

ΜΙΑ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ ΤΗΣ ΔΟΜΗΣ ΤΟΥ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΝΑΛΥΣΗΣ*

Τ.Α. ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ¹, Ι.Α. ΑΛΕΞΟΠΟΥΛΟΣ¹, Π.Ι. ΚΑΜΠΟΥΡΗΣ¹

ΣΥΝΟΨΗ

Η μέθοδος της σεισμικής διάθλασης, η οποία κατ' εξοχήν έχει χρησιμοποιηθεί για την αποτύπωση του βραχώδους υποβάθρου σε έργα θεμελίωσης, αστόχησε να δείξει το σαφή διαχωρισμό μεταξύ του φλύσικου και ασβεστολιθικού υποβάθρου της περιοχής που ερευνηθήκε. Η αστοχία αυτή οφείλεται στη μακρο-ανισοτροπία του ασβεστολιθικού σχηματισμού. Η μέθοδος της γεωηλεκτρικής βαθυσκοπήσης, απεναντίας, έδωσε μεν τη δυνατότητα διαχωρισμού της φύσης του υποβάθρου, αστόχησε δε να διακρίνει το υπερκείμενο κάλυμμα από το φλύσχη. Τέλος, στην εργασία αυτή δείχνεται ότι για την επιτυχή έκβαση μιας γεωφυσικής έρευνας απαιτείται σωστός σχεδιασμός, χρήση μοντέρνων και αποτελεσματικών μεθοδολογιών ανάλυσης και η εφαρμογή πλέον της μιας γεωφυσικών μεθόδων, ανάλογα με τη φύση του προβλήματος.

ABSTRACT

In this paper is examined the potential and effectiveness of two conventional geophysical methods in geotechnical research. The seismic refraction method that has been successfully used in the past for subsurface bedrock delineation in foundation projects, failed to indicate clear distinction between flysch and limestone bedrock material in the area under investigation. This failure is due to the macro-anisotropy structure of the limestone that resulted from joints, tectonic processes or/and karstic phenomena and later fillings of the voids with argillaceous material. The geoelectrical method of vertical sounding, on the other hand, although provided a clear distinction for the bedrock characterization, failed to distinguish the overburden cover from the underlain flysch formation. Finally, in this paper it is shown that for a successful application of geophysical work in geotechnical research, it is required effective design, utilization of modern analysis methods and handling more than geophysical methods.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Γεωτεχνική έρευνα, Μέθοδος σεισμικής διάθλασης, Μέθοδος γεωηλεκτρικής βαθυσκοπήσης, Υπόβαθρο, Ανισοτροπία, Καρστικοποίηση.

KEY WORDS: Geotechnical research, Seismic refraction method, Vertical electrical sounding, Bedrock, Anisotropy, Karstification.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η χρησιμοποίηση των πλέον κατάλληλων γεωφυσικών μεθόδων για την επίλυση γεωτεχνικών και περιβαλλοντικών προβλημάτων και ο σχεδιασμός εφαρμογής τους, προϋποθέτει τη γνώση του στόχου και των ιδιαίτερων απαιτήσεων των προς επίλυση προβλημάτων. Είναι σήμερα κατανοητή και αναγκαία η διεξαγωγή μιας εμπειριστικώς γεωφυσικής έρευνας, στα πλαίσια μιας ευρύτερης γεωερευνητικής εργασίας, που σκοπό έχει τη διερεύνηση της υπεδαφικής δομής, όταν πρόκειται να εκτελεσθεί ένα μεγάλο τεχνικό έργο. Σε πολύπλοκες γεωτεχνικά περιπτώσεις, όπως π.χ. σε περιοχές με φαινόμενα ερυσμού ή κατολισθητικών διεργασιών, η αναζήτηση του βάθους και της φύσης του βραχώδους υποβάθρου είναι ένα πρόβλημα που πρέπει να αντιμετωπισθεί με προσοχή. Σε τέτοιες περιπτώσεις η συνοχή των υπερκείμενων σχηματισμών χάνεται και οι φυσικοχημικές ιδιότητες τους μεταβάλλονται. Δεδομένου ότι το υποκείμενο αδιατάρακτο στρώμα μιας κατολισθητικής μπορεί να παρουσιάζει ανισοτροπία ή ανομοιογενή δομή, η επίλυση του προβλήματος γίνεται ακόμα δυσκολότερη. Στην εργασία αυτή εξετάζεται μια περίπτωση διερεύνησης των υπεδαφικών συνθηκών για το καθορισμό του βάθους και της φύσης του συμπαγούς υποβάθρου. Επιλέχθηκε μια περιοχή στο 10ο χιλιόμετρο της νέας εθνικής οδού Ηγουμενίτσας-Ιωαννίνων, όπου έχουν παρατηρηθεί επιφανειακά φαινόμενα έρπουσας

