

ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΦΥΣΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΥΠΕΔΑΦΙΚΗΣ ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΔΟΜΗΣ*

Γ. ΠΑΠΑΘΕΟΦΑΝΟΥΣ¹, Γ. ΣΚΙΑΝΗΣ¹, Τ. ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ¹, Σ. ΝΙΚΟΛΑΟΥ²

ΣΥΝΟΨΗ

Στην εργασία αυτή γίνεται μία προσπάθεια συσχέτισμού των μεθόδων του φυσικού δυναμικού και της γεωηλεκτρικής βυθοσκοπησης προκειμένου να δείχθει η χρησιμότητά τους στην διερεύνηση της υπεδαφικής δομής. Ειδικότερα, εξετάζεται μία περίπτωση εφαρμογής των δύο αυτών μεθόδων στην περιοχή Πηγής Ρεθύμνης με υδρογεωλογικό στόχο. Τα δεδομένα φυσικού δυναμικού ερμηνεύθηκαν με την χρήση θεωρητικών μοντέλων, μετά από αναγωγή τους σε ομογενές υπέδαφος. Εντοπίστηκαν δύο ζώνες με σχετικά υψηλές τιμές δυναμικού. Οι ανωμαλίες φυσικού δυναμικού που παράγονται με τον θερμοηλεκτρικό ή ηλεκτροκινητικό μηχανισμό, συνδέονται με την υπόγεια δομή που τις δημιουργεί (ρήγμα, καρστ κ.α.). Προσδιορίστηκαν τα βάθη των πηγών δυναμικού και η εν γένει δομή, λαμβάνοντας υπ' όψη και τα αποτελέσματα της γεωηλεκτρικής έρευνας.

ABSTRACT

Self-potential (SP) anomalies can be useful in locating discontinuities in underground structure where water-flow occurs, but their interpretation is sometimes ambiguous. This paper was initiated by an effort to form a relatively accurate picture of the subsurface structure by combining SP measurements with Schlumberger soundings. The data employed come from a 1996 series of measurements carried out for a hydrogeological study near the village of Pigi of Rethimnon province in Crete Island.

Data from 8 vertical electrical soundings (VES) were first used to determine the structure and possible lateral variations in the subsurface. For this, two parallel geoelectrical cross-sections were drawn, by considering simplified models. One of these cross-sections was employed in reducing the smoothed SP data to a homogeneous medium. This was necessary in order to make use of an interpretation algorithm (SPIN). The program is based on Fitterman's model of a dipping polarized plane for calculating SP anomalies, when the anomalies are generated by water flow along a boundary between rocks with different cross-coupling properties, that is through thermo-electrical or electrokinetical mechanism.

Two major SP anomalies were observed, which suggest water presence. The interpretation algorithm led to the model parameters of the two sources, that reproduced accurately the anomalies. Their positions are in good agreement with those of the lateral discontinuities revealed by VES results. On examining the geological map of the area, we concluded that one of the sources might well be the prolongation of a fault disappearing about 2km from the SP line, while a second fault could explain slight lateral differences between the two geoelectrical cross-sections.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: φυσικό δυναμικό, θερμοηλεκτρικό δυναμικό, ηλεκτροκινητικό δυναμικό, γεωηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις, αναγωγή σε ομογενές μέσο

KEY WORDS: self/spontaneous-potential, thermo-electrical potential, streaming potential, Schlumberger VES, reduction to a homogeneous medium

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η χρησιμότητα της μεθόδου φυσικού δυναμικού (SP) στην ανίχνευση υπόγειας ροής νερού έχει διαπιστωθεί από καιρό. Βρίσκει εφαρμογή, τόσο σε μελέτες ροής υπογείων υδάτων (Schianone & Quarto 1984), όσο και

* A COMBINATION OF SELF-POTENTIAL AND SCHLUMBERGER VES MEASUREMENTS FOR SUBSURFACE LAYERING INVESTIGATIONS

1. Τμήμα Γεωλογίας Παν/μίου Αθηνών, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.
2. ΠΓΜΕ, Μεσογείων 70, 11527 Αθήνα

σε προβλήματα υλόγιας διαρροής (Ogilvy et al. 1969), ακόμη και στην παρακολούθηση φρεάτων άντλησης (Jansen & Zorich 1995). Παράταυτα, η ποσοτική ερμηνεία των μετρήσεων παραμένει δυσχερής, καθ' ότι πρέπει κάθε φορά να προσδιορισθεί η φύση της πηγής που δημιουργεί την ανωμαλία. Κατά συνέπεια είναι αναγκαίο να υπάρχουν γεωλογικά στοιχεία για την περιοχή, τα οποία να διαφωτίζουν το ζήτημα. Οι κύριοι μηχανισμοί παραγωγής φυσικού δυναμικού που να συνδέονται με υπόγεια ροή νερού είναι δύο, του θερμοηλεκτρικού και του ηλεκτροκινητικού τύπου. Για την καλύτερη κατανόηση των μηχανισμών αυτών έχουν γίνει θεωρητικές αναλύσεις (Fitterman 1979) και έχουν διεξαχθεί μετρήσεις εργαστηρίου (Ishido & Mizutani 1981).

