

ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗ ΤΩΝ ΑΡΓΙΛΛΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ, ΤΟΥ ΛΕΚΑΝΟΠΕΔΙΟΥ ΑΤΤΙΚΗΣ,
ΜΕ ΠΥΡΗΝΙΚΕΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ, ΜΕΣΑ ΣΕ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ

Σίδερης, Γ. Ν.

Διεύθυνση Γεωφυσικών Ερευνών, Ινστιτούτο Γεωλογικών και
Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ), Μεσογείων 70, Αθήνα 11527.

Π Ε Ρ Ι Λ Η Ψ Η

Η εργασία αυτή περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο οι γεωφυσικές πυρηνικές διαγραφίες (nuclear borehole logging), μέσα στις γεωτρήσεις, με την κατάλληλη επεξεργασία και παρουσίαση των στοιχείων, χρησιμοποιούνται σε γεωτεχνικές εφαρμογές, με τη βοήθεια μικροϋπολογιστικών συστημάτων και προγραμμάτων λογισμικού. Ο κύριος στόχος αυτής της γεωφυσικής εφαρμογής ήταν να οριοθετήσει την γραμμή της αργίλλου, των ιζηματογενών σχηματισμών, σε διάφορες περιοχές-θέσεις εντός και εκτός της πόλης των Αθηνών.

Το πρόγραμμα διαγραφιών που χρησιμοποιήθηκε κρίνεται επιτυχές γιατί απέδειξε ότι είναι δυνατό να "διακρίνουμε" την στρωματογραφία μιας περιοχής, από τα πρώτα ακόμα στάδια έναρξης ενός σημαντικού γεωερευνητικού έργου, όπως είναι το "Μετρό Αθηνών", με τη χρησιμοποίηση κατάλληλα βαθμονομημένων γεωφυσικών τεχνικών.

IDENTIFICATION OF THE CLAY CONTENT LINE OF ATTIKA BASIN,
WITH NUCLEAR GEOPHYSICAL METHODS, IN BOREHOLES

Sideris, G N.

A B S T R A C T

This paper describes how geophysical borehole logging techniques (total count gamma-ray intensity and gamma-gamma density), log presentation and digital data processing can be used in underground engineering applications with industry standard microcomputers and software. The main purpose of this geophysical application was to identify the clay content line of the sedimentary formations in various sites in and or around the city of Athens.

The logging program was successful, due to the fact that we have used properly calibrated equipment which could make meaningful measurements down to the 40 logged boreholes of the project "Athens Metro", and demonstrated the value and cost effectiveness of a comprehensive logging program, in understanding the subsurface stratigraphy, early in a geoengineering investigation.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κατά τη χρονική περίοδο μεταξύ 30 Ιανουαρίου και 18 Απριλίου 1992 πραγματοποιήθηκαν γεωφυσικές μετρήσεις διαγραφιών γεωτρήσεων, ολικής έντασης της ακτινοβολίας-γάμμα (total count gamma-ray intensity) και πυκνότητας σχηματισμού (bulk density), σε 40 γεωτρήσεις, στην Αθήνα και στην ευρύτερη περιοχή της.

Ο κύριος στόχος της συγκεκριμένης γεωφυσικής εφαρμογής ήταν η οριοθέτηση της γραμμής των γεωφυσικών τιμών που ανταποκρίνονται στις αργιλλικές στρώσεις των ιζηματογενών σχηματισμών, στην υπο μελέτη περιοχή.

Το λογισμικό πρόγραμμα Personal Compu-Log (PCL), που χρησιμοποιήθηκε, προσφέρει μεγάλο αριθμό συνδιασμών συλλογής και καταγραφής των γεωφυσικών παραμέτρων καθώς επίσης και παρουσίασης των τιμών, σε ειδικά τυποποιημένες-σχεδιασμένες φόρμες που έχουν καταχωρηθεί, από τον χειριστή, μέσω μιας ενδιάμεσης μονάδας που λειτουργεί, μέσω αυτού του προγράμματος.

Στις συσκευές καταγραφής του γεωφυσικού συστήματος, το μεγάλης ταχύτητας υπολογιστικό σύστημα καταγράφει τα στοιχεία, με μεγάλη, "floating point", λεπτομέρεια, για την καλύτερη δυνατή ανταπόκριση και υπολογιστική ακρίβεια καθώς και συμβατότητα ανταλλαγής στοιχείων. Ο χειριστής έχει τη δυνατότητα να επιλέξει οποιοδήποτε διάστημα (βάθους) καταγραφής των στοιχείων απαιτηθεί, που να ικανοποιεί τον χρήστη ή διάταξη (μορφή) καταχώρησής τους σε τράπεζα πληροφοριών.

ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ

Βαθμονόμηση είναι η επιβεβαίωση της ανταπόκρισης του φωρατή σε φυσικούς ή/και τεχνικούς σχηματισμούς. Μπορούμε ακόμα να αναφερθούμε στη βαθμονόμηση σαν τη "Λειτουργική πορεία του συνολικού συστήματος του φωρατή σε καλά ελεγχόμενες συνθήκες". Αυτό απαιτεί την απόλυτα ορθολογική λειτουργία του συνόλου των μονάδων του συστήματος διαγραφιών που χρησιμοποιούμε καθώς και βοηθητικές διατάξεις που τις ονομάζουμε βαθμονομητές (calibrators) και που έχουν τη δυνατότητα να εκτέμπουν ειδικά σήματα (Buckup and Sideris, 1992).

1. Βαθμονόμηση του Φωρατή της Ολικής Έντασης της Ακτινοβολίας Γάμμα.

Τα χαρακτηριστικά των φωρατών καταγραφής των ακτίνων γάμμα αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου. Ο κρύσταλλος απαρίθμησης, Na(Tl), των ακτίνων γάμμα, σιγά-σιγά, αλλά σταθερά, "επηρεάζεται" από το φαινόμενο της ευυδάτωσης. Για το λόγο αυτό κρίνεται απαραίτητο να υπάρχει ένας βαθμονομητής υπαίθρου με τον οποίο οι αποκρίσεις όλων των φωρατών θα ομαλοποιούνται με βάση τα "στάνταρντ", που ισχύουν παγκόσμια.

2. Βαθμονόμηση Φωρατών Πυκνότητας Σχηματισμών.

Για τους φωρατές της Πυκνότητας των Σχηματισμών είναι απολύτως απαραίτητο να γίνεται, κατά τακτά χρονικά διαστήματα, "κύρια" βαθμονόμηση για να ελέγχεται, από διακυμάνσεις, η ισχύς της ραδιενεργού πηγής που χρησιμοποιούμε, η τυχόν φθορά της επιφανείας του φρεατίου, καθώς και η ικανότητα του απαριθμητή να καταγράφει το σύνολο των ακτίνων γάμμα που δέχεται. Μια σωστή

βαθμονόμηση απαιτεί η κλίση του φρεατίου και το υγρό που το περιβάλλει να ελέγχονται, με προσοχή.

Η θέση, κάθε φορά, του φωρατή μέσα στο φρεάτιο είναι απαραίτητο να είναι γνωστή. Εάν ο άξονας του φωρατή και ο άξονας του φρεατίου δεν είναι ευθυγραμμισμένοι τότε θα λαμβάνονται διαφορετικές τιμές με αποτέλεσμα να έχουμε μία μετακίνηση των τιμών της πυκνότητας.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΟΥ ΕΦΑΡΜΟΣΘΗΚΕ

1. Διαγραφίες Ολικής Έντασης της Ακτινοβολίας Γάμμα.

Η καμπύλη των ακτίνων γάμμα είναι μετρήσεις της ολικής έντασης της ακτινοβολίας γάμμα μέσα σε μια ακτίνα της τάξης μεγέθους του μισού μέτρου, από τον άξονα της γεώτρησης. Τα συνήθη συστήματα μετρούν το σύνολο της ακτινοβολίας γάμμα που ευρίσκεται μέσα στον χώρο που αρχίζει από την ενεργειακή περιοχή των περίπου 10KeV και φθάνει μέχρι πάνω από τα 5MeV.

Η ολική ένταση της ακτινοβολίας γάμμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εκτιμήσουμε την περιεκτικότητα της αργίλου/αργιλικού σχιστόλιθου, ανεξάρτητα από τις μεταβολές των περιεκτικότητας του καλίου και του ουρανίου. Αυτό επιτυγχάνεται όταν συγκρίνουμε το μέγεθος της έντασης της ακτινοβολίας γάμμα μιας αργιλικής ή αργιλικού σχιστόλιθου ζώνης με μια "καθαρή ζώνη" καθώς και με μια 100% τοιαύτη.

