

# Η χρήση του μόνιμου εδαφικού θορύβου στη διασκόπηση εδαφικών σχηματισμών (Düzce, Τουρκία)

## The use of ambient noise in soil investigation (Düzce, Turkey)

ΜΑΝΑΚΟΥ, Μ.Β. Γεωλόγος, Α.Π.Θ.  
ΡΑΠΤΑΚΗΣ, Δ.Γ. Φυσικός, Αναπληρωτής Καθηγητής, Α.Π.Θ.  
ΑΠΟΣΤΟΛΙΔΗΣ, Π.Ι. Γεωλόγος, Α.Π.Θ.  
ΠΙΤΙΛΑΚΗΣ, Κ.Δ. Πολιτικός Μηχανικός, Καθηγητής, Α.Π.Θ.

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ :** Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα εφαρμογής της μεθόδου του μικροθορύβου (Okada, 1998) στη διασκόπηση της εδαφικής δομής της πόλης Düzce, στη ΒΔ Τουρκία. Τα εδαφικά προσομοιώματα που προσδιορίστηκαν από την ανάλυση του εδαφικού θορύβου με τη μέθοδο του Χωρικού Συντελεστή Αυτοσυσχέτισης (Aki, 1957) συγκρίνονται με αυτά άλλων τεχνικών ανάλυσης και γεωφυσικής διασκόπησης, και συσχετίζονται με τη γεωλογία της περιοχής. Η καλή συνάφεια των αποτελεσμάτων επιβεβαιώνει τη χρησιμότητα αξιοποίησης του εδαφικού θορύβου στη διασκόπηση των εδαφών μιας περιοχής μελέτης, κάνοντάς τη μια ελκυστική μέθοδο διασκόπησης εφαρμόσιμη σε πλήθος θεμάτων γεωτεχνικής σεισμικής μηχανικής.

**ABSTRACT :** The present study presents the results of the microtremor method (Okada, 1998) in soil investigation of Düzce city in NW Turkey. The soil profiles determined from the analysis of the ambient noise records, using the Spatial Autocorrelation Method (Aki, 1957) were compared with the profiles resulting from other methods and geophysical surveys and correlated with the geology of the area. The good coherency of the results, proves the usefulness of ambient noise in soil profiling investigation and makes the microtremor method an attractive technique suitable and applicable to many geotechnical engineering issues.

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ταχύτητα των διατμητικών κυμάτων ( $V_s$ ) από την ελεύθερη επιφάνεια του εδάφους ως το βραχώδες υπόβαθρο αποτελεί μια χαρακτηριστική ιδιότητα των εδαφικών σχηματισμών η οποία καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τη σεισμική τους απόκριση. Για τον προσδιορισμό της χρησιμοποιούνται διάφορες συμβατικές μέθοδοι διασκόπησης (σεισμική ανάκλαση και διάθλαση, αντιστροφή κυμάτων επιφανείας, cross-hole, down-hole, κ.ά.) οι οποίες απαιτούν μεγάλο κόστος εφαρμογής, τη διάνοιξη γεωτρήσεων, τη διαθεσιμότητα μεγάλων χώρων, τη χρήση πηγής, κλπ.

Μια εναλλακτική μέθοδος προσδιορισμού της εδαφικής δομής αποτελεί ο μικροθόρυβος (Aki, 1957; Okada, 1998). Πρόκειται για μια παθητική μέθοδο διασκόπησης η οποία

βασίζεται στη χαρακτηριστική ιδιότητα της σκέδασης των επιφανειακών κυμάτων. Από την καταγραφή του μόνιμου εδαφικού θορύβου με διάφορες διατάξεις οργάνων και από την ανάλυσή του, η οποία γίνεται κατά βάση με τις τεχνικές της Συχνότητας-Κυματάρυθμου F-K (Caron, 1969) και του Χωρικού Συντελεστή Αυτοσυσχέτισης SPAC (Aki, 1957), προκύπτει η καμπύλη σκέδασης της ταχύτητας φάσης ή/και ομάδας των κυμάτων επιφανείας. Από την αντιστροφή της καμπύλης σκέδασης προσδιορίζεται η μέση κατανομή ταχύτητας  $V_s$  με το βάθος στη θέση μελέτης. Τα αξιόπιστα αποτελέσματα, η φθηνή και εύκολη εφαρμογή δικαιολογούν τη χρήση της μεθόδου σε πλήθος μελέτες (Okada et al., 1990; Malagnini et al., 1995; Chouet et al., 1998; Kudo et al., 2002; Αποστολίδης, 2002; Saccorotti et al., 2003; Chavez-Garcia et al., 2005; Μανάκου, 2007).

