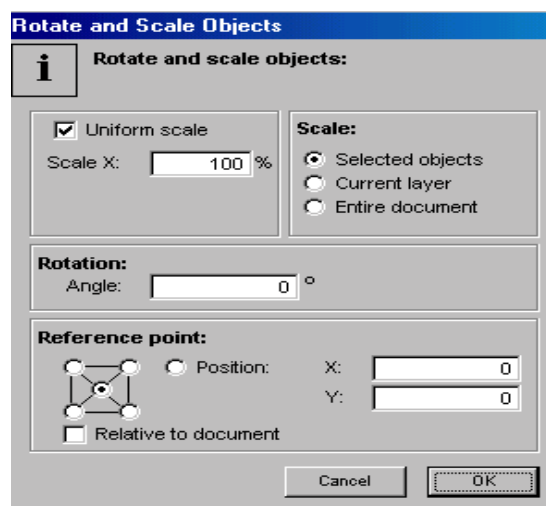


figure 5

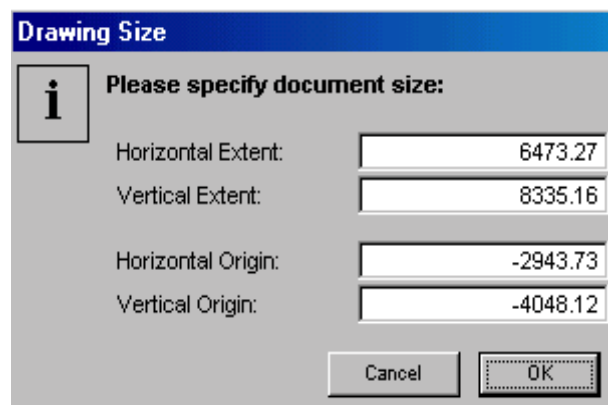


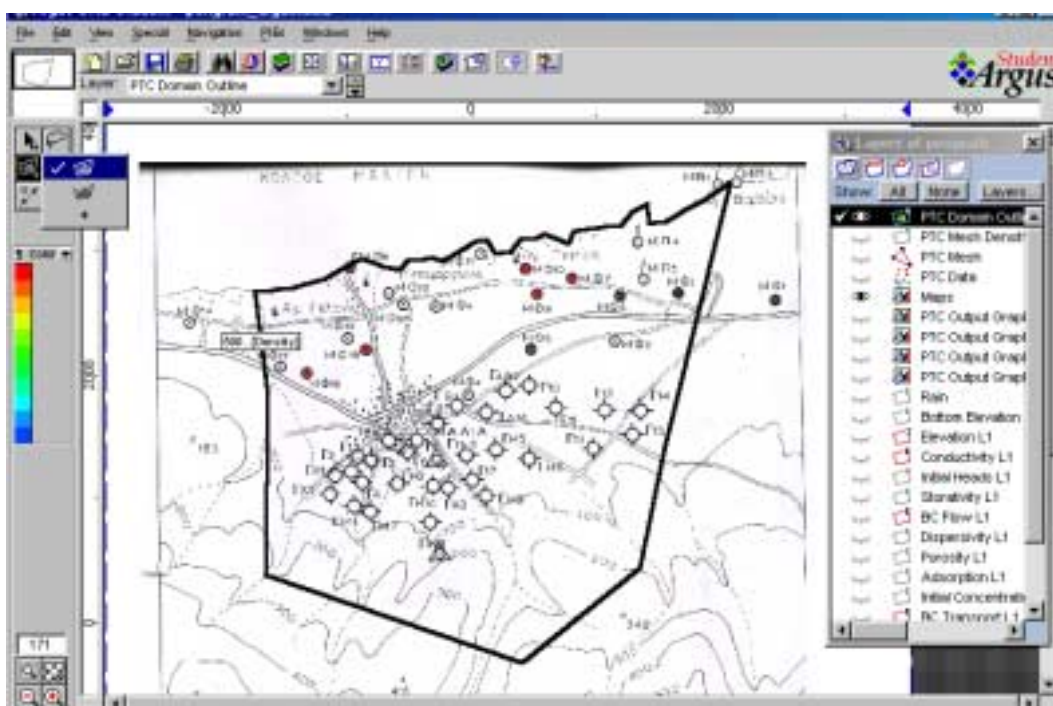
figure 6



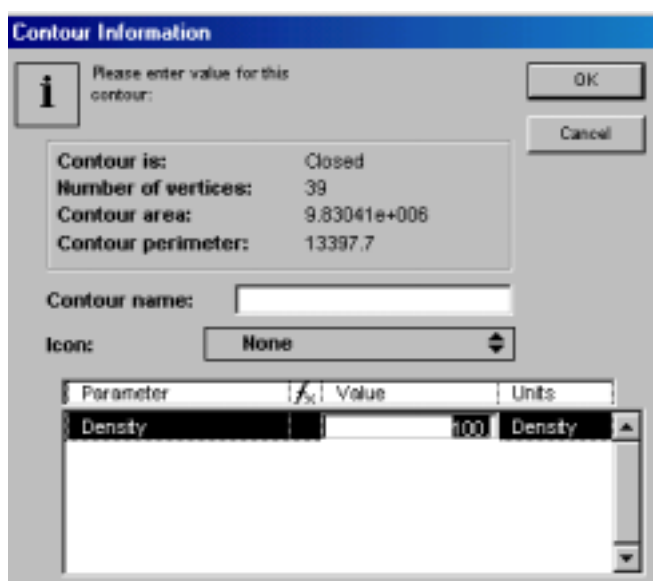
## Βήμα 4

### Περίγραμμα περιοχής μελέτης

- Ανοίγουμε το layer PTC Domain Outliner
- Κάνουμε το περίγραμμα της περιοχής που θέλουμε (figure 7)
- Όταν κλείσουμε το περίγραμμα ζητείται να εισάγουμε μια αρχική τιμή της πυκνότητας του πλέγματος. Αρχικά επιλέγουμε Density=500.(Figure 8). Μετά που θα τρέξει το πρόγραμμα αν θέλουμε το πλέγμα να είναι πιο πυκνό και να αποτελείται από περισσότερα στοιχεία ή πιο αραιό μπορούμε να μειώσουμε ή να αυξήσουμε αντίστοιχα την τιμή αυτή.



(figure 7)



(figure 8)

## ΒΗΜΑ 5

Εισαγωγή γεωτρήσεων και Οριακές συνθήκες.

Το PTC διαθέτει τρία είδη οριακών συνθηκών. Πρώτου είδους (ή οριακές συνθήκες συγκεκριμένου ύψους) ,δεύτερου είδους (ή οριακές συνθήκες συγκεκριμένης ροής) και τρίτου είδους (ροής εξαρτώμενης απ' το υδραυλικό ύψος).

Πρώτου είδους συνθήκη: Τα όρια συγκεκριμένου ύψους προσομοιώνονται θέτοντας τα υδραυλικά ύψη στους σχετικούς οριακούς κόμβους ίσα με τις τιμές των γνωστών υδραυλικών τιμών. Όταν το όριο είναι ένας ποταμός , το υδραυλικό ύψος θεωρείται σταθερό για συγκεκριμένη χρονική περίοδο.

Εάν έχουμε θάλασσα ή λίμνη το όριο περιγράφεται από συνθήκες σταθερού υδραυλικού ύψους.

Δεύτερου είδους συνθήκη: Οι οριακές συνθήκες συγκεκριμένης ροής προσομοιώνονται με τη χρησιμοποίηση της παροχής των γεωτρήσεων άντλησης.

Οριακές συνθήκες στην συγκεκριμένη περιοχή μελέτης:

Βόρεια της περιοχής μελέτης βρίσκεται το Κρητικό Πέλαγος. Επομένως κατά μήκος της ακτής έχουμε πρώτου είδους οριακή συνθήκη με υδραυλικό ύψος μηδέν (με επίπεδο αναφοράς την επιφάνεια της θάλασσας) .

Πρέπει να σημειώσουμε σ' αυτό το σημείο ότι θεωρούμε ως επίπεδο αναφοράς 65 m κάτω απ' το επίπεδο της θάλασσας (στο σημείο αυτό είναι το υδραυλικό ύψος της βαθύτερης γεώτρησης από αυτές που έχουμε στοιχεία) και το θεωρούμε σαν το πάχος της κορεσμένης ζώνης του υδροφορέα. Επομένως στο πρόγραμμα εισάγουμε για την ακτή πρώτου είδους οριακή συνθήκη ,και ίση με 65.

Για τις υπόλοιπες οριακές συνθήκες με βάση τα ελάχιστα υπάρχοντα στοιχεία προσδιορίζουμε τα παρακάτω. Θέτουμε συνθήκες 2<sup>ου</sup> είδους οι οποίες για περιοχή (και όχι για σημειακή πηγή) εκφράζουν παροχή ανά μονάδα μήκους [ $L^2T^{-1}$ ] ( $m^2/day\ m$ ). Στο ανατολικό και δυτικό όριο της περιοχής μελέτης βάζουμε τιμές παροχής ανά μονάδα μήκους από 0,1-0,5 τιμές που θεωρούνται χαμηλές και αυτό γιατί από εκείνες τις πλευρές δεν αναμένουμε μεγάλη τροφοδοσία των υπόγειων υδροφορέων , λόγω του ότι είναι πολύ κοντά σε παράκτια περιοχή και λόγω του γεωλογικού τους υπόβαθρου. Στο

νοτιοανατολικό και νοτιοδυτικό όριο με βάση τα υπάρχοντα στοιχεία εκτιμήθηκαν οριακές συνθήκες δευτέρου είδους και παροχής ανά μονάδα μήκους 100 και 800 αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές είναι πολύ μεγάλες σε σχέση με τα υπόλοιπα όρια και αυτό γιατί στο νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης υπάρχει ο ορεινός όγκος της Δίκτης και το νερό της βροχής που κατεισδύει στους ανθρακικούς σχηματισμούς τροφοδοτεί τις περιμετρικά αναβλύζουσες πηγές και υπόγειες υδροφορίες στα κράσπεδά του. Επομένως περιμένουμε μεγάλες παροχές ανά μονάδα μήκους σε εκείνο το όριο.

