

ΜΕΡΟΣ ΤΡΙΤΟ :

1-Έναρξη υπαίθριων μαγνητοτελλουρικών μετρήσεων στην ευρύτερη περιοχή του ρήγματος της Αταλάντης σε συνεργασία με την ερευνητική ομάδα του Παν/μιου της Ουψάλλα.

Η εκτέλεση των άνωθεν εργασιών εντάσσονται πλήρως στην φάση Β, Γ, Δ του χρονοδιαγράμματος.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

1	Εισαγωγή	3
2	Συλλογή Δεδομένων	3
2.1	Θέσεις Έρευνας.....	3
2.2	Έλεγχος Ποιότητας	4
2.3	Συλλογή MT Δεδομένων	5
2.3.1	Όργανα.....	5
2.3.2	Θέση Απομακρυσμένου Σταθμού.....	6
2.3.3	Δοκιμή Παράλληλων Φωρατών	6
2.3.4	Προετοιμασία του σταθμού και τοποθέτηση στο ύπαιθρο	6
2.3.5	Ημερήσια Λειτουργία	7
3	Επεξεργασία των Δεδομένων	7
3.1	Παρουσίαση Αποτελεσμάτων.....	8
4	Ερμηνεία Αποτελεσμάτων.....	8
4.1	Τομή Α.....	9
4.2	Τομή C	9
4.3	Τομή D.....	10
5	Βιβλιογραφία	13

1 Εισαγωγή

Η παρούσα έκθεση αναφέρεται στις μαγνητοτελλουρικές (MT) καταγραφές που έγιναν στα πλαίσια του ερευνητικού έργου με τίτλο «Διερεύνηση της Γεωηλεκτρικής Δομής του Ρήγματος της Αταλάντης με την μέθοδο της Μαγνητοτελλουρικής Διασκόπησης». Το πρώτο μέρος της έκθεσης αναφέρεται στην συλλογή των δεδομένων ενώ το δεύτερο στην επεξεργασία και ερμηνεία των δεδομένων.

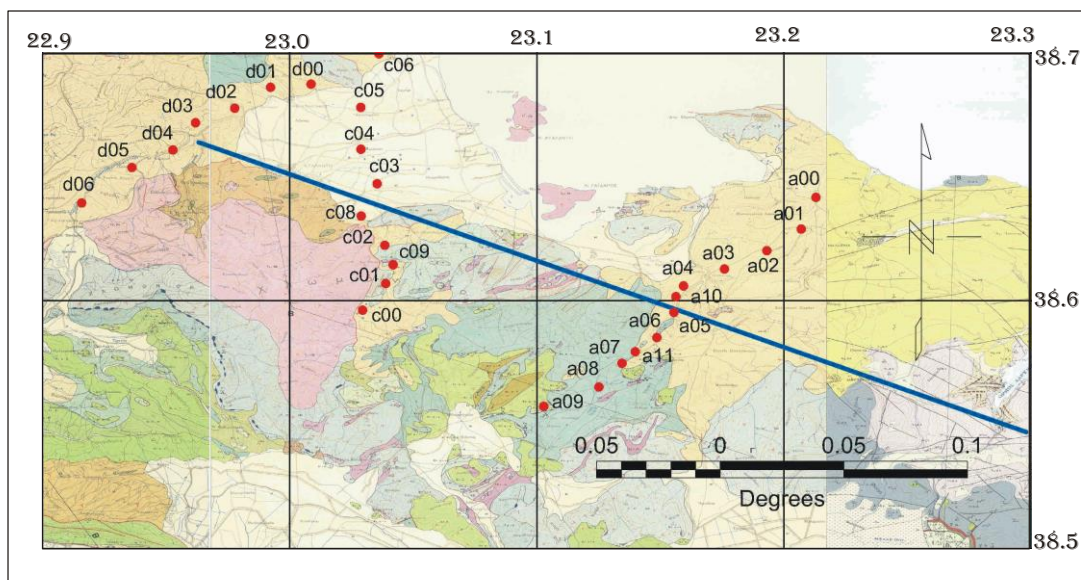
2 Συλλογή Δεδομένων

Η συλλογή των δεδομένων κατά την διάρκεια αυτού του προγράμματος συμπεριλαμβάνει είκοσι οκτώ (28) βυθοσκοπήσεις στην περιοχή της Αταλάντης (Σχήμα 1). Το συνεργείο υπαίθρου έφτασε στον χώρο έρευνας στις 25 Σεπτεμβρίου 2002 και απομακρύνθηκε από τον χώρο στις 07 Οκτωβρίου 2002. Τα όργανα παρελήφθησαν και απεστάλησαν πίσω στην Σουηδία από την ομάδα κατά τις ίδιες ημερομηνίες. Η ομάδα υπαίθρου αποτελούνταν από τρία άτομα.

