

## ΥΦΑΛΜΥΡΙΣΗ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΚΑΪΝΑΣ ΒΑΜΟΥ (Δ. ΚΡΗΤΗ)

ΣΤΑΥΡΟΥΛΑΚΗΣ Γ.\*, ΚΥΡΚΟΥ Α., ΤΡΟΥΣΣΑ Σ. και ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΟΣ Ι.

Τεχνολογικό Ίδρυμα Κρήτης, Σχολή Εφαρμοσμένων Επιστημών,  
Εργαστήριο Ελέγχου Ποιότητας Υδατικών & Εδαφικών Πόρων, gstav@chania.teicrete.gr

**Λέξεις κλειδιά:** Αγωγιμότητα, Ρυθμός άντλησης, Υδροφόρος, Χλωριόντα, Νάτριο.

### Περίληψη

Η μελέτη των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού της γεώτρησης Κάινας, πραγματοποιήθηκε την περίοδο 2003-2010. Η διαχρονική μεταβολή των παραμέτρων pH, EC, σκληρότητα, θολότητα, COD, BOD<sub>5</sub>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> και του μικροβιολογικού φορτίου ανέδειξαν την υπεράντληση ως την κύρια ανθρωπογενή παρέμβαση που υποβαθμίζει την ποιότητα του αντλούμενου νερού. Η υπεράντληση, της καλοκαιρινής περιόδου αρχικά και καθ' όλη την διάρκεια του έτους τα επόμενα χρόνια λειτουργίας, προκάλεσαν έντονη αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε επίπεδα 2.000-2.500 μS/cm και της συγκέντρωσης Cl<sup>-</sup> 400-600 mg/L. Παρότι η γεώτρηση Κάινας, κατά την περίοδο 2003-2010, εμφάνισε ιδιαίτερα σημαντική ικανότητα αυτορρύθμισης του βαθμού υφαλμύρισης προτείνεται η συνεχής παρακολούθηση και η μείωση της μηνιαίας αντλήσης κάτω από 30.000 m<sup>3</sup>. Παράλληλα απαιτείται η εκπόνηση Σχεδίου Ορθής Διαχείρισης της γεώτρησης και η λήψη των άμεσα απαραίτητων μέτρων για την προστασία του υδροφορέα.

## TEMPORAL VARIATION OF SEAWATER INTRUSION RATE AND GROUNDWATER QUALITY CHARACTERISTICS OF KAINA'S WELL (VAMOS CRETE)

STAVROULAKIS G., KIRKOU A., TROUSSA S. and CHRISTOFOROS J.

**Keywords:** Conductivity, Pumping rate, Underground water, Chloride, Sodium.

### Abstract

A 7year survey based on the effect of pumping rate on both water quality and seawater intrusion was conducted in the hydrological basin of Kaina's well in the region of Chania, Crete. Water samples from the well in Kaina-Vamos were collected throughout the period from 2003 to 2010. The pH, EC, hardness, turbidity, COD, BOD<sub>5</sub>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> concentration and the colonies of *Total & Fecal coliforms*, *S. faecalis* were measured. The measured values of certain chemical and microbiological qualitative parameters were below the limits of the current national regulations indicating the absence of human pollution or contamination agent in the hydrological basin. However, the concurrent increase of EC and Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> concentration due to seawater intrusion was caused by the overexploitation of the aquifer. The electrical conductivity and chloride concentration of groundwater were increased up to 2,000-2,500 μS/cm and 400-600 mg/L respectively over the last 2-years period of the survey, demonstrating the severe deterioration of water quality due to saltwater intrusion in the aquifer system. The study of the aquifer indicated a remarkable self regulatory capacity during the winter period which can be supported by further pumping reduction to less than 30.000 m<sup>3</sup> per month. Since potable water demand has been increased over the last years due to fast urbanization of the area, a plan of sustainable water management of the aquifer is needed with measures and practices for the preservation of water quality.

## 1. Εισαγωγή

Το πόσιμο νερό στις νησιωτικές περιοχές της χώρας προέρχεται κυρίως από υπόγειες υδροφορίες, συχνά παράκτιες, οι οποίες βρίσκονται υπό τον συνεχή κίνδυνο της διεύθυνσης θαλάσσιου νερού στο σύστημα των εν λόγω υδροφορέων (Oude Essink 2001). Η εισροή αυτή η οποία μπορεί να είναι μόνιμη, με το αλμυρό νερό να αντικαθιστά ίσες ποσότητες γλυκού νερού, με αποτέλεσμα την υφαλμύριση των υδροφορέων αυτών (Νάνου-Γιάνναρου 2003). Επομένως η γειννίαση του υπόγειου νερού με το θαλασσίνο νερό αποτελεί το κρίσιμο τμήμα ενός παράκτιου υδροφορέα και η κατανόηση της μεταξύ τους σχέση είναι απαραίτητη τόσο για την ορθολογική διαχείριση του όσο και για τον προσδιορισμό των σημείων διεύθυνσης του θαλασσινού νερού (Mondal *et al.* 2010).