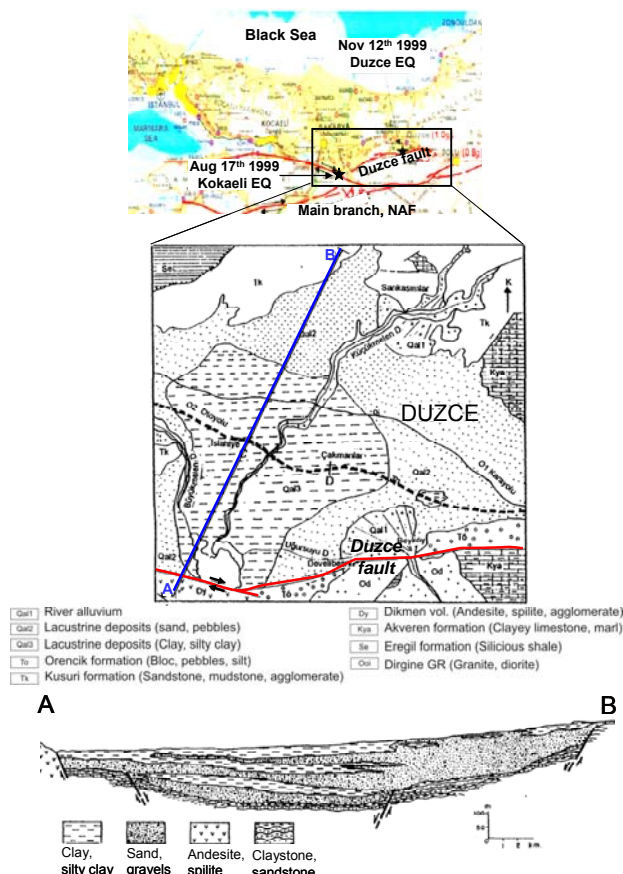
Στην εργασία παρουσιάζεται η εφαρμογή της μεθόδου του μικροθωρύβου σε δύο θέσεις στην πόλη Düzce, τα προσομοιώματα ταχύτητας Vs και η σύγκρισή τους με αυτά διαφορετικών τεχνικών διασκόπησης, ενώ δίνεται και η πιθανή γεωφυσική ερμηνεία τους. Οι εν λόγω μετρήσεις αποτελούν μέρος της διασκόπησης πεδίου που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της μικροζωνικής μελέτης της πόλης Düzce (Ερευνητικό πρόγραμμα SRM-DGC, 2007-2009).

## 2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

### 2.1 Γεωλογία και σεισμοτεκτονική

Η πόλη της Düzce τοποθετείται στο κεντρικό τμήμα μιας ιζηματογενούς τεκτονικής λεκάνης η οποία οριοθετείται νότια από το ρήγμα της Βόρειας Ανατολίας (Σχήμα 1). Τα ποταμοχειμάρρια και λιμναία εδαφικά υλικά της λεκάνης, τα οποία διαφοροποιούνται έντονα κατά την οριζόντια και κατακόρυφη διεύθυνση, συνίστανται κυρίως από ιλύ και άμμο, με τοπικές εμφανίσεις άμμων και χαλίκων. Υποκείμενο των αποθέσεων, το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής με σύσταση σχιστόλιθοι και ψαμμίτες, εμφανίζεται σε μικρό βάθος (<50m) βόρεια της πόλης ενώ βαθμιαία βυθίζεται προς τα νοτιοδυτικά στα 200-250m (Simsek & Dalgic, 1997). Εκδηλώνεται δε επιφανειακά με σύσταση μεταγρανίτες και γρανοδιορίτες κατά μήκος του ομώνυμου ρήγματος της περιοχής (ρήγμα Düzce, Σχήμα 1). Η επέκταση της πόλης προς τα βόρειο-βορειοανατολικά (New City, Σχήμα 2) τοποθετείται σε επιφανειακούς μικρού πάχους σιφρούς εδαφικούς σχηματισμούς, οι οποίοι επικάθονται στους σχιστόλιθους και ψαμμίτες της περιοχής.

Η Düzce αποτελεί μια από τις πιο ενεργά τεκτονικές περιοχές της Τουρκίας. Το επίκεντρο του καταστροφικού σεισμού της 12<sup>ης</sup> Νοεμβρίου 1999 (Ms7.2) ο οποίος προκάλεσε πολλές ανθρώπινες απώλειες και εκτεταμένες αστοχίες στον κτιριακό ιστό της πόλης τοποθετείται στη γειτονία του ομώνυμου ρήγματος της περιοχής (Σχήμα 1). Ένα μόνιμο δίκτυο οκτώ επιταχυνσιογράφων (DNET array) υψηλής ευκρίνειας που λειτουργεί από το 2004 ως σήμερα καταγράφει τη σεισμικότητα της περιοχής, η οποία χαρακτηρίζεται από σεισμούς μικρού μεγέθους και βάθους με επίκεντρα στους επιμέρους κλάδους του ρήγματος της Βόρειας Ανατολίας.