2.1 Θέσεις Έρευνας

Κατά την προετοιμασία για τις εργασίες υπαίθρου έγινε αξιολόγηση των γεωλογικών, σεισμοτεκτονικών και δορυφορικών φωτογραφιών που ήταν διαθέσιμες στην ερευνητική ομάδα. Σύμφωνα με τα στοιχεία αυτά έγινε επιλογή τριών τομών (A, C, D) κατά μήκος των οποίων θα γινόταν μαγνητοτελλουρικές διασκοπήσεις.

Η αναγνώριση των θέσεων των σταθμών γινόταν λίγο πριν την εγκατάσταση. Η όδευση στις πιθανές θέσεις γινόταν με την χρήση GPS χειρός και την χρήση τοπογραφικών χαρτών της περιοχής. Οι θέσεις των σταθμών, δίνονται στον Πίνακα 1 και παρουσιάζονται στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1. Γεωλογικός χάρτης όπου δίνονται οι θέσεις των σταθμών καθώς και το σεισμοτεκτονικό ρήγμα όπως δίνετε από τον Παπαζάχο και τους συνεργάτες του, 2002.

2.2 Έλεγχος Ποιότητας

Διαδικασίες ελέγχου ποιότητας γινόταν σε κάθε στάδιο κατά την διάρκεια της συλλογής των δεδομένων. Το συνεργείο υπαίθρου κατέγραφε την κατάσταση των οργάνων σε ημερήσια βάση και διατηρούσε αρχείο υπαίθρου με τα ακόλουθα στοιχεία:

Περιγραφή της θέσης μαγνητοτελλουρικής διασκόπησης: όνομα πειράματος, όνομα χειριστή, καιρικές συνθήκες, συντεταγμένες θέσεων, μήκη τελλουρικών γραμμών και αξιμούθια, αντιστάσεις επαφής, σειριακοί αριθμοί φωρατών και καταγραφικών.

Περαιτέρω έλεγχος ποιότητας γινόταν στον γραφείο υπαίθρου.

Πίνακας 1. Αρχείο υπαίθρου με στοιχεία όπως, ημερομηνία (Date), ιουλιανή ημέρα (Jday), όνομα σταθμού (Station), γεωγραφικό πλάτος (Lat), γεωγραφικό μήκος (Lon), μήκη τελλουρικών διπόλων (Ex, Ey), σειριακοί αριθμοί μαγνητομέτρων (Hx, Hy) και καταγραφικού (Log).

Contractor:	NATIONAL OBSERVATORY OF ATHENS												
Survey:	ATALANTI												
Participants:	National Observatory of Athens & University of Uppsala												
Start Date / End Date:			25/9/2002	6/10/2002	Total number of Days		12						
Project Title:	Inspection of the Geoelectrical Structure of the Atalanti Fault												
	with the Magnetotelluric (MT) method												
Field Group:	Alexandros Savvaidis			Institute of Engineering Seismology and Earthquake Engineering									
	Maxim Smirnov			University of Uppsala									
	Antonis Papardoukakis			National Observatory of Athens									
Date	WeekD	Jday	Station	Lat	Lon	Ex	Ey	Hx	Hy	Log			
26/9/2002	Thursday	269	a00	38,6418	23,212917	66	50	19	20	1			
			b00	38,6418	23,212917	66	50	01	02	2			
27/9/2002	Friday	270	a03	38,612916	23,175867	89	90	01	02	3			
			a08	38,565316	23,125067	90	90	03	22	2			
			c00	38,5963	23,029467	90	90	19	20	1			
28/9/2002	Saturday	271	a05	38,595433	23,155433	56,5	54	01	02	3			
			a09	38,5575	23,102783	90	91	03	22	2			
			c03	38,647333	23,03535	90	90	19	20	1			
29/9/2002	Sunday	272	a06	38,58525	23,148533	90	90	01	02	3			
			c02	38,622483	23,03845	90	90	03	22	2			
			c04	38,661217	23,0288	93	90	19	20	1			
30/9/2002	Monday	273	a07	38,57489	23,13441	73	71	01	02	3			
			c08	38,6343	23,0289	91	91	03	22	2			
			a02	38,62031	23,19304	90	91	19	20	1			
1/10/2002	Tuesday	274	a04	38,60608	23,15932	89	90	19	20	1			
			c01	38,60706	23,0388	92	90	01	02	3			
2/10/2002	Wendsday	275	d01	38,68625	22,9922	67	50,5	01	02	3			
			d03	38,67193	22,96187	82	80	03	22	2			
			a01	38,62905	23,20694	80	79	19	20	1			
3/10/2002	Thursday	276	c09	38,61461	23,04183	81	58	19	20	1			
			d04	38,66098	22,95272	61,5	47,5	03	22	2			
			d00	38,68751	23,0086	74,5	46	01	02	3			
4/10/2002	Friday	277	c06	38,69976	23,03608	73	92	19	20	1			
			d02	38,67781	22,97771	88	91	01	02	3			
			d05	38,65389	22,93614	92	89	03	22	2			
5/10/2002	Saturday	278	c05	38,67813	23,0287	88	90	19	20	1			
			a10	38,60173	23,15625	65,5	52,5	03	22	2			
			a11	38,57955	23,13978	86	91	01	02	3			
6/10/2002	Saturday	279	d06	38,63956	22,91579	90	87,5	19	20	1			