Για να εισάγουμε τις τιμές των οριακών συνθηκών στο πρόγραμμα:

- Εργαζόμαστε στο layer “BC Flow L1”
- Επιλέγουμε κλειστό contour από τη γραμμή εργαλείων και σημειώνουμε την περιοχή που θέλουμε να εισάγουμε την οριακή συνθήκη (Figure 9)
- Όταν κλείσει το contour ανοίγει παράθυρο στο οποίο επιλέγουμε BC Type 1 or 2 (είδος οριακής συνθήκης 1 ή 2) και εισάγουμε την τιμή. Επίσης μπορούμε να δώσουμε όνομα στο κάθε contour και να το παραστήσουμε γραφικά με κάποια εικόνα (Figure 10)

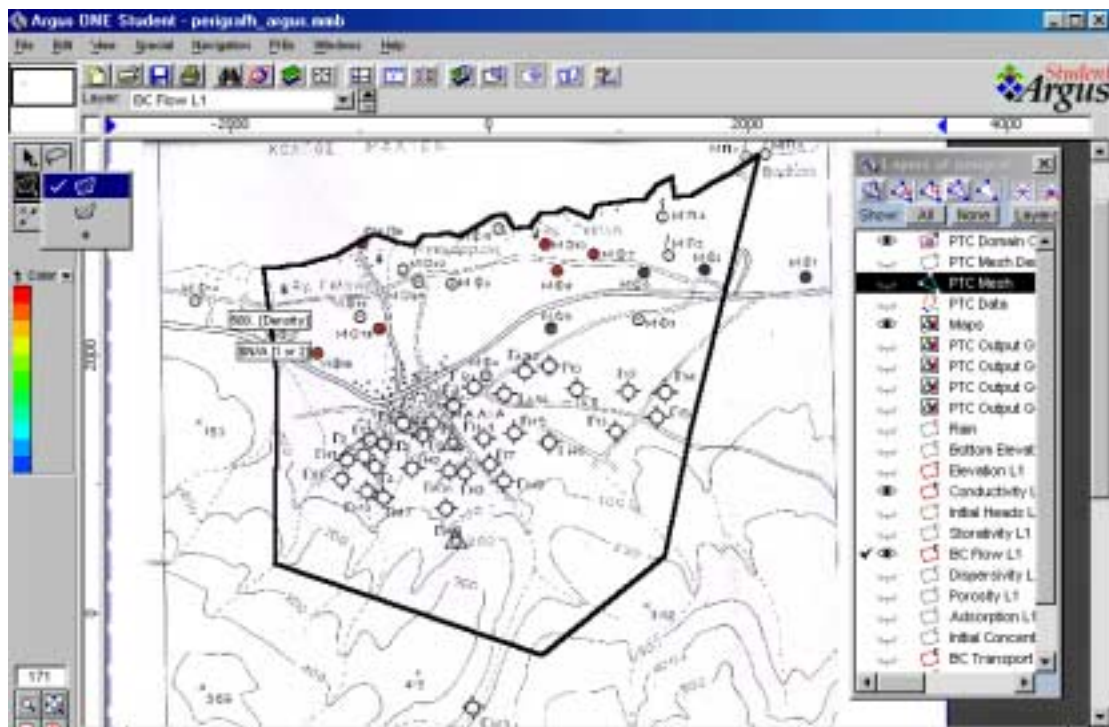


Figure 9

**Contour Information**

Please enter v contour:

Contour is:  
Number of vert  
Contour area:  
Contour perim

Contour name:

Icon:

Well  
Sink  
Source  
Observation  
Pumping  
Disposal Site  
Dump Site  
Contamination Source  
**Head**  
Transient

Parameter

BC Type L1  
BC Stress1  
BC Stress2

Units  
or 2

65  
65

OK  
Cancel

Figure 10

Για τις γεωτρήσεις που έχουν ανοιχτεί στην περιοχή μελέτης χρησιμοποιούμε οριακή συνθήκη 2<sup>ου</sup> είδους, η οποία εκφράζει την παροχή σε κάθε γεώτρηση. Οι γεωτρήσεις που υπάρχουν στην περιοχή μελέτης και η παροχή τους φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί.

| Αρ.τρ | Παροχή m3/h | Παροχή m3/day |
|-------|-------------|---------------|
| Γ384  | 90          | 2160          |
| Γ385  | 40          | 960           |
| Γ383  | 30          | 720           |
| Γ456  | 40          | 960           |
| Γ457  | 35          | 840           |
| Γ458  | 15          | 360           |
| Γ459  | 25          | 600           |
| Γ460  | 60          | 1440          |
| Γ461  | 60          | 1440          |
| Γ462  | 110         | 2640          |
| Γ464  | 50          | 1200          |
| Γ465  | 20          | 480           |
| Γ466  | 10          | 240           |
| Γ467  | 15          | 360           |
| Γ468  | 40          | 960           |
| Γ470  | 50          | 1200          |
| Γ472  | 35          | 840           |
| Γ473  | 60          | 1440          |
| Γ474  | 60          | 1440          |
| Γ475  | 50          | 1200          |
| Γ476  | 80          | 1920          |
| Γ477  | 50          | 1200          |

Για να εισάγουμε την παροχή κάθε γεώτρησης στις οριακές συνθήκες πρέπει να την μετατρέψουμε σε  $\text{m}^3/\text{day}$ . Επίσης επειδή αυτές οι γεωτρήσεις είναι για ύδρευση ή άρδευση, επομένως αντλούν νερό από τον υδροφορέα, κατά την εισαγωγή των παροχών τους θα βάλουμε αρνητικό πρόσημο που σημαίνει εκφόρτιση.

#### Εισαγωγή των γεωτρήσεων:

- Εργαζόμαστε στο layer “BC Flow L1”
- Επιλέγουμε σημειακό contour από τη γραμμή εργαλείων και σημειώνουμε το σημείο που είναι η γεώτρηση στην περιοχή μελέτης. (Figure 11)
- Όταν εισάγουμε την γεώτρηση ανοίγει παράθυρο στο οποίο επιλέγουμε BC Type 2 και εισάγουμε την τιμή της παροχής σε  $\text{m}^3/\text{day}$  και με αρνητικό πρόσημο. Επίσης γράφουμε τον αριθμό της κάθε γεώτρησης (Figure 12).
- Αφού εισάγουμε όλες τις γεωτρήσεις στο layer BC Flow, κάνουμε copy των γεωτρήσεων και paste στα layers PTC Domain Outline και PTC Mesh.

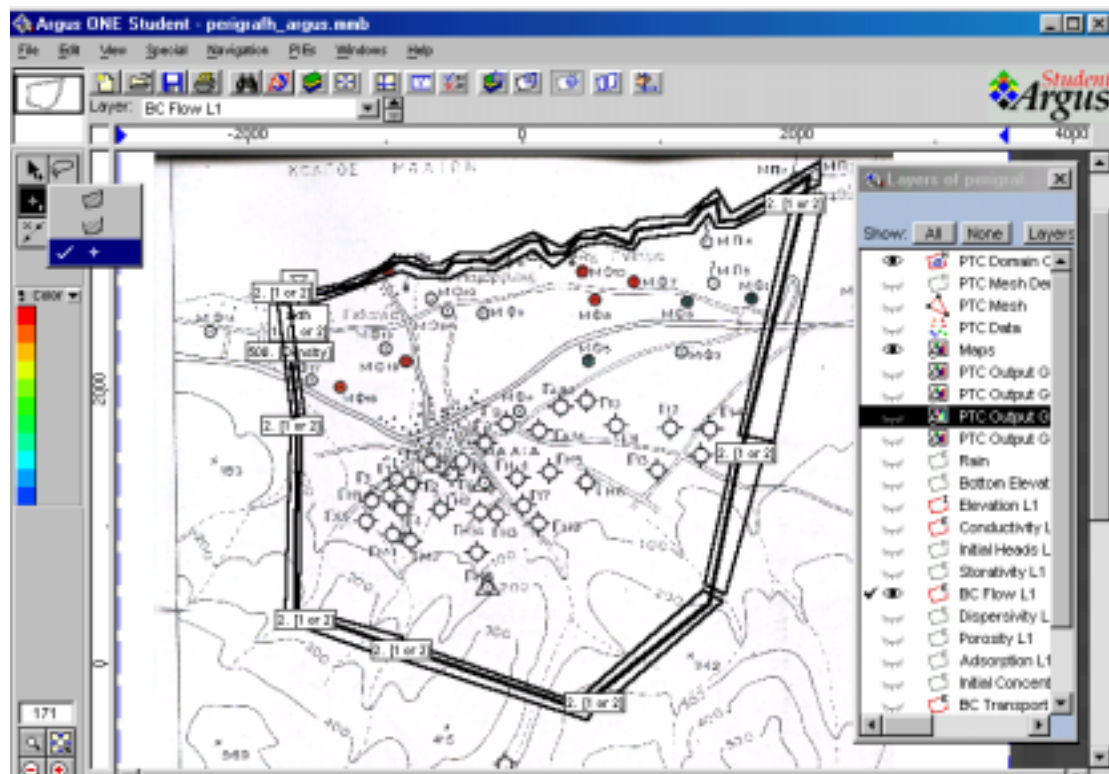


Figure 11

**Contour Information**

Please enter value for this contour:

OK Cancel

Contour is: One point  
 Number of vertices: 1  
 Contour area: 0  
 Contour length: 0

Contour name: 461

Icon: Source

| Parameter  | Value | Units  |
|------------|-------|--------|
| BC Type L1 | 2     | 1 or 2 |
| BC Stress1 | -1440 |        |

Figure 12

## **BHMA 6**

Στη συνέχεια καθορίζονται ανά layer στο μοντέλο άλλες μεταβλητές που είναι απαραίτητες για την εφαρμογή του και ισχύουν για όλο το εύρος της περιοχής μελέτης.

- Στο layer “Conductivity” εισάγουμε την υδραυλική αγωγιμότητα της περιοχής. Χωρίζουμε την περιοχή σε υποπεριοχές ανάλογα με τους γεωλογικούς σχηματισμούς και ορίζουμε συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας για κάθε υποπεριοχή σε m/day. Την συγκεκριμένη περιοχή την χωρίσαμε σε 2 υποπεριοχές.

Στο βόρειο τμήμα όπου στο γεωλογικό υπόβαθρο υπάρχουν άμμοι ακτών και θαλάσσιες αναβαθμίδες. Βιβλιογραφικά βρήκαμε ότι ο συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας είναι  $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ m/sec} = 216 \text{ m/day}$ . Επιλέγοντας close contour από την γραμμή εργαλείων κλείνουμε την υποπεριοχή και εισάγουμε : στους άξονες x και y την τιμή 216 m/day και στον άξονα z 21,6 m/day (θεωρούμε ότι στον άξονα z η υδραυλική αγωγιμότητα είναι 10 φορές μικρότερη) (Figure 13).

Στο νότιο τμήμα όπου στο γεωλογικό υπόβαθρο κυριαρχούν ασβεστόλιθοι η υδραυλική αγωγιμότητα ισούται με  $2,5 \cdot 10^{-4} \text{ m/sec} = 21,6 \text{ m/day}$  για τον x και y άξονα, και 2,16 m/day στον z άξονα.

