

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΟ ΔΕΛΤΑ ΤΟΥ ΑΧΕΛΩΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΙΣ ΣΧΕΣΕΙΣ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΜΕ ΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ ΚΑΙ ΤΟΥΣ ΥΓΡΟΤΟΠΟΥΣ

Π. Μαρίνος*, Μ. Καββαδάς*, Β. Περλέρος**, Δ. Ρόζος***,
Ε. Νικολάου***, Ν. Νικολάου*** και Ι. Χατζηνάκος***

ΣΥΝΩΜΗ

Από τις γεωτρητικές και υδρογεωλογικές έρευνες προέκυψε ότι οι προσχώσεις του Δέλτα έχουν μικρή διαπερατότητα και ακατάστατη ανάπτυξη που δυσχεραίνουν αξιόλογες διηθήσεις νερού του ποταμού προς τις λιμνοθάλασσες. Οι διηθήσεις αυ-τές εκτιμήθηκαν σε 200-750 m³/ώρα και συνεπώς αποτελούν μικρό μόνον κλάσμα της απευθείας παροχής γλυκού νερού προς τις λιμνοθάλασσες μέσω του αποστραγγιστικού δικτύου (που είναι 5500 m³/ώρα). Κατά συνέπεια, οι επιδράσεις της εκτροπής του Αχελώου προς την Θεσσαλία επί των διηθήσεων προς τις λιμνοθάλασσες, μπο-ρούν να αντιμετωπισθούν ακόμη και με μικρή αύξηση της παροχής γλυκού νερού από την Τριχωνίδα προς τις αποστραγγιστικές τάφρους.

ABSTRACT

The drilling and hydrogeological investigations concluded that the deltaic alluvia have low permeability and irregular development that represses appreciable seepages of river water towards the deltaic wetlands. The groundwater seepage is estimated at 200-750 m³/hour, only a small fraction of the fresh water quantities discharged directly into the wetlands by the network of irrigation dikes (estimated at about 5500 m³/hour). As a result, the influence of the proposed partial diversion of Acheloos river on the groundwater seepage towards the deltaic wetlands can be compensated even by a small increase of the fresh water discharged directly into the irrigation system.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ - INTRODUCTION

Η παρούσα εργασία αναφέρεται στην διερεύνηση των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων στους υγροτόπους του Δέλτα της μερικής εκτροπής υδάτων του ποταμού Αχελώου προς τη Θεσσαλική πεδιάδα. Σχετικώς έχει διατυπωθεί η άποψη ότι, μεταξύ άλλων, πιθανή πηγή τροφοδοσίας των υγροτόπων του Δέλτα με γλυκό νερό αποτελούν και οι διηθήσεις από το ποτάμι διαμέσου των αλλουβίων του Δέλτα καθώς και μεταγίσεις νερού από το βραχώδες καρστικό υπόβαθρο που υπόκειται των αλλουβίων και εμφανίζεται στην επιφάνεια κατά θέσεις.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι από καιρό η φυσική εξέλιξη του Δέλτα του Αχελώου έχει τροποποιηθεί λόγω των εξής επεμβάσεων:

(1) της κατασκευής συστήματος ταμειυτήρων και υδροηλεκτρικών έργων στον

* Nat. Tech. Univ. Athens, Dept. Civil Enigneering, ATHENS, Greece

** Geologist, Athens, Greece

*** IGME, Athens, Greece

πο-ταμό Αχελώο (Στράτος, Καστράκι, Κρεμαστά) με τα οποία γίνεται ανάσχεση των πλημμυρικών παροχών και ετήσια ρύθμιση της ροής του ποταμού,

(2) της κατασκευής εγγειοβελτιωτικών έργων στην πεδιάδα του κάτω ρού του Α-χελώου (περιοχή Λεσινίου) και του Δέλτα για άρδευση με ύδατα της λίμνης Τριχω-νίδας και Λυσιμαχίας μέσω αρδευτικών διωρύγων και αποστράγγιση του Δέλτα με σύστημα αποστραγγιστικών τάφρων προς τις λιμνοθάλασσες,

(3) της διευθέτησης-εγκλιβωτισμού της κοίτης του Αχελώου και συνεπώς του αποκλεισμού των υπερχειλίσεων του ποταμού.

Λόγω των ανωτέρω επεμβάσεων έχει αδρανοποιηθεί η σχέση του Δέλτα με το ποτάμι και έχουν αλλοιωθεί οι ισορροπίες των υγροτόπων επιπλέον και λόγω του μεταπικού αναχώματος και της διαθέσεως των υδάτων αποστράγγισης των αρδευόμενων εκτάσεων στις παρακείμενες λιμνοθάλασσες. Αξίζει να σημειωθεί ότι λόγω της ρύθμισης του ρού του Αχελώου με τα φράγματα, η μέση ταχύτητα της ροής του έχει μειωθεί σημαντικά και συνεπώς η αλμυρή γλώσσα προχωρεί μέχρι και αρκετά χιλιόμετρα ανάντη των εκβολών του ποταμού.

Για τη διερεύνηση των υδρογεωλογικών συνθηκών του Δέλτα συντάξαμε ένα ερευνητικό πρόγραμμα που εκπονήθηκε από το ΙΓΜΕ (το καλοκαίρι του 1993) στην περιοχή του κυρίως Δέλτα κατάντη του Νεοχωρίου, στην αριστερή (νότια) πλευρά μεταξύ του ποταμού Αχελώου και των υγροτόπων που αναπτύσσονται μεταξύ του λόφου Κουτσιλιάρη (στις εκβολές του ποταμού) και του λόφου της Αγ. Τριάδας στην είσοδο της λιμνοθάλασσας του Αιτωλικού. Το πρόγραμμα περιελάμβανε την διάνοιξη δειγματοληπτικών γεωτρήσεων, την εκτέλεση γεωφυσικών διασκοπήσεων, την αποτύπωση των σταθμών του υπογείου νερού και τη μέτρηση της αγωγιμότητας και της περριεκτικότητας σε χλωριόντα επιφανειακών και υπογείων εμφανίσεων σημείων νερού.

Με βάση τα αποτελέσματα των ανωτέρω εργασιών αναλύθηκαν οι υδρογεωλογικές συνθήκες του Δέλτα με μαθηματικά προσομοιώματα των διηθήσεων και εκτιμήθηκαν οι παροχές διηθήσεως μεταξύ των κύριων υδάτινων συστημάτων που είναι: ο ποταμός Αχελώος, η λιμνοθάλασσα, το σύστημα των αποστραγγιστικών τάφρων, και το ασβεστολιθικό υπόβαθρο της περιοχής του Δέλτα.

ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ - GEOLOGICAL STRUCTURE OF THE AREA

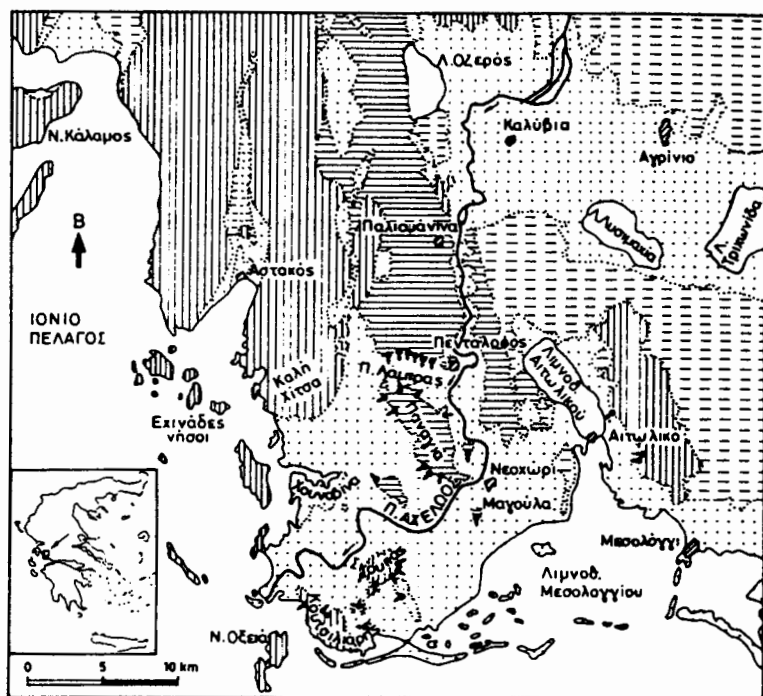
Η περιοχή του Δέλτα του Αχελώου καλύπτεται από τις αλλουβιακές προσχώσεις που αποτέθηκαν κατά την πρόσφατη γεωλογική εξέλιξη της περιοχής. Οι αποθέσεις αυτές αποτελούν τόσο άμεσα ποτάμια υλικά της κοίτης ή/και παλαιότερων πλημμυρικών απορροών του ποταμού, όσο και υπερκείμενα ποταμοθαλάσσια-λιμνοθαλάσσια-θαλάσσια ιζήματα. Τα τελευταία έχουν επίσης ποτάμια προέλευση αλλά αποτέθηκαν σε θαλάσσιο περιβάλλον, γεγονός που διαπιστώνεται και από την αυξημένη αλατότητα του υπογείου νερού σε μεγάλα βάθη. Λεπτομερής ανάλυση της δομής, των εναλλαγών και της κατανομής των αλλουβίων της περιοχής του Δέλτα καθώς και της γεωμορφολογικής κατάστασής του παρουσιάζεται από τον Ψιλοβίκο (1993). Τα ανωτέρω ιζήματα της εξελικτικής προώθησης του Δέλτα είναι λεπτομερούς κοκκομετρίας και αποτελούνται από άμμους (συνήθως λεπτοκόκκους), ιλυώδεις άμμους, ιλυώδεις αργίλους και αργίλους. Παρά τον μεγάλο αριθμό των γεωτρήσεων που διανοίχθηκαν (17) και το βάθος που διερευνήθηκε (μέχρι και 35 μέτρα) σε καμία θέση δεν συναντήθηκαν αδρομερείς σχηματισμοί, όπως χονδρόκοκκοι άμμοι, χάλικες, κροκάλες ή μείγματα των ανωτέρω. Ανεξάρτητα από τη στρωμάτωση που παρουσιάζουν τα ιζήματα αυτά λόγω προέλευσης (ποτάμιας ή θαλάσσιας) έχουν στις λεπτομερείς τους μια ακατάστατη κοκκομετρική συνέχεια δημιουργώντας φακούς, αποσφηνώσεις οριζόντων και συχνές εναλλαγές στρωμάτων.

Λεπτομερείς αναλύσεις επί της γεωλογίας της περιοχής έχουν γίνει από τις έρευνες της ΒΡ και του ΙΓΜΕ (1971), κατά τις οποίες συντάχθηκε και γεωλογικός χάρτης σε κλίμακα 1:100.000. Πρόσφατα το ΙΓΜΕ (1986) έχει εκδόσει και λεπτομερή χάρτη σε κλίμακα 1:50.000 της περιοχής των εκβολών του Δέλτα.

Το άμεσο υπόβαθρο των προσχώσεων αποτελούν στα ανατολικά, προς τη λιμνοθάλασσα του Αιτωλικού, οι νεογενείς σχηματισμοί και τα τριαδικά λατυποπαγή της Ιονίου ζώνης (βλέπε Σχήμα 1).

Οι νεογενείς αποθέσεις περιλαμβάνουν στρώματα συμπαγών κροκαλοπαγών, ψαμιμιτών, μαργών και μαργαϊκών ασβεστολίθων και εμφανίζονται στους λόφους μεταξύ του Δέλτα και της λιμνοθάλασσας του Αιτωλικού. Τα ασβεστολιθικά λατυποπαγή τριαδικής ηλικίας (που περιλαμβάνουν και σημαντικές μάζες από γύψους) εμφανίζονται στην επιφάνεια βορείως του Νεοχωρίου και στην περιοχή του Δέλτα, στο μικρό λόφο Μαγούλας. Τέλος, στο δυτικό και καταληκτικό τμήμα του Δέλτα, το υπόβαθρο αποτελούν οι Ιουρασικοί ασβεστόλιθοι της Ιονίου ζώνης που υπέρκεινται των τριαδικών λατυποπαγών. Οι ασβεστόλιθοι αυτοί εμφανίζονται κατά θέσεις σε μικρότερες ή μεγαλύτερες λοφώδεις εξάρσεις που αναδύονται μέσα από τις προσχώσεις του Δέλτα όπως οι λόφοι Χουνοβίνα, Κουτσιλάρης, Σκουπάς, Ταξιάρχης και άλλοι μικρότεροι. Οι ίδιοι ασβεστόλιθοι δομούν και τα μικρά νησιά στο Ιόνιο πέλαγος, απέναντι από τις εκβολές του ποταμού.

Από τους σχηματισμούς του υποβάθρου, οι μεν νεογενείς παρουσιάζουν μικρή έως ελάχιστη συνολική υδροπερατότητα, οι δε ασβεστόλιθοι και τα τριαδικά λατυποπαγή είναι περατοί σχηματισμοί. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι οι πηγές



Σχ. 1: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής του Δέλτα Αχελώου.

Fig. 1: Geological map of the Acheloos Delta.

που εμφανίζονται στα τριαδικά λατυποπαγή είναι σημαντικά επιβαρυμένες (ως προς την ποιότητά τους) εξαιτίας της παρουσίας θειϊκών ιόντων από τους γύψους του σχηματισμού.