Η παρούσα εργασία αποτελεί μία προσπάθεια εξαγωγής αξιόπιστων συμπερασμάτων από τέτοιες μετρήσεις, με την βοήθεια γεωηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων στον ίδιο χώρο καθώς και γεωλογικών στοιχείων, μέσα στα πλαίσια συγκεκριμένου πρακτικού προβλήματος. Τα δεδομένα που αξιοποιήθηκαν προέρχονται από μετρήσεις οι οποίες διεξήχθησαν στην περιοχή Πηγής Ρεθύμνης κατά τον Φεβρουάριο του 1996, ως τμήμα υδρογεωλογικής έρευνας (Νικολάου & Νικολάου 1996).

Αρχικά ερμηνεύονται τα δεδομένα των βυθοσκοπήσεων ώστε να καθορισθεί ένα μοντέλο υπεδάφικης δομής. Στην συνέχεια γίνεται η επεξεργασία των δεδομένων SP και η αναγωγή τους σε ομογενές υπεδάφος (με βάση το προαναφερθέν μοντέλο). Κατόπιν γίνεται η ερμηνεία αυτών, έχοντας πρώτα καταλήξει στον μηχανισμό παραγωγής δυναμικού και στην αντίστοιχη μοντελοποίηση. Ακολουθεί τέλος ο συσχετισμός των αποτελεσμάτων των γεωηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων και των γεωλογικών στοιχείων (Φύλλο Πέραμα ΙΓΜΕ), προκειμένου να εκτιμηθούν οι πλευρικές μεταβολές και η γενικότερη δομή του υπεδάφους, ώστε να προσδιορισθούν οι πιθανές ζώνες ροής των ρευστών.

2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ

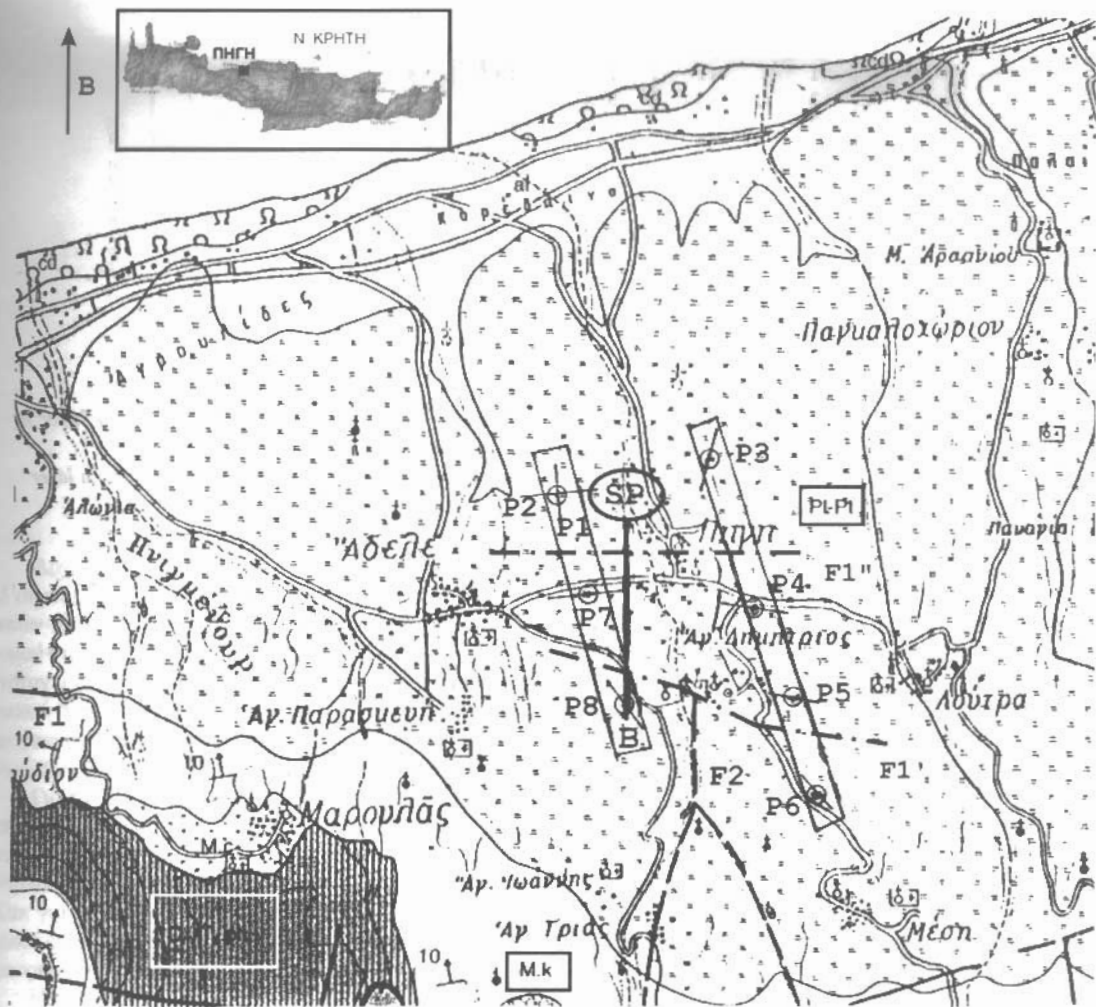
Για την γεωλογική αναγνώριση της δομής της περιοχής έγινε αναφορά στο Φύλλο Πέραμα του Γεωλογικού Χάρτη Ελλάδος του ΙΓΜΕ (Μυλωνάκης, 1991). Κοντά στην περιοχή έρευνας συναντώνται τρεις κύριοι σχηματισμοί (σχ. 1). Ο χώρος διεξαγωγής μετρήσεων καλύπτεται από Πλειο-Πλειστοκαινικές θαλάσσιες αποθέσεις (P1-Pt) αποτελούμενες από μάργες, αργίλους και αργιλομαργαϊκό υλικό. Αυτές επίκεινται ασύμφωνα των Μειοκαινικών αποθέσεων (Μ.κ) που περιέχουν βιογενείς ασβεστολίθους, μάργες, αργίλους και κροκαλοπαγή. Ο τρίτος σχηματισμός είναι τα παρα- και ορθο-πετρώματα του Μ.Λιθανθρακοφόρου-Αν.Τριαδικού (Cm-Ts.ph), τα οποία ανήκουν στην Φυλλιτική-Χαλαζιτική Σειρά. Πρόκειται για σχιστολίθους, φυλλίτες και χαλαζίτες με ενστρώσεις ασβεστολίθων, τεμάχη μεταπηλιτών και μεταψαμμιτών, καθώς και φλέβες και κοίτες μεταβασάλτων.