**Contour Information**

Please enter value for this contour:

**Contour is:** Closed  
**Number of vertices:** 49  
**Contour area:** 2.49362e+006  
**Contour perimeter:** 9367.73

**Contour name:**

**Icon:** **None**

| Set                                 | Parameter        | Value | Units |
|-------------------------------------|------------------|-------|-------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | xConductivity L1 | 216   | [L/M] |
| <input checked="" type="checkbox"/> | yConductivity L1 | 216   | [L/M] |
| <input checked="" type="checkbox"/> | zConductivity L1 | 21    | [L/M] |

Buttons: OK, Cancel, Set All, All, None

Figure 13

- Στο layer "Bottom Elevation" εισάγουμε τον πυθμένα του εδαφικού στρώματος ο οποίος για όλο το εύρος της περιοχής μελέτης θεωρείται μηδέν.
- Το layer "elevation" καθορίζει το «ανάγλυφο» της περιοχής. Επιλέγω open contour απ' τη γραμμή εργαλείων και χαράζω τις ισοϋψείς που περνάνε απ' την περιοχή μελέτης. Στην συγκεκριμένη περιοχή περνάνε οι ισοϋψείς των 100, 200, και 300m. Όμως όπως είπαμε ορίσαμε ως επίπεδο αναφοράς 65m κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Επομένως σε κάθε ισοϋψή θα εισάγουμε 165, 265, 365 m αντίστοιχα. Για την ακτή που έχουμε ύψος μηδέν κατά μήκος της ακτογραμμής θα βάλουμε ύψος 65m. Τέλος για την κάθε γεώτρηση εισάγουμε το απόλυτο υψόμετρο στο οποίο βρίσκεται συν 65 μέτρα.
- Στο layer "Porosity" για όλο το εύρος της περιοχής μελέτης εισάγω την τιμή 0,4 (40%).



## **ΒΗΜΑ 7**

Δημιουργία πλέγματος.

- Ενεργοποίηση του Layer “PTC Mesh”
- Επιλέγουμε το Magic Wand από τη γραμμή εργαλείων και δημιουργούμε το πλέγμα (figure 14)

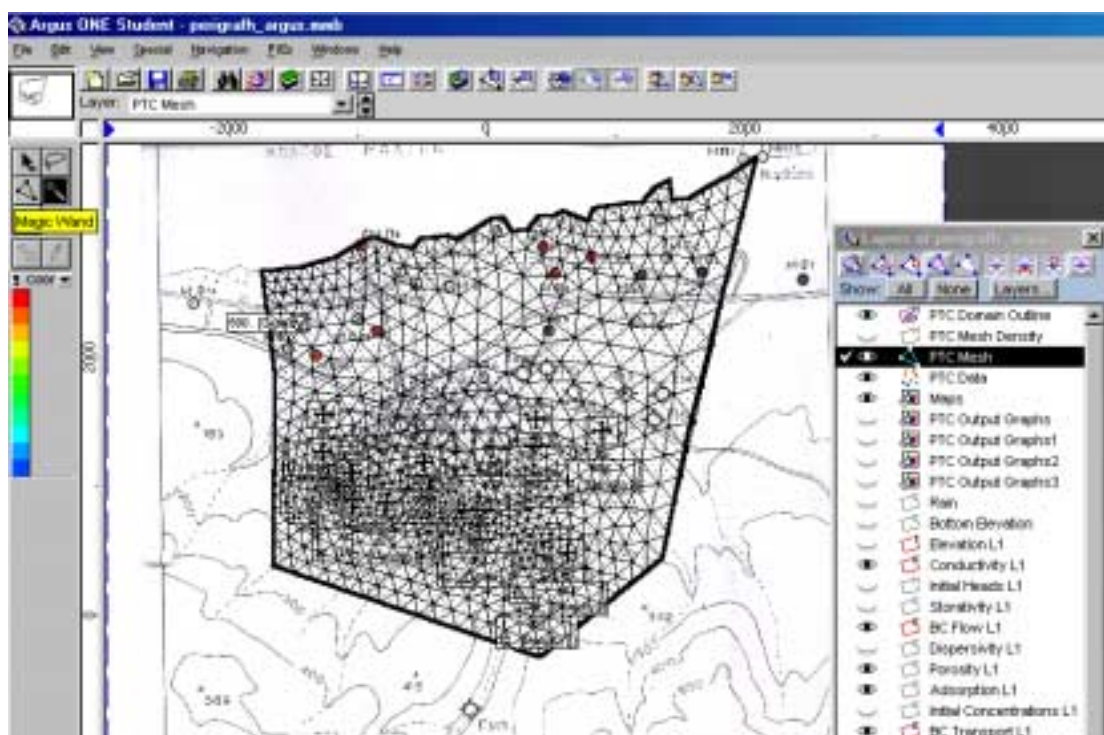


figure 14

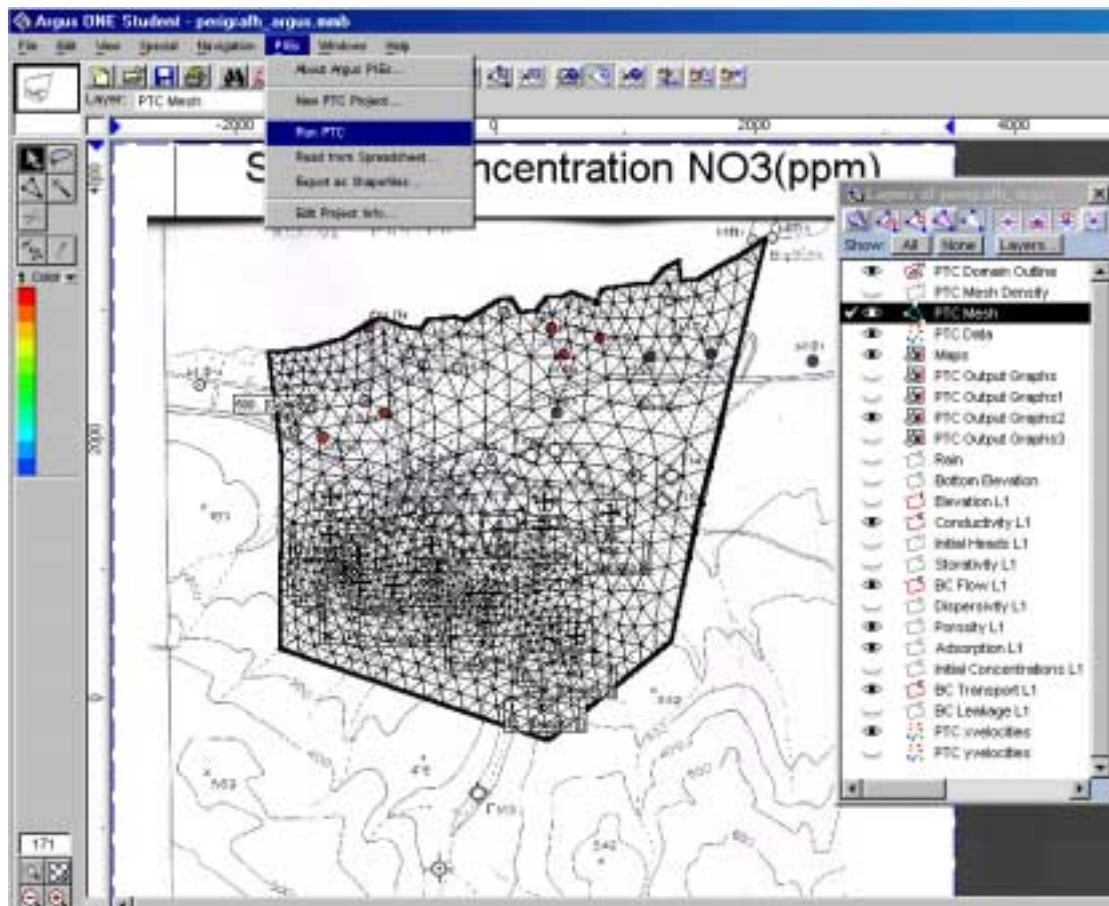
## **ΒΗΜΑ 8**

Αφού έχουμε περάσει στα κατάλληλα layers όλες τις γενικές μεταβλητές και τις μεταβλητές που αφορούν τις συνθήκες ροής τρέχουμε το PTC μέσω του Argus ONE .

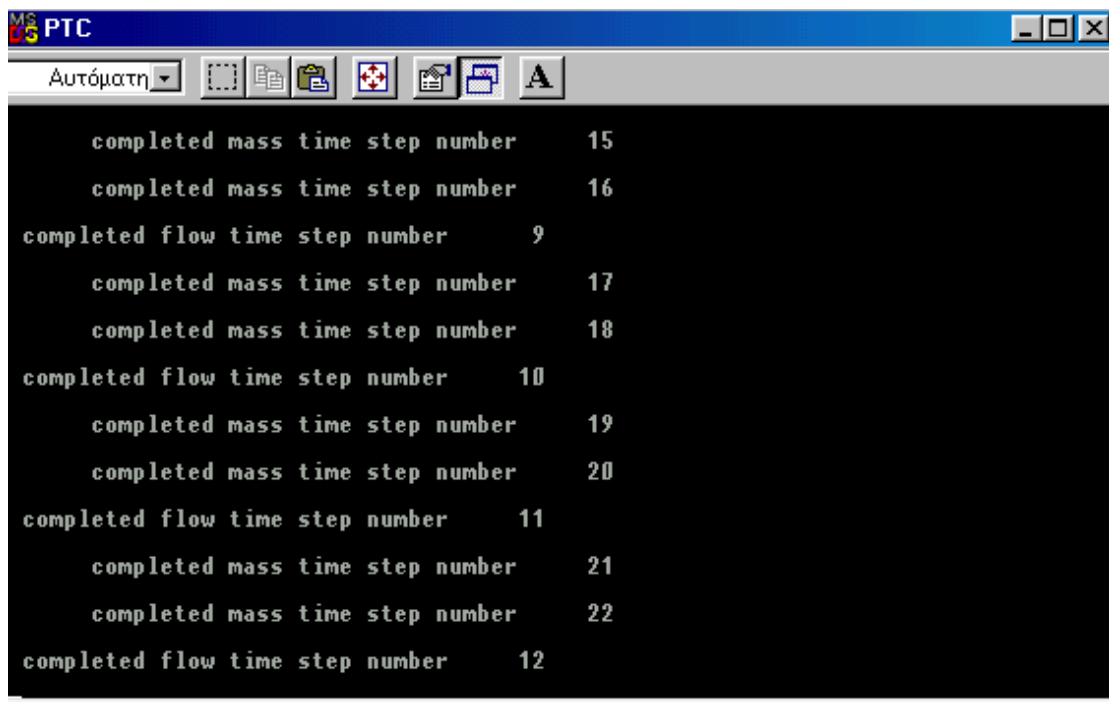
- Ενεργοποιούμε το layer “PTC Mesh”
- Από το κύριο μενού επιλέγουμε PTEs/Run PTC (Figure 15)
- Επιλέγουμε το φάκελο στον οποίο θέλουμε να εμφανίσει τα αποτελέσματα και ανοίγει ένα παράθυρο DOS (Figure 16)

Έτσι τρέχει το PTC και τα αποτελέσματα μας τα βγάζει στο φάκελο που επιλέξαμε.





(Figure 15)



(Figure 16)

## ΒΗΜΑ 9

Γραφική εμφάνιση αποτελεσμάτων. Αφού τρέξαμε το PTC :

- Ενεργοποιούμε το layer “PTC Data”
- Από το κύριο μενού επιλέγουμε File/Import PTC Data/Text File
- Ανοίγει παράθυρο “Import Data”. Στο “specify the type of data to import” επιλέγουμε “Mesh Data” και.. “read triangulation from layer” (Figure 17).
- Ανοίγει παράθυρο “choose file to import” επιλέγουμε all files(\*.\*)
- Έτσι φαίνονται όλα τα αρχεία που περιέχει ο φάκελος που έτρεξε το PTC και επιλέγουμε το αρχείο “PTC\_Mesh\_Heads\_s1.fin” για τα τελικά υδραυλικά ύψη (Figure 18).