2.3 Συλλογή MT Δεδομένων

2.3.1 Όργανα

Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για την συλλογή των δεδομένων ήταν τα καταγραφικά της Earth Data (24 bit, 6 channels) με μαγνητόμετρα της Metronix. Μη-πωλούμενα ηλεκτρόδια μολύβδου-χλωριούχου μολύβδου χρησιμοποιήθηκαν για την καταγραφή του ηλεκτρικού πεδίου. Στο ύπαιθρο χρησιμοποιήθηκαν τρία σετ οργάνων όπου το κάθε σετ περιελάμβανε δύο τελλουρικές γραμμές και δύο μαγνητόμετρα οριζόντια τοποθετημένα κατά διευθύνσεις βορρά-νότου και ανατολή-δύση.

2.3.2 Θέση Απομακρυσμένου Σταθμού

Η τεχνική χρήσης απομακρυσμένου σταθμού χρησιμοποιήθηκε σε όλη την διάρκεια του πειράματος. Αυτή η τεχνική επιβάλλει έναν από τους σταθμούς να είναι σε 'ήσυχη θέση', με το μαγνητικό πεδίο να μην διαταράσσεται από ανθρωπογενής πηγές. Για τον λόγο αυτό κατά την διάρκεια των τριών ταυτόχρονων μετρήσεων κάθε βράδυ τουλάχιστον ένας από τους τρεις σταθμούς βρισκόταν μακριά από την ακτογραμμή, τα τοπικά αστικά κέντρα και την εθνική οδό.

Στην περιοχή έρευνας δεν είχαμε παρεμβολές από ανθρωπογενής πηγές θορύβου. Για τον λόγο αυτό και χρονικά διαστήματα λίγων ωρών ήταν αρκετά για την επεξεργασία των χρονοσειρών και τον υπολογισμό των καμπυλών φαινόμενης ειδικής αντίστασης με την συχνότητα, για τις υψηλές συχνότητες, από έναν σταθμό χωρίς την χρήση των δεδομένων του απομακρυσμένου σταθμού.

2.3.3 Δοκιμή Παράλληλων Φωρατών

Πριν την έναρξη των εργασιών υπαίθρου, όλοι οι φωρατές ελέγχθηκαν αφού τοποθετήθηκαν παράλληλα και έγινε ταυτόχρονη καταγραφή. Τα μαγνητόμετρα θάφτηκαν σε βάθος 50 εκατοστών οριζόντια. Οι συνάφειες μεταξύ ζεύγη φωρατών ήταν μεγαλύτερες από 0.9 για συχνότητες από 100-0.001 Hz. Οι συναρτήσεις μετασχηματισμού έδωσαν πλάτος 1.0 και φάση 0° για το ίδιο παράθυρο συχνοτήτων. Εάν και αυτό δεν δείχνει ότι η βαθμονόμηση είναι σωστή σε απόλυτες τιμές δείχνει ότι όλοι οι φωρατές έχουν σύμφωνη βαθμονόμηση και λειτουργούν σωστά.

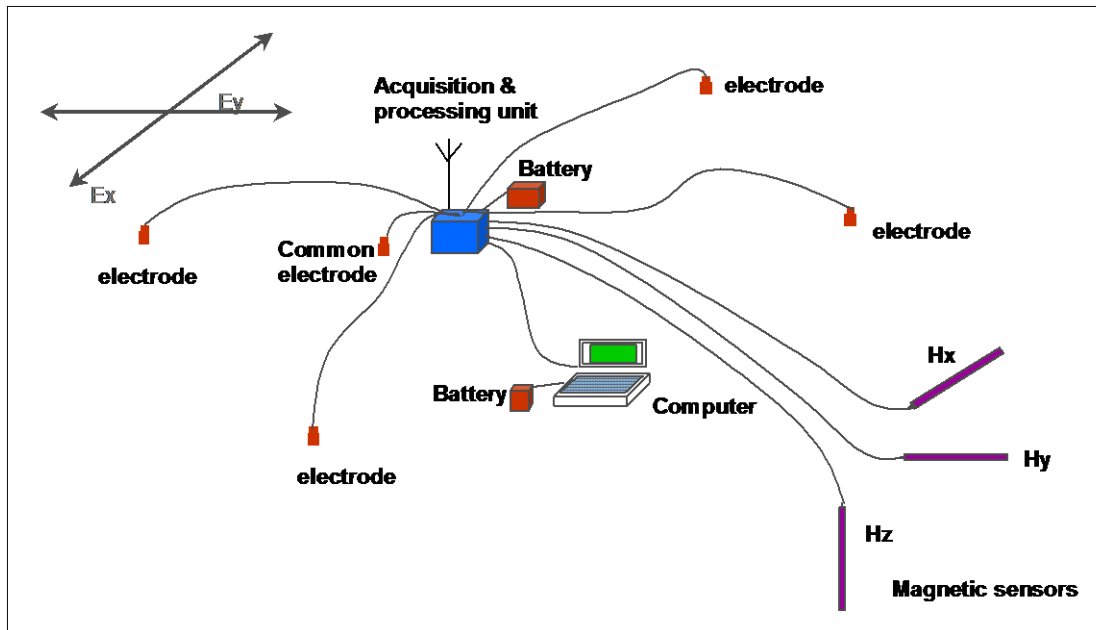
2.3.4 Προετοιμασία του σταθμού και τοποθέτηση στο ύπαιθρο

