

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΣΤΗ ΠΡΟΣΦΑΤΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ  
ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ

Δημητρόπουλος,Κ.\* και Λάγιος,Ε.\*\*

\* ΔΕΠ-ΕΚΥ ΑΕ, Κηφισίας 199, Αθήνα 151 24.

\*\* Τομέας Γεωφυσικής-Γεωθερμίας, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα 15784.

Π Ε Ρ Ι Λ Η Ψ Η

Στον Ελληνικό χώρο, στον τομέα της Βαρυτομετρίας, γίνεται μνεία όχι μόνο των συμβατικών βαρυτομετρικών ερευνών, αλλά και των βαρυτομετρικών υψηλής ακριβείας (Μικροβαρυτομετρία), τα οποία έχουν επιτελεσθεί για διάφορους αντικειμενικούς σκοπούς στον Ελλαδικό Χώρο. Επίσης γίνεται αναφορά στις δραστηριότητες των βαρυτομετρικών δικτύων, μικρής και μεγάλης κλίμακας, καθώς και στην αξιοποίηση των μετρήσεων. Στον τομέα των μαγνητικών, αντίστοιχα γίνεται αναφορά σε διάφορες εργασίες μαγνητικών διασκοπήσεων από εδάφους και αέρος (αερομαγνητικά), αλλά και σε δραστηριότητες μέτρησης διαφόρων παραμέτρων του γεωμαγνητικού πεδίου. Στον διεθνή χώρο διαπιστώνεται μία τάση προς την χρησιμοποίηση των βαθμίδων των Πεδίων Δυναμικού, η οποία ακολουθεί την επίτευξη λειτουργικών συστημάτων καταγραφής και των τριών βαθμίδων. Δύο μέθοδοι ερμηνείας των τριων βαθμίδων είναι αυτές του Αναλυτικού Σήματος και της Αποσυνέλιξης κατά Euler. Συνεχίζεται η παραγωγή αλγορίθμων αντιστροφής, ενώ οι προσομοιώσεις γίνονται πλέον στις τρεις διαστάσεις. Εντυπωσιακή είναι η προσοχή που δόθηκε τα τελευταία χρόνια στην φύση και τις δυνατότητες αξιοποίησης των τιμών της Ανωμαλίας Bouguer. Ιδιαίτερα τονίζεται η επίδραση της πυκνότητας αναγωγής και της διαδικασίας τοπογραφικής διόρθωσης στον καθορισμό του ερμηνευτικού δυναμικού των τιμών Ανωμαλίας Bouguer.

A REVIEW OF RECENT EVOLUTION IN SURVEYING  
OF THE POTENTIAL FIELD METHODS

Dimitropoulos, K. and Lagios, E.

A B S T R A C T

The present paper deals with the developments of the Potential Field Methods in Applied Geophysics both in Greece and abroad. Worldwide a trend for the utilization of the three field gradients is recognised. This trend follows the development of air carried gravity and magnetic gradiometers in North America. Two methods for the exploitation of the gradient data, which seem to be promising, are utilising the theory of the analytic signal and the Euler homogeneity equation, respectively. Forward and inverse modelling are carried out in three dimensions and new algorithms are produced. It is interesting to note the attention paid by various authors, during the last years, on the nature and

exploitation capabilities of the Bouguer Anomaly gravity values and especially on the influence of the topographic correction procedure and the reduction density value on the reliability of the gravity anomalies. In Greece a new Hellenic Gravity Map has been produced and is under publication. The major activity during the recent years has been the establishment of gravity and magnetic networks for volcano monitoring activity and for the detection of earthquake precursors.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Εφαρμοσμένη Γεωφυσική, τα τελευταία 25-30 έτη στην Ελλάδα, έχει παρουσιάσει σημαντική πρόοδο σε όλους τους τομείς. Κατά την διάρκεια των ετών αυτών ιδρύθηκαν και συνεστήθηκαν νέοι φορείς, όπου η Γεωφυσική είχε να διαδραματίσει πρωτεύοντα ρόλο. Συγκεκριμένα εκτός από τον αναβαθμισμένο ρόλο του ΙΓΜΕ (πρώην ΕΘΙΓΜΕ), ιδρύθηκε η ΔΕΠ, το σημερινό ΕΚΘΕ, αλλά και Τομείς Γεωφυσικής στα Πανεπιστήμια της Πάτρας και Θεσσαλονίκης. Στην παρούσα εργασία γίνεται μιά αναδρομική αναφορά του έργου, το οποίο έχει επιτελεσθεί στην Ελλάδα, στις Δυναμικές Μεθόδους της Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής, κατά την διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών. Επίσης γίνεται αναφορά στις τελευταίες διεθνείς εξελίξεις και συζητούνται ορισμένες εργασίες που πιστεύεται ότι παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον.

## ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ

### 1. Βαρυτομετρική Μέθοδος

Οι πρώτες γεωφυσικές εργασίες, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια μεταλλευτικής έρευνας, ξεκινούν το 1958 (Βασιλειάδης 1993). Εκτοτε, ιδιαίτερα μετά την δεκαετία του '70, άρχισαν συστηματικές γεωφυσικές έρευνες στον Ελλαδικό χώρο. Οι βαρυτομετρικές εργασίες, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν στη Ελλάδα, κύρια από το ΙΓΜΕ, και από άλλους φορείς, παρουσιάζονται σε ειδική έκθεση (Βασιλειάδης, 1993). Οι κύριες κατηγορίες έρευνας των παραπάνω εργασιών είναι οι εξής:

- (i) Έρευνα Υδρογονανθράκων, (ii) Γεωθερμική Έρευνα, (iii) Μεταλλευτική Έρευνα.

Ο πρώτος Χάρτης Ανωμαλιών Βαρύτητας του Ελληνικού χώρου έγινε από το Ινστιτούτο Γεωφυσικής του Αμβούργου (ΙΓΑ) για λογαριασμό του ΙΓΜΕ (Μακρίσ 1977, Μακρίσ and Σταυρού 1984). Η προσπάθεια εκείνη την δεκαετία του '70, είχε ως αποτέλεσμα την ενωποίηση και ομογενοποίηση των στοιχείων όλων των μέχρι τότε βαρυτομετρικών διασκοπήσεων που έγιναν στον Ελλαδικό Χώρο από διάφορους φορείς (ΓΥΣ, ΙΓΜΕ κ.λ.π.).

Υστερα από πρόταση του Τομέα Γεωφυσικής - Γεωθερμίας του Πανεπιστημίου Αθηνών προς το ΙΓΜΕ το 1987, αποφασίσθηκε η εκπόνηση νέου, σύγχρονου χάρτη ανωμαλιών βαρύτητας του Ελληνικού χώρου, σε κλίμακα 1:500.000. Η νέα αυτή εκπόνηση θα συμπεριλάμβανε και τις νεώτερες βαρυτικές παρατηρήσεις, που είχαν στο μεταξύ συλλεχθεί από διάφορους φορείς, και ιδιαίτερα από τη

ΔΕΠ, ΙΓΜΕ και Πανεπιστήμια, κάλυπταν δε περιοχές κυρίως της Δυτικής και Κεντρικής Ελλάδας, όπως και μερικιών νησιών του Αιγαίου.