3. Η ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗ

Στην περιοχή εκτελέστηκαν συνολικά 8 βυθοσκοπήσεις με την διάταξη Schlumberger. Στον χάρτη (σχ. 1) σημειώνονται οι θέσεις των κέντρων διάταξης, που σχηματίζουν δύο παράλληλες τομές (P1-P8 και P3-P6) με διεύθυνση Β20Δ. Το μέγιστο άνοιγμα AB/2 των ηλεκτροδίων ρεύματος κυμαινόταν μεταξύ 320 και 1000m. Οι βυθοσκοπήσεις P1 και P2 διενεργήθησαν με κοινό κέντρο διάταξης αλλά με κάθετες διευθύνσεις αναπτύγματος, ώστε να μπορεί να εκτιμηθεί ο συντελεστής ανισοτροπίας.

Η ερμηνεία των μετρήσεων έγινε μέσω του προγράμματος RESIX της εταιρίας Interpex, με την συνήθη παραδοχή της οριζόντιας στρωμάτωσης του υπεδάφους, και οδήγησε στα μονοδιάστατα μοντέλα βάθους - ειδικής αντίστασης κάτω από κάθε βυθοσκόπηση. Τα στοιχεία αυτά έχουν καταχωρηθεί στον Πίνακα 1. Για να απλοποιηθούν τα μοντέλα υπολογίστηκε η μέση ειδική αντίσταση των επιφανειακών στρωμάτων για κάθε βυθοσκόπηση και η τιμή αυτή ελήφθη ως ειδική αντίσταση ενός ισοδύναμου επιφανειακού στρώματος. Η μέση

ειδική αντίσταση δίδεται από την σχέση $\rho_m = \sqrt{\rho_L \cdot \rho_t}$, όπου ρ_L και ρ_t είναι αντίστοιχα η μέση επιμήκης και η μέση εγκάρσια ειδική αντίσταση. Οι αντίστοιχες γεωηλεκτρικές - γεωλογικές τομές (P1-P8 και P3-P6) που προκύπτουν δίδονται στο σχήμα 2 και σημειώνονται στο σχήμα 1. Σημειωτέον ότι πρόκειται για ψευδο-τομές, όσον αφορά στις δύο διαστάσεις, δεδομένου ότι από την ερμηνεία καθεμίας βυθοσκόπησης λαμβάνεται μονοδιάστατο μοντέλο.



ΚΑΙΜΑΚΑ 1:50000

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

P1-Pt: Θαλάσσιες αποθέσεις Πλειοκαίνου-Πλειστοκαίνου (ανώτερος ορίζων από λευκότερες μάργες, ενδιάμεσος από μάργες κυρίως και αργιλομαργαϊκό υλικό εν μέρει και κατώτερος από αργίλους και μάργες).

M.k: Ιζηματογενή πετρώματα Μειοκαίνου (βιογενείς ασβεστόλιθοι, μάργες, άργιλοι, κροκαλοπαγή).

St-Ts.ph: Παρα-πετρώματα και ορθο-πετρώματα Μ.Λιθανθρακοφόρου-Αν.Τριαδικού (σχιστόλιθοι, φυλλίτες και χαλαζίτες με ενωτρόσεις ασβεστολίθων και τεμάχη μεταψαμμιτών και μεταπηλιτών, μεταβασάλτες σε φλέβες και κοίτες).

