

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΕΔΡΑ: ΥΔΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ  
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Θ. ΞΑΝΘΟΠΟΥΛΟΣ

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ**  
**ΣΥΛΛΗΨΗ ΠΗΓΩΝ ΑΝΑΒΑΛΟΥ**  
**ΑΡΓΟΛΙΔΑΣ**

**Κώστας Γκόνης**  
**Δημήτρης Μπασιάκος**

**ΑΘΗΝΑ ΟΚΤΩΒΡΗΣ 1978**

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

I.	ΑΡΔΕΥΤΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΑΡΓΟΛΙΔΑΣ	5
1.	Γενικά περί Αργολικού Πεδίου	5
	Γεωγραφικά	5
	Γεωλογία	5
	Κλίμα	5
	Καλλιέργειες - Απόδοση	5
2.	Το πρόβλημα της λειψυδρίας	6
	Απαιτήσεις στο νερό	6
	Υπόγεια νερά	6
	Νερά πηγών	6
	«Το πρόβλημα του Αργολικού Πεδίου»	6
	Πρώτες ενέργειες για την αντιμετώπιση του προβλήματος	7
	Πίνακες Ια, Ιβ, Ιγ	9
	Πίνακες Ιδ, Ιε	10
	Χάρτης Ια	10
II.	ΑΝΑΒΑΛΟΣ	12
1.	Μεγάλος Ανάβαλος	12
2.	Μικρός Ανάβαλος	12
	Ιστορικό	12
	Περιγραφή της περιοχής των πηγών	12
	Παράκτια Πηγή	13
	Υποθαλάσσιες πηγές	13
	Γεωλογική – Υδρογεωλογική εικόνα της περιοχής των πηγών	14
3.	Ιχνηθετήσεις για τον προσδιορισμό της προέλευσης του νερού της πηγής	16
4.	Γεωλογική – Υδρογεωλογική εικόνα της περιοχής της κοιλάδας Σπηλιωτάκη	17
	Σχ ΙΙα	18
	Σχ ΙΙβ	19
	Σχ ΙΙγ	20
	Πίνακας ΙΙα	21
	Χάρτης ΙΙα	22
III.	ΜΕΡΙΚΑ ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ ΤΟΥ ΚΑΡΣΤ	23
1.	Σχηματισμός του καρστ του ασβεστόλιθου Ολωνού	23
	Στεγανές ή σχετικά στεγανές περιοχές	23
	Περιοχές και κατευθύνσεις κυκλοφορίας του νερού	23
2.	Μηχανισμός ανάμιξης γλυκού και θαλασσινού νερού της υποθαλάσσιας πηγής Αγίου Γεωργίου Κιβερίου	24
	Υδραυλική ισορροπία γλυκού και θαλασσινού νερού στο καρστ	24
IV.	ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΝΕΡΩΝ ΤΗΣ ΠΗΓΗΣ ΑΓΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΥ ΚΙΒΕΡΙΟΥ	27
	Πίνακας ΙVα	29

	Πίνακας IVβ	29
	Πίνακας IVγ, IVδ	
V.	ΥΠΑΡΧΟΥΣΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ	30
	Μελέτη Παπαδημητρίου	30
	Πρόταση Παπάκη	31
	α. Διάνοιξη φρέατος ή γεώτρησης	31
	β. Κατασκευή στοάς προσπέλασης και συλλογής	31
	γ. Φράγμα στη θάλασσα	31
	Μελέτη STAENDER	33
	Ιστορικό	33
	Μελέτη κατασκευή λύσης STAENDER. Το έργο σύλληψης των πηγών	34
	Προσφερόμενες λύσεις κατασκευής φράγματος	35
	Λύση χωμάτινου φράγματος	35
	Τοξοειδές φράγμα από προκατασκευασμένα κιβώτια	35
	Κατασκευή με προκατασκευασμένα μπλοκ	35
	Τοξοειδές φράγμα από άοπλο σκυρόδεμα	35
	Γεωτρήσεις	36
	Πίνακας Va	37
	Θεμελίωση	38
	Τροποποίηση αναμορφωθείσης μελέτης	38
	Σχήματα Va, Vβ	40
	Χάρτες Va, Vβ, Vγ και Vδ	41
VI.	ΚΡΙΤΙΚΗ ΣΤΙΣ ΥΠΑΡΧΟΥΣΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ	45
	Μελέτη Παπαδημητρίου	45
	Μελέτη Παπαδάκη	45
	Μέθοδος STAENDER	45
VII.	ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	48
	ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ	51
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	56

## Π Ι Ν Α Κ Ε Σ

Iα:	Κατανομή εδαφών
Iβ:	Κατηγορία αρδευσιμότητας εδαφών
Iγ:	Μέσο ετήσιο ύψος βροχής
Iδ:	Χρήση εδάφους
Iε:	Παροχή πηγών Αργολικού Πεδίου
IIα:	Αποτελέσματα ανάλυσης ύδατος πηγών Αναβάλου
IVα:	Κατηγορίες νερού κατά <b>DONNEEN</b>
IVβ:	Δυναμική αλατότητα σε χιλιοστοϊσοδύναμα ανά λίτρο
IVγ:	Αναλύσεις υδάτων
IVδ:	Αναλύσεις υδάτων
Vα:	Γεώτρηση Γ <sub>12</sub>

## Σ Χ Η Μ Α Τ Α

IIα:	Το συγκρότημα των πηγών Αναβάλου
IIβ:	Γεωτρήσεις Παπαδάκη
IIγ:	Υποθετικό δίκτυο τροφοδοσίας των πηγών
IIIα:	Σχηματική παράσταση ανάμιξης γλυκού και αλμυρού νερού Πηγών Αναβάλου
Vα:	Τομή Φράγματος
Vβ:	Γεωτρήσεις

## Χ Α Ρ Τ Ε Σ

IIα:	Νομός Αργολίδας
IIβ:	Γεωλογικός χάρτης περιοχής Κιβερίου – ΣΠΗΛΙΩΤΑΚΗ
IIγ:	Χωμάτινο φράγμα Παπαδημητρίου (οριζοντιογραφία)
IIIα:	Τοπογραφικός χάρτης πηγών – χάρτης γεωτρήσεων
Vα:	Χάρτης χάραξης του φράγματος
Vβ:	Οριζοντιογραφία και μηκτομή φράγματος

## I. ΑΡΔΕΥΤΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΑΡΓΟΛΙΔΑΣ

### 1. Γενικά περί Αργολικού Πεδίου

ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ: Το Αργολικό πεδίο εκτείνεται από τον Αργολικό κόλπο μέχρι τον λόφο των Μυκηνών και από το χωριό Μύλοι μέχρι και τον κάμπο των Ιρίων. Έχει έκταση περίπου 250 τετραγωνικά χιλιόμετρα.

Περιμετρικά περικλείεται από όρη που το έδαφός τους φθάνει τα 2.000 μέτρα, εκτός από το νότο όπου υπάρχει η θάλασσα.

Δεν υπάρχουν ποταμοί με συνεχή ροή, αντίθετα η πεδιάδα διασχίζεται από μια σειρά χειμάρρων. (Χάρτης Ια).

ΓΕΩΛΟΓΙΑ: Έχει διαπιστωθεί ότι η πεδιάδα είναι δημιούργημα της μεταφοράς φερτών από τους χειμάρρους που έλαβε χώρα κατά την διάρκεια εκατομμυρίων ετών. Αφετηρία των φερτών υπήρξαν τα καρστικά όρη που περιβάλλουν την πεδιάδα. Έτσι εξηγείται και η ανομοιομορφία των γεωλογικών στρωμάτων αλλουβιακής φύσεως τα οποία στα άκρα κοντά στα όρη παρουσιάζονται μικρού πάχους και περιέχουν μεγάλους κόκκους, ενώ στη μέση της πεδιάδας είναι λεπτόκοκκα και φτάνουν μέχρι βάθους 200 μέτρων.

ΚΛΙΜΑ: Το κλίμα παρουσιάζεται τυπικά μεσογειακό.

Η θέση της πεδιάδας ανατολικά των μεγάλων οροσειρών έχει σαν αποτέλεσμα ένα χαμηλό ύψος βροχοπτώσεων κατά μέσο όρο 500 ΜΜ/έτος. (Πίνακας Ιγ). Βροχές πέφτουν κυρίως κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Το μεγαλύτερο μέρος των βρόχινων νερών απορρέει αναξιοποίητο στη θάλασσα.

Περιμετρικά τα όρη σχηματίζουν έναν προστατευτικό τοίχο από τους βόρειους ψυχρούς ανέμους.

ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ – ΑΠΟΔΟΣΗ: Οι κλιματολογικές αυτές συνθήκες κάνουν τον Αργολικό κάμπο ιδανικό για την καλλιέργεια κάθε είδους οπωροφόρων δένδρων, κηπευτικών κ.λ.π.

Η Αργολίδα είναι από τις περισσότερο πυκνοκατοικημένες περιοχές της Ελλάδας. Η ιδιοκτησία είναι μικρή, κατά μέσο όρο 30 στρμ. ανά οικογένεια. Παρά τη μικρή ιδιοκτησία η γονιμότητα του εδάφους δίνει ικανοποιητικό εισόδημα στους γεωργούς.

Το συνολικό ετήσιο εισόδημα ανήλθε το 1968 σε 400 εκατομμύρια δραχμές. Από αυτά 30% προήλθαν από καλλιέργεια οπωροφόρων, 33% από καλλιέργεια κηπευτικών και το υπόλοιπο από την καλλιέργεια καπνού, λαδιού, κ.λ.π.

Η μέθοδος καλλιέργειας δεν είναι η πλέον αποδοτική και η πεδιάδα υποφέρει από έλλειψη νερού.

Η εξαιρετική γονιμότητα του εδάφους φαίνεται από το εξής. Η καλλιέργεια οπωροφόρων σε μία έκταση 10 στρεμμάτων αποδίδει ετήσια κατά μέσο όρο 30.000 κιλά φρούτα δηλαδή με 4 δραχμές ανά κιλό η παραγωγή αυτή δίδει 120.000 δραχμές το χρόνο.

Η συνολική καλλιεργούμενη έκταση του Αργολικού πεδίου μέχρι ισοΰψους – 200 (στοιχεία 1968) είναι 263.000 στρέμματα από αυτά 115.500 στρέμματα είναι

ξερικά καλλιεργούμενα κύρια με ελιές, σιτηρά, καπνά κ.λ.π. και 147.500 στρέμματα αρδευόμενα καλλιεργούμενα με οπωροκηπευτικά (Πίνακα Ιδ). Από αυτά 120.000 στρέμματα αρδεύονται από φρέατα – γεωτρήσεις και 27.500 στρέμματα αρδεύονται από το αρδευτικό δίκτυο των πηγών Λέρνης – Κεφαλαρίου.

## 2. Το πρόβλημα της λειψυδρίας

ΟΙ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΕ ΝΕΡΟ: Λόγω του είδους της καλλιέργειας (οπωροκηπευτικά) και του κλίματος (ζεστό, ξηρό) του Αργολικού πεδίου γίνεται φανερό ότι απαιτούνται μεγάλες ποσότητες αρδευτικού νερού, αφού μάλιστα και η αρδευτική περίοδος φθάνει τους 10 μήνες (Φλεβάρης – Νοέμβρης).

Η μεγάλη ανάγκη αρδευτικού νερού ανάγκασε τους αγρότες να στραφούν πρώτα στην εκμετάλλευση των υπογείων νερών με την διάνοιξη πηγαδιών και γεωτρήσεων και κατόπιν στην εκμετάλλευση των επιφανειακών νερών.

ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ: Υπολογίζεται ότι στον Αργολικό πεδίο υπάρχουν 6.500 πηγάδια και γεωτρήσεις με μέσο βάθος από 30 μέχρι 50 μέτρα και ότι αντλείται περίπου  $80 \cdot 10^6 \text{ M}^3$  νερού το χρόνο.

ΝΕΡΑ ΠΗΓΩΝ: Όπως αναφέραμε στο Αργολικό πεδίο δεν υπάρχουν ποταμοί με συνεχή ροή. Το νερό που ρέει επιφανειακά είναι νερό πηγών. Στον πίνακα Ιε φαίνονται οι κυριότερες πηγές του Αργολικού πεδίου και η μέση ετήσια παροχή τους.

Οι βασικότερες από τις παραπάνω πηγές είναι του Κεφαλαρίου και της Λέρνης.

Η καρστική πηγή Κεφαλαρίου έχει υψόμετρο υπερχειλίσσης  $-25,30\text{M}$ . η παροχή της πηγής αυτής παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση με μέγιστη παροχή το χειμώνα  $8,00 \text{ M}^3/\text{sec}$  (χύνεται στη θάλασσα) ενώ κατά το μήνα Σεπτέμβρη η πηγή συνήθως στερεύει.

Η πηγή της Λέρνης παρουσιάζει σταθερή παροχή όλο το χρόνο. Αναβλύζει ένα μέτρο πάνω από τη στάθμη της θάλασσας και έτσι το νερό της εύκολα διοχετεύεται σε ανοιχτούς αγωγούς και μεταφέρεται στις γειτονικές καλλιεργούμενες εκτάσεις.

Τα πηγαία αυτά νερά είναι πολύ λίγα και καλύπτουν μόνο ένα πολύ μικρό μέρος των αναγκών για άρδευση.

ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΟΥ ΑΡΓΟΛΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ: Κατά τα έτη 1964-1967 καταναλώθηκαν στο Αργολικό πεδίο για άρδευση περίπου  $400.000.000 \text{ M}^3$  νερού, δηλαδή κατά μέσο όρο  $100.000.000 \text{ M}^3$  το χρόνο. Από αυτά τα  $335.000.000 \text{ M}^3$  προήλθαν από υπόγεια νερά και τα υπόλοιπα  $65.000.000$  από πηγαία νερά.

Το σύνολο των επενδεδυμένων κεφαλαίων για την διάνοιξη των πηγαδιών και γεωτρήσεων, την προμήθεια αντλητικών μηχανημάτων και την μερική αντικατάστασή τους εκτιμάται σε  $201.770.000$  δραχμές.

Οι συνολικές δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης το χρόνο ανέρχονται σε  $40.000.000$  δραχμές.

Μέχρι το έτος 1958 η ποσότητα που αντλείτο από τα υπόγεια νερά ήταν μικρότερη από την ποσότητα νερού των βροχοπτώσεων που εισχωρούσε στον υπόγειο ορίζοντα.

Μετά το 1958 με την γρήγορη αύξηση του αριθμού των πηγαδιών η αντλούμενη ποσότητα ύδατος ήταν μεγαλύτερη της εισερχόμενης ποσότητας βρόχινου νερού στον υπόγειο ορίζοντα, με αποτέλεσμα η στάθμη του τελευταίου συνεχώς να πέφτει. Από την άνοιξη του 1963 ως την άνοιξη του 1967 σε έκταση 65.000 στρεμμάτων είχε σημειωθεί πτώση 5-10 Μ και επί 80.000 στρεμμάτων πτώση 10 Μ και πάνω.

Η συνέπεια αυτού του γεγονότος ήταν να διαταραχθεί σοβαρά η ισορροπία των αποθεμάτων νερού στον υπόγειο ορίζοντα με αποτέλεσμα τη διείσδυση του θαλασσινού νερού στην ξηρά.

Έτσι μεγάλες εκτάσεις του Αργολικού κάμπου έχουν υφαιμυρωθεί και είναι τελειώς ακατάλληλες για κάθε είδος καλλιέργειας. Πολλές από αυτές τις εκτάσεις έχουν εγκαταλειφθεί.

Η έλλειψη αρδευτικού νερού αναγκάζει τους αγρότες να αντλούν και να χρησιμοποιούν για άρδευση νερό υφάλμυρο (με μεγάλο αριθμό ιόντων  $Cl^-$  500-1000) πράγμα που από την μία μεριά βοηθά την επέκταση του θαλασσιού μετώπου από την άλλη μετατρέπει βαθμιαία την καλλιεργούμενη γη σε «νεκρή γη».

Περιγραφικά τα όρια αυτού του μετώπου της θαλάσσιας προσχώρησης (που συνεχώς επεκτείνεται) στη στεριά είναι:

1. Στην περιοχή Ν. Κίου μέχρι το Ναύπλιο, περιλαμβάνοντας τις περιοχές Δαλαμανάρας – Αργολικού – Ν. Τίρυνθας – Πολυγώνου τείνοντας να επεκταθεί και πέραν από αυτές.
2. Στην περιοχή της παραλίας Δρεπάνου και κυρίως μεταξύ Καλλιθέας και αρχαίας Ασίνης.
3. Στο μεγαλύτερο μέρος της πεδιάδας των Ιρίων. (Χάρτης Ια).