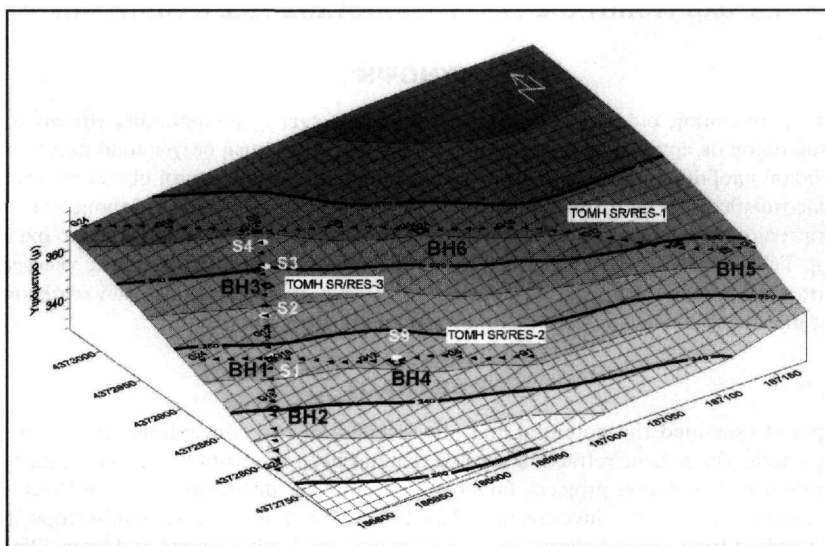
* A COMPARATIVE STUDY FOR STRUCTURAL BEDROCK DELINEATION BY USING CONVENTIONAL GEOPHYSICAL METHODS

1. Τμήμα Γεωλογίας Εθνικού & Καποδιστριακού Παν/μιου Αθηνών, Τομέας Γεωφυσικής-Γεωθερμίας, Πανεπιστημιούπολη, Ζωγράφου, 157 84.

2. Εθνικό & Καποδιστριακό Παν/μιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Γεωφυσικής-Γεωθερμίας, Πανεπιστημιούπολη, Ζωγράφου, 157 84.

ή/και κατολισθαίνουσας μάζας, η οποία υπέρκειται ενός ανομοιογενούς υποβάθρου φλυσχικής και ασβεστολιθικής σύστασης (βλ. Σχήμα 1).

Ειδικότερα, χρησιμοποιήθηκαν οι συμβατικές μέθοδοι της σεισμικής διάθλασης και της γεωηλεκτρικής βαθσοσκοπήσης. Καταδεικνύεται με σαφήνεια η ανάγκη χρησιμοποίησης περισσότερων της μιας γεωφυσικών μεθόδων και η εισαγωγή νέων μοντέρνων μεθόδων ανάλυσης για την επίλυση πολύπλοκων γεωτεχνικών προβλημάτων.



Σχήμα 1. Τοπογραφικός χάρτης της περιοχής έρευνας που δείχνει τις θέσεις των σεισμικών τομών, των γεωηλεκτρικών βαθσοσκοπήσεων (S-) και των γεωτρήσεων (BH-).

Topographic map of the area under investigation, showing the location of seismic sections, geoelectrical soundings (S-) and boreholes (BH-).

2. Ο ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

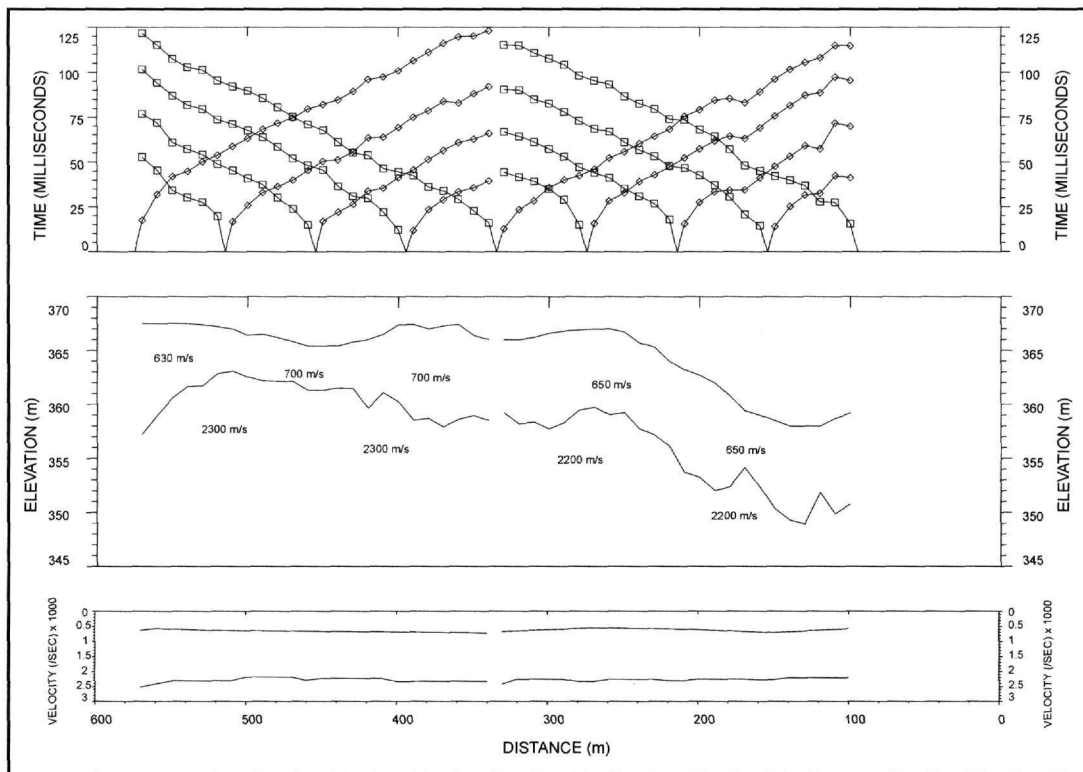
Δεν είναι ασύνθητες το φαινόμενο να ζητείται η εκτέλεση μιας γεωφυσικής έρευνας για την επίλυση ενός γεωτεχνικού ή περιβαλλοντικού προβλήματος, μόνο όταν συναντώνται δυσκολίες στην εκτέλεση κυρίως γεωτρητικών εργασιών. Για να ανταποκριθεί μια γεωφυσική έρευνα με επιτυχία στις απαιτήσεις ενός τεχνικού έργου, πρέπει να έχουν καθορισθεί ο στόχος και η φύση του προβλήματος, η καταλληλότητα της μεθοδολογίας που θα ακολουθηθεί, οι επι πλέον εργασίες που απαιτούνται (π.χ. τοπογραφικές εργασίες, ο ελάχιστος αριθμός γεωτρήσεων, κ.α.), η χρήση του κατάλληλου εξοπλισμού και των πακέτων λογισμικού για την επεξεργασία και ερμηνεία των δεδομένων και των αποτελεσμάτων αντίστοιχα, κ.α.