Χαντάκια βάθους 30 εκατοστών προετοιμαζόταν κάθε φορά για να θάψουμε τα οριζόντια πηνία (μαγνητόμετρα), για να μειωθεί η κίνηση από αέρα και να υπάρχει θερμική σταθερότητα. Ο εκάστοτε χειριστής μετρούσε τις αντιστάσεις επαφής μεταξύ των δίπολων και τα κατέγραφε μαζί με τους σειριακούς αριθμούς των πηνίων και των καταγραφικών. Η χρήση μεγάλης διατομής, πολλών χαλκών τελλουρικών καλωδίων, βοήθησε στην ελαχιστοποίηση του θορύβου στις μετρήσεις του ηλεκτρικού πεδίου.

Τα μαγνητόμετρα τοποθετούνταν σε απόσταση 7-10 μέτρα από το καταγραφικό, το μήκος των δίπολων ήταν στις περισσότερες περιπτώσεις μεταξύ 90 και 100 μέτρων, και οι διευθύνσεις x, y, τοποθέτησης των φωρατών/δίπολων ήταν B-N και A-Δ. Ένας υπολογιστής ήταν συνδεδεμένος στο καταγραφικό για την προετοιμασία της καταγραφής και την μεταφορά δεδομένων (Σχήμα 2).

Πριν την κύρια καταγραφή γινόταν μια δοκιμαστική καταγραφή για μερικά λεπτά. Γινόταν έλεγχος των χρονοσειρών και έτσι γινόταν έλεγχος της σωστής λειτουργίας των οργάνων και της ποιότητας των δεδομένων.

Όταν ο χειριστής ήταν ικανοποιημένος με την εγκατάσταση ξεκινούσε την κύρια καταγραφή η οποία διαρκούσε από την χρονική στιγμή που η ομάδα απομακρυνόταν από τον σταθμό μέχρι την ώρα που η ομάδα επισκεπτόταν τον σταθμό την επόμενη μέρα. Η καταγραφή των δύο συνιστωσών του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου γινόταν σε ένα συχνοτικό παράθυρο και με βήμα δειγματοληψίας 512 σημεία το δευτερόλεπτο.



Σχήμα 2. Διάγραμμα διάταξης MT σταθμού στο ύπαιθρο.

2.3.5 Ημερήσια Λειτουργία

Κάθε πρωί γινόταν έλεγχος των αποτελεσμάτων της επεξεργασίας των δεδομένων που γινόταν την προηγούμενη νύχτα. Ανάλογα με την ποιότητα των δεδομένων, γινόταν οι απαραίτητες αλλαγές στο ημερήσιο πρόγραμμα για τη βελτιστοποίηση της χρήσης των οργάνων. Τα αποτελέσματα της επεξεργασίας μεταφερόταν στον λογισμικό όπου γινόταν ερμηνεία των χαρακτηριστικών του κάθε σταθμού και γινόταν η πρώτη προσπάθεια μονοδιάστατων και δυσδιάστατων γεωηλεκτρικών μοντέλων.

Ανάλογα από τα αποτελέσματα της παραπάνω ερμηνείας γινόταν ο σχεδιασμός για την τοποθέτηση των νέων σταθμών στο ύπαιθρο. Στην συνέχεια η ομάδα ξεκινούσε για την απεγκατάσταση των σταθμών που κατέγραφαν κατά την διάρκεια της νύχτας και την εγκατάσταση των οργάνων σε νέες θέσεις. Ακολουθούσε η εγκατάσταση κάθε σταθμού. Τέλος αφού η ομάδα επέστρεφε στο γραφείο υπαίθρου γινόταν μεταφορά των δεδομένων και σε ένα δεύτερο σκληρό δίσκο καθώς και αποθήκευση σε ψηφιακό μέσο (CD-ROM). Στην συνέχεια ξεκινούσε η επεξεργασία των νέων δεδομένων η οποία διαρκούσε όλη νύχτα.

