



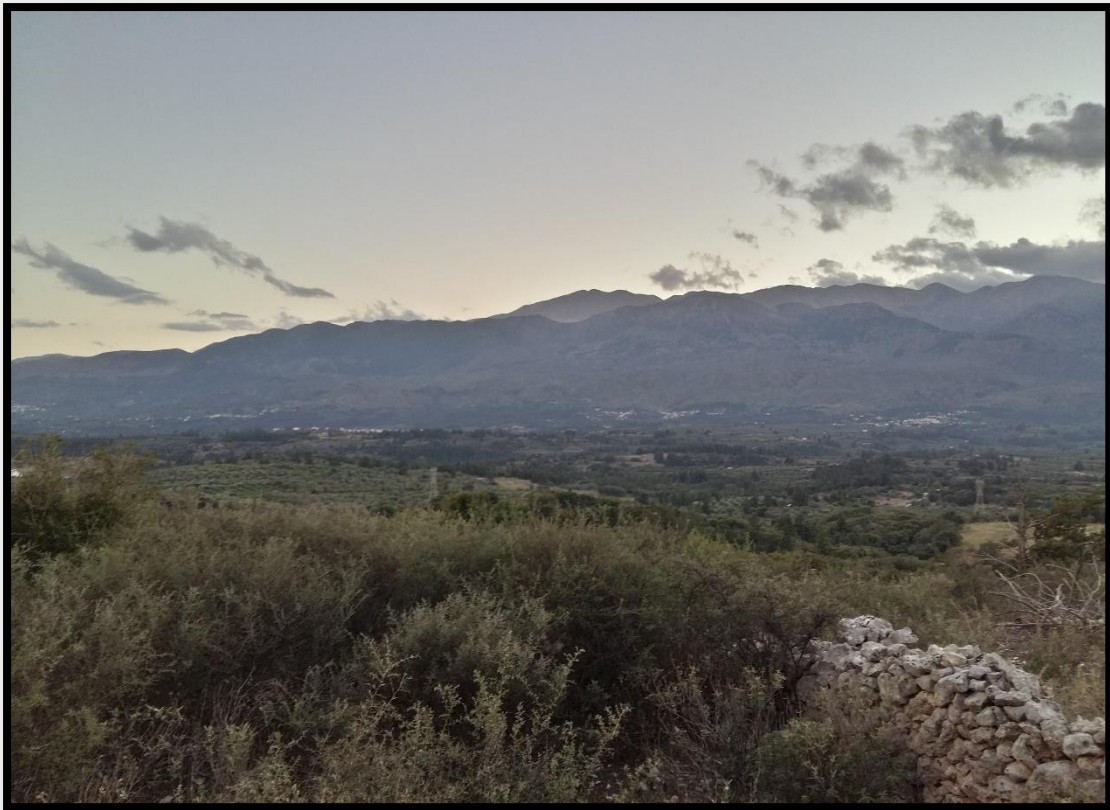
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ



ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ & ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

---

## Μελέτη του μηχανισμού υφαλμύρωσης της γεώτρησης Κάινας του Δήμου Αποκόρωνα.



**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Παναγιώτης Δήμας**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Καθηγητής Γεώργιος Σταυρουλάκης

ΧΑΝΙΑ 2016

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στο να φέρω εις πέρας τη παρούσα διπλωματική εργασία.

Ιδιαίτερα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή Γεώργιο Σταυρουλάκη, την επιστημονική συνεργάτιδα Δέσποινα Καλησπέρη (PhD), τον Αναπληρωτή Καθηγητή Ιωάννη Μακρή και τον Καθηγητή Φίλιππο Βαλλιανάτο για την οργάνωση και την συμμετοχή τους στις μετρήσεις πεδίου, την καθοδήγησή τους και για τις πολύτιμες πληροφορίες που μου προσέφεραν.

Η συγγραφή της παρούσας διπλωματικής εργασίας σηματοδοτεί την ολοκλήρωση των προπτυχιακών μου σπουδών και για αυτό το λόγο θα ήθελα να εκφράσω τις βαθύτατες ευχαριστίες μου σε όλα τα μέλη της οικογένειάς μου για την αμέριστη συμπαράσταση, κατανόηση και αγάπη που μου προσέφεραν όλα αυτά τα χρόνια.

Τέλος, ευχαριστώ θερμά τους φίλους και συμφοιτητές μου, για την άμεση βοήθεια και ανιδιοτελή υποστήριξη τους, καθ' όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών μου.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη _____	5
Abstract _____	6

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το νερό φυσικός πόρος _____	7
Διαχείριση υπόγειων υδατικών πόρων _____	8
Νομοθεσία γεωτρήσεων _____	9
Υλοποίηση γεωτρήσεων _____	13
Υφαλμύριση _____	16
Εντοπισμός υφαλμύρισης _____	18
Φυσικοχημικές αναλύσεις του νερού _____	18
Υδρογεωλογική μελέτη _____	22
Γεωφυσική μελέτη υπεδάφους _____	28
Αντιμετώπιση υφαλμύρισης _____	33
Τεχνητός εμπλουτισμός του υδροφορέα _____	33
Δημιουργία υπόγειου φραγμού _____	35
Ειδικός σχεδιασμός γεώτρησης και άντλησης _____	36

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ

Περιοχή μελέτης _____	38
Κλιματολογικές συνθήκες _____	39
Γεωλογική δομή της περιοχής ενδιαφέροντος _____	40
Στρωματογραφική στήλη της γεώτρησης _____	42
Υλικά και μέθοδοι για τη μελέτη των φυσικοχημικών παραμέτρων _____	44
Μέτρηση του pH _____	44
Μέτρηση της Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας (EC) _____	44
Μέτρηση της Σκληρότητας _____	45
Μέτρηση των Χλωριόντων (Cl <sup>-</sup> ) _____	46
Μέτρηση του Καλίου (K <sup>+</sup> ) - Νατρίου (Na <sup>+</sup> ) - Ασβεστίου (Ca <sup>2+</sup> ) _____	47

Μέτρηση των Θεικών Ιόντων ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	48
Υλικά και μέθοδοι για τη γεωφυσική μελέτη	49
Εξοπλισμός της συσκευής TEM - Fast 48 system	49
Τεχνικά χαρακτηριστικά της συσκευής	51
Διαδικασία υλοποίησης της διάταξης TEM	51

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Αποτελέσματα φυσικοχημικής μελέτης	54
Αποτελέσματα του pH	54
Αποτελέσματα της Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας (EC)	55
Αποτελέσματα της Σκληρότητας	57
Αποτελέσματα των Χλωριόντων ( $\text{Cl}^-$ )	57
Αποτελέσματα του Καλίου ( $\text{K}^+$ ) - Νατρίου ( $\text{Na}^+$ ) - Ασβεστίου ( $\text{Ca}^{2+}$ )	59
Αποτελέσματα των Θεικών Ιόντων ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	61
Αποτελέσματα γεωφυσικής μελέτης	62
Αποτελέσματα γεωλογικού οικοπέδου 01	63
Αποτελέσματα γεωλογικού οικοπέδου 03	64
Αποτελέσματα γεωλογικού οικοπέδου 04	65
Αποτελέσματα γεωλογικού οικοπέδου 05	66

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπεράσματα	68
Βιβλιογραφία	70

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζεται ο μηχανισμός αναστροφής της υφαλμύρωσης στην γεώτρηση, με διακυμάνσεις κατά τις θερινές και χειμερινές εποχές του χρόνου.

Ο κύριος στόχος της εργασίας είναι να καταλήξει σε ένα συμπέρασμα που μπορεί να αποτελέσει την λύση για τον έλεγχο και περιορισμό του φαινομένου στην ευρύτερη περιοχή. Το θέμα αφορά στην διερεύνηση και καταγραφή του υπεδάφους, των γεωλογικών σχηματισμών, και την ποιότητα του νερού της συγκεκριμένης γεώτρησης, δεδομένου του έντονου προβλήματος από την έλλειψη πόσιμου νερού, λόγω της πληθυσμιακής αύξησης και της αλόγιστης χρήσης. Έτσι, έχουμε την υπεράντληση των υδροφορέων και την εισαγωγή αλμυρού - υφάλμυρου νερού στον υπόγειο υδροφόρα.

Υπάρχουν όμως και παράγοντες που συνεισφέρουν στο πρόβλημα, που δεν έχουν να κάνουν με την ανθρώπινη δραστηριότητα. Γενικά, το μικρο ύψος των βροχοπτώσεων και οι μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν, προκαλούν μικρή προσφορά νερού. Επίσης, το τοπογραφικό υπόβαθρο της περιοχής ευνοεί την επιφανειακή αλλά και την υπόγεια απορροή καθώς και τα φαινόμενα υφαλμύρωσης που καταστρέφουν τα υπόγεια αποθέματα του πόσιμου νερού. Οι κλιματολογικές συνθήκες και κυρίως η έντονη ηλιοφάνεια, κάνουν την εξάτμιση να είναι πολύ έντονη, γεγονός που οδηγεί μεγάλο ποσοστό του νερού της βροχής να επιστρέφει στην ατμόσφαιρα. Τέλος, πρόβλημα αποτελεί η έλλειψη υδατικής διαχείρισης λόγω της έντονης αστικοποίησης και η προστασία των υδάτων που θα μπορούσε να εξισορροπήσει τα όποια προβλήματα υπάρχουν.

Με αποτέλεσμα, η έντονη παρουσίαση υφαλμύρωσης στη γεώτρηση της Κάινας και η άντληση μεγάλων ποσοτήτων νερού, προκάλεσαν το ενδιαφέρον για την μεταβολή της ποιότητας του νερού. Με αφορμή τα παραπάνω, για περίπου 10 χρόνια, έγινε η παρακολούθηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού, για την συγκέντρωση των δεδομένων.

Ταυτόχρονα, έγινε και η γεωφυσική προσέγγιση του φαινομένου, προκειμένου να γίνει ολοκληρωμένη αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της έρευνας, στην ευρύτερη περιοχή. Είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζουμε την γεωλογική δομή του υπεδάφους, έτσι ώστε να μπορούμε να βγάλουμε συμπεράσματα για την τεκτονική διάσταση, για την ύπαρξη υπογείου υδροφόρα ή άλλων γεωλογικών συνθηκών που επικρατούν, ώστε να εκτιμήσουμε ποσοτικά και ποιοτικά την υπάρχουσα κατάσταση της περιοχής.

Για την επίτευξη του σκοπού αυτού, εφαρμόστηκε η Ηλεκτρομαγνητική Μέθοδος Βυθοσκόπησης Παροδικών Κυμάτων (TEM – Transient Electromagnetic Method), όπου πραγματοποιήθηκε η συλλογή των γεωφυσικών δεδομένων στο ύπαιθρο με το όργανο TEM – Fast 48.

Για την ερμηνεία των δεδομένων και την εξαγωγή των συμπερασμάτων, έγινε η συσχέτιση των φυσικοχημικών αποτελεσμάτων με τα γεωφυσικά αποτελέσματα της ευρύτερης περιοχής.

**Study of the seawater intrusion rate of Kaina's well  
(Municipality of Apokoronas, Crete).**

**ABSTRACT**

Kaina is one of several coastal regions in Greece, where intensive salt water intrusion in the aquifer occurs possibly due to anthropogenic causes. The overexploitation together with the absence of any integrated water resources management plan has resulted in the degradation of the groundwater quality.

The aim of the thesis was the study of the reversing mechanism of seawater intrusion in Kaina's well based on the groundwater physicochemical characteristics in correlation with the geophysical data collected with Transient Electromagnetic Method.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### ΤΟ ΝΕΡΟ ΦΥΣΙΚΟΣ ΠΟΡΟΣ

Το νερό μπορεί να θεωρηθεί ως φυσικός πόρος, ως οικονομικό αγαθό και ως περιβαλλοντικό στοιχείο, ανάλογα με το κύριο κριτήριο και το είδος της διαχείρισης. Σε σχέση πάντως με άλλους φυσικούς πόρους και με άλλα οικονομικά αγαθά έχει μία ιδιαιτερότητα, ότι είναι μοναδικό και αναντικατάστατο.

Ένα μετάλλευμα μπορεί να αντικατασταθεί από κάποιο άλλο (φυσικό ή συνθετικό υλικό) στην καθημερινή χρήση και στην οικονομική ανάπτυξη. Το νερό όμως όχι, αφού αποτελεί προϋπόθεση της ανθρώπινης ύπαρξης και ζωής στον πλανήτη και δεν έχει υποκατάστατο στην ανάπτυξη. Η βιώσιμη και αειφόρος διαχείριση των υδατικών πόρων είναι η βασική παράμετρος της βιώσιμης ανάπτυξης.

Οι υδατικοί πόροι δεν είναι απεριόριστοι, και μάλιστα σε πολλές περιοχές του κόσμου δεν είναι επαρκείς και η ανεπάρκειά τους αυτή συνιστά μέγιστο εμπόδιο στην ανάπτυξη.

Σε παγκόσμιο επίπεδο η κατανάλωση νερού για διάφορες χρήσεις (οικιακή - αστική, βιοτεχνική, βιομηχανική, αρδευτική - αγροτική) αυξάνεται με ραγδαίους ρυθμούς. Η προσφορά όμως είναι ορισμένη και έχει κάποια ανώτερα όρια. Πέραν αυτού στην Ελλάδα και σε πολλές άλλες χώρες του κόσμου, σε ενδοετήσιο κύκλο, η ζήτηση του νερού είναι η μέγιστη (όπως το καλοκαίρι), όταν η διαθεσιμότητά του στη φύση είναι η ελάχιστη. Στην ουσία, ο ενδοετήσιος κύκλος ζήτησης νερού, είναι ακριβώς αντιστρόφως ανάλογος με αυτόν της φυσικής διαθεσιμότητας. Επιπλέον, πολύ συχνά σε περιοχές με μικρή διαθεσιμότητα νερού, δηλαδή με φτωχό υδατικό δυναμικό, υπάρχει μεγάλη ζήτηση νερού, δηλαδή μεγάλη πληθυσμιακή πυκνότητα και έντονη οικονομική δραστηριότητα, ενώ αντίθετα, σε περιοχές με πλούσιο υδατικό δυναμικό δηλαδή με μεγάλη διαθεσιμότητα νερού, υπάρχει μικρή ζήτηση. Με άλλα λόγια η χωρική κατανομή της προσφοράς και της ζήτησης είναι επίσης αντίστροφες. Επομένως, συχνά η χωρο - χρονική κατανομή της διαθεσιμότητας και της ζήτησης νερού είναι αντίστροφες. Αυτά θέτουν το πρόβλημα της διαχείρισης των υδατικών πόρων.

Το νερό είναι βασικό στοιχείο για τη διατήρηση ζωής στον πλανήτη μας. Τόσο το υπόγειο όσο και το επιφανειακό νερό (λίμνες, ποτάμια) χρησιμοποιείται για ανθρώπινη κατανάλωση. Το χρησιμοποιούμενο για ανθρώπινη κατανάλωση πρέπει να είναι από κάθε άποψη αβλαβές για την υγεία των ανθρώπων, οργανοληπτικά άμεμπτο και απολύτως καθαρό, απαλλαγμένο από παθογόνους μικροοργανισμούς και οποιεσδήποτε ουσίες, σε αριθμούς και συγκεντρώσεις, που αποτελούν ενδεχόμενο κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία. Τα ποιοτικά του χαρακτηριστικά θα πρέπει να κυμαίνονται μεταξύ ορισμένων αποδεκτών ορίων, τα οποία αποτελούν τα πρότυπα ποιότητας και θεσπίζονται νομοθετικά.

Στην χώρα μας, το πρόβλημα είναι πιο έντονο στις νησιωτικές περιοχές λόγω της μορφολογίας του εδάφους. Η κατάσταση επιδεινώνεται ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες λόγω των υψηλότερων θερμοκρασιών και της ξηρασίας καθώς

και εξαιτίας της αυξημένης τουριστικής κίνησης στις περιοχές αυτές. Ο τουρισμός συνεπάγεται με την “μεταφορά” των υδατικών καταναλώσεων του παραθεριστή που έχει συνηθίσει στην πόλη του. Επίσης, η κατασκευή των τουριστικών υποδομών όπως τα ξενοδοχεία κτλ., για την εξυπηρέτηση του εισερχόμενου πληθυσμού και οι ανάγκες αυτών των υποδομών για λειτουργίες όπως πότισμα, πισίνες, κτλ., δυσχεραίνουν την κατάσταση.

Για πολλούς από τους παράγοντες που δημιουργούν το πρόβλημα, υπαίτιος είναι ο άνθρωπος καθώς συχνά προκαλεί ρύπανση των υδάτινων πόρων από βιομηχανικά, αστικά, αγροτικά λύματα και της κακής διαχείρισης του υπόγειου νερού, τα οποία οδηγούν σε καταστροφή του υδροφόρου ορίζοντα.

### **ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ**

Με την ορθολογική εκμετάλλευση των υδατικών πόρων και την ενιαία διαχείριση, αντιμετωπίζεται το νερό συνολικά σαν φυσικός πόρος και φυσικό αγαθό, ο οποίος μπορεί και πρέπει να ελεγχθεί συνδυασμένα από τη θέση του στη φύση, μέχρι τη διάθεσή του για κατανάλωση.

Η αύξηση των πιέσεων στο υδατικό περιβάλλον καθιστά αναγκαία την εφαρμογή βιώσιμων πολιτικών ανάπτυξης και διαχείρισης των υδατικών πόρων, μέσω σχεδιασμού, υλοποίησης και βέλτιστης λειτουργίας έργων υποδομής και παρεμβάσεων διαχείρισης τόσο της προσφοράς όσο και της ζήτησης.

Κατά συνέπεια, είναι επιτακτική η ανάγκη να δοθεί μεγαλύτερη έμφαση στη διαχείριση της ζήτησης και να μην θεωρούνται πλέον ως δεδομένες οι παραδοσιακές καταναλώσεις, οι παραδοσιακές απώλειες, η αδιαφορία ως προς τις δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης καθώς και η παραδοσιακή μέθοδος κοστολόγησης και τιμολόγησης του νερού.

Μια υδατική πολιτική πρέπει να εξασφαλίζει στόχους, ώστε η διαχείριση των υδάτων, να μην επηρεάζει αρνητικά την ποιότητα και την ποσότητα των υδατικών πόρων. Καθώς επίσης πρέπει να μεριμνά για τη φυσική δομή του υδάτινου περιβάλλοντος και να καλύπτονται στο βέλτιστο βαθμό οι υδατικές ανάγκες των ανθρώπων, αλλά και των χερσαίων οικοσυστημάτων.

Αυτή η συνδυασμένη αντιμετώπιση μπορεί να γίνει στη βάση προγραμματισμού και συγκεκριμένων κανόνων, από ενιαία έργα και ενιαίους φορείς εκμετάλλευσης και φυσικά κάτω από νέες θεσμικές διαδικασίες και εκτελεστικά όργανα, όπως αναφέρονται παρακάτω.

#### **Εθνικό Μητρώο Σημείων Υδροληψίας**

Με την ΚΥΑ 145026/10.01.2014 συστάθηκε το Εθνικό Μητρώο Σημείων Υδροληψίας (ΕΜΣΥ). Το ΕΜΣΥ είναι ένα ηλεκτρονικό μητρώο βάσης γεωχωρικών δεδομένων και υπηρεσιών. Το σύστημα βάσης του ΕΜΣΥ οργανώνεται σύμφωνα με τους όρους και τις απαιτήσεις του ν.3882/2010 και αποτελείται τουλάχιστον από:



- ✚ το Γενικό Ευρετήριο σημείων υδροληψίας στο οποίο καταχωρίζονται οι επωνυμίες των χρηστών των νερών και τα σημεία υδροληψίας
- ✚ τον Ηλεκτρονικό Φάκελο, στον οποίο καταχωρίζονται οι άδειες χρήσης νερού
- ✚ τον Ψηφιακό Χάρτη, στον οποίο αποτυπώνονται οι συντεταγμένες των σημείων υδροληψίας ανά λεκάνη απορροής.

Σύμφωνα με την ΚΥΑ, εγγράφονται αυτεπαγγέλτως από τις Διευθύνσεις Υδάτων των Αποκεντρωμένων Διοικήσεων, χωρίς να χρειάζεται ο πολίτης να ακολουθήσει καμία νέα διαδικασία, στο Εθνικό Μητρώο Σημείων Υδροληψίας:

- ✚ νέα σημεία υδροληψίας στα οποία θα χορηγηθεί άδεια χρήσης νερού
- ✚ ήδη υπάρχοντα σημεία υδροληψίας για τα οποία έχουν υποβληθεί ανανεώσεις άδειας χρήσης νερού.

### **Εθνικό Συμβούλιο Υδάτων**

Το Εθνικό Συμβούλιο Υδάτων γνωμοδοτεί προς την Εθνική Επιτροπή Υδάτων για τα εθνικά προγράμματα προστασίας και διαχείρισης του υδατικού δυναμικού της χώρας, ενώ λαμβάνει γνώση της Ετήσιας έκθεσης, σχετικά με την κατάσταση του υδάτινου περιβάλλοντος της χώρας, την εφαρμογή της νομοθεσίας για την προστασία και τη διαχείριση των υδάτων, καθώς και για τη συμβατότητα με το κοινοτικό κεκτημένο.

Η εξασφάλιση του στόχου για την ορθολογική διαχείριση και την επίτευξη καλής ποιότητας υδάτων, θα επιδιωχθεί με την ενσωμάτωση των ποιοτικών και ποσοτικών όψεων τόσο των υπογείων όσο και των επιφανειακών υδάτων. Θα οριστούν τα υπάρχοντα επίπεδα ρύπανσης των υδάτων, ενώ θα συνταχθούν κανονισμοί χρήσης του νερού που θα περιλαμβάνουν τις ποικίλες πηγές ρύπανσης, τη ζήτηση αλλά και τις υπόλοιπες επιπτώσεις από τον άνθρωπο.

Με αποτέλεσμα, η Εθνική Επιτροπή Υδάτων να αποτελείται από ένα αρκετά μεγάλο πλήθος μελών, όπως εκπροσώπους κομμάτων και φορέων, με Πρόεδρο τον Υπουργό Περιβάλλοντος - Ενέργειας & Κλιματικής Αλλαγής.

Το μεγαλύτερο όμως πρόβλημα, είναι ότι στη χώρα μας υπάρχει μεγάλος αριθμός εμπλεκόμενων φορέων στη διαχείριση με πολυδιάσπαση αρμοδιοτήτων, με έλλειψη συντονισμού, με αδυναμία συνεννόησης και σε πολλές περιπτώσεις οι ευρισκόμενοι σε σύγκρουση. Έτσι γίνεται αδύνατη η ιεράρχηση των αναγκών και ο καθορισμός των προτεραιοτήτων, με τελικό αποτέλεσμα κάθε προσπάθεια για ορθολογική διαχείριση να γίνεται αναποτελεσματική.

## **ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ**

Αρχικά, όσον αφορά την έρευνα, την αξιοποίηση, την χρήση και την προστασία των υδατικών πόρων, υπάρχει ένα ευρύ πλήθος από νόμους, διατάγματα, διοικητικές αποφάσεις και φορείς, τα οποία συντελούν την εθνική νομοθεσία.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση, πρόκειται για τον Ν. 1650/86, όπου αναφέρεται στην Προστασία του Περιβάλλοντος και αντιμετωπίζει το νερό ως στοιχείο του περιβάλλοντος. Επιπλέον, προβλέπει μέτρα οργανωτικά και θεσμικά για την παρακολούθηση και τον έλεγχο της ποιότητας των υδατικών πόρων. Επίσης, είναι και ο Ν. 1739/87 όπου αναφέρεται στη Διαχείριση των Υδατικών Πόρων.

Εν γένει, γίνεται γενική αναφορά στις υδρογεωλογικές ενότητες χωρίς πάντα να καθορίζονται οι οριακές συνθήκες που τις χαρακτηρίζουν, διότι η πολύπλοκη γεωλογική δομή που υπάρχει, δυσχεραίνει τον ακριβή καθορισμό των υδρογεωλογικών συστημάτων.

Σύμφωνα με το ΦΕΚ 1333/Β'/3-7-2009 ισχύουν απαγορευτικά μέτρα αναφορικά για την αξιοποίηση των υδατικών πόρων της Κρήτης βάσει της αρ. 1595/30-06-2009 απόφαση του Γενικού Γραμματέα Περιφέρειας Κρήτης (ΦΕΚ 1333/Β'/3-07-2009), «Περιοριστικά και λοιπά ρυθμιστικά μέτρα, στις χρήσεις και τη λειτουργία των έργων αξιοποίησης υδατικών πόρων, με στόχο την προστασία και τη διαχείριση του υδατικού δυναμικού της λεκάνης απορροής της Κρήτης».

Επιπλέον, η νέα απόφαση (ΑΠ 1595/30-6-2009 ΦΕΚ Β 1333/3-7-2009) αφορά μέτρα που ρυθμίζουν και περιορίζουν τις χρήσεις και τη λειτουργία των έργων αξιοποίησης υδατικών πόρων και έχουν ως στόχο τη διατήρηση των υδατικών πόρων και την προστασία τους, μέσα στα πλαίσια της αειφόρου ανάπτυξης.

### Περιοριστικά μέτρα του νομοθετικού πλαισίου

Κατά την υλοποίηση των παραπάνω νόμων, έχουμε τα περιοριστικά μέτρα που ισχύουν σε όλες τις περιοχές της Κρήτης, τα οποία αφορούν τις ελάχιστες αποστάσεις μεταξύ των γεωτρήσεων - πηγαδιών και γενικότερα τους όρους και τις προϋποθέσεις για τη χρήση των υπόγειων νερών.

Αρχικά, σε περιοχές που δεν ισχύουν τα απαγορευτικά μέτρα, επιτρέπεται η εκτέλεση γεώτρησης ή η άντληση νερού, μόνο με τη χορήγηση άδειας, η οποία εκδίδεται από την Δ/ση Υδάτων ύστερα από αίτηση του φυσικού ή νομικού προσώπου (Δημόσιου ή Ιδιωτικού Δικαίου), με τους παρακάτω όρους και προϋποθέσεις:

- ✚ Ελάχιστη απόσταση μεταξύ Ιδιωτικού με Δημόσιου έργου υδροληψίας → **500 m**
- ✚ Ελάχιστη απόσταση μεταξύ γεωτρήσεων με υφιστάμενα πηγάδια → **300 m**
- ✚ Ελάχιστη απόσταση μεταξύ πηγαδιών με υφιστάμενες γεωτρήσεις → **100 m**
- ✚ Ελάχιστη απόσταση μεταξύ νέας γεώτρησης από φυσική πηγή (εκτός αν γίνει πλήρως αιτιολογημένη υδρογεωλογική έκθεση ότι δεν θα υπάρξουν επιπτώσεις στην πηγή) → **500 μέτρα**

Παράλληλα, θα πρέπει να τεκμηριώνεται από τη υδρογεωλογική μελέτη που θα υποβάλετε μαζί με τα υπόλοιπα δικαιολογητικά.

Βέβαια, μπορούν να υπάρξουν μεταβολές στις αποστάσεις ανά περίπτωση έργου, από τη Δ/ση Υδάτων. Αυτό συμβαίνει, μόνον και αν οι υδρογεωλογικές συνθήκες

της περιοχής το επιτρέπουν, έπειτα από πλήρως αιτιολογημένη υδρογεωλογική έκθεση για την κατάσταση του υδροφορέα και των επιπτώσεών του από το έργο.

### **Εξαιρέσεις του νόμου**

Αναφέρονται οι εξαιρέσεις του νόμου που αφορούν τα έργα υδροληψίας για την κάλυψη υδρευτικών αναγκών, μόνο εφόσον ισχύουν οι παρακάτω όροι και προϋποθέσεις:

- ✚ Η ποιότητα του υπόγειου υδροφορέα είναι κατάλληλη για ύδρευση.
- ✚ Ο όγκος άντλησης νερού δεν θα ξεπερνά την φυσική αναπλήρωση ανά 24ωρο.
- ✚ Τα κτίσματα να είναι νόμιμα κατασκευασμένα, ή να υπάρχει άδεια κατασκευής.
- ✚ Εάν δεν υπάρχει υδρευτικό δίκτυο που μπορεί να καλύψει τις ανάγκες αυτές.
- ✚ Η χρήση δεν θα πρέπει να επεκτείνεται σε παραγωγικές δραστηριότητες για την παραγωγή προϊόντων ή την παροχή υπηρεσιών.
- ✚ Η θέση, μετά από την εκπόνηση υδρογεωλογικής μελέτης, να είναι τέτοια ώστε να επιφέρει τις κατά το δυνατό μικρότερες επιπτώσεις στα άλλα υφιστάμενα υδρευτικά έργα.