Ο προσδιορισμός π.χ. του βραχώδους ή φλυσχικού/ασβεστολιθικού υποβάθρου αποτελεί ένα στόχο, ο οποίος θεωρητικά μπορεί να λυθεί εύκολα με την εφαρμογή της μεθόδου της σεισμικής διάθλασης. Εάν όμως το υπόβαθρο παρουσιάζει ανισοτροπία λόγω διάβρωσης, αποσάθρωσης, κερματισμού, καρστικοποίησης η/και πλήρωσης με αργιλικό υλικό, απαιτείται περαιτέρω διερεύνηση της δομής του. Σε τέτοιες περιπτώσεις η γεωφυσική έρευνα δε δίνει μονοσήμαντες λύσεις με την εφαρμογή μιας μόνο γεωφυσικής μεθόδου, λόγω των αντίστοιχων διακυμάνσεων που παρουσιάζονται στις φυσικές ιδιότητες του υποβάθρου (π.χ. της πυκνότητας, της ταχύτητας διάδοσης των σεισμικών κυμάτων, της ειδικής αντίστασης, κ.α.).

Στην εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκε αρχικά η συμβατική μέθοδος της σεισμικής διάθλασης ως η πλέον κατάλληλη για τη απεικόνιση του αναγλύφου του φλυσχικού/ ασβεστολιθικού υποβάθρου της περιοχής έρευνας. Μετά την ανάλυση και ερμηνεία των γεωφυσικών δεδομένων διαπιστώθηκε ότι δεν ήταν εφικτός ο διαχωρισμός μεταξύ του φλυσχικού και ασβεστολιθικού σχηματισμού. Στη συνέχεια διεξήχθη και γεωηλεκτρική έρευνα για το σαφή διαχωρισμό του υποβάθρου με θετικά αποτελέσματα.

3. ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗ

Η μέθοδος της σεισμικής διάθλασης έχει χρησιμοποιηθεί πολλές φορές στο παρελθόν στη γεωτεχνική έ-



Σχήμα 2. Απεικόνιση των δρομο-χρονικών καμπύλων (άνω), της γεωσεισμικής δομής (μέσον) και της κατανομής των σεισμικών ταχυτήτων (κάτω), που προέκυψαν με τη μέθοδο GRM κατά μήκος της τομής SR/RES-1. Diagrams showing travel time curves (top), subsurface structure (middle) and seismic velocity distribution (below), resulted from GRM method along the section SR/RES-1.

ρευνα (Παπαδόπουλος κ.α., 1992, Louis et.al., 1995, Bruno and Godio, 1997, Olson et.al., 1997, Phillips et.al., 1997, κ.α.). Οι απαιτήσεις ενός γεωτεχνικού προβλήματος μπορεί να είναι κάθε φορά διαφορετικές. Σε μικρά έργα θεμελίωσης ενδιαφέρει η επιφανειακή δομή μέχρι βάθους ολίγων μέτρων, ενώ για την κατασκευή ενός μεγάλου τεχνικού έργου ενδιαφέρει η δομή του υπεδάφους ορισμένων δεκάδων μέτρων.