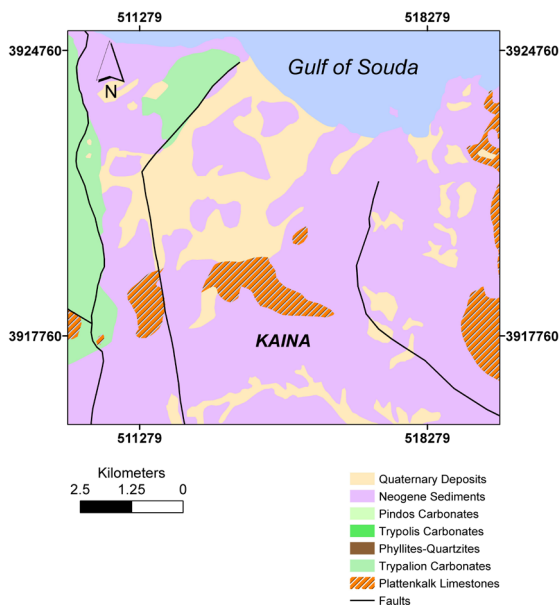
Η υφαλμύριση των υδάτων των υπόγειων υδροφορέων σε περιοχές που γειννιάζουν με τη θάλασσα οφείλεται κυρίως σε πρωτογενείς και δευτερογενείς παράγοντες: Οι πρωτογενείς παράγοντες σχετίζονται με τη μεταβολή του φυσικού εμπλουτισμού του υδροφορέα και συνήθως συνδέεται με την παροδική ελάττωση των ποσοτήτων υδάτων που φθάνουν στους υδροφορείς και πρόκειται για μια περιοδική αλμυρότητα που σχετίζεται με τις βροχοπτώσεις. Οι δευτερογενείς παράγοντες είναι αυτοί που συνδέονται με την υπερεκμετάλλευση. Τέτοια φαινόμενα είναι σύνθητη στη χώρα μας, κυρίως στις εντατικά καλλιεργούμενες παράκτιες πεδινές εκτάσεις και λαμβάνουν χώρα τόσο στους ελεύθερους όσο και στους περιορισμένους (υπό πίεση) υδροφορείς. Όταν ο ρυθμός άντλησης σε φρέατα κοντά στη θάλασσα υπερβεί το ρυθμό φυσικής ή τεχνητής επαναφόρτισης του υδροφορέα, τότε θαλασσίνο νερό εισρέει στους υδροφορείς, προκαλώντας την υποβάθμιση τους. Πρέπει να τονισθεί ότι το φαινόμενο δεν μπορεί να θεωρηθεί αναστρέψιμο, γι' αυτό η αντιμετώπισή του συνδέεται πρακτικά με πρόβλεψη/πρόληψη και ορθή διαχείριση. Το πρόβλημα της υφαλμύρισης στις περισσότερες περιπτώσεις καταγράφεται από τους υπεύθυνους φορέων, χωρίς όμως να αξιολογείται επαρκώς η έντασή του καθώς και η ανάγκη των άμεσων και κατάλληλων μέτρων αντιμετώπισης. (Καλλέργης 1999; Νάνου-Γιάνναρου 2003; Lambrakis and Kallergis 2001).

Σε πολλές περιοχές της Κρήτης το πρόβλημα της υφαλμύρωσης έχει επιβαρύνει σημαντικά τις παράκτιες υδροφορίες και οφείλεται στην υπεράντληση προκειμένου να καλυφθούν ανάγκες άρδευσης αλλά και ύδρευσης εξαιτίας της έντονης οικιστικής και τουριστικής ανάπτυξης της προηγούμενης δεκαετίας.

Η γεώτρηση της Κάινας έγινε με στόχο την υποστήριξη των αναγκών ύδρευσης περιοχών του Δήμου που δεν κάλυπταν οι αντλούμενες ποσότητες από τις πηγές Αρμένων (35°25'44.81"B - 24°9'20.81"A) και οι οποίες βρίσκονται βορειοδυτικά της γεώτρησης σε απόσταση 3 Km περίπου. Η συνεχής άντληση νερού έδειξε τα πρώτα συμπτώματα επιβάρυνσης μετά την πρώτη 2ετία παρακολούθησης των ποιοτικών χαρακτηριστικών του υπόγειου υδροφορέα (Stavroulakis 2006) της γεώτρησης. Καταγράφηκε τόσο η αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού όσο και η αυτορρυθμιστική ικανότητα της γεώτρησης αφού η ηλεκτρική αγωγιμότητα έδειχνε τάσεις ανάκαμψης κατά την χειμερινή περίοδο. Προκειμένου να συγκεντρωθούν χρονοσειρές δεδομένων και να αξιολογηθεί η συμπεριφορά του υδροφορέα τον οποίο εκμεταλλεύεται η γεώτρηση της Κάινας, πραγματοποιήθηκε 7ετής μελέτη του ρυθμού άντλησης και της επίδρασης της αντλούμενης ποσότητας στα φυσικοχημικά και χημικά χαρακτηριστικά του υπόγειου υδροφορέα.