Επιπλέον, για τη διάνοιξη νέων υδρογεωτρήσεων σε κοντινή απόσταση από την ακτή με σκοπό την άντληση του νερού, αν και μόνον αν η ποιότητα του νερού είναι υφάλμυρη, θα πρέπει να κατασκευασθεί μονάδα αντίστροφης όσμωσης (αφαλάτωση). Έτσι, πριν προβούμε σε μια τέτοια ενέργεια, μελετάμε πρώτα τους παρακάτω όρους και προϋποθέσεις:

- ✚ Να αποδεικνύεται από υδρογεωλογική μελέτη ότι ο υδροφορέας είναι υφάλμυρος.
- ✚ Να ορίζεται ο προορισμός των αποβλήτων από την μονάδα αφαλάτωσης (πχ. άλμη), που σε καμία περίπτωση δεν θα είναι ο ίδιος ή άλλος υδροφορέας.
- ✚ Η θέση της γεώτρησης να είναι τέτοια, ώστε να επιφέρει τις μικρότερες δυνατές επιπτώσεις στα υφιστάμενα γειτονικά υδροληπτικά έργα.

### **Ρυθμιστικά μέτρα επί του νόμου**

- ✚ Ο δικαιούχος της άδειας κατασκευής της γεώτρησης υποχρεούται να τοποθετήσει πιεζομετρική σωλήνα για τη μέτρηση της στάθμης του νερού και υδρομετρητή για τον έλεγχο και την καταγραφή της χρησιμοποιούμενης ποσότητας.
- ✚ Σε περίπτωση που ο δικαιούχος άδειας χρήσης νερού από υφιστάμενη γεώτρηση, πρόκειται να αυξήσει την αντλούμενη ποσότητα του υπόγειου υδροφορέα, θα χρειασθεί η έκδοση ειδικής άδειας.

### **Αντικατάσταση υφιστάμενων προβληματικών γεωτρήσεων**

Η αντικατάσταση νόμιμα υφιστάμενων προβληματικών γεωτρήσεων, επιτρέπεται σε όλες τις περιοχές, συμπεριλαμβανομένων και των περιοχών στις οποίες ισχύουν τα απαγορευτικά μέτρα. Η αντικατάσταση γίνεται με τη χορήγηση σχετικής άδειας από τη Δ/νση Υδάτων και με τους παρακάτω πρόσθετους όρους και προϋποθέσεις:

- ✚ Η απόσταση της νέας γεώτρησης από την παλιά να είναι περίπου 30 μέτρα και να έχει τα ίδια τεχνικά χαρακτηριστικά με εκείνη.
- ✚ Εάν για κατασκευαστικούς λόγους πρέπει να αυξηθεί η απόσταση των 30 μέτρων από την παλιά γεώτρηση, γίνεται κατόπιν αιτιολογημένης έκθεσης στην αρμόδια Υπηρεσία και εκείνη αποφασίζει αντίστοιχα με βασική προϋπόθεση οι αποστάσεις από γειτονικές γεωτρήσεις να διατηρούνται. Επιπλέον, το ίδιο ισχύει ακόμα και αν πρέπει να αλλάξουν τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της νέας γεώτρησης σε σύγκριση με την παλιά.
- ✚ Τέλος, το φυσικό ή νομικό πρόσωπο (Δημόσιου ή Ιδιωτικού Δικαίου) πρέπει να προσκομίσει υπεύθυνη δήλωση του Ν.1599/86 με τα πλήρη στοιχεία της παλιάς γεώτρησης και την δέσμευση ότι θα προβεί στην καταστροφή της, αμέσως μετά τη λειτουργία της νέας. Η καταστροφή της παλιάς γεώτρησης επιβαρύνει με έξοδα τον ενδιαφερόμενο, έπειτα από τη λειτουργία της νέας γεώτρησης.

### **Παρακολούθηση και έλεγχος εφαρμογής του νόμου**

Αναφέρεται, η παρακολούθηση και ο έλεγχος εφαρμογής των κανόνων και των όρων της χρήσης του νερού, καθώς και οι ποινικές κυρώσεις στους παραβάτες.

- ✚ Σε φυσικά ή νομικά πρόσωπα που ρυπαίνουν ή υποβαθμίζουν τα υπόγεια ύδατα ή παραβαίνουν τις διατάξεις του ν. 3199/03 ή των κανονιστικών πράξεων που εκδίδονται κατ' εξουσιοδότηση του, καθώς και σε όποιον ασκεί δραστηριότητα ή επιχείρηση ή χρήση νερού ή κατασκευάζει έργο αξιοποίησης υδατικών πόρων, χωρίς την απαιτούμενη άδεια ή έγκριση, επιβάλλονται οι διοικητικές κυρώσεις του άρθρου 13 του ν. 3199/2003.
- ✚ Οι κάτοχοι των αδειών είναι αποκλειστικά υπεύθυνοι για την τήρηση των όρων που αναφέρονται σε αυτές.
- ✚ Ο έλεγχος και η τήρηση των όρων των αδειών που εκδίδονται σύμφωνα με τους όρους της παρούσης καθώς και η επιβολή των κυρώσεων ασκείται από την αρμόδια Δ/νση Υδάτων της Περιφέρειας Κρήτης, όπως ορίζει το άρθρο 13 παρ. 2 του ν. 3199/2003.
- ✚ Σε φυσικά ή νομικά πρόσωπα που υποβαθμίζουν τα υδατικά συστήματα ή παραβαίνουν τις διατάξεις του νόμου 3199/2003 και των κανονιστικών πράξεων που εκδίδονται κατ' εξουσιοδότησή του, καθώς και στους παραβάτες των όρων και περιορισμών που καθορίζονται στην παρούσα κανονιστική απόφαση του

Γενικού Γραμματέα Περιφέρειας Κρήτης, ανεξάρτητα από την ποινική ή αστική ευθύνη ή τις διοικητικές κυρώσεις που προβλέπονται από άλλες διατάξεις, επιβάλλεται, στα πλαίσια της διαδικασίας εφαρμογής, το μέτρο της οριστικής διακοπής της λειτουργίας της γεώτρησης, σύμφωνα με το άρθρο 13 του ν. 3199/2003, ή και η καταστροφή της γεώτρησης.

- ✚ Η καταστροφή της γεώτρησης επιβάλλεται με απόφαση του Γενικού Γραμματέα της Περιφέρειας Κρήτης ύστερα από εισήγηση, αυτοψία και σχετική έκθεση διαπίστωσης της παράβασης από τη Διεύθυνση Υδάτων. Τα συνολικά έξοδα της καταστροφής της γεώτρησης και η επαναφορά των πραγμάτων στην προτέρα αυτών κατάσταση βαρύνουν τον παραβάτη και σε περίπτωση μη εκτέλεσης της απόφασης, η Διεύθυνση Υδάτων δύναται να προβεί στην καταστροφή της γεώτρησης.

### ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ

Γεώτρηση, ονομάζεται η οποιαδήποτε οπή που ανοίγεται στο έδαφος με χειροκίνητο ή μηχανοκίνητο τρόπο, με τα κατάλληλα μηχανήματα που ονομάζονται γεωτρύπανα.

Ανάλογα με το σκοπό του κάθε έργου υλοποίησης, οι γεωτρήσεις ποικίλουν και μπορεί να είναι είτε εκμετάλλευσης (π.χ. νερού, γεωθερμίας, κλπ), είτε ερευνητικές, είτε δειγματοληπτικές (εξαγωγή δειγμάτων γεωλογικού υποβάθρου), είτε ειδικού σκοπού (π.χ. τσιμεντενέσεις).

Αρχικά, η πρώτη κίνηση πριν την υλοποίηση μιας γεώτρησης είναι η έκδοση άδειας. Αυτό περιλαμβάνει όλες τις απαραίτητες γεωλογικές μελέτες και τις καταθέσεις δικαιολογητικών στους αρμόδιους φορείς, όπως είναι το Δασαρχείο, το Υπουργείο αγροτικής ανάπτυξης και τροφίμων, το Υπουργείο ανάπτυξης κ.ά..

Αφότου εκδοθεί η ειδική άδεια για την διάνοιξη της γεώτρησης, αναγράφεται επάνω η ακριβής θέση της διάτρησης, ως η βέλτιστη δυνατή για τον εντοπισμό του υδροφορέα και τέτοια ώστε να επιφέρει τις κατά το δυνατό μικρότερες επιπτώσεις στα άλλα υφιστάμενα έργα. Έτσι, εξασφαλίζεται η ομαλή πρόσβαση στο χώρο της διάτρησης όπου θα στηθεί το γεωτρύπανο και ο υπόλοιπος εξοπλισμός, ώστε να ξεκινήσει το έργο.

#### **Κάθε γεωτρύπανο αποτελείται από πέντε βασικά μέρη:**

- ✚ την κεφαλή που δέχεται την κίνηση
- ✚ το σύστημα συνθέσεως των χαλύβδινων στελεχών
- ✚ το κοπτικό εργαλείο που εκτελεί την εκσκαφή
- ✚ τον αεροσυμπιεστή
- ✚ τα παρελκόμενα ειδικά εργαλεία του εξοπλισμού



**ΕΙΚΟΝΑ 1: Γεωτρύπανο T4 Ingersoll Rand**

[\(http://www.geotriseis.net/\)](http://www.geotriseis.net/)

Καθώς ξεκινήσει το έργο, στα πρώτα μέτρα της διάτρησης γίνεται η τοποθέτηση προσωρινής σωλήνωσης με σκοπό τη στήριξη των σαθρών επιφανειακών τοιχωμάτων της γεώτρησης. Ύστερα, καθώς τα στελέχοι κοχλιώνονται μεταξύ τους, το κοπτικό εργαλείο εισέρχεται σιγά σιγά στο έδαφος, με περιστροφική και κρουστική κίνηση. Ταυτόχρονα, γίνεται η εξαγωγή των προϊόντων συντριβής, με την μορφή πολτού και τη συνοδεία νερού με ειδικού σαπουνιού, που λειτουργούν ως ψυκτικά & λιπαντικά μέσα στο κοπτικό άκρο.

Μετά την ολοκλήρωση της υδρογεώτρησης, απαιτείται ο κατάλληλος εξοπλισμός για τη σωστή λειτουργία παροχής του νερού. Αυτό επιτυγχάνεται με τη διεκπεραίωση ανθεκτικής σωλήνωσης με σκοπό την ενίσχυση των τοιχωμάτων της γεώτρησης. Ανάλογα τα χαρακτηριστικά της γεώτρησης και του εδάφους ποικίλουν και οι σωλήνες, όπου συνήθως είναι ανοξείδωτοι, γαλβανισμένοι ή πλαστικοί βαρέου τύπου. Σκοπός της σωλήνωσης είναι η δυναμική συγκράτηση των τοιχωμάτων της διάτρησης που δημιουργεί η γεώτρηση, ενώ ταυτόχρονα στεγανοποιούνται οι ρωγμές που επιτρέπουν την ανεπιθύμητη εισροή ρευστών από τον υδροφόρο ορίζοντα.



**ΕΙΚΟΝΑ 2: Ανθεκτικές σωλήνες με σκοπό την ενίσχυση των τοιχωμάτων της γεώτρησης**

[\(http://www.geotriseis.net/\)](http://www.geotriseis.net/)



Μετά τη σωλήνωση, είναι το στάδιο της χαλίκωσης, όπου με πρώτη ύλη το διαβαθμισμένο και αποστρογγυλομένο ποταμίσιο χαλίκι καλύπτεται το κενό που παρουσιάζει ο εξωτερικός προστατευτικός σωλήνας με τα τοιχώματα της διάτρησης. Με αυτό τον τρόπο, επιτυγχάνεται μία προστατευτική ασπίδα ενάντια στα ακατάλληλα ύδατα προς την γεώτρηση και έτσι δημιουργείται ένα φυσικό φίλτρο νερού.



**ΕΙΚΟΝΑ 3: Διαβαθμισμένο και αποστρογγυλομένο ποταμίσιο χαλίκι ως φυσικό φίλτρο νερού**

[\(http://www.geotriseis.net/\)](http://www.geotriseis.net/)

Εν τέλει, η άντληση του νερού είναι αδύνατη χωρίς τη χρήση ειδικής αντλίας. Έτσι, τοποθετείται στη γεώτρηση σε εμφανή ή υποβρύχια θέση, ενώ υπάρχει πλήθος επιλογής ανά περίπτωση, καθώς διατίθεται σε διάφορα μεγέθη και ισχύ, ανάλογα με τις ανάγκες άντλησης. Η ειδική αυτή αντλία διαθέτει αυτόματη λειτουργία με ειδικό πίνακα προστασίας, καθώς και χρονοδιακόπτη για περιορισμένη και προκαθορισμένη λειτουργία.



**ΕΙΚΟΝΑ 4: Αντλητικό συγκρότημα**

[\(http://www.geotriseis.net/\)](http://www.geotriseis.net/)

Βέβαια, η ανεξέλεγκτη διάνοιξη γεωτρήσεων και η ύστερα η μη ορθολογική διαχείριση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα (υπεράντληση), μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικά προβλήματα, όπως την υφαλμύριση ή την εξάντληση του δυναμικού αποθέματος. Έτσι, όταν ο ρυθμός άντλησης στις γεωτρήσεις υπερβεί το ρυθμό φυσικής ή τεχνητής επαναφόρτισης του υδροφόρου ορίζοντα, τότε το θαλάσσιο νερό εισρέει στους υδροφορείς, καταστρέφοντάς τους από πηγή πόσιμου νερού.

Επίσης, πρέπει να τονισθεί ότι το φαινόμενο της υφαλμύρωσης δεν μπορεί να θεωρηθεί ως αναστρέψιμο, γι' αυτό η αντιμετώπισή του συνδέεται πρακτικά με τη πρόβλεψη και τη ορθή διαχείριση. Το πρόβλημα της υφαλμύρωσης στις περισσότερες περιπτώσεις αναγνωρίζεται από τους υπεύθυνους υδρογεωλόγους και μηχανικούς του κλάδου.

## ΥΦΑΛΜΥΡΙΝΣΗ

Λέγοντας υφαλμύριση, εννοούμε την αύξηση της αλατότητας του υπόγειου νερού σε κάποια ορισμένη τοποθεσία και για κάποιο συγκεκριμένο βάθος. Είναι ιδιαίτερα έντονο σε παράκτιους υδροφόρους ορίζοντες και άμεσα προκαλεί σημαντικό πρόβλημα στην ποιότητα του υπόγειου νερού. Επιπλέον, η διερεύνηση του φαινομένου είναι εξαιρετικά σημαντική αφού αποτελεί ίσως τη συνηθέστερη πηγή ρύπανσης του γλυκού νερού.

Γενικά το αλμυρό νερό που παρατηρείται σε υδροφόρους ορίζοντες μπορεί να προέλθει από τις παρακάτω πηγές προέλευσης:

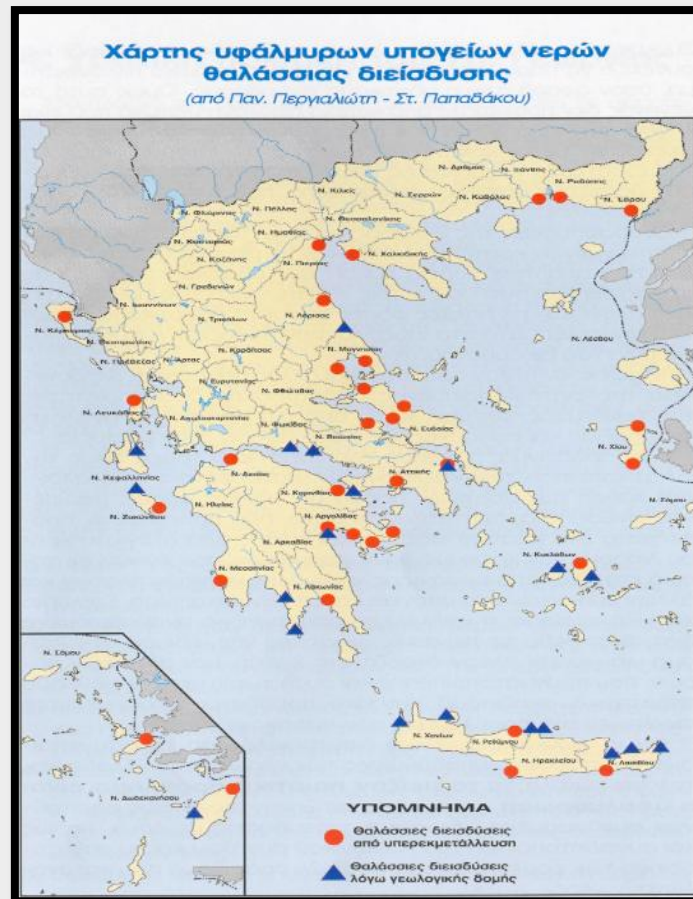
- ✚ εισροή θαλασσινού νερού από παράκτιες περιοχές λόγω γεωλογικών συνθηκών
- ✚ θαλασσινό νερό που διείσδυσε σε υδροφορείς κατά το παρελθόν
- ✚ λεπτές στρώσεις αλατιού σε γεωλογικούς σχηματισμούς
- ✚ γλυφό νερό από αρδευόμενη γη που καταλήγει σε γεωτρήσεις
- ✚ λύματα υψηλής αλατότητας από ανθρώπινη προέλευση.

Η υφαλμύριση των υπόγειων υδροφορέων σε περιοχές που γειτνιάζουν με τη θάλασσα οφείλεται κυρίως με τη μεταβολή του φυσικού εμπλουτισμού του υδροφορέα και πρόκειται για μια περιοδική αλμυρότητα που σχετίζεται με τις βροχοπτώσεις. Επίσης, συνδέονται άμεσα με την υπερβολική άντληση, τόσο στους ελεύθερους όσο και στους υπό πίεση υδροφόρους ορίζοντες. Και τέλος, μέσω της εξατμισοδιαπνοής, όπου κατά τη διάρκεια της ξηρής περιόδου το αλάτι συσσωρεύεται με διάφορους ρυθμούς, που εξαρτώνται από το έδαφος και το κλίμα, προκαλώντας έτσι υποβάθμιση του εδάφους και την ερημοποίηση.

Έτσι, μπορεί να οφείλεται τόσο σε ανθρωπογενείς παράγοντες όπως η υπεράντληση, όσο και σε φυσικούς παράγοντες, όπως η ανύψωση της στάθμης της θάλασσας, ή ακόμα και ο συνδυασμός των δύο προηγούμενων.

Συνήθως, είναι άγνωστη η έκταση του φαινομένου, λόγω της έλλειψης στοιχείων και στη δυσκολία της ποσοτικοποίησης του προβλήματος. Κατά την εισροή της θάλασσας σε έναν υδροφορέα, με συνθήκες μόνιμης και συνεχής ροής δεν αποκαθίστανται εύκολα. Επιπλέον τις περισσότερες φορές το πρόβλημα φθάνει σε ανεπίτρεπτα όρια, με τα κατάλληλα μέτρα να μην εφαρμόζονται εγκαίρως. Η εφαρμογή των μέτρων αυτών είναι συνήθως συνδεδεμένη με οικονομικούς, κοινωνικούς, νομικούς και πολιτικούς παράγοντες και αυτό δυσχεραίνει ιδιαίτερα το πρόβλημα, λόγω μεγάλων συμφερόντων.





**ΕΙΚΟΝΑ 5: Χάρτης υφάλμυρων υπόγειων νερών θαλάσσιας διείσδυσης**

<http://www.geo.auth.gr/courses/gqe/gqe427y/chapter076.html>

Για να απλοποιήσουμε την κατάσταση δεχόμαστε ότι έχουμε ένα στρογγυλό νησί δομημένο γεωλογικά με ένα ομοιόμορφο περατό υλικό.

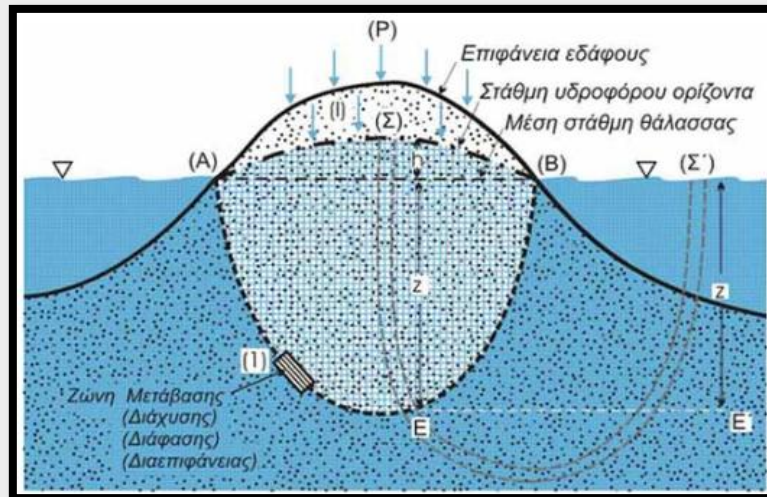
Το νερό της βροχής θα σχηματίζει ένα υδροφόρο ορίζοντα από γλυκό νερό. Επειδή το γλυκό νερό είναι ελαφρύτερο, αφού έχει ειδικό βάρος περίπου  $1,004 \text{ gr/cm}^3$  ενώ το θαλασσινό νερό περίπου  $1,040 \text{ gr/cm}^3$ , θα επιπλέει πάνω από το θαλασσινό νερό, σαν ένα παγόβουνο όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

Έτσι το γλυκό νερό του υδροφόρου ορίζοντα θα επιπλέει πάνω από το θαλασσινό νερό, που θα υπόκειται και θα βρίσκεται σε βαθύτερα τμήματα του υπεδάφους, όπως συμβαίνει με δύο μη μιγνυόμενα υγρά. Όμως, η επαφή αυτή του γλυκού νερού δεν γίνεται με μια απλή γραμμή, αλλά με μια ζώνη διεπιφάνειας (μεταβατικό όριο).

Η πολυπλοκότητα του προβλήματος της υφαλμύρωσης των υδροφορέων οφείλεται σε παράγοντες όπως αναφέρονται παρακάτω:

- ✚ Η ύπαρξη δύο φάσεων ρευστών και μιας ευρείας ζώνης ανάμειξης μεταξύ των δύο υγρών φάσεων.

- ✚ Η κίνηση και η διασπορά του ενός ρευστού στο άλλο εξαρτάται από την πυκνότητα των ρευστών στη ζώνη υφαλμύρωσης η οποία μεταβάλλεται σε συνάρτηση του χώρου και του χρόνου και από τις συνθήκες ροής.
- ✚ Η ανομοιογένεια των υδραυλικών παραμέτρων του υδροφορέα, όπως το πορώδες υπέδαφος, η σύνθεση των πετρωμάτων, κλπ.



**ΕΙΚΟΝΑ 6: Επαφή γλυκού - αλμυρού νερού**

([http://www.geo.auth.gr/763/ch5\\_files/p1.jpg](http://www.geo.auth.gr/763/ch5_files/p1.jpg))

## ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΥΦΑΛΜΥΡΙΝΣΗΣ

### I. ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Για να εντοπίσουμε έγκαιρα το φαινόμενο της υφαλμύρισης, θα πρέπει να γίνονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα οι φυσικοχημικές αναλύσεις στα νερά των γεωτρήσεων, ώστε να υπάρξει μια βάση δεδομένων για την διερεύνηση του φαινομένου.

#### Με μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC)

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού αναφέρεται στην ικανότητα να άγει ηλεκτρικά φορτία και είναι αντιστρόφως ανάλογη της ηλεκτρικής αντίστασης. Η ικανότητα αυτή εξαρτάται από την παρουσία ιόντων, κατ' επέκταση των αλάτων, τη συγκέντρωσή τους, την ευκινησία τους, το σθένος τους και τη θερμοκρασία του διαλύματος.

Η μέτρηση θα πρέπει να γίνεται σε συγκεκριμένη θερμοκρασία, συνήθως 25 °C, διότι η αύξηση της θερμοκρασίας και της ποσότητας των διαλυμένων αλάτων, προκαλεί την αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Οι αυξημένες συγκεντρώσεις

αλάτων μπορεί να δημιουργήσουν διάφορα προβλήματα τόσο περιβαλλοντικά όσο και στην υγεία του ανθρώπου.

Η μονάδα μέτρησης της αγωγιμότητας είναι το Siemens/cm και οι υποδιαίρεσεις του, ενώ το ενδεικτικό επίπεδο της αγωγιμότητας στο πόσιμο νερό είναι τα 400  $\mu\text{S/cm}$ .

### **Με μέτρηση των χλωριόντων (Cl<sup>-</sup>)**

Η μεγάλη συγκέντρωση Cl<sup>-</sup> αποτελεί φαινόμενο διείσδυσης της θάλασσας στον υδροφόρο ορίζοντα. Βέβαια, πηγή προέλευσης αποτελούν και τα ιζηματογενή γεωλογικά πετρώματα, τα οποία περιέχουν αργιλικά ορυκτά θαλάσσιας γένεσης, καθώς και οι εβαπορίτες.

Πιο συγκεκριμένα, το επιθυμητό όριο συγκέντρωσης των χλωριόντων στο πόσιμο νερό πρέπει είναι 25 mg/L και το ανώτατο όριο στα 250 mg/L. Σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις, το νερό γίνεται γλυφό και μπορεί να προκαλέσει καρδιαγγειακά προβλήματα στην υγεία του ανθρώπου. Γενικά, η επιθυμητή συγκέντρωση χλωριούχων ιόντων συμβάλλουν στην παραγωγή του υδροχλωρικού οξέος στο στομάχι και στη διατήρηση της ηλεκτρικής ουδετερότητας των ερυθρών αιμοσφαιρίων.

### **Με μέτρηση του καλίου (K<sup>+</sup>)**

Η ύπαρξη του καλίου (K<sup>+</sup>) σε όλα τα φυσικά νερά και στη φύση, το κάνει ένα στοιχείο σε αφθονία. Επιπλέον, συνδέεται άμεσα με γεωλογικούς σχηματισμούς (πχ. αστρίους) και με καλιούχα λιπάσματα. Η περιεκτικότητά του στο πόσιμο νερό φθάνει σπάνια τα 12 mg/L. Όσον αφορά την υγεία του ανθρώπου, δεν έχουν αναφερθεί αρνητικές επιπτώσεις.

### **Με μέτρηση του νατρίου (Na<sup>+</sup>)**

Αρχικά, αποτελεί ένα βασικό στοιχείο για τον άνθρωπο καθώς βρίσκεται σε όλες τις τροφές και το πόσιμο νερό. Πιο συγκεκριμένα, οι συγκεντρώσεις που κυμαίνονται στα φυσικά νερά είναι από 1 – 500 mg/L. Συνδέεται άμεσα με γεωλογικούς σχηματισμούς όπως αστρίους (πχ. αλβίτη) καθώς και με την διείσδυση της θάλασσας στους παράκτιους υδροφόρους ορίζοντες.

Γενικά, στο πόσιμο νερό δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 250 mg/L, ενώ στο θαλασσινό νερό ανέρχεται στα 10.000 mg/L. Η συγκέντρωση του νατρίου (Na<sup>+</sup>) στο νερό, έχει μεγάλη σημασία για τη γεωργία διότι η διαπερατότητα του εδάφους επηρεάζεται αρνητικά.

Επιπλέον, όσον αφορά την ανθρώπινη υγεία προκαλεί αύξηση της αρτηριακής πίεσης, ενώ παράλληλα άτομα που πάσχουν από χρόνιες καρδιακές παθήσεις χρειάζονται νερό με χαμηλή περιεκτικότητα σε νάτριο. Εν τέλει, σε συγκεντρώσεις που υπερβαίνουν τα 200 mg/L επηρεάζει τη γεύση του νερού.

**Με μέτρηση του ασβεστίου (Ca<sup>2+</sup>)**

Η ύπαρξή του οφείλεται στους γεωλογικούς σχηματισμούς (κυρίως ανθρακικά πετρώματα) που αποτελούνται από ασβεστόλιθους, μάρμαρα, δολομίτες και γύψους όπου μέσω των οποίων έρχεται σε επαφή το υπόγειο νερό.

Έτσι, ανάλογα με την προέλευση του νερού, η συγκέντρωση του ασβεστίου (Ca<sup>2+</sup>), συμβάλει στην ολική σκληρότητά του, καθώς κυμαίνεται από μηδέν μέχρι μερικές εκατοντάδες mg/L.

Όσον αφορά την ανθρώπινη υγεία, δεν έχει αρνητικές επιπτώσεις, αλλά αντιθέτως είναι απαραίτητο στοιχείο, διότι το ασβέστιο (Ca<sup>2+</sup>) είναι διουρητικό, αντιυπερτασικό, αντιαλλεργικό, βοηθά στην πήξη του αίματος και την προστασία των οστών.

**Με μέτρηση της σκληρότητας**

Η σκληρότητα των νερών προέρχεται κυρίως από την παρουσία αλάτων Ca<sup>2+</sup> και Mg<sup>2+</sup>.

Ο προσδιορισμός της σκληρότητας έχει μεγάλη σημασία γιατί αποτελεί κριτήριο καταλληλότητας του νερού για κάθε χρήση. Δείχνει την τάση για σχηματισμό ανθρακικών επικαθίσεων, ενώ συνδέεται και με την υγεία του ανθρώπου και συγκεκριμένα σχετίζεται με τις καρδιακές παθήσεις. Επίσης, η μεγάλη σκληρότητα προκαλεί ελαφρά διάρροια σε όσους το πίνουν για πρώτη φορά, ενώ η συνεχής εξωτερική του χρήση προκαλεί ερεθισμό στο δέρμα. Επιπλέον, καταστρέφει τα υφάσματα και φθείρει τις συσκευές. Βέβαια και η πλήρη έλλειψη ασβεστίου και μαγνησίου (μηδενική σκληρότητα) δεν είναι επιθυμητή.