Τα τελευταία χρόνια έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία στη γεωτεχνική έρευνα η μέθοδος GRM (Palmer, 1981) καθώς και η πρόδρομος αυτής Plus-Minus (Hagedoorn, 1959). Η GRM μέθοδος αυτή δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα στην αποτύπωση του υποβάθρου σε περιπτώσεις έντονης διακύμανσης του αναγλύφου του (Rogers et.al., 1997). Έχει επίσης χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό του αναγλύφου και της πλευρικής μεταβολής της σεισμικής ταχύτητας του υποβάθρου, μη λαμβάνοντας υπόψη τη δομή του υπερκείμενου καλύμματος, το οποίο χαρακτηρίζεται από συνεχείς εναλλαγές στρωμάτων λεπτόκοκκης και αδρομερούς σύστασης (Papadopoulos T.D. and Alexopoulos J., 1996, Papadopoulos et.al., 1997). Αντίθετα, η μέθοδος GRM έχει αμφισβητηθεί πρόσφατα (Sjogren, 2000), ότι δεν είναι η πλέον κατάλληλη για την επίλυση γεωτεχνικών προβλημάτων, όπου δηλαδή απαιτείται λεπτομερής χαρτογράφηση του βάθους και της δομής του υποβάθρου καθώς και των υπερκείμενων στρωμάτων.

Η ανάγκη εφαρμογής της σεισμικής μεθόδου διάθλασης για την άμεση εξαγωγή χρήσιμων στοιχείων, ιδιαίτερα σε προβλήματα που εμφανίζονται κατά την εκτέλεση κατασκευής ενός έργου, πολλές φορές οδηγεί σε κακό σχεδιασμό της γεωφυσικής έρευνας, με συνέπεια τα προκύπτοντα στοιχεία να έχουν περιορισμένη αξία. Σ'αυτές ιδιαίτερα τις περιπτώσεις πρέπει η ερμηνεία των γεωσεισμικών αποτελεσμάτων να βοηθείται και από άλλες ανεξάρτητες παρατηρήσεις, όπως π.χ. γεωτρητικές έρευνες, γεωφυσικές διαγραφίες μέσα σε γεωτρήσεις, γεωλογικές χαρτογραφήσεις, στοιχεία άλλων γεωφυσικών μεθόδων, κ.α.

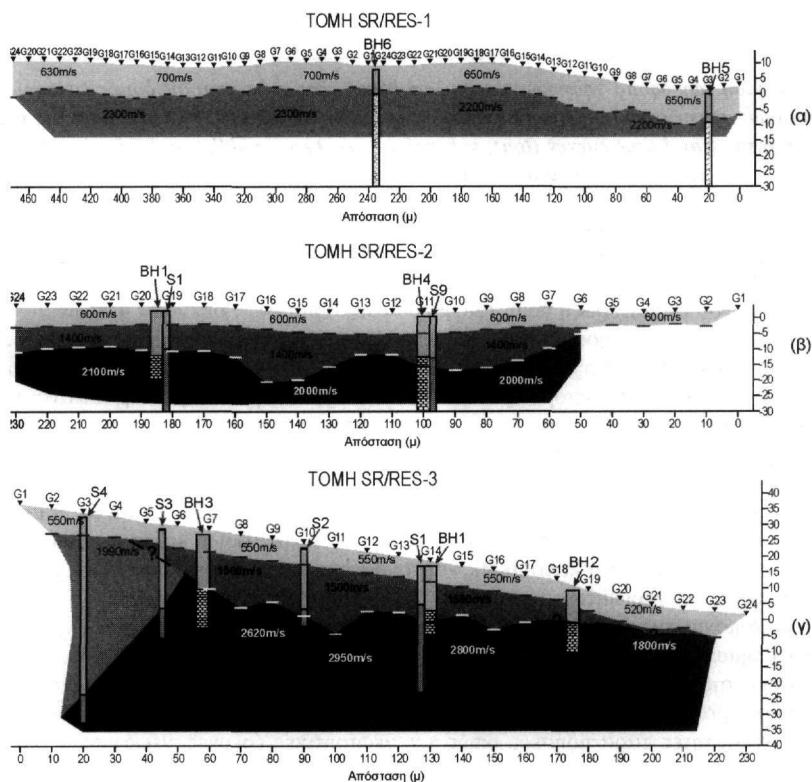
Στην εργασία αυτή εξετάζεται μια περίπτωση διερεύνησης του αναγλύφου και της φύσης του υποβάθρου με την εφαρμογή της μεθόδου GRM. Ουσιαστικά στόχος της έρευνας είναι ο εντοπισμός της επαφής μεταξύ του φλυσικού και ασβεστολιθικού υλικού που αποτελούν το υπόβαθρο της περιοχής έρευνας.