## 2. Μεθοδολογία

Η γεώτρηση της Κάινας βρίσκεται στον Δήμο Βάμου, ΒΑ του Ν Χανίων, σε απόσταση 6 Km περίπου από την βόρεια ακτή και σε υψόμετρο 209 m (35°25'6.28"B-24°10'5.28"A). Διανοίχθηκε το 1997 με διάτρηση μαργαϊκών ασβεστολίθων μέχρι το βάθος των 60 m και στη συνέχεια πλακωδών ασβεστολίθων μέχρι το βάθος των 280 m. Τα τεκτονικά ρήγματα υπεύθυνα για την εμφάνιση και την ποιότητα του υπόγειου νερού φαίνονται στην Εικόνα 1. Η στάθμη ηρεμίας είναι σε βάθος 199 m, σε απόλυτο υψόμετρο +10 m. Η παροχή άντλησης ανέρχεται σε 70 μ<sup>3</sup>/ώρα, με πτώση στάθμης 1 m, ένδειξη της μεγάλης υδροπερατότητας των παλαιών ασβεστολίθων και άρχισε να λειτουργεί το 2001 για την κάλυψη αναγκών ύδρευσης του Δήμου (Παυλάκης 2001).



Σχήμα 1. Γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής με την θέση της γεώτρησης ΚΑΙΝΑ. Τα κύρια τεκτονικά ρήγματα φαίνονται με μαύρη γραμμή. (Ψηφιοποιημένο απόσπασμα γεωλογικού χάρτη ΙΓΜΕ φύλλο Χανιά).

Figure 1. Geological map of the broader area of Kaina village. The position of the well on the map is marked KAINA. The major tectonic features of the area are shown with black lines..(Digitized geological map IGMR leaf Chania).



Σχήμα 2. Ετήσια κατανομή βροχοπτώσεων. (Σταθμός Καλυβών).

Figure 2. Annual rainfall.

Το ύψος της ετήσιας βροχοπτώσης, σύμφωνα με τα βροχομετρικά στοιχεία από τον πλησιέστερο Σταθμό (Υπηρεσία Διαχείρισης Υδατικών Πόρων/Αποκεντρωμένη Διοίκηση Χανίων, Σταθμός Καλύβες Αποκορώνου βορειοδυτικά της γεώτρησης σε απόσταση 4 Km περίπου), κυμαίνε-

ται μεταξύ 360 και 1.100 mm, με μέσο όρο 30ετίας (1974-2004) 700 mm. Όλες οι βροχές περιορίζονται την χρονική περίοδο από Οκτώβριο έως Μάρτιο. Από τα διαθέσιμα βροχομετρικά στοιχεία προκύπτει ότι στην περίοδο μελέτης περιλαμβάνεται ο πολύ υγρός χειμώνας 2002-2003 με 1.100 mm βροχόπτωσης που ακολουθείται από δύο ξηρούς χειμώνας 2003-4 και 2004-5 με 590 και 360 mm βροχόπτωσης αντίστοιχα (Εικόνα 2). Μετά το 2005 δεν υπάρχουν καταγεγραμμένα βροχομετρικά στοιχεία λόγω μόνιμης διακοπής λειτουργίας του τοπικού σταθμού.

Η παρακολούθηση του βαθμού υφαλμύρισης και 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 της περιόδου 2003-2005 έδειξαν την ιδιαίτερη συμπεριφορά της γεώτρησης (Stavroulakis, 2006) και προκάλεσαν τον ενδιαφέρον για την συγκέντρωση δεδομένων μέχρι το 2010 οπότε διακόπηκε η άντληση για μεγάλο χρονικό διάστημα λόγω βλάβης της αντλίας.

Τα δείγματα νερού σε φιάλες πολυαιθυλενίου μεταφερόταν με φορητό ψυγείο (4°C) στο Εργαστήριο Ελέγχου Ποιότητας Υδατικών & Εδαφικών Πόρων του ΤΕΙ Κρήτης όπου γινόταν ο προσδιορισμός των παραμέτρων pH, EC, σκληρότητα, θολότητα, COD, BOD<sub>5</sub>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> και του μικροβιολογικού φορτίου.