Γενικά, η σκληρότητα των φυσικών νερών οφείλεται στη γεωλογική σύσταση των πετρωμάτων από τα οποία διέρχεται το νερό. Στη χώρα μας, λόγω της ασβεστολιθικής σύστασης πολλών περιοχών, πολλά νερά παρουσιάζουν υψηλή σκληρότητα.

**Πιο συγκεκριμένα η σκληρότητα διακρίνεται σε:**

- ✚ Παροδική σκληρότητα (ανθρακική σκληρότητα) που προέρχεται από την παρουσία όξινων ανθρακικών αλάτων του Ca<sup>2+</sup> και Mg<sup>2+</sup> δηλαδή Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> και Mg(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>. Τα άλατα αυτά προέρχονται από τη διάλυση Ca<sup>2+</sup> και Mg<sup>2+</sup>, που υπάρχουν στα διάφορα πετρώματα ή στο υπέδαφος, στα οποία έρχεται σε επαφή το υπόγειο νερό. Επίσης, όταν το νερό θερμανθεί, τα άλατα αυτά αποσυντίθεται και συσσωρεύονται ως κατακάθι.
- ✚ Μόνιμη σκληρότητα (μη ανθρακική σκληρότητα) που προέρχεται από την παρουσία θεικών και χλωριούχων αλάτων του Ca<sup>2+</sup> και Mg<sup>2+</sup>. Η κύρια πηγή των θεικών ιόντων είναι η οξείδωση του σιδηροπυρίτη, και η απόθεση των γεωλογικών σχηματισμών του εβαπορίτη.

- ✚ Ολική σκληρότητα, που είναι το άθροισμα της παροδικής και της μόνιμης σκληρότητας. Εκφράζεται συνήθως σε  $\text{CaCO}_3$  (mg/L), ή σε Γαλλικούς, ή σε Γερμανικούς βαθμούς. Ο Γαλλικός βαθμός ισοδυναμεί με 10 mg/L  $\text{CaCO}_3$  και ο Γερμανικός βαθμός ισοδυναμεί με 17,86 mg/L  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ .

#### **Οπότε:**

Εάν η Ολική Σκληρότητα > Ολικής Αλκαλικότητας τότε Αλκαλικότητα = Ανθρακική, άρα η Ολική Σκληρότητα – Αλκαλικότητα = Μόνιμη Σκληρότητα.

Εάν η Ολική Σκληρότητα = < Ολικής Αλκαλικότητας τότε Ολική Σκληρότητα = Ανθρακική Σκληρότητα και η Μόνιμη Σκληρότητα = 0.

#### **Το νερό διακρίνεται ανάλογα με την σκληρότητά του, σε:**

✚ Μαλακό νερό	→	0 - 100 mg/L $\text{CaCO}_3$
✚ Μέσης σκληρότητας νερό	→	100 - 200 mg/L $\text{CaCO}_3$
✚ Σκληρό νερό	→	200 - 300 mg/L $\text{CaCO}_3$
✚ Πολύ σκληρό νερό	→	> 300 mg/L $\text{CaCO}_3$
✚ Πόσιμο νερό	→	< 50 mg/L $\text{CaCO}_3$

#### **Με μέτρηση των θειικών ιόντων ( $\text{SO}_4^{2-}$ )**

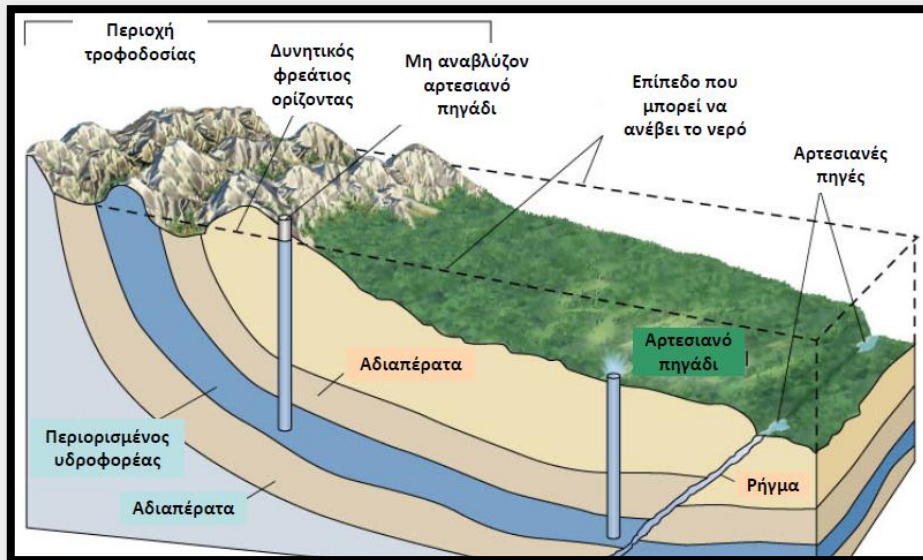
Αρχικά, προέρχεται από τη διάλυση στο νερό γεωλογικών σχηματισμών γύψου, αργιλικών πετρωμάτων και από τη χρήση θειικών λιπασμάτων. Είναι απαραίτητος ο έλεγχος στο πόσιμο νερό, διότι έχει βρεθεί ότι μεγάλες συγκεντρώσεις θειικών ιόντων έχουν καθαρτική δράση στον άνθρωπο.

Γενικά, το θείο και οι ενώσεις του, προκαλούν προβλήματα οσμών και διαβρώσεων. Παράλληλα, με τη παρουσία οργανικής ουσίας, τα θειικά ιόντα ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) μπορεί να αναχθούν σε υδρόθειο ( $\text{H}_2\text{S}$ ), το οποίο έχει δυσάρεστη οσμή και διαβρώνει τους αγωγούς μεταφοράς του νερού.

Το ανώτατο επιτρεπτό όριο θειικών ιόντων στο πόσιμο νερό, είναι τα 250 mg/L, ενώ για περιεκτικότητες μεγαλύτερες από τα 250 mg/L σε θειικά ιόντα, καθιστά τη χρήση των νερών ακατάλληλη για πόση.

## II. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Έπειτα από τον έλεγχο των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του νερού, εφόσον εντοπισθεί πως υπάρχει υφαλμύριση, τότε προβαίνουμε στο επόμενο βήμα που είναι η υδρογεωλογική μελέτη του υπεδάφους. Η συγκεκριμένη μελέτη απαντά στο “γιατί” και στο “πως” διεισδύει η θάλασσα στον υδροφόρο ορίζοντα.



**ΕΙΚΟΝΑ 7: Υδρογεωλογία υδροφορέα**

([https://ocw.aoc.ntua.gr/modules/document/file.php/CIVIL120/ydr\\_ypgia\\_11.pdf](https://ocw.aoc.ntua.gr/modules/document/file.php/CIVIL120/ydr_ypgia_11.pdf))

### Υδρογεωλογική μελέτη

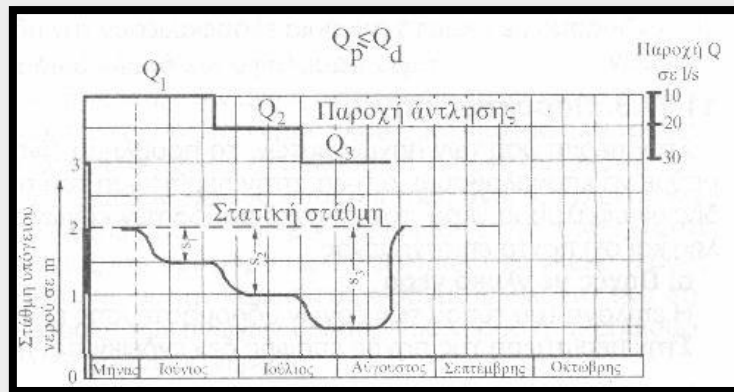
Αρχικά, προτού γίνει η υλοποίηση μιας υδρογεώτρησης, είναι απαραίτητη προϋπόθεση η μελέτη του γεωλογικού υποβάθρου και πιο συγκεκριμένα ο καθορισμός του μεγέθους της υπεδάφιας καρστικής μορφολογίας. Επίσης, με βάση τα υδρολογικά χαρακτηριστικά της ευρύτερης περιοχής θα πρέπει να γίνουν οι μετρήσεις τόσο για την ποιότητα όσο και για την ποσότητα του νερού, του υδροφορέα.

Με αποτέλεσμα, η υδρογεωλογική μελέτη θα πρέπει να απαντά στα εξής παρακάτω:

- ✚ Τις οριακές συνθήκες άντλησης.
- ✚ Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του γεωλογικού υποβάθρου.
- ✚ Τα υδροδυναμικά χαρακτηριστικά του υδροφόρου ορίζοντα.

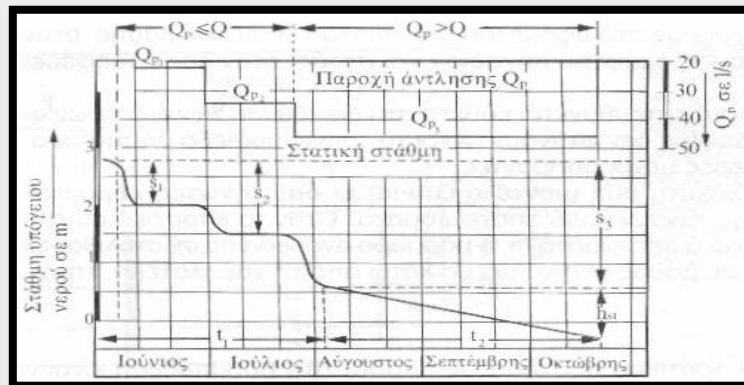
Στην συγκεκριμένη περίπτωση, όπου δεν διαθέτουμε την υδρογεωλογική μελέτη, μια αποτελεσματική μέθοδος για την εμπειρική προσέγγιση του αποθηκευμένου όγκου νερού, είναι η άντληση για μεγάλη χρονική διάρκεια, με ταυτόχρονη στατιστική μελέτη της πτώσης στάθμης αλλά και της αναπλήρωσης της γεώτρησης με το υπόγειο νερό.





**ΕΙΚΟΝΑ 8:** Γραφική παράσταση άντλησης, όπου η αντλούμενη παροχή δεν ξεπερνά τα ρυθμιστικά αποθέματα (Καλλέργης, 2001)

([http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/sefe/sdftp/2005/MavrokefalidouEleni/attached-document/2005\\_Mavrokefalidou.pdf](http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/sefe/sdftp/2005/MavrokefalidouEleni/attached-document/2005_Mavrokefalidou.pdf))



**ΕΙΚΟΝΑ 9:** Γραφική παράσταση άντλησης, όπου η αντλούμενη παροχή ξεπερνά τα ρυθμιστικά αποθέματα (Καλλέργης, 2001)

([http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/sefe/sdftp/2005/MavrokefalidouEleni/attached-document/2005\\_Mavrokefalidou.pdf](http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/sefe/sdftp/2005/MavrokefalidouEleni/attached-document/2005_Mavrokefalidou.pdf))

Στην περίπτωση που η φυσική αναπλήρωση της παροχής δεν επιτυγχάνει σταθεροποίηση της στάθμης άντλησης, τότε αποτελεί και την κρίσιμη παροχή. Συνήθως καθορίζεται στην πιο ξηρά περίοδο του χρόνου, δηλαδή τον Αύγουστο και αυτή μπορεί να θεωρηθεί ως μια δεδομένη απόδοση του υπόγειου υδροφορέα, διότι το λιγότερο που θα μπορεί να αποδίδει θα είναι εκείνη η ποσότητα.

Βέβαια, το παραπάνω ισχύει μόνο στην περίπτωση που το παράκτιο γεωλογικό υπόβαθρο φράζεται πλήρως προς τη θάλασσα με στεγανή δομή. Στην αντίθετη περίπτωση, όταν έχουμε έστω και ελάχιστη εισροή θαλάσσιου ύδατος μέσα στην γεώτρηση, ο καθορισμός της κρίσιμης παροχής προϋποθέτει την άντληση σε θετικά υψόμετρα. Αυτό σημαίνει ότι θα γίνει η τοποθέτηση του αντλητικού συγκροτήματος σε κοντινή σχετικά απόσταση από την επιφάνεια του εδάφους, ώστε να γίνεται η άντληση του γλυκού νερού.

Έτσι, για την αποφυγή εξάπλωσης της ρύπανσης μιας ελαττωματικής γεώτρησης, θα πρέπει να αξιοποιείται μόνο το επιφανειακό στρώμα γλυκού νερού και με ιδιαίτερη προσοχή κατά την θερινή περίοδο. Επιπλέον, θα πρέπει να αποτρέπεται η δημιουργία κώνων πτώσης στάθμης σε αρνητικά υψόμετρα και η αντλία θα πρέπει να βρίσκεται σε θετικά υψόμετρα. Προφανώς, και η εύρεση της συμβολής των αγωγών όπου γίνεται η ανάμιξη των δύο ρευστών είναι σημαντική για την διαχείριση του προβλήματος, ώστε να επιτευχθεί και η αντίστοιχη αντιμετώπιση, με την εκτέλεση νέας γεώτρησης στο ανάντι της υφιστάμενης σε λιγότερο βάθος.

Εν τέλει, η αξιοποίηση των παραπάνω πληροφοριών, είναι απαραίτητες για κάθε έργο, να προσαρμόζονται και να μελετώνται ξεχωριστά για κάθε περιοχή.

### **Εμφάνιση καρστικών φαινομένων στο γεωλογικό υπόβαθρο**

Αρχικά, το καρστ είναι ένας όρος που ενσωματώνει ένα πλήθος γεωλογικών, μορφολογικών, υδρολογικών, υδροχημικών και παλαιογεωγραφικών εννοιών (Καλλέργης, 1981). Πιο συγκεκριμένα, το καρστικό φαινόμενο είναι ένα υπόγειο γεωλογικό τοπίο, με ιδιότυπες γεωμορφές και χαρακτήρες διάλυσης, που αναπτύσσονται κυρίως σε ανθρακικά πετρώματα. Οι καρστικές περιοχές έχουν την ιδιαιτερότητα να εμφανίζουν σπηλαιώσεις και γενικότερα μεγάλα υπόγεια περάσματα σε συνδυασμό με την ύπαρξη μεγάλων πηγών, τα οποία στην βάση τους υπάρχει ανθρακική γεωλογική ακολουθία. Έτσι, το καρστ μπορεί να αποτελεί ένα επιφανειακό και υπόγειο τοπίο, αλλά ταυτόχρονα και τον υδροφόρο ορίζοντα (Καλλέργης, 1981).

Το καρστικό υδροφόρο σύστημα είναι το σύστημα εκείνο που συνίσταται εξολοκλήρου ή κατά κύριο λόγο από ανθρακικούς σχηματισμούς, όπου συνιστούν μια ενότητα αποστράγγισης του υπόγειου νερού.

Αξίζει να σημειωθεί πως η διαδικασία της καρστικοποίησης είναι μια δυναμική διεργασία, εξελισσόμενη στο χρόνο. Αυτή η διαδικασία εξαρτάται από ποικίλους παράγοντες, όπως από την ιστορία του ιζήματος από το οποίο προέρχεται το πέτρωμα και από την τεκτονική εξέλιξη του περιβάλλοντος χώρου. Επίσης, σπουδαίο ρόλο στο φαινόμενο έχουν οι κλιματικές μεταβολές και οι σύγχρονες ανθρωπογενείς επιδράσεις. Αυτό σημαίνει, ότι κάθε ανθρακικό πέτρωμα είναι εν δυνάμει καρστικό.

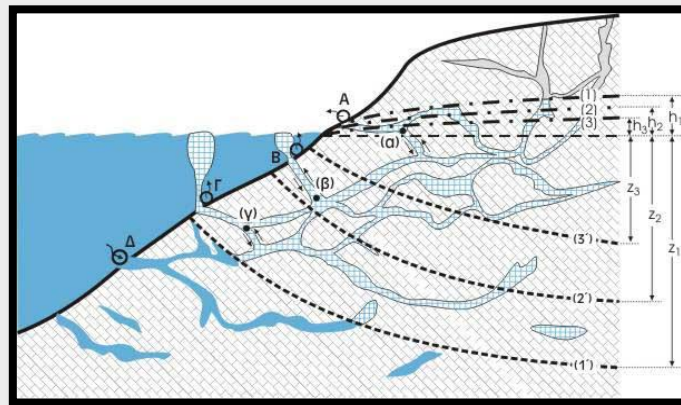
Η ροή του υδροφόρου ορίζοντα αποτελείται από διάφορα είδη ποιότητας νερού, έχοντας έτσι διαφορετική συμπεριφορά και διαφορετικές περιεκτικότητες ανθρακικού ασβεστίου από την επαφή τους με τα ανθρακικά πετρώματα. Πιο συγκεκριμένα, στα πρώτα στάδια της καρστοποίησης, τα καρστικά πετρώματα συμπεριφέρονται απέναντι στο νερό σαν τα αδιάλυτα συμπαγή πετρώματα, δηλαδή ως αδιαπέρατα. Στην συνέχεια, αφότου ρωγματωθούν έστω και λίγο, κυρίως από τεκτονικά αίτια, τότε διαμορφώνεται το δευτερογενές πορώδες το οποίο οφείλεται στη διέλευση του νερού στο δίκτυο των ρωγμών. Η διάβρωση που δέχεται το καρστικό υπόβαθρο, αναπτύσσεται κυρίως κατά τον κατακόρυφο άξονα, λόγω της βαρύτητας της κίνησης του νερού προς τα κάτω, με αποτέλεσμα το φαινόμενο να σταματάει όταν συναντήσει κάποιο στεγανό γεωλογικό υπόβαθρο. Έτσι, ο



υδροφόρος ορίζοντας που κινείται πάνω σε αυτό το αδιαπέρατο υπόβαθρο, αποτελεί το επίπεδο βάσης μιας καρστικής περιοχής. Με αποτέλεσμα, να δημιουργείται ένα νέο είδος ζώνης διήθησης, με το υπόγειο νερό να βρίσκεται σε άμεση ή/και έμμεση επαφή με το νερό της γήινης επιφάνειας. Έπειτα, όταν διευρυνθούν περισσότερο οι ρωγμές, η πάνω κορεσμένη ζώνη με νερό κινείται βαθύτερα προς τα κάτω, σχηματίζοντας έτσι το φαινόμενο της καρστικοποίησης πάνω από το στεγανό υπόβαθρο.

Κατά τη διάλυση των πετρωμάτων από τον υδροφόρο ορίζοντα, προκαλείται η διεύρυνση των κοιλοτήτων του πετρώματος, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα ροής μεγάλων ποσοτήτων του υπόγειου νερού. Γενικά, η παρουσία του καρστ στην Κρήτη οφείλεται στην μεγάλη επιφανειακή εξάπλωση των ασβεστόλιθων και στον έντονο τεκτονισμό του νησιού (Καλλέργης, 2001).

Επιπλέον, όταν το καρστ βρίσκεται κοντά σε παράκτια περιοχή, είναι συχνό φαινόμενο η διείσδυση του θαλασσινού νερού, που μπορεί να φθάσει ακόμη και σε βάθος αρκετών χιλιομέτρων από την ακτή, προκαλώντας έτσι την αλμύριση του υδροφόρου ορίζοντα, λόγω των αγωγών επικοινωνίας.



**ΕΙΚΟΝΑ 10: Παράκτια πηγή (Α), υποθαλάσσιες πηγές (Β, Γ) και υποθαλάσσιες εισροές (Δ)**

([http://www.geo.auth.gr/763/ch5\\_files/p11.jpg](http://www.geo.auth.gr/763/ch5_files/p11.jpg))

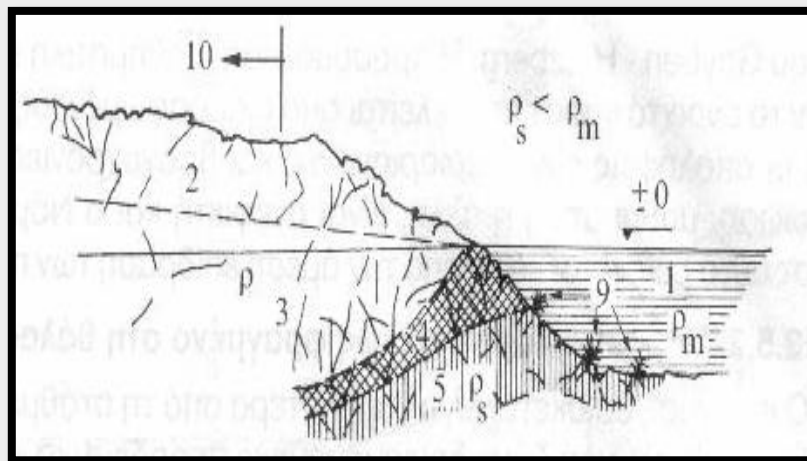
Ο υδροφόρος ορίζοντας σε έναν παράκτιο καρστικό σύστημα διακρίνεται σε τρεις ζώνες, οι οποίες είναι, η ζώνη γλυκού νερού, η υφάλμυρη - μεταβατική ζώνη και η ζώνη αλμυρού νερού.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι κατά τους οποίους ένας υδροφόρος ορίζοντας μπορεί να υποστεί υφαλμύριση. Ο πρώτος τρόπος, είναι να έχουμε τους καρστικούς αγωγούς σε επαφή με την θάλασσα. Εν συνεχεία, ο δεύτερος τρόπος, είναι όταν έχουμε τεκτονική διάρρηξη του στεγανού γεωλογικού υποβάθρου ανάμεσα στο καρστικό σύστημα και την θάλασσα. Επιπλέον, ο τρίτος τρόπος, είναι όταν το στεγανό υπόβαθρο βρίσκεται εν μέρει ή εξολοκλήρου κάτω από την στάθμη της θάλασσας, με αποτέλεσμα την άμεση επικοινωνία του καρστ με το αλμυρό νερό. Και τέλος, ο τέταρτος τρόπος, είναι όταν το στεγανό υπόβαθρο είναι πολύ λεπτό σε πάχος, με αποτέλεσμα η κυκλοφορία του αλμυρού νερού να γίνεται κάτω από αυτό χωρίς να εμποδίζει την κυκλοφορία του.

Επίσης, πρέπει να τονισθεί ότι ο ρυθμός υφαλμύρισης των παράκτιων υδροφόρων επηρεάζεται και από τα παλιρροιακά φαινόμενα της θάλασσα. Αυτό σημαίνει ότι για κάθε αύξηση της στάθμης της θάλασσας, έχει σαν συνέπεια την μείωση χωρητικότητας του γλυκού νερού και τη μετατόπιση της διεπιφάνειας γλυκού - αλμυρού νερού προς τα πάνω. Τα συγκεκριμένα γεωλογικά υπόβαθρα, διαθέτουν ένα σύνολο υπόγειων αγωγών, που είναι δρόμοι κυκλοφορίας θαλασσινού νερού, προκαλώντας έτσι επιβάρυνση του γλυκού νερού. Το μέγεθος της επιβάρυνσης εξαρτάται από τον τύπο του καρστ, καθώς καθορίζει την επικοινωνία που έχει με τη θάλασσα (Bogli, 1980). Έτσι, αφού δημιουργούνται δρόμοι επικοινωνίας καρστ - θάλασσας, ανάλογα με τη θέση των αγωγών γλυκού ή αλμυρού νερού, είναι δυνατό, το ίδιο το καρστ να δίνει υπόγειο νερό διάφορης ποιότητας, το οποίο να κυμαίνεται ευρύτατα.

### **Παράκτιο καρστ ανοικτό προς στη θάλασσα**

Τα ανθρακικά πετρώματα, που αποτελούν το καρστ, έχουν άμεση επαφή με τη θάλασσα. Πρέπει να τονισθεί ότι κατασκευή υδρογεώτρησης, ακόμα και μικρής παροχής γλυκού νερού, θα προκαλέσει τη δημιουργία νέων συνθηκών ισορροπίας του γλυκού με του θαλασσινού νερού. Έτσι, ο ρόλος της διαφοράς πυκνότητας των δύο ρευστών γλυκού και θαλασσινού νερού, είναι καθοριστικός. Όταν το ανοιχτό προς τη θάλασσα καρστ αποτελείται από αγωγούς προνομιακών ροών, τότε η υφαλμύριση γίνεται εξαιρετικά γρήγορα. Με αποτέλεσμα, το καρστ αυτό να βρίσκεται κάτω από την άμεση επίδραση των παλιρροιακών φαινομένων (Καλλέργης, 2001).



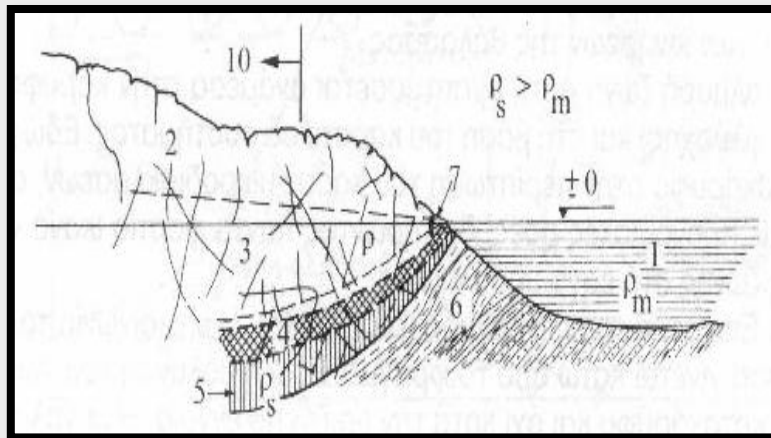
**ΕΙΚΟΝΑ 11: Παράκτιο καρστ ανοικτό προς στη θάλασσα κατά Mijanovic (Καλλέργης, 2001)**

- (1)Θάλασσα, (2)Καρστικό υδροφόρο σύστημα, (3)Ζώνη γλυκού νερού, (4)Μεταβατική ζώνη, (5)Ζώνη αλμυρού νερού, (6)Στεγανό υπόβαθρο, (7)Υπόγειο νερό, (8)Παράκτια πηγή, (9)Υποθαλάσσια πηγή, (10) Ιδανικό σημείο για γεώτρηση

([http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/sefe/sdfp/2005/MavrokefalidouEleni/attached-document/2005\\_Mavrokefalidou.pdf](http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/sefe/sdfp/2005/MavrokefalidouEleni/attached-document/2005_Mavrokefalidou.pdf))

### Παράκτιο καρστ εν μέρη φραγμένο προς στη θάλασσα

Η ύπαρξη του φραγμού τοποθετείται λίγο χαμηλότερα από τη στάθμη της θάλασσας. Με το πέρασμα του χρόνου και σε συνδυασμό με τα τεκτονικά φαινόμενα δημιουργείται η αλμυρή ζώνη λόγω των κινήσεων της θάλασσας. Πιο συγκεκριμένα, η αλμυρή ζώνη αναπτύσσεται ανάμεσα στο στεγανό πέτρωμα και στη βάση του καρστικού συστήματος. Θα πρέπει να τονισθεί ότι είναι αναγκαίο να διατηρούνται πάντα τα υπόγεια φορτία, ικανά ώστε να εμποδίσουν την είσοδο της αλμυρής ζώνης στο έργο υδροληψίας. Η μόνη πιθανή λύση για την επιτυχή εκμετάλλευση των καρστικών νερών χωρίς κίνδυνο άμεσης και έμμεσης επιβάρυνσης, είναι η μέγιστη κατά το δυνατό απομάκρυνση των έργων υδροληψίας από την παράκτια ζώνη (Καλλέργης, 2001).

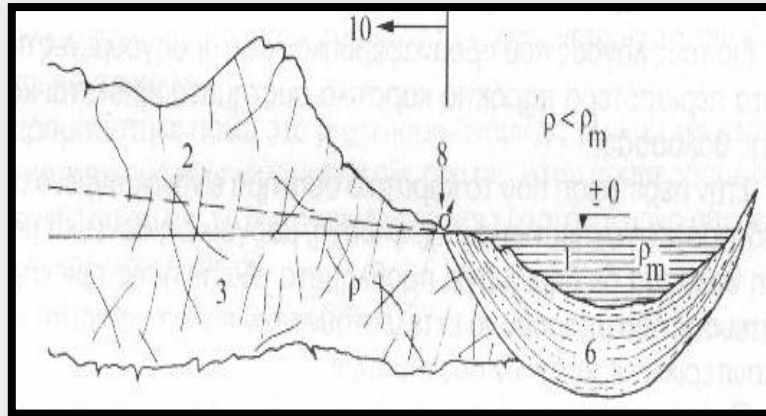


**ΕΙΚΟΝΑ 12: Παράκτιο καρστ εν μέρη φραγμένο προς στη θάλασσα κατά Mijanovic (Καλλέργης, 2001)**

([http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/sefe/sdjp/2005/MavrokefalidouEleni/attached-document/2005\\_Mavrokefalidou.pdf](http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/sefe/sdjp/2005/MavrokefalidouEleni/attached-document/2005_Mavrokefalidou.pdf))

### Παράκτιο καρστ ολοκληρωτικά φραγμένο προς στη θάλασσα

Εδώ η επικοινωνία του καρστ με τη θάλασσα αποκλείεται πλήρως, έτσι αποτελεί την πιο ευνοϊκή περίπτωση. Στην συγκεκριμένη περίπτωση ο σχεδιασμός των υδρογεωτρήσεων θα πρέπει να γίνεται με τεχνοοικονομικά κριτήρια, διότι οι αντλήσεις είναι άμεσα και έμμεσα συνδεδεμένες με τα ρυθμιστικά αποθέματα του υπόγειου υδροφορέα (Καλλέργης, 2001).