Η ρηξιγενής τεκτονική που επικρατεί σ' όλο τον ευρύτερο χώρο έχει δημιουργήσει βυθίσματα στην υπόγεια μορφολογία του υποβάθρου των Δελταϊκών αποθέσεων. Ετσι, γεώτρηση βάθους 150 μέτρων, που πραγματοποιήθηκε στο παρελθόν για τη μελέτη εγκατάστασης του πετροχημικού εργοστασίου στην περιοχή των σημερινών εγκαταστάσεων ΙΧΘΥΚΑ, δεν συνάντησε το υπόβαθρο παρά μόνον εναλλαγές άμμου, ιλύος και αργίλου.

Από την υδρογεωλογική "λογική" που διαμορφώνουν οι γεωλογικές συνθήκες της περιοχής συμπεραίνονται τα εξής:

(1) Η περιοχή του κατ' εξοχήν Δέλτα είναι ουσιαστικά απομονωμένη υδρογεωλογικά από τυχόν διηθήσεις του Αχελώου στη ζώνη ανάντη του Δέλτα. Συγκεκριμένα οι διηθήσεις του ποταμού στα τριαδικά λατυποπαγή στην περιοχή των στενών Παλιόμάνινα - Πενταλόφου εξέρχονται, πάντα ανάντη, στις πηγές Λάμπρας Λεσινίου και στη γειτονική περιοχή και δεν συνεισφέρουν στις υπόγειες ροές προς του υγροτόπους του Δέλτα.

(2) Στο κάτω τμήμα του Δέλτα προβάλλουν, υπό μορφή λόφων, ασβεστολιθικές εμφανίσεις του βραχώδους υποβάθρου που παρουσιάζουν σημαντική καρστικότητα. Οι ανωτέρω όγκοι εκφορτίζουν το νερό που δέχονται από τις κατεισδύσεις των βροχοπτώσεων σε μικροπηγές στην επαφή τους με τις προσχώσεις μικρότερης περατότητας που τους περιβάλλουν, και μάλιστα οι ποσότητες του νερού που εξέρχονται φαίνεται να είναι συμβατές με την κατεισδύουσα βροχόπτωση. Κατά συνέπεια το νερό αυτό δεν δικαιολογεί κάποια σχέση με τυχόν διηθήσεις υδάτων του Αχελώου. Η απουσία σημαντικών πηγών στην περιοχή του δέλτα τεκμηριώνει είτε την πλήρη απομόνωση των καρστικών υδροφορέων από το ποτάμι και τις ανάντη καρστικές μάζες των τριαδικών ασβεστολιθικών λατυποπαγών, είτε μια ιδιαίτερη δυσχέρεια στη μεταξύ τους επικοινωνία.

(3) Οι προσχώσεις του Δέλτα δημιουργούν έναν υδροφόρο ορίζοντα που στα ανάντη τμήματα του Δέλτα τροφοδοτεί τον Αχελώο. Στα κατάντη τμήματα του Δέλτα ο υδροφόρος ορίζοντας διαμορφώνει μία ενιαία υδραυλική κλίση που από το ποτάμι ταπεινώνεται βαθμιαία και αποστραγγίζει στις τάφρους του αρδευτικού δικτύου.

Η ΣΗΜΕΡΙΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΔΕΛΤΑ - PRESENT STATE OF THE DELTA

Τις τελευταίες δεκαετίες η φυσική εξέλιξη του Δέλτα έχει τροποποιηθεί ουσιαστικά από ανθρώπινες επεμβάσεις που συνίστανται από τη διευθέτηση της κοίτης του ποταμού και την κατασκευή συστήματος φραγμάτων και εγγειοβελτιωτικών έργων στην πεδιάδα του κάτω ρού του Αχελώου. Η κατασκευή των φραγμάτων και η εξ' αυτών ρύθμιση της ροής έχει επηρεάσει σημαντικά τη χρονική κατανομή της απευθείας παροχής γλυκού νερού του ποταμού προς τις λιμνοθάλασσες στην περιοχή των εκβολών του και ως εκ τούτου την αλατότητά τους. Δευτερευόντως, η μείωση της παροχής του ποταμού (κυρίως στις περιόδους παύσης της λειτουργίας των υδροηλεκτρικών σταθμών) προκαλεί σημαντική προώθηση της αλμυρής γλώσσας προς τα ανάντη, δηλαδή αύξηση της αλατότητας στην κοίτη του ποταμού μερικά χιλιόμετρα ανάντη των εκβολών του. Κατά συνέπεια οι πιθανές υπόγειες διηθήσεις του ποταμού, διαμέσου των αλλουβίων του Δέλτα προς τις λιμνοθάλασσες αντιστοιχούν, κατά ένα τμήμα τους σε διηθήσεις ύδατος με αυξημένη αλατότητα. Επιπλέον, θα πρέπει να τονισθεί ότι λόγω της αποθέσεως μέρους τουλάχιστον¹ των αλλουβίων του Δέλτα σε θαλάσσιο περιβάλλον, η αλατότητα του ύδατος των πόρων είναι αυ-

¹ κυρίως των βαθύτερων στρώσεων

² τούτο επιβεβαιώθηκε και από μετρήσεις που εκτελέσθηκαν στο εσωτερικό των γεωτρήσεων

ξημένη² και συνεπώς, ακόμη και στην περίπτωση που το νερό του ποταμού έχει μικρή αλατότητα, κατά τη διήθησή του διαμέσου των αλλουβίων η αλατότητά του αυξάνει.

Η κατασκευή εκτεταμένου συστήματος εγγειοβελτιωτικών έργων στην πεδιάδα της νότιας όχθης του Αχελώου (περιοχή Νεοχωρίου) έχει επίσης επηρεάσει το υδατικό ισοζύγιο των παρακείμενων λιμνοθαλασσών, επειδή η αποστράγγιση των αρδευόμενων εκτάσεων γίνεται στις λιμνοθάλασσες αυτές και συνεπώς επηρεάζει την αλατότητά τους. Σύμφωνα με στοιχεία της μελέτης των Μαχαίρα-Λαζαρίδη (1988) και ερευνητικού προγράμματος του ΕΜΠ (1992), στην περιοχή της νότιας όχθης (περιοχή Νεοχωρίου) αρδεύονται εκτάσεις της τάξεως των 37000 στρεμμάτων (ζώνες 9B και 9Γ). Η άρδευση των ανωτέρω εκτάσεων γίνεται με ύδατα της λίμνης Τριχωνίδας και δευτερευόντως της λίμνης Λυσιμαχίας³ μέσω της αρδευτικής διώρυγας ΔΧΧ και των αντλιοστασίων Α1, Α2 και Α4, τα οποία λειτουργούν από τον Απρίλιο μέχρι τον Σεπτέμβριο με μέγιστη παροχή (προς την περιοχή Νεοχωρίου) της τάξεως των 9-12 m³/sec, δηλαδή 30-40 χιλιάδες m³/ώρα, και μέση (εκτιμώμενη) παροχή άρδευσης της τάξεως των 3.5 m³/sec (12500 m³/ώρα). Κατά τους χειμερινούς μήνες (Οκτώβριος-Μάρτιος) η προσαγωγός διώρυγα ΔΧΧ λειτουργεί περιοδικώς για τη ρύθμιση της στάθμης των λιμνών Τριχωνίδας και Λυσιμαχίας με παροχέτευση στην κοίτη του Αχελώου μέσω εκκενωτή. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η ανωτέρω παροχή αρδεύσεως είναι αυξημένη σε σχέση με άλλα αρδευτικά συστήματα, επειδή σε τμήμα της αρδευόμενης έκτασης υπάρχουν ορυζώνες⁴ και επιπλέον επειδή το δίκτυο των προσαγωγών διωρύγων δεν έχει ακόμη ολοκληρωθεί με συνέπεια τμήμα του αρδευτικού ύδατος να αποχετεύεται απευθείας στις λιμνοθάλασσες.