Σχήμα 1: Γεωλογία της ευρύτερης περιοχής μελέτης και τυπική γεωλογική τομή AB διεύθυνσης ΝΔ-ΒΑ (Simsek & Dalgic, 1997).  
Figure 1: Geology of the investigated area and typical geological cross-section AB aligned SW-NE (Simsek & Dalgic, 1997).

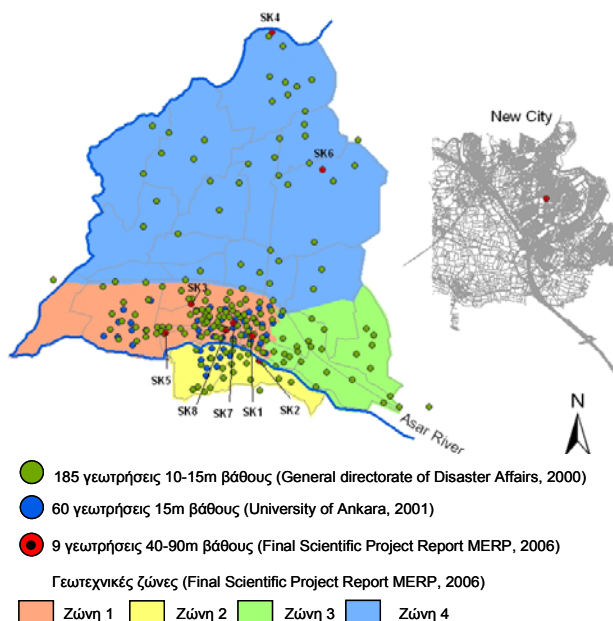
### 2.2 Γεωτεχνικά και γεωφυσικά στοιχεία

Ένας μεγάλος αριθμός δειγματοληπτικών γεωτρήσεων (σύνολο 245) βάθους 10 ως 15m πραγματοποιήθηκαν για τον γεωτεχνικό χαρακτηρισμό των εδαφών της πόλης (MTA/AU, 1999). Εννέα επιπλέον γεωτρήσεις (SK1-9) οι οποίες έγιναν στη γειτονία των σταθμών του μόνιμου δικτύου DNET array, έδωσαν πληροφορία για τους βαθύτερους εδαφικούς σχηματισμούς της περιοχής, από 40 ως 90m βάθος (Σχήμα 2).

Οι επιτόπου και εργαστηριακές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν σε δείγματα εδάφους των παραπάνω γεωτρήσεων χρησιμοποιήθηκαν για την κατάταξη των εδαφών, τον προσδιορισμό των φυσικών, μηχανικών και δυναμικών τους ιδιοτήτων, καθώς και των καμπυλών G-γ-D. Οι ζώνες που περιγράφουν γεωτεχνικά τους σχηματισμούς της πόλης παρουσιάζονται στο Σχήμα 2 (Final Scientific Project Report MERP, 2006). Η Ζώνη 1, στην

πιο πυκνοδομημένη περιοχή της πόλης, περιλαμβάνει εδάφη που χαρακτηρίζονται από λεπτόκοκκη άμμο, ιλύ και άργιλο χαμηλής ως μέτριας πλαστικότητας (κατηγορία εδάφους B κατά EC8). Στη ζώνη αυτή καταγράφηκαν εκτεταμένα φαινόμενα ρευστοποίησης και οι περισσότερες αστοχίες στα κτίρια της πόλης κατά το σεισμό της 12<sup>ης</sup> Νοεμβρίου του 1999. Οι περισσότερες γεωτεχνικές και γεωφυσικές έρευνες στην περιοχή πραγματοποιήθηκαν εντός της ζώνης αυτής (Σχήματα 2 & 3).

Τα γεωμετρικά και δυναμικά χαρακτηριστικά των εδαφών της πόλης προσδιορίστηκαν από πλήθος μετρήσεων πεδίου (Σχήμα 3). Η διασκόπηση πεδίου συμπεριλάμβανε μετρήσεις σεισμικής διάθλασης P- και S-κυμάτων σε 150 θέσεις, μικροθορύβου σε γραμμική διάταξη οργάνων με τη μέθοδο SASW (Nazarian et al., 1983) σε 1 θέση, και σε κυκλική διάταξη οργάνων με τη μέθοδο SPAC (Aki, 1957) σε 1 θέση.