Δημιουργήθηκε μία σύγχρονη τράπεζα Βαρυτομετρικών Δεδομένων (Gravity Data Bank) στο Πανεπιστήμιο Αθηνών, σε συνεργασία με το Πανεπιστήμιο του Εδιμβούργου (Lagios et al., 1988), που περιλαμβάνει περισσότερους από 30.000 ελεγμένους σταθμούς. Γιά τον εν λόγω χάρτη τα δεδομένα στις θαλάσσιες περιοχές ελήφθησαν από τους χάρτες του Morelli (1975). Ο εκπονηθείς Χάρτης Βαρυτικών Ανωμαλιών του Ελλαδικού Χώρου είναι υπό εκτύπωση.

Παράλληλα με την δημιουργία της βαρυτομετρικής τράπεζας δεδομένων δημιουργήθηκε τράπεζα τοπογραφικών-υψομετρικών δεδομένων στον Τομέα Γεωφυσικής-Γεωθερμίας του Πανεπιστημίου Αθηνών. Η χερσαία και η θαλάσσια περιοχή, που καλύπτει ο βαρυτικός χάρτης ψηφιοποιήθηκε και εκτιμήθηκε η μέση τιμή υψομέτρου (ή βάθους) για κάθε τετράγωνο 2 km X 2 km. Η τοπογραφική αυτή τράπεζα δεδομένων συνέβαλε ουσιαστικά στην ισοστατική μελέτη της περιοχής και εκπόνηση του αντίστοιχου Χάρτη Ισοστατικών Ανωμαλιών των Ελληνίδων (Chailas et al., 1992, 1993).

Με βάση τα βαρυτομετρικά δεδομένα του πρώτου βαρυτικού χάρτη και πληροφοριών από σεισμικά προφίλ διαθλάσεως ο Μακρής (1984) υπολόγισε το βάθος της ασυνέχειας Moho. Με την πρόσφατη ισοστατική ανάλυση (Chailas et al., 1993), η συνιστώσα της βαρύτητας που οφείλεται στην πλάκα που καταβυθίζεται απομακρύνθηκε, και επαναπροσδιορίστηκε το βάθος της Moho.

Σημαντική υπήρξε η συμβολή του Ε.Κ.Θ.Ε. με την συλλογή βαρυτικών και μαγνητικών μετρήσεων στο θαλάσσιο χώρο του Αιγαίου και την κατασκευή των αντίστοιχων χαρτών (Παυλάκης, 1992; Pavlakis, et al., 1993).

Η ΔΕΠ Α.Ε. και μετέπειτα ΔΕΠ-ΕΚΥ Α.Ε. εξελίχθηκε στον σημαντικότερο φορέα πραγματοποίησης ομβρατικών βαρυτικών ερευνών στον χερσαίο Ελλαδικό Χώρο. Πραγματοποιήθηκαν συστηματικά μετρήσεις στη περιοχή της Βορείου και Κεντρικής Δυτικής Ελλάδος με πυκνότητα κάλυψης περίπου 1 σημείο ανά km<sup>2</sup>. Συνολικά στη παραπάνω περιοχή έχουν μετρηθεί περίπου 12000 σταθμοί. Στην αντίστοιχη θαλάσσια περιοχή του Ιονίου υπάρχουν επίσης στην κατοχή της ΔΕΠ-ΕΚΥ Α.Ε. περίπου 12000 km καταγραφών του βαρυτικού και του μαγνητικού πεδίου. Πιστεύεται ότι θα γίνει δυνατή η κατασκευή λεπτομερούς βαρυτικού χάρτη στην Δυτική Ελλάδα, μία περιοχή έντονα σεισμική και με μεγάλο γεωτεκτονικό ενδιαφέρον. Εκτός από την Δυτική Ελλάδα, η ΔΕΠ έχει πραγματοποιήσει καταγραφές στη Μεσοελληνική Αύλακα (2300 σταθμοί), στις θαλάσσιες περιοχές του Βορείου και Νοτίου Αιγαίου, καθώς και σε ορισμένες ιζηματογενείς λεκάνες της Ανατολικής Ελλάδος.

Πραγματοποιήθηκαν επίσης αρκετές βαρυτομετρικές διασκοπήσεις τοπικού χαρακτήρα, κατά κύριο λόγο στα πλαίσια διδακτορικών διατριβών, που συνέβαλαν θετικά στην γεωλογική ερμηνεία των περιοχών αυτών. Ενδεικτικά αναφέρουμε τις εργασίες των Θανάσουλα (1983), Maltezu (1987), Maltezu and Loucoyannakis (1992), Kiriakidis (1985), Λούης (1985), Παπαδόπουλος (1985), Ρόκα (1985), Αποστολόπουλος (1993), Τσόκας (1985), Δημητρόπουλος και Λάγιος (1991).

### 1.1. Βαρυτομετρικά Δίκτυα

Μέχρι πρόσφατα δεν υπήρχαν Ελληνικοί βαρυτικοί σταθμοί, που να έχουν συμπεριληφθεί στην τελική αφομοίωση του δικτύου IGSN' 71. Υπήρχαν βεβαίως αδημοσίευτες (ανέκδοτες) τιμές για ορισμένους σταθμούς (ΓΥΣ, Αεροδρόμιο Ελληνικού) του δικτύου της ΓΥΣ, οι οποίες ανεφέροντο στο παλαιότερο σύστημα αναφοράς του Potsdam (Coron and Monnet, 1957).

Σήμερα υπάρχουν δύο σταθμοί, ο ένας κοντά στο αεροδρόμιο του Ελληνικού (Γλυφάδα) και ο άλλος στο Πανεπιστήμιο Αθηνών, (Ιλίσια), οι οποίοι συνδέθηκαν επιτυχώς με το δίκτυο IGSN' 71 και οι τιμές τους εδημοσιεύθηκαν (Hirkin et al., 1988). Παρόμοια σύνδεση πραγματοποίησε αργότερα και η ΓΥΣ χωρίς να δημοσιεύσει τα αποτελέσματα. Ο ρόλος της ΓΥΣ στην πρόοδο των Δυναμικών Μεθόδων Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής, παρ' ότι ασχολείται κυρίως με γεωδαιτικές εφαρμογές, είναι ιδιαίτερα σημαντικός. Εγκατέστησε και κατά διαστήματα επαναμετρά βαρυτικά δίκτυα 1ης και 2ας τάξης, εκδίδει βαρυτικούς και μαγνητικούς χάρτες, αποτυπώνει το ανάγλυφο. Αναδρομή των δραστηριοτήτων της δίνεται από τον Κουτρουβέλη (1992).