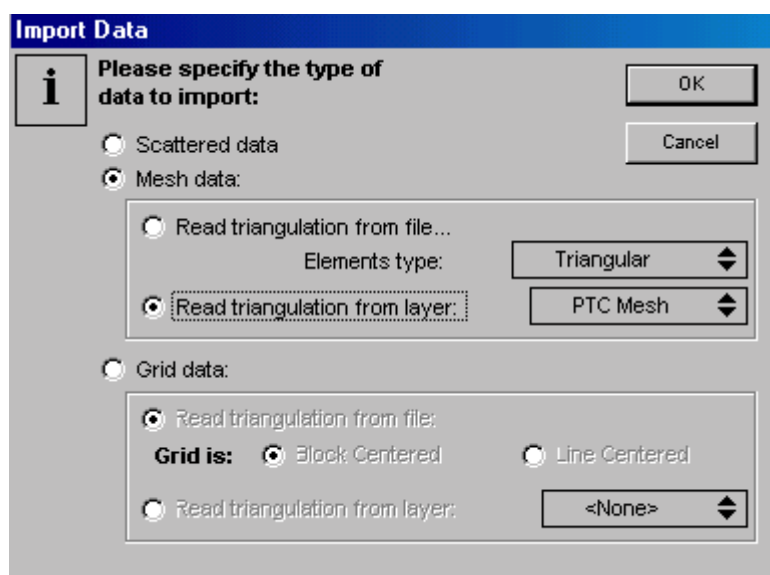


Figure 17

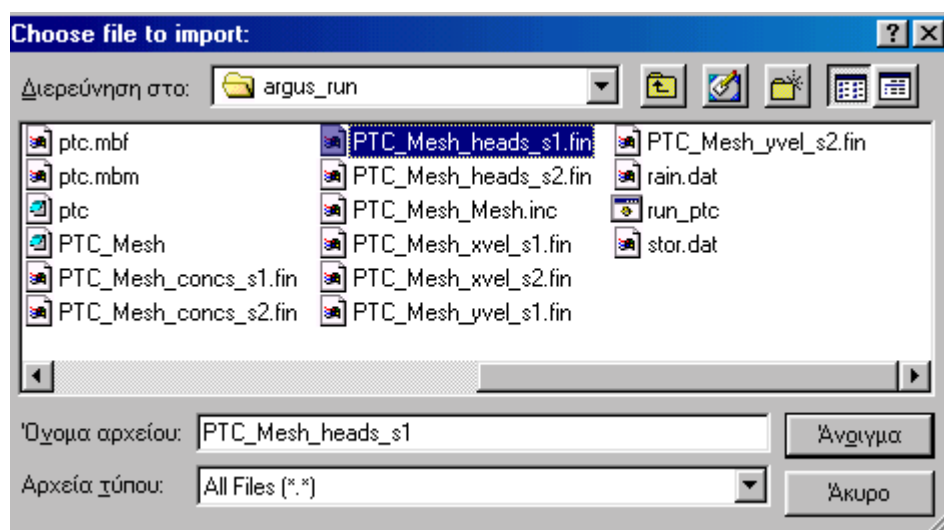


Figure 18

Για να μας απεικονίσει γραφικά τα υδραυλικά ύψη:

- Ενεργοποιούμε το layer “PTC Output Graphs”
- Από την γραμμή εργαλείων επιλέγουμε από το PostProcessing το 4<sup>ο</sup> εικονίδιο
- Επιλέγω την περιοχή μελέτης
- Και ανοίγει παράθυρο “Contour Diagram”. Στο φύλλο “Chart” επιλέγω το layer “PTC Data” και στο φύλλο “Position” το “overlay Source Data” (Figures 19 , 20).

Έτσι εμφανίζονται τα υδραυλικά ύψη. Το γράφημα φαίνεται στην εικόνα 21 (Figure 21).

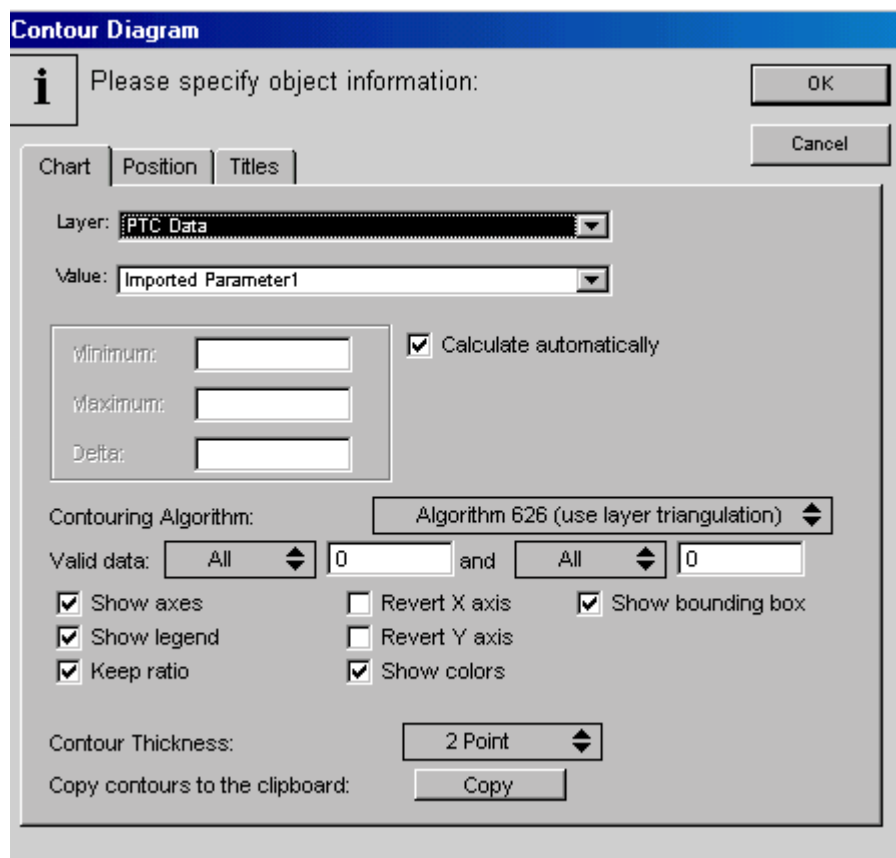


Figure 19

**Contour Diagram**

Please specify object information:

OK Cancel

Chart Position Titles

☒ Overlay Source Data

☒ Dimension ☐ Scale

Width: 4471.27  
Height: 3865.68

☐ Proportional  
X Scale: 116.746 %  
Y Scale: 99.5883 %

**Position**

☒ Top ☐ Right  
☐ Bot ☒ Left

3489.68 -1752.74

Figure 20

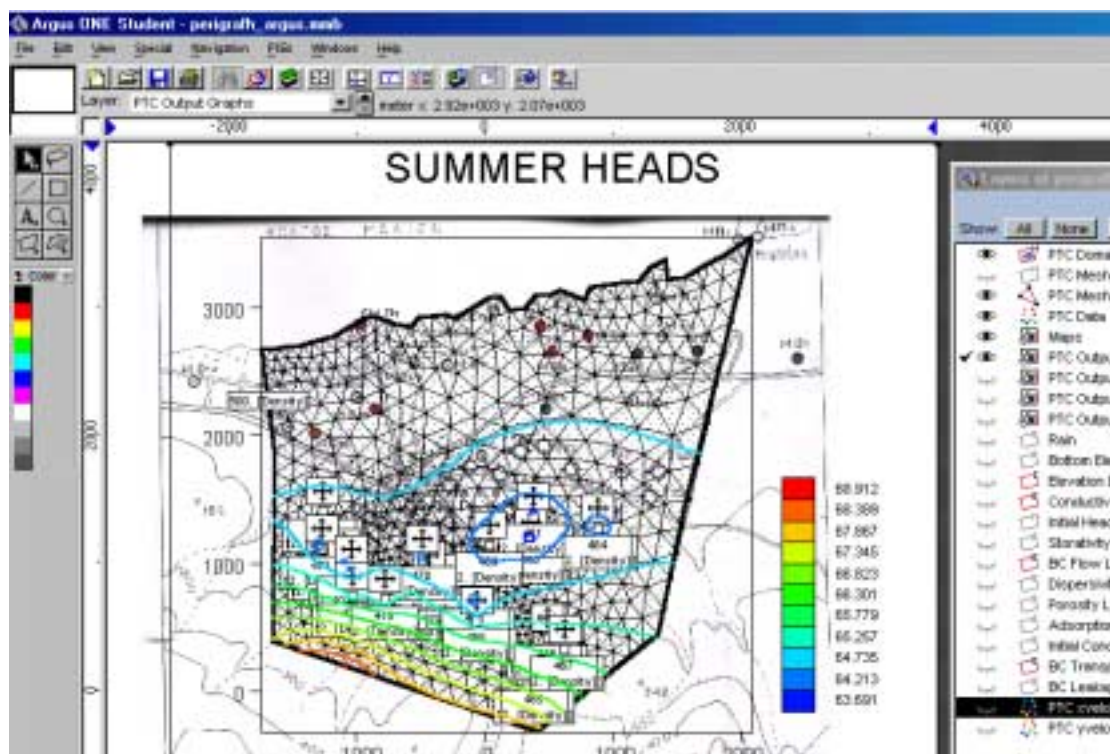


Figure 21

## **ΒΗΜΑ 10**

Μοντελοποίηση της μεταφοράς μάζας του ρύπου και των ταχυτήτων ροής του υπόγειου ύδατος.

- Από το κύριο μενού PIES/Edit Project Info στο φάκελο “stresses” επιλέγουμε και τα “Do Velocity” και “Do Transport” και κάνουμε click στο Modify για να εισάγουμε τις αλλαγές. (Figure 22).
- Ενεργοποιούμε το layer “BC Transport”.