Από τη σχετική εξίσωση:

$$I_{gr} = \frac{G - G_s}{G_{sh} - G_s}$$

λαμβάνουμε τη σχέση:

$$V_{cl} = 0.083 (2^{3.7I_{gr}} - 1)$$

Μερικοί συγγραφείς έχουν καταγράψει μια μη γραμμική σχέση μεταξύ της περιεκτικότητας της αργίλου και των ενδείξεων της ακτινοβολίας γάμμα. Στα πλαίσια συνεργασίας που είχαμε το 1989 με τον κ. Hallenburg, J., καταλήξαμε σε δύο σχέσεις που τις υπέδειξε ο Larionov (Hallenburg, 1984) και τις οποίες βρήκαμε πολύ χρήσιμες. Αυτές είναι:

$$(1) \quad V_{cl} = 0.083 (2^{3.7I_{gr}} - 1) \text{ για Τριτογενή και νεώτερα, και}$$

$$(2) \quad V_{cl} = 0.33 (2^{2I_{gr}} - 1) \text{ για παλαιότερα του Τριτογενούς.}$$

Η καμπύλη της ολικής έντασης της ακτινοβολίας γάμμα είναι μια πάρα πολύ χρήσιμη καμπύλη για στόχους συσχετισμού στοιχείων. Εάν καταγράφονται περισσότερες από μια καμπύλες, σε μια γεώτρηση, τότε θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η καμπύλη ακτίνων γάμμα (Hallenburg, 1984).

2. Διαγραφίες Πυκνότητας Σχηματισμού.

Οι μετρήσεις της πυκνότητας των σχηματισμών γίνονται από μια διάταξη καταγραφής της ακτινοβολίας που σκεδάζεται. Στην

περίπτωση αυτή οι ακτίνες γάμμα, που προέρχονται από μια ραδιενεργό πηγή, σκεδάζονται από τα ηλεκτρόνια των ατόμων της ύλης. Με δεδομένο ότι ο αριθμός των ηλεκτρονίων είναι συνάρτηση του ατομικού βάρους των ατόμων, ο αριθμός των φωτονίων γάμμα που παρέμειναν, μετά τη δίοδο της δέσμης από τη ραδιενεργό πηγή στον κρύσταλλο, είναι συνάρτηση της ηλεκτρονικής πυκνότητας αυτού του όγκου του σχηματισμού. Αυτό μπορεί να εξισωθεί με την πυκνότητα του σχηματισμού. Η ανταπόκριση (μονάδες μέτρησης) είναι σε κρούσεις ανά δευτερόλεπτο (κ.α.δ., c.p.s., counts per second), N_{den} :

$$N_{den} = A + B \log \rho_b$$

Ο φωρατής είναι πολύ ευαίσθητος στην παρουσία στρώματος λάσπης στα τοιχώματα της γεώτρησης. Όσο μικρότερη είναι η απόσταση μεταξύ ραδιενεργού πηγής και κρυστάλλου τόσο μεγαλύτερη επίδραση έχει η παρουσία στρώματος λάσπης στις τιμές που θα καταγράψει ο φωρατής. Για το λόγο αυτό το εξισορροπητικό (compensated) σύστημα χρησιμοποιεί δύο διαστήματα. Η εξίσωση επίδρασης είναι:

$$\rho_b = C + D \log N_{LS} - E \log N_{SS}$$

όπου τα D και E έχουν επιλεγεί ώστε να εξουδετερώνουν την επίδραση της πυκνότητας λόγω παρουσίας λάσπης στα τοιχώματα της γεώτρησης (Schlumberger, 1989).

Η τιμή της πυκνότητας σχηματισμού, ρ_b , είναι μία συνάρτηση των μερικών πυκνότητων των συστατικών του σχηματισμού:

$$\rho_b = \rho_{ma}^{(1-\Phi)} + \rho_{f1} \Phi$$

όπου ρ_{ma} είναι ο μέσος όρος της πυκνότητας της κύριας μάζας του πετρώματος:

$$\rho_{ma} = V_1 \rho_1 + V_2 \rho_2 + \dots + V_n \rho_n$$

$$V_R = \sum_{j=1}^n V_j$$

Αυτός είναι ο συνολικός όγκος του $j=1$ πετρώματος ή ο όγκος του σχηματισμού, V_b μείον το πορώδες (Φ): $V_R = V_b - \Phi$

Παρόμοια, ρ_{f1} είναι η μέση τιμή της πυκνότητας και των συστατικών των υγρών διάτρησης:

$$\rho_{f1} = V_{f1} \rho_{f1} + V_{f2} \rho_{f2} + \dots + V_{fn} \rho_{fn}$$

$$\sum_{j=1}^n V_{fj} = \Phi v_b$$

όπου V_{fn} είναι ο κλασματικός όγκος κάθε ενός συστατικού των υγρών διάτρησης και ρ_{fn} είναι η πυκνότητα κάθε ενός συστατικού.