Η μέτρηση pH και EC έγινε με πολυόργανο HACH (sension™156) εφοδιασμένο με τα αντίστοιχα ηλεκτρόδια.. Η θολότητα των δειγμάτων μετρήθηκε με φορητό θολερόμετρο (Lovibond CR3210). Για την μέτρηση της συγκέντρωσης του Βιοχημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου (BOD<sub>5</sub> mg/l) χρησιμοποιήθηκε θερμοστατούμενη διάταξη BOD με νηφιακές κεφαλές (Lovibond). Η συγκέντρωση (mg/l) COD, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2+</sup> έγινε με Test MERCK 14560, 9713, 14752, 14848, 14791 αντίστοιχα και τη χρήση του φωτομέτρου MERCK Spectroquant® NOVA 60. Φλογοφωτόμετρο Sherwood 410 χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση της συγκέντρωσης Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> στα δείγματα νερού ενώ ο προσδιορισμός της σκληρότητας έγινε με την μέθοδο EDTA και της συγκέντρωσης των ιόντων χλωρίου με την μέθοδο Mohr. Ο μικροβιολογικός έλεγχος των δειγμάτων έγιναν με την μέθοδο της διήθησης νερού σε αποστειρωμένα φίλτρα κυτταρίνης 47mm/0.45por (Gelman GN 66191) και την επώαση σε τρυβλία με υπόστρωμα Agar & Membrane Lauryl Sulphate Broth, (LAB 82) και σε υπόστρωμα Slanetz & Bartley Agar (LabM 166-LAB M). Τα τρυβλία στην συνέχεια τοποθετήθηκαν σε θαλάμους επώασης 37°C και 44°C αντίστοιχα για 24 ώρες για την ανάπτυξη των αποικιών *Total & Fecal coliforms* και 48 ώρες για την ανάπτυξη αποικιών *S. faecalis* (APHA 1995). Την περίοδο 2004 - 2010 καταγράφηκε η ποσότητα άντλησης και ο χρόνος λειτουργίας του αντλιοστασίου της γεώτρησης και από τα δεδομένα υπολογίστηκε η επίδραση της αντλούμενης ποσότητας στην μεταβολή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας.

### 3. Αποτελέσματα-Συζήτηση

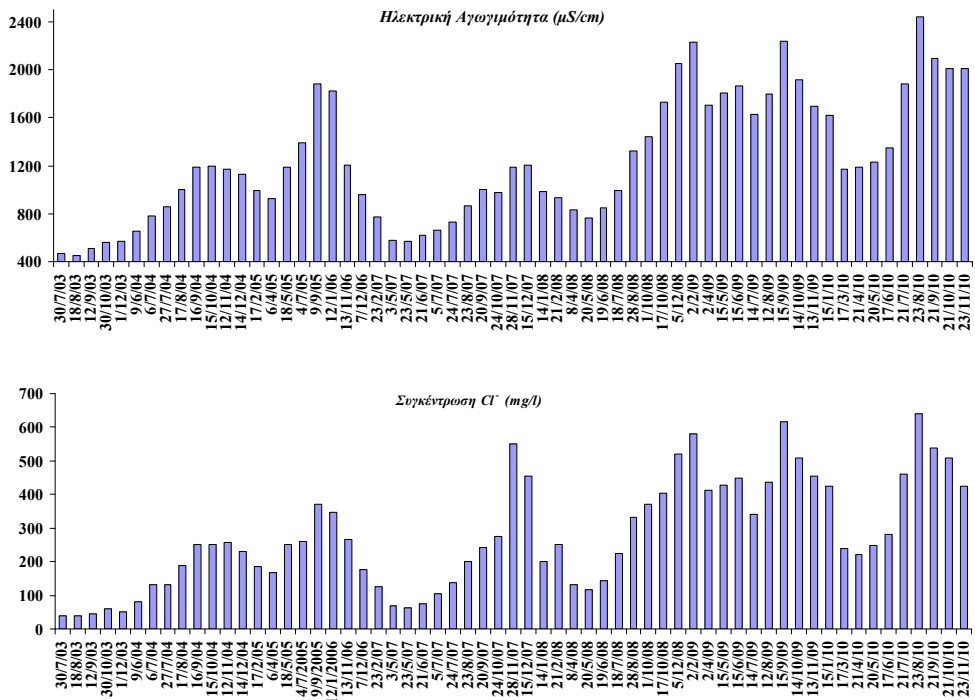
Τα αποτελέσματα των μετρήσεων έδειξαν την διακύμανση τιμών του pH (6,7-7,8) ενώ οι τιμές BOD<sub>5</sub> (0-3mg/l), COD (4-5 mg/l) την περίοδο ανάλυσης έδειξαν απουσία οργανικής ρύπανσης. Ο μικροβιολογικός έλεγχος για *Total & Fecal coliforms* και *S. faecalis* έδειξε μηδενικό αριθμό αποικιών που δεικνύει την απουσία μόλυνσης του υδροφόρου ορίζοντα. Η συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων NO<sub>3</sub><sup>-</sup> κυμάνθηκε στο εύρος 6-11 mg/l κατά την περίοδο μελέτης ενώ η συγκέντρωση NH<sub>4</sub><sup>+</sup> και PO<sub>4</sub><sup>-</sup> διατηρήθηκε χαμηλότερη από 0,2 mg/l και 0,3 mg/l αντίστοιχα. Η θολότητα των δειγμάτων ήταν 1-3 NTU κατά την περίοδο δειγματοληψίας. Σε αντίθεση με γεωτρήσεις σε άλλες περιοχές της χώρας (Petalias *et al.* 2009), τα αποτελέσματα των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού διατηρήθηκαν χαμηλότερα από το 50% του εύρους επιτρεπόμενων ορίων λόγω της απουσίας έντονης ρυπογόνου ανθρωπογενούς δραστηριότητας στην περιοχή του υδροφόρου της γεώτρησης η οποία περιορίζεται στην καλλιέργεια ελιάς και αμπελιού.