Δίκτυα υψηλής ακριβείας εγκαταστάθηκαν για λόγους μελέτης κατακόρυφων τεκτονικών κινήσεων (Λάγιος, 1984), που σε συνδυασμό με άλλες πληροφορίες σεισμολογικού και γεωφυσικού χαρακτήρα, είναι δυνατόν να συμβάλλουν στην έρευνα πρόγνωσης των σεισμών. Τα δίκτυα αυτά είναι :

(i) Το του Ρήγματος της Αταλάντης (Λάγιος κ.ά. 1984; Lyness and Lagios, 1984; Lagios et al., 1985), το οποίο επαναμετρείτο για τέσσερα έτη μέχρι και το 1986, σε ένα τμήμα του οποίου διαπιστώθηκαν μεγάλοι πλάτους διαφορές βαρύτητας, που πρέπει μάλλον να αποδοθούν σε ασεισμικές κατακόρυφες τεκτονικές κινήσεις (Lagios et al., 1988; Lagios and Hirkin, 1987).

(ii) Το μικροβαρυτομετρικό δίκτυο, που εγκαταστάθηκε το 1984 στη Θήρα για την παρακολούθηση του εκεί ηφαιστείου (Lagios et al., 1988; Lagios et al., 1989). Επαναμετράται σε σχεδόν ετήσια βάση.

(iii) Δίκτυο αποτελούμενο από περισσότερους από 50 σταθμούς, εγκαταστάθηκε το 1983 στην Κρήτη (Lagios and Hirkin, 1986) και επαναμετράται σε ετήσια σχεδόν βάση. Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στη δυτική πλευρά του εν λόγω δικτύου, για την ανίχνευση πρόδρομων φαινομένων στη περιοχή μεταξύ Κρήτης και Πελοποννήσου, μετά τη διαπίστωση ύπαρξης σεισμικού κενού.

(iv) Στην ευρύτερη περιοχή της Μεσσηνίας ιδρύθηκε παρόμοιο μικροβαρυτομετρικό δίκτυο, το οποίο αργότερα (1988) συνδέθηκε με το αντίστοιχο δίκτυο της Κρήτης, με την εγκατάσταση ενδιάμεσων σταθμών στα Κύθηρα και Αντικύθηρα. Κατά τον τρόπο αυτόν, καλύφθηκε μικροβαρυτομετρικά ολόκληρη η περιοχή του Ν-ΝΔ άκρου του Ελληνικού Τόξου. Επαναμέτρηση του κλάδου του δικτύου μεταξύ Δ. Κρήτης και Πελοποννήσου κατά το 1989 προσδιόρισε μεγάλο πλάτους διαφορές βαρύτητας βόρεια των Αντικυθήρων (Lagios et al., 1991), που αποδόθηκε σε τοπική ανύψωση της περιοχής (Lagios et al., 1992). Αντίστοιχα σεισμολογικά δεδομένα (Latoussakis et al., 1992) προέβλεπαν επερχόμενο σεισμό μεγάλο μεγέθους μέχρι τέλους 1992. Πράγματι, στην περιοχή, την 25η Νοεμβρίου 1992, έλαβε χώρα σεισμική δόνηση μεγέθους  $M=6,5$ , και αργότερα (5η Μαρτίου 1993) ΒΔ της πρώτης δόνησης κατεγράφη σεισμός μεγέθους  $M=5,9$ .

## 2. Μαγνητική Μέθοδος

Ολόκληρος σχεδόν ο χερσαίος Ελλαδικός χώρος καλύφθηκε από αέρος με την εκτέλεση αερομαγνητικών διασκοπήσεων, οι οποίες έγιναν από διάφορες γεωφυσικές εταιρείες του εξωτερικού, από το 1967 μέχρι και το 1979, ύστερα από πρωτοβουλία της Διεύθυνσης Γεωφυσικής του ΙΓΜΕ. Τα νησιά του Αιγαίου δεν έχουν καλυφθεί από αέρος, ανάλογες μετρήσεις όμως έγιναν από εδάφους.

Χαρακτηριστικό των παραπάνω αερομαγνητικών διασκοπήσεων είναι ότι οι μετρήσεις έγιναν από κάθε εταιρεία σε διαφορετικά ύψη, άλλοτε ακολουθώντας το τοπογραφικό ανάγλυφο και άλλοτε εφαρμόζοντας σταθερό βαρομετρικό ύψος. Διάφορες προσπάθειες, κυρίως από το ΙΓΜΕ, ενοποίησης των δεδομένων αυτών για ολόκληρο τον Ελλαδικό χώρο και παρουσίασης ενιαίου αερομαγνητικού χάρτη δεν έχουν ακόμη ολοκληρωθεί.

Μαγνητικές από εδάφους μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε διάφορες περιοχές της Ελλάδος για μεταλλευτικούς, γεωθερμικούς σκοπούς από το ΙΓΜΕ κυρίως (Βασιλειάδης 1993) και αρχαιομετρικούς σκοπούς από Πανεπιστημιακούς φορείς. Ενδεικτικά αναφέρονται οι εργασίες των Παπαμαρινopoulos et al. (1986), Tsokas et al. (1986), Tsokas and Rocca (1986). Η ΔΕΠ επίσης, παράλληλα με τις βαρυτικές, πραγματοποιεί και αντίστοιχες μαγνητικές μετρήσεις σε ξηρά και θάλασσα.

Το 1958 ιδρύθηκε από το ΙΓΜΕ στη Πεντέλη Μαγνητικός σταθμός καταγραφής των γεωμαγνητικών παραμέτρων (Μαγνητικός Σταθμός Πεντέλης, ΜΣΠ), όπου εκτελούνται εβδομαδιαίες απόλυτες μετρήσεις της απόκλισης, της οριζόντιας και κατακόρυφης συνιστώσας, ως και της ολικής έντασης του Γήινου μαγνητικού πεδίου. Οι παραπάνω μετρήσεις γίνονται με την βοήθεια τριών βαριομέτρων, τα οποία καταγράφουν σε αναλογική μορφή, και εκδίδονται από το ΙΓΜΕ σε μηνιαία δελτία.

Βάσει των προαναφερθέντων μετρήσεων είναι δυνατός ο υπολογισμός και η μελέτη των μαγνητικών δεικτών των ταχέων μαγνητικών φαινομένων (καταιγίδες κλπ.), ως και των διαχρονικών μεταβολών του Γήινου μαγνητικού πεδίου. Για τον σκοπό αυτό ο ΜΣΠ συνεργάζεται και ανταλλάσει δεδομένα με περισσότερα από 60 Ελληνικά και αλλοδαπά Ινστιτούτα και Σταθμούς.

