

ΜΕΤΑΛΛΟΦΟΡΩΝ ΖΩΝΩΝ

Αγγελόπουλος Α. - Νικολάου Σ.
ΙΓΜΕ Μεσογείων 70, Αθήνα
GREECE

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η μέθοδος MALM έχει ήδη χρησιμοποιηθεί από τις αρχές του αιώνα (Schlumberger 1913) για την έρευνα μεταλλευμάτων με επιτυχία. Τα τελευταία χρόνια ο Mwenifumbo (1980) και άλλοι ερευνητές μελέτησαν τη συμπεριφορά του δυναμικού σε διατάξεις βαθμίδας και δυναμικού αναλογικών και αριθμητικών μοντέλλων με τη βοήθεια Η/Υ. Όσον αφορά τη μέθοδο Mise a la masse I.P. τα βιβλιογραφικά δεδομένα είναι ελάχιστα ενώ παρουσιάζεται αρνητική τάση στη χρησιμοποίηση του φαινόμενου I.P. για διασκοπήσεις εντός γεωτρήσεων ή επιφανειακών μέσω ενεργοποίησης γεωτρήσεων.

Στη χώρα μας υπάρχουν θετικές εμπειρίες με πρώτη εφαρμογή το 1992 στην περιοχή ΜΟΛΑΣΩΝ όπου η μέθοδος έδωσε πραγματική λύση στη χορτογρόδηση των μεταλλοφόρων ζωνών και της τεκτονικής τους. Στη συνέχεια εφαρμόστηκε με επιτυχία και σε άλλες περιοχές της χώρας όπως Αιούμη, Θέρμες κ.α.

Στη πορούσο εργασία παρουσιάζονται οι εμπειρίες από την εφαρμογή της μεθόδου και προτείνεται η καθιέρωση της στη λεπτομερή φάση της έρευνας μεταλλικών κοιτασμάτων.

ABSTRACT

Potential mise a la masse methods has been satisfactory used for base metal exploration since the beggining of the century (Schlumberger 1913).

During the last decade Mwenifumbo (1980) and other researchers studied the behaviour of the measured potential of analog and numeric models using the potential and gradient configurations. Historical data on the use of mise a la masse I.P. are scarce and a negative tendency is observed in using the I.P. phenomenon in drill holes and in hole to surface methods.

In our country starting from 1982 we applied the method in the MOLAOI prospect where succeeded in delineating the extension of mineralized zones and resolved their tectonic features. The positive experience gained since then implies the use of this exploration tool during the detailed phases of mineral exploration projects.

MISE ALA MASSE I.P. Διάταξη βαθμίδας

Γενική θεώρηση

Το φαινόμενο της επαγωμένης πόλωσης έχει ευρύτατα χρησιμοποιηθεί σε ηλεκτραδριακές διατάξεις επιφανείας τόσο σε αναγνωριστικά όσο και λεπτομερή στάδια της έρευνας μεταλλευμάτων.

Το φαινόμενο που αξιοποιείται είναι η ηλεκτροδιακή πόλωση που προκαλείται όταν ηλεκτρικό ρεύμα διαφορετικών συχνοτήτων ή διακοπόμενης παραχής, διαπερνά τα πετρώματα που μελετούνται και περιέχουν μεταλλικά συστατικά. Ο Seigel περιγράφει το φαινόμενο με τη σχέση $P=I^2 \cdot M$ (όπου j =πυκνότητα ρεύματος, P =ηλεκτρική πόλωση, M =φάρτισημότητα)