Η απειλή αυτή της υφαιμύρωσης που με γρήγορο ρυθμό καταστρέφει γόνιμες εκτάσεις καθώς και η έλλειψη αρδευτικού νερού στο υπόλοιπο πεδίο που έχει σαν συνέπεια την **έλλειπή** άρδευση και ελάττωση της παραγωγής συνθέτουν αυτό που όλοι σήμερα αποκαλούν «πρόβλημα του Αργολικού πεδίου».

ΠΡΩΤΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ: Όταν το πρόβλημα άρχισε να εμφανίζεται έντονα (1960) τα υπουργεία Συντονισμού, Γεωργίας και Δημοσίων Έργων σε συνεργασία με τον Οργανισμό Τροφής και Γεωργίας του ΟΗΕ (FAO) συγκρότησαν μία επιτροπή για να μελετήσουν το πρόβλημα και προτείνουν λύσεις.

Μερικά πορίσματα της επιτροπής ήταν:

- α) 10.000.000  $M^3$  νερού αφαιρούνταν κάθε χρόνο από το υπόγειο απόθεμα χωρίς να αντικαθίστανται από το νερό των βροχοπτώσεων του χειμώνα.
- β) Το υπόγειο απόθεμα νερού ήταν περίπου  $70 \cdot 10^6 M^3$  νερού.
- γ)  $120 \cdot 10^6 M^3$  νερού των πηγών του πεδίου ρέει κάθε χρόνο στη θάλασσα.
- δ) Η περιοχή Ασίνης, Δρεπάνου και μέρος του κυρίως πεδίου έχουν ήδη υφαιμυρωθεί τελειώς.

Ο οργανισμός FAO διέθεσε 3.000.000 δολάρια για να αντιμετωπισθεί το πρόβλημα. Με τα χρήματα αυτά αγοράστηκαν ακριβά γεωτρητικά μηχανήματα με τα οποία ανοίχτηκαν αρκετές γεωτρήσεις, πολλές απ' αυτές μέχρι βάθους 150 Μ,

χωρίς όμως να προσφέρουν σημαντικές ποσότητες νερού για την κάλυψη των παρουσιαζομένων αναγκών.

Η Ισραηλινή εταιρεία TAHAL ανέλαβε να βρει λύση για την αντιμετώπιση του προβλήματος της υφαλμύρωσης.

Η μελέτη που εκπόνησε προβλέπει τον εμπλουτισμό του υπογείου ορίζοντα με τροφοδότηση των πηγαδιών που υπάρχουν από το νερό των χειμάρρων κατά τον χειμώνα. Στο μεταξύ η εταιρεία TAHAL απαλλάχτηκε των υποχρεώσεών της και από τότε δεν έγινε καμία ενέργεια προς αυτή την κατεύθυνση, παρά τις επίμονες προσπάθειες των αγροτών και τοπικών φορέων να πετύχουν να κάνουν εμπλουτισμό του υπόγειου ορίζοντα με τα νερά που χύνονται στη θάλασσα ανεκμετάλλευτα τον χειμώνα.

Παλαιότερες μελέτες πρότειναν την κατασκευή φραγμάτων σε κατάλληλες θέσεις για την αποθήκευση του νερού που ρέει επιφανειακά και τη χρησιμοποίησή του για αρδευτικούς σκοπούς.

Για να αντιμετωπιστεί με επιτυχία το πρόβλημα διαπιστώθηκε ότι ήταν απαραίτητο να κατασκευαστούν 28 φράγματα σε διαφορετικές θέσεις.

Ο αριθμός αυτός καθώς και ότι το έδαφος είναι τελείως ακατάλληλο για τη συγκράτηση του νερού λόγω της μεγάλης διαπερατότητας των στρωμάτων, κάνουν αδύνατη την πραγματοποίηση αυτής της λύσης.

Άλλα μικρότερης έκτασης έργα που έγιναν ήταν:

- Η κατασκευή ενός αρδευτικού δικτύου στη περιοχή μεταξύ των πηγών Κεφαλαρίου και Λέρνης. Με το δίκτυο αυτό αρδεύεται έκταση 25.500 περίπου στρέμματα.
- Για να αντιμετωπισθεί το πρόβλημα της υφαλμύρωσης της περιοχής Ασίνης – Δρεπάνου με το νερό του Κεφαλαρίου κατασκευάστηκε ανοικτός αγωγός από το Κεφαλάρι μέχρι το Ναύπλιο και από εκεί κλειστός αγωγός μέχρι το Δρέπανο παροχетеυτικής ικανότητας 600 l/sec. Ποτέ όμως δεν έχει τροφοδοτηθεί με παροχή μεγαλύτερη από 180 l/sec λόγω μη υπάρχουσας μεγαλύτερης παροχής και χαμηλής παροχетеυτικής ικανότητας του καταθλιπτικού αγωγού Γλυκειάς.

Ο κίνδυνος της εφάλατωσης, η έλλειψη αρδευτικού νερού καθώς και η αδυναμία να εξασφαλιστεί αυτό από το νερό των χειμάρρων με την κατασκευή φραγμάτων, ανάγκασαν την κυβέρνηση και τους διάφορους μελετητές – ερευνητές να στρέψουν το ενδιαφέρον τους στις υποθαλάσσιες πηγές μικρού και μεγάλου Αναβάλου, που είναι σε θέση να λύσουν οριστικά το αρδευτικό πρόβλημα της Αργολίδας.



### ΠΙΝΑΚΑΣ Ια

#### ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΕΔΑΦΩΝ

Αργιλώδη:	32,50 %	85.418 στρμ.
Αργιλοπηλώδη:	24,00 %	63.078 στρμ.
Πηλώδη:	16,70 %	στρμ.
Αμμοπηλώδη:	10,50 %	στρμ.
Κονιορτοπηλώδη:		
ως	<u>16,30 %</u>	<u>42.840 στρμ.</u>
Κονιορτοαργιλώδη:		
Σ Υ Ν Ο Λ Ο:	100,00 %	262.825 στρμ.

### ΠΙΝΑΚΑΣ Ιβ

#### ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΑΡΔΕΥΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΕΔΑΦΩΝ

Κατάταξη εδαφών με βάση τη διαπερατότητα	CM / H	Ποσοστό εδαφών (%)
Βραδεία:	0,00-0,50	18,10
Μετρίως βραδεία:	0,50-2,00	31,20
Μέτρια:	2,00-6,50	34,10
Μετρίως ταχεία:	6,50-12,50	15,70
Ταχεία:	12,50-25,00	0,90

### ΠΙΝΑΚΑΣ Ιγ

#### ΜΕΣΟ ΕΤΗΣΙΟ ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΗΣ

Χρονολογία	Ναύπλιο	Άργος
1894-1929	495,10 MM	-
1930-1939	543,50 MM	-
1949-1960	570,90 MM	619,10 MM
1960-1970	-	524,20 MM

### ΠΙΝΑΚΑΣ Ιδ

#### ΧΡΗΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ (Μέχρι ύψους – 200 Μ)

Ολική έκταση	418.195 στρμ.
Γεωργική γη	263.000 στρμ.
Βοσκές	119.606 στρμ.
Άγωνα	5.289 στρμ.
Οικισμοί	30.300 στρμ.

### ΠΙΝΑΚΑΣ Ιε

#### ΠΑΡΟΧΗ ΠΗΓΩΝ ΑΡΓΟΛΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

Πηγή	Μέση ετησία Παροχή ( M <sup>3</sup> /sec )
Λέρνη:	1,00
Κεφαλάρι:	2,45
Κροή:	2,10
Μηλιώνη:	0,01
Μυκήνες:	0,005
Νεοχώρι:	0,01
Καπαρέλι:	0,05
Δούκα:	0,07



## II. ΑΝΑΒΑΛΟΣ

### 1. ΜΕΓΑΛΟΣ ΑΝΑΒΑΛΟΣ ή ΑΝΑΒΑΛΟΣ ΑΣΤΡΟΥΣ

Νότια του χωριού Κιβέρι και στο ύψος του 8<sup>ου</sup> χιλιομέτρου του παραλιακού δρόμου Κιβερίου – Άστρους αναβλύζουν σε απόσταση 150 περίπου μέτρα από την ακτή και σε βάθος 35 μέτρα οι υποθαλάσσιες πηγές του μεγάλου Αναβάλου. Οι πηγές αυτές γίνονται αντιληπτές από το μεγάλο «Μάτι» που σχηματίζει η ανάβλυσή τους στην επιφάνεια της θάλασσας.

Ο έντονος σχηματισμός του «Ματιού», παρά το μεγάλο βάθος φανερώνει την μεγάλη παροχή και ταχύτητα του νερού της πηγής.

Την Άνοιξη του 1972 σε έρευνες ιχνηθετήσεων του κέντρου πυρηνικών ερευνών με [<sup>51</sup>Cr] - E.D.T.A. αποδείχθηκε ότι η καταβόθρα της λίμνης Τάκας τροφοδοτεί την πηγή του Αναβάλου Άστρους. Δεν έχει αποδειχθεί αν η καταβόθρα αυτή είναι ο μοναδικός τροφοδότης γιατί δεν έχουν γίνει παρόμοιες έρευνες σε γειτονικές καταβόθρες.

Λόγω της μεγάλης απόστασης και βάθους εκβολής της πηγής η σύλληψη της μέσα στη θάλασσα είναι αδύνατη και ως εκ τούτου καμιά προσπάθεια προς αυτή την κατεύθυνση δεν έγινε.

Προσπάθειες για δέσμευση των πηγών αυτών στην ξηρά δεν έχουν γίνει.

### 2. ΜΙΚΡΟΣ ΑΝΑΒΑΛΟΣ ή ΠΗΓΕΣ ΑΓ. ΓΕΩΡΓΙΟΥ ή ΠΗΓΕΣ ΚΙΒΕΡΙΟΥ

ΙΣΤΟΡΙΚΟ: Το συγκρότημα των πηγών αποτέλεσε αντικείμενο μελέτης από την Αρχαιότητα. Ο Πausanias στα «Αρκαδικά» αναφέρει ότι, το νερό των βροχών εξαφανιζόμενο μέσα σε καταβόθρα στο «Αργόν Πεδίο» δηλαδή την κοιλάδα της Νεσάνης, επανεμφανίζεται στη «Δίνη» που είναι η υποθαλάσσια πηγή ευρισκόμενη στο «Γενέθλιον» της Αργολίδας. Αναφέρεται ότι το νερό είναι γλυκό και ανέρχεται από τη θάλασσα.

Οι χρονογράφοι της Ελληνικής Επανάστασης Μ. Οικονόμου και Φ. Χρυσανθακόπουλος ή Φωτάκος, ενώ αναφέρουν τις πηγές Κεφαλάρι και Λέρνη εξ αιτίας της έλλειψης νερού που παρατηρήθηκε τότε και της δυσχέρειας ύδρευσης των εκεί στρατοπεδευμένων μαχητικών τμημάτων δεν αναφέρουν τίποτα για τις πηγές Αγ. Γεωργίου. Το γεγονός αυτό συνηγορεί υπέρ της άποψης ότι το νερό της πηγής αυτής ποτέ δεν χρησιμοποιήθηκε ούτε και στις πιο δύσκολες εποχές λειψυδρίας.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ: Το συγκρότημα των πηγών – παράκτιες και υποθαλάσσιες – βρίσκεται νοτιοανατολικά του χωριού Κιβέρι σε απόσταση ενός περίπου χιλιομέτρου δίπλα στο εξωκλήσι του Αγ. Γεωργίου.

Το νερό πηγάζει από ασβεστολιθικό γκρεμό, ο οποίος σχηματίστηκε λόγω ρήγματος. (Φωτογραφία ). Οι γύρω από την πηγή ασβεστολιθικοί λόφοι που φθάνουν ως τη θάλασσα έχουν σχετικά μεγάλες κλίσεις. Γενικά υπάρχουν καρστικά ανοίγματα διαφόρων μεγεθών μερικά των οποίων έχουν πληρωθεί δευτερογενώς από κρυσταλλικό ασβεστίτη.

Η πηγή όπως παραπάνω αναφέραμε αποτελείται από μία παράκτια και μερικές υποθαλάσσιες αναβλύσεις. (Σχήμα ΙΙα).

**ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΠΗΓΗ:** Η πηγή αυτή έχει χαρακτηριστική ροή στομίου καρστικού αγωγού με διεύθυνση από κάτω προς τα άνω, με σημαντική πίεση σαν αναπήδηση από ανεστραμμένο κρουνό. Την Άνοιξη του 1966 μετρήθηκε με μιλίσκο παροχή 375 lt/sec. Μετά από πρόχειρη διευθέτηση της πηγής το Φθινόπωρο του 1966, που περιελάμβανε και μέρος των γειτονικών υποθαλάσσιων αναβλύσεων, μετρήθηκαν οι εξής παροχές:

31/8/1966 παροχή 1.849 lt/sec, 4/10/1966 παροχή 3.726 lt/sec, 2/11/1966 παροχή 4.030 lt/sec.

Οι αυξήσεις δεν οφείλονταν σε εποχιακή μεταβολή αλλά στη βελτίωση της διεύθυνσης των πηγών. Το 1963 - 1966 έγιναν αναλύσεις επί 30 δειγμάτων όπου διαπιστώθηκε ότι το νερό της πηγής αυτής είναι κατάλληλο για άρδευση ( $174 - 189 \text{ mg/lt CL}^-$ ), (πίνακας ΙΙα).

Εκτός της κύριας παράκτιας πηγής υπάρχουν στην αμμώδη παραλία διάχυτες αναβλύσεις δια μέσου των χαλικιών και της άμμου σε μήκος περίπου 40 μέτρων προς Βορρά. Η παροχή αυτών των αναβλύσεων εκτιμάται σε 300 – 400 lt/sec.

**ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΠΗΓΕΣ:** Εκτός των παρακτίων πηγών που αναφέρθηκαν, σε μικρή απόσταση από την παραλία φαίνονται τρία χαρακτηριστικά «Μάτια» που υποδηλώνουν υποθαλάσσιες αναβλύσεις. Οι αναβλύσεις αυτές παρουσιάζονται μόνο στο παράκτιο τμήμα του βυθού του καλυμμένου από χαλαρό σύναγμα ογκολίθων **κροκάλων** και χαλικιών. Σε μεγαλύτερη από 25 μέτρα απόσταση από την ακτή ο βυθός παρουσιάζεται επίπεδος, καλυμμένος από λεπτό καρστικό υλικό, καμιά ανάβλυση δεν παρατηρείται στην απόσταση αυτή ή σε μεγαλύτερη.

Οι αναβλύσεις όλες, παράκτιες και υποθαλάσσιες, κυμαίνονται μεταξύ υψομέτρων +0,25 Μ και -7,50 Μ.

Η πρώτη Νότια υποθαλάσσια πηγή αποτελείται από μία μεγαλύτερη ανάβλυση διαμέτρου ογκολίθων και περιβάλλεται από γειτονικές μικρότερες αναβλύσεις **διαμέσου κροκάλων**. Το βάθος της ανάβλυσης αυτής είναι 3,50 Μ περίπου και η απόσταση από την ακτή είναι 15 μέτρα περίπου, το χαρακτηριστικό «Μάτι» που σχηματίζεται στην επιφάνεια της θάλασσας από τον ανερχόμενο υποβρύχιο πίδακα, φαίνεται μακρύτερα από 15 μέτρα. Αυτό οφείλεται στο οριζόντιο ρεύμα που σχηματίζεται από τη ροή μέσα στη θάλασσα της παράκτιας πηγής και άλλων **αβαθέστερων διάχυτων υποθαλάσσιων**.

Η πηγή αυτή καλείται Δέλτα (Δ). (Δεξιά ή Νότια).

Βορειότερα αυτής, σε απόσταση λίγων μέτρων και σε βάθος περίπου 6 μέτρων, υπάρχει δεύτερη υποθαλάσσια ανάβλυση με χαρακτηριστικό πάλι «Μάτι» στην επιφάνεια της θάλασσας. Την πηγή αυτή καλούμε Κ (Κεντρική). Σχήμα ΙΙα. Το σημείο ανάβλυσης της πηγής αυτής βρίσκεται επί επιφάνειας κλίσεως  $60^\circ$  δια μέσου μεγάλων κροκάλων.

Τέλος βορειότερα και σε απόσταση από την παράκτια πηγή περίπου 55 μέτρων βρίσκεται η ακραία υποθαλάσσια πηγή την οποία καλούμε Α (Αριστερή ή Βόρεια). Αυτή αναβλύζει σε βάθος 4,50 μέτρων περίπου δια μέσου μικρού μεγέθους κροκάλων και χαλικιών.

Μεταξύ των αναφερομένων πηγών υπάρχουν και άλλες διάχυτες αναβλύσεις πολύ μικρότερης παροχής.