**ΕΙΚΟΝΑ 13:** Παράκτιο καρστ ολοκληρωτικά φραγμένο προς στη θάλασσα κατά Μιζανovic (Καλλέργης, 2001)

([http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/sefe/sdftp/2005/MavrokefalidouEleni/attached-document/2005\\_Mavrokefalidou.pdf](http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/sefe/sdftp/2005/MavrokefalidouEleni/attached-document/2005_Mavrokefalidou.pdf))

### III. ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΥΠΕΔΑΦΟΥΣ

Στην ενότητα αυτή παρέχεται μια σύντομη περιγραφή της μεθόδου TEM. Μια αναλυτική παρουσίαση της μεθόδου μπορεί να βρεθεί από McNeill (1980), και Nabighian και Macnae (Nabighian & Macnae, 1991).

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1990 πραγματοποιήθηκε μια ραγδαία ανάπτυξη στις γεωφυσικές τεχνικές που εφαρμόζονταν για τη μελέτη και τη περιγραφή των γεωλογικών χαρακτηριστικών του υπεδάφους. Πριν από αρκετά χρόνια, υπήρχε ένας περιορισμένος αριθμός συστημάτων απεικόνισης του εδάφους με χαμηλή ανάλυση, τα οποία δεν προσέδιδαν επαρκείς πληροφορίες για την κατανόηση και την μελέτη των υπεδάφινων στρωμάτων.

Σήμερα, έπειτα από μακροχρόνια ερευνητικά προγράμματα οδήγησαν στην ανάπτυξη πρωτοποριακών μεθόδων σχετικά με την συλλογή και την επεξεργασία των γεωφυσικών δεδομένων. Αυτή η σημαντική τεχνολογική άνθιση των γεωφυσικών τεχνικών οδήγησε στο μειωμένο κόστος της γεωφυσικής έρευνας αλλά και στο ολοένα αυξανόμενο ενδιαφέρον των εταιρειών για τη μελέτη των γεωλογικών δομών και γενικά του υπεδάφους.

Οι γεωφυσικές μέθοδοι αποτελούν σημαντικό ρολό στον εντοπισμό ή στην χαρτογράφηση των καρστικών εγκοίλων και του υδροφόρου ορίζοντα. Η ηλεκτρική αντίσταση είναι ένα φυσικό μέγεθος, το οποίο είναι δείκτης ικανός να βοηθήσει στον εντοπισμό ζωνών απορροής που σχετίζονται στην καρστική ζώνη. Η συγκεκριμένη τεχνολογία μπορεί να εφαρμοστεί με σκοπό την επίλυση γεωτεχνικών ερευνών (πχ. για ιζηματολογικές έρευνες), περιβαλλοντικών ερευνών (πχ. για διαρροές και υπάρχουσα ρύπανση), υδρογεωλογικών ερευνών (πχ. για την αναζήτηση, τον έλεγχο και την παρακολούθηση υπόγειων υδάτων), αρχαιολογικών και μεταλλευτικών ερευνών.

Έτσι, οι γεωφυσικές μέθοδοι είναι αποδεδειγμένα οι πιο αποτελεσματικές για την άμεση παρατήρηση των επιφανειακών στρωμάτων του γήινου φλοιού, ακολουθώντας πάντα την εφαρμογή θεμελιωδών νόμων της φυσικής.

### **Αρχές ηλεκτρομαγνητικής διασκόπησης**

Η ηλεκτρομαγνητική μέθοδος είναι μία ενεργητική μέθοδος, στην οποία δημιουργούμε εμείς ένα τεχνητό πεδίο που χρησιμοποιεί το ηλεκτρομαγνητικό σήμα για να εντοπίσει τις μεταβολές στην ηλεκτρική αγωγιμότητα του υπεδάφους.

Η συγκεκριμένη μέθοδος των Παροδικών Ηλεκτρομαγνητικών Κυμάτων (Transient Electromagnetic Method (TEM)) βασίζεται στη μέτρηση της απόκρισης ενός ηλεκτρομαγνητικού πεδίου το οποίο προκαλείται μέσα στη γη. Σκοπός της μεθόδου αυτής, είναι ο καθορισμός της γεωηλεκτρικής δομής, δηλαδή της κατανομής της ειδικής αγωγιμότητας στα επιφανειακά στρώματα του φλοιού της γης.

Γενικά, η ροή του ρεύματος που προκαλείται σε έναν αγωγό, δημιουργεί μαγνητικό πεδίο γύρω από αυτόν. Οπότε, εάν κοντά σε αυτό το πεδίο τοποθετήσουμε αντικείμενα που είναι ηλεκτρικά αγωγά τότε το πεδίο θα αναγκάσει τα ηλεκτρικά ρεύματα να ρέυσουν μέσα από αυτά τα αντικείμενα δημιουργώντας έτσι ένα νέο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Έτσι, το παραγόμενο αυτό ρεύμα που δημιουργεί με τη σειρά του το νέο δευτερεύον ηλεκτρομαγνητικό πεδίο, επιστρέφει στην επιφάνεια.

Εν τέλει, ο δέκτης ανιχνεύει το δευτερεύον πεδίο όταν το πρωτεύον είναι μηδενικό (λειτουργώντας ως σημείο αναφοράς), μετρώντας τη χρονική μεταβολή της έντασής του. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται επαγωγή. Με αφορμή τα παραπάνω, μπορούμε να αναφέρουμε ότι οι ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι βασίζονται στα φαινόμενα της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής.

Πιο συγκεκριμένα, τα περισσότερα ξηρά ορυκτά και πετρώματα είναι κυρίως πτωχοί αγωγοί του ηλεκτρισμού. Ταυτόχρονα, θα είχαν εξαιρετικά υψηλές ειδικές αντιστάσεις, εάν αυτά δεν ήταν πορώδη, και οι πόροι τους δεν εμπεριείχαν αγωγίμα ρευστά, όπως το νερό. Στις περισσότερες περιπτώσεις οι ηλεκτρικές ιδιότητες των γεωλογικών σχηματισμών εξαρτώνται κυρίως από την δυνατότητά τους να συγκρατούν ποσότητες νερού ή υγρασίας. Γενικότερα, η παρουσία αργιλικών υλικών στο έδαφος, η υγρασία, το πορώδες, η ύπαρξη υπόγειων υδάτων, η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα, η στρωματογραφία της περιοχής μελέτης και η θερμοκρασία είναι όλοι παράγοντες που επηρεάζουν την ηλεκτρική αγωγιμότητα του υπεδάφους.

### **Μέθοδος βυθοσκόπησης παροδικών κυμάτων**

Η μέθοδος TEM (Transient Electromagnetic Method) είναι σχετικά νέα μέθοδος δεδομένου ότι έχει χρησιμοποιηθεί σε περιβαλλοντικές και υδρογεωλογικές μελέτες τις τελευταίες δεκαετίες.

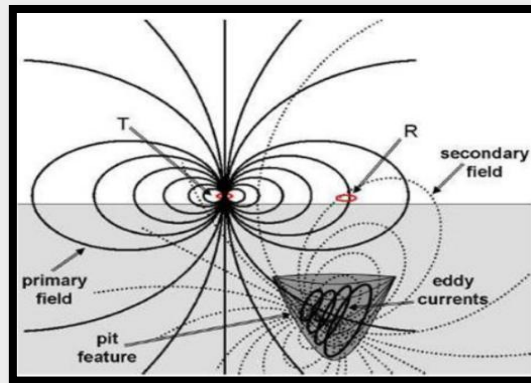
Η αρχή της μεθόδου βασίζεται στην υλοποίηση ενός ορθογώνιου βρόγχου στην επιφάνεια του εδάφους, δημιουργώντας έτσι ένα κλειστό κύκλωμα το οποίο

τροφοδοτείται με ηλεκτρικό ρεύμα μεγάλης έντασης,  $I_0 > 0$ . Το κύκλωμα αυτό αποτελεί τον πομπό της εκπομπής των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, έτσι με τεχνητό τρόπο παράγεται ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα, χαμηλής συχνότητας, το οποίο έχει καθορισμένες ιδιότητες, όπως διεύθυνση, πλάτος, φάση και ονομάζεται πρωτεύον ηλεκτρομαγνητικό κύμα.

Κατά τη διάδοσή του, ένα μέρος του κύματος φτάνει απευθείας στον δέκτη, ο οποίος είναι τοποθετημένος στην επιφάνεια του εδάφους. Αντίθετα, ένα άλλο μέρος του πρωτεύοντος ηλεκτρομαγνητικού κύματος, διαδίδεται μέσα στο φλοιό της γης όπου, αν συναντήσει κάποιο ηλεκτρικά αγώγιμο υλικό, επάγει ηλεκτρικό ρεύμα στο αγώγιμο αυτό υλικό και δημιουργείται ένα δευτερογενές ηλεκτρομαγνητικό κύμα διαφορετικών ιδιοτήτων, όπου φτάνει στον δέκτη.

Το δευτερογενές ηλεκτρομαγνητικό κύμα είναι ίδιας συχνότητας με το πρωτεύον, διαφέρει όμως στις υπόλοιπες ιδιότητές του, όπως τη διεύθυνση, το πλάτος και τη φάση, σε σχέση με το πρωτεύον ηλεκτρομαγνητικό κύμα. Συνήθως, έχει πολύ μικρότερο πλάτος από το πρωτεύον και φτάνει στον δέκτη από διαφορετική διεύθυνση παρουσιάζοντας έτσι μια διαφορά φάσης.

Από τη σύγκριση του αρχικού ηλεκτρομαγνητικού πεδίου με το δευτερεύον πεδίο ως προς το πλάτος και την καθυστέρηση της φάσης υπολογίζεται η αγωγιμότητα του εδάφους. Η φάση είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει τις σχετικές χρονικές θέσεις δύο σημάτων. Επίσης, όσο πιο αυξημένη είναι η επίγεια αγωγιμότητα, τόσο μεγαλύτερη είναι και η καθυστέρηση του δευτερεύοντος πεδίου με αποτέλεσμα το μέγεθος και το ποσοστό αποσύνθεσης των δευτεροβάθμιων ρευμάτων να εξαρτάται από την αγωγιμότητα του μέσου και τη γεωμετρία των αγώγιμων στρωμάτων. Γενικά, οι αποσυνθέσεις είναι πιο αργές σε ένα αγώγιμο μέσο, ενώ αντίθετα στα ανθεκτικά μέσα τα ρεύματα διασκορπίζονται πολύ πιο γρήγορα.



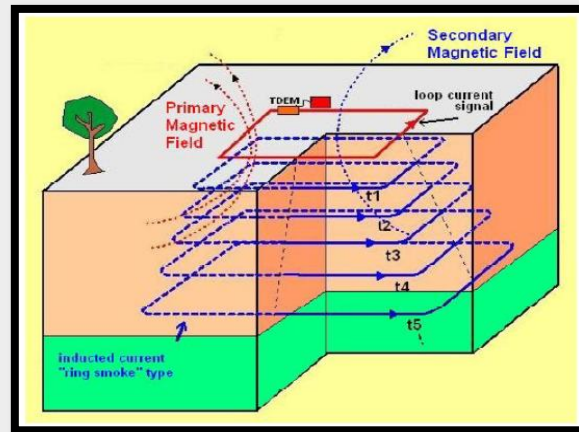
**ΕΙΚΟΝΑ 14: Απεικόνιση αρχικού πεδίου και δευτερεύοντος πεδίου**

(<http://docplayer.gr/10273704-Perakis-emmanoyil-qoynaropoyloy-afroditi.html>)

Αυτό συμβαίνει, διότι οι συγκεκριμένες ιδιότητες του δευτερογενούς κύματος εξαρτώνται και από τη γεωηλεκτρική δομή των ανωτέρων κυρίως στρωμάτων του φλοιού της γης, όπως είναι η κατανομή της ειδικής αγωγιμότητας. Όσο πιο αγώγιμος είναι ένας σχηματισμός τόσο πιο ισχυρά δευτερογενή ηλεκτρομαγνητικά πεδία δημιουργούνται.



Βέβαια, η ένταση των ρευμάτων αυτών, φθίνει με το βάθος και ανάλογα με τις ηλεκτρικές ιδιότητες του υπεδάφους. Με αποτέλεσμα, τα ρεύματα που προκαλούνται μέσα στη γη να είναι αρχικά συγκεντρωμένα κάτω από το βρόχο συσκευής αποστολής των σημάτων, ενώ στην συνέχεια, με την πάροδο του χρόνου, τα ρεύματα διαχέονται προς το βάθος και διασκορπίζονται κάτω και μακριά από τη συσκευή αποστολής σημάτων με τη μορφή δακτυλίων ρεύματος.



**ΕΙΚΟΝΑ 15: Διάταξη μεθόδου TEM**

(<http://docplayer.gr/10273704-Perakis-emmanoyil-goynaropoyloy-afroditi.html>)

Παράλληλα, οι μετρήσεις γίνονται ενώ το ρεύμα της συσκευής αποστολής των σημάτων είναι κλειστό, ώστε να ανιχνευθούν με μεγαλύτερη ευαισθησία οι μετρήσεις του δευτερεύοντος ηλεκτρομαγνητικού πεδίου.

Όσον αφορά την ερμηνεία, γίνεται προσαρμογή των δεδομένων και παράγεται ένα υποθετικό σε στρώσεις γήινο μοντέλο. Στη συνέχεια, γίνεται η επεξεργασία με σκοπό την αναγνώριση και την απομάκρυνση του θορύβου, καθώς και η μοντελοποίηση για την προσεγγιστική απεικόνιση του γεωλογικού υποβάθρου.

Γενικά, δεδομένου ότι η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους συσχετίζεται έντονα με τις ιδιότητές του, η συγκεκριμένη μέθοδος είναι κατάλληλη για την απεικόνιση των εδαφών και των στρωματογραφικών αλλαγών σε συγκεκριμένο εύρος βάθους. Είναι χρήσιμη για την χαρτογράφηση υδροφορέων, για τα αργιλώδη στρώματα με περιορισμένη ροή των υπόγειων υδάτων, για την διεύθυνση θαλασσινού νερού, καθώς και για το βάθος στο βραχώδες υπόστρωμα.

#### **Πηγές σφαλμάτων κατά την διαδικασία των μετρήσεων**

Τα σφάλματα μπορεί να οφείλονται σε διάφορους λόγους, όπως είναι ο γεωμετρικός θόρυβος, οι ανθρωπογενής δραστηριότητες, η ημερήσια μεταβολή του μαγνητικού πεδίου της Γης, κλπ.

### Γεωμετρικός θόρυβος

Εμπεριέχουν όλες τις πηγές θορύβου εξαιτίας της γεωμετρίας της κάθε διάταξης. Πιο συγκεκριμένα, στις ηλεκτρομαγνητικές μεθόδους τα γεωμετρικά λάθη είναι αμελητέα γιατί οι μετρήσεις λαμβάνονται κατά την απουσία του πρωτεύοντος πεδίου. Επιπλέον, η τοπογραφία είναι άλλη μια πηγή σφαλμάτων στις μετρήσεις όμως είναι αμελητέα, καθώς μετά τη διάδοση των κυμάτων έχει τέτοια συμπεριφορά σαν να ήταν η επιφάνεια του εδάφους απολύτως επίπεδη.

### Ανθρωπογενής θόρυβος

Εντάσσονται όλοι οι μεταλλικοί αγωγοί που μπορεί να επάγουν ηλεκτρικό ρεύμα και βρίσκονται στην περιοχή έρευνας, όπως είναι οι γραμμές του τηλεφωνικού δικτύου, υπόγειοι αγωγοί, μεταλλικοί φράκτες, κλπ. Η κύρια συνεισφορά τους, είναι να διοχετεύουν επαγόμενα ρεύματα στα περιβάλλοντα πετρώματα. Επίσης, ο ανθρωπογενής θόρυβος που προέρχεται από της γραμμές μεταφοράς του ηλεκτρικού δικτύου (με συχνότητα 50 Hz), είναι η κυριότερη πηγή σφαλμάτων αλλά είναι εύκολο να εντοπιστεί καθώς η πηγή είναι εμφανής. Επιπλέον περιλαμβάνει και την κίνηση των αυτοκινήτων ή/και την λειτουργία οποιοδήποτε μοτέρ κοντά στην περιοχή της γεωφυσικής διασκόπησης.

### Ηλεκτρομαγνητικός θόρυβος

Υπάρχουν πολλές πηγές που επηρεάζουν τις μετρήσεις των TEM και οφείλονται σε ηλεκτρομαγνητικό θόρυβο. Τα γεωμαγνητικά σήματα κάτω από 1 Hz προέρχονται κυρίως πάνω από την Ιονόσφαιρα ενώ πάνω από 1 Hz προέρχεται κυρίως από τα ατμοσφαιρικά παράσιτα και όλες τις φυσικές ηλεκτρομαγνητικές μεταβολές. Επιπλέον, ο επαγωγικός θόρυβος λόγω της κίνησης της Γης δημιουργεί μαγνητικό πεδίο 100.000 φορές μεγαλύτερο από το πεδίο που δημιουργεί ο πομπός.

### Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

- + Έχουν εφαρμογή όπου δεν είναι δυνατή η ηλεκτρική σύνδεση με το έδαφος, εξαιτίας της μεγάλης ειδικής αντίστασης των επιφανειακών σχηματισμών (πχ. στις πολιτικές περιοχές όπου το έδαφος αποτελείται από πάγο)
  - + Μπορεί να γίνει η διασκόπηση σε βάθη μεγαλύτερα σε σύγκριση των ηλεκτρικών μεθόδων.
  - + Αποκρίνεται με εξαιρετική ευαισθησία σε αγωγούς, σε μεγάλα βάθη.
  - + Διαθέτει ελαφρύ εξοπλισμό σε σύγκριση των άλλων γεωφυσικών μεθόδων.
- Δεν μπορούν να εφαρμοστούν για την ανίχνευση αγώγιμων σωμάτων σε μεγάλα βάθη όταν το επιφανειακό τμήμα του εδάφους είναι εξαιρετικά αγώγιμο (υπάρχει επικάλυψη).
  - Δεν μπορούν να εφαρμοστούν σε διασκόπηση ιδιαίτερα πολύ μεγάλων αποστάσεων από την επιφάνεια της γης (πχ. στον εντοπισμό πετρελαίου).






## ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΥΦΑΛΜΥΡΙΝΣΗΣ

Η υφαλμύρωση έχει αρνητικές επιπτώσεις στις περιοχές στις οποίες εμφανίζεται. Η ρύπανση των υδάτων, καθιστά ακατάλληλη για χρήση από τον άνθρωπο με συνέπεια, κοινωνικά και οικονομικά προβλήματα, όπως την πλήξη του τουρισμού, της γεωργίας και της βιομηχανίας, με αποτέλεσμα τον μαρασμό των περιοχών αυτών. Ως φυσικό επακόλουθο της υφαλμύρωσης των υπόγειων υδάτων είναι και το φαινόμενο της ερημοποίησης, το οποίο καθιστά τις περιοχές ακατάλληλες για διαβίωση. Να σημειωθεί ότι για την πλήρη απορρύπανση του γλυκού νερού, δηλαδή για την οριστική αντιστροφή του φαινομένου της υφαλμύρωσης απαιτείται ιδιαίτερα μεγάλο χρονικό διάστημα, κιόλας και αν είναι εφικτή η πλήρης ή μερική εξαφάνιση του φαινομένου.

Η γνώση όσο περισσότερων πληροφοριών του υπεδάφους, επιτρέπει την καλύτερη δυνατή προσέγγιση της θέσης της διεπιφάνειας του αλμυρού με του γλυκού νερού. Με βάση τις παρατηρήσεις από τις υπάρχουσες γεωτρήσεις της περιοχής, τους πιεζομετρικούς χάρτες του υδροφορέα, από τη γεωλογική μελέτη και τη θέση του πυθμένα του υδροφορέα, μπορούμε να εξαγάγουμε αρκετά συμπεράσματα για το γεωλογικό υπόβαθρο, αλλά απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή, επειδή το πρόβλημα της υφαλμύρωσης είναι αρκετά σύνθετο.

Το βάθος του αλμυρού νερού, είναι συνάρτηση της τροφοδοσίας του υδροφόρου ορίζοντα από τις κλιματολογικές συνθήκες, τις γεωλογικές συνθήκες που επικρατούν, της υδραυλικής αγωγιμότητας και των παλιρροιακών φαινομένων που δημιουργούν μια μεταβατική ζώνη.

Για την αντιμετώπιση της εισροής της θάλασσας στον υδροφόρο ορίζοντα υπάρχουν οι παρακάτω αποτελεσματικές λύσεις:

-  Τεχνητός εμπλουτισμός
-  Δημιουργία υπόγειου φραγμού
-  Ειδικός σχεδιασμός κατασκευής της γεώτρησης – άντλησης

### Τεχνητός εμπλουτισμός του υδροφορέα

Με τον τεχνητό εμπλουτισμό πετυχαίνετε η επιπλέον προσθήκη υδατικών αποθεμάτων από τον άνθρωπο, στα υπόγεια υδροφόρα στρώματα. Έτσι, αυξάνεται η ποσότητα του γλυκού νερού στον υδροφορέα και βελτιώνεται η ποιότητα του σταδιακά.

Βεβαία, χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή η ποιότητα του νερού που κάνουμε προσθήκη, καθώς η προσθήκη μολυσμένου νερού είναι δυνατό να μολύνει σε μεγάλο βαθμό τον υδροφορέα και να μετατρέψει τις διαθέσιμες ποσότητες του νερού σε ακατάλληλες για χρήση και τη πλήρη σφράγιση της γεώτρησης.

Έτσι λοιπόν, με την προσθήκη περίσσειας ποσότητας γλυκού νερού στον υδροφόρο ορίζοντα, διατηρείται η στάθμη του γλυκού νερού πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας ρυθμίζοντας έτσι τις υδραυλικές πιέσεις του υδροφορέα και τελικά αποτρέπεται η διείσδυση του θαλασσινού νερού σε αυτόν. Βέβαια η λύση αυτή ενδείκνυται όταν είναι πρόσφορες οι γεωλογικές και υδρογεωλογικές συνθήκες και

εντέλει συμφέρουσες οι οικονομικές παράμετροι στο πλαίσιο συνολικής διαχείρισης των υδατικών πόρων μιας περιοχής.

Επιπλέον, αθροιστικά λειτουργεί και το νερό των κατακρημισμάτων που φθάνει στα υδροφόρα στρώματα και τα τροφοδοτεί. Με αποτέλεσμα, να γίνεται ο φυσικός εμπλουτισμός όπου εξαρτάται από τη γεωλογική σύσταση, από το βροχομετρικό ύψος και την ετήσια κατανομή της βροχής.

Επομένως ως τεχνητό εμπλουτισμό των υδροφόρων στρωμάτων θα μπορούσαμε να χαρακτηρίσουμε την αύξηση των ποσοτήτων μετεωρικού νερού που εισέρχεται στα υδροφόρα στρώματα με χρήση τεχνικών και διατάξεων από τον άνθρωπο. Το οποίο πρόσθετο αυτό νερό μπορεί να προέρχεται από επιφανειακό νερό ή από παρακείμενο υδροφόρο στρώμα.

### **Σκοπός τεχνητού εμπλουτισμού**

- ✚ Για την αποκατάσταση ή τη πρόληψη του υδρολογικού ισοζυγίου των υδροφόρων στρωμάτων που διαταράχθηκαν λόγω υπεράντλησης.
- ✚ Για την αποφυγή της διείσδυσης της θάλασσας και υφαλμύρωσης των υδροφορέων.
- ✚ Για την διατήρηση της στάθμης των υδροφόρων στρωμάτων, με σκοπό την αποφυγή της υποχώρησης του εδάφους.

### **Προϋποθέσεις εφαρμογής του τεχνητού εμπλουτισμού**

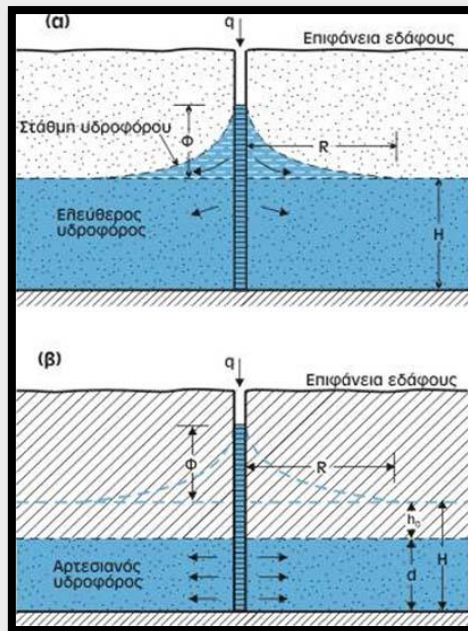
- ✚ Να υπάρχει επιφανειακό νερό σε επαρκή ποσότητα.
- ✚ Η ποιότητα του επιφανειακού νερού να είναι κατάλληλη και χημικά συμβατή με αυτήν του υπόγειου.
- ✚ Να υπάρχουν κατάλληλες γεωλογικές συνθήκες (όπως υδροφόρα στρώματα σε αλληλουχία και σε υδραυλική διασύνδεση, κλπ).
- ✚ Το κατασκευαστικό και το λειτουργικό κόστος να μην είναι ασύμφορα.

### **Πλεονεκτήματα**

- ✚ Βελτίωση ποιότητας του υπόγειου νερού, η προστασία λειτουργίας των πηγών και η αποφυγή της διείσδυσης του θαλασσινού νερού.
- ✚ Οι υπόγειοι ταμιευτήρες δεν διατρέχουν τους κινδύνους φυσικών καταστροφών (πχ κατολισθήσεις).

### **Μειονεκτήματα**

- ✚ Απαιτείται συνεχής παρακολούθηση των συστημάτων τεχνητού εμπλουτισμού.
- ✚ Υπάρχει κίνδυνος μόλυνσης του υπόγειου νερού.
- ✚ Δεν υπάρχουν οικονομικά συμφέροντες όροι για εφαρμογή του τεχνητού εμπλουτισμού.



**ΕΙΚΟΝΑ 16: Απεικόνιση τεχνητού εμπλουτισμού**

([http://www.geo.auth.gr/763/ch7\\_files/p10.jpg](http://www.geo.auth.gr/763/ch7_files/p10.jpg))

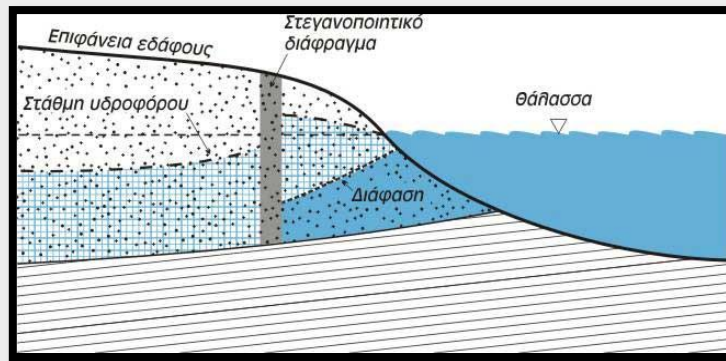
### Δημιουργία υπόγειου φραγμού

Η υφαλμύρωση αντιμετωπίζεται, επίσης και με την δημιουργία υπόγειου φραγμού στο υπεδάφος. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε κάποιες περιοχές έχουν γίνει έρευνες και προσπάθειες για την αντιμετώπιση του φαινομένου, κυρίως με εφαρμογή πειραματικών μεθόδων για τη συγκράτηση των επιφανειακών υδάτων. Έτσι, παρακάτω παρουσιάζεται η κατασκευή ενός τέτοιου φράγματος με σκοπό την αντιμετώπιση της υφαλμύρωσης.

Οι τσιμεντενέσεις είναι μία τεχνική που εφαρμόζονται για την αποκατάσταση και ενίσχυση του υπεδάφους. Με τον όρο ένεμα, εννοούμε την εισαγωγή στην λιθοδομή με μηχανικό τρόπο ενός υλικού υπό ρευστή μορφή, με στόχο την πλήρωση ρωγμών, κενών και κοιλοτήτων. Με την τεχνική αυτή γίνεται η παρασκευή και εισπίεση τσιμεντενέματος με σκοπό να γεμίσουν τα κενά που βρίσκονται στο εσωτερικό του υπεδάφους.