Στην αρδευόμενη έκταση της περιοχής Νεοχωρίου έχει κατασκευασθεί πυκνό δίκτυο αποστραγγιστικών τάφρων, οι οποίες διατηρούν τη στάθμη του υπογείου ορίζοντα στα αλλούβια του Δέλτα κατά 2-3 μέτρα χαμηλότερα από τη στάθμη των λιμνοθαλασσών, συγκεντρώνοντας και αποχετεύοντας το νερό από την ταπείνωση της στάθμης και τις όμβριες απορροές στη λιμνοθάλασσα μέσω των αντλιοστασίων D1 και D2 (βλέπε Σχήμα 2). Με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία λειτουργίας των αντλιοστασίων προκύπτει ότι η μέση ετήσια παροχή τους προς τις λιμνοθάλασσες είναι της τάξεως του 1.5 m³/sec (αθροιστικώς). Θα πρέπει βέβαια να τονισθεί ότι η ανωτέρω μέση τιμή της παροχής περιλαμβάνει και την αποχέτευση των βροχοπτώσεων κατά τη χειμερινή (μή-αρδευτική) περίοδο.

Η διατήρηση χαμηλής στάθμης του υπογείου ορίζοντα στην αρδευόμενη έκταση έχει ως συνέπεια μία αύξηση των διηθήσεων του ποταμού προς τις αποστραγγιστικές τάφρους, λόγω της αύξησης της διαφοράς της πιεζομετρικής στάθμης, τη διήθηση υδάτων της λιμνοθάλασσας προς την αρδευόμενη έκταση, αλλά και την πιθανή διήθηση υδάτων από το υποκείμενο ασβεστολιθικό υπόβαθρο προς την επιφάνεια του αρδευόμενου πεδίου διαμέσου των αλλουβίων. Το σύνολο των ανωτέρω διηθήσεων τροφοδοτεί τις αποστραγγιστικές τάφρους⁵ και τελικώς αποχετεύεται στις λιμνοθάλασσες.

ΤΟ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ **THE INVESTIGATION PROGRAMME. EVALUATION OF RESULTS**

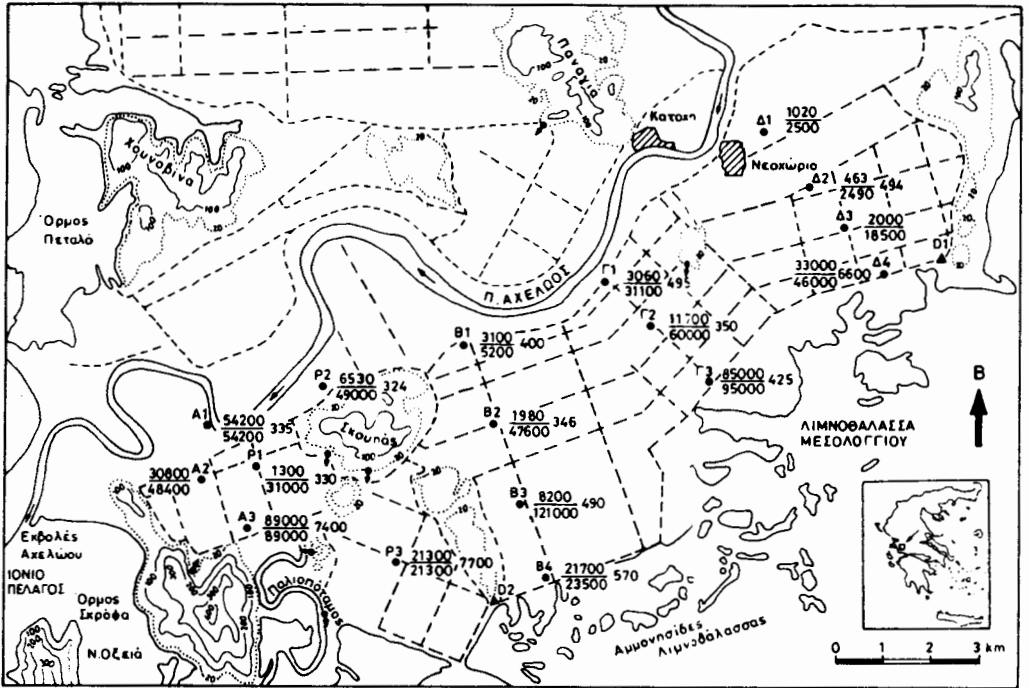
Για τη διερεύνηση των υδρογεωλογικών συνθηκών του Δέλτα εκτελέσθηκε⁶ το καλοκαίρι του 1993 εκτεταμένο ερευνητικό πρόγραμμα που συνίστατο από τις εξής

³ που λειτουργεί κυρίως ως αναρρυσμιακή, επειδή συνδέεται με την Τριχωνίδα με ενωτική τάφρο

⁴ που απαιτούν πολύ μεγαλύτερη ποσότητα νερού

⁵ πέραν της περιόσεως του ύδατος των αρδεύσεων που διηθείται απευθείας προς τις αποστραγγιστικές τάφρους

⁶ από το Ι.Γ.Μ.Ε.



P1 ●: Ερευνητικές γεωτρήσεις ⚙: Πηγές ▲: Αντλιοστάσιο ---: Κύρια αρδευτικά - αποστραγγιστικά κανάλια (ενδεικτικώς).

Αγωγιμότητα σε $\mu\text{S}/\text{cm}$: 54200 335 πιεζομετρική επιφάνεια γεωτρήσεων κανάλι
 54200

Σχ. 2: Αποστραγγιστικό σύστημα της πεδιάδας του κάτω ρού του Αχελώου (νότια όχθη). Φαίνονται και οι θέσεις των γεωτρήσεων που διανοίχθηκαν.
 Fig. 2: Irrigation drainage system at the Acheloos river lowlands (south bank). The locations of the boreholes are also shown.