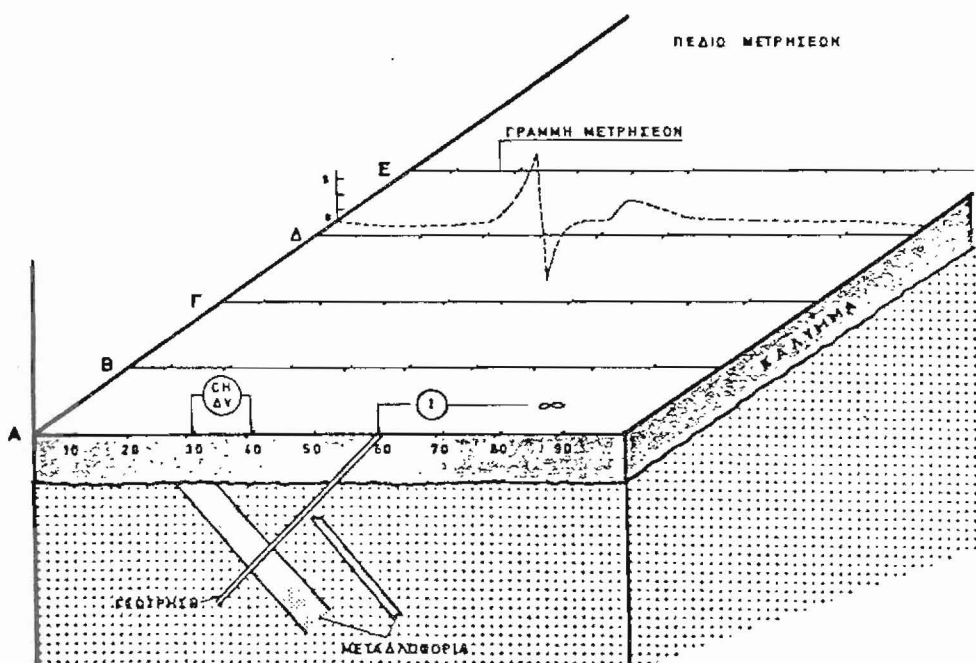
Η μέθοδος που παρουσιάσαμε αποτελεί ηλεκτροδιακή διάταξη με ένα ηλεκτρόδιο τοποθετημένο πάνω στην μεταλλοφορία και ένα κινητό δίπολο πάνω σε γραμμές περίπου κάθετες προς την αναμενόμενη επέκταση της μεταλλοφορίας (Σχ.1).

Εφαρμόσαμε την μέθοδο στη περιοχή ΜΟΛΑΩΝ το 1982 για την διερεύνηση της συνέχειας των μεταλλοφόρων ζωνών και τη τοποθέτηση νέων γεωτρήσεων και τα αποτελέσματα ήταν θετικά. Η μέθοδος εφαρμόστηκε με επιτυχία και σε άλλες περιοχές της Ελλάδας όπου το ΙΓΜΕ πραγματοποιεί έρευνες για μεταλλεύματα.

Το φαινόμενο της I.P. (ηλεκτροδιακή πόλωση) στη προτεινόμενη διάταξη συμπεριφέρεται μη γραμμικά. Τα ισχυρά ρεύματα που διοχετεύονται στο πολούμενο σώμα (μεγαλύτερα των 2Amp's) η γεωμετρία των πόρων και η αντίσταση του σώματος είναι τα κύρια αίτια (Οι Scott & West 1969 αναφέρουν το όριο των $125 \cdot 10^{-5} \text{ Amp}^{-2}$ πυκνότητας γραμμών ρεύματος).

Η απόκριση του ενεργοποιούμενου σώματος οφείλεται κύρια στην πώλωση της επιφανείας του παρά στην πώλωση όγκου του. Ισχυρά ρεύματα αποπώλωσης ρέουν στην πάνω και κάτω επιφάνεια του σώματος προκαλώντας υψηλές τιμές φορτισιμότητας.

ΜΑΛΜ ΙΡ ΔΙΑΤΑΞΗ ΒΑΘΜΙΔΑΣ

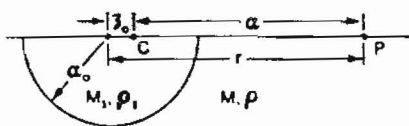


Σχ. 1 Σχηματική απεικόνιση της μεθόδου Mise alla masse I.P.

Ανάλογα με το σημείο ενεργοποίησης της μεταλλοφορίας παρατηρούνται εναλλαγές των λοβών των ανωμαλιών (Θετικών-Αρνητικών).

Το 1991 ο J.R. Wait σε μια προσπάθεια ερμηνείας των αρνητικών τιμών ποσοτικοποιεί αναλυτικά την εξωτερική ηλεκτρική απόκριση μιας παλούμενης σφαίρας με εσωτερική ενεργοποίηση. (Σχ. 1α)

Η οναλυση του δειχνει διτ κατὰ τη χρονική περίοδο μη ενεργοποίησης της σφαίρας η απόκριση μεταβάλλεται απο θετική σε αρνητική και στη συνέχεια προσεγγίζει το μηδέν καθώς το ηλεκτρικό ρεύμα μετακινείται απο το κέντρο της σφαίρας προς τα έξω.



Δυναμικό στο P:
$$\psi = \frac{I\rho_1}{2\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(2n+1)\rho z_0^n}{(n+1)\rho_1+n\rho} \frac{1}{r^{n+1}} P_n(\pm 1)$$

όπου $P_n(\pm 1) = P_n(\cos \theta)$, $\theta = 0$ or π

αλλά $\psi = \frac{I\rho_0}{2\pi a}$

Συνεπώς
$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(2n+1)\rho z_0^n a}{[(n+1)\rho_1+n\rho] r^{n+1}} P_n(\pm 1)$$

Φορτισσιμότητα $M_0 = M + B_1 (M, -M)$

όπου $B_1 = \frac{\rho_1 \partial \rho_2}{\rho_2 \partial \rho_1}$

Έτσι $B_1 = \frac{\rho_1}{\rho_2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{n(2n+1)\rho}{[(n+1)\rho_1+n\rho]^2} \frac{z_0^n a}{r^{n+1}} P_n(\pm 1)$

Τέλος $B_1 = \pm \frac{3\rho\rho_1}{(2\rho_1+\rho)^2} \frac{z_0}{a}$

Έτσι $M_0 = M$ for $z_0 = 0$

Και θα γίνεται θετικό ή αρνητικό συναρτήσει του z_0

Σχ. 1α J.R. Wait's MAM Ανάλυση

Τεχνικές μετρήσεων - παρουσίασης

Ήδη παρουσιάστηκε η διάταξη των ηλεκτροδίων κατά τις μετρήσεις υπαίθρου. Η ενεργαποίηση γίνεται τόσο στα την επιφάνεια εφ' όσον υπάρχει επιφανειακή εκδήλωση της μεταλλοφορίας ή μέσω μιάς στοός ή γεωτρήσεων. Σχ. 1

Είναι επίσης δυνατή η ενεργοποίηση μεταλλοφοριών εάν βρισκονται πλησίον μιάς στείρας γεώτρησης.

Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται μέσω ενός διπόλου κυμοινόμενου μήκους (για να εξασφαλίζει ικανό σήμα αλλά και να αναλύει μικρού πάχους μεταλλοφορίες) και επίσης κυμοινόμενου βήματος μετακίνησης που σε περιπτώσεις μπορεί να φτάσει το 1 μέτρο για να εξασφαλιστεί η ανάλυση λεπτών ζωνών.

Τα δίπολο μέτρησης κινείται σε τομές κάθετες προς την αναμενόμενη ανάπτυξη της μεταλλοφόρου ζώνης αλλά είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν και δύο δίπολα κάθετα μεταξύ των για τη διερεύνηση της διεύθυνσης της μεταλλοφόρου ζώνης όπου η γεωλογία δεν είναι γνωστή.

Οι μετρήσεις που παίρνονται κύρια για τις τιμές φορτισιμότητας παρουσιάζονται σε χωροθετημένες τομές λόγω των εναλλαγών των θετικών και αρνητικών λοβών των ανωμαλιών αλλά και για τις εξαιρετικά υψηλές τιμές που παίρνουμε σε μερικές περιπτώσεις.

Ο συγκεκριμένος τρόπος παρουσίασης παρέχει και άλλα πλεονεκτήματα όπως π.χ. τον ακριβή εντοπισμό του πολούμενου σώματος αλλά και της ακριβούς εκτίμησης εγκόσμιας προς την ανάπτυξη τεκτονικής του.

Ο εξοπλισμός που μπορεί να χρησιμοποιηθεί περιλαμβάνει τόσο Time Domain όσο και Frequency Domain συσκευές, στη περίπτωση μας χρησιμοποιήθηκαν οι συσκευές Mc Phar & HUNTEC Mark IV ισχύος 2,5 και 7,5 KW αντίστοιχα.

Επιτυχείς εφαρμογές της μεθόδου στην Ελλάδα

Αναφέρθηκε ήδη, ότι στους Μολάους το 1982 εφαρμόστηκε η μέθοδος MALM IP και στη συνέχεια λόγω των πλεονεκτημάτων της, εφαρμόζεται σε πολλά προχωρημένα έργα του ΙΓΜΕ που αφορούν κύρια την έρευνα πολυμεταλλικών θειούχων. Στη συνέχεια χρονολογικά παρουσιάζονται τρεις περιοχές που αφορούν τρία διαφορετικά γεωλογικά περιβάλλοντα. (Σχ. 2)

Περιοχή Μολάων

Η περιοχή βρίσκεται στη Ν.Α. Πελοπόννησα, οι δε έρευνες αφορούσαν τον εντοπισμό μικτών θειούχων Pb-Zn-Ag σε μεταμορφωμένα ηφαιστειακά πετρώματα ανδεσιτικής σύστασης περμοτριάδικης ηλικίας. Οι αερομαγνητικές μετρήσεις (Hunting 1978, 800 μέτρα απόσταση γραμμών πτήσης, 300 μέτρα ύψος πτήσης από τοπογραφικό ανάγλυφο και $\pm 1nT$ ακριβείας) χαρτογραφούν τους ηφαιστείτες και αναλύουν την τεκτονική τους. Η γεωφυσική εδάφους κάλυψε έκταση 10 περίπου Km^2 με τις μεθόδους Επαγμένης Πόλωσης σε διατάξεις πόλου-διπόλου και βαθμίδας, Ηλεκτρομαγνητικές Turam και VLF, Μαγνητικές, Φυσικού Δυναμικού, Ραδιομετρικές, Βαρυτομετρικές (5 τομές). Ο συνδυασμός των μεθόδων επέτρεψε την χαρτογράφηση των μεταλλοφόρων ζωνών και την αξιολόγησή των.

Η έντονος ρηγματαγόνος τεκτονική με ΒΒΑ-ΝΝΔ διεύθυνση επηρεάζει τις μεταλλοφόρες ζώνες προκαλώντας οριζόντιες μετατοπίσεις και κατακόρυφες μεταπτώσεις, όταν λοιπόν το πάχος του καλύματος υπερβεί τα 100-150 μέτρα οι επιφανειακές μετρήσεις αδυνατούν να αναλύσουν τις παραπάνω μετακινήσεις ή ακόμα και τις ίδιες τις ζώνες όταν βρίσκονται σε βάθος μεγαλύτερο των 200 μέτρων. Τα προβλήματα αυτά μας οδήγησαν στην εφαρμογή της MALM I.P. το καλοκαίρι του 1982 για την διερεύνηση της συνέχειας δύο ζωνών που είχαν εντοπιστεί με ισάριθμες γεωτρήσεις σε βάθος 20 περίπου μέτρων. Τα αποτελέσματα ήταν θεαματικά και οι επόμενες γεωτρήσεις επιβεβαίωσαν τις γεωφυσικές μετρήσεις που είχαν προσδιορίσει μεγάλες πλευρικές μετατοπίσεις.

Στη συνέχεια για τη διερεύνηση της βόρειας επέκτασης μίας ζώνης στο ΒΑ τμήμα του χάρτη Σχ.3, χρησιμοποιήθηκε εκ νέου η μέθοδος με επίσης θεοματικά αποτελέσματα χωροθετώντας τη ζώνη σε οπδοστάση 500 μέτρων βόρεια της γεώτρησης ενεργοποίησης και σε βάθη 550μ. και 630μ. αντίστοιχα όπως έδειξαν οι αντίστοιχες γεωτρήσεις (Σχ.4). Στο υπόλοιπο γεωτρητικό πρόγραμμα των Μολδών η ΜΑΛΜ εφορμόστηκε όταν υπήρχον προβλήματα τεκτονικής αλλά και ονογνώρισης μεταλλοφόρων ζωνών.

Περιοχή Αισούμης

Τα πολύ ευθρορυντικά αποτελέσματα στους Μολδούς έδωσαν το ένοσμα για τη χρησιμοποίηση της μεθόδου και στη περιοχή Αισούμης. Ο ερευνητικός χώρος βρίσκεται στην Ανατολική Θράκη και ουγκέντρωσε για πολλά χρόνια το ενδιαφέρον του ΙΓΜΕ με στόχο τον εντοπισμό συμπαγών μικτών θειούχων. (Σχ.5)

Πρόκειται για μεταλλοφορίες Pb-Zn-Ag που φιλοξενούνται σε ηφαιστειακό σαιτήματο που ανοπτύχθηκαν στον περιροδοπικό χώρο κατά τη διάρκεια του τρίτογενούς. Οι μεταλλοφορίες έχουν στρωμοτογραφικό ή τεκτονικό κοντράλ.

Η περιοχή έχει καλυφθεί με Αερομαγνητικές μετρήσεις (800 μέτρα οπδοστάση γρομμών πτήσης, 270 μέτρα ύψος πτήσεων \pm 5nT ακρίβεια, ΑΒΕΜ 1967) αλλά και συνδυασμό Μαγνητικών, Ηλεκτραμαγνητικών και Ραδιομετρικών απο ελικόπτερο (ΒGR 1979). Οι μετρήσεις εδάφους οφορούσαν τις μεθόδους: Επαγμένη Πόλωση (Ι.Ρ.), Ηλεκτρομαγνητικές Turam και VLF, S.P και Ραδιομετρικές. Οι μαγνητικές μετρήσεις χαρτογραφούν την εξόπλωση των ηφιοστειτών ενώ οι υπόλοιπες τις μεταλλοφόρες ζώνες.

Η ΜΑΛΜ Ι.Ρ. χρησιμοποιήθηκε για να διαπιστώσει την έκταση και διεύθυνση της μεταλλοφορίας που διατρήθηκε σε βάθος 85 μέτρων που είχε εκφραστεί στις μετρήσεις απο ελικόπτερο (χαμηλές αντιστάσεις) αλλά και στις μετρήσεις εδάφους. Όπως παρατηρούμε στα Σχήμα 6 η ανωμαλία περιορίζεται στα βόρειο άκρο του χάρτη οι δε γεωτρήσεις που τοποθετήθηκαν στη συνέχεια εκατέρωθεν της γεώτρησης ενεργοποίησης επιβεβαίωσαν τα αποτελέσματα της μεθόδου.

Περιοχή Θερμών

Και η περιοχή Θερμών βρίσκεται επίσης στην Βόρεια Ελλάδα ανήκει δε στη μάζα Ροδόπης. Το ενδιαφέρον του ΙΓΜΕ αφορά τον εντοπισμό συμπογών φλεβικών ή μετασωματικών θειούχων Pb, Zn, Ag. (Σχ. 7).

Η γεωφυσική κλήθηκε να βοηθήσει τον εντοπισμό μεταλλοφοριών που δεν έχουν απαραίτητα επιφανειακή εκδήλωση και χρησιμοποιήθηκαν οι μέθοδοι Επαγωγμένης Πόλωσης (I.P.), Μαγνητική, EM Turam και Φυσικού δυναμικού (S.P.).

Η MALM IP χρησιμοποιήθηκε για να χαρτογραφήσει τη συνέχεια μεταλλοφοριών που έχουν επιφανειακή εκδήλωση ή έχουν εντοπιστεί σε γεωτρήσεις.

Η μέθοδος απέδωσε τα αναμενόμενα και βοήθησε αποτελεσματικά τις φάσεις του λεπτομερούς γεωτρητικού προγράμματος.

Στον χάρτη Σχ. 7 παρουσιάζεται η μεταλλοφόρος ζώνη Κάτω Θερμών όπου έγινε η εφαρμογή της μεθόδου ενεργοποιώντας επιφανειακά την ζώνη και οι τομές που έχουν μετρηθεί. Παρατηρούμε επίσης και τις γεωτρήσεις που ολοκλήρωσαν με θετικό αποτέλεσμα.

Στον χάρτη Σχ. 8 παρουσιάζονται ορισμένες τομές με τη γεωφυσική απόκριση και την ποσοτική ερμηνεία τους που αφορούν την περιοχή του χάρτη Σχ. 7.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η χρησιμοποίηση της MALM I.P. σε σχέση με την κλασική MALM υπερτερεί ιδιαίτερα όταν πρόκειται για βαθείς στόχους αλλά και όταν πρόκειται για επιφανειακούς αγωγούς η MALM I.P. δίνει ακριβέστερη χωροθέτηση και πληρέστερη ανάλυση τους. Πρέπει να τονισθεί ότι η MALM I.P. ανταποκρίνεται και σε μη αγώγιμες ζώνες που σε διαφορετική περίπτωση δεν θα μπορούσαν να ανιχνευθούν από την MALM.

Από την μέχρι τώρα εμπειρία προκύπτει ότι η μέθοδος αποτελεί ένα αποτελεσματικό εργαλείο κατά τις λεπτομερείς φάσεις του γεωτρητικού προγράμματος στην έρευνα μεταλλευμάτων.

Ειδικότερα δίνει τη δυνατότητα ακριβούς χωροθέτησης μεταλλοφόρων ζωνών και σε μεγάλα βάθη (500-600μ.).

Αναλύει την τεκτονική των μεταλλοφόρων ζωνών και πιστοποιεί την πλευρική μετατόπιση.

Επιβεβαιώνει την τοπότητα ζωνών που έχουν ενταπιστεί σε διαφορετικές γεωτρήσεις ή στοές.

Ανάλογο με το σημεία ενεργοποίησης και τη μορφή της μεταλλοφόρου ζώνης υπάρχει διαφοροποίηση στην ένταση και τη μορφή των ανωμαλιών. Έτσι δίνει τη δυνατότητα εκτίμησης των χαρακτηριστικών που αφορούν τη γεωμετρία του μεταλλοφόρου σώματος.

Η MALM I.P. κατά την άποψή μας μπορεί να βρεί εφαρμογές και σε άλλα προβλήματα όπως π.χ. Υδραυλικές παράμετροι υδροφόρων (Ταχύτητα και διεύθυνση ροής), μολύνσεις και τεκτονική των.

Μια άλλη πιθανή εφαρμογή αφορά τη χρήση της μεθόδου στη γεωθερμία. Πιστεύουμε επίσης ότι για την πληρέστερη γνώση των δυνατοτήτων της μεθόδου απαιτείται παραπέρα έρευνα στα εργαστήρια (Πειραματισμός μοντέλων κλίμακας) αλλά και μοντελοποίησης στους Η/Υ.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ΑΓΓΕΛΟΠΟΥΛΟΣ Α. 1988 Γεωφυσική έρευνα στην ευρύτερη περιοχή Μολάων 1982- 1987
IGME Έκθεση
- ΑΓΓΕΛΟΠΟΥΛΟΣ Α. - ΝΙΚΟΛΑΟΥ Σ. 1983 Η συμβολή της γεωφυσικής στην έρευνα μικτών θειούχων μεταλλευμάτων
1ο Γεωλογικό Συνέδριο ΣΕΓ ΑΘΗΝΑ 1983
- ANGELOPOULOS A.- NIKOLAOU S. 1984 Airborne geophysics and Mineral exploration in Greece
27th Internation Geological Congress MOSCOW 1984.
- ARVANITIDIS N.D, NIKOLAOU et al 1987 Greek bulgarian joint project on the geology, metallogeny and prospecting of the thermes, ore field Northern Greece.IGMES internal rapport XANTHI 1987
- MWENIFUMBO C.J 1980 Interpretation of misse à la masse data for vein type bodies:University of Western Ontario, London, Ontario, Ph.D. Dissertation
- OGILVY R.D. 1984 Down Hole IP/Resistivity prospecting in mineral drill- holes- some illustrative field examples
Geoxploration 23. 257-273
- SCHLUMBERGER C. 1920 Etude sur la prospection electrique du sous- sol Paris, Guthier- Villars
- SCOTT W. I.and WEST C.F. 1969 Induced polarization of synthetic high resistivity rocks containing disseminated sulfides. Geophysics, 34:87-100
- SEIGEL H.O. 1959 A theory for induced polarization effects (for step- function excitation) in Wait J. R ed. Overvoltage research and geophysical applications:London Pergamon

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