Σχήμα 1: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μετρήσεων (Μυλωνάκης, 1991). Με έντονες γραμμές φαίνονται τα ρήγματα (F1), με διακεκομμένες τα πιθανά (F2). Έχουν σημειωθεί τα κέντρα διάταξης των βυθοσκοπήσεων (P1 έως P8) και η τομή SP, καθώς και οι δύο πιθανές προεκτάσεις ορημάτων (F1' και F1").

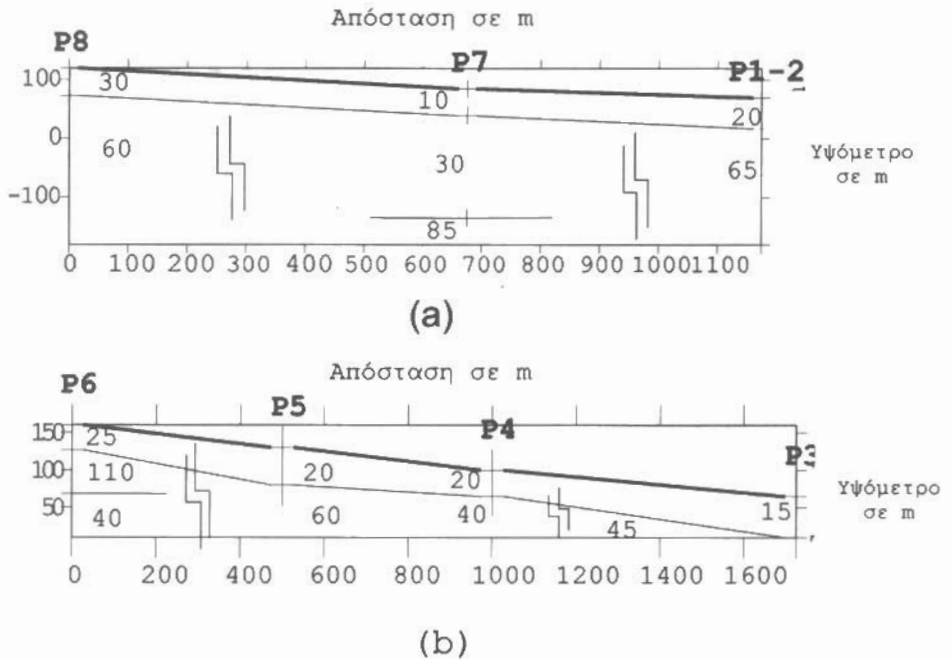
Figure 1: Geological map of the survey area. Bold lines denote faults (F1), broken lines the probable ones (F2). The VES centres (P1 to P8) and the SP line are shown, as well as the fault extensions probably present (F1' and F1").

		P1-2		P3		P4	
h (m)	ρ (Ωm)	h (m)	ρ (Ωm)	H (m)	ρ (Ωm)	H (m)	ρ (Ωm)
1	11	1	19	4	14		
3	65	5	9	35	18		
8	9	23	14		36		
53	20	55	13				
251	63		43				
	25						

P5		P6		P7		P8	
h (m)	ρ (Ωm)	H (m)	ρ (Ωm)	h (m)	ρ (Ωm)	h (m)	ρ (Ωm)
1	6	1	29	2	21	1.5	32
3	45	4.5	18	7	5	4	42
11	11	33.5	25	46	12	17	31
50	26	91.5	110	221	30	47	24
	56		40		86		65

Πίνακας 1: Γεωηλεκτρική στρωματογραφία όπως προκύπτει κάτω από τις βυθοσκοπήσεις. Δίνονται το βάθος h του δαπέδου και η ειδική αντίσταση ρ καθενός στρώματος.

Table 1: Geoelectrical layering as deduced from the VES data. The floor depth h and resistivity ρ of each layer are given.



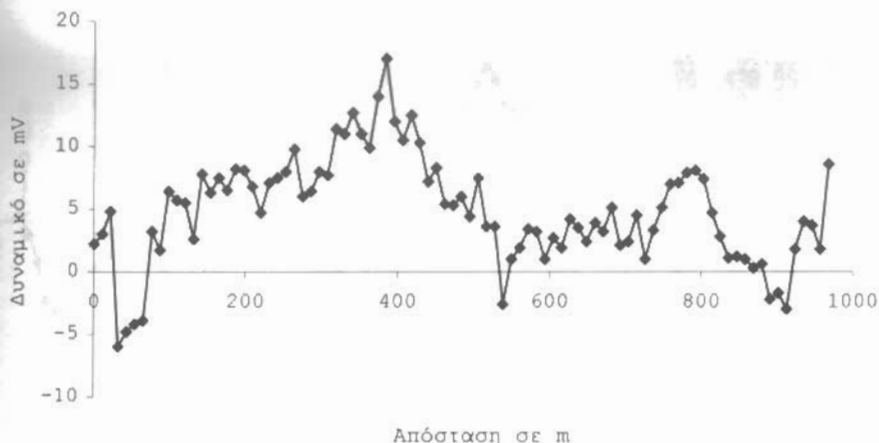
Σχήμα 2: Γεωηλεκτρικές τομές P8-P1(a) και P6-P3(b), που προκύπτουν από τα απλοποιημένα μοντέλα υπεδάφους (τιμές ειδικών αντιστάσεων σε Ωm). Έχουν σημειωθεί και οι πλευρικές ασυνέχειες.