Το τσιμεντένεμα είναι ένα μίγμα τσιμέντου, νερού και άλλων υλικών που παρασκευάζονται κάθε φορά ανάλογα με τον τύπο του έργου που θέλουμε να πραγματοποιήσουμε, ώστε να είναι απολύτως συμβατό. Τα υδραυλικά ενέματα, δηλαδή τα ενέματα από ανόργανα υλικά (τσιμέντο, υδραυλική άσβεστος, θηραϊκή γη, πούδρα τούβλου, άργιλο, κλπ.) έχουν μηχανικά και φυσικά χαρακτηριστικά παρόμοια με εκείνα των υλικών της λιθοδομής και του υπεδάφους, γνωστής διάρκειας ζωής και με ικανοποιητική συνάφεια.

Έτσι, με εκείνο τον τρόπο αποκόπτουμε την επαφή της διεπιφάνειας του γλυκού νερού με το αλμυρό νερό.



**ΕΙΚΟΝΑ 17: Κατασκευή φράγματος - τιμεντένεσης για την αντιμετώπιση της υφαλμύρωσης**

([http://www.geo.auth.gr/763/ch5\\_files/p19.jpg](http://www.geo.auth.gr/763/ch5_files/p19.jpg))

### **Ειδικός σχεδιασμός κατασκευής της γεώτρησης και άντλησης**

Η βέλτιστη λύση στο πρόβλημα της θαλάσσιας διείσδυσης, είναι η παρεμπόδιση της με τη ρύθμιση του υδροφόρου ορίζοντα, ώστε να ελέγχεται σε έναν αποδεκτό βαθμό μακριά από το γλυκό νερό.

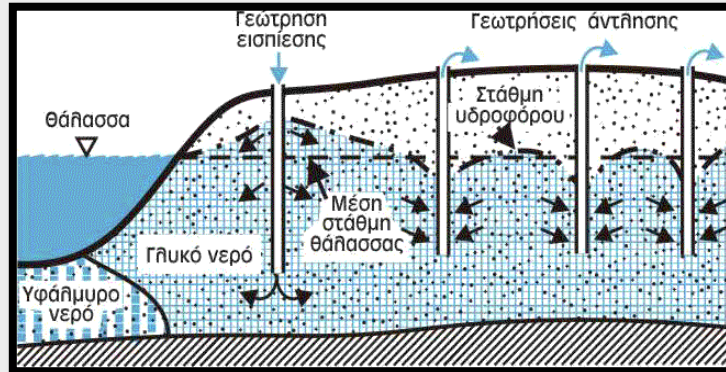
Πρέπει τα έργα υδροληψίας να είναι κατά το δυνατόν μικρού βάθους και οι παροχές άντλησης μικρές, ώστε να αντλείται μόνο ο “αφρός” από τον φακό του γλυκού νερού. Πιο αναλυτικά, θα πρέπει να πραγματοποιηθούν μικρού βάθους γεωτρήσεις, ώστε να αντλούν τα επιφανειακά νερά του υπεδάφους. Ενδέχεται να είναι μικρές οι ποσότητες άντλησης, αλλά ποιοτικά θα είναι πολύ καλύτερα από το υφάλμυρο νερό, που υπάρχει βαθύτερα. Έτσι, εάν γίνει η διάνοιξη πολλών μικρού βάθους γεωτρήσεων, το νερό που θα αντλείται, θα αποθηκεύεται σε δεξαμενές ώστε να πραγματοποιείται η καλύτερη δυνατή διαχείριση ως προς τους καταναλωτές.

Εναλλακτικά, στην ήδη υπάρχουσα βαθιά γεώτρηση, θα πρέπει να μετακινηθεί το αντλητικό συγκρότημα πιο ψηλά μέσα στην γεώτρηση, ώστε να αντλεί το γλυκό νερό, το οποίο λόγω πυκνότητας βρίσκεται πάνω από το υφάλμυρο νερό. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην παροχή άντλησης, διότι μπορεί να υπάρξει η ολοκληρωτική καταστροφή της βιωσιμότητας και της παραγωγικότητας της γεώτρησης, αλλά και του αντλητικού συγκροτήματος.

Με αποτέλεσμα, θα πρέπει να διασπείρονται τα έργα υδροληψίας, κατά το δυνατό, σε μεγάλη έκταση μεταξύ τους, για να μην πέφτει το “βάρος” της άντλησης σε μια μόνο γεωγραφική θέση.

Γενικά αν αποτυπώσουμε τη στάθμη των υδροφόρων στρωμάτων και κατασκευάσουμε τους χάρτες των υδροϊσοϋψών καμπυλών (ισοπιεζομετρικούς χάρτες) για τα υδροφόρα στρώματα, θα έχουμε τη στιγμιαία εικόνα των υδροφορέων. Οι ισοπιεζομετρικοί χάρτες απεικονίζουν τη χωρική κατανομή της στάθμης και μας δίνουν πληροφορίες για το πώς ρέει το υπόγειο νερό, για το από πού έχουμε τροφοδοσία και για το προς τα πού έχουμε απώλειες.

Εν τέλει, η στάθμη των υδροφόρων στρωμάτων μεταβάλλεται συνεχώς με το χρόνο και δεν βρίσκεται ποτέ σε στατική ισορροπία, αλλά σε δυναμική. Έτσι, μεταβάλλεται είτε ανεβαίνοντας λόγω τροφοδοσίας, είτε κατεβαίνοντας λόγω απωλειών (όπως εκφόρτιση από πηγές, από άντληση, εκροή προς γειτονικά στρώματα, κλπ.).



**ΕΙΚΟΝΑ 18:** Ειδικός σχεδιασμός κατασκευής της γεώτρησης και άντλησης

([http://www.geo.auth.gr/763/ch5\\_files/p18.gif](http://www.geo.auth.gr/763/ch5_files/p18.gif))



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙΝΑΣ ΒΑΜΟΥ

#### Περιοχή μελέτης

Ο Αποκόρωνας είναι η περιοχή που καταλαμβάνει το βορειοανατολικό τμήμα του νομού Χανίων, από τους πρόποδες των Λευκών Ορέων μέχρι τις βόρειες ακτές της Κρήτης και βρίσκεται σε περίπου ίση απόσταση από τα Χανιά και το Ρέθυμνο. Χαρακτηριστικό της περιοχής είναι οι καταπράσινοι λόφοι με τις εύφορες εκτάσεις γης, λόγω της ύπαρξης νερού που κατεβαίνει από τα βουνά, δημιουργώντας έτσι ποτάμια τα οποία διατρέχουν την περιοχή, μέχρι να βρουν διέξοδο στην θάλασσα.



**ΕΙΚΟΝΑ 19: Προσδιορισμός της περιοχής μελέτης**

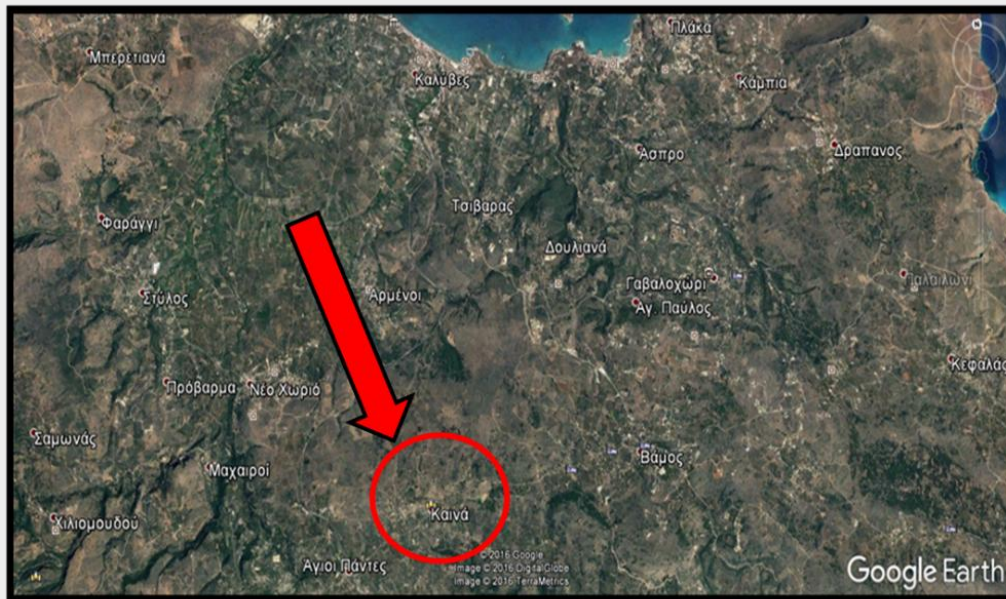
Πιο συγκεκριμένα το χωριό Κάινα, είναι ένα παραδοσιακό Κρητικό ορεινό χωριό με ενδιαφέρουσα αρχιτεκτονική και υπέροχο φυσικό τοπίο. Πολλοί από τους κατοίκους του ασχολούνται με την παραδοσιακή γεωργία, το ελαιόλαδο, το κρασί και τη ρακή ή τσικουδιά που θεωρούνται εξαιρετικής ποιότητας. Τις τελευταίες δύο δεκαετίες, ο Αποκόρωνας έχει γίνει κέντρο του οικοτουρισμού και της ήπιας τουριστικής ανάπτυξης στην Κρήτη.

Όσον αφορά τη μορφολογία του εδάφους είναι εξαιρετικά περίπλοκη, όπου στο νότο υπάρχουν τα Λευκά Όρη, ενώ στην κεντρική περιοχή του Αποκόρωνα, υπάρχουν τα γραφικά οροπέδια που περιβάλλονται από λόφους. Το παραθαλάσσιο τμήμα του Αποκόρωνα είναι στο μεγαλύτερό του μέρος βραχώδες και άγριο, ακατάλληλο για κολύμπι, αλλά προσφέρει υπέροχη θέα προς τη θάλασσα και τη Χερσόνησο του Ακρωτηρίου. Παρόλα αυτά, σε κάποια σημεία της ακτογραμμής εντοπίζονται εξαιρετικές παραλίες, μερικές από τις καλύτερες της Κρήτης.

Ο κύριος λόγος για τον οποίο ο Αποκόρωνας Χανίων είναι μια από τις πιο γόνιμες περιοχές της Κρήτης, είναι τα πολλά μικρά του ποτάμια, από τα οποία ο Ποταμός

Κοιλιάρης είναι ο πιο σημαντικός, τα εντυπωσιακά φαράγγια, όπως το Φαράγγι του Δίκταμου, και οι πάρα πολλές σπηλιές ιστορικής και φυσικής σημασίας.

Όσον αφορά την γεώτρηση που βρίσκεται στο χωριό της Κάινας, είναι σε απόσταση 6 χιλιομέτρων από την βόρεια ακτογραμμή, ενώ έχει υψόμετρο από την στάθμη της θάλασσας στα 209 μέτρα ( $35^{\circ}25'6.28''\text{B}-24^{\circ}10'5.28''\text{A}$ ). Επιπρόσθετα, το βάθος της γεώτρησης είναι στα 280 μέτρα, με στάθμη ηρεμίας στα 199 μέτρα. Εν τέλει, αντλεί 70 κυβικά/ώρα με πτώση στάθμης 1 μέτρο (Παυλάκης, 2001).



**ΕΙΚΟΝΑ 20: Προσδιορισμός της περιοχής μελέτης**

### Κλιματολογικές συνθήκες

Αρχικά, η ευρύτερη περιοχή αποτελείται από μεσογειακό κλίμα. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι εποχιακές διαφοροποιήσεις του έτους προκαλούν μεγάλης διάρκειας ζεστά και άνυδρα καλοκαίρια με υψηλά ποσοστά υγρασίας. Παράλληλα θυμίζει εύκρατο κλίμα κατά καιρούς, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών.

Επιπλέον, χαρακτηρίζεται από μικρής χρονικής διάρκειας κρύους χειμώνες, με έντονες βροχοπτώσεις και χιονοπτώσεις κυρίως στα ορεινά. Έτσι, το μεγάλο ποσοστό κατακρημνισμάτων που φθάνει με τη μορφή είτε βροχής είτε χιονιού στα Λευκά Όρη, τροφοδοτούν τον υδροφόρο ορίζοντα της περιοχής με μεγάλα ποσά νερού.

Πρέπει να επισημανθεί ότι ακόμη κι αν δεχόμαστε συνολικά τα ίδια ύψη βροχής σε σχέση με το παρελθόν, η κατανομή του νερού θα είναι τέτοια, ώστε να μην ευνοεί τον εμπλουτισμό των φυσικών δεξαμενών. Λόγω της έντονης αστικοποίησης, της ερημοποίησης, κλπ, το έδαφος δεν προλαβαίνει να διηθήσει το νερό όταν αυτό έρχεται σε μεγάλες ποσότητες για σύντομα χρονικά διαστήματα. Με αποτέλεσμα,

το μεγαλύτερο μέρος του νερού των βροχοπτώσεων, να απορρέει αναξιοποίητο προς την θάλασσα.



**ΕΙΚΟΝΑ 21: Ετήσια κατανομή βροχοπτώσεων (Σταθμός Καλυβών)**

([http://triton.chania.teicrete.gr/arxeiapdf/epistimonika%20arth/28\\_Stavroulakis.pdf](http://triton.chania.teicrete.gr/arxeiapdf/epistimonika%20arth/28_Stavroulakis.pdf))

Σύμφωνα με τα διαθέσιμα βροχομετρικά στοιχεία κατά την περίοδο 2002 – 2003 που αρχίζουμε να μελετάμε την γεώτρηση, παρατηρούμε ότι έχουμε ένα αρκετά μεγάλο ύψος βροχοπτώσεων (1100 mm βροχόπτωσης) με αποτέλεσμα να έχουμε τον έντονο φυσικό εμπλουτισμού του υδροφόρου ορίζοντα. Αντίθετα, κατά τις χρονολογικούς περιόδους 2003 – 2004 και 2004 – 2005, εντοπίζουμε με βάση το παραπάνω διάγραμμα δύο αρκετά ξηρά έτη, με 590 και 360 mm βροχόπτωσης αντίστοιχα. Με αποτέλεσμα, η ανεπάρκεια του φυσικού εμπλουτισμού από την ελάχιστη ποσότητα των κατακρημνισμάτων να αποδυναμώνει αισθητά τον υδροφόρο ορίζοντα.

### **Γεωλογική δομή της περιοχής ενδιαφέροντος**

Αρχικά, οι γεωλογικές, τεκτονικές και μορφολογικές συνθήκες που συναντώνται στο υπέδαφος, καθορίζουν τις υδρογεωλογικές συνθήκες της συγκεκριμένης περιοχής και η ανάπτυξη των υπόγειων υδροφοριών που δομούν την ευρύτερη περιοχή, παρουσιάζει διαφοροποιήσεις.

Η τεκτονική κατάσταση της περιοχής, και η ύπαρξη ρηγμάτων είναι δύο καθοριστικά γεωλογικά φαινόμενα τα οποία, είτε δημιουργούν μέτωπα επικοινωνίας μεταξύ των υδρολιθολογικών ενοτήτων, είτε αποκόπτουν την επικοινωνία μεταξύ τους. Μια γεωλογική εκτίμηση είναι όταν τα ρήγματα έχουν προσανατολισμό από το βορρά προς το νότο, να διευκολύνουν την υπόγεια ροή ιδιαίτερα στα καρστικά συστήματα ενώ τα ρήγματα με κατεύθυνση από τη ανατολή προς τη δύση να λειτουργούν ως αδιαπέρατα όρια, αποκόπτοντας έτσι τη υπόγεια ροή.

Τα ανθρακικά πετρώματα, που καλύπτουν μεγάλο τμήμα της συγκεκριμένης περιοχής και δομούν τους ορεινούς όγκους αποτελούν πολύ σημαντική ένδειξη,

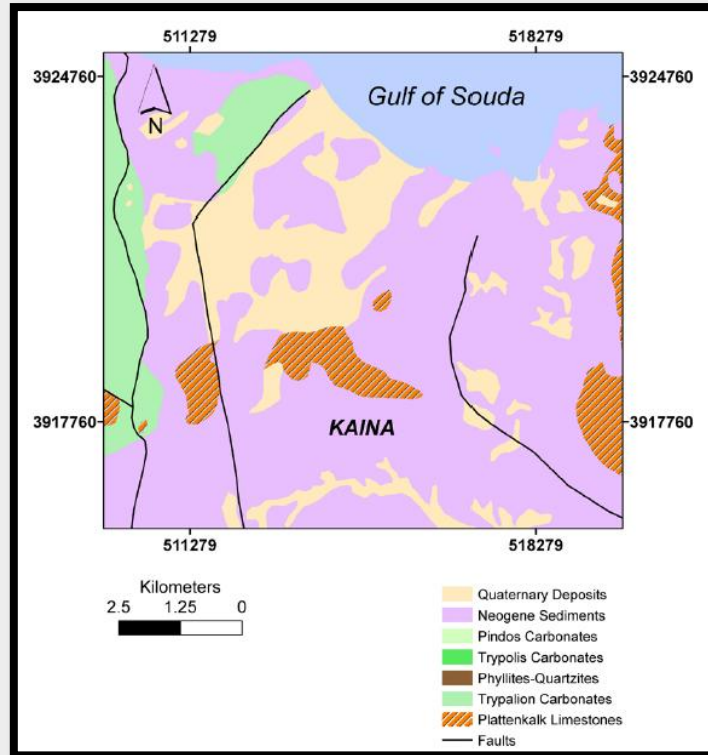


ώστε να εκτιμήσουμε την ύπαρξη υπόγειων υδροφοριών, διότι είναι σημαντικά υδρογεωλογικά συστήματα τα οποία διακινούν υπογείως μεγάλες ποσότητες αξιοποιήσιμου νερού.

Επιπλέον, χαρακτηριστικό της περιοχής είναι ο έντονος κατακερματισμός λόγω του τεκτονισμού. Το συγκεκριμένο φαινόμενο έχει ως αποτέλεσμα τον διαχωρισμό των ήδη υπαρχουσών λεκανών σε επιμέρους υδρογεωλογικές λεκάνες, μικρότερες ή μεγαλύτερες που διακινούν τα νερά τους, στο υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα. Πρέπει να επισημανθεί ότι αν βρίσκονται σε κοντινή απόσταση από την παραλία τότε το νερό τους είναι υφάλμυρο από φυσικά αίτια.

Επίσης, η ύπαρξη νεογενών και τεταρτογενών αποθέσεων είναι καθοριστικές για την ροή του υπόγειου υδροφορέα. Οι αποθέσεις αυτές παρουσιάζουν υδρογεωλογικό ενδιαφέρον ιδιαίτερα όταν αποτελούνται από κροκάλες, κροκαλοπαγή, ψαμμίτες και μαργαϊκούς ασβεστόλιθους. Παράλληλα, εμφανές χαρακτηριστικό στοιχείο της υδροφορίας των νεογενών αποθέσεων είναι η παρουσία στρωμάτων γύψου, με πλούσιο υδατικό δυναμικό αλλά κακής ποιότητας. Εν τέλει, μια ιδιαίτερη γεωλογική παρατήρηση στα υδρογεωλογικά συστήματα που φέρουν μεγάλες ποσότητες υπόγειου νερού, είναι τα καρστικά που αναπτύσσονται στα ανθρακικά πετρώματα του υπεδάφους.

1. Τεταρτογενείς Αποθέσεις: Αποτελείται από μη συνεκτικά αργιλοαμμώδη υλικά, προσχωματικές αποθέσεις, πηλούς, ψαμμίτες, λατυποπαγής κροκάλες ποικίλης γεωμετρίας, και από υλικά του αλλουβιακού μανδύα.
2. Αποθέσεις του Νεογενούς: Αποτελείται από εναλλασσόμενα στρώματα κιτρινόφαιων και κιτρινόλευκων μάργων με μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, καλά στρωμένους σε διαβαθμίσεις. Επίσης, εντοπίζονται μαργαϊκοί ψαμμίτες, αμμούχες άργιλοι και κροκαλοπαγή, με αποτέλεσμα το παραπάνω γεωλογικό υπόβαθρο να χαρακτηρίζεται ως ιδιαίτερα συνεκτικό.
3. Τεκτονικό κάλυμμα Τρυπαίου: Τεκτονικό κάλυμμα, χαρακτηρίζεται ο γεωλογικός σχηματισμός, ο οποίος από τη δράση των ρηγμάτων, αποχωρίζεται την πρωταρχική του θέση και τοποθετείται τεκτονικά, πάνω σε άλλον γεωλογικό σχηματισμό. Αποτελείται κυρίως από άστρωτα ανθρακικά πετρώματα ασβεστόλιθων και μαρμάρων. Τα ανώτερα μέλη που αποτελούνται από ασβεστολιθικά μάρμαρα περιέχουν λίγο πυριτικό υλικό, ενώ αντίθετα στους βαθύτερους ορίζοντες το πυριτικό υλικό μειώνεται μέχρι να εκλείψει. Παρατηρείται ότι στα κατώτερα στρώματα επικρατούν κυψελώδεις δολομίτες με δολομιτικό κατακερματισμένο υλικό που πληροί τις κυψέλες αυτές. Ο έντονος τεκτονισμός που έχουν υποστεί εκείνοι οι ανθρακικοί σχηματισμοί, έχουν ως αποτέλεσμα να εμφανίζονται αρκετά μεγάλες διαρρήξεις, με ζώνες συμπλήρωσης των κενών από λατυποπαγή ιζηματογενής προέλευσης, αλλά και την ύπαρξη σπηλαιώδη τοπίων.



**ΕΙΚΟΝΑ 22: Γεωλογικός χάρτης με την θέση της γεώτρησης στην Κάινα**

([http://triton.chania.teicrete.gr/arxeiapdf/epistimonika%20arth/28\\_Stavroulakis.pdf](http://triton.chania.teicrete.gr/arxeiapdf/epistimonika%20arth/28_Stavroulakis.pdf))

### **Στρωματογραφική στήλη της γεώτρησης**

Αξιοποιώντας τα παραπάνω γεωλογικά στοιχεία της περιοχής, ενώ ταυτόχρονα συλλέγοντας και πληροφορίες από την διάνοιξη της υδρογεώτρησης, παρατηρούμε ότι για τα πρώτα περίπου 60 μέτρα της γεώτρησης συναντάμε μαργαϊκούς ασβεστόλιθους. Ύστερα, για τα επόμενα έως τα 280 μέτρα περίπου, συναντάμε μεσοζωικούς λευκούς ασβεστόλιθους (Παυλάκης, 2001).

Πιο συγκεκριμένα, στην γεωλογική ενότητα του μεσοζωικού λευκού ασβεστόλιθου αναπτύσσονται μεγάλης δυναμικότητας υδροφόρα στρώματα και αυτό οφείλεται στην υψηλή υδροπερατότητα του γεωλογικού σχηματισμού, στην έντονη καρστικοποίηση και στην τεκτονική της περιοχής.

Παρατηρούνται αρκετά ρήγματα να τέμνονται (Εικόνα 23), τα οποία έχουν δύο ιδιότητες γεωλογικής συμπεριφοράς. Είτε να λειτουργούν ως αγωγοί, με αποτέλεσμα να επιτρέπουν την κίνηση των υπόγειων υδάτων στον υδροφόρο ορίζοντα και την εκροή τους προς στη θάλασσα, είτε στη δεύτερη περίπτωση λειτουργούν ως φράγματα και να έχουμε την εμφάνιση των επιφανειακών πηγών. Η ύπαρξη του πλούσιου υδροφορέα και των έντονων επιφανειακών νερών, σε συνδυασμό με τους μαργαϊκούς σχηματισμούς στο γεωλογικό υπόβαθρο, μαρτυρεί την παρουσία των ρηγμάτων που ευνοούν τον υδροφόρο ορίζοντα.



## ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

Η παρακολούθηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού της γεώτρησης της Κάινας ξεκίνησε τον Ιούλιο 2003 και συνεχίστηκε μέχρι τον Νοέμβριο 2010, με σχεδόν τακτικές δειγματοληψίες νερού. Τα αποτελέσματα έδειξαν μια ιδιαίτερη συμπεριφορά της γεώτρησης και προκάλεσαν το ενδιαφέρον για την συγκέντρωση δεδομένων μέχρι το 2010, όπου διακόπηκε η άντληση για μεγάλο χρονικό διάστημα λόγω βλάβης της αντλίας.

Έτσι, η ανάλυση των δειγμάτων από την γεώτρηση της Κάινας, παρουσιάζει την ποιότητα του νερού του αντίστοιχου υδροφόρου ορίζοντα. Το σημαντικότερο πρόβλημα του συγκεκριμένου υδροφορέα, εντοπίστηκε να είναι η αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) του νερού, με την παράλληλη αύξηση της συγκέντρωσης των ιόντων  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ , λόγω του υφάλμυρου μετώπου μέσα στον υδροφορέα.

### Μέτρηση του pH

Αρχικά, η μέτρηση του pH γίνεται με τη χρήση ειδικού πολυοργάνου το οποίο είναι εφοδιασμένο με ένα κατάλληλο ηλεκτρόδιο. Επίσης, πάνω στο ηλεκτρόδιο υπάρχει ενσωματωμένο ένα θερμόμετρο με το οποίο γίνεται ταυτόχρονα η μέτρηση και της θερμοκρασίας του δείγματος.

Έτσι, τοποθετούμε το ηλεκτρόδιο μέσα στο δείγμα, ενώ παράλληλα αναδεύουμε. Η τιμή θα είναι έτοιμη να παρθεί, μόνο όταν σταθεροποιηθεί η ένδειξη του οργάνου. Έπειτα, καταγράφουμε την αναγραφόμενη ένδειξη του pH και της θερμοκρασίας του δείγματος. Τέλος, ξεπλένουμε το ηλεκτρόδιο με απιονισμένο νερό και το τοποθετούμε στην αρχική του θέση.



**ΕΙΚΟΝΑ 25: pH-μετρο HACHsensionTM156**

([http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/sefe/sdfp/2014/TsetsoniMaqda/attached-document-1413798928-956483-9466/Tsetsoni\\_library2014.pdf](http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/sefe/sdfp/2014/TsetsoniMaqda/attached-document-1413798928-956483-9466/Tsetsoni_library2014.pdf))

### Μέτρηση της Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας (EC)

Η μέτρηση γίνεται με όργανα που λέγονται αγωγιμόμετρα τα οποία αποτελούνται από μια γέφυρα Wheatstone και ένα κύτταρο αγωγιμότητας και δίνουν κατευθείαν

την τιμή της αγωγιμότητας του δείγματος.

Η μέτρηση πρέπει πάντα να πραγματοποιείται σε σταθερή θερμοκρασία και να αναγράφεται δίπλα στο αποτέλεσμα. Έτσι, τοποθετούμε το αγωγιμόμετρο μέσα στο δείγμα, ενώ παράλληλα αναδεύουμε. Η τιμή θα είναι έτοιμη να παρθεί, μόνο όταν σταθεροποιηθεί η ένδειξη του οργάνου.



**ΕΙΚΟΝΑ 26: Αγωγιμόμετρο HACHsensionTM156**

[http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/sefe/sdfp/2014/TsetsoniMaqda/attached-document-1413798928-956483-9466/Tsetsoni\\_library2014.pdf](http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/sefe/sdfp/2014/TsetsoniMaqda/attached-document-1413798928-956483-9466/Tsetsoni_library2014.pdf)

### **Μέτρηση της Σκληρότητας**

Ο προσδιορισμός της σκληρότητας γίνεται με τη μέθοδο του EDTA. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην δέσμευση των ιόντων ασβεστίου και μαγνησίου από το EDTA σε αλκαλικό περιβάλλον (pH=10), με την παρουσία του δείκτη Eriochrome Black T.

Τα υλικά και τα όργανα που χρησιμοποιούνται είναι τα εξής: διάλυμα EDTA, 1 ταμπλέτα σκληρότητας με δείκτη Eriochrome Black T (Merck), 1 mL NH<sub>3</sub> (το pH γίνεται 10), κωνικές φιάλες των 250ml, προχοΐδα, σιφώνιο πληρώσεως 1ml και θάλαμος εξαερισμού.

Για τον υπολογισμό, χρησιμοποιούμε τον παρακάτω τύπο:

$$\text{Ολική Σκληρότητα (mg/L CaCO}_3\text{)} = \frac{\text{EDTA ml} \times 1000}{\text{ml δείγματος}}$$

Για την παρασκευή, τοποθετούμε σε μια κωνική φιάλη 250ml, 25ml δείγματος, 1ml αμμωνία (NH<sub>3</sub>) και 1 ταμπλέτα σκληρότητας με δείκτη Eriochrome Black T. Ταυτόχρονα γίνεται η ανάδευση, όπου μετράμε το pH=10, με χρώμα μπορντό στο διάλυμα. Στην συνέχεια καθώς αναδεύουμε κάνουμε την προσθήκη ποσότητας EDTA μέχρι την αλλαγή του χρώματος του δείγματος σε κυπαρισσί.