3 Επεξεργασία των Δεδομένων

Για την επεξεργασία των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό “uppspro-run” σε περιβάλλον LINUX (Smirnov 2002, in press). Πρώτα γινόταν έλεγχος των χρονοσειρών για τον πιθανό επηρεασμό των δεδομένων από θόρυβο, όπου η επιρροή των πηγών κοντινού πεδίου θα ήταν έντονη και εμφανής. Στην συνέχεια γινόταν αποδεκατισμός των δεδομένων για την δημιουργία δεδομένων για παράθυρα χαμηλών συχνοτήτων. Ακολουθούσε επεξεργασία των δεδομένων κάθε παραθύρου ξεχωριστά και στο τέλος

ένωση των αποτελεσμάτων για την δημιουργία μίας ενιαίας καμπύλης φαινόμενης ειδικής αντίστασης με την συχνότητα.

3.1 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

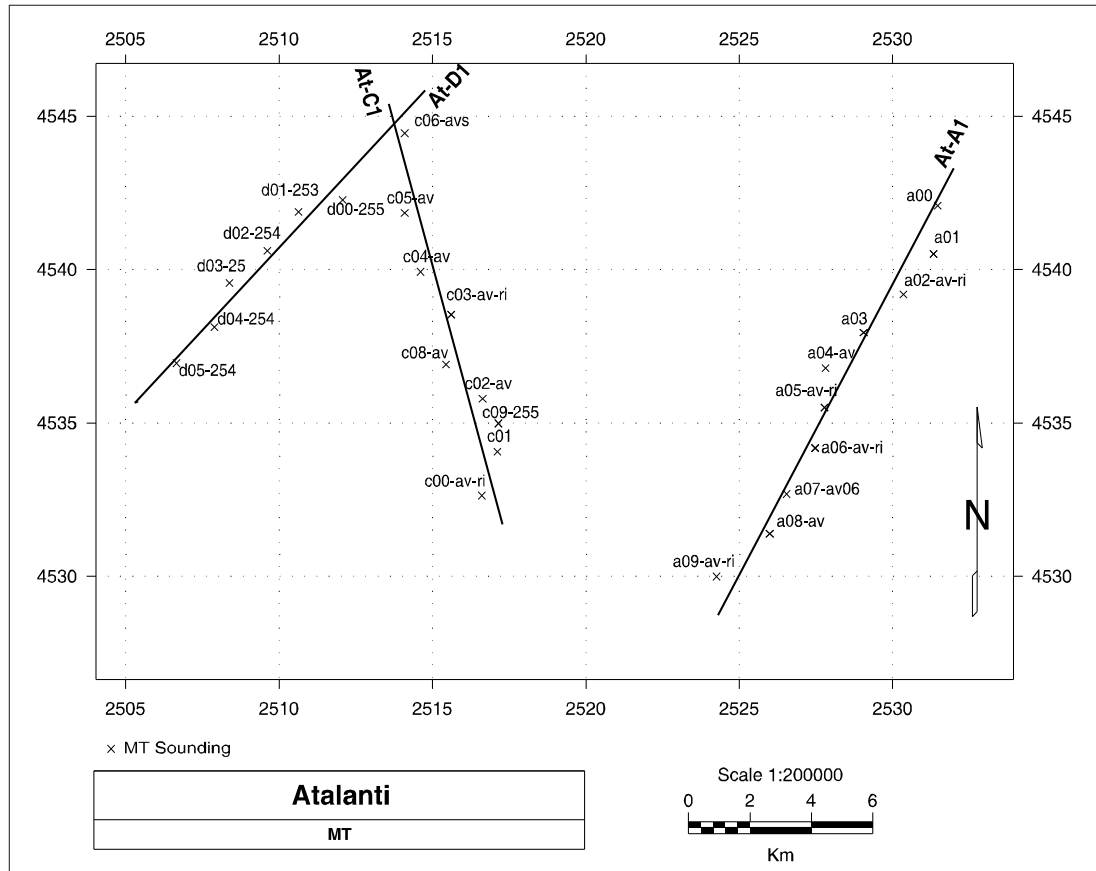
Οι MT παράμετροι που υπολογίστηκαν δίνονται στο Παράρτημα Α. Τα διαγράμματα για κάθε θέση περιέχουν τις παρακάτω διερμηνεύτηκες παραμέτρους, αφού έχει γίνει στροφή του τανυστή εμπέδησης στους κύριους άξονες:

- φαινόμενη ειδική αντίσταση, ρ_{xy} και ρ_{yx} ,
- φάση ϕ_{xy} και ϕ_{yx} ,
- στροφή εμπέδησης και κλίση
- λοξότητα και ελλειπτικότητα εμπέδησης,
- έλλειψη πόλωσης εμπέδησης

Η στροφή είναι κυρίως στην διεύθυνση των κύριων αξόνων. Αυτό θεωρεί ότι τα δεδομένα είναι δυσδιάστατα. Αυτό συμβαίνει στην περιοχή για τους σταθμούς των τομών Α και C. Μια ομαλή καμπύλη υπολογίστηκε από την D+ συνάρτηση (Beamish and Travassos, 1992), και προσαρμόστηκε στα δεδομένα.. Δεδομένα που είναι από γεωφυσικής πλευράς αληθοφανή πρέπει να ακολουθούν αυτήν την καμπύλη

4 Ερμηνεία Αποτελεσμάτων

Για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων χαράχτηκαν τρεις τομές κατά μήκος των σταθμών όπως δίνονται στο Σχήμα 2.