Η επεξεργασία και ερμηνεία των δεδομένων στηρίχθηκε στο υπολογιστικό πρόγραμμα Gremixs της Interpex. Συνολικά έγιναν πέντε εκρήξεις για κάθε ανάπτυγμα γεωφώνων (ανά μια στα άκρα της τομής, μια στο μέσον και δύο στο πρώτο και τρίτο τέταρτο της τομής), η απόσταση των οποίων ήταν 10 μέτρα. Δεν υπήρχε δυνατότητα εκτέλεσης μακρινών εκρήξεων (πέραν από τα άκρα της τομής), λόγω δασοκάλυψης και παρουσίας έντονου τοπογραφικού αναγλύφου. Στο σχήμα 2 παρουσιάζεται η συνολική εικόνα των αποτελεσμάτων των δύο σεισμικών αναπτυγμάτων της τομής SR/RES-1.

Στο σχήμα 3 παρουσιάζονται τρεις σεισμικές τομές (3α, 3β & 3γ), οι δύο πρώτες είναι περίπου παράλληλες μεταξύ τους και η τρίτη τέμνει εγκάρσια τις δύο άλλες (βλ. σχήμα 1). Η πρώτη παρατήρηση που προκύπτει είναι ότι στις δύο παράλληλες τομές, το υπόβαθρο παρουσιάζεται με ομοιόμορφη σεισμική ταχύτητα 2200-2300 m/s (2α) και 2000-2100 m/s (2β), αντίστοιχα. Σύμφωνα με τα γεωτητικά στοιχεία οι γεωτρήσεις BH1 & BH4 έχουν εντοπίσει κερματισμένο ασβεστολιθικό υλικό σε βάθη 14 & 13 μέτρα αντίστοιχα, ενώ οι γεωτρήσεις BH5 & BH6 έχουν συναντήσει φλυσιχικό υλικό σε βάθη 9 & 8 μέτρα αντίστοιχα. Εκ των ανωτέρω συνάγεται ότι δεν είναι εφικτός ο διαχωρισμός της φύσης του βραχώδους υποβάθρου στηριζόμενοι στις προκύπτουσες τιμές της σεισμικής ταχύτητας. Αντίθετα, το βάθος και ιδιαίτερα το ανάγλυφο του υποβάθρου απεικονίζονται με σχετικά καλή ακρίβεια. Η εγκάρσια τομή παρουσιάζει υψηλότερες τιμές σεισμικής ταχύτητας (2620-2950 m/s), και κατά περίπτωση πολύ μικρότερες (1800 m/s), οι οποίες όμως μπορούν να αποδοθούν είτε σε φαινόμενα ανισοτροπίας του υποβάθρου (λόγω καρστικοποίησης και πλήρωσης με αργιλικό υλικό) ή στη δημιουργία μέσων (αρμονικών) σεισμικών ταχυτήτων λόγω τοπογραφικού και υπεδαφικού αναγλύφου, οι οποίες είναι υπερεκτιμημένες όταν οι κλίσεις έχουν αντίθετο πρόσημο (Sjogren, 1984).

4. ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗ

Οι ηλεκτρικές ιδιότητες του φλύσχη και του ασβεστολίθου παρουσιάζουν σαφή μεταξύ τους διαχωρισμό, χωρίς όμως την ουσιαστική επίδραση δευτερογενών διεργασιών που αλλοιώνουν τη συνοχή και τη σύσταση, όσο και τη συνολική συμπεριφορά τους στις ηλεκτρικές ιδιότητες.

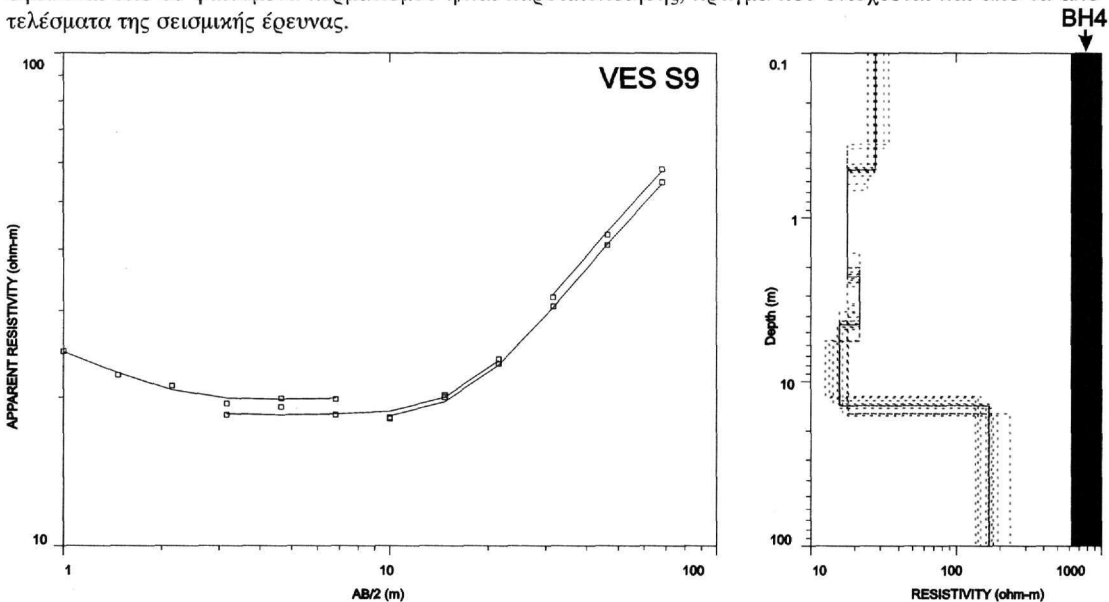


Σχήμα 3. Τρεις σεισμικές τομές (α, β, γ) με ενσωματωμένα τα αποτελέσματα της γεωηλεκτρικής έρευνας (S-) και τα στοιχεία των γεωτρήσεων (BH-).