Το 1965 ο γεωλόγος Ν. Παπάκης έκανε δειγματοληψία όσο το δυνατόν κοντά στα στόμια των αναβλύσεων. Η ανάλυση των δειγμάτων έδωσε τα αποτελέσματα του πίνακα ΙΙα. Απ' αυτόν βγάζουμε ένα πρώτο συμπέρασμα ότι η πηγή έχει νερό της ίδιας περίπου ποιότητας με την παράκτια πηγή.

Η ποιότητα των δειγμάτων χειροτερεύει από τις ακραίες πηγές Δ και Α προς την κεντρική Κ. Αυτό συμβαίνει (κατά τον Παπάκη), γιατί οι δειγματοληψίες από τις ακραίες πηγές **έγιναν πλησιέστερα** στο ασβεστολιθικό υπόβαθρο όπου βρίσκεται το στόμιο της πηγής, ενώ στην πηγή Κ μεταξύ και σημείου δειγματοληψίας μεσολαβεί παχύ στρώμα ογκολίθων, κροκάλων και χαλικιών που διευκολύνει την ανάμειξη θαλασσινού νερού και γλυκού πριν την δειγματοληψία.

Η ανάμειξη του γλυκού και του θαλασσινού νερού λόγω διαφοράς συστάσεως προκαλεί χαρακτηριστικό φαινόμενο στην επιφάνεια της ήρεμης θάλασσας και δίνει διαφορά χρωματισμού και σαφή τοξοειδή διαχωριστική γραμμή μήκους ενός περίπου χιλιομέτρου.

#### ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ – ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ:

Χαρακτηριστικό γεωλογικό στοιχείο της περιοχής είναι ο ασβεστόλιθος. Πρόκειται περί των ανωτέρω τμημάτων των κρητιδικών πλαστικών ασβεστόλιθων της Ζώνης Ωλινού – Πίνδου, εκεί όπου αρχίζουν εναλλαγές στρώσεων ασβεστόλιθου και ερυθρόχρου φλύσχη.

Οι εναλλαγές αυτές αρχίζουν σε υψόμετρο περίπου 40 Μ και ο φλύσχης παρουσιάζεται σε ενδιάμεσες στρώσεις μεταξύ του ασβεστόλιθου. Μεταξύ των δύο ανωτέρω στρώσεων εμφανίζεται σε ορισμένες θέσεις και ο κερατόλιθος.

Ο όλος σχηματισμός είναι αντίκλινο από ΝΔ προς ΒΑ. Στην Ανατολική πλευρά βυθίζεται απότομα μέσα στη θάλασσα. Ενώ στη Δυτική πλευρά σχηματίζει την κοιλάδα Σηλιωτάκη (Χάρτης ΙΙα).

Οι ασβεστόλιθοι από πλευράς υψής είναι ....., λεπτοπλακώδεις, χρώματος υπόλευκο ή φαιό ή λευκοκίτρινο.

Δύο κυρίως ρήγματα παρατηρούνται, το ένα προς Ανατολάς ταυτιζόμενο με το μεγάλο ρήγμα του Αργολικού κόλπου, το άλλο προς Δυσμάς που προκλήθηκε από το βύθισμα της κοιλάδας Σηλιωτάκη.

Τα ρήγματα αυτά έχουν περίπου την διεύθυνση του άξονα του αντίκλινου, παρατηρούνται όμως και άλλα μικρότερα διαφόρων διευθύνσεων όπως και το πάνω από την πηγή Αγ. Γεωργίου ρήγμα με διεύθυνση κάθετη στον άξονα του αντίκλινου. (Φωτογραφία).

Σε όλη την περιοχή παρατηρούνται πολλές κατατμήσεις στα ασβεστολιθικά στρώματα. Στα σημεία των κατατμήσεων αυτών διευκολύνθηκε ιδιαίτερα η κραστική διάβρωση και παίζουν βασικό ρόλο στον σχηματισμό του κραστικού δικτύου, το οποίο αποτελείται από συστήματα μικρών και μεγάλων αγωγών. Ανοικτοί μεγάλοι αγωγοί πρέπει να είναι οι αγωγοί οι οποίοι τροφοδοτούν κάθε μια των πηγών του συγκροτήματος Κιβερίου, ενώ σε όλη την περιοχή επικρατεί το σύστημα μικρών αγωγών.

Μετά από 27 γεωτρήσεις και αρκετές αντλήσεις που έκανε το 1965 ο υδρογεωλόγος Ν. Παπάκης κατά μήκος της παραλιακής οδού πάνω από τις πηγές δηλ. σε υψόμετρο 34 μέτρων περίπου (Σχήμα ΙΙβ) κατέληξε στα εξής συμπεράσματα για το κραστικό δίκτυο της περιοχής των πηγών:

- i. Σε όλο το χώρο συναντάται ένα εκτεταμένο δίκτυο κραστικών αγωγών, ποικίλων διαμέτρων δια μέσου των οποίων λαμβάνει χώρα η κυκλοφορία του υπόγειου ύδατος (Σχήμα IIγ).
- ii. Το δίκτυο αυτό πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας είναι κατά πλείστον σχεδόν ξηρό. Η μόνη κυκλοφορία που πραγματοποιείται μέσω αυτού είναι η των κατεισδυόντων τοπικών επιφανειακών υδάτων.
- iii. Το καρστικό δίκτυο κάτω από την στάθμη της θάλασσας και λίγο πάνω απ' αυτή είναι ενεργό. Η τροφοδότηση των υποθαλάσσιων και της παράκτιας πηγής γίνεται δια μέσου της μεγάλης διαμέτρου καρστικών αγωγών, μερικοί από αυτούς πρέπει να είναι σχεδόν μεμονωμένοι. Το νερό κυκλοφορεί μέσα στους αγωγούς αυτούς με μεγάλη ταχύτητα και πίεση, αναμιγνύεται δε ελάχιστα με το θαλασσινό νερό. Συνέπεια αυτού είναι το νερό της παράκτιας και μιας των υποθαλάσσιων πηγών να παρουσιάζεται μειωμένης αλατότητας και σταθεράς περιόδου ποιότητας καθ' όλη την διάρκεια του έτος. Το νερό που κυκλοφορεί μέσα στο δίκτυο των στενών αγωγών και που παρουσιάζει μεταβολή στάθμης κατά τη διάρκεια του έτους, αναμιγνύεται εύκολα με το θαλασσινό νερό και παρουσιάζει συχνά πολύ μεγάλη αλατότητα.
- iv. Το υδροφόρο καρστικό δίκτυο πάνω από τη στάθμη της θάλασσας είναι μικρής παροχής και επομένως δεν έχει πρακτική σημασία εκτελούμενη άντληση, παρότι το νερό αυτό είναι τις περισσότερες φορές καλής ποιότητας.
- v. Μεγαλύτερα βάση εντός του υδροφόρου καρστικού ορίζοντα έχουν δυνατότητες μεγαλύτερων παροχών, αλλά η ποιότητα του άλατος αυτού θα είναι κακή λόγω αύξησης της περιεκτικότητας σε άλατα.
- vi. Έντονη άντληση από οποιοδήποτε βάθος του υδροφόρου ορίζοντα διαταράσσει την υφιστάμενη υδροστατική ισορροπία που προκαλεί ταχεία εναλάτωση του αντλούμενου νερού.
- vii. Διάνοιξη στοάς ή φρέατος θα είχε σαν αποτέλεσμα την συλλογή ύδατος διαφόρων ποιοτήτων και επομένως λόγω της υδρομαστεύσεως και πάλι διατάραξη της υπάρχουσας υδρολογικής ισορροπίας.

Από γεωλογικής πλευράς τα αποτελέσματα των γεωτρήσεων αυτών ήσαν ότι ο ασβεστόλιθος είναι περισσότερο ή λιγότερο σφιγρός ή κατακερματισμένος, ρωγμοβριθής, ιδίως στα χαμηλότερα σημεία, χρώματος υπόλευκου έως τεφρού.

Οι ρωγμές και τα μικρά έγκοιλα στα ψηλότερα σημεία είναι πάντοτε γεμάτα με λευκό έως υπέρυθρου ασβεσίτη. Το πάχος του ασβεστικού υλικού στις τομές των γεωτρήσεων ποικίλλει από 8 M στην γεώτρηση No 7 μέχρι ιχνών όπως στις γεωτρήσεις No 17, No 2, No 21 (Σχήμα IIβ). Ενστρώσεις κερατολίθων πάχους από 1 – 10 εκατοστά βρέθηκαν σε όλες σχεδόν τις γεωτρήσεις.

Οι ρωγμές παρουσιάζονται πλήρεις κιτρινέρυθρου αργίλου σε σπανιότερες περιπτώσεις παρουσιάζεται υποπράσινο υλικό και λίγος φλύσχης.

Γενικά όπως είπαμε και παραπάνω ο ασβεστόλιθος είναι αποκαρστομένος με ένα ξερό καρστικό δίκτυο πάνω από το θαλάσσιο επίπεδο και ένα ενεργό καρστικό δίκτυο πολύ πλησίον της επιφάνειας της θάλασσας και κυρίως κάτω από το επίπεδο αυτό.

### 3. ΙΧΝΗΘΕΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΤΗΣ ΠΗΓΗΣ

Το 1963 έγινε ιχνηθέτηση με καταβόθρας της περιοχής της Νεστάνης στο Αργολικό οροπέδιο. Ο ιχνηθέτης προσδιορίστηκε μετά από 6 περίπου ημέρες στην πηγή του Αγ. Γεωργίου.

Το φαινόμενο έδειξε την απ' ευθείας σύνδεση της καταβόθρας με την πηγή. Οι ταχύτητες ροής που επιμετρήθηκαν κυμαινόντουσαν μεταξύ 141,60 – 187,50 μέτρα ανά ώρα. Τον Φλεβάρη – Μάρτη του 1971 το κέντρο πυρηνικών ερευνών «Δημόκριτος» έκανε ιχνηθέτηση της καταβόθρας της Νεστάνης με  $^{51}\text{Cr}$  - E.D.T.A.

Την εποχή αυτή είχε κατασκευαστεί στον μικρό Ανάβαλο το φράγμα μέσα στη θάλασσα ώστε η παροχή μπορούσε να μετρηθεί με πολλή ακρίβεια. Έτσι βγήκαν ακριβή στοιχεία για το ποσοστό σύνδεσης μεταξύ νερών της καταβόθρας και της πηγής.

Από την ιχνηθέτηση αυτή βγήκε το συμπέρασμα ότι τα νερά της περιοχής της καταβόθρας της Νεστάνης τροφοδοτούν πρακτικά κατά αποκλειστικότητα την υποθαλάσσια πηγή «Μικρός Ανάβαλος» (ποσοστό σύνδεσης 100%).

Ο μέσος χρόνος διαδρομής του ραδιοϊσοτόπου από την καταβόθρα στην πηγή υπολογίστηκε 182 ώρες. Επειδή η απ' ευθείας απόσταση της καταβόθρας με την πηγή είναι 26 χιλιόμετρα, η μέση ταχύτητα ροής είναι 3,43 KM/ημέρα ή περίπου 0,04 M/SEC. Η μέση ποσότητα των υδάτων τα οποία κατά την στιγμή της ιχνηθέτησης ευρίσκοντο μεταξύ της καταβόθρας και της πηγής και βρήκαν διέξοδο, απ' αυτή είναι  $10,50 \cdot 10^6 \text{ M}^3$ . Εξ αυτών μόνο 4.000.000  $\text{M}^3$  δύναται να προέρχονται από την καταβόθρα απ' ευθείας (τόση είναι η μέγιστη απορροφητικότητα της καταβόθρας σε 182 ώρες). Τα άλλα  $6,50 \cdot 10^6 \text{ M}^3$  ή προέρχονται από άλλη πηγή ή είναι «Παλαιό» ύδωρ, δηλαδή αποθηκευμένο στον υπόγειο ορίζοντα.

Η ανάμειξη του χρωμίου ήταν πολύ καλή δηλαδή το σύστημα σύνδεσης καταβόθρας-πηγής συμπεριφέρεται ως καλός αναμεικτής.

Από το ποσοστό της ανάμειξης μπορεί να περιγραφεί δια του συνδυασμού εν σειρά, ενός συστήματος στο οποίο λαμβάνει χώρα διάχυση, όπως η οφειλόμενη σε τυρβώδη ροή εντός αγωγού, με μέσο χρόνο διαδρομής 150 περίπου ωρών και ενός άλλου συστήματος καλής αναμείξεως, με μέσο χρόνο παραμονής σε αυτό 32 περίπου ώρες.

Τον Φλεβάρη – Μάρτη του 1972 ρίχτηκε  $^{51}\text{Cr}$  - E.D.T.A. στην καταβόθρα Μηλέας. Η ιχνηθέτηση αυτή απέδειξε ότι τα νερά της καταβόθρας τροφοδοτούν κατά 98% την πηγή του Μικρού Αναβάλου και κατά ποσοστό 2% την πηγή Ξοβριού Αχλαδοκάμπου.

Ο μέσος χρόνος διαδρομής του ιχνηθέτη ήταν 262 ώρες. Και επειδή η απόσταση μεταξύ καταβόθρας- πηγής είναι 31 χιλιόμετρα η μέση ταχύτητα ροής είναι 2,84 KM/ημέρα ή 0,033 M/sec. Η ανάμειξη του ιχνηθέτη δείχνει ότι η διαδρομή των νερών από την καταβόθρα στην πηγή μπορεί να περιγραφεί δια συνδυασμού δύο συστημάτων όπως και στην καταβόθρα της Νεστάνης.

Στο ένα σύστημα λαμβάνει χώρα ροή του νερού τύπου πιστονιού, (PISTON FLOW MODEL) με μέσο χρόνο παραμονής του νερού σε αυτό 211 ώρες. Το άλλο



σύστημα αντιστοιχεί σε σύστημα καλής ανάμειξης με μέσο χρόνο παραμονής σε αυτό 52 ώρες.

Εάν το σύστημα καλής ανάμειξης είναι υπόγεια δεξαμενή τότε η χωρητικότητά της είναι περίπου  $2,90 \cdot 10^6 \text{ M}^3$ .

#### 4. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ – ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΚΟΙΛΑΔΑΣ ΣΠΗΛΙΩΤΑΚΗ

Το κύριο στοιχείο της περιοχής είναι ο ασβεστόλιθος της ζώνης Ωλονού (Χάρτης IIα).

Επιφανειακά στην περιοχή συναντιούνται στρώματα ιζημάτων και φλύσχη που προέρχονται από την μετάβαση του ασβεστόλιθου της ζώνης Ωλονού σε αυτά. Επίσης η κοιλάδα καλύπτεται από στρώμα αλλουβιακών αποθέσεων του χειμάρρου που τη διασχίζει.

Το στρώμα του ασβεστόλιθου γύρω από την κοιλάδα συναντάται γρήγορα, στη γεώτρηση K 9/63 συναντήθηκε στην επιφάνεια ενώ στη γεώτρηση G 5/63 σε βάθος 8 μέτρων.

Στην κοιλάδα ο ασβεστόλιθος βυθίζεται ομαλά έως βάθος 100 περίπου μέτρων. Το ασβεστολιθικό στρώμα στην περιοχή των γεωτρήσεων Η 6/63, Κ 9/63 είναι κατακερματισμένος. Σε βάθος λίγων μέτρων πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, έως βάθος λίγων μέτρων κάτω από αυτή, συναντήθηκαν μεγάλες καρστικές ρωγμές. Η στάθμη του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα συναντήθηκε σε υψόμετρο: Η,20 (Η.6/63) – Ι,35 (Κ.9/63). Το νερό ήταν καλής ποιότητας αλλά μικρής ποσότητας.











### III. ΜΕΡΙΚΑ ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ ΤΟΥ ΚΑΡΣΤ

#### 1. Σχηματισμός του καρστ του ασβεστόλιθου Ωλονού.

Το καρστ στα ιζήματα Ωλονού σχηματίζεται με τρεις τρόπους

- α) Από την διάλυση των ασβεστολίθων
- β) Από κατατμήσεις και διαρρήξεις
- γ) Από "αποκολλήσεις" των στρωμάτων

Το τυπικό καρστ από διάλυση του ασβεστόλιθου σχηματίζεται στις σειρές με μεγάλο πάχος ενώ στις άλλες σειρές σε μικρό βαθμό δεδομένου ότι οι σειρές αυτές στην περιοχή είναι λίγες και πολλές φορές περικλειόμενες από μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και άλλες στεγανές περιοχές η σημασία τους είναι μικρή.

Ο ρόλος όμως αυτών των "παχυστρωματώδων" ασβεστόλιθων για την διαμόρφωση του καρστ από αποκολλήσεις είναι σημαντικός λόγω της σοβαρής ανομοιογένειας στην επαφή τους με τους "λεπτοστρωματώδεις" ασβεστόλιθους.