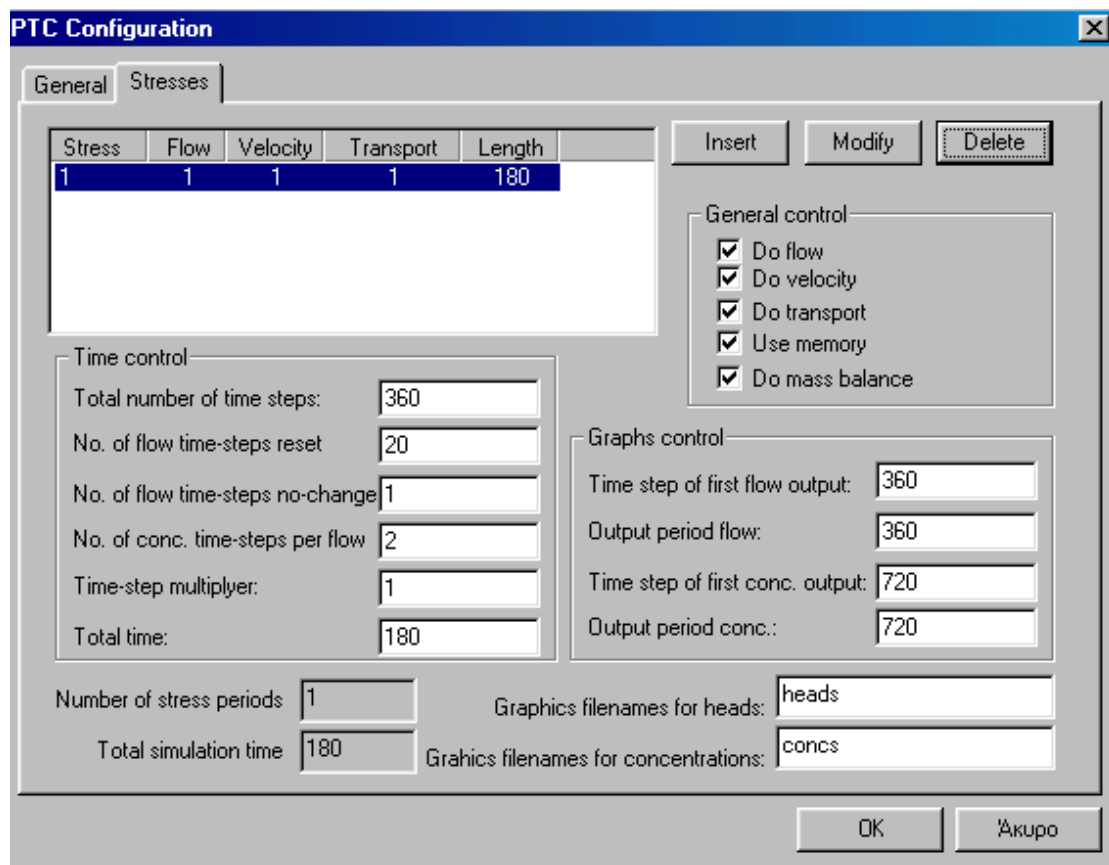


Figure 22

Σε κάθε πηγάδι βάζουμε τη συγκέντρωση νιτρικών σε ppm. Οι αρχικές συγκεντρώσεις των νιτρικών που έχουμε από την μελέτη φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. Θεωρούμε ότι δεν έχουμε απορρόφηση των νιτρικών πάνω στους κόκκους του εδάφους.

| Αρ.Πρ | NO3 (ppm) |
|-------|-----------|
| ΜΠ1   | 77        |
| ΜΠ2   | 0         |
| ΜΠ3   | 3,11      |
| Φ1    | 3,11      |
| Φ2    | 21,74     |
| Φ5    | 10,56     |
| Φ6    | 21,74     |
| Φ7    | 154,01    |
| Φ8    | 242,19    |
| Φ9    | 529,09    |
| Φ10   | 242,19    |
| Φ11   | 77        |
| Φ12   | 88,18     |
| Φ18   | 34,1      |
| Φ19   | 231,01    |

- Είμαστε στο layer “BC Transport”
- Επιλέγουμε από τη γραμμή εργαλείων το closed contour και κλείνουμε κάθε πηγάδι (που έχουμε τη συγκέντρωση του) περιμετρικά.
- Μόλις κλείσει το contour γύρω από το πηγάδι ανοίγει το παράθυρο “Contour Information” στο οποίο επιλέγουμε BC Type 1 και βάζουμε τη συγκέντρωση των νιτρικών σε ppm (Figure 23)

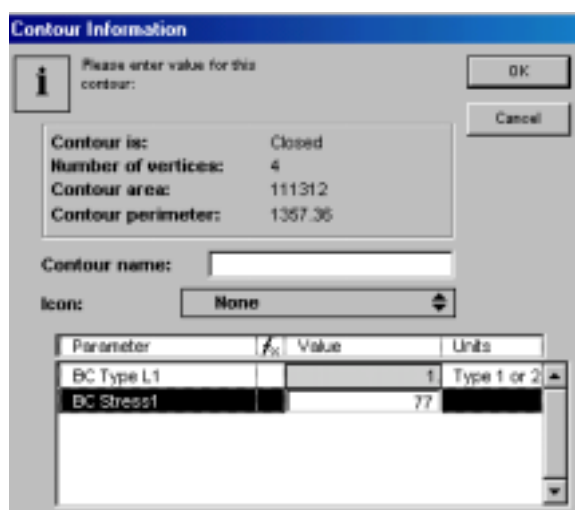


Figure 23

- Τρέχουμε το PTC όπως και προηγουμένως από το βασικό μενού PIEs/Run PTC και μας εμφανίζει το DOS παράθυρο
- Ενεργοποιούμε το layer “PTC Data” και επιλέγουμε File/Import PTC Data/Text file κλπ ομοίως με προηγουμένως.
- Στο “choose file to import” επιλέγουμε “PTC\_Mesh\_concs\_s1.fin” για τις τελικές συγκεντρώσεις του ρυπαντή.
- Ομοίως δημιουργώντας ένα καινούργιο Layer “PTC Output Graphs” μας εμφανίζει με γραφικό τρόπο τις συγκεντρώσεις των νιτρικών (Figure 24).

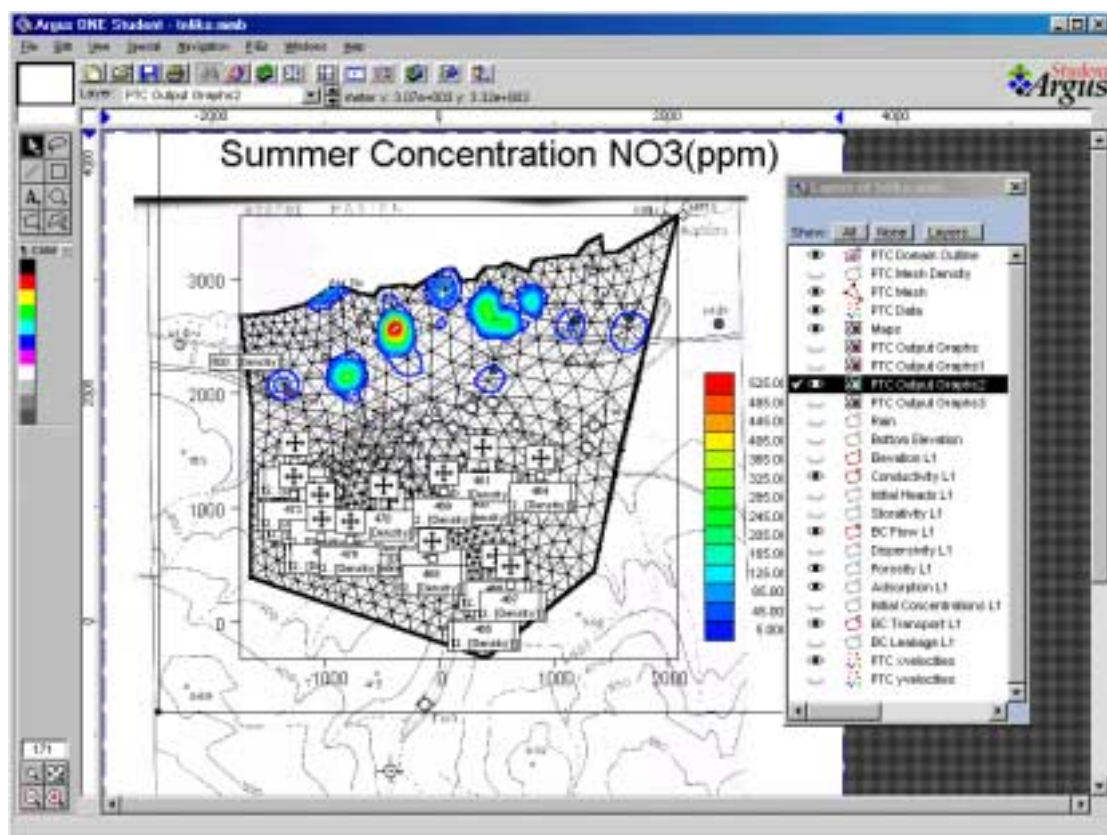


Figure 24

Για την γραφική απεικόνιση της οριζόντιας ταχύτητας εκτελούμε την ίδια διαδικασία.

- Ενεργοποιούμε το layer “PTC x velocities”
- Από το βασικό μενού File/Import PTC xvelocities/Text file
- Στο παράθυρο “Import Data” που ανοίγει κάνουμε τις επιλογές που φαίνονται στην εικόνα 25 (Figure 25)



- Επιλέγουμε “PTC\_Mesh\_xvel\_s1.fin” που είναι οι τελικές τιμές την ταχύτητας στον χ άξονα.
- Ενεργοποιούμε νέο “Output Graphs” διαλέγουμε το κατάλληλο PostProcessing και εμφανίζονται γραφικά οι ταχύτητες (Figure 26).