Three seismic sections (α, β, γ) with incorporated the results of electrical soundings (S-) and borehole data (BH-).

Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της γεωηλεκτρικής βαθσοκόπησης για το διαχωρισμό κυρίως της φύσης του βραχώδους υποβάθρου, ελέγχοντας τοιουτοτρόπως τα αποτελέσματα της σεισμικής έρευνας με μια άλλη ανεξάρτητη μέθοδο. Πραγματοποιήθηκαν αρχικά γεωηλεκτρικές μετρήσεις πλησίον θέσεων γεωτρήσεων για τη βαθμονόμηση των γεωηλεκτρικών αποτελεσμάτων (π.χ. πλησίον των γεωτρήσεων BH1 & BH4) και στη συνέχεια κατά μήκος της εγκάρσιας σεισμικής τομής του σχήματος 2γ (βαθοσκοπήσεις S2, S3 & S4).

Στο σχήμα 4 δείχνεται το αποτέλεσμα της επεξεργασίας με το υπολογιστικό πρόγραμμα της Interpex ResixPlus για τη βαθσοκόπηση S9, όπου συμπεριλαμβάνονται εκτός από τις αρχικές τιμές των δεδομένων, οι υπολογισθείσες και το μοντέλο κατανομής της ειδικής αντίστασης μετά του βάθους. Σύμφωνα με τα προκύπτοντα αποτελέσματα το ασβεστολιθικό υπόβαθρο σαφώς παρουσιάζει υψηλότερες μέσες τιμές ειδικής αντίστασης από το φλύσχιό σχηματισμό (> 100 Ωm έναντι 20 Ωm, αντίστοιχα). Αντίθετα, οι τιμές της ειδικής αντίστασης του ασβεστολιθικού υποβάθρου δεν είναι αρκετά υψηλές ώστε να χαρακτηριστεί το υπόβαθρο ως συμπαγές. Έτσι, δείχνεται ότι το ασβεστολιθικό υπόβαθρο παρουσιάζει μια ανισοτροπία, η οποία μπορεί να οφείλεται είτε σε φαινόμενα κερματισμού ή/και καρστικοποίησης, πράγμα που ενισχύεται και από τα αποτελέσματα της σεισμικής έρευνας.



Σχήμα 4. Τυπική παρουσίαση των αποτελεσμάτων της γεωηλεκτρικής βαθσοκόπησης S9. Τα δεδομένα υπαίθρου παρουσιάζονται με κύκλους και οι υπολογισθείσες τιμές με συνεχείς γραμμές (αριστερά). Παρουσιάζεται επίσης η κατανομή της ειδικής αντίστασης με το βάθος (συνεχής γραμμή), με το εύρος των ισοδύναμων λύσεων (διακεκομμένες γραμμές), καθώς και τα δεδομένα της γεώτρησης BH4 που βρίσκεται πλησίον της βαθσοκόπησης S9 (δεξιά).

Typical presentation of the results of VES S9. Raw data (circles) and calculated values (continuous lines) are shown (left) and model parameters with the range of equivalent solutions (dashed lines) as well as data of borehole BH4 which lies near sounding S9 (right).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της γεωηλεκτρικής έρευνας, ο φλύσχος παρουσιάζει ένα εύρος τιμών ειδικής αντίστασης που κυμαίνεται μεταξύ 5 & 15 Ωm και ο ασβεστολίθος με τιμές που κυμαίνονται μεταξύ 60 & 450 Ωm. Κατά θέσεις το υπερκείμενο κάλυμμα παρουσιάζει υψηλές σχετικά τιμές ειδικής αντίστασης (80-90 Ωm), αλλά ο διαχωρισμός μεταξύ του υπερκείμενου καλύμματος και του φλύσχη δεν είναι γενικά εφικτός, διότι παρουσιάζουν παρόμοιες χαμηλές ειδικές αντιστάσεις ιδιαίτερα κοντά στη επαφή τους. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με βάση τα αποτελέσματα της σεισμικής έρευνας, όπου σαφώς διαχωρίζονται οι σεισμικές ταχύτητες του υπερκείμενου καλύμματος και του φλύσχη (650 & 2300 m/s, αντίστοιχα).