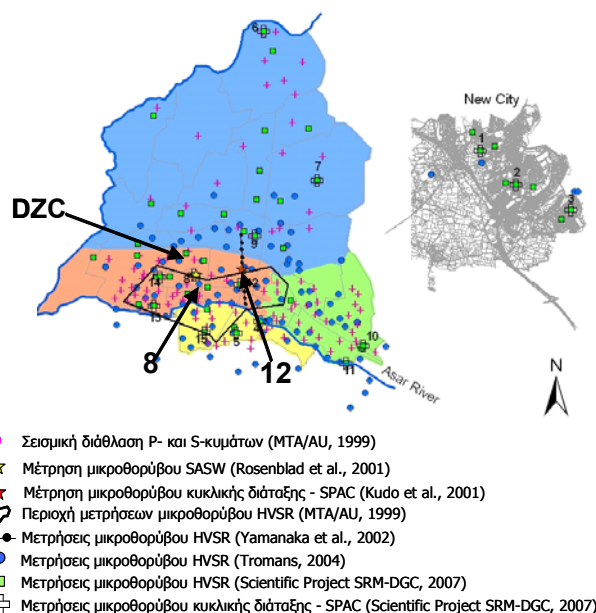


Σχήμα 2: Διαθέσιμη γεωτεχνική πληροφορία στο κεντρικό τμήμα και την επέκταση της Düzce (New city).

Figure 2: Boreholes and available information in the broader area of Düzce.

Με τις μετρήσεις σεισμικής διάθλασης προσδιορίστηκε η Vs των επιφανειακών σχηματισμών ως τα 10-15m βάθος σε όλο το Πολεοδομικό Συγκρότημα (MTA/AU, 1999). Το βάθος διασκόπησης των μεθόδων SASW (Rosenblad et al., 2001) και SPAC (Kudo et al., 2001) έφθασε τα 40m και 1km αντίστοιχα στις θέσεις εφαρμογής τους (Σχήμα 3).

Μετρήσεις μικροθορύβου σε μεμονωμένο σταθμό καταγραφής (25 στο σύνολο) εφαρμόζοντας την τεχνική HVSR (Nakamura, 1989) έγιναν από τους Yamanaka et al. (2002) για τον υπολογισμό της Vs των εδαφών κατά μήκος τομής 20km διεύθυνσης B-N.



Σχήμα 3: Μετρήσεις πεδίου για τη διασκόπηση της εδαφικής δομής της Düzce.

Figure 3: Sites of soil investigation in Düzce.

### 3. ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΔΟΜΗΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΘΟΡΥΒΟΥ

#### 3.1 Μετρήσεις μικροθορύβου

Νέες μετρήσεις μικροθορύβου (συνολικά 15) πραγματοποιήθηκαν για τη μικροζωνική μελέτη της πόλης Düzce (Ερευνητικό πρόγραμμα SRM-DGC, 2007) κάνοντας χρήση της μεθόδου SPAC (Aki, 1957). Οι μετρήσεις έγιναν σε επιλεγμένες θέσεις στο κέντρο και την επέκταση της πόλης όπου η πληροφορία αναφορικά με την ταχύτητα Vs υπήρξε ανεπαρκής ή ανύπαρκτη (Σχήμα 3).

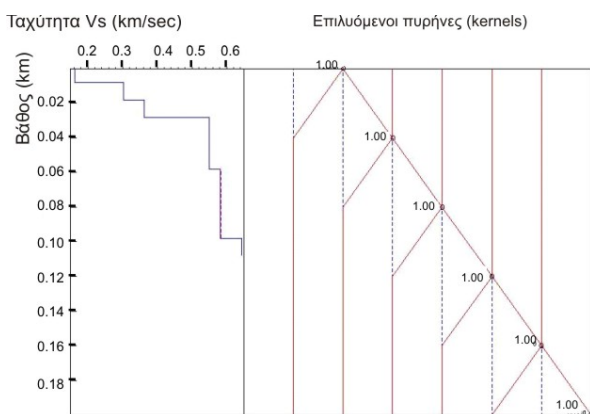
Σε όλες τις θέσεις εφαρμογής της μεθόδου αναπτύχθηκαν κυκλικές διατάξεις διαφόρων ακτίνων για τη διασκόπηση των σε διαφορετικό βάθος εδαφών. Η κυκλική διάταξη οργάνων εξασφάλισε την αξιωματική καταγραφή του θορύβου από όλες τις κατευθύνσεις.