Άλλος παράγοντας για την δημιουργία καρστ από "αποκολλήσεις" είναι οι λεπτές μαργαϊκές στρώσεις μέσα στους "λεπτοστρωματώδεις" ασβεστόλιθους. Όταν οι μαργαϊκές στρώσεις είναι πολλές τότε λόγω πλαστικής ροής τους μετακινούνται από τις περιοχές των συμπίεσεων προς τα δημιουργούμενα ανοίγματα. Τα υλικά αυτά παρασύρονται από το νερό έως ότου συγκεντρωθούν στα διάφορα ανοίγματα και να τα κλείσουν εφόσον δεν είναι πολύ μεγάλα.

Αποκολλήσεις υπάρχουν και στις διερρηγμένες περιοχές, περισσότερες προς το μέρος του τμήματος που ανέβηκε.

Οι κατευθύνσεις των αποκολλήσεων είναι παράλληλες προς τις διευθύνσεις των στρωμάτων από τα οποία δημιουργούνται.

Οι κατατμήσεις λαμβάνουν χώρα παράλληλα και κάθετα προς τον άξονα μιας πτυχής και συμβάλλουν στη δημιουργία του καρστ κατά διαφορετικό τρόπο σε κάθε περιοχή.

#### Στεγανές ή σχετικά στεγανές περιοχές

Είναι οι περιοχές που έχει δημιουργηθεί ένα φυσικό φράγμα εμποδίζοντας το νερό του καρστ να περάσει. Τέτοιες περιοχές είναι: 1) στρώματα μαργών και λεπτότερων διαστρώσεων αυτών, 2) μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, 3) σε πολλές περιπτώσεις οι ίδιοι οι τοίχοι των ρηγμάτων, 4) ο φλύσχος, 5) οι περιοχές συμπίεσεων των **ρηγμάτων** (σύγκλινοι ή σκαφοειδείς σχηματισμοί προς το μέρος του τμήματος του ρήγματος που κατέβηκε).

#### Περιοχές και κατευθύνσεις κυκλοφορίας του νερού

Το νερό των καρστ «αναγκάζεται» σε μερικές περιοχές της ροής του να κυκλοφορεί: 1) παράλληλα προς τους τοίχους των ρηγμάτων και ιδιαίτερα προς

το μέρος του σχετικά ανεβασμένου τμήματος, 2) παράλληλα προς τους άξονες αντικλίνων ή σαγματοειδών μορφών, 3) σε σαγματοειδείς πολλαπλά πτυχόμενους σχηματισμούς.

Συμβολή ρωών θα αναμένεται: 1) στην τομή δύο ρηγμάτων, 2) στην τομή ρήγματος και αξονικού επιπέδου αντικλίνου και μάλιστα προς το μέρος του ψηλότερου τμήματος του ρήγματος, 3) στην τομή των αξονικών επιπέδων δύο αντικλίνων, 4) στην τομή αξονικών επιπέδων σαγμάτων, 5) στην συμβολή δύο σαγματοειδών μορφών.

## 2. Μηχανισμός ανάμειξης γλυκού και θαλασσινού νερού της υποθαλάσσιας πηγής Αγίου Γεωργίου Κιβερίου.

### Υδραυλική ισορροπία γλυκού και θαλασσινού νερού στο Καρστ.

Το νερό της βροχής εμπλουτίζει τα παράκτια υδροφόρα πετρώματα και συγκεντρώνεται στην παραλιακή ζώνη κορεσμού, σχηματίζοντας φακό που επιπλέει του θαλασσινού νερού.

Οι B.GHYBEB (1889) και A.HEEZEERG (1901), εργαζόμενοι ανεξάρτητα κατά μήκος των ακτών της Βόρειας Ευρώπης, παρατήρησαν ότι το αλμυρό νερό δεν συναντά τη στάθμη της θάλασσας, αλλά 40 περίπου φορές βαθύτερα από το ύψος του γλυκού νερού πάνω από την στάθμη της θάλασσας (Σχ. ΙΙΙα). Ο διαχωρισμός αυτός οφείλεται στην διαφορά ειδικού βάρους μεταξύ των δύο αυτών υγρών και επιτρέπει την δυναμική ισορροπία μεταξύ των μέσα στο υδροφόρο πέτρωμα. Η ισορροπία αυτή εξαρτάται από δύο παράγοντες την P και την πυκνότητα ρ των δύο υγρών. Η θεωρητική σχέση που συνδέει τις δύο αυτές παραμέτρους (σχέση GHYBEB – HEEZEERG), δίνει αποτελέσματα που πλησιάζουν τα δεδομένα των παρατηρήσεων.

Η σχέση αυτή είναι:

$$H_I = [p_0 / (\rho_I - \rho_0)] * H_0 \quad (I)$$

Όπου:

$H_I$  = το βάθος της επιφάνειας διαχωρισμού γλυκού και θαλασσινού νερού από την στάθμη της θάλασσας.

$H_0$  = το ύψος της στάθμης του γλυκού νερού πάνω από την στάθμη της θάλασσας.

$\rho_I$  = πυκνότητα του θαλασσινού νερού.

$\rho_0$  = πυκνότητα του γλυκού νερού.

Για  $\rho_I = 1,027 \text{ gr/cm}^3$  και  $\rho_0 = 1,000 \text{ gr/cm}^3$ , τότε:

$$H_I = 37 * H_0$$

Η τιμή αυτή συμφωνεί με τις παρατηρήσεις των παραπάνω ερευνητών.



Η εξίσωση (1) ισχύει μόνο σε συνθήκες ισορροπίας μεταξύ των δύο υγρών. Στη φύση όμως, η ισορροπία είναι δυναμική, γιατί το υπόγειο νερό ευρίσκεται πάντοτε σε κίνηση. Η ταχύτητα της ροής του εξαρτάται από την περατότητα του πετρώματος και την κλίση της στάθμης του νερού (υδραυλική κλίση). Έτσι, ακόμα και μέσα σε ομοιογενή κοκκώδη υδροφόρα πετρώματα με βραδεία ροή το θεωρητικό επίπεδο διαχωρισμού λαμβάνει την μορφή ζώνης υφάλμυρου νερού πλάτους μερικών μέτρων, όσο η ταχύτητα του νερού είναι μεγαλύτερη τόσο η ζώνη ανάμιξης είναι πλατύτερη. Η περατότητα όμως μέσα στα υδροφόρα πετρώματα κυμαίνεται από περατότητα αγωγών η οποία επιτρέπει την ελεύθερη κίνηση του νερού προς την ακτή, προκαλεί ευνοϊκές συνθήκες για την ανάμιξη του νερού.

Ο F.FOUQUE το 1867 διατύπωσε την γνώμη ότι το θαλασσινό νερό, λόγω μεγαλύτερης πυκνότητας, μπορεί να εισχωρήσει στους αγωγούς γλυκού νερού, με την προϋπόθεση ότι η σύνδεση μεταξύ των δύο αγωγών βρίσκεται σε ικανό βάθος κάτω από την στάθμη της θάλασσας.

Οι I. και D.KUSCER μελετώντας τον μηχανισμό ανάμιξης στα ασβεστολιθικά παράκτια υδροφόρα πετρώματα της Γιουγκοσλαβίας, εξηγούν αυτόν με ένα απλό σύστημα που αποτελείται από δύο αγωγούς συνδεδεμένους μεταξύ τους κάτω από την στάθμη της θάλασσας. Ο ένας από αυτούς τους αγωγούς τροφοδοτεί την παραθαλάσσια πηγή και ο άλλος τροφοδοτεί τις υποθαλάσσιες πηγές.

Οι παραπάνω θεωρίες εξηγούν την εποχιακή μεταβολή της ποιότητας του νερού της πηγής μικρού Αναβάλου ως εξής (βλέπε σχήμα IIIa):

Εάν είναι  $H_0$  το ύψος του γλυκού νερού πάνω από την στάθμη της θάλασσας στη θέση του κόμβου A των αγωγών, τότε η θεωρητική επιφάνεια διαχωρισμού, βρίσκεται σε βάθος  $H_1$  από την στάθμη της θάλασσας τόσο ώστε στο βάθος αυτό η πίεση του γλυκού νερού να είναι ίση με την πίεση του θαλασσινού νερού:

$$P = \rho_1 * g * H_1$$

$$\text{και } P = \rho_0 * g * (H_0 + H_1)$$

$$\text{Άρα } \rho_1 * g * H_1 = \rho_0 * g * (H_0 + H_1) \quad (2)$$

Όπου:

$\rho_0$  = πυκνότητα του γλυκού νερού.

$\rho_1$  = πυκνότητα του θαλασσινού νερού.

$g$  = η επιτάχυνση της βαρύτητας.

$H_0$  = το ύψος της στάθμης του γλυκού νερού πάνω από την στάθμη της θάλασσας.

$H_1$  = το βάθος της διαχωριστικής επιφάνειας γλυκού και θαλασσινού νερού στη θέση αυτή.

Από την εξίσωση (2) έχουμε:

$$H_1 * g * (\rho_1 - \rho_0) = \rho_0 * g \quad (3)$$

Αν αντικαταστήσουμε στην εξίσωση (3) τις τιμές  $\rho_1 = 1,027$  και  $\rho_0 = 1,000 \text{ gr/cm}^3$ , παίρνουμε  $H_1 = 37 H_0$ . Εάν το βάθος  $H_1$  του συνδέσμου είναι μεγαλύτερο από την τιμή  $37 H_0$  τότε μία ποσότητα αλμυρού νερού εισέρχεται μέσα στον αγωγό του γλυκού νερού μέχρι που να εγκατασταθεί ισορροπία. Η ποσότητα του αλμυρού νερού που εισέρχεται είναι σταθερή, δηλαδή εισέρχεται τόσο νερό όσο χρειάζεται για να μεταβληθεί η πυκνότητα του γλυκού νερού από

$p_0$  σε  $p_0$ , που αντιστοιχεί στην κατάσταση ισορροπίας των δοσμένων τιμών  $p_1$ ,  $H_0$ ,  $H_1$ .

Η περίπτωση αυτή συμβαίνει την εποχή χαμηλής στάθμης του υπόγειου ορίζοντα (χαμηλό  $H_0$ ), τότε η τιμή του  $H_1$  είναι μεγαλύτερη από την τιμή  $37 H_0$ , δηλαδή το μέτωπο του αλμυρού νερού ανεβαίνει πάνω από την σύνδεση των αγωγών, επίσης την εποχή αυτή η παροχή της πηγής είναι μικρότερη και η πίεση των αγωγών μικρότερη. Έτσι το αλμυρό νερό εισέρχεται ευκολότερα στους αγωγούς γλυκού νερού με αποτέλεσμα η περιεκτικότητα σε χλωριόντα του νερού της πηγής να είναι την εποχή αυτή μεγαλύτερη.

Κατά την εποχή της υψηλής στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα (μεγάλο  $H_0$ ), κατά την οποία η παροχή της πηγής είναι μεγαλύτερη και οι κλίσεις των αγωγών μεγαλύτερες η τιμή του  $H_1$  είναι μικρότερη της τιμής  $37 H_0$ , δηλαδή το μέτωπο του θαλασσινού νερού κατεβαίνει. Έτσι εξηγείται πως την περίοδο αυτή η μόλυνση της πηγής είναι μικρότερη.

Εκτός του παραπάνω μηχανισμού ανάμιξης γλυκού και θαλασσινού νερού ο LARMAINN διατύπωσε και άλλον. Κατά τον LARMAINN οι υπόγειοι αγωγοί λόγω της μεταβολής της διαμέτρου των κατά μήκος του υδροφόρου πετρώματος συμπεριφέρονται όπως ο υδρομετρογράφος VENTURI. Έτσι δεδομένου ότι η παροχή κατά μήκος του αγωγού παραμένει σταθερή από την εξίσωση συνεχείας, έχουμε:

$$Q - U_1 \cdot E_1 = U_2 \cdot E_2$$

όπου:

$Q$  = παροχή

$U_1$  = ταχύτητα στο σημείο I

$E_1$  = διατομή του αγωγού στο σημείο I

$U_2$  = ταχύτητα στο σημείο στένωσης (2) του αγωγού

$E_2$  = διατομή του αγωγού στο σημείο (2)

Επειδή είναι:  $E_1 > E_2$  έπεται ότι  $U_2 > U_1$  και ότι η πίεση στο σημείο (2) είναι μικρότερη της πίεσης του νερού στο σημείο (1).

Η πίεση στο σημείο (2) μπορεί να είναι και αρνητική (υποπίεση) με αποτέλεσμα το αλμυρό νερό να απορροφάται μέσα στους αγωγούς.

Γενικά το ποσοστό της ανάμιξης του νερού των πηγών Αναβάλου θα ήταν μεγαλύτερο αν η παροχή των πηγών δεν ήταν μεγάλη όλο το χρόνο και η πίεση του νερού στους αγωγούς ψηλή.

#### IV. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΝΕΡΩΝ ΤΗΣ ΠΗΓΗΣ ΑΓΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΥ ΚΙΒΕΡΙΟΥ

Σχετικά με την συμπεριφορά των διαλυμένων αλάτων στο αρδευτικό νερό γνωρίζουμε τα εξής:

1. Το υπόγειο νερό έχει συγκέντρωση αλάτων, τρεις έως οκτώ φορές μεγαλύτερη του αρδευτικού νερού που το αναπληρώνει, λόγω της εξάτμισης, της διαπνοής των φυτών και της εκλεκτικής απορρόφησης αλάτων από τα φυτά.
2. Δεν υπάρχει σαφής σχέση μεταξύ της σύστασης του αρδευτικού νερού και του διηθημένου νερού.
3. Τα φυτά έχουν πλατιά όρια ανοχής στην περιεκτικότητα αλάτων στο αρδευτικό νερό.
4. Οι εδαφικοί τύποι, οι κλιματολογικές συνθήκες (θερμοκρασία – βροχοπτώσεις – υγρασία) και το σύστημα άρδευσης επηρεάζουν την βλάστηση των φυτών ανάλογα με την περιεκτικότητα σε άλατα του αρδευτικού νερού.
5. Πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη την αλληλεπίδραση των διάφορων χημικών ουσιών που περιέχονται στο αρδευτικό ύδωρ. Δηλαδή η συμπεριφορά ενός ιόντος μπορεί να αλλάζει λόγω της παρουσίας άλλου ιόντος π.χ. ανταγωνιστικές δράσεις μεταξύ  $Ca^{++}$ ,  $Na^{+}$ .
6. Η καλή στράγγιση του εδάφους μπορεί να παίζει σπουδαιότερο ρόλο από την ποιότητα του αρδευτικού νερού, όσον αφορά την ανάπτυξη των φυτών. Καλής ποιότητας νερό, χρησιμοποιούμενο για άρδευση περιοχών που δεν αποστραγγίζονται μπορεί να προκαλέσει καταστροφή στις καλλιέργειες, ενώ αλατούχα ύδατα έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε εδάφη που στραγγιζόντουσαν καλά.

Τα περιεχόμενα στο αρδευτικό νερό διαλυμένα άλατα, μπορούν να επιδράσουν επιζήμια, στα φυτά κατά τους εξής τρόπους:

1. Άμεση φυσική προσβολή: τα άλατα εμποδίζουν την λήψη του αρδευτικού ύδατος (οσμωτικά αποτελέσματα).
2. Άμεση χημική δράση στον μεταβολισμό των φυτών (τοξικά αποτελέσματα).
3. Έμμεσα αποτελέσματα, όπως η αλλαγή της δομής του εδάφους της διαπερατότητας και του αερισμού τους.
4. Να τα καταστήσουν ευπρόσβλητα από διάφορες ασθένειες και τα εσπεριδοειδή από τον παγετό.

Οι ουσίες που βρίσκονται συνήθως στο αρδευτικό νερό, κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες που αντιστοιχούν κατά κάποιο τρόπο, στους τρεις παραπάνω τρόπους καταστροφής των φυτών.

α) Ολικά άλατα, β) ουσίες βρισκόμενες σε ίχνη ή ελάχιστες περιεκτικότητες και γ) κατιόντα και ανιόντα.

Τα ολικά άλατα που έχουν οσμωτική δράση εκφράζονται με την ηλεκτρική αγωγιμότητα.

Οι ουσίες που δρουν τοξικά είναι: βόριο, φθόριο, θείο, φώσφορος, σίδηρος και ιχνοστοιχεία.

Τα κατιόντα  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$  και  $\text{K}^+$  και τα ανιόντα  $\text{CO}_3^{--}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{C}^-$  και  $\text{NO}_3^-$  συμβάλλουν στην οσμωτική δράση αλλά πέρα από μία ορισμένη συγκέντρωση. Κυρίως όμως επιδρούν στο έδαφος το οποίο εφραμυρώνουν συν το χρόνο έως ότου το καθιστούν ακατάλληλο για καλλιέργεια.