Figure 2: Geoelectrical cross-sections P8-P1(a) and P6-P3(b), based on the simplified subsurface models (resistivities in Ωm). The lateral discontinuities are also shown.

4. Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ (SP)

Οι μετρήσεις SP έλαβαν χώρα κατά μήκος μίας τομής διεύθυνσης B-N και μήκους 1km περίπου (89 θέσεις λήψεως συνολικά), με ηλεκτρόδιο βάσης (B) πολύ κοντά στο κέντρο διάταξης της βυθοσκοπήσης Π8 (βλ. χάρτη σχ. 1). Η γραφική παράσταση των δεδομένων υπαίθρου δίνει την παρακάτω εικόνα (σχ. 3):

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



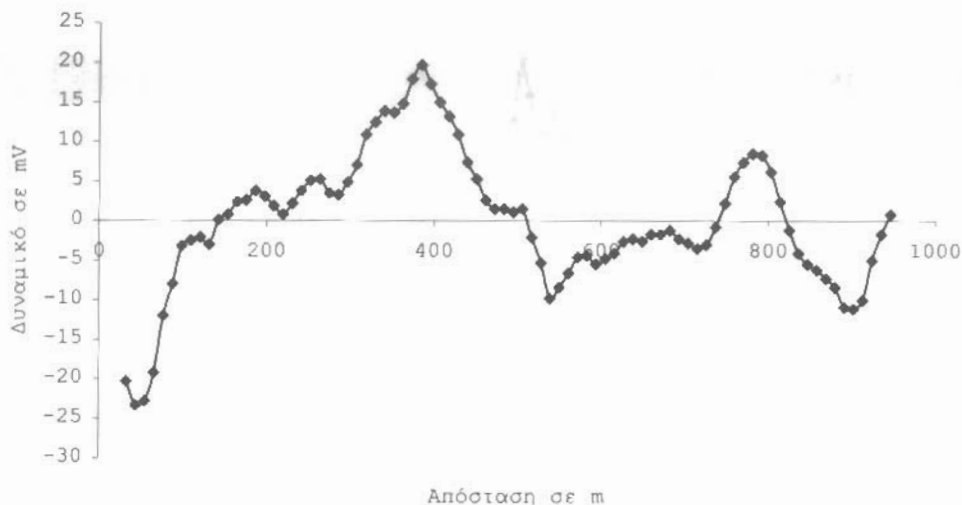
Σχήμα 3: Γραφική παράσταση των τιμών υπαίθρου της τομής SP.
Figure 3: Graph of SP field data.

Αρχικά έγινε εξομάλυνση της καμπύλης των δεδομένων υπαίθρου, λαμβάνοντας τον «τρέχοντα» μέσο όρο 5 σημείων. Επίσης αφαιρέθηκε η γραμμική τάση των δεδομένων, η οποία εκφράζεται από την ευθεία ελαχίστων τετραγώνων $y = -0,0036x + 6,628$. Σημαντικό βήμα της επεξεργασίας, δεδομένου του σαφούς διαχωρισμού στρωμάτων που παρείχαν οι βυθοσκοπήσεις, αποτελεί η αναγωγή της καμπύλης σε αυτήν που θα λαμβανόταν από ομογενές υπέδαφος. Η κεντρική θεωρητική ιδέα στο θέμα αυτό, είναι ότι η καμπύλη φυσικού δυναμικού σε μη ομογενές μέσο ισούται με την συνέλιξη της συνάρτησης δυναμικού σε ομογενές μέσο επί μία χαρακτηριστική συνάρτηση που εκφράζει την συνεισφορά του επιφανειακού στρώματος (Σκιάνης & Βαϊόπουλος 1998, Skianis et. al. 1998).

Για τον σκοπό αυτό έγινε χρήση ενός προγράμματος σε γλώσσα Fortran, το οποίο δουλεύει στον χώρο των συνηθιστών με αφετηρία ένα απλοποιημένο μοντέλο δύο οριζοντίων στρωμάτων και αφαιρεί την επίδραση του επιφανειακού στρώματος (θεωρώντας ότι η πηγή της ανωμαλίας SP εντοπίζεται στο υπόβαθρο). Εδώ υιοθετήθηκαν οι τιμές 50 m και 20 Ω m για το πάχος και την ειδική αντίσταση του πρώτου στρώματος αντίστοιχα και 70 Ω m για την ειδική αντίσταση του δευτέρου. Η καμπύλη διαμορφώθηκε τελικά όπως φαίνεται στο σχήμα 4, όπου διακρίνονται δύο κύριες ανωμαλίες, με μέγιστα στα 400 και 800 m περίπου από την βάση αναφοράς των μετρήσεων.