Σχήμα 2. Χάρτης με τις θέσεις των σταθμών καθώς και των τριών τομών A (At-A1), C (At-C1) και D (At-D1).

4.1 Τομή A

Η τομή A αποτελεί την Ανατολικότερη τομή. Περιέχει 12 σταθμούς από τους οποίους οι 10 δίνονται διότι τα δεδομένα των άλλων δύο σταθμών δεν ήταν αξιόλογα. Στους δέκα αυτούς σταθμούς όπως παρουσιάζετε από την λοξότητα της εμπέδησης έχουμε δυσδιάστατα δεδομένα ($Z_{\text{skew}} < 0.2$), εκτός από τον σταθμό a04 όπου δίνετε οριακά μία μορφή πιθανά τρισδιάστατη όπως όμως επιβεβαιώνετε και από τα πολικά διαγράμματα όπου η εμπέδηση $Z_{xx} > Z_{xy}$ για συχνότητες μικρότερες των 10 Hz. Χρησιμοποιώντας τα πολικά διαγράμματα ορίστηκαν οι πολώσεις TE και TM για τις διευθύνσεις yx και xy για κάθε σταθμό ξεχωριστά. Δυστυχώς το γεωηλεκτρικό μοντέλο που υπολογίστηκε δεν θεωρήθηκε αξιόπιστο και για τον λόγο αυτό δεν παρουσιάζετε στην παρούσα έκθεση.

4.2 Τομή C

Η τομή C αποτελεί την κεντρική και κύρια τομή της περιοχής έρευνας. Περιέχει 9 σταθμούς. Η λοξότητα παρουσιάζει κυρίως δυσδιάστατα δεδομένα εκτός από τον σταθμό c04 όπου η λοξότητα έχει υψηλές τιμές, στοιχείο που δικαιολογείται και από την

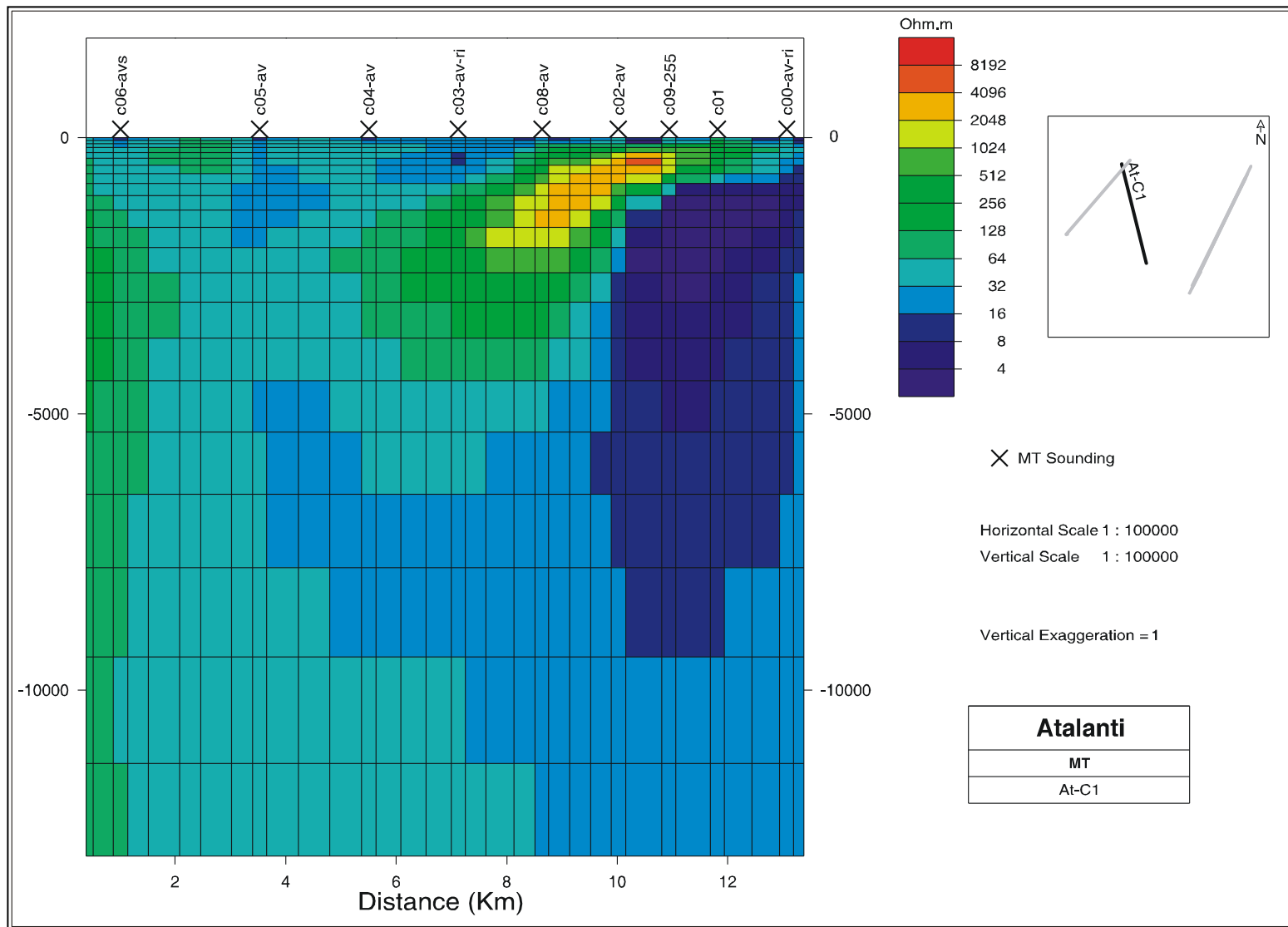
καμπύλη φαινόμενης ειδικής αντίστασης στην διεύθυνση γχ (TE). Από τα διαγράμματα πόλωσης δίνετε το ίχνος του ρήγματος μεταξύ των σταθμών c08 και c03. Ανάλογα ορίζονται οι πολώσεις TE και TM. Η παράταξη του ρήγματος όπως δίνετε από τα διαγράμματα πόλωσης του σταθμού c03 για τις χαμηλότερες συχνότητες (οι υψηλές συχνότητες επηρεάζονται από τα επιφανειακά στρώματα) είναι μεταξύ 295-285°.