Η ποιότητα του αρδευτικού ύδατος καθορίζεται από την αντίδραση και την αλατότητα αυτού.

Η αντίδραση αυτού εκφράζεται με το pH, οι τιμές του pH, για να είναι το νερό κατάλληλο για άρδευση πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 6 και 8,5.

Η αλατότητα του νερού εξαρτάται από την ποσότητα και την ποιότητα των διαλυμένων σε αυτό αλάτων. Η ποσότητα των αλάτων προσδιορίζεται από το μέγεθος της ηλεκτρικής αγωγιμότητας που μετρείται σε  $\mu\text{mhos/cm}$  στους  $25^\circ\text{C}$ . Η ποιότητα των αλάτων προσδιορίζεται από την συγκέντρωση των ανιόντων και κατιόντων και από την περιεκτικότητα σε Na.

Κατά τον E.V. NILCOX μετρείται η περιεκτικότητα σε  $\text{Cl}^-$  (Meg/l) και η περιεκτικότητα σε βόριο (ppM).

Κατά την μέθοδο του εργαστηρίου αλατότητας του Υπουργείου Γεωργίας των ΗΠΑ τα νερά κατατάσσονται βάσει της περιεκτικότητας αυτών σε άλατα (ηλεκτρική αγωγιμότητα) και της περιεκτικότητας αυτών σε άλατα (ηλεκτρική αγωγιμότητα) και της περιεκτικότητας σε Na. Η τελευταία εκφράζεται με το SAR (λόγος προσρόφησης Νατρίου).

Κατά την μέθοδο αυτή το νερό του Αναβάλου κατατάσσεται στην κατηγορία  $\text{C}_3 - \text{S}_1$  δηλαδή μεγάλης αλατότητας και μικρής αλκαλικότητας (πίνακες IVγ, IVδ).

Τα νερά αυτής της κατηγορίας είναι κατάλληλα για αρδεύσεις φυτών με μέτρια ανθεκτικότητα σε άλατα.

Η χρησιμοποίηση τέτοιων νερών δεν συνίσταται σε μέσα έως βαρεία εδάφη, όπως είναι το έδαφος του Αργολικού πεδίου (πίνακας Ιβ).

Κατά τον καθηγητή DONNEEN η ηλεκτρική αγωγιμότητα των αρδευτικών υδάτων δεν αποτελεί ασφαλές μέτρο για την ποιοτική καταλληλότητα των νερών, γιατί για την δημιουργία των αλατούχων εδαφών από την άρδευση, ιδιαίτερη σημασία έχει όχι απλώς το σύνολο των διαλυμένων αλάτων αλλά το είδος αυτών. Ο DONNEEN εκφράζει την ποιότητα των αλάτων με την «δυναμική αλατότητα» δηλαδή το άθροισμα της συγκέντρωσης χλωριόντων και του μισού της συγκέντρωσης των θειούχων σε χιλιοστοϊσοδύναμα ανά λίτρο. Ανάλογα με το μέγεθος της «δυναμικής αλατότητας» το νερό σε τρεις κατηγορίες (I, II, III).

Ο πίνακας IVα δείχνει την κατάταξη του νερού, στις τρεις κατηγορίες ανάλογα με τον βαθμό «δυναμικής αλατότητας» και τις συνθήκες του εδάφους.

Όπως φαίνεται στον πίνακα IVβ η «δυναμική αλατότητα» του νερού της πηγής του Κιβερίου κυμάνθηκε, κατά τα χρόνια 74-75 μεταξύ 5,28 και 6,45. από τον πίνακα IVα βλέπουμε ότι το νερό κατατάσσεται:

- α) για εδάφη δυσδιαπερατά χωρίς στράγγιση στην κατηγορία III.
- β) για εδάφη μικρής διαπερατότητας και στράγγισης στην κατηγορία II.
- γ) για εδάφη υδατοπερατά καλά στραγγιζόμενα, κατηγορία I – II.

Η ποιότητα του νερού εξαρτάται και από το είδος της καλλιέργειας. Αναφέρουμε ότι για τα ευαίσθητα στα χλωριόντα εσπεριδοειδή που κυρίως καλλιεργούνται στη Αργολίδα, η περιεκτικότητα αυτών δεν πρέπει να ξεπερνά τα 5 mg/l ή 180 ppm η συγκέντρωση των ολικών αλάτων τα 500 ppm ή ηλεκτρική αγωγιμότητά τους τα 750 micromhos/cm σε 25° C.

Οι δειγματοληψίες που γίνονται συστηματικά στο νερό της λεκάνης του φράγματος δείχνουν ότι η αλατότητα μεταβάλλεται ανάλογα με την εποχή του χρόνου με μικρές διακυμάνσεις 5,5 - 6,1 (πίνακες 4γ και 4δ).

Δύο δείγματα που πήραμε στις 13/08/1978 από δύο θέσεις, μία στο προσωρινό αντλιοστάσιο και μία επιφανειακά προς τη μεριά του φράγματος και μετά την ανάλυσή τους στο εργαστήριο της έδρας Αναλυτικής Χημείας του ΕΜΠ είχαμε αλατότητα περίπου 190 ppm.

**ΠΙΝΑΚΑΣ IVα**  
Κατηγορίες νερού κατά DONEEN

α/α	Συνθήκες εδάφους	Κατηγορίες νερού		
		I	II	III
A	Πολύ μικρή διαπερατότητα Συνεκτικά βαρεία εδάφη	3	3-5	5
B	Μικρή διαπερατότητα Βραδεία διήθηση	5	5-10	10
Γ	Ελαφρά εδάφη Καλή στράγγιση	7	7-15	15

**ΠΙΝΑΚΑΣ IVβ**  
Δυναμική αλατότητα σε χιλιοστοίσοδύναμα ανά λίτρο

Έτος	Μήνας	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Cl <sup>-</sup> + SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> 4/2
1974	M	5,46	1,26	6,09
1974	A	---	---	---
1974	M	4,50	1,70	5,35
1974	I	4,65	1,05	5,27
1974	I	4,75	1,05	5,27
1974	A	4,66	1,26	5,29
1974	O	5,00	1,62	5,81
1974	N	5,12	1,38	5,81
1974	Δ	5,54	1,65	6,36

1975	I	5,98	1,24	6,50
1975	Φ	5,53	1,32	6,19
1975	M	5,60	1,70	6,45
1975	A	5,58	1,16	6,38

## V. ΥΠΑΡΧΟΥΣΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ

### ΜΕΛΕΤΗ Ι.ΠΑΠΑΔΗΜΗΤΡΙΟΥ

Προγραμματισμός και ερευνητική εργασία πηγών Αναβάλου Κιβερίου υπό Υ.Ε.Β.

Το 1965 το Υπουργείο Γεωργίας ανάθεσε στον Πολιτικό Μηχανικό Παπαδημητρίου τον Προγραμματισμό και την έρευνα της δυνατότητας αξιοποίησης των παράκτιων πηγών Αναβάλου.

Η ανάθεση αυτή είχε βασικά ερευνητικό χαρακτήρα και τα έργα που κατασκευάστηκαν ήταν προσωρινά. Δηλαδή οι ερευνητικές εργασίες και παρατηρήσεις, η κατασκευή των απαιτούμενων έργων για την άμεση δέσμευση των παράκτιων πηγών και η χρησιμοποίησή τους για αρδευτικούς σκοπούς, απέβλεπαν στην εξαγωγή συμπερασμάτων χρήσιμων για τη σύλληψη όλου του συγκροτήματος των πηγών Αναβάλου.

Η μελέτη προέβλεπε:

α) Τον καθαρισμό του χώρου των πηγών από κορύματα που προήλθαν από την διάνοιξη του παραλιακού δρόμου Κιβερίου – Άστρους και την προώθησή τους μέσα στην θάλασσα με απόσταση όχι μεγαλύτερη από 10 m από την ακτή. Κατ' αυτό τον τρόπο δημιουργείται πρόχειρος κυματοθραύστης που θα προφυλάσσει από μικροκυματισμούς τις πηγές που θα αποκαλυφθούν.

β) Την κατασκευή τοίχου από μπετόν πάχους 0,5 m και ύψους 0,12 m πάνω από την στάθμη της θάλασσας που θα παίξει ρόλο υπερχειλιστή σε όλο το μήκος του. Η θεμελίωση του τοίχου προβλεπόταν να γίνει στο μητρικό πέτρωμα χωρίς αυτό να διαταραχθεί.

γ) Οριστική κατασκευή κυματοθραύστη

μετά την κατασκευή του τοίχους υπερχειλίσης θα κατασκευαστεί στην τελική του μορφή ο κυματοθραύστης για την προστασία των πηγών από τον κυματισμό.

δ) Εγκατάσταση αντλητικού συγκροτήματος μεγάλης παροχής, δοκιμαστικές αντλήσεις, παρατηρήσεις για την παροχή και την ποιότητα νερού. (Με την προώθηση των κορυμάτων μέσα στην θάλασσα σχηματίστηκε λωρίδα πάχους 10m και ύψους 100m από την στάθμη της θάλασσας. Στην νότια πλευρά του φράγματος η στέψη της λωρίδας αυτής κατέβαινε στο 0,50 m και δημιουργούσε αυλάκι δια μέσου του οποίου το νερό χυνόταν στη θάλασσα.

Από τα παραπάνω μόνο τα έργα που περιλαμβάνονται στην παράγραφο (α) κατασκευάστηκαν (σχ. ).

Με την πρόχειρη αυτή διευθέτηση μέρους των πηγών και την αφαίρεση των κορυμάτων παρατηρήθηκε αύξηση της παροχής από  $1,5\text{m}^3/\text{sec}$  σε  $3,5\text{m}^3/\text{sec}$ .

Η περιεκτικότητα σε χλωριόντα του νερού ήταν σταθερή και ίση με 195 – 200 ppm.

## ΠΡΟΤΑΣΗ ΠΑΠΑΚΗ

Ο Υδρολόγος Ν. Παπάκης μετά από υδρογεωλογική έρευνα της περιοχής των πηγών (1966 ΙΓΜΕ) κατέληξε και διατύπωσε προτάσεις και συμπεράσματα για την αξιοποίηση των πηγών.

### α) Διάνοιξη φρέατος ή γεώτρησης.

Τα δεδομένα των ερευνητικών γεωτρήσεων αποκλείσαν την ανεύρεση κατάλληλης θέσης στην περιοχή των πηγών για την διάνοιξη φρέατος ή ευρείας γεώτρησης για την εκμετάλλευση των νερών.

Αυτό γιατί αφ' ενός οι παροχές ήσαν μικρές αφ' ετέρου κατά την διάρκεια της άντλησης η αλατότητα του νερού συνεχώς αυξάνει.

### β) Κατασκευή στοάς προσπέλασης και συλλογής.

Η λύση της διάνοιξης στοών προσπέλασης και συλλογής ώστε να συλληφθούν τα νερά των πηγών σε απόσταση 30 – 40 μέτρα από τις πηγές στην ξηρά αποκλείστηκε.

Αυτό γιατί από τα συμπεράσματα των ερευνητικών γεωτρήσεων προκύπτει ότι ο καρστικός υδροφόρος ορίζοντας πάνω από την στάθμη της θάλασσας περιέχει νερό καλής ποιότητας, αλλά είναι πτωχός.

Κάτω από την στάθμη της θάλασσας η ποιότητα του νερού χειροτερεύει αμέσως.

Επομένως ανεξάρτητα από τις περιπέτειες που συνεπάγεται η ανόρυξη στοών με εκρηκτικά και τους κινδύνους να διαφύγει το νερό δια μέσου των νεοανοιγμένων αγωγών από τις εκρήξεις η στοά η οποία θα ευρίσκεται λίγο ψηλότερα από την επιφάνεια της θάλασσας δεν αναμένεται να συγκεντρώσει αξιόλογες ποσότητες νερού.

Η διάνοιξη σύραγγας κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας ούτε ελπίδες να συγκεντρώσει καλή ποιότητα νερού έχει, ούτε και εύκολη είναι.

### γ) Φράγμα στη θάλασσα.

Ο μόνος τρόπος σύλληψης ώστε να μην διαταραχθεί η υπάρχουσα υδραυλική ισορροπία είναι η κατασκευή ημιστεγανού φράγματος στη θάλασσα μήκους περίπου 100m αγκυρωμένο στις άκρες του επάνω στην βραχώδη ακτή κατά τρόπο ώστε να περικλείει όλες τις παράκτιες και υποθαλάσσιες αναβλύσεις.

Κατ' αρχήν θα γίνει απομάκρυνση των κορυμάτων και των κροκάλων από τα σημεία της αγκύρωσης μέχρι 25m από την ακτή ώστε να απελευθερωθούν οι αναβλύσεις των πηγών και να φανεί το βραχώδες υπόβαθρο. Έτσι γίνεται ευκολότερη η λεπτομερής εξέταση των θέσεων της θεμελίωσης του παραπέτασματος και προφανώς καλύτερες συνθήκες προσδιορισμού των υποβρύχιων αναβλύσεων και ενδεχόμενης δειγματοληψίας.

Το παραπέτασμα αυτό θα περιλάβει όλες τις παράκτιες και υποβρύχιες πηγές που αναβλύζουν σε μήκος 50m περίπου μέχρι 25m απόσταση από την ακτή, όπου το μεγαλύτερο βάθος του πυθμένα είναι 7,5m.

Δεν είναι απαραίτητο το παραπέτασμα αυτό να είναι απόλυτα υδατοστεγές.

Για να μην διαταραχθεί η υπάρχουσα υδραυλική ισορροπία στον χώρο των πηγών πρέπει το ύψος της υδάτινης στήλης του γλυκού νερού μέσα στην δημιουργημένη λίμνη, να μην υπερβεί το ύψος της θαλασσινής στήλης έξω από την λίμνη, παρά μόνο κατά την τιμή  $a$ , έτσι ώστε να ισχύει η σχέση:

$$\theta / \gamma = (x-a)/\chi$$

όπου:

- $\theta$ : το ειδικό βάρος του θαλασσινού νερού
- $\gamma$ : το ειδικό βάρος του γλυκού νερού
- $\chi$ : το ύψος της στήλης του θαλασσινού νερού
- $\chi-a$ : το ολικό ύψος της στήλης του γλυκού νερού.

Κατά την διάρκεια της πειραματικής λειτουργίας του συστήματος αυτού πρέπει να παρακολουθείται καθημερινά η ποιοτική μεταβολή του συγκεντρωμένου νερού μέσα στον περιφραγμένο χώρο, έως ότου πετύχουμε τη διατήρηση χαμηλής τιμής αλμυρότητας που να επιτρέπει την χρησιμοποίηση του νερού για Άρδευση του Α.Κ..

Η μείωση των χλωριόντων προφανώς θα έχει όριο την τιμή 170-180 (mg/l Cl<sup>-</sup>).

Στην κατασκευή του συστήματος αυτού βασικό στοιχείο είναι η διατήρηση της υπάρχουσας υδραυλικής ισορροπίας και η παρεμπόδιση της εφραλμύρωσης του νερού των πηγών πέρα από ένα ανεκτό όριο. Τούτο θα επιτευχθεί αφ' ενός με την διατήρηση της στάθμης της λίμνης σε ύψος τέτοιο που να πληρούται η παραπάνω σχέση, αφ' ετέρου η αντλούμενη ποσότητα νερού δεν θα πρέπει να υπερβεί την συνολική παροχή των πηγών.

Άλλη λύση που θα αποσκοπούσε στην σύλληψη και αξιοποίηση μόνο των υδάτων της παράκτιας πηγής δεν είναι οικονομικά συμφέροντα γιατί τα έξοδα εγκαταστάσεων, άντλησης και μεταφοράς, θα είναι δυσανάλογα από τα οφέλη της συνολικής παροχής της πηγής που πιθανότατα θα κυμανθεί από 2.000 - 4.000 l/sec.



## ΜΕΛΕΤΗ STAENDER

Η λύση και μελέτη STAENDER είναι η μόνη που εφαρμόστηκε στην πράξη και αποτελεί τα «Έργα Αναβάλου» που συνεχίζονται ακόμα και σήμερα και χαρίζουν ελπίδες στους γεωργούς της Αργολίδας ότι κάποτε μπορεί να ικανοποιηθεί το δεκαπεντάχρονο αίτημά τους «αρκετό και καλό νερό για τα κτήματά μας».