Η καμπύλη ερμηνεύθηκε με αποδοχή θερμοηλεκτρικού/ηλεκτροκινητικού μηχανισμού παραγωγής δυναμικού, δηλαδή από κίνηση νερού στην διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ σχηματισμών με διαφορετικούς συντελεστές θερμοηλεκτρικής ή ηλεκτροκινητικής σύζευξης. Την βάση της ποσοτικής ερμηνείας αποτέλεσε το μοντέλο του Fitterman (1984), το οποίο δίνει την ανωμαλία δυναμικού που προκαλεί ένα κεκλιμένο φύλλο γνωστού βάθους και χαρακτηριστικών, πολωμένο κάθετα στην κλίση του, υπολογίζοντας το ηλεκτρικό δυναμικό στην επιφάνεια συναρτήσει της στερεάς γωνίας που εκτείνεται από την πηγή.

Η μοντελοποίηση και οι υπολογισμοί έγιναν με το πρόγραμμα SPIN (Νούτσος & Σκιάνης 1987), όπου ακολουθείται η μαθηματική διαδικασία του αλγορίθμου Marquardt. Εισάγοντας τις τιμές που αντιστοιχούν στο τμήμα της καμπύλης το οποίο θα ερμηνευθεί, καθώς και μια αρχική εκτίμηση των παραμέτρων του σώματος, το πρόγραμμα υπολογίζει τις παραμέτρους του μοντέλου εκείνου με το οποίο προσεγγίζεται καλύτερα η παρατηρούμενη ανωμαλία. Αυτό επιτυγχάνεται με επαναληπτικές δοκιμές, μεταβάλλοντας τις τιμές των παραμέτρων μέσα σε διάστημα που έχει προκαθορισθεί για την καθεμία.



Σχήμα 4: Καμπύλη επεξεργασμένων τιμών SP (μετά από εξομάλυνση, αφαίρεση γραμμικής τάσης και αναγωγή σε ομογενές υπέδαφος).

Figure 4: Treated SP data (after smoothing, removal of linear effect and reduction to a homogeneous subsurface).

Στην συγκεκριμένη περίπτωση, για μίαν αρχική εκτίμηση του βάθους του σώματος, έγινε η παραδοχή ότι το μέγιστο και το ελάχιστο της ανωμαλίας βρίσκονται σε συμμετρική θέση ως προς το σημείο τομής της καμπύλης με τον οριζώντιο άξονα. Επίσης, ότι η πηγή της ανωμαλίας είναι κατακόρυφο φύλλο, διεύθυνσης κάθετης στην διεύθυνση της τομής μετρήσεων, με βάθος κάτω ακμής H ίσο με το διπλάσιο του βάθους της άνω ακμής h . Ξεκινώντας από την εξίσωση που δίνει την τιμή του δυναμικού στην επιφάνεια είναι

$$V(x) = m \left[\arctan \frac{H}{x} - \arctan \frac{h}{x} \right], \quad (\text{Skianis et. al. 1998})$$

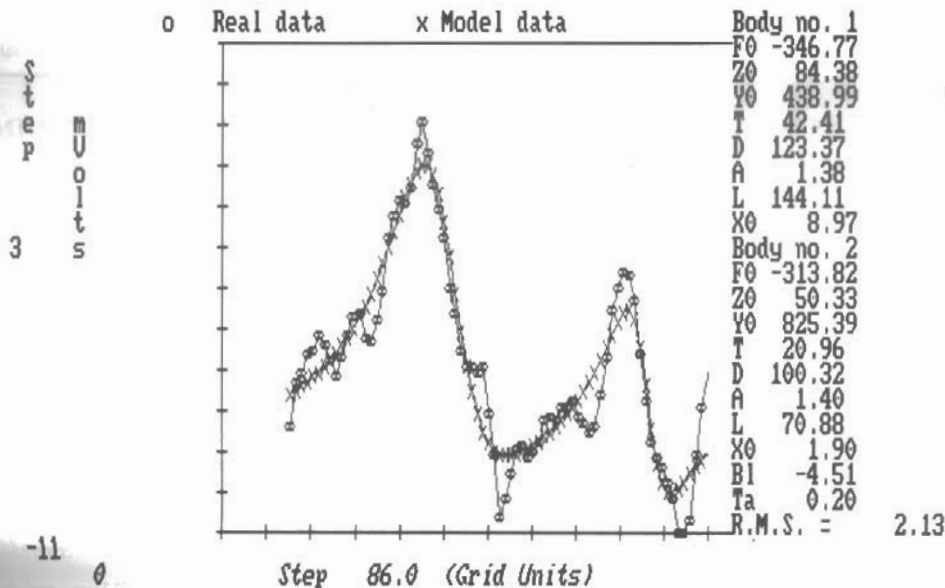
όπου m η πόλωση του σώματος, και προκύπτει η απλή σχέση

$$h = \frac{d}{2\sqrt{2}},$$

όπου d η απόσταση μεταξύ μεγίστου και ελαχίστου. Βρέθηκε έτσι ένα βάθος 60m περίπου, όσον αφορά την κυρία ανωμαλία (στα 400m από την βάση).

Το πρόγραμμα SPIN δίνει την δυνατότητα για ταυτόχρονη ερμηνεία δύο ανωμαλιών φυσικού δυναμικού (με μοντελοποίηση δύο σωμάτων). Συγκρίνοντας την πειραματική (δεδομένων) με την θεωρητική (μοντέλου) καμπύλη μετά από 10 επαναλήψεις, για τις θέσεις 13-86 (μεταξύ 132 και 935m), προκύπτουν τα αποτελέσματα που φαίνονται στο σχήμα 5.