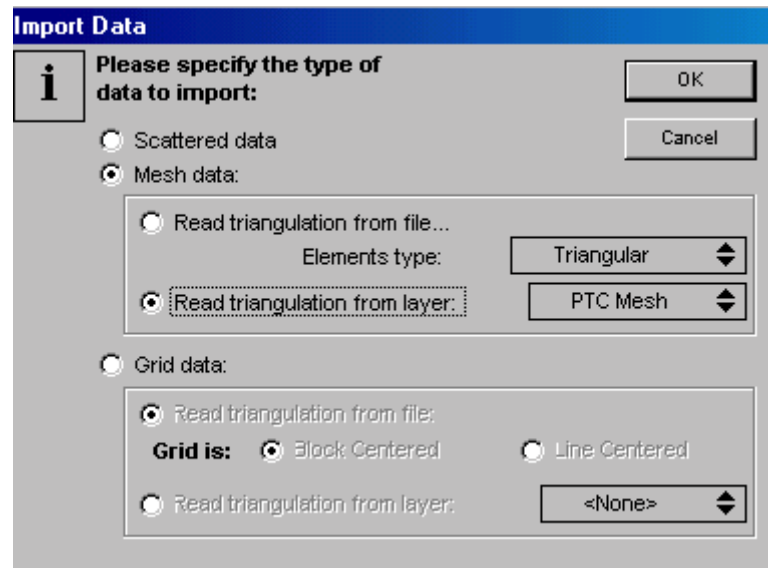


Figure 25

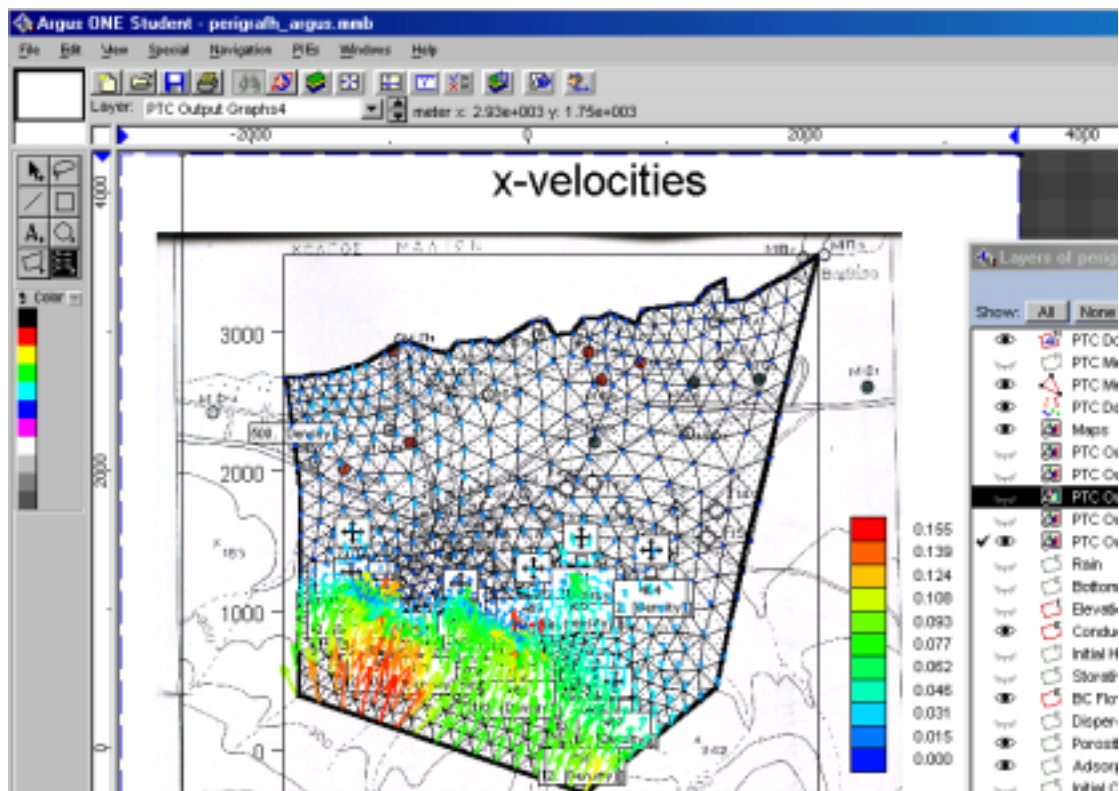


Figure 26



## 18 Συνθήκες χειμερινής περιόδου

Για το λόγο ότι παρατηρείται μέτωπο υφαλμύρισης κατά την θερινή περίοδο στις γεωτρήσεις που βρίσκονται στο βόρειο τμήμα της περιοχής μελέτης, αλλάζοντας τις συνθήκες τους κατά χειμερινή περίοδο θέλουμε να δούμε αν παρατηρείται το ίδιο φαινόμενο. Η εποχιακή αυτή αλλαγή στις συνθήκες οφείλεται στο γεγονός ότι την θερινή περίοδο αυξάνεται ο πληθυσμός (λόγω τουρισμού) επομένως αυξάνονται οι ανάγκες για ύδρευση. Επίσης η περιοχή είναι και αγροτική με πολλές καλλιεργήσιμες εκτάσεις όπου τη θερινή περίοδο (όπου είναι και η περίοδος ανάπτυξης των φυτών) λιπαίνεται και αυξάνεται η άρδευση. Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι ότι κατά τους θερινούς μήνες παρατηρείται μεγάλη αύξηση των νιτρικών και υπεράντληση των υδροφορέων από τις γεωτρήσεις.

Για το λόγο αυτό εξετάζουμε την περίπτωση της χειμερινής περιόδου όπου οι συνθήκες παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις.

Έτσι εφαρμόζουμε ξανά το μοντέλο για χειμερινές συνθήκες. Θεωρούμε ότι τον χειμώνα δεν αντλούν οι γεωτρήσεις νερό. Επομένως στο layer “BC Flow” θέτουμε  $BC\ Stress=0$  για κάθε γεώτρηση. Επίσης θεωρούμε ότι το χειμώνα δεν χρησιμοποιούνται λιπάσματα (κύρια πηγή νιτρικών). Επομένως στο layer “BC Transport” θεωρούμε ότι σε κάθε γεώτρηση η συγκέντρωση των νιτρικών το χειμώνα έχει το 1/10 της τιμής που έχει κατά τη θερινή περίοδο. Επίσης προσθέτουμε στο layer “Rain” της βροχής και το βροχομετρικό ύψος που για την περιοχή είναι 665,5mm/year (αφού πρώτα το μετατρέψουμε σε m/day).

Εφαρμόζοντας όλη τη διαδικασία παίρνουμε τελικά τα γραφικά αποτελέσματα για την περίοδο του χειμώνα. Τα γραφήματα για τα υδραυλικά ύψη και την συγκέντρωση των νιτρικών φαίνονται στις εικόνες 27 και 28 αντίστοιχα.

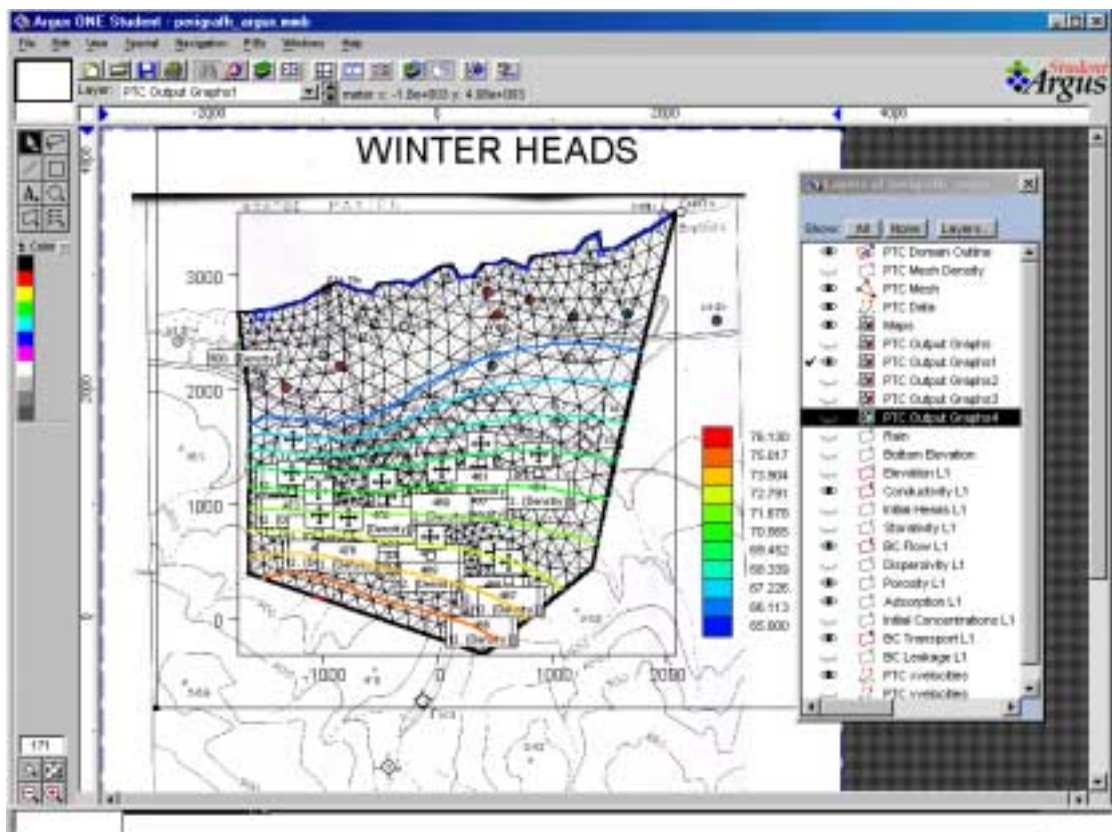


Figure 27

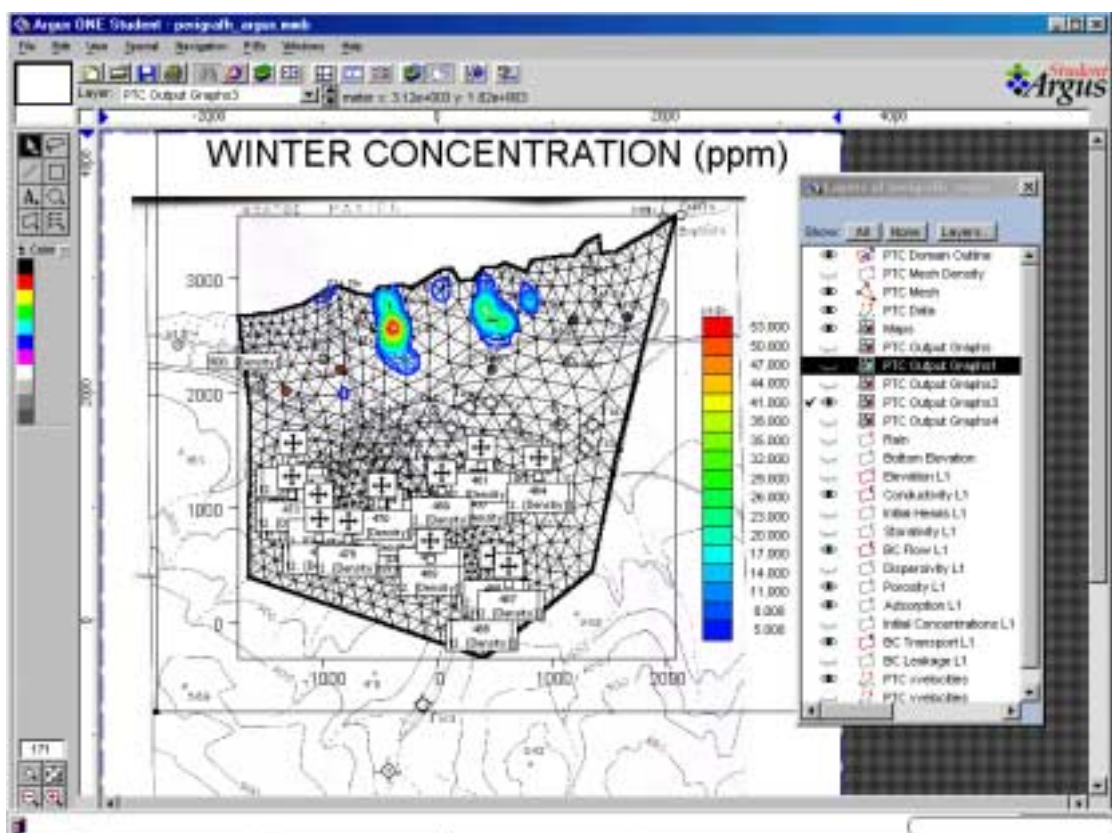


Figure 28

## 19. Συμπεράσματα

Συγκρίνοντας τις εικόνες 21 και 28 που δείχνουν τα υδραυλικά ύψη κατά τη θερινή και τη χειμερινή περίοδο αντίστοιχα παρατηρούμε ότι :