### ΙΣΤΟΡΙΚΟ

Τον Αύγουστο του 1967 ανατίθεται κυριολεκτικά «εν επαναστατικῶ δικαίῳ» από τον τότε «Υπουργό Συντονισμού» Νικ. Μακαρέζο η μελέτη και κατασκευή των έργων συλλήψεως των υποθαλάσσιων πηγών Αναβάλου Κιβερίου στο Γερμανό STAENDER.

Όπως μας πληροφορεί ο Ι. Παπαδημητρίου, η ανάθεση έγινε με την ακόλουθη διαδικασία :

Τον Ιούνιο του 1967 έγινε σύσκεψη 8 επιστημόνων μεταξύ αυτών και δύο καθηγητών υπό την προεδρία του Μακαρέζου με θέμα τις προτάσεις STAENDER.

Στην σύσκεψη αυτή οι έξι, μεταξύ αυτών και οι δύο καθηγητές, αντιτάχθηκαν στις απόψεις της λύσης STAENDER και ισχυρίστηκαν ότι με την μέθοδο αυτήν το συλλαμβανόμενο νερό θα ήταν ακατάλληλο για την Άρδευση του Α.Κ.

Ενώ ο ίδιος ο STAENDER ισχυρίζεται ότι θα παραδώσει νερό ποιότητας Λέρνης. Τότε ο Μακαρέζος έλυσε τη σύσκεψη δηλώνοντας ότι η (δικτατορική) Κυβέρνηση αναλαμβάνει τη ευθύνη και αναθέτει την εκτέλεση του έργου στον STAENDER.

ΣΥΜΒΑΣΗ: Ορισμένα χαρακτηριστικά σημεία της σύμβασης μεταξύ Υ. Δ. Ε. και STAENDER είναι:

- α) Η εκτέλεση των απαιτούμενων ερευνών και μετρήσεων των παραθαλάσσιων πηγών Κιβερίου που απαιτούνται για την εκπόνηση της οριστικής μελέτης.
- β) Η εκτέλεση των απαιτούμενων μετρήσεων και προσδιορισμών για τον ποσοτικό και ποιοτικό έλεγχο της παροχής νερού που είναι σε θέση να αποδώσει το έργο.
- γ) Η σύλληψη γλυκού νερού κατάλληλου για άρδευση εσπεριδοειδών κ.λπ. παροχής 6,0 M<sup>3</sup>/ SEC περιεκτικότητας σε ολικά χλωριόντα 200 – 300 P.P.M.
- δ) Οι δοκιμές λειτουργίας του έργου καθώς και ο ποιοτικός και ποσοτικός έλεγχος του λαμβανόμενου νερού, θα διεξαχθούν από τον Ανάδοχο για τέσσερεις συνεχείς εβδομάδες , από την ημερομηνία περάτωσης της κατασκευής των τεχνικών έργων.

ε) Η αποζημίωση και αμοιβή καλύπτει εξ ολοκλήρου της πάσης φύσεως υπηρεσίες και δαπάνες του αναδόχου για την εκπλήρωση των υποχρεώσεων της σύμβασης καθώς και προγενέστερες δαπάνες αυτού σε σχέση με το παρόν έργο, οι δαπάνες και αποζημιώσεις του για τις πάσης φύσεως έρευνες και επιβλέψεις, η αμοιβή για την ευρεσιτεχνία που θα εφαρμοστεί στο παρόν έργο.

### ΜΕΛΕΤΗ – ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΛΥΣΗΣ STAENDER ΤΟ ΕΡΓΟ ΣΥΛΛΗΨΗΣ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ

#### Γενικά για το έργο

Βασικά προσφέρονται δύο τρόποι σύλληψης των πηγών, η σύλληψη από ξηρά και η σύλληψη μέσα στη θάλασσα. Η σύλληψη στην ξηρά θα απαιτούσε κατασκευή σήραγγας, υπόγειου αγωγού ή την διάνοιξη γεωτρήσεων.

Ο δεύτερος τρόπος απαιτεί την κατασκευή φράγματος για την απομόνωση της θάλασσας και την δημιουργία λεκάνης για το πηγαιό νερό.

Για την εκλογή του τρόπου σύλληψης πρέπει να λάβουμε υπ' όψη ότι πρόκειται καρστικές πηγές. Γι' αυτό το λόγω το νερό στην λεκάνη σύλληψης δεν επιτρέπεται να υπερβεί ορισμένο ύψος, γιατί αν υπερβεί υπάρχει κίνδυνος να μετατοπισθεί η ανάβλυση των πηγών ή η πηγή να εξαφανισθεί τελείως. Επίσης πρέπει να αποκλεισθεί η διείσδυση θαλάσσιου νερού στη λεκάνη. Το σπουδαιότερο πλεονέκτημα της σύλληψης στην ξηρά αποτελεί το γεγονός ότι αποκλείεται κάθε διείσδυση θαλάσσιου νερού.

Υπάρχουν όμως πολύ σοβαρά μειονεκτήματα και δυσκολίες. Καταρχήν, δεν είναι σίγουρο ότι μ' αυτόν τον τρόπο θα συλληφθεί όλο το νερό των πηγών. Εκτός αυτού, η κατασκευή σήραγγας ή υπόγειου αγωγού παρουσιάζει μεγάλες δυσκολίες δεδομένου ότι η υδάτινη αρτηρία δεν είναι εκ των προτέρων γνωστή. Η λύση αυτή θα αποτελούσε βίαια προσβολή στο φυσικό βασίλειο και οι προοπτικές επιτυχίας της είναι εκ των προτέρων περιορισμένες. Τέλος, η δαπάνη του έργου θα ήταν μεγάλη.

Ακόμα θα υπήρχε ένα άλλο πρόβλημα, για την άντληση του νερού, θα έπρεπε οπωσδήποτε να κατασκευασθεί υπόγειο υδάτινο ρεζερβουάρ, αφ' ενός για να μην πέφτει η στάθμη του γλυκού νερού κάτω από την στάθμη της θάλασσας και δημιουργείται κίνδυνος διείσδυσης θαλάσσιου νερού, αφ' ετέρου να μην καταστραφούν οι αντλίες λόγω «κενής» λειτουργίας. Η κατασκευή μιας τέτοιας υδάτινης αποθήκης στη βραχώδη περιοχή της περιοχής θα ήταν δαπανηρή.

Αντίθετα, το μεγαλύτερο πλεονέκτημα του έργου σύλληψης μέσα στη θάλασσα είναι ότι με την κατασκευή φράγματος δεν διαταράσσονται καθόλου οι φυσικές συνθήκες που επικρατούν στη θέση ανάλυσης των πηγών.

Δεν υπάρχει πιθανότητα απώλειας, έστω και μικρού μέρους των υδάτων. Με την κατάλληλη τοποθέτηση σωλήνων εκκένωσης στο φράγμα μπορούμε να ρυθμίζουμε την στάθμη του γλυκού νερού και επομένως η διαφορά της με την θαλάσσια στάθμη θα διατηρείται σε επιθυμητά όρια.

Η δαπάνη της κατασκευής μπορεί να υπολογισθεί με ακρίβεια όπως σε όλα τα λιμενικά έργα. Ο κίνδυνος διείσδυσης της θάλασσας μέσω ασβεστολιθικών ρωγμών αντιμετωπίζεται με επιτυχία με μονωτικά διαφράγματα ή μονωτικές ενέσεις αν παραστεί ανάγκη.

Γενικά η σύλληψη του νερού μέσα στη θάλασσα θεωρήθηκε απλούστερη και οικονομικά συμφερότερη γι' αυτό επελέγη για την τελική μελέτη.

### ΠΡΟΣΦΕΡΟΜΕΝΕΣ ΛΥΣΕΙΣ – ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

Τα κύρια στοιχεία που μπορούν να επηρεάσουν τον τρόπο κατασκευής του φράγματος είναι:

α) Χρονική διάρκεια της κατασκευής: Λόγω του σοβαρού προβλήματος του Αργολικού Πεδίου, δηλαδή επειδή η εφαλμύρωση του εδάφους προχωρεί γρήγορα, πρέπει το έργο να ολοκληρωθεί σε όσο το δυνατόν συντομότερο χρόνο.

β) Η τέλεια απομόνωση του θαλάσσιου νερού από το συγκεντρωμένο μέσα στη λεκάνη γλυκό νερό των πηγών. Η απομόνωση αυτή είναι απαραίτητη για να εξασφαλιστεί κατάλληλο νερό για άρδευση.

γ) Οριζόντιοι αρμοί: Λόγω της φύσης του έργου και της δυναμικής καταπόνησης από τα κύματα είναι απαραίτητο να μην υπάρχουν οριζόντιοι αρμοί, οι οποίοι εξασθενούν σοβαρά την κατασκευή.

#### Λύση χωμάτινου φράγματος

Η λύση αυτή απορρίπτεται σαν αντιοικονομική, γιατί λόγω της μεγάλης κλίσης του πυθμένα της θάλασσας απαιτούνται μεγάλες ποσότητες υλικού, που λόγω της θέσης του έργου είναι δύσκολη η μεταφορά του. Επίσης απαιτείται κατασκευή κυματοθραύστη και ειδική μόνωση που επιβαρύνουν την κατασκευή.

#### Τοξοειδές φράγμα από προκατασκευασμένα κιβώτια

(ENKKAESTEN)

Πλεονεκτήματα: Δεν υπάρχουν οριζόντιοι αρμοί και πολύ λίγοι κάθετοι. Για κυψελωτά κατασκευάζονται εκτός θάλασσας και κατόπιν μεταφέρονται στη θέση τοποθέτησής των, ο χειρισμός τους είναι αρκετά εύκολος. Το μεγάλο μειονέκτημα της λύσης αυτής είναι ο χρόνος. Ο ειδικός ξυλότυπος, ο οπλισμός και η στερεοποίηση του σκυροδέματος δια την μεταφορά απαιτούν χρόνο.

Συνεπώς η κατασκευή αυτή δεν εφαρμόζεται γιατί απαιτεί χρονική διάρκεια.

#### Κατασκευή με προκατασκευασμένα μπλοκ

(BLOCKWEISE)

Ο τρόπος αυτός κατασκευής παρουσιάζει ορισμένα πλεονεκτήματα όσων αφορά την ογκώδη μορφή των προκατασκευασμένων στοιχείων, αλλά λόγω υπερβολικού βάρους αυτών απαιτείται γερανός απόδοσης μεγαλύτερης των 100 τόνων. Επίσης, η χρησιμοποίηση προκατασκευασμένων μπλοκ δημιουργεί πολλούς οριζόντιους αρμούς οι οποίοι έχουν καταστροφικές συνέπειες για την ασφάλεια του έργου.

Για τους λόγους αυτούς η κατασκευή του φράγματος με προκατασκευασμένα μπλοκ δεν θα είναι η καλύτερη λύση.

### Τοξοειδές φράγμα από άοπλο σκυρόδεμα.

Κρίνεται σαν πιο κατάλληλη λύση γιατί παρουσιάζει σαν πλεονέκτημα την μη ύπαρξη οριζόντιων αρμών, την δυνατότητα ασφαλούς μόνωσης των κάθετων αρμών και τον μικρό χρόνο κατασκευής.

Σοβαρό πρόβλημα της κατασκευής είναι η δημιουργία ξυλότυπων για την υποδοχή του σκυροδέματος. Προβλέπεται να τοποθετηθούν και πακτωθούν μέσα στον πυθμένα της θάλασσας σιδηροδοκοί κατακόρυφοι, διατομής ταύ Ι, σε μικρά διαστήματα και μεταξύ τους θα τοποθετηθεί συρταρωτό σανίδωμα που θα δημιουργεί πλευρικές επιφάνειες για την υποδοχή του σκυροδέματος.

Το ελλειψοειδές φράγμα παρουσιάζει μήκος 160Μ και πλάτος 8Μ. Το ύψος εξαρτάται από το βάθος την θάλασσας. Στο βαθύτερο σημείο που η θάλασσα έχει βάθος 9Μ το ύψος του φράγματος είναι 12Μ.

### Εντόπιση του άξονα του φράγματος

Ο άξονας του φράγματος πρέπει να περικλείει όλες τις πηγές αφ' ενός, αφ' ετέρου όμως πρέπει να έχει το μικρότερο μήκος.

Γί αυτό προσδιορίστηκαν, με την βοήθεια αυτών, οι πηγές και αφέθηκε ένα όριο ασφάλειας 10Μ προς την θάλασσα. Ακόμα διαπιστώθηκε ότι η ελλειψοειδής μορφή ικανοποιούσε πιο πολύ το πρόβλημα του ελάχιστου μήκους.

## ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ

Για την σαφέστερη εικόνα του εδάφους θεμελίωσης του φράγματος έγιναν γεωτρήσεις. Συνολικά έγιναν πέντε (5) ομάδες γεωτρήσεων.(πίνακας Va, Χάρτης Vβ και Σχ. Vβ).

Η ομάδα Γ κατά μήκος και των δύο πλευρών της θέσης θεμελίωσης του φράγματος.

Η ομάδα Β κατά μήκος του άξονα του φράγματος.

Η ομάδα Δ από την οποία έγινε μόνο μία γεώτρηση από τις πέντε (5) προγραμματισμένες.

Τέλος διανοίχτηκαν οι ομάδες γεωτρήσεων Ε και Α σε χιαστή διάταξη. Στις παραπάνω γεωτρήσεις πραγματοποιήθηκαν και δοκιμές **TERZAGHI** καθώς και λήψη αδιατάραχτων δειγμάτων στα οποία έγιναν πειραματικές δοκιμές και βγήκαν διάφορα συμπεράσματα.

Στις γεωτρήσεις Ε2, Α2 και Α3 συναντήθηκε καρστικός υδροφόρος ορίζοντας υπό πίεση, τοποθετήθηκαν πιεζόμετρα με τα οποία μετρήθηκε η **αρτεσιανή** πίεση του νερού.

Από τις παραπάνω μετρήσεις βγάζουμε τα ακόλουθα συμπεράσματα:

1. Την ζώνη γύρω από τον άξονα του φράγματος μπορούμε να την χωρίσουμε σε δύο υποπεριοχές.
  - Στις θέσεις κοντά στα άκρα του τόξου του φράγματος. Στις θέσεις αυτές, μεταξύ του πυθμένα τις θάλασσας και του ασβεστόλιθου, υπάρχουν χαλίκια καλώς διαβαθμισμένα με ελάχιστη ίλη (5%) (Γεωτρήσεις Β<sub>1</sub>, Β<sub>3</sub>, Β<sub>12</sub>, Β<sub>14</sub>). Ο ασβεστόλιθος βυθίζεται βαθμιαίως. Δεν ανεβρέθηκαν αρτεσιανές πιέσεις. Δηλαδή, στην περιοχή αυτή δεν έχουμε πρόβλημα καθίζησης και φέρουσας ικανότητας εδάφους.

- Την «υποπεριοχή των ειδικών φαινομένων», κοντά στην μέση της κάτοψης του τόξου φράγματος. Κάτω από τον πυθμένα και σε βάθος 2 - 3M υπάρχει χονδροκόκκη άμμος. Ακολουθεί χαρακτηριστικό στρώμα αργιλωδών αμμοχάλικων με ποσότητα λεπτόκοκκων 3% - 27%. Εδώ παρατηρείται απότομο βύθισμα του ασβεστόλιθου. Ευρέθησαν αρτεσιανές πιέσεις και εντός των αποθέσεων και εντός του ασβεστόλιθου.
2. Το στρώμα των αργιλωδών αμμοχάλικων χαρακτηρίζεται αφ' ενός μεν από μεγάλη ποικιλία χαρακτηριστικών, ώστε επιβάλλεται η χρησιμοποίηση μέσων κατώτερων τιμών, αφ' ετέρου δε παρουσιάζει δυσμενείς ιδιότητες, όπως :
- Επιδείνωση των κρούσεων μετά του βάθους
  - Μείωση και ρευστοποίηση της συνεκτικότητας μετά του βάθους.

Οι ιδιότητες αποδίδονται στην μηχανική δράση του αρτεσιανού νερού που προκαλεί τοπική χαλάρωση της δομής και μείωση της ενεργής τάσης με αποτέλεσμα να μειώνεται η διατμητική αντοχή και στη φυσικοχημική δράση του γλυκού νερού.

#### Va ΠΙΝΑΚΑΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ

Γεώτρηση Γ<sub>12</sub> (βάθος πυθμένα 8,00M)

<u>Βάθος Γεώτρησης (M)</u>	<u>Περιεχόμενο Υλικό</u>
0,00 - 4,00	Κροκάλες 1 – 4MM
4,00 - 5,50	Κροκάλες 1 – 4MM λίγη άμμος
5,50 - 8,50	Κοκ. Αργιλ. – κροκαλ. – χαλίκια
8,50 - 9,50	Κροκάλες – λίγη άργιλος
9,50 - 14,30	Κοκ. Άργιλ. – κροκάλ – χαλίκια
14,30 - 31,00	Χονδρ. Άμμος – κροκάλ. – υδροφόρος
31,00 - 35,00	Χονδρ. Άμμος ασύνδετη
35,00 - 37,50	Ασβεστόλιθος

## ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ

Το φράγμα εκτελείται σαν φράγμα βαρύτητας υπό τύπον λιμενικού έργου.