Στην συνέχεια ακολούθησε εφαρμογή μεθόδου αντιστροφής στα MT δεδομένα της τομής και το γεωηλεκτρικό μοντέλο δίνεται στο Σχήμα 3. Αντιστράφηκαν τα δεδομένα και των δύο πολώσεων (TE και TM) και το RMS είναι 1.8. Η κλίση που δίνετε από το γεωηλεκτρικό μοντέλο είναι μεταξύ 30-40°.

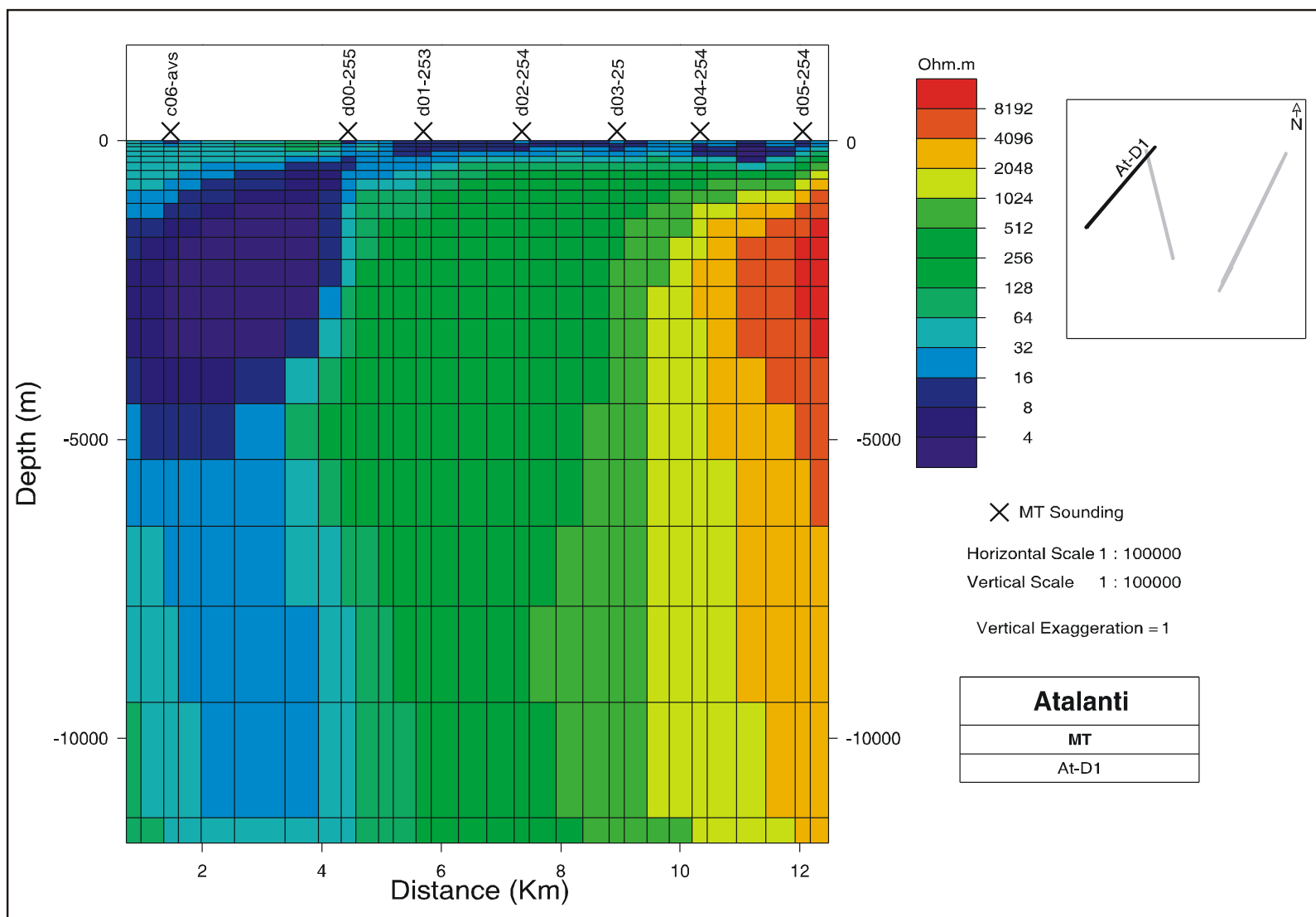
4.3 Τομή D

Η τομή D αποτελεί την Δυτικότερη τομή και ο κύριος στόχος της ήταν να χαρτογραφήσουμε το βόρειο-δυτικό άκρο του ρήγματος. Σύμφωνα με τα σεισμοτεκτονικά στοιχεία (Παπαζάχος και συνεργάτες, 2002) το ρήγμα της Αταλάντης θα πρέπει να έχει τελειώσει στην θέση της τομής D. Όπως φαίνεται από τις τιμές της λοξότητας της εμπέδησης είμαστε σε ένα δυσδιάστατο περιβάλλον. Οι σταθμοί που βρίσκονται στην περιοχή που πιθανά θα έχουμε απόληξη του ρήγματος προς τα ΒΔ, d02-d05, δείχνουν ότι στις χαμηλές συχνότητες έχουμε απόσπαση της καμπύλης TE από την TM, στοιχείο που δείχνει ότι σε μεγαλύτερα βάθη βρισκόμαστε σε πολύ κοντά στα όρια ενός ρήγματος. Από την άλλη πλευρά όμως οι τιμές του στοιχείου Z_{xx} του τανυστή εμπέδησης όπως δίνετε από τα διαγράμματα πόλωσης είναι αρκετά υψηλές για τις χαμηλές συχνότητες, στοιχείο τρισδιάστατης δομής. Θεωρούμε λοιπόν ότι για να διευκρινισθεί σαφέστερα ο προβληματισμός όσον αφορά το ΒΔ όριο του ρήγματος θα πρέπει να γίνουν και άλλες MT διασκοπήσεις ΒΔ και ΝΑ από την τομή D.