εργασίες:

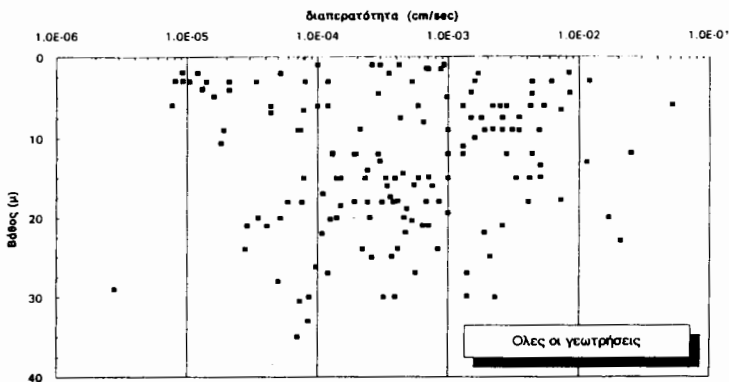
- (1) Διάτρηση 17 δειγματοληπτικών γεωτρήσεων συνολικού βάθους 450 μέτρων και εξοπλισμό τους με πιεζόμετρα. Σε πέντε από τις ανωτέρω γεωτρήσεις τοποθετήθηκαν διπλά πιεζόμετρα για την παρακολούθηση της πιεζομετρίας σε διάφορα βάθη.
- (2) Εκτέλεση 188 δοκιμών περατότητας (Maag και Lefranc) στο εσωτερικό των γεωτρήσεων, σε διάφορα βάθη.
- (3) Εκτέλεση γεωφυσικών διασκοπήσεων με τη μέθοδο της ηλεκτρικής αντίστασης σε διάφορους άξονες της περιοχής του Δέλτα.
- (4) Απογραφή σημείων εμφάνισης νερού (πηγών, γεωτρήσεων, πηγαδιών, στάθμης ποταμού, στάθμης αποστραγγιστικών τάφρων και στάθμης θάλασσας) στην ευρύτερη περιοχή του Δέλτα.
- (5) Μετρήσεις στάθμης στα πιεζόμετρα που τοποθετήθηκαν στις γεωτρήσεις.
- (6) Μετρήσεις αγωγιμότητας και περιεκτικότητας σε χλωριόντα του νερού στις γεωτρήσεις και πηγάδια (σε διάφορα βάθη) καθώς και σε χαρακτηριστικές θέσεις του ποταμού, των αποστραγγιστικών τάφρων, των προσαγωγών διωρύγων, των λιμνοθαλασσών και της θάλασσας.

Από τις ανωτέρω εργασίες προέκυψαν τα εξής:

- (1) Μέχρι το βάθος των 35 μέτρων, που διερευνήθηκε με τις γεωτρήσεις, συνα-

ντήθηκαν αποκλειστικά λεπτομερείς σχηματισμοί που συνίστανται από εναλλασσόμενες στρώσεις λεπτοκόκκων άμμων, ιλύων, αμμοϊλύων, αργιλοϊλύων και αργίλων. Λόγω της συνεχούς μεταβολής της θέσης της κοίτης του ποταμού στο παρελθόν, οι ανωτέρω εναλλαγές στρώσεων είναι τυχαίες τόσο κατ' έκταση όσο και ως προς το βάθος.

Η τυχαία κατανομή των στρώσεων διακρίνεται στο Σχήμα 3, το οποίο παρουσιάζει τα αποτελέσματα των μετρήσεων της διαπερατότητας (δοκιμές Maag και Lefranc) ως προς το βάθος στις γεωτρήσεις, από τα οποία δεν προκύπτει κάποια συγκέντρω-



Σχ. 3: Κατανομή της διαπερατότητας ως προς το βάθος στα αλλούβια του Δέλτα.

Fig. 3: Distribution of the permeability with depth in the deltaic alluvia.

ση των τιμών του συντελεστή διαπερατότητας είτε κατ' έκταση είτε ως προς το βάθος. Επιπλέον, η απουσία αδρομερούς κλάσματος στις προσχώσεις του Δέλτα δημιουργεί συνθήκες αναπύξεως ασθενούς προσχωματικής υδροφορίας, ενώ η αναφερθείσα ακαταστασία των υλικών (που άλλωστε συνήθως χαρακτηρίζει τις δελταϊκές αποθέσεις) δημιουργεί μια υδρογεωλογική ετερογένεια που μειώνει τη μακροσκοπική (μέση) διαπερατότητα και τις όποιες διακινήσεις υπογείου νερού διαμέσου των προσχώσεων ιδιαίτερα κατά την κατακόρυφη διεύθυνση. Βεβαίως, είναι δυ-νατόν να υπάρχουν προνομιακές ζώνες υπόγειας διήθησης σε περιοχές ανάπτυξης παλαιών κοιτών αλλά, και στην περίπτωση αυτή, η υπόγεια απορροή εκτιμάται ότι δεν θα είναι αξιόλογη λόγω του μικρού υδραυλικού φορτίου μεταξύ ποταμού και λιμνοθαλασσών (περί τα 1-2 μέτρα).

(2) Από τις γεωφυσικές διασκοπήσεις σε ορισμένα σημεία του Δέλτα προκύπτει ότι το βραχώδες υπόβαθρο βρίσκεται σε μικρό βάθος (από 30-80 μέτρα) και αποτελείται από ασβεστολιθούς ή/και τριαδικά λατυποπαγή. Βεβαίως, η γεωφυσική διερεύνηση συνάντησε δυσχέρειες στη διάκριση των αργιλικών προσχώσεων από το υπόβαθρο, λόγω της αυξημένης αλατότητας του υπογείου ορίζοντα. Σχετικώς, σημειώνεται ότι σε καμμία από τις γεωτρήσεις (βάθους 20-35 μέτρων) δεν συναντήθηκε το υπόβαθρο ή ενδείξεις της υποκρυπτόμενης παρουσίας του.

(3) Κατά τις μετρήσεις της πιεζομετρικής στάθμης στις γεωτρήσεις διαπιστώθηκε ότι η σχετικώς μικρή περατότητα των αλλοβίων δημιουργεί μία τοπική ανύψωση ("φούσκωμα") στις ανώτερες στάθμες του υπογείου ορίζοντα λόγω των αρδεύσεων ή/και των βροχοπτώσεων. Η ανύψωση αυτή δημιουργεί έναν υπόγειο υδροκρίτη που διακρίνει τη ροή στο προσχωματικό πεδίο, αφενός προς το ποτάμι και αφετέρου προς τις λιμνοθάλασσες. Η κατάσταση αυτή ευνοείται ιδιαίτερα στα ανάντη τμήματα του Δέλτα όπου τα υψόμετρα είναι υψηλότερα (στάθμες εδάφους +2.5 έως +3.0). Αντίθετα, σε χαμηλότερα υψόμετρα λόγω του πυκνού δικτύου των αποστραγγιστικών τάφρων δημιουργείται μια "έλξη" του υπογείου υδροφόρου ορίζοντα προς το δίκτυο αυτό με συνέπεια να διαμορφώνεται μια υπόγεια υδραυλική κλίση από το ποτάμι προς τα χαμηλά σημεία των αποστραγγιστικών τάφρων, απ' όπου το νερό απάγεται με άντληση. Πάντως, η μικρή σχετικώς περατότητα και η ακαταστασία των ιζημάτων δεν δημιουργεί ευνοϊκές συνθήκες για αξιόλογες παροχές διηθήσεων από το

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.