Συστηματική μελέτη του Γεωμαγνητικού πεδίου κατά τους ιστορικούς χρόνους από τιμές αρχαιομαγνητικών εντάσεων, οι οποίες προέκυψαν από ευρύματα κεραμικών από ολόκληρη την υδρόγειο, έγινε στο Πανεπιστήμιο Αθηνών (Lagios et al., 1992). Οι τιμές των αρχαιομαγνητικών εντάσεων προσφέρουν χρησιμότες πληροφορίες μεταβολών του μή-διπολικού πεδίου σε ευρύτερη και παγκόσμια κλίμακα, οι οποίες κρίνονται ως βασικές για τη μελέτη του. Ένας συνολικός αριθμός 476 τιμών αρχαιομαγνητικών εντάσεων, που συλλέχθηκαν βιβλιογραφικά με αυστηρά κριτήρια χρονολόγησης και προσδιορισμού εντάσεων, συνέστησαν τη δημιουργία τράπεζας δεδομένων των αρχαιομαγνητικών εντάσεων στο Πανεπιστήμιο Αθηνών (Lagios et al., 1992; Liritzis and Lagios, 1993).

### ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ ΣΤΟ ΔΙΕΘΝΗ ΧΩΡΟ

Μέχρι τον 20ο αιώνα η μοναδική συσκευή για την μέτρηση της επιτάχυνσης της βαρύτητας ήταν το εκκρεμές. Μετά τον πρώτο παγκόσμιο πόλεμο η άνοδος της γεωφυσικής έρευνας οδήγησε στην

ανάπτυξη πρακτικών μεθόδων πραγματοποίησης σχετικών τιμών βαρύτητας και αντίστοιχων συσκευών. Πρόσφατα οι συσκευές "ελευθέρας πτώσης" ή "πτώσης και ανόδου" κατέστησαν εφικτές μετρήσεις απόλυτων τιμών βαρύτητας με ακρίβεια της τάξης δεκάτου του  $\mu\text{Gal}$  ( $10^{-9} \text{ ms}^{-2}$ ). Το "υπεραγώγιμο" βαρυτόμετρο καταγράφει χρονικές μεταβολές του βαρυτικού πεδίου με ακόμα καλύτερη ακρίβεια για τις μέσες τιμές ανά ώρα. Σε 350 χρόνια η ακρίβεια των βαρυτικών μετρήσεων έχει βελτιωθεί κατά πέντε τάξεις μεγέθους περίπου. Εφαρμογές όπως η καταγραφή κυμάτων βαρύτητας ή η στρωματογραφία του πυρήνα της Γης, που πριν λίγα χρόνια ευρίσκοντο στο χώρο της τολμηρής φαντασίας, άρχισαν να γίνονται πραγματικότητα. Η ποιοτική και ποσοτική πρόοδος υπήρξε θεαματική και οφείλεται στην παράλληλη ανάπτυξη της μεθοδολογίας και των οργάνων.

Στον αντίποδα της ανάπτυξης μεθοδολογίας και οργάνων τα τελευταία χρόνια έχουν πληθύνει οι φωνές προβληματισμού για την πραγματική αξιοποίηση της εφαρμοσμένης βαρυτομετρίας στον τομέα των γεωλογικών εφαρμογών. Ο όρος "Ανωμαλία Bouguer" ή "Ανωμαλία Βαρύτητας" έχει εμφανώς παρεξηγηθεί από πολλούς γεωφυσικούς, που πιστεύουν ότι η διαδικασία επεξεργασίας ανάγει τις μετρημένες τιμές βαρύτητας σε ένα κοινό επίπεδο αναφοράς.

Η παραπάνω παρεξήγηση έχει οδηγήσει στην παράβλεψη αιτιών, που μπορούν να προκαλέσουν ανωμαλίες στους χάρτες και που οφείλονται στο επιφανειακό στρώμα εδάφους, καθώς και στη σημασία της σωστής επιλογής της τιμής πυκνότητας για την επεξεργασία. Η πρόσφατη εργασία του La Fehr (1991) για την συστηματοποίηση των αναγώνων βαρύτητας, δίνει μεγάλη έμφαση στην κατανόηση της φύσης και του τρόπου και βαθμού επίδρασης των διαφόρων σταδίων επεξεργασίας. Ιδιαίτερα σημαντικές είναι αυτές οι επιδράσεις στις περιοχές έντονου τοπογραφικού αναγλύφου (Δημητρόπουλος 1990) και στις περιπτώσεις υπεδαφικών ερευνών. Για να μειώσει τις ανεπιθύμητες επιδράσεις σε τέτοιες κυρίως έρευνες, ο Lakshmanan (1991) προτείνει: (i) Να λαμβάνεται ως βάση ένα νέο ελλειψοειδές, (της ίδιας ελλειπτικότητας με το ελλειψοειδές αναφοράς του 1967), το οποίο διέρχεται κάτω από τα βαθύτερα σημεία των ωκεανών, και η επίδραση των στρωμάτων πάνω από αυτό να γίνεται ξεχωριστά. (ii) Η περιοχή επίδρασης να μην είναι διαφορετική για κάθε σημείο μέτρησης, αλλά η ίδια για όλη την περιοχή έρευνας. Η ακτίνα μέχρι την οποία θα πραγματοποιούνται οι τοπογραφικές διορθώσεις εξαρτάται από τις τιμές των βαθμίδων (gradients) του πεδίου και την σχέση τους με τα άλλα σφάλματα των μετρήσεων.

Ο προβληματισμός για την φύση και τις δυνατότητες αξιοποίησης των τιμών της Βαρυτικής Ανωμαλίας, οδήγησε στην ανάγκη βελτίωσης της διαδικασίας επεξεργασίας τοπογραφικής διόρθωσης, η οποία για έρευνες σε περιοχές με μέσο ή έντονο τοπογραφικό ανάγλυφο αποτελεί την πιο σημαντική ανεξάρτητη πηγή λαθών (La Fehr, 1991). Μια ποσοτική ανάλυση του γεγονότος αυτού δίνεται από τον Δημητρόπουλο (1990). Εκτός από την λεπτομερέστερη καταγραφή του αναγλύφου στην κοντινή περιοχή, η βελτίωση προτείνεται να επιτυγχάνεται με δυο τρόπους:

- α) Εφαρμογή διορθώσεων καμπυλότητας της Γης (Διόρθωση Bullard)
- β) Χρησιμοποίηση των κλίσεων του αναγλύφου (κλιτικές) μαζί με το υψόμετρο (LaFehr, 1991).