Το πορώδες, που προέρχεται από την πυκνότητα, "βρίσκεται" πολύ κοντά στις τιμές του ωφέλιμου πορώδους γιατί η πυκνότητα των αργιλικών σχιστολίθων (το κύριο συστατικό έκφραξης του χώρου γύρω και μέσα στους πόρους) είναι πολύ κοντά σ'αυτή των πετρωμάτων. Έτσι,

$$V_{sh} \approx (\Phi_N - \Phi_p) V_b$$

Αυτό μερικές φορές προσεγγίζεται σαν:

Η πυκνότητα σχηματισμού, ρ_b , ή η τιμή του πορώδους που

$$V_{sh} = \frac{(\Phi_N - \Phi_p)}{\Phi_p}$$

προέρχεται από την τιμή της πυκνότητας, Φ_p , πολύ συχνά καταγράφεται, σε διάγραμμα, έναντι των τιμών του πορώδους των νετρονίων (neutron porosity), Φ_N , για να λάβουμε διορθωμένες τιμές του πορώδους. Η εξίσωση γι' αυτό το διάγραμμα (cross plot) είναι του τύπου γ παρεμβολή:

$$\rho_b = \rho_{ma} + \Phi_N (\rho_{fl} + \rho_{ma})$$

όπου ρ_b είναι η τιμή της πυκνότητας σχηματισμού και είναι η τιμή χ , ρ_{ma} είναι η γ παρεμβολή και είναι ο πίνακας πυκνότητας των πετρωμάτων, $(\rho_{fl} + \rho_{ma})$ είναι η κλίση της γραμμής του πορώδους και Φ_N είναι η τιμή γ .

Η τιμή του πορώδους, που προέρχεται από την πυκνότητα, μας χρησιμεύει για να υπολογίσουμε μια τιμή για την R_o , τη μή διαταραγμένη, σωστή αντίσταση (true resistivity) του σχηματισμού:

$$R_o = R_w \Phi_p^{-m}$$

3. Διαδικασία Καταγραφής των Μετρήσεων.

Σε όλες τις γεωτρήσεις οι μετρήσεις των διαγραφιών καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια ανόδου του φωρατή από το τελικό βάθος της γεώτρησης προς την επιφάνεια του εδάφους. Η ταχύτητα με την οποία πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις κυμαίνονταν από 3μ/λ μέχρι 4μ/λ. Μερικές (22) από τις γεωτρήσεις είχαν χαλυβδοσωλήνες για επένδυση, ενώ οι υπόλοιπες (18) είχαν επένδυση PVC.

Για κάθε γεώτρηση υπάρχει, σαν επικεφαλίδα, πλήρης καταγραφή όλων των στοιχείων και γεωφυσικών παραμέτρων που επηρεάζουν τις μετρήσεις.

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

1. Αξιολόγηση των μετρήσεων.

Οι διαγραφίες της ολικής έντασης της ακτινοβολίας γάμμα είναι μετρήσεις του ποσοστού της φυσικής ακτινοβολίας γάμμα η οποία εκπέμπεται από το σύνολο των γεωλογικών σχηματισμών (πετρωμάτων). Στα περισσότερα ιζηματογενή πετρώματα οι καμπύλες των διαγραφιών των ακτίνων γάμμα ανακλούν τις περιεκτικότητες των αργίλων και των αργιλικών σχιστολίθων από τους περί τη γεώτρηση

σχηματισμούς (International Society of Rock Mechanics, 1985). Τα φυσικά ραδιοστοιχεία γενικά ευρίσκονται συγκεντρωμένα σε μεγαλύτερες ποσότητες στους αργίλους παρά στους υπόλοιπους ιζηματογενείς σχηματισμούς.