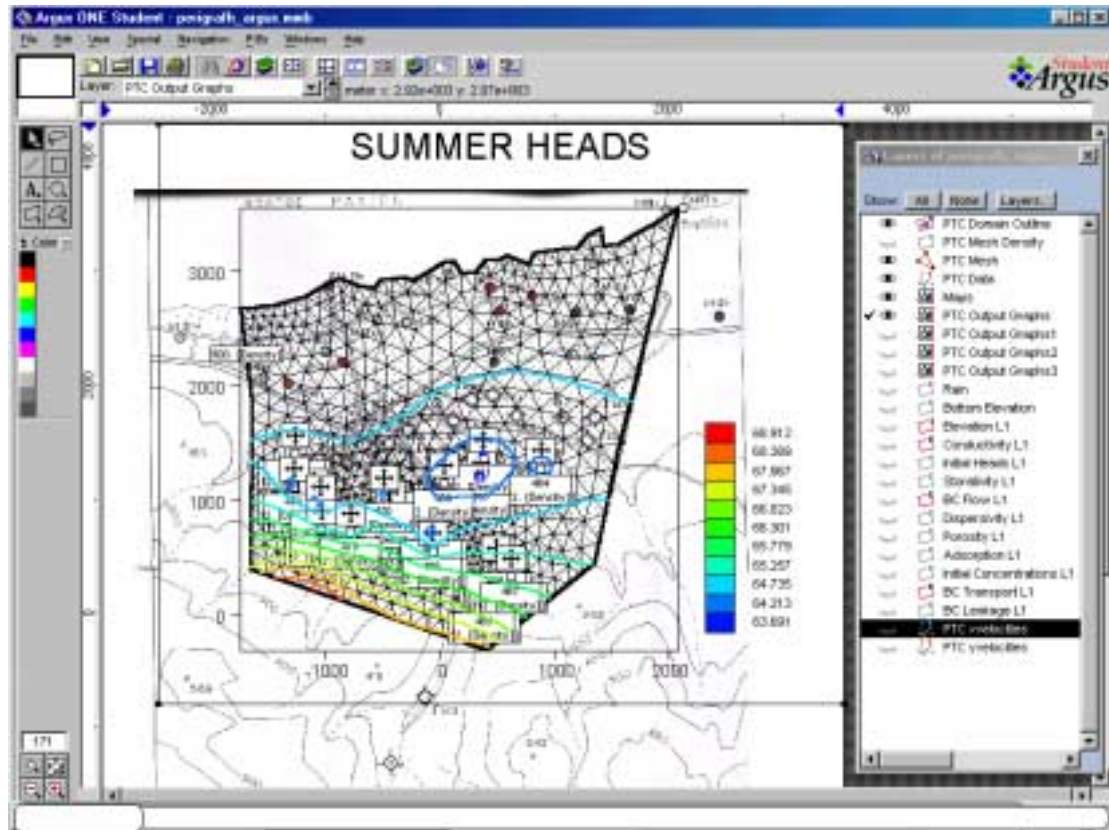


Figure 21

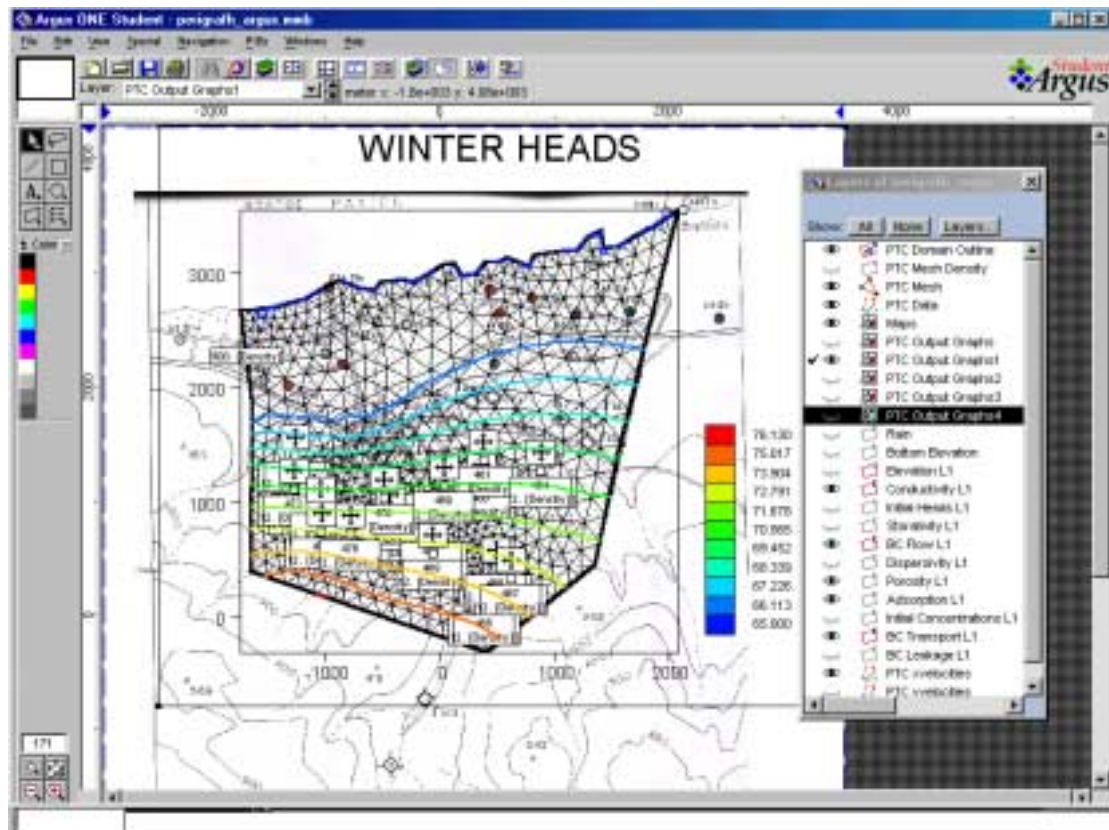


figure 27

Κατά τη θερινή περίοδο υπάρχει μέτωπο υφαλμύρινσης που φτάνει σε πολλές γεωτρήσεις που βρίσκονται στο βόρειο τμήμα της περιοχής μελέτης. Η ελεύθερη επιφάνεια του υδροφορέα είναι χαμηλότερη από τη στάθμη της θάλασσας με αποτέλεσμα το νερό της θάλασσας να κινείται δια μέσω των ανθρακικών υδροπερατών σχηματισμών και να διεισδύει στον υπόγειο υδροφορέα και οι γεωτρήσεις να γίνονται ακατάλληλες για άρδευση και ύδρευση.

Παρατηρούμε ότι κατά την χειμερινή περίοδο (όπου αλλάζουν και διάφορες συνθήκες όπως η βροχόπτωση, η μείωση της άντλησης των γεωτρήσεων και η λίπανση της περιοχής) δεν παρατηρείται φαινόμενο υφαλμύρινσης.

Η περιοχή μελέτης αν και είναι πλούσια σε υπόγεια υδροφορία είναι ιδιαίτερα ευπρόσβλητη , διότι υπάρχει ένας κακός συνδυασμός εποχιακής αύξησης του πληθυσμού (η οποία συνεπάγεται υπεράντληση των υδροφορέων) που συμπίπτει με καλλιεργητική περίοδο (η οποία συνεπάγεται χρήση λιπασμάτων).

Παρατηρώντας τις εικόνες 24 και 28 στις οποίες φαίνονται οι συγκεντρώσεις των νιτρικών κατά τη θερινή και τη χειμερινή περίοδο αντίστοιχα,



Την θερινή περίοδο όμως οι συγκεντρώσεις αυτές αυξάνουν ραγδαία έως και 525 ppm, οι οποίες είναι συγκεντρώσεις που καθιστούν το νερό επικίνδυνο όχι μόνο για ύδρευση αλλά και για άρδευση.



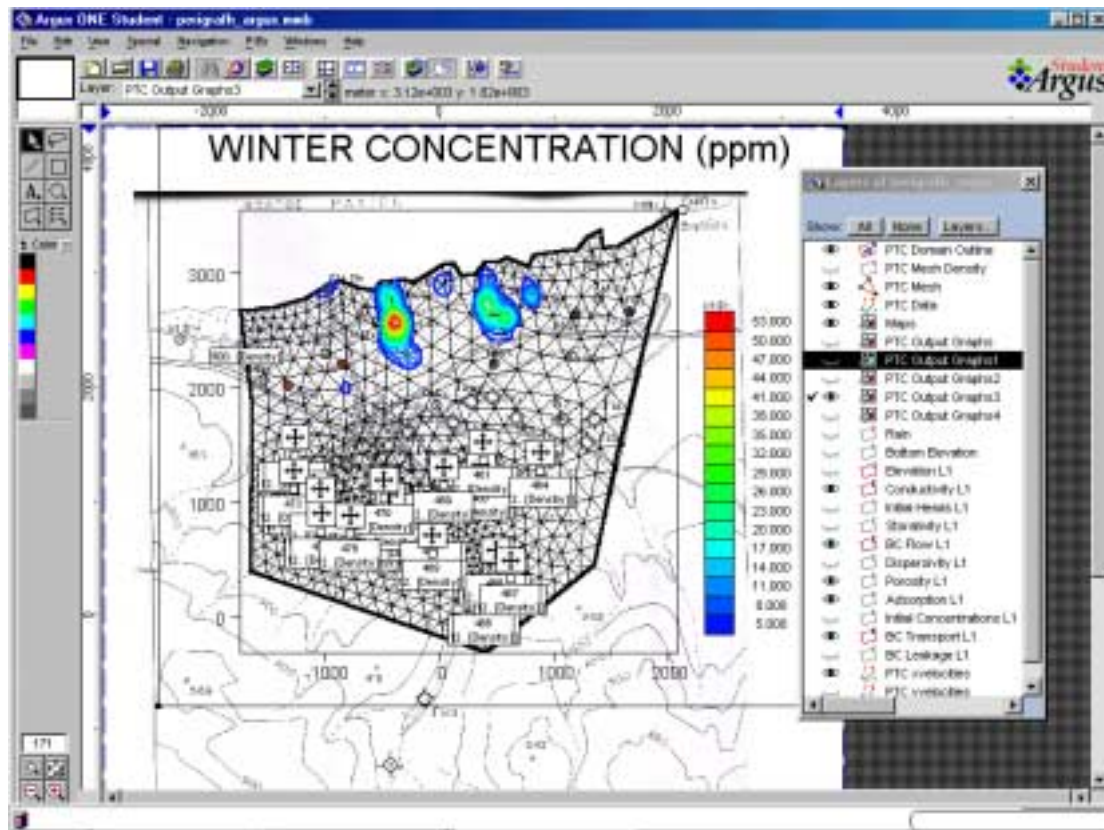


Figure 28

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφέρουμε ότι στο νότιο τμήμα της περιοχής φαίνεται ότι δεν έχουμε νιτρορύπανση, αλλά αυτό συμβαίνει διότι δεν υπάρχουν χημικές αναλύσεις στις γεωτρήσεις της περιοχής αυτής.