Για την καλύτερη προσέγγιση της επίδρασης της καμπυλότητας

μπορεί να αναφερθεί κανείς στον Whitman (1991). Για την χρησιμοποίηση των κλιτύων του αναγλύφου θεωρούμε σημαντική την εργασία των Zhou et al. (1990), για την χρησιμοποίηση τριγωνικών στοιχείων επιφανείας στις τοπογραφικές διορθώσεις. Στην μέθοδο αυτή το ανάγλυφο προσεγγίζεται με τριγωνικές επίπεδες επιφάνειες. Οι ακρίβειες που επιτυγχάνονται με την μέθοδο αυτή είναι πολύ καλύτερες από τις αντίστοιχες με την χρησιμοποίηση ορθών πρισμάτων για την προσέγγιση του αναγλύφου. Η εκτίμησή μας είναι, ότι το συνολικό σφάλμα της τοπογραφικής διορθωσης (χωρίς να λαμβάνουμε υπόψη τις αβεβαιότητες λόγω πυκνότητας) από περίπου 10% της τιμής της (με την κλασσική προσέγγιση) θα μειωθεί στο μισό με τις νέες βελτιώσεις.

Ο ρόλος της πυκνότητας στην επεξεργασία των βαρυτικών μετρήσεων συζητείται όλο και συχνότερα. Ο LaFehr (1991) προτείνει την χρησιμοποίηση ενιαίας πυκνότητας στο στάδιο της επεξεργασίας και μεταβλητής πυκνότητας (για τα στρώματα που υπεισέρχονται στην τοπογραφική διορθωση) στο στάδιο της ερμηνείας. Η αντιμετώπιση αυτή έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να συγκεράσει διαφορετικές βαρυτικές έρευνες για την παραγωγή ενιαίου χάρτη Βαρυτικής Ανωμαλίας, επιβαρύνει όμως τον ερμηνευτή με την εκ νέου ίσως λεπτομερή αποτύπωση της τοπογραφίας και αξιοποίησή της με μεταβλητές πυκνότητες. Πολύ σημαντικό παραμένει και τονίζεται από πολλούς ερευνητές (LaFehr, 1991; Cordell, 1992; Sprenke 1989) το γεγονός της κατανόησης των εννοιών και των παραγόντων που υπεισέρχονται στην επεξεργασία, έτσι ώστε ούτε υπερβολικές απαιτήσεις να υπάρχουν για τις καταγραφές (ιδιαίτερα σε εδαφομηχανικές και περιβαλλοντικές έρευνες) ούτε η ερμηνεία να επεκτείνεται σε υπερβολικές λεπτομέρειες, που στην ουσία δεν είναι πραγματικές.

Τελειώνοντας με το θέμα της προετοιμασίας των μετρήσεων για περαιτέρω αξιοποίηση θέλουμε να αναφέρουμε την χρησιμοποίηση της μεθόδου των "ισοδύναμων πηγών" (equivalent sources) δυναμικών πεδίων για την ναυαβοποίηση (gridding) ατάκτως τοποθετημένων σημείων μέτρησης (Cordell 1992). Η μέθοδος χρησιμοποιεί τις τιμές του πεδίου στο χώρο (3-D) και αναπτύχθηκε κυρίως για περιοχές εντόνου αναγλύφου. Είναι ευαίσθητη στην επιλογή του βάθους της "ισοδύναμης πηγής", πρόβλημα στο οποίο αναφέρεται η εργασία των Xia και Sprowl (1991) και προτείνει ένα αλγόριθμο επιλογής του βέλτιστου βάθους. Η μέθοδος του Cordell (1992) με την χρησιμοποίηση του "φακέλλου του λάθους" (μέτρηση +/- σφάλμα) ελαττώνει την εμφάνιση ψευδοσυχνοτήτων λόγω δειγματοληψίας (aliasing) στο χώρο. Για τους παραπάνω λόγους πιστεύουμε ότι η εξέλιξη της μεθόδου αυτής θα βοηθήσει την σωστότερη απεικόνιση των επεξεργασμένων μετρήσεων.

Σημαντική υπήρξε η τάση τα τελευταία χρόνια της χρησιμοποίησης των βαθμίδων των δυναμικών πεδίων. Η τάση αυτή εκφράζεται αφ' ενός με την κατασκευή οργάνων καταγραφής των τριών βαθμίδων, αφ' ετέρου με την εξεύρεση νέων μεθόδων αξιοποίησης των καταγραφών αυτών. Αερομαγνητικές καταγραφές των τριών βαθμίδων πραγματοποιούνται αρνιετά χρόνια ήδη, και ανεπτύχθησαν στη Β. Αμερική, αφ' ενός από το G.S.C. (Geological Survey of Canada), αφ' ετέρου από την Union Oil Co κατ' αρχάς (Slack et al., 1967) και την Aero Service Ltd αργότερα. Η Aero Service χρησιμοποίησε ιπτάμενα μαγνητόμετρα σε απόσταση 125 ft, ενώ η G.S.C. κατάφερε με την χρήση μαγνητομέτρων οπτικής απορρόφησης (optical pumping) να στεγάσει το σύστημα στο εσωτερικό ελικοπτέρου.

Η εξέλιξη των Αερομεταφερομένων Βαθμιδομέτρων Βαρύτητας (Α.Β.Β.) υπήρξε πιο αργή και ακόμα συνεχίζεται. Τα Α.Β.Β. υπερτερούν των Αερομεταφερομένων Βαρυτομέτρων (Α.Β.), διότι δεν επηρεάζονται από γραμμικές επιταχύνσεις όπως αυτές της κίνησης του αεροπλάνου. Τα Α.Β.Β. είναι ευαίσθητα σε μη γραμμικές επιταχύνσεις μόνο και έχουν τελείως διαφορετικό φάσμα απόκρισης από τα Α.Β. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το σύστημα G.G.S.S., το οποίο αποτελείται από τρία βαρυτικά Βαθμιδομέτρα ορθογώνια τοποθετημένα μεταξύ τους. Κάθε βαθμιδομέτρο αποτελείται από δυο ζεύγη επιταχυνσιογράφων τοποθετημένων κάθετα μεταξύ τους. Η διαφορά των καταγραφών κάθε ζεύγους δίδει την τιμή μιας βαθμίδας πεδίου. Το όλο σύστημα εγκατεστημένο σε σταθεροποιητική πλατφόρμα τοποθετείται σε ένα αυτοκίνητο το οποίο με την σειρά του μπορεί να μεταφέρεται σε ένα αεροπλάνο μεταφοράς. Σύμφωνα με τους Hammer και Anzoleaga (1975), οι βαρυτικές βαθμίδες αποτελούν καλύτερες ενδείξεις για τον εντοπισμό στρωματογραφικών παγίδων. Ο Vasco (1989) επίσης έδειξε ότι η χρησιμοποίηση των βαθμίδων βελτιώνει τη διαχωριστική ικανότητα για (γραμμικές και μη γραμμικές) αντιστροφές πυκνότητας και ελαττώνει την διασπορά των τιμών πυκνότητας.