Οι ψαμμίτες, οι ασβεστόλιθοι και οι δολομίτες παρουσιάζουν χαμηλότερα επίπεδα ραδιενέργειας εκτός εάν έντονα ραδιενεργές ουσίες όπως π.χ. ηφαιστειακή στάχτη ή εμπλουτισμένες ζώνες έκπλυσης από γρανιτικό υλικό, είναι παρούσες. Αντίθετα, ο χαλαζίας, το κύριο στοιχείο των ψαμμιτών στην περιοχή του λεκανοπεδίου Αττικής (Σαμπατανάκης, 1991) δεν περιέχει ουράνιο, θόριο ή Κάλιο. Συμπερασματικά, στα ιζηματογενή πετρώματα που σχηματίζονται από μίγμα χαλαζία, άμμο και άργιλο μεγάλες τιμές ραδιενέργειας ακτίνων γάμμα υποδηλώνουν έντονη παρουσία αργιλικών οριζόντων. Δυστυχώς τα πράγματα δεν είναι πάντα έτσι. Πρέπει να είμαστε πολύ προσεκτικοί, γιατί όταν κάτι π.χ. ένας γεωλογικός ορίζοντας είναι ραδιενεργός δεν είναι απαραίτητα και άργιλος. Για να συνδέσουμε τα παραπάνω θεωρητικά, κατά κάποιο τρόπο, δεδομένα με εφαρμόσιμες, στα πλαίσια του έργου, διαδικασίες εξετάσαμε εμπειρικές σχέσεις που προέκυψαν από συγκρίσεις των τιμών των ακτίνων γάμμα, που καταγράψαμε με το συγκρότημα διαγραφιών τύπου Compu-Log II, με τους πυρήνες των γεωτρήσεων.

Παρόμοιες συγκρίσεις υλοποιήσαμε σε περίπου 20 γεωτρήσεις που διατρήθηκαν σε διάφορες περιοχές του έργου.

Όλα τα στοιχεία από τις 40 γεωτρήσεις στις οποίες έχουν γίνει μετρήσεις διαγραφιών, με το συγκρότημα Compu-Log II της εταιρείας Century που ανήκει στη Διεύθυνση Γεωφυσικών Ερευνών του ΙΓΜΕ, έχουν επεξεργαστεί και αξιολογηθεί, σύμφωνα με τα στοιχεία και τις συναρτήσεις (formulas) που αναφέρθηκαν προηγούμενα, χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα λογισμικού της εταιρείας Century με την ονομασία PCL.

2. Ερμηνεία των Αποτελεσμάτων.

Ο φωρατής ακτίνων γάμμα πραγματοποιεί μετρήσεις της εκπεμπόμενης φυσικής (natural) ακτινοβολίας γάμμα από τους γεωλογικούς σχηματισμούς που περιβάλλουν τη γεώτρηση. Με το δεδομένο ότι τα ραδιενεργά στοιχεία εμπεριέχονται σε όλους τους γεωλογικούς σχηματισμούς αλλά παράλληλα έχουν και μια αυξημένη τάση να συγκεντρώνονται στους αργίλους και τους αργιλικούς σχιστολίθους, οι φωρατές καταγραφής των ακτίνων γάμμα χρησιμοποιούνται, πολλές φορές, για να ελέγχουν τους γεωλογικούς σχηματισμούς και ιδιαίτερα τους ιζηματογενείς ορίζοντες που εμπεριέχουν αυτούς τους αργίλους και τους αργιλικούς σχιστολίθους καθώς και υπάρχουσες ασυνέχειες στα κρυσταλλικά πετρώματα.

Ο φωρατής γάμμα-γάμμα της πυκνότητας πραγματοποιεί μετρήσεις της "αντίδρασης" των γύρω από την γεώτρηση σχηματισμών μετά από τον "βομβαρδισμό" τους από μέσης ενέργειας ακτίνες-γάμμα. Αυτές οι ακτίνες γάμμα επιβραδύνονται και οπισθοσκεδάζονται από τα υπάρχοντα ηλεκτρόνια της ύλης των γύρω σχηματισμών. Το ποσοστό των ακτίνων-γάμμα που οπισθοσκεδάζονται, καταμετρούνται από τον κρύσταλλο του φωρατή σε αντίστροφη αναλογία προς την πυκνότητα των ευρισκόμενων περί την γεώτρηση σχηματισμών. Η ερμηνεία των καμπυλών των διαγραφιών γεωτρήσεων είναι τόσο περισσότερο αξιόπιστη όσο περισσότερα στοιχεία, που προέρχονται από περισσότερες μεθόδους γεωφυσικών διαγραφιών που έχουμε καταγράψει, συνεκτιμούνται μαζί.