Η θεμελίωση φθάνει σε βάθος 4,0 M από τον πυθμένα της θάλασσας. Στη γραμμή θεμελίωσης το φράγμα έχει πλάτος 12,00 M. Το δε πλάτος της θεμελίωσης στον πυθμένα είναι 20,00 M. Δια του βάθους και του πλάτους της θεμελίωσης μεταφέρονται με ασφάλεια τα φορτία του φράγματος στο έδαφος και κατά δεύτερον το φράγμα φτάνει το αδιαπέρατο στρώμα ώστε να αποτελεί συνέχεια με αυτό και να εμποδίζει τυχόν διαρροές θαλασσινού νερού μέσα στην λεκάνη σύλληψης του γλυκού νερού.

Στεγάνωση αρμών: Η στεγάνωση των αρμών θα γίνει με στεγανοποιητικές ταινίες OPANOL. Οι ταινίες αυτές έχουν πλάτος 50,00 M και ενσωματώνονται στα δύο συνεχόμενα στοιχεία από σκυρόδεμα.

Σε περίπτωση διαφορετικής καθίζησης δύο γειτονικών τμημάτων που θα έχει σαν αποτέλεσμα την θραύση των ταινιών προνοείται μηχανισμός ελασμάτων που εμποδίζει την διαρροή νερού.

Σωλήνες ρύθμισης της στάθμης: Κατά το μήκος του φράγματος τοποθετούνται σωλήνες οι οποίοι χρησιμεύουν αφ' ενός μεν για την έξοδο του γλυκού νερού στη θάλασσα, αφ' ετέρου για την ρύθμιση της στάθμης της λεκάνης του φράγματος ώστε να διατηρείται σταθερή η διαφορά στάθμης γλυκού και θαλασσινού νερού. Αυτό επιτυγχάνεται με ειδικές δικλίδες τοποθετημένες σε κάθε σωλήνα και ρυθμιζόμενες από ειδική συσκευή αναρτημένη στο φράγμα.

## ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΑΝΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Διαστάσεις: Οι διαστάσεις της ανωδομής του φράγματος παραμένουν οι ίδιες με την παλαιά μελέτη.

Οι διαστάσεις της βάσεως θεμελίωσης μεταβάλλονται μόνο στο τμήμα του έργου A<sub>2</sub>-A<sub>3</sub>-A<sub>4</sub>-A<sub>5</sub> αυξανόμενου του πλάτους του πέλματος κατά 4M προς την πλευρά της θάλασσας και έτσι το συνολικό πλάτος στη γραμμή θεμελίωσης του τμήματος αυτού αυξάνει από 16M ως 20M.

Οι υπόλοιπες διαστάσεις στο τμήμα αυτό καθώς και όλες του λοιπού μέρους του φράγματος παραμένουν ίδιες.

## ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΥΘΜΕΝΑ ΘΑΛΑΣΣΗΣ

Είναι γνωστό ότι κατά το ανακλώμενο κυματισμό προ του κατακόρυφου εμποδίου εμφανίζεται το φαινόμενο του σύνθετου κυματισμού (CLAPOTIS) και εξ' αυτού δημιουργούνται κάθετες προς τον πυθμένα δυνάμεις οι οποίες χτυπούν σαν υδρόσφυρα τον πυθμένα της θάλασσας, υποσκάπτουν έτσι αυτόν εάν δεν είναι μεγάλης αντοχής και δημιουργούν προβλήματα ανατροπής για το έργο.

Η κατακόρυφη αυτή δύναμη μειώνεται όσο απομακρυνόμαστε από το έργο μετατρεπόμενη σε οριζόντια σε απόσταση  $2L/4$ .

Για την προφύλαξη από τέτοιους κινδύνους ανατροπής του φράγματος προστατεύουμε τον πυθμένα της θάλασσας σε μια ζώνη 19 ή 15M από το άκρο του θεμελίου, θεωρώντας την απόσταση αυτή επαρκή.

Η προστασία γίνεται με την τοποθέτηση στον πυθμένα φυσικών ογκόλιθων κατηγορίας III και IV, δηλαδή βάρους 100 – 1.300 KGR σε όλο το πλάτος της προαναφερόμενης ζώνης.

Τα κενά μεταξύ των μεγάλων ογκόλιθων καλύπτονται δια της τοποθέτησεως μικροτέρων, έτσι ώστε τελικά ολόκληρη η επιφάνεια της προαναφερόμενης ζώνης να καλυφθεί καλά από ογκόλιθους.













## VI. ΚΡΙΤΙΚΗ ΣΤΙΣ ΥΠΑΡΧΟΥΣΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ

### ΜΕΛΕΤΗ ΠΑΠΑΔΗΜΗΤΡΙΟΥ

Η μελέτη του κ. Ι. Παπαδημητρίου και η κατασκευή του χωμάτινου φράγματος ήταν πειραματική και πρόχειρη. Με την βοήθεια της πρόχειρης αυτής διάταξης, έγινε διευθέτηση μέρους των πηγών. Επίσης έγινε μέτρηση της παροχής και της ποιότητας του νερού.

Οι μετρήσεις αυτές βοήθησαν για να βγουν συμπεράσματα για πρώτη φορά για το επίπεδο της παροχής και της ποιότητας του νερού όλου του συγκροτήματος των υποθαλάσσιων αναβλύσεων και της παράκτιας πηγής.

Η κατασκευή όμως χωμάτινου φράγματος, μόνιμου χαρακτήρα, δεν θα ήτο η σωστή λύση. Οι λόγοι που πιστεύουμε ότι δεν επιτρέπουν την κατασκευή μόνιμου χωμάτινου φράγματος, είναι οι ίδιοι που αναφέρονται στην λύση STANDER στην παράγραφο 3,2,1 «Λύση χωμάτινου φράγματος».

### ΜΕΛΕΤΗ ΠΑΛΑΚΗ

Το σημαντικότερο της μελέτης αυτής ήταν η πρόταση για την απομόνωση της περιοχής των πηγών από τη θάλασσα με ημιπερατό διάφραγμα. Η πρόταση είχε πειραματικό χαρακτήρα και αποσκοπούσε στην ακριβή μέτρηση της παροχής και της ποιότητας του συνόλου του νερού των πηγών. Καταλογίζουμε μεγάλες ευθύνες σε όσους μπορούσαν και ήταν υπεύθυνοι να κατασκευάσουν την παραπάνω πειραματική διάταξη και δεν το έκαναν.

### ΜΕΘΟΔΟΣ STAENDER

Η μέχρι τώρα μελέτη και κατασκευή των έργων σύλληψης των πηγών Αναβάλου έθεταν σαν βασικό κριτήριο της εκλογής της μιας και της άλλης λύσης το κόστος και το χρόνο κατασκευής των έργων.

Όσον αφορά το χρόνο, η σοβαρότητα του «Προβλήματος του Αργολικού Πεδίου» επέβαλε το έργο να χαρακτηριστεί κατεπείγον.

Παρά όμως την αναγκαιότητα της περάτωσης και λειτουργίας του έργου το συντομότερο δυνατό, έχουν ήδη περάσει έντεκα χρόνια και το έργο δεν έχει μπει σε λειτουργία.

Το ίδιο λίγο πολύ ισχύει και για το κόστος ης λύσης STAENDER.

Αν και η απόδοση του Αργολικού Πεδίου είναι τέτοια που επιτρέπει το μεγάλο κόστος, αρκεί να εξασφαλιστεί η ποιότητα και η ποσότητα του νερού, προτιμήθηκε η λύση STAENDER σαν λιγότερο δαπανηρή. Τελικά όμως το κόστος της ξεπέρασε κάθε

προηγούμενο και ανήλθε σε υπέρογκα ποσά χωρίς συγχρόνως να είμαστε σίγουροι για την επιτυχία του έργου.

Ο STAENDER στην μελέτη του για την σύλληψη των νερών του Ανάβαλου προβληματίστηκε μεταξύ δύο τρόπων,

α) να συλληφθεί το νερό με φράγμα μέσα την θάλασσα

β) να συλληφθεί με κατασκευή φρεατίου, στοάς ή γεωτρήσεων στην ξηρά, αλλά δίπλα στην θάλασσα, στον καρστικό απότομο σχηματισμό πάνω από την πηγή.

Προβληματιζόμενος, έτσι σωστά κατέληξε στον πρώτο τρόπο σύλληψης. Γιατί με τον δεύτερο τρόπο δεν ήταν βέβαιο ότι θα συλληφθεί όλο το νερό. Επίσης η λύση αυτή θα ήταν βίαιη, προσβολή στο φυσικό περιβάλλον και οι πιθανότητες επιτυχίας μικρές γιατί καρστικοποίηση στο μέρος αυτό είναι μεγάλη και ο καρστικός αγωγός είναι διακλαδισμένος (σχ.ΙΙγ). ωστόσο όμως η σκέψη αυτή ήταν μονομερής, γιατί δεν επέμεινε στον προσδιορισμό της θέσης των καρστικών αγωγών (προφίλ) που ίσως του έδινε την δυνατότητα να εντοπίσει αυτούς, σε κάποιο σημείο της διαδρομής τους, που ήταν πρόσφορο να τους υδρομαστεύσει με γεωτρήσεις.

Η σύλληψη του νερού στη θάλασσα είχε πολλές πιθανότητες αποτυχίας ως προς την ποιότητα του νερού που θα συλλαμβανόταν.

Αυτό γιατί το νερό των αγωγών έρχεται σε επαφή με το νερό της θάλασσας στην ξηρά πριν από την εκβολή της πηγής στη θάλασσα. Έτσι ώστε το συλλαμβανόμενο νερό να είναι εφάλμυρομένο.

Η ανάμιξη αυτή γίνεται με έναν από τους τρόπους ανάμιξης γλυκού και θαλασσινού νερού που αναφέρεται στο κεφάλαιο III.

Επειδή λοιπόν δεν ήταν γνωστός από πριν ο βαθμός εφαιμύρωσης του νερού των πηγών, έπρεπε η κατασκευή των έργων σύλληψης της πηγής, να ήταν πειραματική, ή να γίνουν πριν από την οριστική μελέτη ερευνητικές εργασίες. Δηλαδή έπρεπε η περιοχή των πηγών να απομονωθεί από την θάλασσα με ένα διάφραγμα ή άλλη απλή κατασκευή και συνεχώς να γίνονταν αναλύσεις του συγκεντρωμένου νερού, ώστε να βγάλουμε συμπεράσματα για την επιτυχία του έργου. Απεναντίας, αμέσως έγινε ένα πολυδάπανο φράγμα, μονίμου χαρακτήρα. Έτσι σήμερα έχουμε στη διάθεσή μας νερό όχι καλής ποιότητας, ώστε να είναι αναγκαία η μίξη αυτού με το γλυκό νερό άλλων πηγών του Αργολικού πεδίου για να αποφευχθεί η κατασκευή πυκνού δικτύου στραγγιστικών αγωγών. (Το Υ.Δ.Ε. μετά την κατασκευή του φράγματος ανέθεσε στους Δάλα, Δανάλη, Δεληγιώργη μελέτη αξιοποίησης των νερών της πηγής Αγίου Γεωργίου Κίβεριου. Στ μελέτη αυτή οι μελετητές υποστηρίζουν την ανάμιξη του νερού της πηγής με το νερό των πηγών Λέρνης και Κεφαλαρίου σε αναλογία 10 – 6 αντίστοιχα) αυτό όμως επαληθεύει την αποτυχία του φράγματος γιατί το νερό που υπάρχει για ανάμιξη του νερού της πηγής είναι πολύ λίγο και αντιστοιχεί σε πολύ μικτή παροχή του αντλιοστασίου.

Ο ισχυρισμός ότι ο προϋπολογισμός του φράγματος προσδιορίζεται με ακρίβεια δεν στέκει γιατί, η κατασκευή ενός τέτοιου φράγματος θα επιβαρυνόταν αφάνταστα από άλλους παράγοντες: δυσχέρειες θεμελίωσης, μονωτικά διαφράγματα κ.λπ.. ο ισχυρισμός πάλι ότι ένα βασικό στην επιλογή της λύσης – σύλληψης ήταν ο χρόνος, καταντάει μετά από καθυστέρηση 8 χρόνων, της λειτουργίας του έργου, αστείος.

Η ασφάλεια του φράγματος μικραίνει από το γεγονός ότι η περιοχή της Αργολίδας είναι σεισμογενείς και έτσι υπάρχει κίνδυνος καταστροφής του φράγματος από σεισμό. Ο κίνδυνος αυτός μεγαλώνει γιατί το φράγμα είναι κατασκευασμένο πάνω σε ρήγμα και σε περίπτωση σεισμού μπορεί οι δύο πλευρές του να έχουν μεγάλη διαφορά μετακινήσεων με καταστρεπτικά αποτελέσματα για το φράγμα.

Αρκετές δυσκολίες για την κατασκευή του φράγματος και τη σύλληψη νερού καλής ποιότητας φάνηκαν κατά την εκτέλεση πειραματικών γεωτρήσεων κατά μήκος της θέσης θεμελίωσης του φράγματος.

Όπως είδαμε στο κεφάλαιο V και χάρτη Vβ στη μέση της θέσης του φράγματος, (περιοχή ειδικών φαινομένων), το ασβεστολιθικό υπόβαθρο «βυθίζεται» σε μεγάλο βάθος (32M) ενώ μεταξύ αυτού και της βάσης του φράγματος, υπάρχει χαλαρή έως ρέουσα άργιλος με αμμοχάλικα, ακόμη στη θέση αυτή μέσα στο στρώμα της αργίλου, ή και αμέσως κάτω από αυτή συναντήθηκαν καρστικές αναβλύσεις.

Η παραπάνω κατάσταση φαινόταν ότι θα δημιουργούσε αξιόπερα προβλήματα στην κατασκευή και την ασφάλεια του φράγματος και έπρεπε να ληφθεί σοβαρά υπ' όψη στην τελική απόφαση κατασκευής του φράγματος.

Μάλιστα επιτροπή αποτελούμενη από τους καθηγητές του Ε.Μ.Π. κ.κ. Λοΐζο, Παπασταματίου και Πίππα σε γνωμοδότησή τους επί της οριστικής μελέτης του έργου συλλήψεως των πηγών εκφράζουν επιφυλάξεις για την επιτυχία του έργου και σύστησαν να αναβληθεί η κατασκευή του έργου μεταφοράς του νερού. Επίσης ο καθηγητής Πανεπιστημίου κ. Παν. Ψαριανός χαρακτήρισε το έργο άσκοπο.

Το γεγονός ότι το φράγμα δεν έρχεται σε επαφή με το στερεό ασβεστολιθικό πέτρωμα και η χαλαρότητα του στρώματος της αργίλου μετά χαλίκων επιτρέπει κατά πάσα πιθανότητα ως ένα βαθμό την επικοινωνία του γλυκού και θαλασσινού νερού. Η επικοινωνία αυτή γίνεται κάτω από το φράγμα δια μέσου του στρώματος των χαλίκων του αργίλου.

Θεωρητικά αυτή η επαφή γλυκού και θαλασσινού νερού δεν προξενεί την ανάμιξη τους επειδή διαφορά της στάθμης του γλυκού και του θαλασσινού νερού ρυθμίζεται και παραμένει σταθερή, δεν διαταράσσεται η υδροστατική ισορροπία κάτω από το φράγμα. Δηλαδή σε ένα σημείο κάτω από το φράγμα η υδροστατική πίεση του γλυκού νερού είναι ίση με την υδροστατική πίεση της θαλασσινής στήλης.

Έτσι σχηματίζεται κάτω από το φράγμα μια θεωρητική διαχωριστική γραμμή γλυκού και θαλασσινού νερού.

Στην πράξη όμως ποτέ δεν έχουμε αυτή την ιδανική στατική ισορροπία, γιατί παντού στην φύση επικρατούν δυναμικές καταστάσεις.

Στην περίπτωση μας η υδροστατική ισορροπία διαταράσσεται κυρίως για δύο λόγους.

Ο πρώτος λόγος είναι ότι στην περιοχή πνέουν ισχυροί Νότιοι και Νοτιανατολικοί άνεμοι και δημιουργούν κύματα που διαταράσσουν την υδροστατική ισορροπία και ωθούν το θαλασσινό νερό να εισχωρήσει στο φράγμα και να αναμιχθεί με το γλυκό.