Η ταύτιση είναι ικανοποιητική, οπότε το αντίστοιχο δισδιάστατο μοντέλο (σχ. 6) μπορεί να γίνει αποδεκτό. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, οι πηγές των ανωμαλιών SP προσδιορίζονται στα 439 και 826m από την αρχή της τομής (βάση), δηλαδή μεταξύ P8-P7 και P7-P1, πράγμα που ταιριάζει με τις θέσεις των πλευρικών διαφοροποιήσεων, οι οποίες παρατηρούνται στα αποτελέσματα των γεωηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων. Απομένει να συσχετισθούν τα μοντέλα με πιθανές ζώνες ροής υδάτων στο υπέδαφος της περιοχής, που να συμβαδίζουν με τον μηχανισμό γένεσης του φυσικού δυναμικού και με την γεωλογική δομή.



Σχήμα 5: Σύγκριση της θεωρητικής καμπύλης με την καμπύλη δεδομένων SP (μεταξύ 132 και 935m από την βάση μετρήσεων). Δίδονται τα χαρακτηριστικά των δύο μοντέλων πηγών, όπου F0 η πόλωση του φύλλου (σε mV), X0, Y0, Z0 οι θέσεις του μέσου της άνω ακμής αυτού ως προς τον άξονα της τομής SP, έναν άξονα κάθετο σε αυτόν και τον κατακόρυφο (βάθος) αντίστοιχα, T η απόσταση άνω και κάτω ακμής, L το μήκος ακμής, D η γωνία κλίσης, A η γωνία διεύθυνσης (ως προς τον άξονα x) και RMS το μέσο τετραγωνικό σφάλμα. Οι διαστάσεις δίνονται σε m και οι γωνίες σε μοίρες (η μονάδα στον οριζόντιο άξονα είναι τα 86m, ενώ στον κατακόρυφο τα 3mV). Για καλύτερη κατανόηση της γεωμετρίας βλ. σχ. 6.

Figure 5: Comparison of theoretical and observed SP curves (between 132 and 935m from base station). Each sheet is defined by the following parameters: polarization F0 (in mV), location (X0,Y0,Z0) of the middle of the upper acme, dimensions (T,L), strike A and dip D (dimensions in m, angles in °). For a better understanding of the geometry see fig. 6.

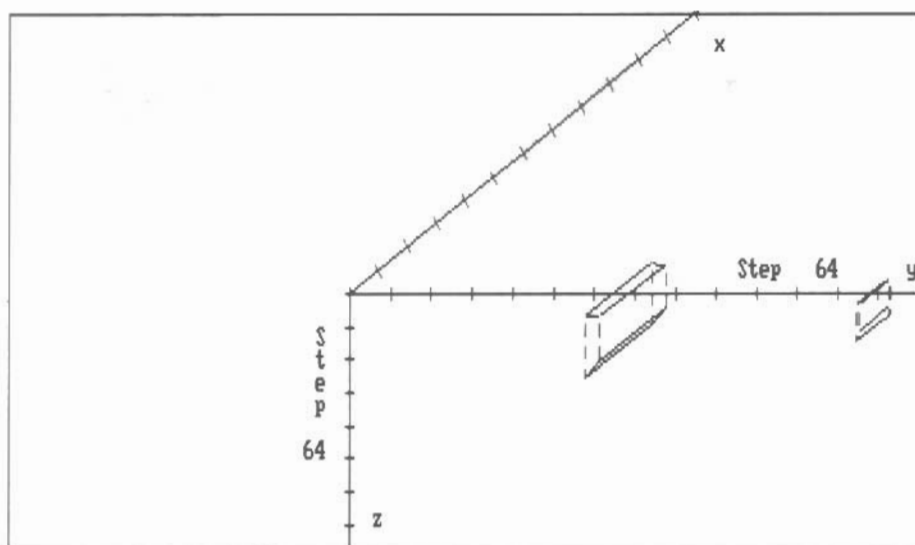
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ερμηνεία έδειξε ένα μοντέλο δύο πηγών δυναμικού, οι οποίες θεωρούνται ότι προέρχονται από φαινόμενα θερμοηλεκτρικού ή/και ηλεκτροκινητικού μηχανισμού παραγωγής και άρα μπορούν να συσχετισθούν με την συνέχεια ρηγμάτων στην περιοχή, δηλαδή με την παρουσία ανοδικής ή καθοδικής ροής νερού.

Στην πρώτη γεωηλεκτρική τομή (P1-P8) παρατηρείται μια μετατόπιση προς τα κάτω του υποβάθρου (85 Ωm) στην θέση της βυθοσκόπησης P7. Αυτό συμφωνεί με την δεύτερη τομή (P6-P3) όπου παρατηρείται μετατόπιση στην P6 ως προς την P5 και στην P4 ως προς την P3. Συνδυάζοντας τα στοιχεία αυτά οδηγούμαστε σε δύο πιθανά ίχνη ρηγμάτων διεύθυνσης Α-Δ (σημειωμένα στον χάρτη του σχ. 1 ως F1' και F1'').