Την περίοδο μελέτης το σημαντικότερο πρόβλημα του υδροφόρα της γεώτρησης φάνηκε να είναι η αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού με την παράλληλη αύξηση της συγκέντρωσης των ιόντων Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> λόγω της διείσδυσης του θαλασσινού νερού (Σχήμα 1, Σχήμα 2)..

Συγκεντρώνοντας τις μετρήσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) και της συγκέντρωσης  $Cl^-$  από το έτος 2003, αρχή της περιόδου μελέτης της γεώτρησης της Κάινας, μέχρι το 2010 έχουμε την μεταβολή των παραμέτρων για ολόκληρη την 7ετία στην γραφική παράσταση του Σχήματος 1. Φαίνεται ότι η έντονα εποχική διακύμανση των τιμών την περίοδο 2003-2008, αυτορυθμίζεται και την χειμερινή περίοδο επιτυγχάνεται επιστροφή σε τιμές EC κάτω από το επίπεδο των 1000  $\mu S/cm$ , το οποίο θεωρείται ως ένδειξη της διείσδυσης θαλασσινού νερού (Petalas *et al.* 2009)

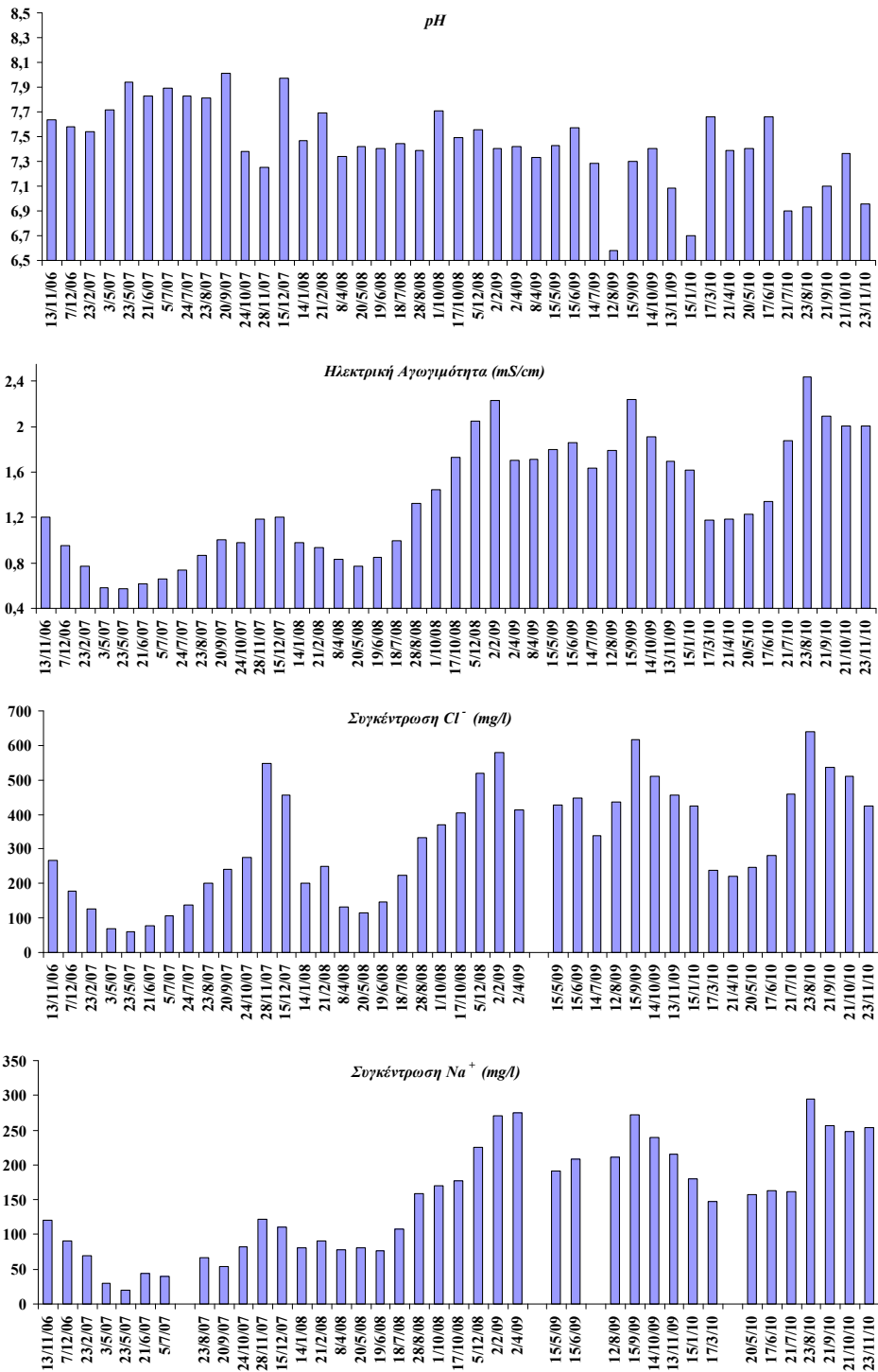
Η ηλεκτρική αγωγιμότητα παρέμεινε χαμηλή την καλοκαιρινή περίοδο αντλήσεων του 2003 και κυμάνθηκε από 470 έως 560  $\mu S/cm$  ενώ η συγκέντρωση των ιόντων χλωρίου δεν ξεπέρασε τα 60mg/L.