Για να διαπιστώσουμε τώρα αν έχουμε ανθρακική ή μη ανθρακική σκληρότητα, θα πρέπει να συγκρίνουμε την παραπάνω τιμή που βρήκαμε (Ολική Σκληρότητα) με την Ολική Αλκαλικότητα.



**ΕΙΚΟΝΑ 27: Αντιδραστήρια για τον προσδιορισμό της σκληρότητας**

([http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/sefe/sdfp/2014/TsetsoniMagda/attached-document-1413798928-956483-9466/Tsetsoni\\_library2014.pdf](http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/sefe/sdfp/2014/TsetsoniMagda/attached-document-1413798928-956483-9466/Tsetsoni_library2014.pdf))

### **Μέτρηση των Χλωριόντων (Cl<sup>-</sup>)**

Για τον προσδιορισμό των χλωριόντων χρησιμοποιούμε τη μέθοδο Mohr (μέθοδος του νιτρικού αργύρου). Σύμφωνα με τη μέθοδο, το δείγμα ογκομετρείται με διάλυμα νιτρικού αργύρου και με δείκτη τελικού σημείου διάλυμα διχρωμικού καλίου. Σε κωνική φιάλη των 250 ml τοποθετούνται 25 ml δείγματος νερού και στην συνέχεια με ένα σιφώνι προστίθεται 1 ml του δείκτη διχρωμικού καλίου (K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>). Με αποτέλεσμα, να γίνει το διάλυμα ένα διακριτό κίτρινο χρώμα.

Στην συνέχεια, καθώς γίνεται η τιτλοδότηση με το διάλυμα AgNO<sub>3</sub> 0,01 N, παρατηρείται ένας μεταχρωματισμός σε σκούρο πυκνό πορτοκαλί χρώμα. Έτσι, προτού ξεκινήσει η ογκομέτρηση, σημειώνεται η αρχική τιμή της ποσότητας του AgNO<sub>3</sub> στην προχοΐδα και μόλις γίνει η αλλαγή του χρώματος σημειώνεται και η τελική τιμή. Η αρχική τιμή αφαιρείται από την τελική τιμή και έτσι υπολογίζεται η ποσότητα AgNO<sub>3</sub> που καταναλώθηκε.

$$\text{Χλωριόντα (mg/L)} = \frac{(A - B) \times N \times 35450}{C}$$

Όπου:

- ✚ A = ml διαλύματος AgNO<sub>3</sub> που καταναλώθηκαν
- ✚ B = ml διαλύματος AgNO<sub>3</sub> καταναλώθηκαν για το λευκό
- ✚ N = η κανονικότητα του διαλύματος AgNO<sub>3</sub>
- ✚ C = ml δείγματος





**ΕΙΚΟΝΑ 28: Αντιδραστήρια για τον προσδιορισμό των χλωριόντων**

[http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/sefe/sdfp/2014/TsetsoniMaqda/attached-document-1413798928-956483-9466/Tsetsoni\\_library2014.pdf](http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/sefe/sdfp/2014/TsetsoniMaqda/attached-document-1413798928-956483-9466/Tsetsoni_library2014.pdf)

### **Μέτρηση του Καλίου ( $K^+$ ) - Νατρίου ( $Na^+$ ) - Ασβεστίου ( $Ca^{2+}$ )**

Το φλογοφωτόμετρο, είναι η συσκευή που κάνει τη χρήση φασμάτων εκπομπής σε φλόγα, με σκοπό τον ποσοτικό προσδιορισμό των συγκεντρώσεων Καλίου ( $K^+$ ), Νατρίου ( $Na^+$ ) και Ασβεστίου ( $Ca^{2+}$ ).

Αρχικά, συνδέουμε την φιάλη προπανίου με το φλογοφωτόμετρο, ώστε να τροφοδοτεί με την απαραίτητη ποσότητα καυσίμου τη συσκευή. Έπειτα, πατώντας τον διακόπτη που υπάρχει επάνω στο φλογοφωτόμετρο, δημιουργείται η φλόγα.

Για να σταθεροποιηθεί η φλόγα και να γίνει η βαθμονόμησή του, πρέπει να μείνει σε λειτουργία για περίπου 30 λεπτά. Στην συνέχεια, η βαθμονόμηση του οργάνου στηρίζεται στον ψεκασμό της φλόγας (η οποία έχει μπλε χρώμα), με τα πρότυπα διαλύματα γνωστών συγκεντρώσεων των στοιχείων που επιθυμούμε να μετρηθούν. Με αυτόν τον τρόπο, η φλόγα χρωματίζεται με ένα συγκεκριμένο χρώμα που είναι χαρακτηριστικό για κάθε ένωση και οφείλεται στο γεγονός ότι τα μόρια διασπώνται σε άτομα.

Καθώς τα άτομα διεγείρονται και αποδιεγείρονται, παρατηρείται μια εκπομπή ακτινοβολίας. Το καθένα από αυτά έχει διαφορετικό φορτίο, πυρήνα και αριθμό ηλεκτρονίων, οπότε κάθε στοιχείο έχει διαφορετικά ενεργειακά πεδία. Έτσι, το μήκος κύματος που εκπέμπεται, δηλαδή το χρώμα της φλόγας, εξαρτάται από τη φύση του στοιχείου. Αυτή η εκπομπή σε συγκεκριμένο μήκος κύματος μπορεί να απομονωθεί και να ανιχνευθεί από έναν φωτοανιχνευτή, όπου η έντασή της είναι το μέτρο της συγκέντρωσης του στοιχείου στο δείγμα που εισάγεται στη φλόγα.

Το φλογοφωτόμετρο, είναι σχεδιασμένο να παράγει φλόγες πολλών θερμοκρασιών, ώστε να διεγείρονται όσο το δυνατόν περισσότερα στοιχεία, να προσδιορίζονται τα μήκη κύματος και να μετράται η έντασή τους. Τα σημερινά όργανα μπορούν να μετρήσουν περίπου 60 – 70 στοιχεία.

Με τον διακόπτη που βρίσκεται στο φλογοφωτόμετρο, επιλέγεται το στοιχείο που θα πραγματοποιηθεί η μέτρηση ( $K^+$ ,  $Na^+$  ή  $Ca^{2+}$ ). Ύστερα, με την ροδέλα ρυθμίζεται το εύρος των τιμών της ουσίας που πρόκειται να μετρηθεί και σταθεροποιείται η

τιμή μηδέν με τη χρήση υπερκάθαρου νερού σε ποτηράκι ζέσεως (τυφλό διάλυμα), το οποίο τοποθετείται στην ειδική εσοχή του φλογοφωτόμετρου. Έπειτα, το σωληνάκι της συσκευής εμποτίζεται μέσα στο υπερκάθαρο νερό και έτσι αντλεί μια επαρκή ποσότητα νερού, η οποία ψεκάζει τη φλόγα του οργάνου. Στην συνέχεια, η φλόγα χρωματίζεται με ένα συγκεκριμένο χρώμα που είναι χαρακτηριστικό για το υπερκάθαρο νερό, το οποίο είναι πιο έντονο μπλε.

Εν τέλει, συνεχίζεται η βαθμονόμηση, κάνοντας χρήση πρότυπων διαλυμάτων διαφορετικών συγκεντρώσεων και καταγράφονται οι ενδείξεις για καθένα από αυτά.



**ΕΙΚΟΝΑ 29: Φλογοφωτόμετρο (Sherwood flame Photometer 410)**

([http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/sefe/sdftp/2014/TsetsoniMaqda/attached-document-1413798928-956483-9466/Tsetsoni\\_library2014.pdf](http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/sefe/sdftp/2014/TsetsoniMaqda/attached-document-1413798928-956483-9466/Tsetsoni_library2014.pdf))

### **Μέτρηση των Θεικών Ιόντων ( $\text{SO}_4^{2-}$ )**

Αρχικά, για την μέτρηση των θεικών ιόντων χρησιμοποιείται η ημιποσοτική φωτομετρική μέθοδος, με χρήση της συσκευής Sulfate Cell Test MERCK 14411 kit test.

Κατά την πειραματική διαδικασία, με σιφώνι 5 mL λαμβάνεται από το δείγμα 2,5 mL νερού και τοποθετείται σε δοκιμαστικό σωλήνα. Στην συνέχεια, προστίθενται 2 σταγόνες από το αντιδραστήριο  $\text{SO}_4^- - 1$  το οποίο κατακρημνίζει τα  $\text{SO}_2^-$  και αφού αναδευτεί καλά με την βοήθεια του παλινδρομικού αναδευτήρα, προστίθεται 1 κουταλιά από το αντιδραστήριο  $\text{SO}_4^- - 2$  όπου το ιωδικό βόριο αντιδρά με τα θειικά που έχουν κατακρημνιστεί. Έπειτα, αναδεύουμε καλά και μετά βάζουμε το δοκιμαστικό σωλήνα σε υδατόλουτρο σταθερής θερμοκρασίας 40 °C, όπου αφήνεται για 5 λεπτά για να πραγματοποιηθεί η αντίδραση.

Ύστερα από 5 λεπτά, προστίθενται 2,5 mL από το αντιδραστήριο  $\text{SO}_4^- - 3$  το οποίο αντιδρά με το αντιδραστήριο 2 προς σχηματισμό θειικού βορίου. Αναδεύεται ξανά το μίγμα και φιλτράρεται όλο το περιεχόμενο του δοκιμαστικού σωλήνα με ένα απλό ηθμό, ενώ μεταφέρεται σε έναν άλλο δοκιμαστικό σωλήνα.

Πλέον, στο φιλτραρισμένο δείγμα, προστίθενται 4 σταγόνες από το αντιδραστήριο  $\text{SO}_4^- - 4$  όπου η χρωστική - τανίνη δίνει ένα μελί χρώμα. Τέλος, ο δοκιμαστικός σωλήνας αφήνεται για άλλα 7 λεπτά στο υδατόλουτρο και μετά το πέρας αυτού του χρόνου, μετράμε τα θειικά ιόντα χρησιμοποιώντας την κυψελίδα των 10 mm στο φωτόμετρο MERCK Spectroquant NOVA 60 τοποθετώντας πρώτα την κυψελίδα αναγνώρισης. Στην περίπτωση που το αποτέλεσμα της μέτρησης είναι κάτω από το κατώτερο όριο μέτρησης του οργάνου, χρησιμοποιούμε την κυψελίδα των 50 mm και διπλασιάζουμε όλες τις ποσότητες των αντιδραστηρίων.

## ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΙΑ ΤΗ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Για την καλύτερη ερμηνεία της συμπεριφοράς της γεώτρησης, έγινε η γεωφυσική μελέτη, δεδομένου ότι η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους συσχετίζεται έντονα με τις ιδιότητές του. Η συγκεκριμένη μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε (TEM: Transient Electromagnetic Method), είναι κατάλληλη για την προσεγγιστική απεικόνιση του γεωλογικού υποβάθρου και των στρωματογραφικών αλλαγών σε συγκεκριμένο εύρος βάθους.

### Εξοπλισμός της συσκευής TEM - Fast 48 system

Το TEM - Fast 48 system είναι κατασκευασμένο από την AEMR Ltd (TEM-Fast 48 manual, 2007) και είναι ένα φορητό γεωφυσικό σύστημα με αρκετά προηγμένη τεχνολογία μέτρησης της κατανομής της ειδικής αντίστασης με το βάθος. Η παραπάνω συσκευή μπορεί να λειτουργήσει και να συνδεθεί με οποιοδήποτε Laptop ενώ παρέχει υψηλής ανάλυσης δεδομένα και αποτελεσματική λειτουργία υπό οποιασδήποτε συνθήκης, όπως τη μέτρηση σε περιοχές με έντονο θόρυβο ή σε δύσβατες περιοχές.

Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του, δημιουργεί και στέλνει σύντομους παλμούς ηλεκτρομαγνητικού πεδίου μέσα στη γη, όπου η απόκρισή του εξαρτάται από το ηλεκτρικό τμήμα του υπεδάφους. Έτσι, κάνοντας χρήση ενός τερματικού υπολογιστή και λαμβάνοντας το σήμα και το επίπεδο του θορύβου, ο χειριστής μπορεί να ορίζει τις προδιαγραφές που απαιτούνται για την ακριβή επεξεργασία των δεδομένων.



**ΕΙΚΟΝΑ 30:** Χρήση φορητού υπολογιστή για την συλλογή και απεικόνιση των δεδομένων

Τα όργανα που χρησιμοποιούνται για τις διασκοπίσεις, αποτελούνται από ένα πομπό που συνδέεται με τον βρόχο προς τη υλοποίηση, και παρέχει ηλεκτρικό ρεύμα εντάσεως μέχρι και 4 A, χρησιμοποιώντας 12 V μπαταρίες. Επιπλέον, το καταγραφικό του δέκτη βρίσκεται στο ίδιο όργανο με τον πομπό, και χρησιμοποιεί την ίδια έξοδο με αυτόν.



**ΕΙΚΟΝΑ 31:** Πομπός και καταγραφικό του δέκτη το οποίο βρίσκεται πάνω στο ίδιο όργανο

**ΕΙΚΟΝΑ 32:** Μπαταρίες 12V συνδεδεμένες σε σειρά για μεγαλύτερη αυτονομία στο ύπαιθρο

Επίσης, υπάρχουν και 2 καλώδια αρκετά χαμηλής αντίστασης με συγκεκριμένη διατομή και μήκους 100 μέτρων, τα οποία υλοποιούν τον βρόχο και κλείνουν το κύκλωμα.



**ΕΙΚΟΝΑ 33:** Καλώδιο χαμηλής αντίστασης και συγκεκριμένης διατομής μήκους 100 m

Μόλις ανιχνευθεί και γίνει η συλλογή του σήματος, ο υπολογιστής κάνει τους απαραίτητους υπολογισμούς για την εξομάλυνση της τάσης και την ανακρίβεια των



μετρήσεων. Εν τέλει, οι αλγόριθμοι της επεξεργασίας των μετρήσεων, πραγματοποιούν τον αποκλεισμό των συστηματικών σφαλμάτων που προέρχονται από τις μπαταρίες των οργάνων και τη μεταβολή της θερμοκρασίας, ενώ αυξάνουν το σήμα του θορύβου αν το επίπεδο του σήματος είναι μικρό.

### Τεχνικά χαρακτηριστικά της συσκευής

✚ Μοντέλο	→	TEM - Fast 48 system
✚ Χρόνος πυλών	→	48 γεωμετρικά διάστιχα
✚ Χρονικό φάσμα	→	4 - 16000 μs
✚ Τρέχων πομπός	→	1 A ή 4 A
✚ Μέγεθος βρόγχου	→	5 cm × 5 cm – 500 m × 500 m
✚ Εύρος βάθους θορύβου	→	1 m – 300 m
✚ Αδιάβροχο κουτί	→	IP65
✚ Διαστάσεις	→	330 × 35 × 110 (mm)
✚ Βάρος	→	1.5 (kg)
✚ Εσωτερική μπαταρία	→	12 V, 2 A·h
✚ Ευαισθησία	→	~0.1 μV
✚ Ένδειξη	→	Σημειωματάριο ή φορητό υπολογιστή
✚ Θερμοκρασία λειτουργίας	→	- 20 °C + 65 °C

### Διαδικασία υλοποίησης της διάταξης TEM

Αρχικά, στο σημείο που επιλέγουμε να πάρουμε την μέτρηση, υλοποιούμε έναν ορθογώνιο βρόχο στην επιφάνεια του εδάφους διαστάσεων 50 x 50 μέτρων, για βάθος διασκόπησης περίπου τα 150 μέτρα. Με την βοήθεια κατάλληλων πυξίδων πετυχαίνουμε τον ορθογώνιο προσανατολισμό πάνω στην επιφάνεια του εδάφους, ώστε να συνδεθούν οι δύο ακροδέκτες των καλωδίων.



**ΕΙΚΟΝΑ 34:** Χρήση πυξίδων για τον προσανατολισμό κατά το άνοιγμα των καλωδίων TEM

Ταυτόχρονα, τα καλώδια συνδέονται με την κεντρική μονάδα ενός ηλεκτρομαγνητικού συστήματος και δημιουργείται ένα κλειστό κύκλωμα το οποίο

τροφοδοτεί το έδαφος με ηλεκτρικό ρεύμα μεγάλης έντασης. Το παραπάνω κύκλωμα αποτελεί τον πομπό εκπομπής των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Στην συνέχεια, εισάγονται στον υπολογιστή οι συντεταγμένες και άλλα στοιχεία της θέσης της μέτρησης, ενώ παράλληλα ορίζονται διάφοροι παράμετροι (time, stack, κλπ.) με τις οποίες γίνεται η συλλογή των δεδομένων.



**ΕΙΚΟΝΑ 35:** Ο εξοπλισμός που απαρτίζει την συσκευή TEM FAST 48HPC



**ΕΙΚΟΝΑ 36:** Εισαγωγή στοιχείων και παραμέτρων για την συλλογή των δεδομένων

Στην συγκεκριμένη περίπτωση, η διάταξη αποτελείται από έναν μόνο βρόχο, ο οποίος λειτουργεί και ως πομπός και ως δέκτης. Έτσι, κατά τη διάρκεια που το ηλεκτρικό ρεύμα διαρρέει το κύκλωμα, λειτουργεί ως πομπός και μόλις διακοπεί η λειτουργία του κυκλώματος, οι ακροδέκτες του βρόχου συνδέονται αυτόματα με το δέκτη και οι μετρήσεις παίρνονται κατά τη διάρκεια που ο πομπός είναι κλειστός.



**ΕΙΚΟΝΑ 37:** Διαδικασία υλοποίησης της διάταξης των καλωδίων της συσκευής



**ΕΙΚΟΝΑ 38:** Υλοποίηση ενός ορθογώνιου βρόχου στην επιφάνεια του εδάφους με διαστάσεις των 50 x 50 μέτρων

Αφότου ολοκληρώσουμε το κύκλωμα και συνδέσουμε την καλωδιακή διάταξη του ορθογώνιου βρόχου με την συσκευή, θέτουμε σε λειτουργία το όργανο. Το



παραπάνω κύκλωμα, που διαρρέεται από σταθερό ρεύμα, δημιουργεί πρωτογενές μαγνητικό πεδίο.

Ύστερα από κάποιο χρονικό διάστημα λίγων λεπτών, όταν δεν παρατηρούνται ταλαντώσεις στο πλάτος του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα, το συνεχές ρεύμα διακόπτεται κατά ελεγχόμενο τρόπο, διακόπτοντας έτσι και το μαγνητικό πεδίο. Λόγω της ωμικής αντίστασης του υπεδάφους, το τρέχον σύστημα αποσυντίθεται και προκαλεί στη συνέχεια ένα δευτεροβάθμιο μαγνητικό πεδίο. Ο βρόγχος διαρρέεται από συνεχές ρεύμα εντάσεως  $I_0$  και τη στιγμή  $t=0$  που διακόπτεται απότομα η λειτουργία του κυκλώματος, η μείωση του ηλεκτρικού ρεύματος από την αρχική τιμή  $I_0$  στην τιμή μηδέν δεν γίνεται ακαριαία, αλλά διαρκεί χρόνο  $t$ .

Με αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται επαγωγικά ρεύματα σε κοντινούς αγωγίσιμους στόχους που βρίσκονται στο υπεδάφος, με αποτέλεσμα να δημιουργείται δευτερογενές ηλεκτρομαγνητικό πεδίο, το οποίο ανιχνεύεται από το δέκτη. Με τη συγκεκριμένη μέθοδο παρατηρούμε ότι παίρνουμε μετρήσεις στο χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ των παλμών του ρεύματος και κατά την απουσία του πρωτεύοντος πεδίου. Βέβαια, η ένταση των ρευμάτων αυτών φθίνει με το βάθος και ανάλογα με τις γεωηλεκτρικές ιδιότητες του υπεδάφους.

Στο τέλος, όταν ολοκληρωθεί η διαδικασία των μετρήσεων, πραγματοποιείται επί τόπου ένας γρήγορος έλεγχος της ποιότητας και της αξιοπιστίας των μετρήσεων, καθώς και του μοντέλου ειδικής αντίστασης - βάθους με βάση τα δεδομένα που συλλέξαμε.

Βέβαια, στο ύπαιθρο υπάρχει αρκετά υψηλός θόρυβος λόγω των καλωδίων της ΔΕΗ, του ΟΤΕ, από μεταλλικούς φράκτες, από διερχόμενα αυτοκίνητα στον δρόμο ή ακόμα και από τη λειτουργία διαφόρων τύπων μοτέρ. Με αποτέλεσμα να πραγματοποιούμε στο ίδιο σημείο αρκετές επαναληπτικές μετρήσεις, ώστε να μειώσουμε το σφάλμα με την επαναληψιμότητα και να επιλέξουμε την καλύτερη δυνατή μέτρηση με τον μικρότερο θόρυβο.



**ΕΙΚΟΝΑ 39: Μεταλλικοί φράκτες που προκαλούν θόρυβο στην συσκευή**

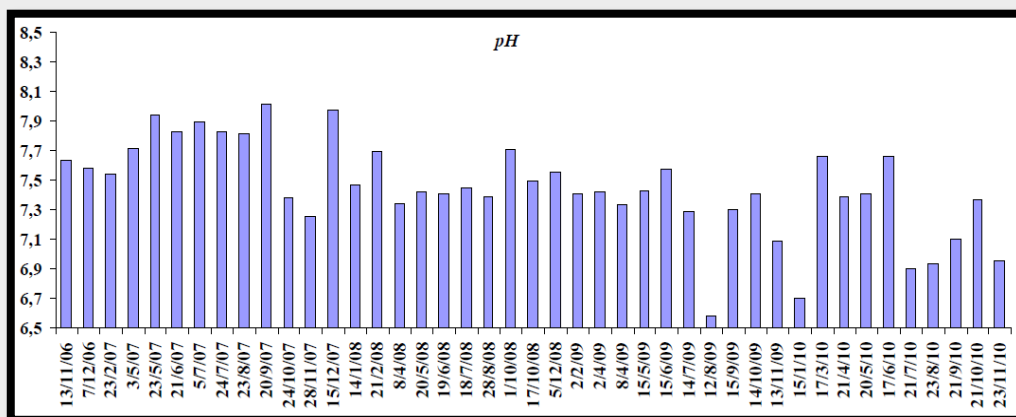
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

#### Αποτελέσματα φυσικοχημικής μελέτης

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την πολυετή μελέτη της γεώτρησης στην Κάινα, αποδεικνύει μια μη ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων, η οποία θα έχει στο άμεσο μέλλον σοβαρό αντίκτυπο στην ποιότητα και την ποσότητα του διαθέσιμου γλυκού νερού. Είναι απαραίτητη ανάγκη η πλήρη διερεύνηση του υδροφόρου ορίζοντα, οι καταναλωτικές ανάγκες της περιοχής κάλυψης και σε συνδυασμό με έναν ειδικό σχεδιασμό να εξασφαλίζεται η προστασία του περιβάλλοντος.

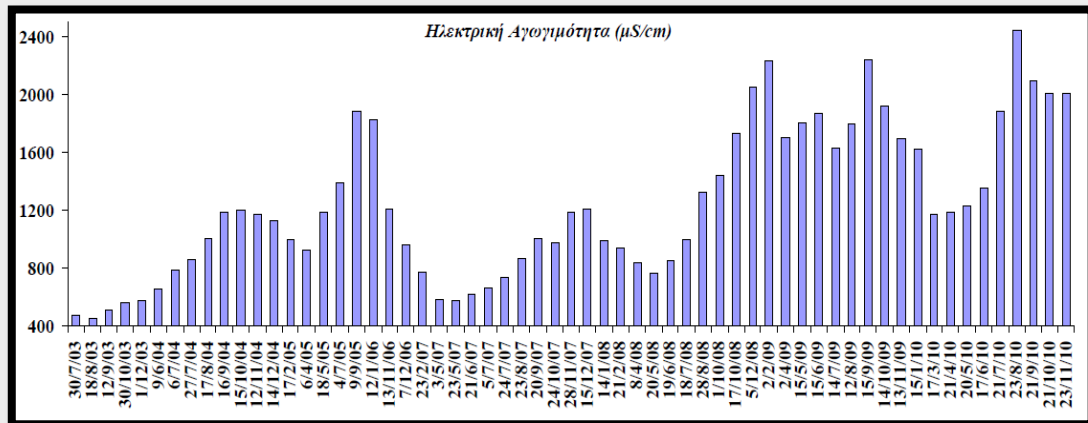
#### pH



**ΕΙΚΟΝΑ 40: Μεταβολή του pH του νερού της γεώτρησης Κάινας την περίοδο 2006 – 2010**

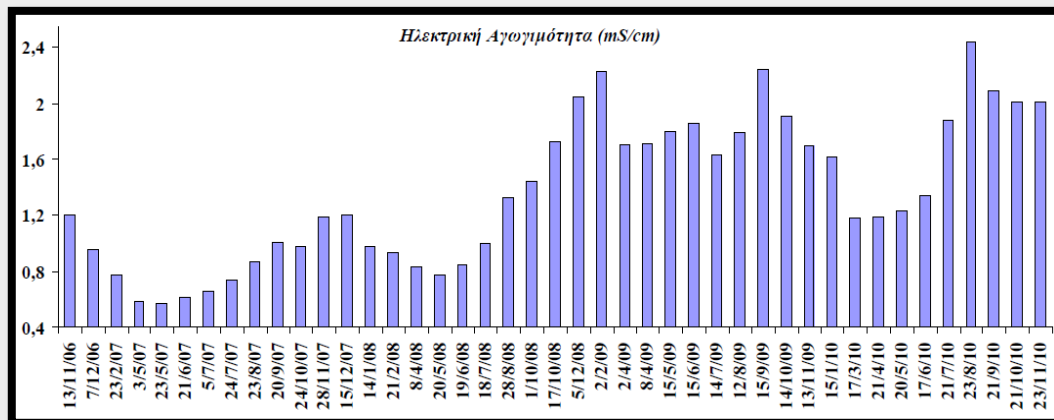
([http://triton.chania.teicrete.gr/arxeiapdf/epistimonika%20arth/28\\_Stavroulakis.pdf](http://triton.chania.teicrete.gr/arxeiapdf/epistimonika%20arth/28_Stavroulakis.pdf))

Στην παραπάνω εικόνα, παρατηρούμε ότι η διακύμανση των τιμών του pH είναι από 7,0 έως 8,0 και σύμφωνα με τα νομοθετικά όρια του πόσιμου νερού, είναι εντός των επιτρεπτών ορίων (6,5 έως 8,5). Η μεταβολή του pH μεταξύ των δειγμάτων της γεώτρησης για κάθε αναγραφόμενο μήνα ανά έτος, δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερες διαφορές μεταξύ τους.

**Αγωγιμότητας (EC)**

**ΕΙΚΟΝΑ 41: Μεταβολή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) του νερού της γεώτρησης Κάινας την περίοδο 2003 – 2010**

([http://triton.chania.teicrete.gr/arxeiapdf/epistimonika%20arth/28 Stavroulakis.pdf](http://triton.chania.teicrete.gr/arxeiapdf/epistimonika%20arth/28%20Stavroulakis.pdf))



**ΕΙΚΟΝΑ 42: Μεταβολή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) του νερού της γεώτρησης Κάινας την περίοδο 2006 – 2010**

([http://triton.chania.teicrete.gr/arxeiapdf/epistimonika%20arth/28 Stavroulakis.pdf](http://triton.chania.teicrete.gr/arxeiapdf/epistimonika%20arth/28%20Stavroulakis.pdf))

Στις παραπάνω εικόνες, οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των δειγμάτων του νερού από την γεώτρηση της Κάινας, παρουσιάζουν μια σταδιακή αύξηση κατά την θερινή περίοδο ανά έτος. Το συγκεκριμένο αποτέλεσμα οφείλεται στην διαφοροποίηση της ποσότητας άντλησης, προφανώς είναι μεγαλύτερη κατά τους θερινούς μήνες και από τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούσαν ανά χρονολογικό έτος. Ενδεικτικά, στις 23/8/10 η ποσότητα που αντλήθηκε ήταν αρκετά μεγάλη και σε συνδυασμό με έντονη ξηρή περίοδο, είχαν ως αποτέλεσμα την ραγδαία αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού στα 2400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Επιπλέον, κατά την ετήσια άντληση του 2007 – 2008, η μέγιστη τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας φθάνει στα 1200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  και μειώνεται σταδιακά κατά την χειμερινή περίοδο του έτους 2008, στα 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Έτσι, γίνεται εμφανής η εξαιρετική δυνατότητα της γεώτρησης να επαναφέρει άμεσα τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της.

Η σοβαρότητα της κατάστασης γίνεται αντιληπτή όταν οι μετρούμενες τιμές πλησιάζουν τα θεσμοθετημένα όρια για το πόσιμο νερό. Βέβαια, οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας κατά την διάρκεια της μελέτης δεν ξεπέρασαν τα όρια της νομοθεσίας, τα 2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Το γεγονός που επανέρχεται η υψηλή αγωγιμότητα τον επόμενο μήνα στα προηγούμενα επίπεδα, δείχνει την επίδραση κάποιου ειδικού παράγοντα που υλοποιεί την αιφνίδια αυτή μεταβολή. Η μείωση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας υποδηλώνει πως υπάρχει ανάμιξη με γλυκό νερό λόγω του φυσικού εμπλουτισμού του υδροφόρου ορίζοντα από τις κλιματολογικές συνθήκες και πάντα σε συνδυασμό με την μείωση των ποσοτήτων άντλησης νερού από την γεώτρηση.