Η ανάπτυξη των μεθόδων καταγραφής των βαθμίδων των δυναμικών πεδίων είχε ως αποτέλεσμα την αντίστοιχη προσπάθεια μεθόδων αξιοποίησης των. Ενώ για την ερμηνεία της κατακόρυφης βαθμίδας αρκετοί μέθοδοι έχουν προταθεί (π.χ. Rao et al., 1981; Barongo, 1985; Keating and Pilkington 1990), για την ερμηνεία των οριζοντιών βαθμίδων δεν έχουν προταθεί πολλές. Μια μέθοδος η οποία αξιοποιεί τις δυο οριζόντιες βαθμίδες του μαγνητικού πεδίου κατά μήκος προφίλ, προτάθηκε από τους Marcotte et al. (1991). Από την ανάλυση των δυο βαθμίδων προκύπτει ποιες ανωμαλίες μπορούν να θεωρηθούν 2-D και ποιές είναι η διάταξή τους σε σχέση με τα προφίλ.

Στον χώρο της ερμηνείας των βαθμίδων σε 3-D ξεχωρίσαμε δυο τεχνικές που εφαρμόστηκαν σε μαγνητικά δεδομένα. Η πρώτη βασίζεται στην εξίσωση του Euler και προτάθηκε από τους Reid et al. (1990). Η εξίσωση του Euler συνδέει την θέση μιας σημειακής πηγής πεδίου σ'ένα σημείο με τις βαθμίδες του πεδίου αυτού και την τιμή του σ'ένα άλλο μέσω του βαθμού ομοιογένειας του πεδίου. Ο βαθμός ομοιογένειας μπορεί να ερμηνευτεί ως "δομικός δείκτης". Ετσι το πεδίο ενός σημειακού διπόλου έχει δείκτη 3, μιας γραμμής διπόλων 2, ενός πόλου 2 και μιας γραμμής πόλων 1 (Thomson 1982). Ο δομικός δείκτης για εκτεταμένα σώματα μπορεί να κυμανθεί από 0 (επίπεδο απείρων διαστάσεων) μέχρι 3 (σημειακό δίπολο). Η τιμή του δείκτη για φλέβες (dykes) και κατακόρυφα ρήγματα είναι 1, ενώ για κεκλιμένες επιφάνειες είναι 0 (Reid et al. 1990). Πλεονέκτημα της μεθόδου αποτελεί το ότι, δεν προϋποθέτει γεωλογικό μοντέλο, και ότι είναι ανεξάρτητη από την διεύθυνση του μαγνητικού πεδίου, την κλίση και την παράταξη της δομής που προκαλεί την ανωμαλία. Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων της μεθόδου μερικές φορές είναι μονοσήμαντη και προφανής, άλλες φορές όμως χρειάζεται καλή γνώση της γεωλογίας της περιοχής.

Η δεύτερη σημαντική προσπάθεια στην αξιοποίηση των βαθμίδων του μαγνητικού πεδίου σε τρεις διαστάσεις προέρχεται από τους Roest et al. (1992), οι οποίοι εφήρμοσαν την θεωρία του αναλυτικού σήματος (Nabighian, 1984). Το πλεονέκτημα της χρησιμοποίησης της απόλυτης τιμής του αναλυτικού σήματος, που αρχικά εφαρμόστηκε κατά μήκος προφίλ (Nabighian, 1972), είναι ότι

το σχήμα του πάνω από γραμμικές πηγές δεν εξαρτάται από τη διεύθυνση των μαγνητικών πεδίων της Γης και της πηγής. Οι Roest et al. (1992) χρησιμοποίησαν το σχήμα της απόλυτης τιμής του αναλυτικού σήματος πάνω από κατακόρυφη μαγνητική επαφή στην ανάλυση τους και όχι το πλάτος του. Το σχήμα είναι ως καμπάνα, το μισό δε πλάτος του αντιστοιχεί στο βάθος της πηγής. Η μέθοδος δεν μπορεί να διακρίνει αν ένα σώμα έχει μεγαλύτερη ή μικρότερη επιδεικτικότητα από το περιβάλλον του.

Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων πρέπει να γίνεται με προσοχή, καθώς υπάρχουν προβλήματα με μαγνητικές επαφές, που δεν είναι κατακόρυφες ή είναι πολύ κοντά ή με σώματα που τέμνονται σε οξεία γωνία. Οι συγγραφείς προτείνουν την συνδυασμένη χρήση της αποσυνέλιξης κατά Euler, που αναφέρθηκε προηγουμένα, για περισσότερο λεπτομερή ερμηνεία της δομής σε βάθος, και του αναλυτικού σήματος για την χωροθέτηση των μαγνητικών επαφών και το βάθος τους κατά προσέγγιση.

Στον χώρο των βαθμίδων του βαρυτικού πεδίου οι Vasco and Taylor (1991) χρησιμοποίησαν μια διαδικασία μη γραμμικής αντιστροφής βασιζόμενη στον αλγόριθμο συζυγούς βαθμίδας (conjugate gradient), για να καθορίσουν την τοπογραφία του υποβάθρου. Οι βαθμίδες του βαρυτικού πεδίου είχαν μετρηθεί από αεροπλάνο με την χρήση του ουστήματος G.G.S.S. Το γεωλογικό μοντέλο που προέκυψε βρίσκεται σε γενική συμφωνία με την υπάρχουσα γεωλογική πληροφορία για την περιοχή και με υπάρχουσες γεωτρήσεις πετρελαίου.

Στις εργασίες για την ανάπτυξη των μετρήσεων ολικού πεδίου, θα αναφέρουμε δύο εργασίες των Keating (1992) αφ'ενός και των Cordell and McCafferty (1989) αφ'ετέρου, που χρησιμοποιούν τον μετασχηματισμό Walsh και βαθμωτό τελεστή αντίστοιχα για να χαρτογραφήσουν διαφορές πυκνότητας και επιδεικτικότητας από τις μετρήσεις του πεδίου.

Να αναφέρουμε επίσης στις μεθόδους αντιστροφής του πεδίου τις εργασίες του Guspi (1992) και των Xia and Sprowl (1992) στο χώρο των τριών διαστάσεων. Ο πρώτος χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο αντιστροφής των Parker (1973) και Oldenburg (1974) με την προσθήκη πολυωνυμικής μεταβολής της πυκνότητας με το βάθος. Οι δεύτεροι χρησιμοποιούν επαναληπτική προσομοίωση στο χώρο συχνότητων για να υπολογίσουν, (i) την κορυφή στρώματος σταθερής πυκνότητας (ή επιδεικτικότητας), (ii) την μεταβολή της πυκνότητας (ή επιδεικτικότητας) μέσα σε συγκεκριμένο στρώμα.