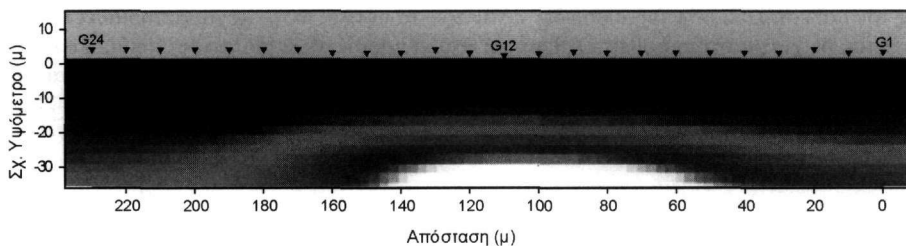
5. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στο σχήμα 3 έχει ενσωματωθεί όλη η υπάρχουσα γεωπληροφορία που έχει προκύψει από τη γεωτρητική και γεωφυσική έρευνα. Στο σχήμα 3γ δείχνεται η υπό κλίση επαφή μεταξύ του φλύσχη και του ασβεστολίθου

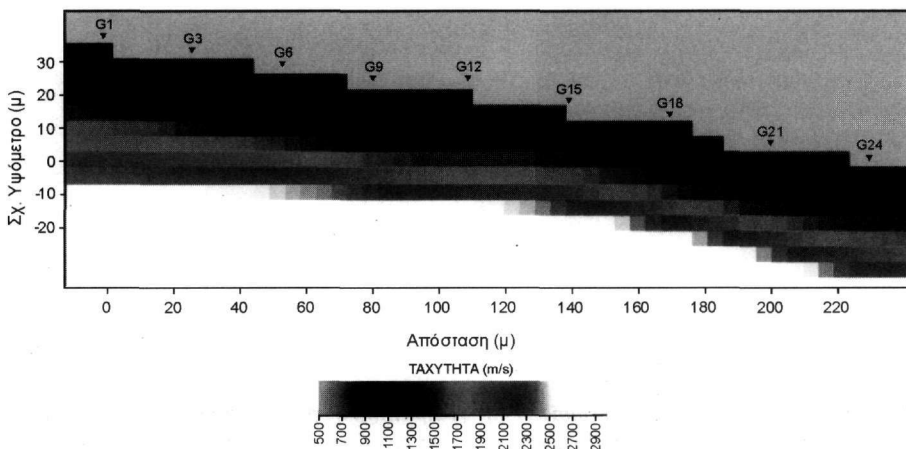
(κάτω από τα γεώφωνα G2-G6), η οποία έχει προκύψει από τη γεωηλεκτρική έρευνα. Η προς βορράν κλίση της επαφής αυτής βρίσκεται σε συμφωνία με τη γενικότερη γεωλογική δομή της περιοχής. Στην ίδια τομή δείχνεται επίσης η επαφή μεταξύ του υπερχείμνου καλύμματος και του φλύσχη, η οποία έχει προκύψει από τη σεισμική έρευνα (κάτω από τα γεώφωνα G2-G4).

Η ακρίβεια προσδιορισμού του βάθους του ασβεστολίθου που επιτυγχάνεται με την εφαρμογή των εν λόγω γεωφυσικών μεθόδων, μπορεί να εκτιμηθεί από τη βαθμονόμηση αυτών με τα στοιχεία των γεωτρητικών ερευνών. Γενικά, εκτιμάται ότι υπάρχει μια ικανοποιητική συμφωνία και αξιοπιστία των γεωφυσικών αποτελεσμάτων, αν και η εκτίμηση αυτή εξαρτάται από τις απαιτήσεις του έργου κάθε φορά.

TOMH SR-2



TOMH SR-3



Σχήμα 5. Απεικόνιση των σεισμικών τομών SR-2 και SR-3 μετά την επεξεργασία των δεδομένων με τη μέθοδο της τομογραφίας σεισμικής διάθλασης.

Presentation of seismic lines SR-2 and SR-3 after data processing with the method of seismic refraction tomography.

6. ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Ένας καλύτερος σχεδιασμός της γεωφυσικής έρευνας θα μπορούσε να βοηθήσει στη διερεύνηση της υπεδαιφικής δομής με περισσότερη λεπτομέρεια και αξιοπιστία.

Συγκεκριμένα, η χρησιμοποίηση μικρότερου μήκους αναπτυγμάτων (από 230 μ σε 115 μ), με ταυτόχρονη αύξηση του αριθμού των σεισμικών πηγών (από 5 σε 7 πηγές ή καιπερισσότερες) και μείωση της απόστασης μεταξύ των γεωφώνων (από 10μ σε 5μ), θα έδινε τη δυνατότητα της λεπτομερούς απεικόνισης του υποβάθρου και της εφαρμογής πιο μοντέρνων και αποτελεσματικών μεθόδων ανάλυσης (όπως π.χ. της τομογραφίας σεισμικής διάθλασης, κ.α.). Με τα ήδη υπάρχοντα δεδομένα της σεισμικής διάθλασης, έγινε προσπάθεια να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος τομογραφίας σεισμικής διάθλασης με την τεχνική που έχουν αναπτύξει οι Zhang και Toksoz (1998). Στο σχήμα 5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα κατά μήκος των τομών SR-2 και SR-3, οι οποίες τέμνονται στα γεώφωνα G19 (SR-2) και G13 (SR-3). Παρατηρείται καλή ταύτιση της κατανομής της σεισμικής ταχύτητας στο σημείο τομής των δύο σεισμικών γραμμών. Αντίθετα, δεν υπάρχει συμφωνία μεταξύ των αποτελεσμάτων αυτών και εκείνων που προέκυψαν από την μέθοδο GRM και των γεωτρητικών στοιχείων. Συγκεκριμένα,