Τέλος θα θέλαμε να αναφέρουμε ότι χρησιμοποιώντας το μοντέλο Argus ONE σε συνεχείς εφαρμογές ξεκινώντας από το έτος 1996 όπου είναι και τα αρχικά μας στοιχεία για τις γεωτρήσεις και ακολουθώντας μια επαναληπτική διαδικασία μπορούμε να κάνουμε εκτίμηση των μελλοντικών συνθηκών και πρόβλεψη για το άμεσο μέλλον της συγκέντρωσης των νιτρικών στη συγκεκριμένη περιοχή.

## 20. Προτάσεις

Οι επιπτώσεις της νιτρορύπανσης στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον μπορεί να είναι ιδιαίτερα επιζήμιες. Ειδικά για την Ελλάδα το πρόβλημα της ρύπανσης των υπογείων νερών φαίνεται ότι δεν αποτελεί θέμα πρώτης προτεραιότητας για την πολιτεία και τους αρμόδιους φορείς. Η ρύπανση γενικά αλλά και ειδικότερα από τα νιτρικά έχει μεγάλο χρόνο εμφάνισης σε σχέση με τη στιγμή της πρόκλησής της. Αυτό σημαίνει ότι μη ορθές γεωργικές πρακτικές θα οδηγήσουν σε βέβαιη ρύπανση του πόσιμου νερού μετά από ορισμένες δεκαετίες. Λαμβάνοντας υπόψη τη σχεδόν μοναδικότητα των υπογείων νερών ως υδατικού πόρου για τις περισσότερες περιοχές της χώρας αλλά και το τεράστιο κόστος που απαιτεί η εξυγίανσή τους από τη νιτρορύπανση είναι εύκολο να προβλέψει κανείς τη σοβαρότητα της κατάστασης που αναμένεται στο άμεσο μέλλον.

Για την περιοχή μελέτης προτείνουμε την αποφυγή υπεράντλησης τους καλοκαιρινούς μήνες. Για το λόγο ότι από την περιοχή, εκτός του Δήμου Μαλίων, υδρεύεται ο Δήμος Ηρακλείου ο Δήμος Χερσονήσου και άλλες περιοχές προτείνουμε τη διάνοιξη κάποιων νέων γεωτρήσεων νοτιότερα των ήδη υπαρχόντων που θα τροφοδοτούνται από τον ορεινό όγκο της Δίκτης όπου υπάρχει πλούσια υδροφορία. Οι υπόγειες αυτές υδροφορίες που αναμένεται να εντοπιστούν θα καλύψουν τις ανάγκες ύδρευσης του Δήμου Ηρακλείου, του οποίου το δίκτυο μεταφοράς νερού είναι σχετικά κοντά στην περιοχή.

Επίσης προτείνεται καλύτερος έλεγχος των γεωτρήσεων. Στο νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης πρέπει να γίνει μια πλήρης υδροχημική μελέτη και να γίνονται χημικές αναλύσεις του νερού των γεωτρήσεων ανά τακτά χρονικά διαστήματα.

Για την μείωση της νιτρορύπανσης που οφείλεται από λιπάσματα που περιέχουν νιτρικά θα πρέπει σε πρώτο στάδιο να γίνει ενημέρωση των πολιτών σχετικά με την αξία των υπογείων νερών και τα προβλήματα στην υγεία που προκύπτουν από την πόση ύδατος με υψηλή συγκέντρωση σε νιτρικά. Όπως επίσης και ενημέρωση των καλλιεργητών για τα προβλήματα που μπορεί να φέρει η αλόγιστη χρήση αζωτούχων λιπασμάτων. Θα μπορούσε επίσης να υποστηριχθεί (οικονομικά) η βιολογική καλλιέργεια από

το κράτος, που απαγορεύει τη χρήση χημικών και επιβάλλει την ορθολογική χρήση οργανικών λιπασμάτων.

Τέλος θα μπορούσε να γίνει άντληση του νερού των υδροφορέων, επεξεργασία καθαρισμού του και επαναφόρτισή του στον υδροφορέα ή απευθείας για χρήσεις. Βέβαια μια τέτοια διαδικασία τουλάχιστον όσον αφορά την σημερινή κατάσταση είναι σχεδόν αδύνατον από οικονομικής άποψης να γίνει ιδίως για την τοπική κοινωνία των Μαλίων.





## 21. Βιβλιογραφία

- [1] Αντωνόπουλος Β ., Ποιότητα και Ρύπανση Υπόγειων Νερών , Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 2001
- [2] Αντωνόπουλος Β ., Υδρολογία της Ακόρεστης Ζώνης του Εδάφους, Θεσσαλονίκη , 1999
- [3] Anoop Kapoor, Viraraghavan T. Fellow,ASCE, “Nitrate Removal From Drinking Water”, Journal of Environmental Engineering ,April 1997
- [4] Γκέκας Βασίλειος, Πρωιμάκη Σπυριδούλα, «Φαινόμενα Μεταφοράς για Μηχανικούς Περιβάλλοντος» ,εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2000
- [5] Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, Αιτιολογημένη γνώμη της Επιτροπής για μη συμμόρφωση προς την οδηγία 91/676/ΕΟΚ για την προστασία των υδάτων από νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης που απευθύνεται στην Ελληνική Δημοκρατία δυνάμει του άρθρου 169 της συνθήκης ΕΚ, Βρυξέλλες, Δεκέμβριος 1998
- [6] Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, τεύχος δεύτερο, 25 Ιουνίου 1977, Αρ Φύλλου 519
- [7] Karatzas G.P., Pinder G.F. “Applications of Operations Research Theory to Groundwater Management Problems” 6<sup>th</sup> International Conference of Environmental Science and Technology, Samos 1999
- [8] Μυλόπουλος Ι.Α. «Μοντέλα Αποφάσεων για το Σχεδιασμό Έργων Προστασίας και Αποκατάστασης των Υπόγειων Υδατικών Πόρων», πρακτικά 3<sup>ου</sup> Συνεδρίου Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας, τόμος β΄ ,Λέσβος, 1993

[9] Μύρκου Κατερίνα, πτυχιική εργασία «Συγκεντρώσεις Νιτρικών στα Επιφανειακά Νερά της Ελλάδας και στο Πόσιμο Νερό της Λέσβου», Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Περιβάλλοντος, Μυτιλήνη, Σεπτέμβριος 2001

[10] Πανεπιστήμιο Πατρών, Έκθεση Ερευνητικού Προγράμματος, Προστασία νερών από νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης «δημιουργία δικτύου παρακολούθησης της νιτρορύπανσης», Δεκέμβριος 1999

[11] Οικονομόπουλος Αλέξανδρος, σημειώσεις του μαθήματος «Χημεία και Έλεγχος Ρύπανσης Νερών», Κρήτη 2000

[12] Πολυχρονάκη, Κνιθάκη «Έκθεση Υδρογεωλογικής Αναγνώρισης Ευρύτερης Περιοχής του Δήμου Μαλίων του Νομού Ηρακλείου», ΙΓΜΕ, Παράρτημα Κρήτης, Ρέθυμνο, Δεκέμβριος 1989

[13] Πολυχρονάκη Α. «Υδρογεωλογική Μελέτη Κεντρικής και Ανατολικής Κρήτης, τμήμα Βόρειος Νομός Ηρακλείου», ΥΠΕΧΩΔΕ, Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων, Δ/ση Εγγειοβελτιωτικών έργων, τμήμα μελετών, ΙΓΜΕ, Παράρτημα Κρήτης, Ρέθυμνο, Απρίλιος 1996

[14] Σιώμος Α, Νιτρικά και «Φυτό- Ορμόνες στα Λαχανικά και Μέτρα Προστασίας του Καταναλωτή» Καταναλωτικά Βήματα, τεύχος Απριλίου-Μαΐου 2001

[15] Τιμπλαλέξης Θεόδωρος, διπλωματική εργασία «Μοντελοποίηση της Υπόγειας Ροής και της Μεταφοράς Νιτρικών στον Παραλιακό Ελεύθερο Υδροφορέα της Δυτικής Περιαστικής Ζώνης της Καλαμάτας», Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Χανιά, Ιούλιος 2002

[16] Τσακίρης Γ. «Υδατικοί Πόροι :Ι Τεχνική Υδρολογία», Εκδόσεις Συμμετρία Αθήνα 1995

[17] Τσιούρης Σ., Θέματα Προστασίας Περιβάλλοντος, Εκδόσεις Γαρταγάνη, Θεσσαλονίκη, 2001

[18] Υπουργείο Γεωργίας «Κώδικας Ορθής Γεωργικής Πρακτικής για την Προστασία των νερών από Νιτρορύπανση Γεωργικής Προέλευσης», Μάρτιος, 2000

[19] Υ.Π.Ε.Χ.Ω.Δ.Ε Τμήμα Νερών «Ευπρόσβλητες Ζώνες της Ελλάδος από Νιτρορύπανση Γεωργικής Προέλευσης», Δεκέμβριος 1999

[20] Χριστούλας Δ, Χατζημπίρος Κ, Ανδρεαδάκης Α, «Μαθήματα Οικολογίας», Δ' Έκδοση, Αθήνα, 1995

### **Ηλεκτρονικές Διευθύνσεις**

- 1 [www.positivehealth.com/permit/Articles/Regular/safron23.htm](http://www.positivehealth.com/permit/Articles/Regular/safron23.htm)
- 2 [www.interkriti.org/visits/maliagr.htm](http://www.interkriti.org/visits/maliagr.htm)
- 3 [wilkes.edu/~eqc/nitrate.html](http://wilkes.edu/~eqc/nitrate.html)
- 4 [pubs.acs.org/subscribe/journals/esthagw/2001/may/science/kc\\_nitrates.html](http://pubs.acs.org/subscribe/journals/esthagw/2001/may/science/kc_nitrates.html)
- 5 <http://infoventures.com/cancer/canlit/eti1195a.html>
- 6 <http://www.ianr.unl.edu/pubs/water/g1369.htm>
- 7 <http://www.ana.gr/>
- 8 [www.europarl.eu.int](http://www.europarl.eu.int)
- 9 <http://europa.eu.int>
- 10 [www.2810.gr](http://www.2810.gr)
- 11 [http://www.surfacewater.com/argus\\_2d.html](http://www.surfacewater.com/argus_2d.html)
- 12 [kronos.minenv.gr/emwis/nomothesia.htm](http://kronos.minenv.gr/emwis/nomothesia.htm)

- 13 <http://www.idph.state.il.us/envhealth/factsheets/NitrateFS.htm>
- 14 [www.nitrate.com](http://www.nitrate.com)
- 15 [http://www.actahort.org/books/563/563\\_2.htm](http://www.actahort.org/books/563/563_2.htm)
- 16 [http://europa.eu.int/comm/environment/water/water-nitrates/index\\_en.html](http://europa.eu.int/comm/environment/water/water-nitrates/index_en.html)
- 17 <http://www.elinyae.gr/nomoth-nomol/hellenic/perivalon.htm>
- 18 <http://www.tee.gr/online/afieromata/1998/1997/page1.htm>
- 19 <http://www.waterinfo.gr/index0.html>
- 20 <http://www.who.int/en/>

## **22. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**