Η έναρξη αντλήσεων το καλοκαίρι του 2004 προκάλεσε σταδιακή αύξηση EC στα 1.170  $\mu S/cm$  παράλληλα με την αύξηση της συγκέντρωσης  $Cl^-$  από 130 στα 230 mg/L. Ο χειμερινός εμπλουτισμός του υδροφορέα μείωσε την EC κάτω από 900  $\mu S/cm$  αλλά η θερινή χρήση του 2005 επιβάρυνε περισσότερο τον υδροφόρο και η παρατεταμένη άντληση προκάλεσε οξεία επιδείνωση. Η EC ξεπέρασε τα 1.800  $\mu S/cm$  και η συγκέντρωση των ιόντων  $Cl^-$  έφτασε στα 370 mg/L (Σχήμα 1, Σχήμα 2). Η άντληση 150.000  $m^3$  και 290.000  $m^3$  κατά την διάρκεια των ετών 2004 και 2005 αντίστοιχα, φάνηκε ότι ήταν ιδιαίτερα υψηλές για τις δυνατότητες του υδροφορέα ο οποίος εμφάνισε έντονα συμπτώματα υφαλμύρισης. Ενδεικτικά από τα δεδομένα για το έτος 2005 αναφέρεται ότι η άντληση νερού από την γεώτρηση την περίοδο Μάιο -Σεπτέμβριο ήταν 145.000  $m^3$  και την περίοδο Σεπτέμβριο-Δεκέμβριο έφτασε τα 105.000  $m^3$ .