Το νοτιότερο από αυτά (F1') ενδέχεται να αποτελεί προέκταση του ρήγματος F1 που διακρίνεται στο δυτικό άκρο του χάρτη, ενώ το F1'' είναι ίσως κάποια άλλη προς βορράν παράλληλη διάρρηξη. Επιπλέον, συγκρίνοντας τις δύο τομές μεταξύ τους, παρατηρούμε μία διαφοροποίηση ως προς την αντίσταση του βαθύτερου στρώματος (η οποία φαίνεται καλύτερα σε εγκάρσιες τομές). Μία εξήγηση γι' αυτήν την διαφοροποίηση μπορεί να είναι η πιθανή προέκταση του ρήγματος F2 που εμφανίζεται στα νότια, μεταξύ των δύο τομών και παράλληλα προς αυτές. Θα έπρεπε όμως να διεξαχθεί μια τομή SP με διεύθυνση Α-Δ (κάθετα στο ρήγμα και την διεξαχθείσα τομή), ώστε να ενισχυθεί ή μη αυτή η άποψη και να εντοπισθεί η πιθανή ροή νερού δια μέσου της διάρρηξης αυτής.

Τελειώνοντας, αξίζει να σημειωθεί ότι τα γεωφυσικά και γεωλογικά δεδομένα ήταν αρκετά περιορισμένα. Παραταύτα, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι με κατάλληλη επεξεργασία και συνδυασμό των στοιχείων δύο ή περισσότερων γεωφυσικών μεθόδων είναι δυνατόν να εξαχθούν αξιόπιστα συμπεράσματα, όσον αφορά τη δομή της περιοχής και την υδρογεωλογική συμπεριφορά της. Κατ' αυτόν τον τρόπο μπορεί να υποδειχθεί η θέση και το βάθος μιας φηφική Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" Τμήμα Πεωλολογίας Α.Π.Θ.



Σχήμα 6: Τριδιάστατη αναπαράσταση των θεωρητικών μοντέλων των δύο πολωμένων φύλλων - πηγών (μονάδα αξόνων: 64 m).

Figure 6: 3D-Representation of the two polarized sheet models (axes unit: 64 m).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- FITTERMAN, D. V. 1979: Calculations of self-potential anomalies near vertical contacts. *Geophysics*, v. **44**, p. 195-205.
- FITTERMAN, D. V. 1984: Thermoelectrical self-potential anomalies and their relationship to the solid angle subtended by the source region. *Geophysics*, v. **49**, p. 165-170.
- ISHIDO, T. & MIZUTANI, H. 1981: Experimental and theoretical basis of electrokinetic phenomena in rock-water systems and its applications to geophysics. *Journal of Geophysical Research*, v. **86**, pp. 1763-1775.
- JANSEN, J., ZORICH T. & ASSOC., 1995: Spontaneous Potential Surveys Around Pumping Wells. *Proceedings, Symposium on the Application of Geophysics to Environmental and Engineering Problems, Orlando, Apr. 1995*, pp. 865-869.
- ΜΥΛΩΝΑΚΗΣ, Ι. 1991: Γεωλογικός Χάρτης Ελλάδος 1:50000, Φύλλο Πέραμα. *ΙΓΜΕ*
- ΝΙΚΟΛΑΟΥ, Σ., ΝΙΚΟΛΑΟΥ, Ν. & ΣΥΝΕΡΓΑΤΑΙ 1996: Γεωηλεκτρική έρευνα κοινότητας Πηγής Ν. Κρήτης. Έκθεση ΙΓΜΕ υπ. αριθ. Ε7638.
- ΝΟΥΤΣΗΣ, Β. & ΣΚΙΑΝΗΣ, Γ. 1987: SPIN: πρόγραμμα σε BASIC για ποσοτική ερμηνεία δεδομένων φυσικού δυναμικού. Έκθεση ΙΓΜΕ υπ. αριθ. Ε5036.
- OGILVY, A. A., AYED, M. A. & BOGOSLOVSKY, V. A. 1969: Geophysical studies of water leakages from reservoirs. *Geophysical Prospecting*, v. **17**, p. 36-61.
- SCHIAVONE, D. & QUARTO, R. 1984: Self-potential prospecting in the study of water movements. *Geoexploration*, v. **22**, p. 47-56.
- ΣΚΙΑΝΗΣ, Γ. ΑΙ. & ΒΑΪΟΠΟΥΛΟΣ, Δ. 1998: Ένα φίλτρο αναγωγής ανωμαλιών φυσικού δυναμικού (ηλεκτρικού δυναμικού) σε ομογενές μέσο. *Συνέδριο Ακουστικής Τεχνολογίας, Σχολή Δοκίμων, Δεκ. 1998* (15 σελ.).
- SKIANIS, G., VAIΟPOYLOS, D. & PΑPADOPOYLOS, T. 1998: Quantitative interpretation of thermo-electrical self-potential anomalies due to a dipping sheet-like structure. *Proceedings, 4th EEGS Meeting, Barcelona, Sept. 1998*, pp. 845-848.