Τέλος στις μεθόδους προσομοίωσης (modelling) να αναφέρουμε τις εργασίες των Gotze and Lahmeyer (1988) για βαρυτική και μαγνητική προσομοίωση με αλληλεπίδραση στις 3 διαστάσεις, και των Bhaskara Rao και Ramesh Babu (1991) για προσομοίωση 3-D μαγνητικών ανωμαλιών με την χρήση κατακόρυφων πρισμάτων και τεχνικής μη γραμμικής βελτιστοποίησης για τον υπολογισμό των παραμέτρων του μοντέλου.

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αποστολόπουλος, Γ., (1993). Γεωφυσικές έρευνες στη Λεκάνη του Σπερχειού Ποταμού. Διδασκ. Διατρ. Πανεπιστημίου Αθηνών, 193 σελ.
- Barongo, J.O., (1985). Method for depth estimation on aeromagnetic vertical gradient anomalies. Geophysics, 50, 963- 968.

- Βασιλειάδης,Κ., (1993). Βαρυτομετρικές, Γεωμαγνητικές και Σεισμικές εργασίες Δ/σης Γεωφυσικών Ερευνών ΙΓΜΕ (1953-1992). ΙΓΜΕ, 35 σελ.
- Bhaskara Rao,D. and Ramesh Babu,N., (1991). A rapid method for three dimensional modeling of magnetic anomalies. *Geophysics*, 56, 1729-1737.
- Bureau Gravimetric International, (1984). *Bulletin d'Information*, No 55, December.
- Chailas,S., Hipkin,R.G. and Lagios,E., (1992). Stretching, subduction and isostasy in the Hellenides. Paper pres. XVII European Geophysical Society General Assembly, Edinburgh, April 6 - 10, UK.
- Chailas,S., Hipkin,R.G. and Lagios,E., (1993). Isostatic studies in the Hellenides. Proc. 2nd Congr. Hellen. Geophys. Union, May 2-5, Florina, Greece (in press, this volume).
- Cordell,L., (1992). A scattered equivalent source method for interpolation and gridding of potential field data in three dimensions. *Geophysics*, 57, 629-636.
- Cordell,L. and McCafferty,A.E., (1989). A terracing operator for physical property mapping with potential field data. *Geophysics*, 54, 621-634.
- Coron,S. and Monnet,F., (1957). Bureau gravimetric International de premier ordre (Systeme de Postdam), Publ. Bureau Grav. Int., IAG, Paris.
- Δημητρόπουλος,Κ., (1990). Αναμενόμενο οφάλμα τιμών Ανωμαλίας Bouguer στην Δυτική Ελλάδα. ΔΕΠ-ΕΚΥ ΑΕ, Εσωτ. Εκθεση, 14 σελ.
- Δημητρόπουλος,Κ. and Λάγιος,Ε., (1991). Συσχέτιση Βαρυτομετρικών και της μετασεισμικής ακολουθίας του σεισμού της Καλαμάτας (13/9/1986). Δελτ. Γεωλ. Εταιρείας, τομ. XXV/3, 251-270.
- Goetze,H.J. and Lahmeyer,B., (1988). Application of three dimensional interactive modeling in gravity and magnetics. *Geophysics*, 53, 1096-1108.
- Guspi,F., (1992). Three-dimensional Fourier gravity inversion with arbitrary density contrast. *Geophysics*, 57, 131-135.
- Hammer,S., and Anzoleaga,R., (1975). Exploring for stratigraphic traps with gravity gradients. *Geophysics*, 40, 256-268.
- Hipkin,R.G., Lagios,E., Lyness,D., and Jones,P., (1988). Reference gravity stations on the IGSN'71 standard in Britain and Greece. *Geophys. J.R.astr.Soc.*, 92, 143-148.
- Θανάσουλας,Κ., (1983). Γεωφυσική μελέτη της Μυγδονίας Λεκάνης και της ευρύτερης περιοχής. Διδακτ. Διατρ. Πανεπ. Θεσσαλονίκης, 200 σελ.
- Keating,P.B., and Pilkington,M., (1990). An automated method for the interpretation of magnetic vertical-gradient anomalies. *Geophysics*, 55, 336-343.
- Keating,P.B., (1992). Density mapping from gravity data using the Walsh transform. *Geophysics*, 57, 637-642.
- Kiriakidis,L., (1985). Geophysical studies of the eastern margin of the Vardar zone in Central Macedonia, Greece. Ph.D. Thesis, University of Cardiff, U.K.
- Κουτροβέλης,Κ., (1992). Η ιστορία της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού, Τόμος Α και Β. ΓΥΣ, Αθήνα.
- LaFehr,T.R., (1991). Standardization in gravity reduction. *Geophysics*, 56, 1170-1178.
- Λάγιος,Ε., (1984). Συμβολή βαρυτομετρικών δικτύων ακριβείας στον

- εντοπισμό τεκτονικών παραμορφώσεων. Πρακτικά 2ου Πανελλαδ. Γεωλογικού Συνεδρίου, Αθήνα, Δελτ.Ελλ. Γεωλ. Εταιρ. (1987) XIX, 307-323.
- Λάγιος,Ε., Δελήμπασης,Ν., Δρακόπουλος,Ι. και Κουσκουνά,Β., (1984). Βαρυτομετρικές και Σεισμολογικές μελέτες της ευρύτερης περιοχής του Ρήγματος Αταλάντης. Πρακτικά 2ου Πανελλ. Γεωλ. Συνεδ., Αθήνα, Δελτ. Ελλην. Γεωλ. Εταιρ. (1987), XIX, 285-308.
- Lagios,E. and Hipkin,R.G., (1986). High precision gravity observations on Crete, Greece. *Tectonophysics*, 126, 165-180.
- Lagios,E., Makropoulos,K., Drakopoulos,J., (1985). Gravity and seismicity monitoring in a high seismic hazard zone, Central Greece. *Proc. 3rd Inter. Symp. Analysis of Seismicity and Seismic Risk. Liblice Castle, Czechoslovakia, June 17-22, Vol.1, 142-154.*
- Lagios,E., Drakopoulos,J., Hipkin,R.G. and Gizeli,C., (1988). Microgravimetry in Greece: applications to earthquake and Volcano - eruption prediction. *Tectonophysics*, 152, 197-207.
- Lagios,E. and Hipkin,R.G., (1987). Gravity changes 1982-1986 over Atalanti Fault System, Greece. Paper presented at the 1986 Meeting Bureau Gravimetrique International (BGI), Toulouse. Abstract in *Bulletin d' Information BGI*, 59, 225p.
- Lagios,E., Hipkin,R.G., Angelopoulos,A. and Nikolaou,S., (1988). Recompilation of the Gravity Anomaly Map of Greece. IGME, Athens, Greece (in press).
- Lagios,E., Tzanis,A., Hipkin,R.G., Delibasis,N. and Drakopoulos,J., (1989). Surveillance of Thera Volcano - Monitoring of the local gravity field. *Proc. 3rd Inter. Congr. "Thera and the Aegean World", Sept. 3-9, Santorini, Greece, 216-223.*
- Lagios,E., Paftopoulos,D. and Drakopoulos,J., (1991). Microgravimetry along the Hellenic Arc for tectonic and Earthquake Prediction Research. *Proc. Inter. Conf. on Earthquake Prediction: State-of-the-Art, Strasbourg, October 15-18, France, 413-420.*
- Lagios,E., Raftopoulos,D. and Tzanis,A., (1992). Gravity changes in the SW part of the Hellenic Arc may foreshadow a large Earthquake. Paper pres. XVII European Geophys. Soc. General Assembly, Edinburgh, April 6-10, UK.
- Lagios,E., Liritzis,J. and Sotiropoulos,P., (1992). A Global Archaeointensity Data Bank. Dept. Geophysics and Geothermy, Public. No 3/92 (ISBN 960-85242-0-2), Athens University, 77 p.
- Lakshmanan,J., (1991). The generalized gravity anomaly: Endoscopic microgravity. *Geophysics*, 56, 712-723.
- Liritzis,J. and Lagios,E., (1993). A Global Archaeointensity Data Bank. EOS, Transactions, American Geophys. Union, Vol. 74, no 27, 303-306.
- Λούης,Ι., (1985). Γεωφυσική συμβολή στη διερεύνηση της λεκάνης του Οροπεδίου Λασιθίου Κρήτης. Διδακτ. Διατρ. Πανεπιστημίου Αθηνών, 254 σελ.
- Lyness,D. and Lagios,E., (1984). A microgravimetric network in East Central Greece - An area of potential seismic hazard. *Geophys. J.R. astr. Soc.*, 77, 875-882.