Ο δεύτερος τρόπος διατάραξης της υδροστατικής ισορροπίας και εισόδου της θάλασσας στο φράγμα είναι ο εξής:

Το γλυκό νερό αναβλύζει από τους καρστικούς αγωγούς με πίεση και με μεγάλη ταχύτητα προς τα πάνω. Η ανάβλυση αυτή δημιουργεί μέσα στην μάζα του γύρω χαλαρού υλικού υποπιέσεις και φαινόμενα σιφωνισμού (BERNOUILLE).

Επειδή το βάθος της ανάβλυσης των αγωγών είναι μεγάλο, η ταχύτητα και η πίεση του νερού μεγάλη, οι δημιουργούμενες υποπιέσεις είναι σημαντικές. Λόγω αυτών των υποπιέσεων το θαλασσινό νερό αναρροφείται δια μέσου του χαλαρού υλικού κάτω από την βάση του φράγματος και εισχωρεί στην λεκάνη.

Το γεγονός ότι υπάρχει ο κίνδυνος αυτός εισχώρησης του θαλασσινού νερού κάτω από το φράγμα στο γλυκό νερό δεν το αμφισβητεί και ο ίδιος ο STAENDER ο οποίος στην μελέτη του: Τεχνική Έκθεση Σύλληψης Νερών Πηγών Αναβάλου με τον τίτλο «Τοποθέτηση σιδηροσωλήνων για μελλοντικές εργασίες» αναφέρει:

«Δια την μελλοντικήν αντιμετώπισην τυχόν διαρροών θαλάσσιου ύδατος προς την λεκάνην γλυκού ύδατος και κάτωθεν του φράγματος δια μέσου των χαλαρών υλικών αλλά δια των επί των αρμών τυχόν δημιουργηθέντων ρωγμών, πριν της σκυροδετήσεως τοποθετούνται εις ορισμένα σημεία σιδηροσωλήνες 15CM διαμέτρου. Οι σωλήνες αυτοί θα ενσωματωθούν εντός του σκυροδέματος του φράγματος, η δε διάμετρός των επιτρέπει την εν περιπτώσει ανάγκης εκτέλεσιν στεγανοποιητικών εργασιών δια τσιμεντενέσεων ή δι' άλλου μέσου και υλικών».

## VII. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στην αρχή θα απαντήσουμε περιληπτικά, στο (εύκολο) τώρα ερώτημα, τι έπρεπε να κάναμε το 1967 όταν μπήκε το πρόβλημα κατασκευής συγκροτήματος για την υδρομάστευση του νερού των πηγών Αγ.Γεωργίου Κιβερίου.

Αυτό το κάνουμε για να συγκεντρώσουμε την πείρα, από όλη αυτή την διαδικασία, (μελέτες, προτάσεις, κατασκευή του φράγματος, αποτελέσματα), για να την εφαρμόσουμε όσο είναι δυνατόν σε παρόμοια περίπτωση.

α) Έπρεπε να είχε κατασκευαστεί μια πειραματική διάταξη για την απομόνωση της περιοχής των πηγών από την θάλασσα. Αυτό μπορούσε να γίνει με ένα αδιαπέρατο διάφραγμα. Η διάταξη αυτή θα μας απαντούσε στο ερώτημα, τι ποιότητας νερό μπορούμε να συγκεντρώσουμε.

Μια κατά προσέγγιση εκτίμηση της ποιότητας του νερού μπορούσαμε να πάρουμε με την κατασκευή στο εργαστήριο μοντέλου του συστήματος της περιοχής των πηγών. Η κατασκευή πιστού μοντέλου θα απαιτούσε αρκετές γεωτρήσεις, για την ακριβή εντόπιση της θέσης των καρστικών αγωγών, αλλά και προσεκτικές για να μην καταστρέψουμε το κάρστ της περιοχής. Πάντως, αν και υπάρχουν τα παραπάνω προβλήματα, η λύση του όλου προβλήματος δεν είναι αδύνατη.

β) αν το νερό που θα συγκεντρώναμε μέσα στο διάφραγμα, ήταν αρκετά εφάλμυρο, (η ποιότητά του δεν θα βελτιωνότανε στα επιθυμητά όρια ούτε με την ανάμιξη με τα υπάρχοντα νερά των πηγών).

Έπρεπε να προβληματιζόμασταν την σύλληψη των πηγών, πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Επειδή αποκλείεται η σύλληψη των πηγών κοντά στην θάλασσα, πάνω στην απότομη πλαγιά του καρστικού λόφου, (είδε πρόταση Ν. ΠΑΠΑΚΗ), θα καταλήγαμε στην προσπάθεια της εντόπισης των καρστικών αγωγών πίσω από τον καρστικό λόφο και στην επιτυχή σύλληψη αυτού με γεωτρήσεις. Περισσότερες λεπτομέρειες της λύσης αυτής αναφέρουμε αμέσως πιο κάτω που απαντάμε «τι πρέπει να γίνει σήμερα».

Σήμερα ενώ τα έργα σύλληψης του νερού της πηγής του Ανάβαλου έχουν ολοκληρωθεί από το 1972, ακόμα δεν έχουμε απαντήσει στο ερώτημα αν το συγκεντρωμένο νερό είναι κατάλληλο για την άρδευση του Αργολικού Πεδίου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι δεν έχει πραγματοποιηθεί ακόμα δοκιμαστική λειτουργία του όλου έργου. Επομένως, σήμερα εκείνο που προέχει είναι να μπει το έργο σε δοκιμαστική λειτουργία όσο το δυνατόν γρηγορότερα. Η δοκιμαστική αυτή η λειτουργία θα δείξει αν επιδρά η λειτουργία του αντλιοστασίου στην υδροστατική ισορροπία της περιοχής του φράγματος, αν η ποιότητα του συγκεντρωμένου νερού παραμένει σταθερή και αν το σύστημα διατήρησης σταθερής διαφοράς, στάθμης γλυκού και θαλασσινού νερού, δουλεύει με επιτυχία.



Επίσης μπορούν να παρουσιαστούν και άλλα προβλήματα τα οποία πρέπει να αντιμετωπιστούν.

Αν και δεν έχει γίνει δοκιμαστική λειτουργία του έργου, έχουν κατασκευασθεί διώρυγα προσαγωγής και αγωγοί μεταφοράς του νερού μήκους πολλών χιλιομέτρων.

Δύο πράγματα μπορούν να συμβούν μετά την δοκιμαστική λειτουργία του έργου:

α) η συγκέντρωση των χλωριόντων παραμένει στα σημερινά επίπεδα δηλαδή 180 με 210 PPM τότε πρέπει να εφαρμοστεί η μελέτη Δάλα, Δεληγιώργη, Δανάλη.

Η μελέτη αυτή προβλέπει την ανάμιξη του νερού του Ανάβαλου με γλυκό νερό αναλογία 10:6, δηλαδή απαιτείται η εξεύρεση υδάτινων πόρων γλυκού νερού με παροχή 6 M/Sec. Επειδή η παροχή των πηγών Λέρνης και Κεφαλαρίου είναι πολλή μικρότερη, πρέπει να βρεθούν άλλοι υδάτινοι πόροι.

Στην περίπτωση αυτή πρέπει να διαπιστωθεί αν γίνουν στο φράγμα συμπληρωματικές εργασίες για την βελτίωση του νερού.

Πρώτα πρέπει να διαπιστωθεί αν γίνεται διαρροή θαλασσινού νερού στην λεκάνη γλυκού νερού κάτω από το φράγμα.

Αν υπάρχουν υποψίες ότι συμβαίνει κάτι τέτοιο πρέπει να κατασκευάσουμε στεγανοποιητικό διάφραγμα. Επειδή το υλικό κάτι από το φράγμα είναι χαλαρό δεν προτείνεται η στεγανοποίηση με τσιμεντενέσεις. Προτιμότερη λύση είναι η δημιουργία διαφράγματος με πασσαλοσανίδες, μεγίστου ύψους περίπου 15 μέτρων.

Άλλη προληπτική συμπληρωματική εργασία είναι η ανεξαρτητοποίηση της δεξαμενής άντλησης από την λεκάνη του γλυκού νερού. Δηλαδή, μέσα στο φράγμα και στην σημερινή θέση του αντλιοστασίου να κατασκευαστεί δεξαμενή από μπετόν ανεξάρτητη, η οποία θα τροφοδοτείται με υπερχειλίση του νερού της λεκάνης πάνω από τον κοινό τοίχο.

Επίσης πρέπει να κατασκευαστεί σύστημα καθαρισμού της λεκάνης από τα φερτά των πηγών γιατί υπάρχει κίνδυνος να φραχθούν οι αναβλύσεις των πηγών και να ελαττωθεί η παροχή τους.

β) Να χειροτερέψει η ποιότητα του νερού οπότε το έργο θα είναι άχρηστο.

Επομένως και στη μίαν και στην άλλη περίπτωση πρέπει να προσπαθήσουμε να εξασφαλίσουμε νερό καλής ποιότητας με άλλο τρόπο.

Το νερό αυτό ίσως μπορούμε να το εξασφαλίσουμε από τον Ανάβαλο με την εξής διαδικασία.

Είναι σίγουρο ότι οι καρστικοί αγωγοί που τροφοδοτούν τις πηγές Αναβάλου είναι μεμονωμένοι κεντρικοί αγωγοί. Πρέπει λοιπόν να προσδιορίσουμε την ακριβή θέση τους κατά πλάτος, μήκος και βάθος δηλαδή να κατασκευάσουμε το προφίλ τους. Ειδικά αυτό πρέπει να γίνει στην κοιλάδα Σπηλαιωτάκη, πίσω από τον καρστικό λόφο που είναι πάνω από τις πηγές. Στην θέση αυτή οι αγωγοί αναμένονται να βρίσκονται σε μικρό βάθος περίπου στο επίπεδο της θάλασσας όπως φαίνεται από το κεφάλαιο 114.

Ο προσδιορισμός αυτός γίνεται με την μέθοδο της ηλεκτρικής διασκόπισης ή με ιχνηθετήσεις με ραδιενεργούς ιχνηθέτες.

Όταν προσδιορίσουμε την κατά μήκος και πλάτος θέση των αγωγών μπορούμε με γεωτρήσεις να προσδιορίσουμε το ακριβές βάθος τους.

Προς την κατεύθυνση αυτή έγιναν το 1970 γεωτρήσεις από την Υ.Ε.Β. στην περιοχή αυτή, που είχαν στεφθεί με επιτυχία αλλά διακόπηκαν αδικαιολόγητα.

Αφού κατασκευάσουμε το προφίλ των αγωγών και εκλέξουμε τις παράλληλες θέσεις, μπορούμε να συλλάβουμε το νερό με την κατασκευή υπόγειων φραγμάτων που θα κλείνουν την δίοδο των καρστικών αγωγών.

Πριν από κάθε κατασκευή πρέπει να προηγηθεί πειραματική έρευνα (γεωτρήσεις, αντλήσεις, πειραματικές κατασκευές) ώστε να είμαστε σίγουροι ότι δεν θα υπάρχει κίνδυνος το νερό να αλλάξει πορεία και να είναι αρκετής ποσότητας και καλής ποιότητας.

Κατάλληλες θέσεις για την κατασκευή των φραγμάτων είναι οι θέσεις και το επίπεδο του συμπαγή ασβεστόλιθου κάτω από τους αγωγούς να μην είναι σε μεγάλο βάθος.

Επίσης γύρω από τους αγωγούς να συναντώνται «στεγανές περιοχές» όπως ορίστηκαν στο κεφάλαιο III.

Εάν το βάθος των καρστικών αγωγών είναι πάνω από το επίπεδο της θάλασσας, η ποιότητα του νερού θα είναι καλή και δεν υπάρχει φόβος ότι με την άντληση θα προχωρήσει το μέτωπο της θάλασσας μέχρι το φράγμα.

Εάν οι αγωγοί είναι κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας πρέπει με πειραματικές αντλήσεις να προσδιορίσουμε το μέρος της ποσότητας του νερού που μπορούμε να αντλήσουμε χωρίς να υπάρχει φόβος εισχώρησης της θάλασσας.

Επίσης, πρέπει να τονίσουμε ότι, επειδή η παροχή των αγωγών είναι μεγάλη, δεν χρειάζεται να κατασκευάσουμε υπόγεια λίμνη συγκέντρωσης του νερού, αλλά μία δεξαμενή άντλησης.

Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατόν να αξιοποιηθούν και τα νερά του μεγάλου Ανάβαλου, ο οποίος, όπως περιγράψαμε, αναβλύζει σε μεγάλο βάθος μέσα στην θάλασσα και είναι αρκετά δύσκολο, ίσως αδύνατο, να συλληφθεί στην θάλασσα.

Τα πλεονεκτήματα της λύσης αυτής είναι:

α) Αποφεύγεται η ανάμιξη του γλυκού νερού με το θαλασσινό και επομένως συλλαμβάνεται νερό κατάλληλο για άρδευση.

β) Η θέση της κατασκευής των υπόγειων φραγμάτων ευρίσκεται κοντά στην όχθη του ποταμού Ξοβρίου και επομένως το αντλούμενο νερό θα διοχετεύεται κατευθείαν στην φυσική ή τεχνητή κοιτή του ποταμού που θα κατασκευαστεί. Δηλαδή, από πριν αποφεύγεται η κατασκευή διώρυγας προσπέλασης, όπως έχει κατασκευαστεί στον καρστικό λόφο πάνω από τις πηγές τώρα που εφαρμόστηκε η λύση STAENDER.

γ) Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα της προτεινόμενης λύσης είναι ότι το νερό που θα συλληφθεί με τα υπόγεια φράγματα θα έχει την τάση να ανέβει προς την επιφάνεια του εδάφους (αρτεσιανό). Έτσι θα χρειαστούν αντλίες μικρής ισχύος για την άντληση του νερού από μικρό βάθος ή μπορεί να αποφευχθεί τελείως η εγκατάσταση αυτών, αν το νερό φθάνει στην επιφάνεια χωρίς σημαντικές πλαϊνές απώλειες.

Ενώ στην εφαρμοσθείσα μελέτη έχει εγκατασταθεί αντλιοστάσιο μεγάλης ισχύος και παροχής  $9M^3/Sec$  με καταθλιπτικό αγωγό υδραυλικού ύψους 50M περίπου.

Τέλος, λόγω του ότι η περιοχή των προτεινόμενων φραγμάτων έχει υψόμετρο περίπου 70M, το νερό μπορεί να φθάσει, με φυσική ροή, ως το τελευταίο σημείο του Αργολικού Πεδίου.

Το μεγάλο πρόβλημα της λειψυδρίας, τόσο στο Αργολικό Πεδίο όσο και σε άλλες περιοχές της χώρας μας, όπως και το γεγονός ότι το κεφάλαιο «αξιοποίηση» των υπόγειων καρστικών νερών, δεν έχει διερευνηθεί αρκετά, αλλά και το καθήκον κάθε κράτους να διευθετεί κονδύλια για την έρευνα –ειδικά για την αξιοποίηση φυσικών πόρων- επιβάλλουν να γίνουν οι προτεινόμενες γεωτρητικές έρευνες.











## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- STAENDER: Μελέτη σύλληψης πηγών Ανάβαλου Υ.Δ.Ε.
- ΔΑΛΑ ΔΑΝΑΛΗ-  
ΔΕΛΗΓΙΩΡΓΗ: Προκαταρκτική έκθεση αξιοποίησεως Αργολικού  
Πεδίου Υ.Δ.Ε.
- Ν.ΠΑΠΑΚΗ: Υδρογεωλογική μελέτη πηγών Αγίου Γεωργίου  
Κιβερίου Αργολίδος Ι.Γ.Μ.Ε.
- Δ. ΜΟΝΟΠΟΛΗ: Υδρογεωλογική μελέτη της καρστικής υφαλμύρου  
Πηγής Αλμυρού Κρήτης.
- Κ.ΜΑΣΤΟΡΗ: Έκθεσης επί των γενομένων χαρτογραφήσεων στις  
περιοχές των φύλλων «Άργος» «Άστρος» δια την  
έρευνα των καρστικών υδάτων Ι.Γ.Μ.Ε.
- ΠΑΠΑΔΗΜΗΤΡΙΟΥ: Προγραμματισμός και ερευνητική εργασία πηγών  
Ανάβαλου Κιβερίου.
- Ι.ΛΕΟΝΤΙΑΔΗ-  
Χ.ΔΗΜΗΤΡΟΥΛΑ: Χρήσεις Ραδιοϊσοτόπων δια την Ιχνηθέτηση Καρστικών  
Υδάτων εν Ελλάδι IV (III)  
Διερεύνησης της συνδέσεως των κατά βάθρων Μηλέας  
και λίμνης Τάκας (Νεσπάνης) των Αρκαδικών οροπεδίων  
μετά πηγών των πέριξ περιοχών Κ.Π.Ε. «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ»