

ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΠΑΝΩ
ΑΠΟ ΠΟΛΩΜΕΝΟ ΣΩΜΑ ΛΟΓΩ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟΥ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

Σκιάνης, Γ.Α.*, Παπαδόπουλος, Τ.Δ.** και Βαϊόπουλος, Δ.Α.***

* Eurogeoscience, Ιπποκράτους 106, Αθήνα 114 72

** Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τομέας Γεωφυσικής-Γεωθερμίας,
Πανεπιστημιόπολη Ιλίσια, Αθήνα 157 84.

*** Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τομέας Γεωγραφίας-Κλιματολογίας,
Πανεπιστημιόπολη Ιλίσια, Αθήνα 157 84.

Π Ε Ρ Ι Λ Η Ψ Η

Στην παρούσα εργασία επιχειρείται μια μαθηματική περιγραφή της συμπεριφοράς της καμπύλης φυσικού δυναμικού που παράγεται από πολωμένο σώμα, το οποίο βρίσκεται σε μέσο ειδικής αντίστασης ρ_2 και υπόκειται επιφανειακού στρώματος ειδικής αντίστασης ρ_1 . Διαπιστώνεται ότι η παρουσία ενός επιφανειακού στρώματος χαμηλής ή υψηλής ειδικής αντίστασης επιδρά στην ανάπτυξη των ανωμαλιών φυσικού δυναμικού και οδηγεί σε σφάλματα κατά την ποσοτική ερμηνεία προσδιορισμού του βάθους του πολωμένου σώματος. Η μελέτη αυτή συμβάλλει στην καλύτερη κατανόηση των συνθηκών που ευνοούν ή μη την ανάπτυξη ευκρινών ανωμαλιών φυσικού δυναμικού.

DISTORTIONAL AFFECTS ON THE SELF-POTENTIAL CURVE OVER
A POLARIZED BODY

Skianis, G., Papadopoulos, T.D. and Vaiopoulos, D.A.

A B S T R A C T

In the present paper a mathematical treatment is attempted to show up the influence of a surface layer of resistivity ρ_1 , on the formation of SP curve over a polarized body seated in a medium with resistivity ρ_2 . It is shown that the presence of a surface layer with low or high resistivity value affects the development of SP anomalies and invokes serious implications on the quantitative interpretation of such anomalies. As a result the calculated depth is less or higher than the true one, depending on resistivity value of the surface layer. Finally, the limitations are studied under which reliable quantitative interpretation is possible for a SP anomaly.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μέθοδος του φυσικού δυναμικού (SP) έχει χρησιμοποιηθεί σε αρκετά ευρεία κλίμακα στη μεταλλευτική έρευνα, αν και υπάρχουν πολλά ερωτηματικά που μειώνουν την αξιοπιστία της μεθόδου. Στη Διεθνή και Ελληνική βιβλιογραφία (Telford et al., 1976, Slichter, 1955, Παπανικολάου, 1960) έχουν αναφερθεί περιπτώσεις όπου σε

μεταλλευτικές έρευνες, μετρήσεις φυσικού δυναμικού παρουσίασαν ασθενείς ως μηδενικές ανωμαλίες πάνω από διαπιστωμένες θειούχες μεταλλοφόρες ζώνες. Για να αντιμετωπίζονται και να εξηγούνται τέτοιες άστοχες περιπτώσεις εφαρμογής της μεθόδου φυσικού δυναμικού, θα πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη, πέραν των άλλων παραγόντων και η γεωλογική δομή που συναντάται σε κάθε μεταλλοφόρο ζώνη και ιδιαίτερα η κατανομή της ηλεκτρικής ειδικής αντίστασης στο υπέδαφος.

Στην παρούσα εργασία επιχειρείται μια μαθηματική προσέγγιση της συμπεριφοράς της καμπύλης φυσικού δυναμικού πάνω από πολωμένο σώμα (δίπολο απείρου μήκους ή σημειακός-πόλος), το οποίο βρίσκεται σε μέσο ειδικής αντίστασης ρ_2 , κάτω από το επιφανειακό στρώμα ειδικής αντίστασης ρ_1 . Η ανάγκη θεώρησης μιας τέτοιας προσέγγισης προέκυψε από το γεγονός ότι, μεταβολές στην ειδική αντίσταση του υπεδάφους προκαλούν στρεβλώσεις στη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος, που παράγεται από το πολωμένο σώμα, με συνέπεια να μεταβάλλονται και οι μετρούμενες διαφορές δυναμικού στην επιφάνεια του εδάφους. Ετσι, η καμπύλη φυσικού δυναμικού πάνω από πολωμένο σώμα, το οποίο βρίσκεται σε ανομοιογενές υπέδαφος, έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά από εκείνη που προκύπτει από το ίδιο πολωμένο σώμα σε ομογενές υπέδαφος. Η μαθηματική περιγραφή μιας τέτοιας διαδικασίας συνίσταται στην επίλυση της εξίσωσης Laplace με τις οριακές συνθήκες της συνέχειας του δυναμικού και της συνέχειας της συνιστώσας της πυκνότητας ρεύματος που είναι κάθετη στη διαχωριστική επιφάνεια των δύο μέσων με διαφορετική ειδική αντίσταση. Οι τεχνικές των ειδώλων και των χωριζομένων μεταβλητών για την επίλυση της εξίσωσης Laplace, για διάφορες κατανομές ειδικής αντίστασης είναι γνωστές από τη θεωρία των γεωηλεκτρικών μεθόδων (Grant and West, 1965, Keller and Frischknecht, 1966). Τα τελευταία χρόνια οι συγγραφείς της παρούσας μελέτης έχουν αξιοποιήσει αυτό το ήδη αρκετά επεξεργασμένο θεωρητικό υπόβαθρο, στην κατεύθυνση της μελέτης των ανωμαλιών φυσικού δυναμικού που παράγονται από πολωμένα σώματα (πηγές ηλεκτρικού ρεύματος) μέσα σε ανομοιογενές υπέδαφος (Skianis et al., 1991).

Η παρούσα μελέτη μπορεί να συμβάλει στη καλύτερη κατανόηση των συνθηκών που ευνοούν ή μη την εκδήλωση ανωμαλίας φυσικού δυναμικού πάνω από πολωμένο σώμα καθώς και στην επίλυση προβλημάτων που υπεισέρχονται κατά την ποσοτική ερμηνεία. Ετσι, είναι δυνατόν να σχηματιστεί μια πιο σαφής εικόνα για τις δυνατότητες και τους περιορισμούς της μεθόδου φυσικού δυναμικού στη μεταλλευτική έρευνα.

ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΔΙΠΟΛΟΥ ΑΠΕΙΡΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΜΕΣΑ ΣΕ ΑΝΟΜΟΙΟΓΕΝΕΣ ΥΠΕΔΑΦΟΣ

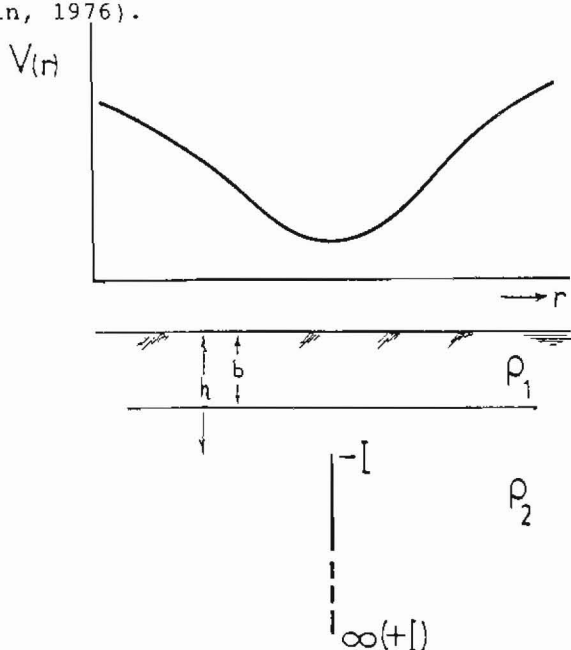
Η γεωμετρία του προβλήματος παρουσιάζεται στο σχήμα 1. Η πηγή της ανωμαλίας (μεταλλοφόρο σώμα) είναι ένα ηλεκτρικό δίπολο, ο αρνητικός πόλος του οποίου βρίσκεται σε βάθος h κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Ο θετικός πόλος βρίσκεται θεωρητικά σε άπειρο βάθος. Το δίπολο βρίσκεται σε μέσον ειδικής αντίστασης ρ_2 , πάνω από το οποίο υπάρχει στρώμα ειδικής αντίστασης ρ_1 και πάχους b .

Η έκφραση για το δυναμικό $V_{\rho_1, \rho_2}(x)$, σε σημείο που απέχει κατά x από την προβολή του αρνητικού πόλου στην επιφάνεια του

εδάφους είναι, όπως φαίνεται στο σχήμα 1

$$V_{\rho_1 \rho_2}(r) = \frac{I\rho_2}{2\pi} \left[1 + \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1 + \rho_2} \right] \sum_{n=0}^{\infty} \left[\frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \right]^n \frac{1}{\sqrt{(h+2nb)^2 + r^2}} \quad (1)$$

(από Corwin, 1976).



Σχ.1. Σκαρίφημα που δείχνει την ανωμαλία φυσικού δυναμικού ενός ηλεκτρικού διπόλου απείρου μήκους (σημειακού-πόλου, έντασης- I), τοποθετημένου σε βάθος h , εντός μέσου ειδικής αντίστασης ρ_2 , που υπόκειται ενός επιφανειακού στρώματος ειδικής αντίστασης ρ_1 και πάχους b .

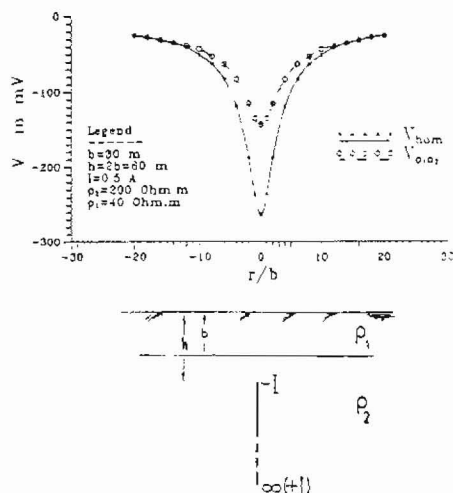
Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΕΙΔΙΚΩΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ ρ_2 ΚΑΙ ρ_1 ΣΤΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΟΥ ΠΛΑΤΟΥΣ ΤΗΣ ΑΝΩΜΑΛΙΑΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΠΟΥ ΟΦΕΙΛΕΤΑΙ ΣΕ ΠΟΛΩΜΕΝΟ ΣΩΜΑ

Αν το πολωμένο σώμα βρίσκεται σε ομογενές μέσον ειδικής αντίστασης ρ_2 τότε,

$$V(r) = V_{hom}(r) = \frac{I\rho_2}{2\pi\sqrt{h^2 + r^2}} \quad (2)$$

Στο σχήμα 2 παρουσιάζεται η ανωμαλία φυσικού δυναμικού που παράγεται από αρνητικό πόλο έντασης ρεύματος $I = 0.5$ A, βάθους $h = 60$ m, που βρίσκεται σε μέσον ειδικής αντίστασης $\rho_2 = 200$ Ohm m, κάτω από επιφανειακό στρώμα ειδικής αντίστασης $\rho_1 = 40$ Ohm m. Στο σχήμα (2) έχει επίσης παρασταθεί γραφικά και η ανωμαλία φυσικού δυναμικού που παράγεται από το ίδιο πολωμένο σώμα αλλά

ευρισκομένου σε ομογενές υπέδαφος ειδικής αντίστασης $\rho_2=200 \text{ Ohm.m}$. Ως είναι φανερό, η παρουσία του χαμηλής ειδικής αντίστασης επιφανειακού στρώματος συντελεί στη μείωση του πλάτους της μετρούμενης ανωμαλίας φυσικού δυναμικού. Παρατηρείται μια μείωση της τάξης των 120 mV του πλάτους της ανωμαλίας φυσικού δυναμικού πάνω από ανομοιογενές έδαφος σε σχέση με εκείνου που προκύπτει σε ομογενές μέσον, δεδομένου ότι το πολωμένο σώμα βρίσκεται στο ίδιο βάθος και μέσον ειδικής αντίστασης ρ_2 και στις δύο περιπτώσεις.



Σχ.2. Διάγραμμα που δείχνει την καμπύλη φυσικού δυναμικού που παράγεται από σημειακό πόλο ευρισκόμενου α) σε ομογενές υπέδαφος ειδικής αντίστασης ρ_2 (αστερίσκοι) και β) σε μη ομογενές υπέδαφος, αποτελούμενου από ένα επιφανειακό στρώμα ειδικής αντίστασης ρ_1 και πάχους b και ένα υποκείμενο στρώμα ειδικής αντίστασης ρ_2 , εντός του οποίου βρίσκεται ο σημειακός-πόλος σε βάθος h από την επιφάνεια του εδάφους (κύκλοι).

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το πλάτος της ανωμαλίας φυσικού δυναμικού εξαρτάται από την κατανομή της ειδικής αντίστασης. Για να μελετηθεί καλύτερα η παραπάνω σχέση, διερευνήθηκε η μεταβολή του λόγου του πλάτους της ανωμαλίας πάνω από ανομοιογενές υπέδαφος προς το πλάτος ανωμαλίας ομογενούς υπεδάφους, σε συνάρτηση με το λόγο ρ_2/ρ_1 .

Το μέγιστο πλάτος του δυναμικού $V_{\rho_1, \rho_2}(r=0)$ είναι ίσο με την τιμή της συνάρτησης για $r=0$. Δηλαδή με βάση τη σχέση (1) είναι,

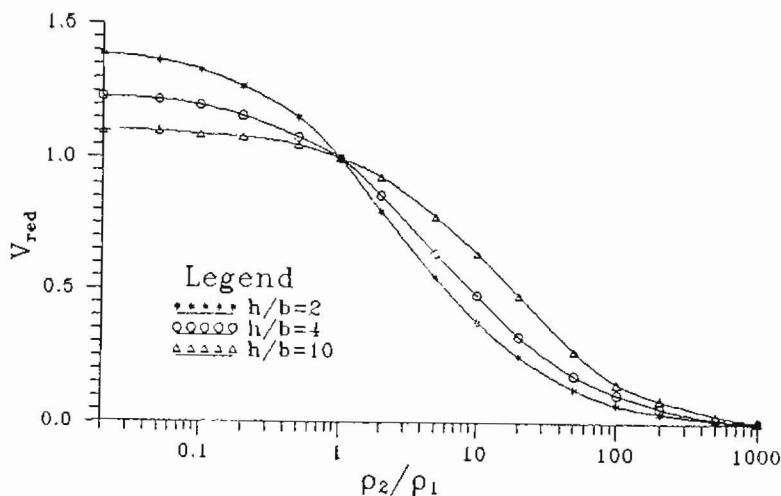
$$V_{\rho_1, \rho_2}(0) = \frac{I\rho_2}{2\pi} \left[1 + \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1 + \rho_2} \right] \sum_{n=0}^{\infty} \left[\frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \right]^n \frac{1}{h + 2nb} \quad (3)$$

Με βάση τη σχέση (2), το μέγιστο πλάτος της ανωμαλίας φυσικού δυναμικού πάνω από ομογενές μέσο ειδικής αντίστασης ρ_2 , δίδεται από τη σχέση

$$V_{hom}(0) = \frac{I\rho_2}{2\pi h} \quad (4)$$

Από τις σχέσεις (3) και (4) συνάγεται ότι

$$V_{red} = \frac{V_{\rho_1\rho_2}(0)}{V_{hom}(0)} = \left[1 + \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1 + \rho_2}\right] \sum_{n=0}^{\infty} \left[\frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}\right]^n \frac{h}{h + 2nb} \quad (5)$$



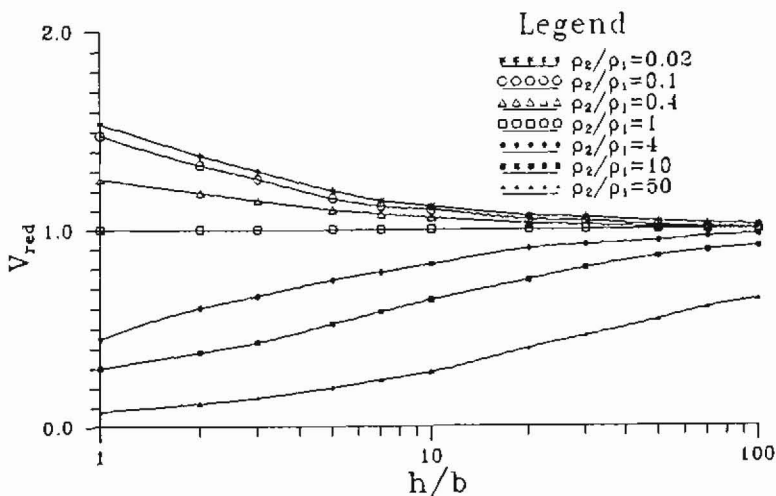
Σχ.3. Γραφική παράσταση της ανηγμένης τιμής της ανωμαλίας φυσικού δυναμικού V_{red} , σε συνάρτηση με το λόγο ρ_2/ρ_1 για διαφορετικές τιμές του λόγου h/b .

Στο σχήμα (3) παριστάνεται γραφικά η μεταβολή των ανηγμένων τιμών V_{red} ως προς ρ_2/ρ_1 , για διαφορετικούς λόγους h/b . Εξετάζοντας την μορφή των καμπύλων μπορούν να εξαχθούν ορισμένες παρατηρήσεις που συνοψίζονται παρακάτω ως ακολούθως:

α) Όταν ο λόγος ρ_2/ρ_1 λαμβάνει τιμές πολύ μεγάλες (ρ_1 πολύ μικρότερο του ρ_2), τότε η τιμή του V_{red} τείνει να μηδενιστεί. Αυτό σημαίνει ότι το πλάτος της ανωμαλίας φυσικού δυναμικού πάνω από το σύστημα των δύο οριζόντιων στρωμάτων είναι πολύ μικρότερο από το πλάτος του δυναμικού πάνω από ομογενές υπέδαφος ειδικής αντίστασης ρ_2 , το οποίο φιλοξενεί το ίδιο πολωμένο σώμα. Έτσι, είναι δυνατόν να εξηγηθεί γιατί η μέθοδος φυσικού δυναμικού δεν δίνει ευκρινείς ανωμαλίες πάνω από επιφανειακό στρώμα αργιλικών πετρωμάτων (Telford et al., 1976). Πράγματι, τα αργιλικά πετρώματα έχουν συνήθως χαμηλές ειδικές αντιστάσεις, που μπορεί να είναι αρκετές τάξεις μεγέθους μικρότερες από την ειδική αντίσταση ρ_2 του υποκειμένου πετρώματος. Σε μια τέτοια περίπτωση το αργιλικό υλικό "βραχυκυκλώνει" τα φυσικά ρεύματα που παράγονται από το πολωμένο σώμα και προκαλούνται πολύ μικρές πτώσεις τάσης κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, με συνέπεια να δημιουργούνται και μικρές ανωμαλίες φυσικού δυναμικού. Στην περίπτωση αυτή η τιμή V_{red} ελαττώνεται κατά πολύ, σύμφωνα πάντοτε και με τις θεωρητικές προβλέψεις μας.

β) Για λόγο $\rho_2/\rho_1=5$ η τιμή V_{red} κυμαίνεται μεταξύ 0.5-0.8, όπως φαίνεται στο σχήμα (3). Έτσι, η ανωμαλία φυσικού δυναμικού είναι περίπου 50% - 80% της αντίστοιχης ανωμαλίας που θα παραγόταν πάνω από ομογενές μέσον ειδικής αντίστασης ρ_2 , εντός του οποίου βρίσκεται το ίδιο πολωμένο σώμα. Λόγος ρ_2/ρ_1 ίσος με 5 παρατηρείται στα υποθαλάσσια κοιτάσματα (Corwin, 1976). Επομένως, η παρουσία του θαλασσινού νερού ελαττώνει σημαντικά το πλάτος της ανωμαλίας φυσικού δυναμικού σε τέτοιο όμως βαθμό, που να είναι δυνατό να σημειωθούν ευκρινείς ανωμαλίες, έστω και μειωμένες σε σχέση με αυτές που θα σημειώνονταν σε ομογενές υπέδαφος ειδικής αντίστασης ρ_2 .

γ) Αν ο λόγος ρ_2/ρ_1 κυμαίνεται μεταξύ του 10^{-2} και 10^0 , δηλαδή αν το υπερκείμενο στρώμα έχει μεγαλύτερη ειδική αντίσταση ρ_1 από το υποκείμενο στρώμα ρ_2 , τότε $V_{red} > 1$. Επομένως, η παρουσία επιφανειακού στρώματος με σχετικά υψηλή ειδική αντίσταση, συμβάλλει στην παραγωγή ισχυρών ανωμαλιών φυσικού δυναμικού. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στην παρουσία του στρώματος υψηλής ειδικής αντίστασης ρ_1 , που προκαλεί υψηλές πτώσεις τάσης στο ρεύμα που παράγεται από το πολωμένο σώμα. Σύμφωνα με την πρόβλεψη αυτή, η παρουσία στρώματος οξειδώσεως πάνω από υγιές μεταλλοφόρο σώμα, θα πρέπει να ευνοεί την ανάπτυξη ισχυρών ανωμαλιών φυσικού δυναμικού, δεδομένου ότι τα πετρώματα με οξείδια μετάλλων παρουσιάζουν υψηλή ειδική αντίσταση. Σε αντίθεση με τα παραπάνω, αν η ειδική αντίσταση από το πολωμένο σώμα, είναι πολύ μεγαλύτερη (πάνω από 50 φορές) από την τιμή της ρ_2 , τότε το στρώμα οξείδωσης μπορεί να λειτουργήσει ως μονωτής, έτσι ώστε να εμποδίσει τη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος. Σε μια τέτοια περίπτωση δεν ισχύουν οι εξισώσεις (1) έως (5) για την περιγραφή του ηλεκτρικού πεδίου και δεν αναμένεται να μετρηθούν ευκρινείς ανωμαλίες φυσικού δυναμικού.

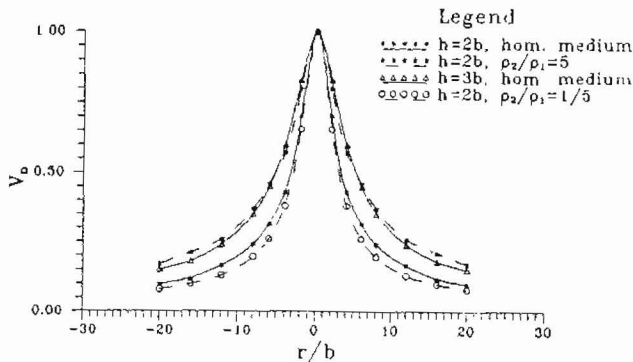


Σχ.4. Γραφική παράσταση της ανηγμένης τιμής της ανωμαλίας φυσικού δυναμικού V_{red} , σε συνάρτηση με το λόγο h/b για διαφορετικές τιμές του λόγου ρ_2/ρ_1 .

Στο σχήμα (4) φαίνεται η μεταβολή της τιμής V_{red} ως προς τον λόγο h/b , για διαφορετικές τιμές του λόγου ρ_2/ρ_1 . Είναι φανερό ότι, η παρουσία του επιφανειακού στρώματος επηρεάζει σημαντικά το πλάτος της ανωμαλίας, ακόμα κι' όταν το βάθος h είναι 10 φορές μεγαλύτερο του πάχους b του επιφανειακού στρώματος. Επίσης, όσο αυξάνει το βάθος του πολωμένου σώματος, μειώνεται το μέγεθος της συνεισφοράς του επιφανειακού στρώματος στη διαμόρφωση του πλάτους της ανωμαλίας φυσικού δυναμικού και η συμβολή αυτή μπορεί να θεωρηθεί πολύ μικρή αν το βάθος h είναι πάνω από 100 φορές μεγαλύτερο του πάχους b του επιφανειακού στρώματος. Θα πρέπει να σημειωθεί επίσης, ότι το χαμηλής ειδικής αντίστασης επιφανειακό στρώμα, επηρεάζει περισσότερο το πλάτος της ανωμαλίας φυσικού δυναμικού παρά το υψηλής ειδικής αντίστασης στρώμα.

ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΑΝΟΜΟΙΟΓΕΝΕΙΑΣ ΤΟΥ ΕΛΑΦΟΥΣ. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΒΑΘΟΥΣ ΤΟΥ ΠΟΛΩΜΕΝΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ.

Πέρα από την επίδραση της ανομοιογενούς κατανομής της ειδικής αντίστασης στη διαμόρφωση του πλάτους της ανωμαλίας φυσικού δυναμικού, η παρουσία του επιφανειακού στρώματος επιφέρει και άλλες αλλαγές στα χαρακτηριστικά της καμπύλης SP , οι οποίες μπορούν να φανούν με την κανονικοποίηση των τιμών φυσικού δυναμικού του μοντέλου π.χ. του σχήματος (2). Ως μέγιστη τιμή για την κανονικοποίηση λήφθηκε εκείνη που προέκυψε από τις σχέσεις (3) και (4) για ανομοιογενές και ομογενές υπέδαφος, αντίστοιχα. Η καμπύλη που αντιστοιχεί σε ομογενές υπέδαφος ειδικής αντίστασης ρ_2 (σχ. 5), παρουσιάζει μια πιο έντονη πτωτική τάση με την απόσταση x , σε σχέση με την καμπύλη που παράγεται από το ίδιο πολωμένο σώμα αλλά σε ανομοιογενές υπέδαφος και για λόγο $\rho_2/\rho_1=5$ (σχ. 5). Η παρουσία του χαμηλής ειδικής αντίστασης επιφανειακού στρώματος αμβλύνει την ανωμαλία φυσικού δυναμικού, ως προς τον άξονα των αποστάσεων. Μια τέτοια αλλοίωση των χαρακτηριστικών της καμπύλης φυσικού δυναμικού έχει σημαντικές επιπτώσεις στην ποσοτική ερμηνεία της ανωμαλίας του δυναμικού και πιο συγκεκριμένα στον προσδιορισμό του βάθους του αρνητικού πόλου. Στο παράδειγμα που αναφέρεται, το βάθος του πόλου είναι $h=2b$ και $\rho_2/\rho_1=5$. Θεωρώντας όμως τον αρνητικό πόλο σε ομογενές υπέδαφος θα προκύψει, με βάση τη σχέση (2), ένα "φαινόμενο" βάθος $h_a=3b$. Στη συνέχεια, αν θεωρηθεί αυτό το "φαινόμενο" βάθος του αρνητικού πόλου, που βρίσκεται σε ομογενές μέσο, θα προκύψει μια καμπύλη που θα προσεγγίζει περισσότερο ικανοποιητικά την ανωμαλία φυσικού δυναμικού που παράγεται από πολωμένο σώμα σε ανομοιογενές υπέδαφος από όσο η καμπύλη που θα προκύψει από το ίδιο σώμα που βρίσκεται σε βάθος $h=2b$ και σε ομογενές υπέδαφος. Στην περίπτωση που ο λόγος ρ_2/ρ_1 ισούται με $1/5$, η κανονικοποιημένη καμπύλη διαφέρει ελαφρώς αλλά από την αντίθετη πλευρά ως προς τις προαναφερόμενες καμπύλες. Έτσι, για πολωμένο σώμα σε ανομοιογενές υπέδαφος με $\rho_2/\rho_1=5$ και $h=2b$, το σχετικό σφάλμα στον υπολογισμό του βάθους, με την παραδοχή του ομογενούς μέσου, είναι $\Delta h/h=(h_a-h)/h$, περίπου 50%. Πρόκειται για μια σημαντική απόκλιση από την πραγματική τιμή του βάθους h του πολωμένου σώματος.



Σχ.5. Γραφική παράσταση κανονικοποιημένων καμπύλων φυσικού δυναμικού που παράγονται από σημειακό-πόλο τοποθετημένο α) σε βάθη $h=2b$ (αστερίσκοι) και $h=3b$ (τρίγωνα) και σε ομογενές μέσον και β) σε βάθος $h=2b$ σε μη ομογενές μέσον μέ λόγο ειδικών αντιστάσεων $\rho_2/\rho_1=5$ (αστέρια) και $\rho_2/\rho_1=1/5$ (κύκλοι).

Στο σχήμα 6 φαίνεται το σχετικό σφάλμα που υπεισέρχεται στον προσδιορισμό του βάθους, όταν δεν λαμβάνεται υπ' όψη η ανομοιογένεια του υπεδάφους, για διαφορετικές τιμές των λόγων h/b και ρ_2/ρ_1 . Το βάθος h προσδιορίζεται από τη σχέση

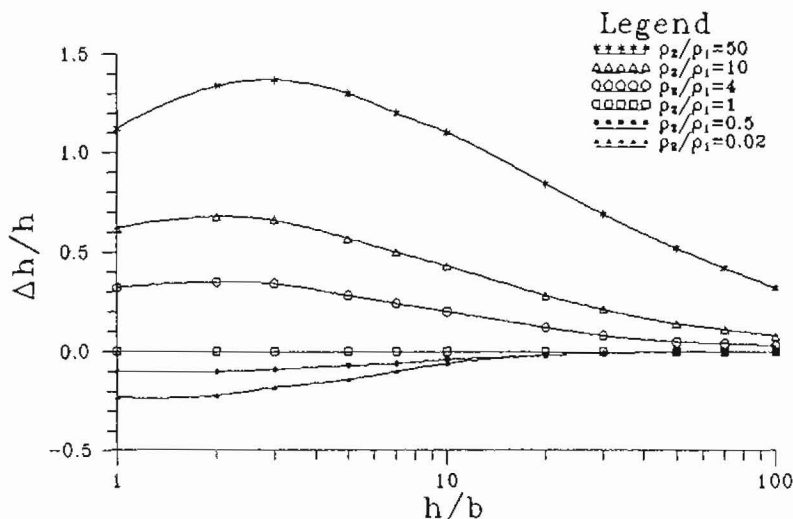
$$V_n(r=2h) = \frac{ha}{\sqrt{ha^2 + (2h)^2}} \quad (6)$$

όπου

$$V_n = \frac{V_{\rho_2 \rho_2}(r=2h)}{V_{\rho_2 \rho_2}(r=0)} \quad (7)$$

όπου το h θεωρείται γνωστό, ενώ $ha=h$ για ομογενές μέσον και $ha \neq h$ για μη ομογενές μέσον. Είναι φανερό, ότι οι αποκλίσεις Δh είναι μέγιστες στο διάστημα μεταξύ $2b-3b$ και ξεπερνούν το 100% της πραγματικής τιμής του βάθους h . Επίσης, οι αποκλίσεις είναι πιο έντονες, όταν το επιφανειακό στρώμα έχει χαμηλότερη ειδική αντίσταση απ' ότι το υποκείμενο στρώμα. Για $\rho_2 < \rho_1$ τότε θα ισχύει $ha < h$. Αυτό σημαίνει ότι σε υπεδάφος με επιφανειακό στρώμα υψηλής ειδικής αντίστασης, το υπολογιζόμενο βάθος ha είναι μικρότερο του πραγματικού βάθους h . Από τα παραπάνω συνάγεται ότι, η ποσοτική ερμηνεία μιας ανωμαλίας φυσικού δυναμικού, μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλα σφάλματα στον προσδιορισμό του βάθους h . Για την αποφυγή εισαγωγής τέτοιων σφαλμάτων, θα πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη η κατανομή της ειδικής αντίστασης μετά του βάθους (με την εφαρμογή των κλασικών γεωηλεκτρικών μεθόδων). Στην περίπτωση που θα διαπιστωθεί η παρουσία οριζόντιων γεωηλεκτρικών στρωμάτων θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί η σχέση (1) για μια αξιόπιστη ερμηνεία της καμπύλης του φυσικού δυναμικού, ενώ στην περίπτωση ομογενούς κατανομής της ειδικής αντίστασης η σχέση (2). Εάν παρ' όλα αυτά η ερμηνεία στηριχθεί αρχικά στην υπόθεση του ομογενούς μέσου, χρησιμοποιώντας τη σχέση (2), θα πρέπει στη συνέχεια να