Πρίν από κάθε διαδικασία ερμηνείας εφαρμόζουμε όλες τις

απαραίτητες διορθώσεις, στις μετρήσεις υπαίθρου, όπως π.χ. διορθώσεις λόγω διαφορών στις διαμέτρους των γεωτρήσεων, τύπος και στοιχεία υγρών διάτρησης που εμπεριέχονται στη γεώτρηση, κ.λ.π. Οι διάφορες γεωφυσικές παρατηρήσεις που γίνονται στους περί τη γεώτρηση χώρους συγκρίνονται και συνδυάζονται για να εκτιμηθεί η γεωμετρία αυτού και οι τεκτονικές ασυνέχειες των στρωμάτων που "διασταυρώνονται" με τη γεώτρηση.

Ο φωρατής που χρησιμοποιήθηκε για να καταγράψει την ολική ένταση της ακτινοβολίας γάμμα (σε κ.α.δ., cps) και της ειδικής εξισορροπητικής (compensated) μεθόδου της πυκνότητας των σχηματισμών (υπολογίστηκε από την κοντινή και μακρινή απόσταση καταγραφής της πυκνότητας και μετρήθηκε σε γραμ. ανά κυβικό εκατοστό), ήταν ο τύπος 9038CA της εταιρείας Century. Πρέπει να σημειώσουμε ότι ο σύνθετος φωρατής 9038CA έχει τη δυνατότητα, συγχρόνως με τις άλλες μετρήσεις, να καταγράψει το μέγεθος της διαμέτρου της γεώτρησης, τη σε μικρή και μεγάλη (χωριστά) απόσταση από τη ραδιενεργό πηγή μέτρησης της πυκνότητας, την εκτίμηση του πορώδους των σχηματισμών καθώς και τη καμπύλη με τις τιμές της εστιασμένης (focused) ηλεκτρικής αντίστασης (Σίδερης και Παπακωνσταντίνου, 1989).

Από αυτά που παρουσιάσαμε παραπάνω και έχοντας υπόψη όλα τα στοιχεία τα οποία καταγράψαμε στην επικεφαλίδα κάθε γεώτρησης, σε συνδυασμό με τη χρησιμοποίηση των εξισώσεων του κεφαλαίου 3 και του λογισμικού προγράμματος ACL (Analytical Compu-Log) της εταιρείας Century οδηγηθήκαμε στο συμπέρασμα ότι υπάρχει μια ισχυρή σχέση ανάμεσα στην περιεκτικότητα της αργίλου, στους ιζηματογενείς σχηματισμούς, και των υψηλών τιμών της ολικής έντασης της ακτινοβολίας γάμμα στις 40 γεωτρήσεις που μελετήσαμε. Με το τρόπο αυτό κατορθώσαμε να τοποθετήσουμε τη γραμμή που τέμνει τη καμπύλη των ακτίνων γάμμα, σε όλο το βάθος της γεώτρησης, και οριοθετεί τους αργιλικούς σχηματισμούς με βάση τις τιμές της ολικής έντασης της ακτινοβολίας γάμμα και της πυκνότητας σχηματισμού, όπως παρακάτω:

1. ΣΩΛΗΝΩΜΕΝΕΣ, με ΧΑΛΥΒΔΟΣΩΛΗΝΕΣ, Γεωτρήσεις.

Οι σωληνωμένες με Χαλυβδοσωλήνες γεωτρήσεις κατατάχθηκαν σε πέντε κατηγορίες ανάλογα με τα ύψη των τιμών της ολικής έντασης της ακτινοβολίας γάμμα, που καταγράψαμε, λόγω της ύπαρξης ή όχι, στον περιβάλλοντα την γεώτρηση χώρο, αργιλικών σχηματισμών. Οι τιμές αυτές ανά κατηγορία είναι:

- A. Στο επίπεδο των 155 κ.α.δ.
- B. Στο επίπεδο των 140 κ.α.δ.
- Γ. Στο επίπεδο των 115 κ.α.δ.
- Δ. Στο επίπεδο των 75 κ.α.δ., και
- Ε. Στο επίπεδο των 60 κ.α.δ.