ποτάμι προς τις τάφρους και εκείθεν προς τις λιμνοθάλασσες.

(4) Όσον αφορά την κατανομή της πιεζομετρικής στάθμης με το βάθος, από μετρήσεις στα εγκατεστημένα πιεζόμετρα διαπιστώθηκε μια ελαφρά αύξηση της στάθμης με το βάθος⁷. Σε γειτονικές γεωτρήσεις στις οποίες εγκαταστάθηκαν πιεζόμετρα σε διαφορετικά βάθη διαπιστώθηκε διαφορά στάθμης μεταξύ του βαθύτερου και του υψηλότερου πιεζομέτρου της τάξεως των 15-35 εκατοστών του μέτρου. Αν και οι ανωτέρω διαφορές πιθανόν να επηρεάζονται από τυχόν ελλειπή αποκατάσταση υδραυλικής ισορροπίας στα πιεζόμετρα, η συστηματική εμφάνισή τους σε μεγάλο αριθμό γεωτρήσεων αποτελεί σαφή ένδειξη της μικρής διαπερατότητας των αλλουβίων στην κατακόρυφη διεύθυνση, λόγω της παρεμβολής πρακτικώς στεγανών αργιλικών στρώσεων. Βεβαίως, η ανωτέρω υδραυλική κλίση προς τα άνω οφείλεται και στην επιφανειακή ταπείνωση της πιεζομετρικής στάθμης μέσω του συστήματος των αποστραγγιστικών τάφρων η στάθμη των οποίων είναι χαμηλότερη της στάθμης του Αχελώου και των λιμνοθαλασσών κατά 2-3 μέτρα.

(5) Μετρήσεις της αγωγιμότητας σε μικρές πηγές στην περίμετρο των καρστικών ασβεστολιθικών λόφων στο δυτικό τμήμα του Δέλτα έδωσαν υψηλές τιμές (1700-16800 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Οι υψηλές αυτές τιμές της αγωγιμότητας οφείλονται κυρίως σε παρουσία χλωριόντων (μέχρι και 3600 ppm) και μαρτυρούν επηρεασμό των πηγών από θαλάσσια διείσδυση. Η ανάπτυξη μικρών αναβλύσεων με ποιοτικώς επιβαρυνμένο νερό πιθανολογεί την ανεξαρτησία των καρστικών αυτών λόφων τόσο από τον Αχελώο όσο και από τις ανθρακικές μάζες που εμφανίζονται βορείως του Δέλτα.

(6) Σε όλες τις γεωτρήσεις που μετρήθηκε η αγωγιμότητα του υπογείου νερού, οι τιμές ήταν πολύ υψηλές σε μεγάλα βάθη (μέχρι και 120000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) ενώ κοντά στην επιφάνεια ήταν σαφώς μικρότερες (1000-3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) δηλαδή παρατηρήθηκε μια σαφής διαστρωμάτωση, με αγωγιμότητα του νερού στον πυθμένα των γεωτρήσεων συνήθως πολύ μεγαλύτερη ακόμη και από αυτή που μετρήθηκε στην παρακείμενη λιμνοθάλασσα⁸. Επίσης παρατηρήθηκε μια σαφής και συστηματική αύξηση της αγωγιμότητας από τον ποταμό προς τις λιμνοθάλασσες. Η αυξημένη αυτή αγωγιμότητα στο εσωτερικό των γεωτρήσεων οφείλεται κυρίως στην απόπλυση των αλατούχων εδαφών του Δέλτα σε συνδυασμό με τη μικρή περατότητα των αλλουβίων και καθιστά σαφή την δυσχέρεια στη διήθηση γλυκού νερού του ποταμού ή/και των σχηματισμών του υποβάθρου διαμέσου των αλλουβίων προς τις παρακείμενες λιμνοθάλασσες.

(7) Μετρήσεις της αγωγιμότητας στις αποστραγγιστικές τάφρους έδωσαν παντού πολύ μικρότερες τιμές απ' ότι οι μετρήσεις στις αμέσως γειτονικές τους γεωτρήσεις. Τούτο οφείλεται στο ότι οι αποστραγγιστικές τάφροι συγκεντρώνουν κυρίως αρδευτικό νερό που διηθείται διαμέσου των ανώτερων εδαφικών στρώσεων που έχουν μικρή αλατότητα, αλλά και στην απευθείας παροχέτευση γλυκού νερού από τις αρδευτικές διώρυγες προς τις αποστραγγιστικές τάφρους επειδή το αρδευτικό δίκτυο δεν έχει ολοκληρωθεί.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΔΙΗΘΗΣΕΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΔΙΑΜΕΣΟΥ ΤΩΝ ΑΛΛΟΥΒΙΩΝ GROUNDWATER SEEPAGE CALCULATIONS THROUGH THE DELTAIC ALLUVIA

Για την ποσοτική εκτίμηση της επιρροής των διηθήσεων υδάτων του ποταμού διαμέσου των αλλουβίων του Δέλτα προς τους υγροτόπους-λιμνοθάλασσες της περιοχής, αναλύθηκαν με χρήση υπολογιστικών μοντέλων οι υπόγειες διηθήσεις του συστήματος Αχελώος - προσχώσεις - λιμνοθάλασσα. Ειδικότερα αναλύθηκαν οι εξής περιπτώσεις πιθανών διαδρομών υπόγειων διηθήσεων:

(1) του ποταμού προς τις αποστραγγιστικές τάφρους και δι' αυτών προς την λιμνοθάλασσα.

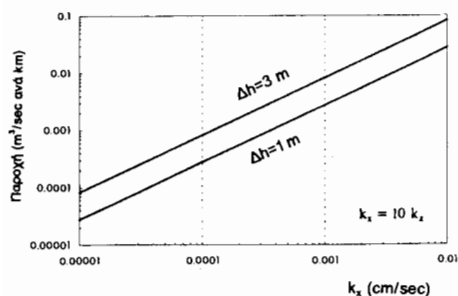
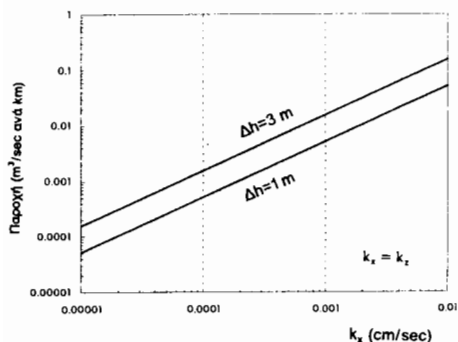
⁷ δηλαδή αύξηση υπεράνω της υδροστατικής στάθμης του φρεάτιου ορίζοντα

⁸ όπου μετρήθηκαν τιμές περί τα 50000 $\mu\text{S}/\text{cm}$

(2) της λιμνοθάλασσας προς τις αποστραγγιστικές τάφρους.