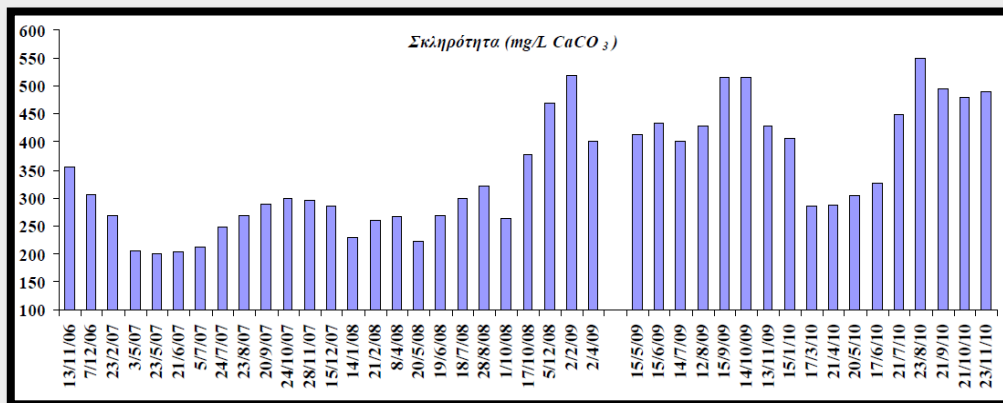
Βέβαια, η έντονη κατασκευή μόνιμων αλλά και παραθεριστικών οικιών, δημιουργεί εξαιρετικά μεγάλες ανάγκες σε πόσιμο νερό (όχι τόσο για κατανάλωση, αλλά όσο για τις πισίνες, για το πότισμα γκαζόν, κλπ) ιδιαίτερα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, που δεν καλύπτονται από τις δυνατότητες του δικτύου ύδρευσης της περιοχής.

Χρονική περίοδος	Αρχική EC ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Τελική EC ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Μεταβολή EC ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Ποσότητα άντλησης ( $\text{m}^3$ )
17/8-16/9/2004	1.004	1.187	183	40.000
04/7-09/9/2005	1.400	1.900	495	40.000
12/8-15/9/2009	1.800	2.200	447	47.000
20/6-20/7/2010	1.300	1.900	534	54.000
21/7-23/8/2010	1.900	2.400	561	59.000

**ΕΙΚΟΝΑ 43: Μεταβολή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) του νερού της γεώτρησης Κάινας σε σχέση με την αντλούμενη ποσότητα νερού**

([http://triton.chania.teicrete.gr/arxeiapdf/epistimonika%20arth/28\\_Stavroulakis.pdf](http://triton.chania.teicrete.gr/arxeiapdf/epistimonika%20arth/28_Stavroulakis.pdf))

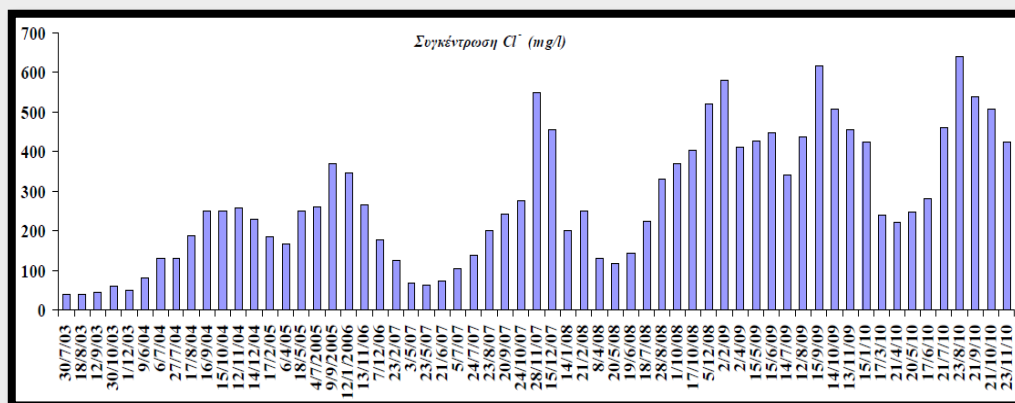
Στην Εικόνα 43, παρατηρούμε την αλληλεξάρτηση που έχει η ηλεκτρική αγωγιμότητα εν συναρτήσει με την αντλούμενη ποσότητα του νερού από την γεώτρηση. Πιο συγκεκριμένα αναφέρεται κατά την θερινή περίοδο, όπου για συνεχές αντλήσεις ποσοτήτων άνω των 40000  $\text{m}^3$  νερού, προξένησε την ραγδαία αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας.

**Σκληρότητα**

**ΕΙΚΟΝΑ 44: Μεταβολή της σκληρότητας του νερού της γεώτρησης Κάινας την περίοδο 2006-2010**

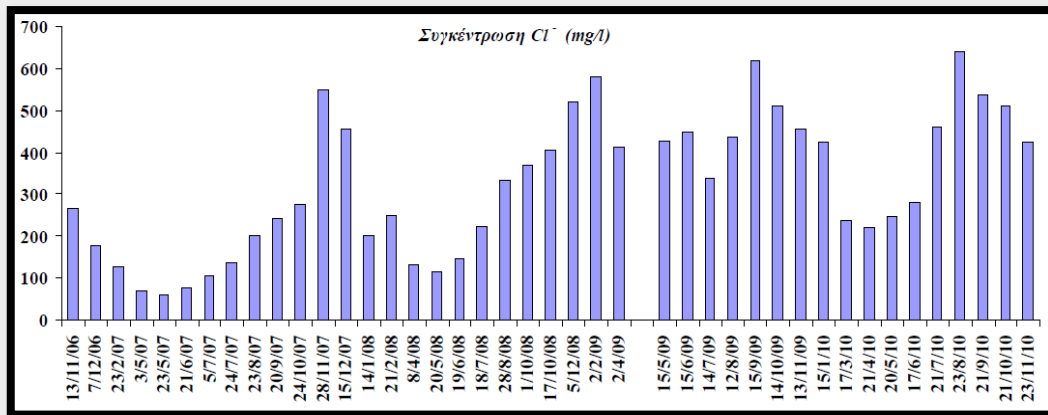
([http://triton.chania.teicrete.gr/arxeiapdf/epistimonika%20arth/28\\_Stavroulakis.pdf](http://triton.chania.teicrete.gr/arxeiapdf/epistimonika%20arth/28_Stavroulakis.pdf))

Σύμφωνα με τα δεδομένα μας, μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι το νερό από την γεώτρηση της Κάινας, θεωρείται μέτριας ποιότητας, διότι περιέχει αρκετή ποσότητα ολικής σκληρότητας. Σύμφωνα με την ποσοτική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο, το θετικό σημείο που μπορούμε να αναφέρουμε, είναι ότι δεν έχουμε μόνιμη σκληρότητα αλλά παροδική. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, να μπορούμε να την απομακρύνουμε με τον βρασμό του νερού. Εν τέλει, σύμφωνα με την Οδηγία 98/83/ΕΚ για το πόσιμο νερό, η σκληρότητα θα πρέπει να κυμαίνεται σε τιμές 80 – 150 mg/L CaCO<sub>3</sub> και στην συγκεκριμένη περίπτωση, παρατηρούμε ότι έχουμε ένα αρκετά πολύ σκληρό νερό.

**Χλωριόντα (Cl<sup>-</sup>)**

**ΕΙΚΟΝΑ 45: Μεταβολή της συγκέντρωσης Cl<sup>-</sup> του νερού της γεώτρησης Κάινας την περίοδο 2003 – 2010**

([http://triton.chania.teicrete.gr/arxeiapdf/epistimonika%20arth/28\\_Stavroulakis.pdf](http://triton.chania.teicrete.gr/arxeiapdf/epistimonika%20arth/28_Stavroulakis.pdf))



**ΕΙΚΟΝΑ 46: Μεταβολή της συγκέντρωσης Cl<sup>-</sup> του νερού της γεώτρησης Κάινας την περίοδο 2006 – 2010**

([http://triton.chania.teicrete.gr/arxeiapdf/epistimonika%20arth/28\\_Stavroulakis.pdf](http://triton.chania.teicrete.gr/arxeiapdf/epistimonika%20arth/28_Stavroulakis.pdf))

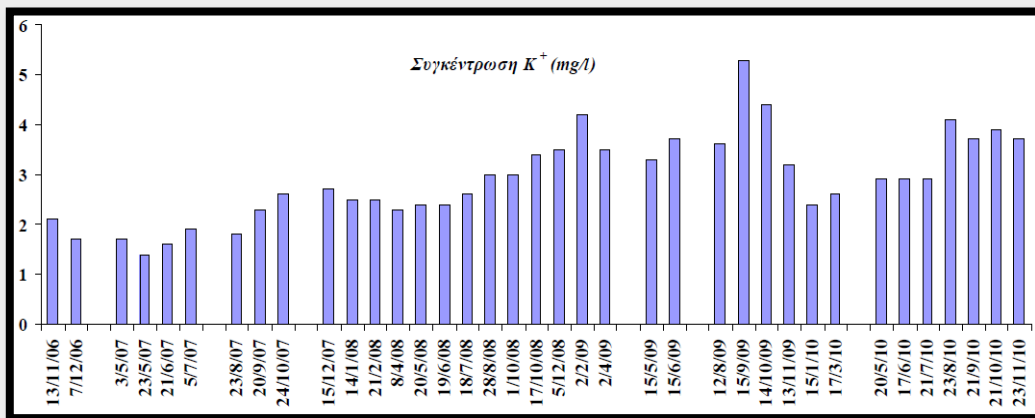
Στις παραπάνω εικόνες, παρατηρούμε ότι η συγκέντρωση των χλωριόντων (Cl<sup>-</sup>) στη γεώτρηση της Κάινας, έχει ανοδική πορεία. Πιο συγκεκριμένα, κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, η ραγδαία αύξηση των χλωριόντων οφείλεται σε μεγαλύτερες ποσότητες αντλούμενου νερού, λόγω αυξανόμενων απαιτήσεων.

Η εμφάνιση της μεγάλης συγκέντρωσης στις 23/08/10, ταυτόχρονα και οι υψηλές τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) αλλά και του νατρίου (Na<sup>+</sup>), οφείλονται στην έντονη άντληση της γεώτρησης, με αποτέλεσμα την εξάντληση των αποθεμάτων του υδροφόρου ορίζοντα και κατά συνέπεια την διείσδυση του θαλασσινού νερού. Έτσι, με βάση την αντιστοιχία που υπάρχει μεταξύ των τιμών της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) και του νατρίου (Na<sup>+</sup>), επιβεβαιώνεται η συμμετοχή της υφαλμύρωσης στην αύξηση της αγωγιμότητας. Αυτό το φαινόμενο συμβαίνει κυρίως τους καλοκαιρινούς μήνες, όπου την περίοδο αυτή παρατηρείται ο μεγαλύτερος αριθμός τουριστών και η κατανάλωση νερού φτάνει στο μέγιστο.

Ενδεικτικά, από τα μέσα Ιανουαρίου 15/01/10 επανέρχεται η τιμή στα αρχικά επίπεδα με τάση μείωσης μέχρι τα μέσα Μαΐου 20/05/10. Αυτό είναι κάτι αναμενόμενο γιατί το χειμώνα δεν υπάρχουν αυξημένες ανάγκες για νερό, οπότε η περιοχή υδρεύεται κυρίως από τα νερά του χωριού και η λειτουργία της γεώτρησης είναι περιορισμένη. Έτσι δικαιολογείται και η αισθητή μείωση της συγκέντρωσης των χλωριόντων (Cl<sup>-</sup>).

Εν τέλει, σύμφωνα με το νομοθετικό πλαίσιο περί του πόσιμου νερού, οι τιμές της συγκέντρωσης των ιόντων χλωρίου (Cl<sup>-</sup>) έχουν ξεπεράσει τα όρια της νομοθεσίας, τα 250 mg/L.



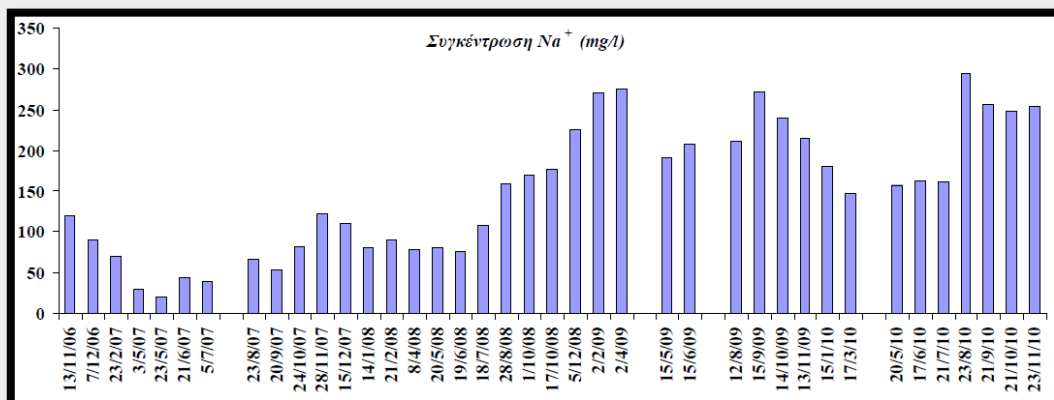
**Συγκέντρωση Καλίου ( $K^+$ ) - Νατρίου ( $Na^+$ ) - Ασβεστίου ( $Ca^{2+}$ )**

**ΕΙΚΟΝΑ 47: Μεταβολή της συγκέντρωσης του  $K^+$  του νερού της γεώτρησης Κάινας την περίοδο 2006 – 2010**

([http://triton.chania.teicrete.gr/arxeiapdf/epistimonika%20arth/28\\_Stavroulakis.pdf](http://triton.chania.teicrete.gr/arxeiapdf/epistimonika%20arth/28_Stavroulakis.pdf))

Παρατηρούμε, πως η συγκέντρωση του καλίου ( $K^+$ ) εμφανίζει μια φθίνουσα πορεία ενδεικτικά από τις 15/09/09 που σημειώνει την μέγιστη τιμή των 5,5 mg/L, μέχρι τις 17/03/10 που παίρνει την ελάχιστη τιμή των 2,6 mg/L. Γενικά, η παρουσία του καλίου οφείλεται στην φυσική αποσάθρωση των γεωλογικών σχηματισμών και σε εκπλύσεις από καλιούχα λιπάσματα που καταλήγουν στις γεωτρήσεις με διάφορους τρόπους.

Επιπλέον, με βάση το σύνολο των δεδομένων μας, οι τιμές της συγκέντρωσης του καλίου ( $K^+$ ) κατά τη διάρκεια της μελέτης δεν ξεπέρασαν το όριο της ποιότητας, σύμφωνα με την νομοθεσία που θέτει ως όριο τα 12 mg/L.



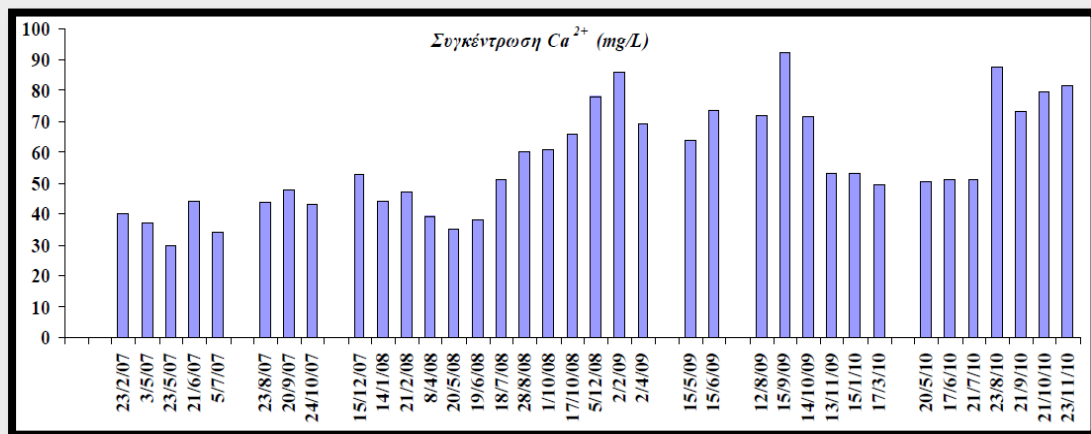
**ΕΙΚΟΝΑ 48: Μεταβολή της συγκέντρωσης του  $Na^+$  του νερού της γεώτρησης Κάινας την περίοδο 2006 – 2010**

([http://triton.chania.teicrete.gr/arxeiapdf/epistimonika%20arth/28\\_Stavroulakis.pdf](http://triton.chania.teicrete.gr/arxeiapdf/epistimonika%20arth/28_Stavroulakis.pdf))

Η παρουσία του νατρίου ( $\text{Na}^+$ ) στο υπόγειο νερό σχετίζεται με τη χημική σύσταση των πετρωμάτων με τα οποία έρχεται σε επαφή, αλλά και με τη διείσδυση της θάλασσας στον υδροφόρο ορίζοντα.

Οι τιμές για τη συγκέντρωση του νατρίου ( $\text{Na}^+$ ) στα δείγματά μας, ξεπέρασαν τα όρια της νομοθεσίας των 250 mg/L, για το πόσιμο νερό. Παρατηρούμε ότι κατά τη θερινή περίοδο του χρονολογικού έτους 2008 – 2009 και 2009 – 2010 έχουμε τη ραγδαία αύξηση της συγκέντρωσης του νατρίου ( $\text{Na}^+$ ) με τιμές να είναι αρκετά μεγάλες και να μειώνονται καθώς περνάμε στην χειμερινή περίοδο. Ενδεικτικά, οι μέγιστες τιμές φθάνουν τα 280 mg/L στις 02/04/09 και 300 mg/L στις 23/08/10, ενώ η ελάχιστη τιμή φθάνει τα 50 mg/L στις 23/05/07.

Παράλληλα, η μεταβολή της συγκέντρωσης του νατρίου ( $\text{Na}^+$ ) ακολουθεί πιστά την μεταβολή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και της συγκέντρωσης  $\text{Cl}^+$ , πράγμα το οποίο υποδηλώνει την παρουσία της διείσδυσης της θάλασσας.



**ΕΙΚΟΝΑ 49: Μεταβολή της συγκέντρωσης του  $\text{Ca}^{2+}$  του νερού της γεώτρησης Κάινας την περίοδο 2007 – 2010**

([http://triton.chania.teicrete.gr/arxeiapdf/epistimonika%20arth/28\\_Stavroulakis.pdf](http://triton.chania.teicrete.gr/arxeiapdf/epistimonika%20arth/28_Stavroulakis.pdf))

Το ασβέστιο υπάρχει σε όλα τα φυσικά νερά και προέρχεται από τη φυσική αποσάθρωση των πετρωμάτων, όπως ο ασβεστόλιθος και η γύψος, όπου έρχεται σε επαφή το υπόγειο νερό κατά την πορεία του, στο γεωλογικό υπόβαθρο.

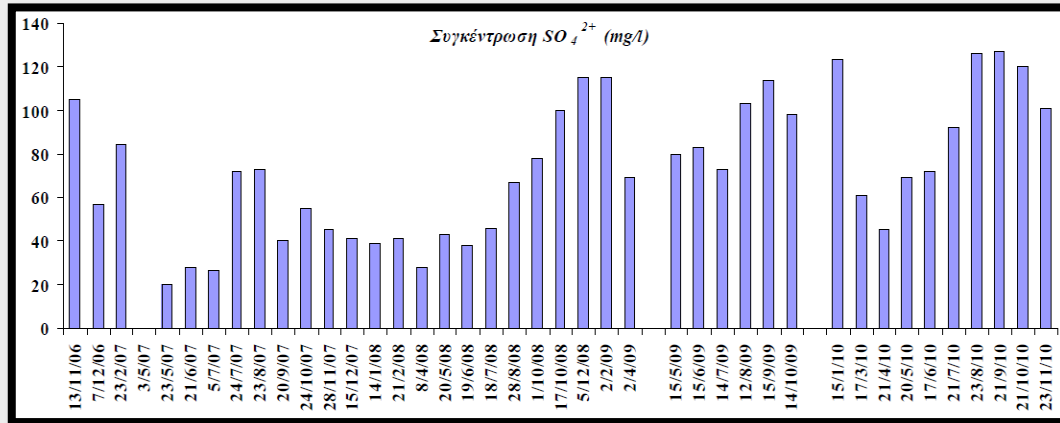
Πιο συγκεκριμένα, κατά τη χρονολογική περίοδο 2009 – 2010, το ασβέστιο σημειώνει την μέγιστη τιμή των 95 mg/L στις 15/09/09 και την ελάχιστη τιμή των 42 mg/L στις 17/03/10.

Σύμφωνα με την Οδηγία 98/83/EK για το πόσιμο νερό, η συγκέντρωση του  $\text{Ca}^{2+}$  έπειτα από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο, είναι σε επιτρεπτά πλαίσια διότι δεν ξεπερνά το νομοθετικό όριο, των 100 mg/L.

Συμπερασματικά, με βάση τα δεδομένα μας, η μεταβολή της συγκέντρωσης των καλίου ( $\text{K}^+$ ), νατρίου ( $\text{Na}^+$ ), ασβεστίου ( $\text{Ca}^{2+}$ ), ακολουθούν πιστά την μεταβολή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) και της συγκέντρωσης των χλωριόντων ( $\text{Cl}^+$ ),

αναδεικνύοντας έτσι την σχέση αίτιου/αποτελέσματος μεταξύ της υπεράντλησης και της υφαλμύρισης της γεώτρησης στην Κάινα.

### Συγκέντρωση Θεϊκών Ιόντων ( $SO_4^{2-}$ )



**ΕΙΚΟΝΑ 50: Μεταβολή της συγκέντρωσης του  $SO_4^{2-}$  του νερού της γεώτρησης Κάινας την περίοδο 2006 – 2010**

([http://triton.chania.teicrete.gr/arxeiapdf/epistimonika%20arth/28\\_Stavroulakis.pdf](http://triton.chania.teicrete.gr/arxeiapdf/epistimonika%20arth/28_Stavroulakis.pdf))

Η συγκέντρωση των θεικών ιόντων ( $SO_4^{2-}$ ) βρέθηκε πολύ κάτω από το επιτρεπτό νομοθετικό όριο των 250 mg/L, οπότε δεν μας προκαλεί κάποια ανησυχία. Γενικά, η παρουσία των θεικών ιόντων ( $SO_4^{2-}$ ) οφείλεται στη σύσταση των αργιλικών πετρωμάτων και κατά την διάλυση της γύψου, καθώς ο υδροφόρος ορίζοντας διέρχεται σε επαφή με εκείνα.

### Αποτελέσματα γεωφυσικής μελέτης

Για τη διεξαγωγή της μελέτης πραγματοποιήθηκαν 21 μετρήσεις TEM σε 5 θέσεις σχηματίζοντας ένα προφίλ μήκους περίπου 3,2 Km με διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ. Στην παρακάτω εικόνα, αποτυπώνονται τα σημεία στα οποία πραγματοποιήθηκε η γεωφυσική διασκόπηση αλλά και η διεύθυνσή τους ως προς το χώρο. Σημειώνεται ότι τα σημεία 01 και 02 είναι πολύ κοντινά και επιλέχθηκε μόνο το 01 στη τελική απεικόνιση των αποτελεσμάτων λόγω θορύβου στη θέση 02.

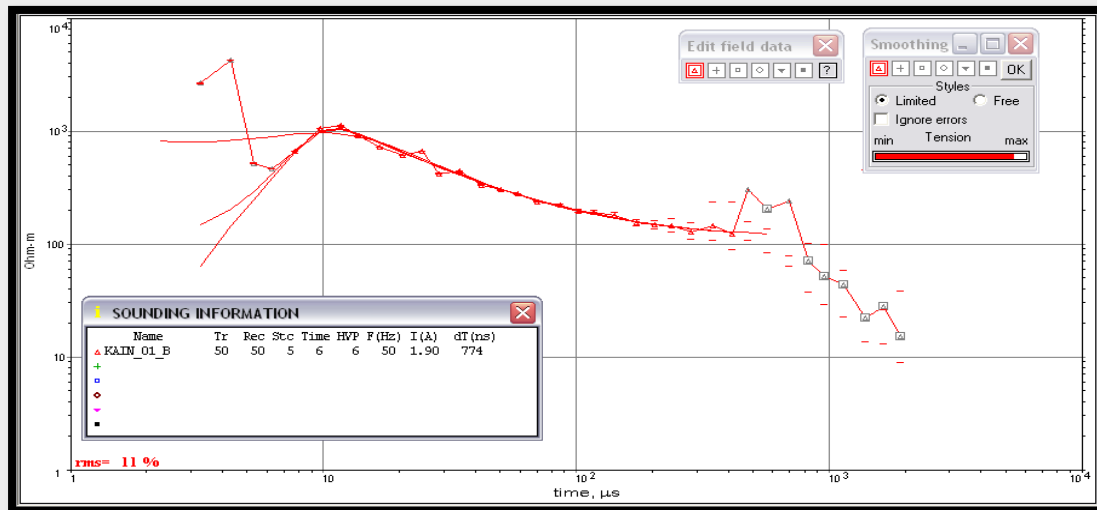
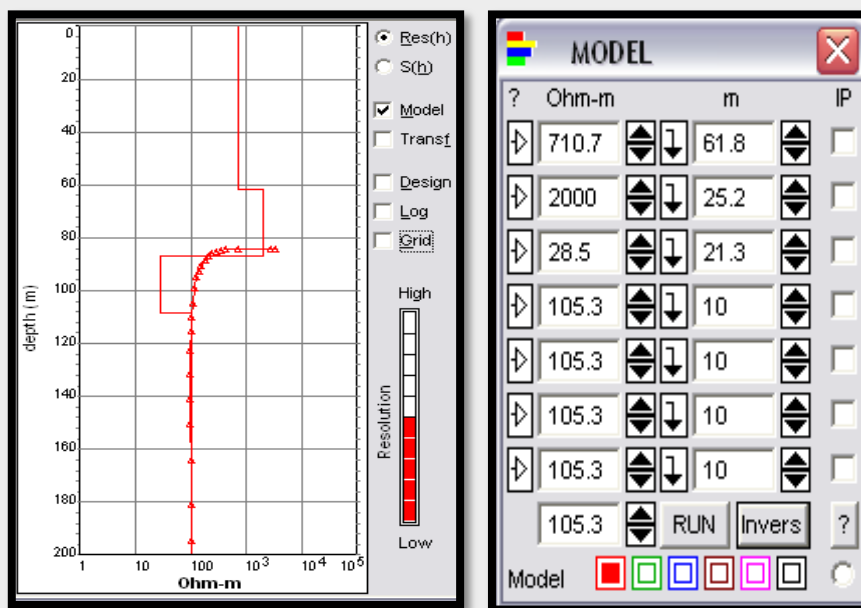


**ΕΙΚΟΝΑ 51: Σημεία τα οποία επιλέχθηκαν για την γεωφυσική διασκόπηση**

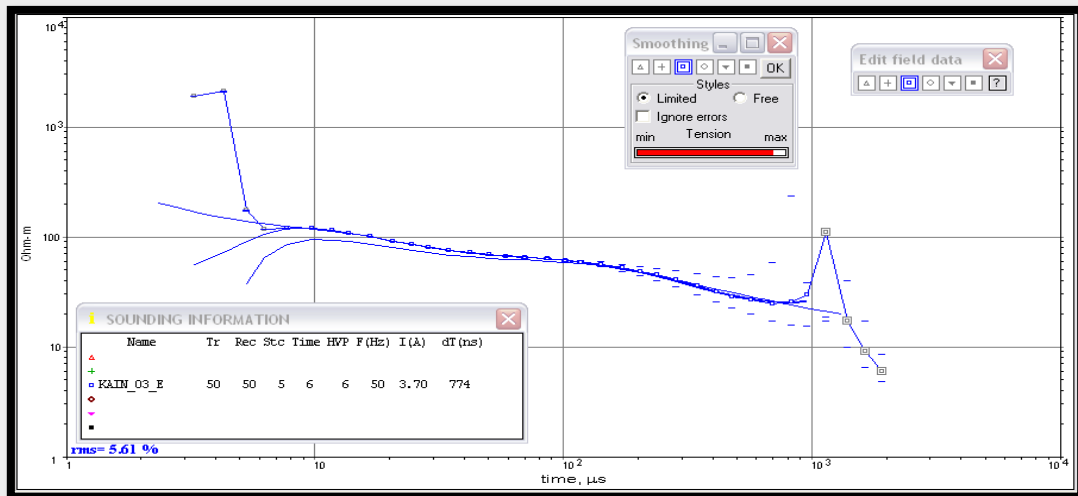
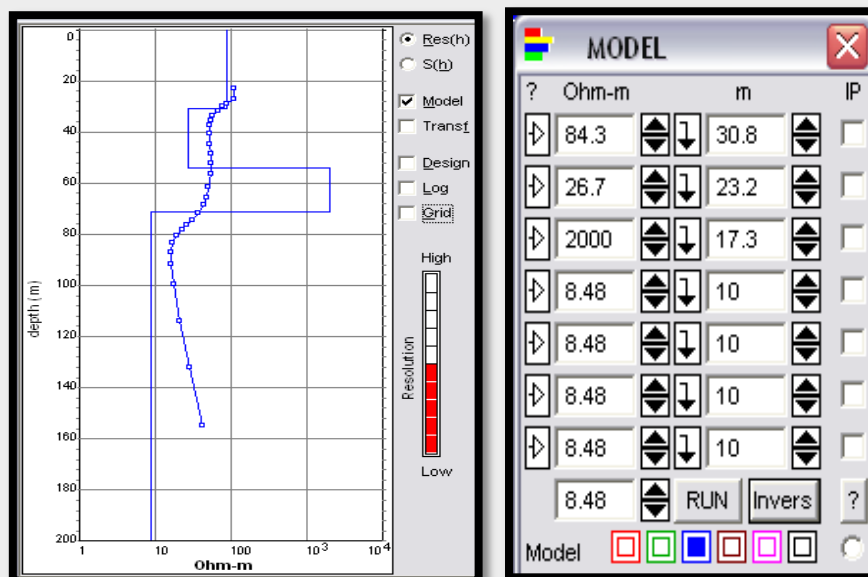
Παρακάτω απεικονίζονται οι καμπύλες ειδικής αντίστασης με τον χρόνο για τις 4 θέσεις. Σε κάθε μέτρηση τα δεδομένα απαιτούν επεξεργασία και διόρθωση με σκοπό την αναγνώριση και την απομάκρυνση του θορύβου, για την όσο το δυνατόν καλύτερη προσεγγιστική απεικόνιση του γεωλογικού υποβάθρου (Editing). Επίσης, πριν από την αντιστροφή κάνουμε ομαλοποίηση των δεδομένων (Smoothing).