διορθωθεί η τιμή h_a , με την χρήση βοηθητικών καμπύλων που μπορούν να κατασκευαστούν με βάση τη σχέση (6), έτσι ώστε να ληφθεί μια αξιόπιστη εκτίμηση του βάθους h του πολωμένου σώματος. Έτσι, το πραγματικό βάθος h του πολωμένου σώματος βρίσκεται από το "φαινόμενο" βάθος h_a , το λόγο των ειδικών αντιστάσεων ρ_2/ρ_1 και το πάχος του επιφανειακού στρώματος.



Σχ.6. Γραφική παράσταση της μεταβολής του σχετικού σφάλματος $\Delta h/h$, σε συνάρτηση με το λόγο h/b , για διαφορετικές τιμές του λόγου ρ_2/ρ_1 .

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από όσα αναφέρθηκαν παραπάνω προκύπτει ότι η παρουσία του επιφανειακού στρώματος, με διαφορετική ειδική αντίσταση από αυτή του υποκειμένου στρώματος, επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό τα χαρακτηριστικά της ανωμαλίας φυσικού δυναμικού που παράγεται από πολωμένο σώμα, που βρίσκεται εντός του υποκειμένου στρώματος. Έτσι, η παρουσία ενός επιφανειακού στρώματος με χαμηλή ειδική αντίσταση δεν ευνοεί την ανάπτυξη ισχυρών ανωμαλιών φυσικού δυναμικού και μάλιστα οι προκύπτουσες ανωμαλίες αμβλύνονται στο χώρο των διαστημάτων. Συνέπεια αυτής της συμπεριφοράς της καμπύλης είναι ότι κατά την ποσοτική ερμηνεία των ανωμαλιών φυσικού δυναμικού, αν δεν λαμβάνεται υπ' όψη η ανομοιογένεια του υπεδάφους, να προκύπτει βάθος πολύ μεγαλύτερο του πραγματικού.

Αντίθετα, η παρουσία επιφανειακού στρώματος υψηλής ειδικής αντίστασης, ευνοεί την ανάπτυξη ισχυρών ανωμαλιών φυσικού δυναμικού, οι οποίες οξύνονται στο χώρο των διαστημάτων. Επομένως, κάτω από τέτοιες συνθήκες το υπολογιζόμενο βάθος είναι μικρότερο του πραγματικού, όταν δεν λαμβάνεται υπ' όψη η τυχόν ανομοιογένεια του υπεδάφους.

Η μελέτη της κατανομής της ειδικής αντίστασης σε συνδυασμό με την μεθοδολογία και τα πορίσματα της παρούσας εργασίας, μπορεί να βοηθήσει στην κατανόηση των γεωλογικών συνθηκών που ευνοούν ή μη την εκδήλωση ευκρινών ανωμαλιών φυσικού δυναμικού και να

εξηγήσει την αποτυχία της μεθόδου σε περιοχές με διαπιστωμένη θειούχο μεταλλοφορία. Έτσι, είναι δυνατόν να σχηματιστεί μια πιο πληρέστερη εικόνα των δυνατοτήτων και των περιορισμών της μεθόδου φυσικού δυναμικού στην μεταλλευτική έρευνα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Corwin, R.F., (1976). Offshore Use of the Self-Potential Method. *Geophysical Prospecting* 24, 79-90.
- Grant, F.S. and West, G.F., (1965). Interpretation theory in applied geophysics. McGraw-Hill, 584.
- Keller, G.V. and Frischknecht, F.C., (1966). Electrical methods in geophysical prospecting. London, Pergamon, 519.
- Παπανικολάου, Ν., (1960). Γεωφυσική αναγνώριση μεταλλοφόρων εμφανίσεων περιοχής Κίρκης - Αλεξανδρούπολης. ΙΓΕΥ, αδημοσίευτη έκθεση, 22.
- Skianis, G.Ai., Papadopoulos, T.D. and Vaiopoulos, D.A., (1991). Affects of lateral and vertical variations of earth conductivity on the conformation of self potential anomalies over a polarized body. 1st General Conference of the Balcan Physical Union, September 26-28, 1991, Thessaloniki, Greece, 514-517
- Slichter, L.B., (1955). Geophysics applied to prospecting for ores. *Economic Geology*, 50th Anniversary Vol. 1905-1955, Part II, 885-969.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E. and Keys, D.A., (1976). *Applied Geophysics*. Cambridge University Press, London, New York, Melbourne, 860.