(3) του ασβεστολιθικού υποβάθρου προς τις αποστραγγιστικές τάφρους.

Σημειώνεται ότι η ανάλυση των παράκτιων υδροφορέων είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη σε σχέση με την ανάλυση ομοιογενών υδροφορέων λόγω των δυσχερειών στην ανάμειξη υγρών με διαφορετικές πυκνότητες (π.χ. Custodio 1988). Στην παρούσα εργασία η ανωτέρω πολύπλοκότητα αγνοείται χωρίς σημαντική επιρροή εκ του σφάλματος επειδή τα αποτελέσματά της είναι προς την πλευρά της ασφάλειας (δηλ.



Σχ. 4:

Νομογραφήματα των εκτιμώμενων παροχών διήθησης υδάτων του Αχελώου προς τις αποστραγγιστικές τάφρους συναρτήσει της διαπερατότητας των αλλουβίων στην οριζόντια διεύθυνση.

Fig. 4:

Charts showing the computed seepage discharge of river water towards the drainage trenches as a function of the horizontal permeability of the deltaic alluvia.

μειώνουν τις διηθήσεις σε σχέση με αυτές που αντιστοιχούν σε θεώρηση ομοιογενούς υδροφορέα).

Οι αναλύσεις έγιναν με ένα διδιάστατο μοντέλο υπόγειας ροής σε κατακόρυφο επίπεδο που βασίζεται στη μέθοδο των Πεπερασμένων Στοιχείων (Μαρίνος 1993). Το μοντέλο αυτό μπορεί να περιγράψει και χρονικώς εξελισσόμενες διηθήσεις σε πορώδη μέσα λόγω μή - μηδενικής αποθηκευτικότητας (storativity) ή/και λόγω χρονικώς μεταβαλλόμενων συνοριακών συνθηκών. Επίσης, το μοντέλο λαμβάνει υπόψη την κατανομή των βροχοπτώσεων στην επιφάνεια του εδάφους, ανισότροπη διαπερατότητα και διάφορους τύπους συνοριακών συνθηκών. Κατά τις αναλύσεις θεωρήθηκε ότι η διαπερατότητα των αλλουβίων του Δέλτα είναι ανισότροπη και συγκεκριμένα δεκαπλάσια στην οριζόντια διεύθυνση απ' ότι στην κατακόρυφη, λόγω της γενικής οριζόντιας στρωμάτωσης των αλλουβίων.

Από τις ανωτέρω αναλύσεις προέκυψαν τα εξής:

(1) Η εκτιμώμενη παροχή διηθήσεων υδάτων του Αχελώου προς τη λιμνοθάλασσα μπορεί να προσεγγισθεί⁹ από τη σχέση:

$$Q = 1.552 k_x \frac{\Delta h}{L} H B$$

⁹ με βάση τα αποτελέσματα του αριθμητικού μοντέλου και θεώρηση ομοιογενούς υδροφορέα χωρίς επιρροή από τη διαφορά πυκνότητας μεταξύ γλυκού και αλμυρού νερού

όπου k_x είναι η διαπερατότητα των αλλουβίων στην οριζόντια διεύθυνση, είναι η μέση διαφορά στάθμης μεταξύ ποταμού και λιμνοθάλασσών, L η μέση απόσταση του ποταμού από τις λιμνοθάλασσες, H το πάχος των αλλουβίων και B το μήκος του ποταμού στο οποίο γίνονται οι διηθήσεις διαμέσου των αλλουβίων του Δέλτα. Για τυπικές τιμές των ανωτέρω παραμέτρων η παροχή διηθήσεως είναι: $30-300 \text{ m}^3/\text{ώρα}$. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η ανωτέρω παροχή είναι πολύ μικρή έως αμελητέα αν συγκριθεί με τη μέση παροχή του δικτύου των αποστραγγιστικών τάφρων προς τις λιμνοθάλασσες που είναι της τάξεως των $5400 \text{ m}^3/\text{ώρα}$.

(2) Η εκτιμώμενη παροχή διηθήσεων υδάτων του Αχελώου προς τις αποστραγγιστικές τάφρους (και δι' αυτών προς τις λιμνοθάλασσες) παρουσιάζεται στα νομογραφήματα του Σχήματος 4. Για τυπικές τιμές των παραμέτρων που υπεισέρχονται στους υπολογισμούς προκύπτουν παροχές διηθήσεως $150-400 \text{ m}^3/\text{ώρα}$, δηλαδή και πάλι πολύ μικρές σε σχέση με τη μέση παροχή του δικτύου αποστράγγισης.

(3) Οι διηθήσεις της λιμνοθάλασσας προς το δίκτυο των αποστραγγιστικών τάφρων εκτιμήθηκαν μεταξύ 50 και $150 \text{ m}^3/\text{ώρα}$.

(4) Οι πιθανές διηθήσεις από τον υποκειμένο ασβεστόλιθο προς τις αποστραγγιστικές τάφρους, διαμέσου των αλλουβίων, είναι της τάξεως των $50-150 \text{ m}^3/\text{ώρα}$.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - CONCLUSIONS

Από τις γεωτρητικές και υδρογεωλογικές έρευνες προκύπτει ότι οι προσχώσεις του Δέλτα έχουν μικρές υδατοπερατότητες και ακατάστατη ανάπτυξη που δυσχεραίνουν τις διηθήσεις αξιόλογων ποσοτήτων νερού από τον Αχελώο προς τις λιμνοθάλασσες ή προς τις αποστραγγιστικές τάφρους που τελικά καταλήγουν και αυτές στις λιμνοθάλασσες. Τα υπολογιστικά μοντέλα που συνετάγησαν, για ποικιλίες καταστάσεων, έδωσαν όλα μικρές παροχές διηθήσεων. Οι παροχές αυτές υπολογίστηκαν σε μερικές εκατοντάδες κυβικά μέτρα την ώρα (υπολογίστηκαν $200-750 \text{ m}^3/\text{ώρα}$ με παραδοχές αρκετά συντηρητικές). Η συμμετοχή στις ποσότητες αυτές από τις υπόγειες μεταγίσεις νερού από το βραχώδες υπόβαθρο είναι μικρή ($50-150$ κυβικά μέτρα την ώρα) και δεν προέρχεται από τροφοδοσίες του Αχελώου.