Στη συνέχεια, το λογισμικό μπορεί να υπολογίσει το μονοδιάστατο μοντέλο του βάθους – ειδικής αντίστασης, με σκοπό να παράγεται ένα υποθετικό σε στρώσεις γήινο μοντέλο.

Ταυτόχρονα, κατά την επεξεργασία των μετρήσεων μπορούμε να ορίσουμε την γεωλογική και λιθολογική δομή, με αποτέλεσμα οποιαδήποτε παρατηρούμενη μεταβολή διακρίνουμε στην καμπύλη, να συνδέεται με την μεταβολή στην λιθολογική δομή. Με αυτόν τον τρόπο, είναι εύκολο να προκύπτει ένα μοντέλο πάχους και αντιστάσεων των γεωλογικών στρωμάτων.

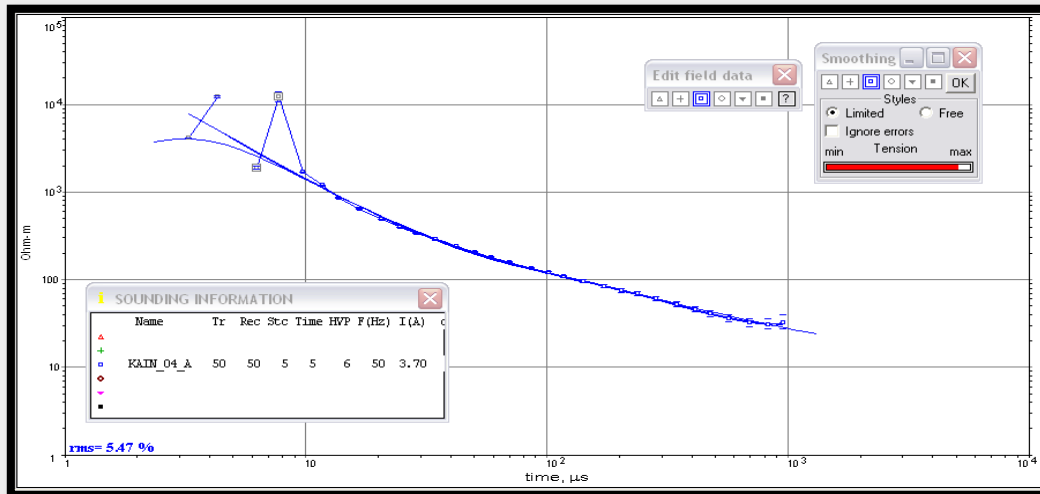
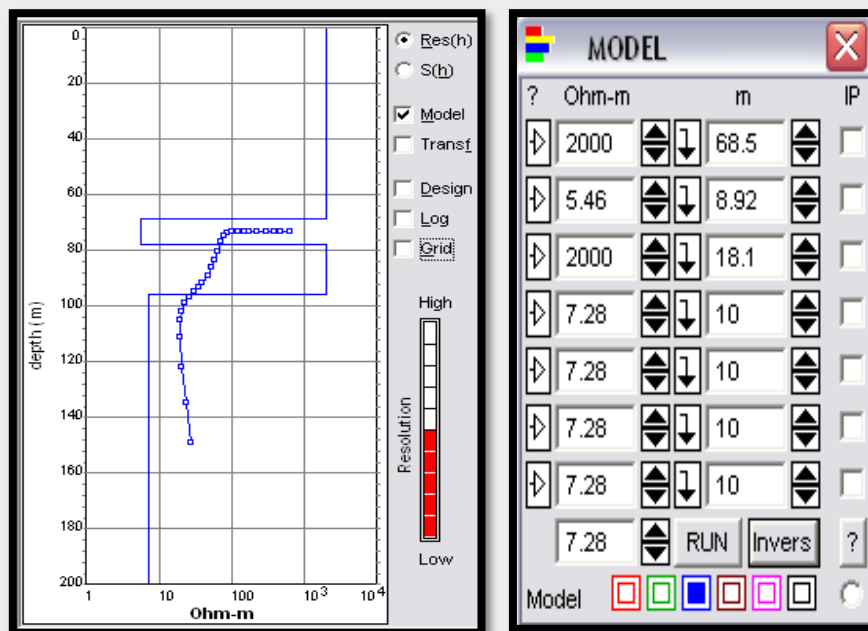
**Γεωλογικό οικόπεδο 01****ΕΙΚΟΝΑ 52: Καμπύλη ειδικής αντίστασης – χρόνου του γεωλογικού οικοπέδου 01****ΕΙΚΟΝΑ 53: Μονοδιάστατο μοντέλο του βάθους – ειδικής αντίστασης γεωλογικού οικοπέδου 01**

Αρχικά, στο γεωλογικό οικόπεδο 01 έπειτα από την επεξεργασία και την ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων θορύβου (RMS=11%) των δεδομένων μας, παρατηρούμε ότι έχουμε κάποιες μικρές μεταβολές της ειδικής αντίστασης με το βάθος. Αυτό οφείλεται πιθανώς στην αλλαγή της στρωματογραφίας κι επειδή γνωρίζουμε ότι το νερό βρίσκεται στα 200 μέτρα περίπου, η μέθοδος μας δεν έφτασε τόσο βαθιά ώστε να το εντοπίσει.

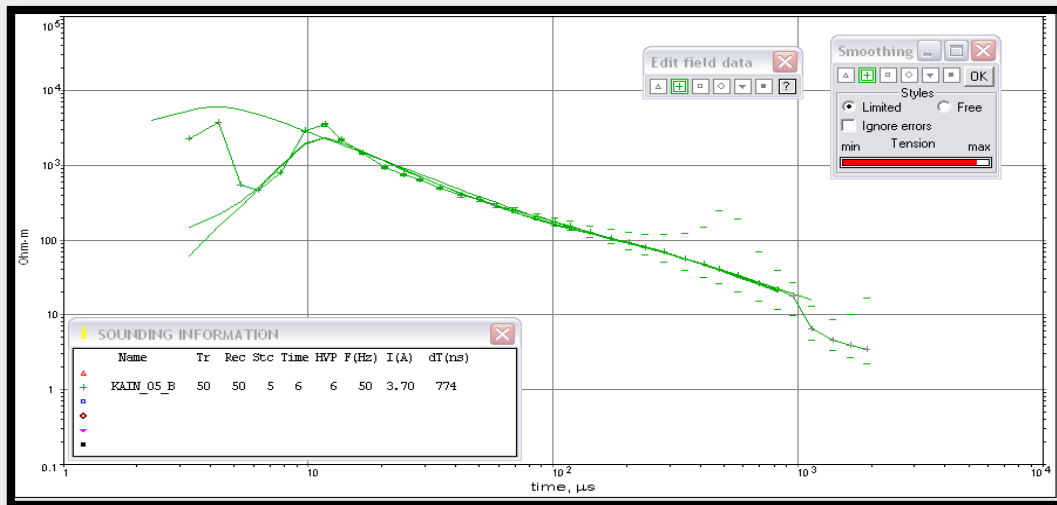
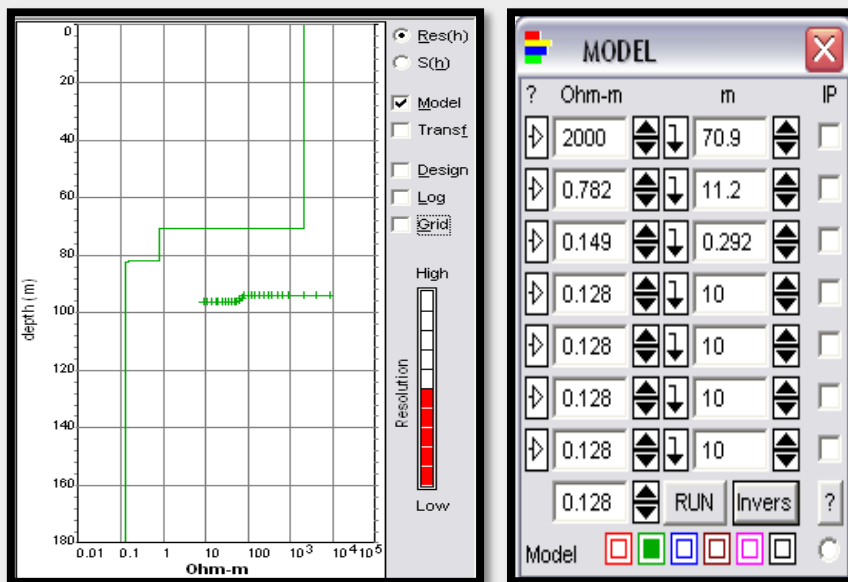
**Γεωλογικό οικόπεδο 03****ΕΙΚΟΝΑ 54: Καμπύλη ειδικής αντίστασης – χρόνου του γεωλογικού οικοπέδου 03****ΕΙΚΟΝΑ 55: Μονοδιάστατο μοντέλο του βάθους – ειδικής αντίστασης γεωλογικού οικοπέδου 03**

Αντίστοιχα στο γεωλογικό οικόπεδο 03, έπειτα από την επεξεργασία και την ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων (RMS=5,61%), παρατηρούμε κάποιες αλλαγές της ειδικής αντίστασης, που οφείλεται πιθανώς στη μεταβολή της λιθολογικής δομής. Επίσης, σύμφωνα με τα δεδομένα μας γνωρίζουμε ότι το νερό βρίσκεται στα 200 μέτρα περίπου, με αποτέλεσμα η μέθοδος να μην μπορεί να φθάσει τόσο βαθιά ώστε να το εντοπίσει.



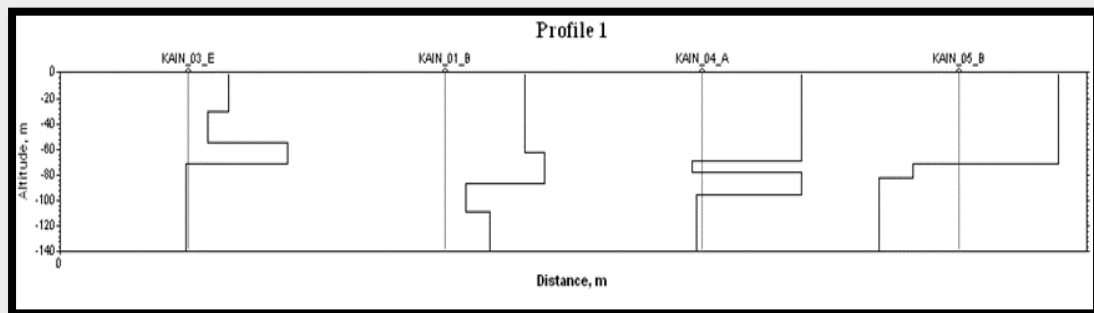
**Γεωλογικό οικόπεδο 04****ΕΙΚΟΝΑ 56: Καμπύλη ειδικής αντίστασης – χρόνου του γεωλογικού οικοπέδου 04****ΕΙΚΟΝΑ 57: Μονοδιάστατο μοντέλο του βάθους – ειδικής αντίστασης γεωλογικού οικοπέδου 04**

Έτσι και στο γεωλογικό οικόπεδο 04, έπειτα από την επεξεργασία και την ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων θορύβου (RMS=5,47%), παρατηρούμε ότι έχουμε κάποιες αλλαγές της ειδικής αντίστασης που οφείλεται πιθανώς στη στρωματογραφία. Εν τέλει, επειδή γνωρίζουμε ότι το νερό βρίσκεται στα 200 μέτρα περίπου, η μέθοδος μας δεν έφτασε τόσο βαθιά ώστε να το εντοπίσει.

**Γεωλογικό οικόπεδο 05****ΕΙΚΟΝΑ 58: Καμπύλη ειδικής αντίστασης – χρόνου του γεωλογικού οικοπέδου 05****ΕΙΚΟΝΑ 59: Μονοδιάστατο μοντέλο του βάθους – ειδικής αντίστασης γεωλογικού οικοπέδου 05**

Εν τέλει και στο γεωλογικό οικόπεδο 05, έπειτα από την επεξεργασία και την ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων θορύβου των δεδομένων μας, παρατηρούμε κάποιες μικρές αλλαγές της ειδικής αντίστασης που οφείλεται πιθανώς στη στρωματογραφία κι επειδή γνωρίζουμε ότι το νερό βρίσκεται στα 200 μέτρα περίπου, η μέθοδος μας δεν έφτασε τόσο βαθιά ώστε να το εντοπίσει.

Λόγω μικρού αριθμού μετρήσεων δεν μπορεί να δημιουργηθεί ψευδοδισδιάστατη τομογραφία. Παρακάτω ακολουθεί το προφίλ με τα μονοδιάστατα μοντέλα από κάθε θέση.



**ΕΙΚΟΝΑ 60: Προφίλ μονοδιάστατων μοντέλων βάθους – ειδικής αντίστασης από κάθε θέση**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα τόσο των φυσικοχημικών όσο και των γεωφυσικών μετρήσεων, υποδεικνύεται ότι η γεώτρηση της Κάινας αντιμετωπίζει σημαντικό πρόβλημα υποβάθμισης των υπόγειων υδάτων, λόγω της υφαλμύρισης.

Πιο συγκεκριμένα, η ταυτόχρονη αύξηση των υψηλών τιμών της αγωγιμότητας, των ιόντων χλωρίου και των ιόντων νατρίου, ενοχοποιούν την υφαλμύριση στον υδροφόρο ορίζοντα της γεώτρησης, αποδεικνύοντας έτσι την άμεση επίδραση που έχει ο ρυθμός άντλησης του υπόγειου νερού.

Βέβαια, κατά τους χειμερινούς μήνες οι ποιοτικοί παράμετροι του νερού, όπως είναι η αγωγιμότητα, τα ιόντα χλωρίου και νατρίου, επανέρχονται στα προηγούμενα επίπεδα, υποδηλώνοντας πως υπάρχει ανάμιξη με γλυκό νερό λόγω του φυσικού εμπλουτισμού του υδροφόρου ορίζοντα από τις κλιματολογικές συνθήκες (έντονες βροχοπτώσεις, χιονοπτώσεις στα όρη, κλπ.).

Η ικανότητα της γεώτρησης να καταφέρνει να μειώνει τις συνέπειες της υπεράντλησης με τον φυσικό εμπλουτισμό το επόμενο υδρολογικό έτος, είναι ένα ιδιαίτερο φαινόμενο. Οι πλούσιες ποσότητες υπόγειου νερού που κατεβαίνουν από τα βουνά, φαίνεται να είναι αρκετά μεγάλες ώστε να υπερνικούν το υφάλμυρο μέτωπο, να ρυθμίζουν τις υδραυλικές πιέσεις και σε συνδυασμό με την μείωση των ποσοτήτων άντλησης, αποτελούν το μοναδικό μέτρο αντιμετώπισης.

Επιπλέον, η επέκταση του μετώπου της υφαλμύρισης μέχρι την θέση της γεώτρησης στην Κάινα, πιθανολογείται ότι είναι αποτέλεσμα της παρουσίας αρκετών ρηγμάτων που διέρχονται από την εν λόγω θέση της γεώτρησης, με προσανατολισμό από τον Βορρά προς τον Νότο. Πιο συγκεκριμένα, το καρστικό υπόβαθρο που καλύπτει την ευρύτερη περιοχή, λειτουργεί ως αγωγός μεταφοράς του αλμυρού νερού, διευκολύνοντας την άμεση και έμμεση διείσδυση του θαλασσινού νερού μέχρι την περιοχή μελέτης μας. Με αποτέλεσμα, να είναι δυνατό, το ίδιο το υδροφόρο σύστημα να δίνει υπόγειο νερό το οποίο να κυμαίνεται ποιοτικά ευρύτατα.

Με αφορμή τα παραπάνω, η εισροή του θαλασσινού νερού στον υπόγειο υδροφορέα οφείλεται τόσο σε ανθρωπογενείς παράγοντες όσο και σε φυσικούς παράγοντες. Οι ανθρωπογενείς παράγοντες οφείλονται στις εντατικές υπεραντλήσεις του υδροφόρου ορίζοντα, με τρόπο μη ορθολογικό και αιεφορικό, με αποτέλεσμα να μειώνεται η χωρητικότητα του γλυκού νερού στο γεωλογικό υπόβαθρο αλλάζοντας έτσι τις υπόγειες υδραυλικές πιέσεις, με αποτέλεσμα να έχουμε την διείσδυση του θαλασσινού νερού. Επιπλέον, η έντονη αστικοποίηση στις περιοχές της ακτογραμμής, δεν επιτρέπουν την διήθηση των νερών των κατακρημνισμάτων για να επωφεληθεί ο φυσικός εμπλουτισμός του υδροφόρου ορίζοντα. Αντίθετα, έχουμε έντονη επιφανειακή απορροή, τα οποία καταλήγουν στην θάλασσα μη αξιοποιήσιμα.

Όσον αφορά τους φυσικούς παράγοντες, η ύπαρξη των έντονα διαρρηγμένων γεωλογικών στρωμάτων, ευνοούν την κίνηση μεγάλων ποσοτήτων υπόγειου νερού

οι οποίοι καταλήγουν στην θάλασσα. Παράλληλα, η μείωση των βροχοπτώσεων, τα ακραία κλιματολογικά φαινόμενα και σε συνδυασμό με την τοπογραφία της περιοχής, δυσχεραίνουν την ολοκληρωτική αντιμετώπιση του προβλήματος.

Γενικότερα η διαχείριση των υδατικών πόρων μιας περιοχής είναι ένα πολυδιάστατο σημαντικό πρόβλημα. Η αντιμετώπιση του φαινομένου της υφαλμύρωσης δεν έχει ορθολογική διαχείριση, ενώ εφαρμόζονται τρόποι εντελώς καθυστερημένα και με μη προνοητικό σκοπό, οι οποίες είναι χρονοβόρες και οικονομικά ασύμφορες.

Ο έλεγχος της ποσότητας αποτελεί ένα από τα στοιχεία που παρεμβαίνουν στη διασφάλιση της ποιότητας του υπόγειου υδροφορέα. Οι περιοχές που μοιράζονται έναν υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα, θα πρέπει να διασφαλίζουν ένα μακροπρόθεσμο κοινό σχεδιασμό, βασισμένο στις προβλέψεις προσφοράς και ζήτησης, κατά τρόπο ώστε να ορίζονται τα υδάτινα αποθέματα και οι προτεραιότητες εκμετάλλευσής τους. Έτσι, η μείωση της συνολικής ετήσιας ή εποχικής άντλησης, θα πρέπει να γίνει εφικτή ώστε να διατηρείται σε ικανοποιητικά επίπεδα η στάθμη του υδροφόρου.

Παράλληλα, με την αυστηρή εφαρμογή του νομοθετικού πλαισίου θα μειωθεί ή έστω θα έχει υπο έλεγχο το φαινόμενο της υφαλμύρωσης, με βασικό στόχο τη πλήρη ενημέρωση των εμπλεκόμενων φορέων, αλλά και των πολιτών. Η επιτυχία εξαρτάται από τη στενή συνεργασία και τις συνεκτικές δράσεις τόσο σε εθνικό όσο και σε τοπικό επίπεδο, καθώς και από την πληροφόρηση, τη συμμετοχή και τις διαβουλεύσεις με κοινωνικούς εταίρους και με μεμονωμένα άτομα.

Επιπλέον, κατά τους χειμερινούς μήνες παρουσιάζεται μια αφθονία επιφανειακών υδατικών πόρων λόγω των έντονων κατακρημνισμάτων και των χιονοπτώσεων στα όρη. Με αφορμή το παραπάνω, θα μπορούσε να δημιουργηθούν δεξαμενές συλλογής νερού ανά κατοικία και αγροτεμάχιο, ώστε να υπάρχουν αποθέματα όταν οι ανάγκες είναι ιδιαίτερα αυξημένες και να μην απορρέουν ανεκμετάλλευτες οι ποσότητες νερού στη θάλασσα.

Επιπρόσθετα, όσον αφορά την διάνοιξη νέων γεωτρήσεων στην συγκεκριμένη περιοχή, για την βέλτιστη και ποιοτική λειτουργία τους, θα πρέπει τα σημεία για τα οποία θα ορισθούν να εκτελεσθούν οι υδρογεωτρήσεις, να είναι αρκετά απομακρυσμένα από την ακτογραμμή και ταυτόχρονα να έχουν μεγάλη διασπορά μεταξύ τους, ώστε η υποχώρηση της στάθμης να γίνεται σε μεγαλύτερη έκταση, αλλά και σε μικρότερο βάθος. Για τις ήδη υπάρχουσες βαθιές γεωτρήσεις, θα πρέπει να αντικατασταθούν με περισσότερες μικρού βάθους, για να αντλούν τον φακό του γλυκού νερού ή έστω να μειωθούν οι παροχές των μεγάλων γεωτρήσεων.

Εν κατακλείδι, θα πρέπει να γίνουν επιπλέον γεωφυσικές μετρήσεις στην ευρύτερη περιοχή για την αποσαφήνιση του φαινομένου, διότι δεν έγινε εφικτό να φθάσουμε στο βάθος που τροφοδοτεί τη γεώτρηση ο συγκεκριμένος υδροφόρος ορίζοντας.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. Ότι αφορά την νομοθεσία περί Διαχείρισης Υδατικών Πόρων. Αναρτημένο στην διεύθυνση:
  - <http://www.ypeka.gr/?tabid=247>
  - <http://www.istologos.gr/2008-06-23-10-18-00/2008-06-19-08-48-39/90-2008-06-20-09-21-16#.WERWVZjr1dc>
  - Τσιούρης Σωτήριος Ε., 2001, Θέματα Προστασίας Περιβάλλοντος, Εκδόσεις Γαργατάνη.
  
2. Ότι αφορά τις γεωτρήσεις νερού. Αναρτημένο στην διεύθυνση:
  - <http://www.geotriseis.net/>
  - Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ)
  
3. Ότι αφορά την υδρογεωλογία και τους μηχανισμούς υφαλμύρισης. Αναρτημένο στην διεύθυνση:
  - <http://www.geo.auth.gr/763/contents.htm>
  - Βουδούρης Κώστας, Υδρογεωλογία Περιβάλλοντος (Υπόγεια νερά και Περιβάλλον)
  - Μαμάσης Νίκος, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ, Αθήνα 2011. ΤΕΧΝΙΚΗ ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ & ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ. Αναρτημένο στην διεύθυνση: [https://ocw.aoc.ntua.gr/modules/document/file.php/CIVIL120/ydr\\_ypgia\\_11.pdf](https://ocw.aoc.ntua.gr/modules/document/file.php/CIVIL120/ydr_ypgia_11.pdf)
  - Μιμίκου Μ.Α – Φ.Σ Φωτόπουλος, Σημειώσεις ΕΜΠ: Υδατικό Περιβάλλον και Ανάπτυξη, Αθήνα 2004
  - Καλλέργης Γ. (1998) Υφαλμύρωση παράκτιων υδροφορέων – απορρύπανση. Πρακτικά ημερίδας του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος με θέμα "Υφαλμύρωση υπόγειων υδάτων" Αθήνα 10 Δεκεμβρίου 1998.
  - Καλλέργης Γ.Α (2000) Εφαρ μοσμένη – Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία Β τόμος, Έκδοση Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας Αθήνα.
  
4. Ότι αφορά τις Γεωφυσικές διασκοπίσεις. Αναρτημένο στην διεύθυνση:
  - Παπαζάχος , Β. (1999) , Εισαγωγή στη Γεωφυσική , εκδόσεις ΖΗΤΗ , Θεσσαλονίκη.

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ

5. Ότι αφορά την περιοχή της Κάινας. Αναρτημένο στην διεύθυνση:
  - [http://www.kambos-village.gr/el/travellers\\_guide\\_to\\_chania/apokoronas\\_chania\\_crete](http://www.kambos-village.gr/el/travellers_guide_to_chania/apokoronas_chania_crete)
  - [https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%95%CF%80%CE%B1%CF%81%CF%87%CE%AF%CE%B1\\_%CE%91%CF%80%CE%BF%CE%BA%CE%BF%CF%81%CF%8E%CE%BD%CE%BF%CF%85](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%95%CF%80%CE%B1%CF%81%CF%87%CE%AF%CE%B1_%CE%91%CF%80%CE%BF%CE%BA%CE%BF%CF%81%CF%8E%CE%BD%CE%BF%CF%85)
  - <https://fysi.wordpress.com/culture/apokoronas/>
  
6. Ότι αφορά τον έλεγχο της ποιότητας του νερού. Αναρτημένο στην διεύθυνση:
  - Ζανάκη Κ., 2001. Έλεγχος Ποιότητας Νερού, Αθήνα. Εκδόσεις ΙΩΝ.
  - Μαυροκεφαλίδου Ελένη, 2005. Μελέτη της ποιότητας νερού στα πλαίσια της ορθολογικής διαχείρισης του υπόγειου υδροφορέα περιοχής Βαμου. Πτυχιακή



εργασία Αναρτημένο στην διεύθυνση:  
[http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/sefe/sdfp/2005/MavrokefalidouEleni/attached-document/2005\\_Mavrokefalidou.pdf](http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/sefe/sdfp/2005/MavrokefalidouEleni/attached-document/2005_Mavrokefalidou.pdf)

- Τσετσώνη Μάγδα. 2014. Προσδιορισμός του επιπέδου ρύπανσης των υπόγειων υδατικών πόρων και της παράκτιας ζώνης στην περιοχή της Χαλέπας. Πτυχιακή εργασία Αναρτημένο στην διεύθυνση:  
[http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/sefe/sdfp/2014/TsetsoniMagda/attached-document-1413798928-956483-9466/Tsetsoni\\_library2014.pdf](http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/sefe/sdfp/2014/TsetsoniMagda/attached-document-1413798928-956483-9466/Tsetsoni_library2014.pdf)
- Σταυρουλάκης Γ., Κύρκου Α., Τρούσσα Σ. και Χριστόφορος Ι. 2014. Υφαλμύρωση και ποιοτικά χαρακτηριστικά του υδροφορέα Καΐνας Βάμου (Δ. Κρήτη). Πρακτικά 10th International Hydrogeological Congress of Greece. Σελ 297-305. 8-10 October, 2014. Thessaloniki, Greece.
- Stavroulakis, G., Mavrokefalidou, E., Vergidou, L. (2006). Pumping rate variations in well located in Kaina-Vamos area (Crete) and their impacts on groundwater quality. In the proceedings of the International Symposium "Protection and Restoration of the Environment VIII". Chania 3-7 July 2006. E. Gidaracos et al (eds).

7. Ότι αφορά τις γεωφυσικές διατάξεις. Αναρτημένο στην διεύθυνση:

- TEM-RES manual. (2007). The Netherlands: Applied Electromagnetic Research (AEMR) Version 7.
- Kalisperi D. 2009. Assessment of groundwater resources in the north-central coast of Crete - Greece using geophysical and geochemical methods, PhD Thesis, Brunel University - UK.
- <http://bura.brunel.ac.uk/handle/2438/4241>