Για παράδειγμα παρουσιάζουμε στην κατηγορία Β την γεώτρηση με αριθμό ΜΟ-1 (Σχημ. 1.). Η γραμμή της αργίλου σ'αυτήν την γεώτρηση τέμνει την καμπύλη της ολικής έντασης της ακτινοβολίας-γάμμα στα παρακάτω βάθη:

- α. Από 10.70 μ. μέχρι 11.40 μ.
- β. Από 19.80 μ. μέχρι 20.20 μ.
- γ. Από 24.20 μ. μέχρι 24.80 μ.

Στη γεώτρηση αυτή, αρχίζοντας από βάθη χαμηλότερα των 10.0 μ., έχουμε μερικούς ορίζοντες που περιέχουν αργιλικά στρώματα ή/και αργιλικούς σχηματισμούς και παρουσιάζουν τιμές της ολικής έντασης της ακτινοβολίας-γάμμα στα όρια των 55 κ.α.δ.

2. ΣΩΛΗΝΩΜΕΝΕΣ, με PVC, Γεωτρήσεις.

Οι σωληνωμένες με υλικό PVC γεωτρήσεις κατατάχθηκαν σε πέντε κατηγορίες ανάλογα με τα ύψη των τιμών της ολικής έντασης της ακτινοβολίας γάμμα, που επηρεάστηκαν από την ύπαρξη ή μη, στον περιβάλλοντα την γεώτρηση χώρο, αργιλικών σχηματισμών. Οι τιμές αυτές ανά κατηγορία σχηματισμών είναι:

Α. Στο επίπεδο των 190 κ.α.δ., και παραπάνω.

Β. Στο επίπεδο των 175 κ.α.δ.

Γ. Στο επίπεδο των 150 κ.α.δ.

Δ. Στο επίπεδο των 95 κ.α.δ.

Ε. Στο επίπεδο των 75 κ.α.δ.

Για παράδειγμα παρουσιάζουμε στην κατηγορία Ε την γεώτρηση με αριθμό ΚΕΜ-5 (Σχημ. 2.). Η γραμμή της αργίλου σ'αυτήν την γεώτρηση τέμνει την καμπύλη της ολικής έντασης της ακτινοβολίας-γάμμα στα παρακάτω βάθη:

α. Από 07.80 μ. μέχρι 08.10 μ.

β. Από 08.70 μ. μέχρι 08.90 μ.

γ. Από 09.60 μ. μέχρι 09.80 μ.

δ. Από 16.15 μ. μέχρι 16.30 μ.

Μετά την Αξιολόγηση και την Ερμηνεία των μετρήσεων των διαγραφιών (συμπεριλαμβανομένης και της εμπειρικής σχέσης την οποία ήδη αναφέραμε), στην περιοχή που μελετήσαμε, οριοθετήσαμε, με ακρίβεια, τη θέση της γραμμής που ελέγχει την ύπαρξη αργιλικών στρώσεων, σύμφωνα με τα γεωφυσικά στοιχεία, στις 40 γεωτρήσεις που πραγματοποιήσαμε μετρήσεις. Θα πρέπει να πούμε όμως ότι υπήρξαν και κάποιες εξαιρέσεις όπως π.χ. στις γεωτρήσεις με αύξ. αριθμούς OL-4, A1-3, EV-2, A2-3, NKA-5, MOS-1 και MOS-2. Η εξαίρεση συνήθως αφορά πάχη τα οποία δεν ξεπερνούν τα δύο μ. και βάθη που βρίσκονται μέχρι τα 10 μ., μολονότι στις γεωτρήσεις OL-4 (αυτό συνέβη σε βάθος 26.5 μ.), MOS-1, and MOS-2, αντιμετωπίζουμε το ίδιο πρόβλημα σε μεγαλύτερα βάθη. Αυτές οι εξαιρέσεις ελέγχθηκαν με τα στοιχεία της ειδικής εξισορροπητικής μεθόδου της πυκνότητας των σχηματισμών (compensated bulk density), όπου το χαλαζιακό ή το σχιστολιθικό τύπου και σε μερικές περιπτώσεις το ασβεστολιθικό υλικό, στα αντίστοιχα βάθη, δίνουν στρώσεις με μεγαλύτερες τιμές πυκνοτήτων.