Οι εκκενούμενες ποσότητες γλυκού νερού από τα αποστραγγιστικά δίκτυα γίνονται σήμερα σε δύο αντιληπτικά σημεία και αφορούν ποσότητες περί τα 5.500 κυβικά μέτρα την ώρα κατά την αρδευτική περίοδο. Η παροχή αυτή συντηρείται στο μέγιστο τμήμα της: (α) από την αποστράγγιση των ποσοτήτων του αρδευόμενου νερού που διηθείται και (β) από το πλεόνασμα αχρησιμοποίητου αρδευτικού νερού που διοχετεύεται στις τάφρους, κατά τη θερινή περίοδο του έτους, και από τις χειμερινές απορροές, κατά την υπόλοιπη. Οι διηθήσεις από τον Αχελώο αποτελούν μικρό μόνο κλάσμα της παροχής αυτής ($3-13 \%$). Όμως, οι επιπλέον αυτές ποσότητες των διηθήσεων από τον Αχελώο δεν είναι στο σύνολό τους ενεργές από πλευράς τροφοδοσίας σε γλυκό νερό, διότι κατά το μεγαλύτερο τμήμα τους επιβαρύνονται με άλατα κατά την υπόγεια διέλευσή τους μέσω των παθογενών προσχώσεων του Δέλτα. Οι επιβαρύνσεις σε πολλές περιοχές φθάνουν σε επίπεδα συγκεντρώσεως αλάτων μεγαλύτερων από τα επίπεδα του νερού της θάλασσας.

Η εκτροπή δεν θα ταπεινώσει ιδιαίτερα τη στάθμη του ποταμού στην πορεία του μέσα στο Δέλτα, ώστε να μειωθούν οι προαναφερθείσες διηθήσεις από το ποτάμι. Θα προωθηθεί μόνο προς τα ανάντη, σε ένα βαθμό, η θαλάσσια γλώσσα μέσα στον Αχελώο. Το υφάλμυρο νερό που θα διηθείται θα εξέρχεται όμως, ούτως ή άλλως, βεβαρυμένο, όπως συμβαίνει και σήμερα, σε πολλές ζώνες εξόδου του (π.χ. στις λιμνοθάλασσες ή σε πολλές από τις αποστραγγιστικές τάφρους). Συνεπώς από τις προαναφερθείσες ποσότητες διηθήσεων ($200-750$ κυβικά μέτρα την ώρα) οι ενεργά υπόγειες τροφοδοσίες γλυκού νερού προς τις λιμνοθάλασσες (μέσω των αποστραγγιστικών τάφρων) δεν μπορεί να ξεπερνούν τα $200-300 \text{ m}^3/\text{ώρα}$. Η ποσότητα αυτή αφορά τελικά ένα ποσοστό $3-6\%$ της συνολικής ποσότητας που απάγεται προς τις λιμνοθάλασσες. Στη μικρή αυτή ποσότητα πρέπει να εστιάζονται λοιπόν οι επιπτώ-

σεις από το έργο της εκτροπής υδάτων του Αχελώου προς τη Θεσσαλία.

Από την ως άνω διερεύνηση προκύπτει ότι η επίδραση της εκτροπής επί των διηθήσεων του Αχελώου στο Δέλτα του μπορεί να αντιμετωπισθεί με μικρή αύξηση της παροχής του γλυκού νερού που καταλήγει στο Δέλτα και προέρχεται από το σύστημα των λιμνών Λυσιμαχίας - Τριχωνίδας. Η ποσότητα αυτή ακόμα και αν ληφθεί άμεσα από τον Αχελώο δεν ξεπερνάει τα 0.25% της ποσότητας που προγραμματίζεται κατά μέγιστο να εκτραπεί προς τη Θεσσαλία.

Τέλος, με απλές επεμβάσεις, μπορεί ακόμα και να βελτιωθεί η υφιστάμενη κατάσταση τροφοδοσίας γλυκού νερού προς τις λιμνοθάλασσες και να επιτευχθεί έτσι διεύρυνση των υδροβιοτόπων που σήμερα εντοπίζονται γύρω από τα υφιστάμενα αντιλιοστάσια. Τέτοιες επεμβάσεις αναφέρονται π.χ. στη διατήρηση της "σπατάλης" νερού στις αρδεύσεις, στις περιοδικές κατακλύσεις των χαμηλών ζωνών, και στη διασπορά στον χώρο των σημείων άντλησης προς τους υγροτόπους του Δέλτα των νερών που αποστραγγίζονται από τις αρδεύσεις ή αποχετεύουν τις χειμερινές απορροές.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ - ACKNOWLEDGEMENTS

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε για λογαριασμό του Υπουργείου Εθνικής Οικονομίας, στα πλαίσια της μελέτης των πιθανών επιπτώσεων από την μερική εκτροπή του ποταμού Αχελώου προς την Θεσσαλία.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - REFERENCES

- B.P. Co Ltd, (1971). Γεωλογικά αποτελέσματα εκ της έρευνας δι' αναζήτησιν πετρελαίων εις Δυτικήν Ελλάδα, Έκθεση προς το ΙΓΜΕ.
- CUSTODIO, E. (1988). Present state of coastal aquifer modelling: short review, Groundwater flow and quality modelling, Reidel, pp 785-801.
- E.M.Π. (1992). Ολοκληρωμένη διαχείριση συμπλέγματος υγροτόπων Αιτωλικού - Μεσολογγίου νομού Αιτωλοακαρνανίας, υπό Μποναζούντα Μ., Καλλιδρομίτου Δ. Έκθεση για ΕΟΚ.
- I.Γ..Μ.Ε. (1986). Αναγνωριστική γεωθερμική έρευνα στην περιοχή των εκβολών του Αχελώου ποταμού, Έκθεση ΙΓΜΕ υπό Μ. Φυτίκα και Β. Καρταλίδη (αδημοσίευτη).
- ΜΑΡΙΝΟΣ, Π. (1993). Έκθεση επί των Υδρογεωλογικών Συνθηκών του Δέλτα του Αχελώου, με εντολή του Υπουργείου Εθνικής Οικονομίας.
- MARINOS, P., FRANGOPOULOS, J. (1973). Systeme des sources karstiques de Lambrá (Akarnanie-Grece). Symposium "Eaux souterraines", Palermo, Italie.
- ΜΑΧΑΙΡΑΣ, Γ., ΥΔΡΟΕΞΥΓΙΑΝΤΙΚΗ, ΛΑΖΑΡΙΔΗΣ, Λ. (1988). Αναθεώρηση Οριστικής Μελέτης ζωνών 8, 9B και 9Γ του αρδευτικού έργου Κάτω Αχελώου Ν. Αιτωλοακαρνανίας. Μελέτη για λογαριασμό του Υπουργείου Γεωργίας (αδημοσίευτη).
- ΨΙΛΟΒΙΚΟΣ, Α. (1993). Έκθεση επί των Γεωλογικών Συνθηκών του Δέλτα του Αχελώου, με εντολή του Υπουργείου Εθνικής Οικονομίας.
- VILLAS, G.A. (1983). The Holocene evolution of the Acheloos river Delta, Northwestern Greece: Associated environments, geomorphology and microfossils, MSc Thesis, Univ. of Delaware, USA. 201 p.