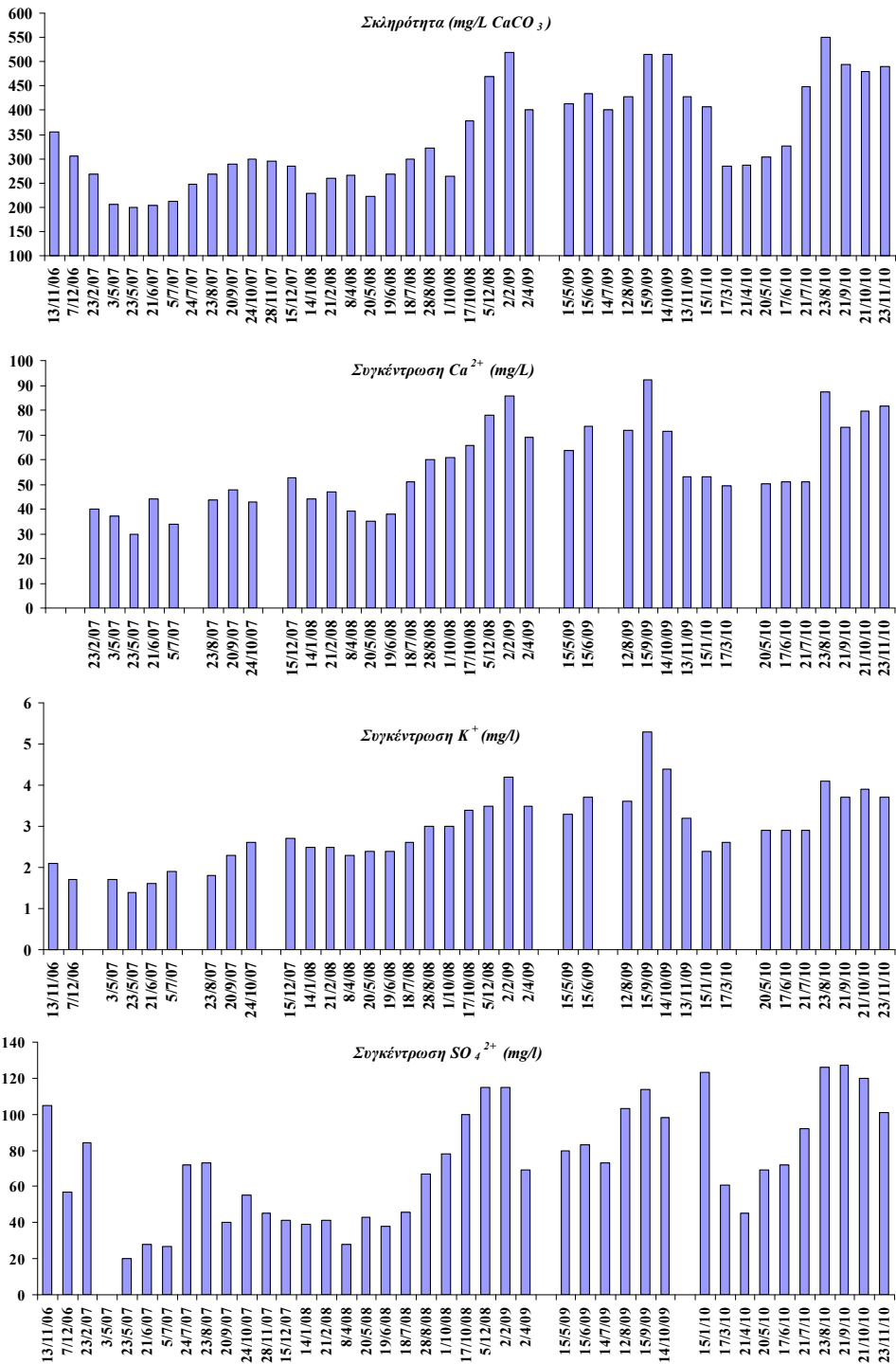


Σχήμα 1. Μεταβολή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και συγκέντρωσης  $Cl^-$  του νερού της γεώτρησης Κάινας την περίοδο 2003-2010.

Figure 1. Monitoring of EC and  $Cl^-$  in water samples of Kaina's well the period 2003-2010.



Σχήμα 2. Μεταβολή pH, EC και συγκέντρωσης Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup> νερού γεώτρησης Κάϊνας.  
 Figure 2. Monitoring of pH, EC, Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup> in water samples of Kaina's well.



Σχήμα 3. Μεταβολή σκληρότητας και συγκέντρωσης Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> νερού γεώτρησης Κάϊνας.

Figure 3 Monitoring of hardness, Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> in water samples of Kaina's well.

Η συντηρητική άντληση την καλοκαιρινή περίοδο 2006 (<140.000 m<sup>3</sup>) διατήρησε το μέγιστο της EC <1.200 μS/cm και της συγκέντρωσης Cl<sup>-</sup> <130 mg/L. Την περίοδο αυτή δεν έγιναν συστηματικές μετρήσεις και δεν υπάρχει η αντίστοιχη μηνιαία μεταβολή των τιμών EC και Cl<sup>-</sup>.

Η ετήσια άντληση 170.000 m<sup>3</sup> το 2007, παρότι δοκιμάζει την δυνατότητα αυτορρύθμισης της γεώτρησης, δεν προκαλεί έντονη αύξηση EC (<1.200 μS/cm) και επιστρέφει στα 800 μS/cm την χειμερινή περίοδο του 2008. Από το καλοκαίρι του 2008 η χρήση της γεώτρησης είναι συνεχής και η λειτουργία επεκτείνεται και κατά την χειμερινή περίοδο λόγω αύξησης της κατανάλωσης στον δήμο Βάμου. Η οικιστική έκρηξη που πραγματοποιείται την περίοδο αυτή δημιουργεί ανάγκες σε πόσιμο νερό που δεν καλύπτονται από τις δυνατότητες του δικτύου ύδρευσης. Επιπλέον το πόσιμο νερό χρησιμοποιείται τόσο για το πότισμα του χλοοτάπητα που διαθέτουν σχεδόν όλες οι νέες κατοικίες με επιδείνωση της έλλειψης νερού

Η σοβαρότητα της κατάστασης του υδροφορέα γίνεται αντιληπτή όταν οι μετρούμενες τιμές συγκριθούν με τα θεσμοθετημένα όρια των παραμέτρων για το πόσιμο νερό τα οποία αναφέρονται <2.500 μS/cm και <250 mg/L για την EC και τη συγκέντρωση Cl<sup>-</sup> αντίστοιχα (ΦΕΚ 630B/26-4-2007).

Την διετία 2009-10 η EC πλησιάζει συχνά την τιμή των 2.200 μS/cm και η συγκέντρωση Cl<sup>-</sup> βρίσκεται μεταξύ 400-600 mg/L. Την περίοδο αυτή καταγράφονται μηνιαίες αντλήσεις που ξεπερνούν τα 50.000 m<sup>3</sup> (Πίνακας 1). Παρότι υπάρχει η εξαντλητική χρήση του 2009 η χειμερινή περίοδος που ακολούθησε έδειξε και πάλι την ικανότητα ανάκαμψης κατά 50% με την EC να μειώνεται κάτω από τα 1.200 μS/cm.

Η επιδείνωση των υπολοίπων παραμέτρων ποιότητας που συνηγορούν στην διείδυση του θαλασσινού νερού στον υδροφορέα της γεώτρησης (Petalas *et al.* 2009), ανάλογα με την αντλούμενη ποσότητα νερού, υποδεικνύει την άμεση επίδραση του ρυθμού άντλησης στην κατάσταση του υδροφόρου (Σχήματα 2 και 3).