Παρότι υπάρχουν αμφιβολίες όσον αφορά την απόληξη του ρήγματος στην τομή D, δίνετε στο Σχήμα 4, δυσδιάστατο γεωηλεκτρικό μοντέλο το οποίο έχε $RMS=2.4$, αρκετά χαμηλό όπως φαίνεται από την ταύτιση των θεωρητικών με τις πειραματικές καμπύλες και για τις δύο πολώσεις, TE και TM. Το πιθανό ίχνος του ρήγματος δίνετε μεταξύ των σταθμών d04 και d05, και έχει κλίση 30°. Εάν όμως θεωρήσουμε ότι το γεωηλεκτρικό μοντέλο στα ανώτερα στρώματα δεν αντιπροσωπεύει την πραγματικότητα διότι η παράταξη που δίνετε για τα ανώτερα στρώματα από τα πολιά διαγράμματα είναι διαφορετική από ότι στα κατώτερα στρώματα τότε η κλίση που δίνετε είναι 50°. Θα θέλαμε να επισημάνουμε ότι το αποτέλεσμα αυτό είναι υπό αμφισβήτηση διότι θεωρούμε ότι βρισκόμαστε σε ένα δυσδιάστατο επιφανειακό μοντέλο διαφορετικής παράταξης από ότι το βαθύτερο δυσδιάστατο γεωηλεκτρικό μοντέλο.



Σχήμα 3. Γεωηλεκτρικό μοντέλο τομής C (At-C1)



Σχήμα 4. Γεωηλεκτρικό μοντέλο τομής D (At-D1)

5 Βιβλιογραφία

- | | | |
|--|------|--|
| Beamish, D., and Travassos, J. | 1992 | The use of D+ in Magnetotelluric interpretation: <i>J. Appl. Geophys</i> 29, 1-19. |
| Παπαζάχος Β.Κ., Β.Κ.,
Μουντράκης, Δ.Μ., Παπαζάχος,
Κ.Β., Τρανός, Μ.Δ.,
Καρακάϊσης, Γ.Φ., και
Σαββαΐδης, Α.Σ. | 2001 | Τα ρήγματα που προκάλεσαν τους γνωστούς ισχυρούς σεισμούς στην Ελλάδα και τη γύρω περιοχή από τον 5 ^ο αιώνα π.Χ. μέχρι σήμερα |