- Makris, J., (1977). Geophysical investigations of the Hellenides. Hamb. Geophys. Einzelschr., Reihe A, Heft 34.
- Makris, J. and Stavrou, A., (1984). Compilation of Gravity Maps of Greece. Hamburg University, Institute of Geophysics, Hamburg, 12 p.
- Maltezos, F., (1987). Gravity and magnetic studies of the Rhodope region, NE Greece. Ph.D. Thesis, University of Southampton, U.K.
- Maltezos, F. and Loucoyannakis, M., (1992). Geophysical evidence for the subsurface distribution and mode of emplacement of ophiolites in the Eastern Rhodope region, N. Greece. Tectonophysics (in press).
- Marcotte, D.L., Hardwick, C.D. and Nelson, J.B., (1991). Automated interpretation of horizontal magnetic gradient profile data. Geophysics, 57, 288-295.
- Morelli, C., Gantar, C. and Pisani, M., (1975). Geophysical studies of the Aegean Sea in the Eastern Mediterranean. Boll. Geof. teor. e appl., XVII, 66 p.
- Nabighian, M.N., (1972). The analytic signal of two dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: Its properties and use for automated anomaly interpretation. Geophysics, 37, 507-517.
- Nabighian, M.N., (1984). Toward a three-dimensional automatic interpretation of potential field data via generalised Hilbert transforms: Fundamental relations. Geophysics, 49, 780-786.
- Oldenburg, D.W., (1974). The inversion and interpretation of gravity anomalies. Geophysics, 39, 526-536.
- Παπαδόπουλος, Τ., (1985). Γεωφυσικές έρευνες στη περιοχή Λεκάνης Μεγαλόπολης. Διδακτ. Διατρ. Πανεπιστημίου Αθηνών, 205 σελ.
- Papamarinopoulos, S., Tsokas, G. and Williams, H., (1986). Electric resistance and resistivity measurements and magnetic mapping of the archaeological relics on the castle of Mytilene. Boll. di Geof. teor. and Applic., XXVIII, 111-112, 299-309.
- Parker, R.L., (1973). The rapid calculation of potential anomalies. Geoph. J. Roy. Astr. Soc., 31, 447-455.
- Παυλάκης, Π., (1992). Νότιο Αιγαίο - Θαλάσσια γεωφυσική διασκόπηση και στοχαστική ντετερμινιστική προσέγγιση της τεκτονικής, γεωδυναμικής και γεωθερμικής δομής του. Διδακτ. Διατρ. Πανεπ. Αθηνών, 274 σελ.
- Pavakis, P., Makris, J., Alexandrie, M., (1993). Proceedings of Marine Geophysical Mapping of Aegean Sea. 2nd Congress Hellenic Geophysical Union, (in press)
- Rao, D.A., Babu, H.V. and Narayan, P.V., (1981). Interpretation of magnetic anomalies due to dikes: the complex gradient method. Geophysics, 46, 1572-1578.
- Reid, A.E., Allsop, J.M., Granser, H., Millet, A.J. and Somerton, I.W., (1990). Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution. Geophysics, 55, 80-91.
- Roest, W.R., Verhoef, J. and Pilkington, M., (1992). Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal. Geophysics, 57, 116-125.
- Ρόκα, Α., (1985). Γεωφυσική διασκόπηση της περιοχής Λουτρακίου - Σουσακίου. Διδακτ. Διατρ. Αριστ. Πανεπ. Θεσ/νίκης, 191 σελ.

- Sprenke, K.F., (1989). Efficient terrain corrections: A geostatistical analysis. *Geophysics*, 54, 1622-1628.
- Thompson, D.T., (1982). EULDPH: A new technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data. *Geophysics*, 54, 31-37.
- Τσόκας, Γρ., (1985). Γεωφυσική διασκόπηση των νησιών Μήλος και Κίμωλος. Διδασκτ. Διατρ. Αριστ. Παν. Θεσ/νίκης, 201 σελ.
- Tsokas, G., Rocca, A., Papazachos, B., (1986). Magnetic Prospecting at the Prehistoric site of the village Mandalo in Northern Greece. *P.A.C.T.* 15, 143-152.
- Tsokas, G. and Rocca, A., (1986). Geophysical prospecting at archaeological sites with some examples from Northern Greece. *First Break*, 48, 31-39.
- Vasco, D.W., (1989). Resolution and variance operators of gravity and gravity gradiometry. *Geophysics*, 54, 889-899.
- Vasco, D.W. and Taylor, C., (1991). Inversion of airborne gravity gradient data, southwestern Oklahoma. *Geophysics*, 56, 90-101.
- Whitman, W.W., (1991). A microgal approximation of the Bullard B Earths curvature gravity approximation. *Geophysics*, 56, 1980-85.
- Xia, J. and Sprowl, D.R., (1991). Correction of topographic distortion in gravity data. *Geophysics*, 56, 537-541.
- Xia, J. and Sprowl, D.R., (1992). Inversion of potential-field data by iterative forward modeling in the wavenumber domain. *Geophysics*, 57, 126-130.
- Zhou, X., Zhong, B. and Li, X., (1990). Gravimetric terrain corrections by the triangular-element method. *Geophysics*, 55, 232-238.