Η μεταβολή της συγκέντρωσης Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, ακολουθεί πιστά την μεταβολή της EC και συγκέντρωσης Cl<sup>-</sup> αναδεικνύοντας την σχέση αιτίου/αποτελέσματος μεταξύ υπεράντλησης και υφαλμύρισης. Η υψηλές συγκεντρώσεις Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> του θαλασσινού νερού που διεισδύει στον υδροφορέα μεταβάλλει άμεσα τις τιμές οι οποίες όμως ανταποκρίνονται στην προσπάθεια αυτορρύθμισης κατά τις χειμερινές περιόδους φόρτισής του (Σχήματα 2 και 3). Ανάλογη είναι και η μεταβολή της σκληρότητας του νερού από την ύπαρξη των ανθρακικών και θεικών αλάτων (Σχήμα 3). Επιπλέον η τιμή των σχέσεων Na<sup>+</sup>/Cl<sup>-</sup> (≈0,5) και Cl<sup>-</sup>/SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (≤5) μαρτυρά την ρύπανση του υδροφορέα από θαλάσσια διείδυση (Καλλέργης 1999).

Η παρατήρηση των μεταβολών της EC σε σχέση με την ποσότητα αντλούμενου νερού δείχνει την σημαντική σχέση μεταξύ των παραμέτρων αυτών. Στο Πίνακα 1 εμφανίζονται οι ποσότητες καλοκαιρινών αντλήσεων και οι μεταβολές στην ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού. Η συνεχής άντληση πάνω από 40.000 m<sup>3</sup> νερού προκάλεσε περιορισμένη αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (183 μS/cm) το καλοκαίρι του 2004. Τα επόμενα όμως χρόνια, με την εντατική χρήση της γεώτρησης, η αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας έφτασε στα 500 μS/cm για συνεχόμενες αντλήσεις που ξεπερνούσαν τα 40.000 m<sup>3</sup> νερού.

Πίνακας 1. Μεταβολή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) σε σχέση με την αντλούμενη ποσότητα νερού

Table 1. Correlation between pumping volume and EC

Χρονική περίοδος	Αρχική EC (μS/cm)	Τελική EC (μS/cm)	Μεταβολή EC (μS/cm)	Ποσότητα άντλησης (m <sup>3</sup> )
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



#### 4. Συμπεράσματα

Η υπεράντληση στον υδροφόρο της Κάινας για την κάλυψη των υδρευτικών αναγκών οδήγησε στην διείσδυση του θαλασσινού νερού. Παρότι η ικανότητα αυτορρύθμισης της γεώτρησης Κάινας αποτελεί ιδιαίτερη περίπτωση, καθώς καταφέρνει να μειώνει τις συνέπειες της υπεράντλησης με τον φυσικό εμπλουτισμό το επόμενο υδρολογικό έτος, δεν μπορεί να αποτελεί το μοναδικό μέτρο αντιμετώπισης. Παράλληλα απαιτείται η εκπόνηση Σχεδίου Ορθολογικής Διαχείρισης της γεώτρησης και η λήψη των άμεσα απαραίτητων μέτρων για την προστασία του υδροφορέα. Άλλωστε και η οδηγία 2000/60/EK (Παράρτημα V) προβλέπει την αξιολόγηση και ταξινόμηση ποιότητας και ποσοτικής κατάστασης των υπόγειων υδατικών συστημάτων. Στην περίπτωση της περιοχής μελέτης η άμεση απόκριση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και των συγκεντρώσεων των ιόντων-δεικτών στη διείσδυση του θαλασσινού νερού παρέχουν την δυνατότητα συνεχούς αξιολόγησης των προληπτικών μέτρων που θα εφαρμόζονται.

#### 5. Βιβλιογραφία

- APHA, (1995). Standard methods: for the examination of water and wastewater. Published jointly by: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, 19<sup>th</sup> Edition, Washington DC.
- Καλλέργης, Γ. (1999). Εφαρμοσμένη – Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία. Αθήνα.
- Lambrakis, N., Kallergis, G. (2001). Reaction of subsurface coastal aquifers to climate and land use changes in Greece: modelling of groundwater refreshing patterns under natural recharge conditions. *Journal of Hydrology*, 245: 19-31.
- Mondal, N.C., Singh, V.P., Singh, V.S., Saxena, V.K. (2010). Determining the interaction between groundwater and saline water through groundwater major ions chemistry. *Journal of Hydrology*, 388: 100–111.
- Νάνου-Γιάνναρου, Αικ. (2003). Υφαλμύριση παράκτιων υδροφορέων. Πρακτικά 9<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης. Σελ 337-344. Θεσσαλονίκη.
- Oude Essink, GHP. (2001). Improving fresh groundwater supply-problems and solutions. *Ocean & Coastal Management*, Vol. 44: 429-229.
- Petalas, C., Pisinaras, V., Gemitzi, A., Tsihrintzis, V., Ouzounis, K.. (2009). Current conditions of saltwater intrusion in the coastal Rhodope aquifer system, northeastern Greece. *Desalination*, 237: 22-41.
- Παυλάκης, Π. (1999). Υδρευτική Γεώτρηση Κάινας. Τεχνική Μελέτη.
- 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. Gidararakos et al (eds).
- ΦΕΚ 630B/ (2007) Τροποποίηση της Υγειονομικής Διάταξης κοινής υπουργικής απόφασης Υ2/2600/2001 «Ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης», σε συμμόρφωση προς την οδηγία 98/83/EK του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης της 3<sup>ης</sup> Νοεμβρίου 1998.