κρυμένα, το ασβεστολιθικό υπόβαθρο με ταχύτητες >2500 m/s παρουσιάζεται βαθύτερα, γεγονός που αποδίδεται στην αραιή πυκνότητα των σεισμικών ακτίνων, λόγω κυρίως της μη κατάλληλης χωρικής κατανομής των γεωφώνων και του μικρού αριθμού των εκρήξεων. Η χρήση επίσης της γεωηλεκτρικής τομογραφίας θα έδινε τη δυνατότητα της λεπτομερούς χαρτογράφησης της επαφής μεταξύ του φλυσιχικού και ασβεστολιθικού υποβάθρου.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή μελετήθηκε μια περίπτωση προσδιορισμού του αναγλύφου του υποβάθρου και της φύσης του, με την εφαρμογή των συμβατικών μεθόδων της σεισμικής διάθλασης και της γεωηλεκτρικής βαθσοκόπησης. Δείχνεται με σαφήνεια η αναγκαιότητα εφαρμογής, σε ειδικές περιπτώσεις, πλέον της μιας γεωφυσικών μεθόδων και η χρήση μοντέρνων μεθοδολογιών ανάλυσης, επεξεργασίας και ερμηνείας των γεωφυσικών δεδομένων και αποτελεσμάτων, για τη λεπτομερή απεικόνιση της υπεδαφικής δομής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- BRUNO, P.P.G. and GODIO, A. 1997. Environmental risk assessment of a shallow aquifer in "Piana Campana" (Italy): a field comparison between seismic refraction and reflection methods. *European Journal of Environmental and Engineering Geophysics* 2, 61-76.
- HAGEDOORN, J.G. 1959. The plus-minus method of interpreting seismic refraction sections. *Geophys. Prosp.*, 7, 158-182.
- LOUIS, J., PΑΡΑΔΟΠΟΥΛΟΣ, T.D., DRAKATOS, G. & PANTZARTZIS, P. 1995. Conventional and modern seismic investigations for rock quality determination at a dam site - a case study. *Geophys. Prosp.*, Vol. 43, 779-792.
- OLSON, M., PRASHAR, Y. and INEL, S. 1997. Seismic refraction and downhole velocity surveys for investigation of the Tinemaha dam Inyo County, California. *Proc. of the Symp. on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems (SAGEEP)*, March 23-26, Reno Nevada, Vol. I, 345-354.
- PALMER, D. 1981. An introduction to the generalized reciprocal method of seismic refraction interpretation. *Geophysics*, 46, 1508-1518.
- ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ, Τ.Δ., ΛΟΥΗΣ, Ι. και ΠΑΝΤΖΑΡΤΖΗΣ, Π. 1992. Γεωφυσικός καθορισμός σύνθετης επιφάνειας ολίσησης σε Γρανιτο-γενευσιακή μάζα. *Annales Geologiques Des pays Helleniques*, Τόμος 35, 401-412.
- PΑΡΑΔΟΠΟΥΛΟΣ, T.D. and ALEXOΠΟΥΛΟΣ, J. 1996. Combined geophysical investigations for site soil characterization of Grevena-Kozani meizoseismal area. *Inter. Meeting on Results of the May 13, 1995 earthquake*, 24-27 May (añ. óäë. 4).
- PΑΡΑΔΟΠΟΥΛΟΣ, T.D., STAVRAKAKIS, G.N., ALEXOΠΟΥΛΟΣ, J., KAMBOURIS, P. and VOULGARIS, N. 1997. Combined geophysical methods for subsurface characterization in the framework of microzoning studies. *Proc. of the IAEG Intern. Symp. on Engineering Geology and the Environment*, Athens, Greece, 23-27 June, 1419-1424.
- PHILLIPS, D., GRIMM, R. and HOESTRA B. 1997. Mapping bedrock topography with seismic refraction at an oil and gas field: A comparison of engineering and petroleum exploration methods at a site in the Wind River Basin of Wyoming. *Proc. of the Symp. on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems (SAGEEP)*, March 23-26, Reno Nevada, Vol. I, 373-375.
- ROGERS, N.T., SANBERG, S.K., MILLER, P. and POWELL, G. 1997. Mapping a near surface variable geologic regime using an integrated geophysical approach. *Proc. of the Symp. on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems (SAGEEP)*, March 23-26, Reno Nevada, Vol. I, 463-472.
- SJOGREN, B. 1984. Shallow refraction seismics. *Chapman and Hall*. London New York, 268.
- SJOGREN, B. 2000. A brief study of applications of the generalized reciprocal method and of some limitations of the method. *Geophys. Prosp.*, 48, 1-21.