Κατά τις συγκρίσεις των τιμών της ολικής έντασης της ακτινοβολίας γάμμα σε σωληνωμένες, με χαλυβοσωλήνες και PVC, γεωτρήσεις μπορούμε να διακρίνουμε, καθαρά, ότι υπάρχει μια σταθερή διαφορά, όπως ανεμένετο, που κυμαίνεται μεταξύ 2θ και 35 ή ακόμα μέχρι 40 κ.α.δ., λόγω διαφορετικού, ανομοιογενούς, υλικού, των σωλήνων, που πολλές φορές χρησιμοποιείται.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Απο τα αποτελέσματα που λάβαμε φαίνεται καθαρά ότι υπάρχει μια σταθερή σχέση μεταξύ ύπαρξης αργιλικών στρώσεων και τιμών της ολικής έντασης της ακτινοβολίας γάμμα σε διάφορες, αλλά συγκεκριμένες, περιοχές του έργου. Μερικές διαφοροποιήσεις, που υπάρχουν, ελέγχθηκαν από τις τιμές των μετρήσεων της δεύτερης μεθόδου διαγραφιών που χρησιμοποιήσαμε, αυτή της εξισορροπητικής πυκνότητας σχηματισμού (compensated bulk density).

Οι αμμούχοι σχηματισμοί, τα λατυποπαγή και οι ασβεστόλιθοι έχουν σχετικά χαμηλές ενδείξεις τιμών της φυσικής ακτινοβολίας γάμμα. Αντίθετα, ο χαλαζίας, ο σχιστόλιθος, η μάργα, ο ιλυόλιθος,

η άργιλος και ο αργιλικός σχιστόλιθος έχουν μεγαλύτερες τιμές της ολικής έντασης της ακτινοβολίας γάμμα. Τα στοιχεία αυτά σε συνδυασμό με τις μετρήσεις της πυκνότητας των σχηματισμών μας δίνουν τη δυνατότητα να τα διακρίνουμε και να τα διαχωρίσουμε.

Η πρότασή μας είναι ότι η εμπειρική σχέση που καθιερώσαμε μεταξύ των λιθολογικών στρώσεων, όπως τις καθορίσαμε, από τη μελέτη-σύγκριση των πυρήνων των γεωτρήσεων και των τιμών της ολικής έντασης της ακτινοβολίας γάμμα, με την υποστήριξη των τιμών της πυκνότητας των σχηματισμών, μπορεί να εφαρμοσθεί σε οποιαδήποτε θέση της περιοχής του έργου "Μετρό Αθηνών" που μελετήσαμε.

Ακόμα μπορούμε να πούμε, με εμπιστοσύνη, ότι αυτά τα στοιχεία είναι δυνατό να εξυπηρετήσουν και άλλους γεωερευνητικούς στόχους, όπως π.χ. τη μελέτη της ραδιομόλυνσης του περιβάλλοντος, κ.λ.π.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Buckup, K., Sideris, G.N., (1992). Quality Checks For Geophysical Borehole Logging Results. Paper presented at the 6th Congress of the Geological Society of Greece. May 1992, Athens, Greece.
- Hallenburg, J., (1984). Geophysical Logging for Mineral and Engineering Applications. PennWell Publishing Company. pp. 254. Tulsa, Oklahoma. U.S.A.
- International society for rock mechanics, (1985). Suggested Methods For Geophysical Logging of Boreholes. 55-70p. A Manual.
- Σαμπατακάκης, Ν.Στ., (1991). Τεχνικογεωλογική Έρευνα του Λεκανοπεδίου των Αθηνών. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών. Πάτρα, Ελλάδα.
- Schlumberger., (1989). Schlumberger Cased Hole Log Interpretation Principles/Applications. Schlumberger Well Services. Houston, Texas. U.S.A.
- Σίδερης, Γ.Ν., Παπακωνσταντίνου, Αικ.Ν., (1989). Η Εφαρμογή των Γεωφυσικών Μεθόδων Διαγραφιών Γεωτρήσεων στην έρευνα Μικτών Θειούχων Μεταλλευμάτων της περιοχής Κάτω Θέρμες, Νομού Εύβοιας, Βόρεια Ελλάδα. ΙΓΜΕ, Τεχνική Έκθεση Νο. 6326, Αθήνα, Ελλάδα.