Οι περισσότερες μετρήσεις έγιναν στο κέντρο της πόλης εντός της γεωτεχνικής Ζώνης 1, όπου εμφανίζονται και οι πιο μαλακοί σχηματισμοί. Αναλύοντας με τη μέθοδο SPAC (Aki, 1957) μόνο την κατακόρυφη συνιστώσα του θορύβου προσδιορίστηκε η καμπύλη

σκέδασης της ταχύτητας φάσης των Rayleigh κυμάτων από την αντιστροφή της οποίας προέκυψε η μεταβολή της ταχύτητας Vs με το βάθος.

### 3.2 Προσομοιώματα ταχύτητας

Μια από τις μετρήσεις μικροθορύβου, θέση 8, έγινε κοντά στον μόνιμο επιταχυνσιογράφο DZC που τοποθετείται στον Μετεωρολογικό σταθμό της πόλης (Σχήμα 3). Οι ταχύτητες που υπολογίστηκαν στη θέση αυτή μέχρι τα 110m περίπου παρουσιάζονται στο Σχήμα 4. Σύμφωνα με το προσομοίωμα ταχύτητας τα πρώτα 8m καλύπτονται από εδαφικές αποθέσεις με Vs ως 200m/sec. Ακολουθούν σχηματισμοί που χαρακτηρίζονται από ταχύτητες 300-400m/sec, ενώ κάτω από το βάθος των 28m εμφανίζονται δύσμητοι σχηματισμοί με ταχύτητες που ξεπερνούν τα 500m/sec. Το προσομοίωμα ταχύτητας στην συγκεκριμένη θέση μελέτης επιβεβαιώνεται από την καλή κατανομή των επιλυόμενων πυρήνων με το βάθος (Σχήμα 4).



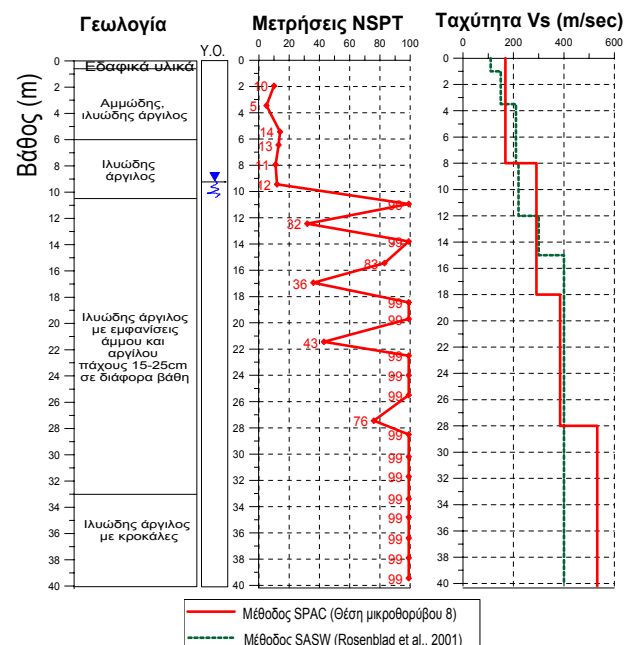
Σχήμα 4: Μεταβολή ταχύτητας Vs και επιλυόμενοι πυρήνες με το βάθος στη θέση του Μετεωρολογικού σταθμού της πόλης (μέτρηση μικροθορύβου 8, Σχήμα 3).

Figure 4: Vs and Resolving kernels variation with depth for the soil formations at the Meteorological station (site 8, in Figure 3).

Οι εδαφικοί σχηματισμοί στη θέση του Μετεωρολογικού σταθμού μελετήθηκαν και στο πλαίσιο προηγούμενων ερευνών. Το σύνολο της διαθέσιμης πληροφορίας για τη συγκεκριμένη θέση παρουσιάζεται στο Σχήμα 5. Οι ταχύτητες Vs που προέκυψαν από την ανάλυση του μικροθορύβου στη θέση 8 (Σχήμα 4) προβάλλονται για λόγους σύγκρισης με αυτές που προσδιορίστηκαν με τη μέθοδο SASW στην ίδια θέση από τους Rosenblad et

al. (2001). Η προβολή των Vs γίνεται μέχρι το βάθος διασκόπησης της μεθόδου SASW, τα 40m, όπου υπάρχει και διαθέσιμη γεωλογική και γεωτεχνική πληροφορία στην περιοχή. Τα πρώτα 13m της εδαφικής στήλης που υπολογίστηκαν με την SASW χαρακτηρίζονται από Vs 110-220m/sec και μέχρι τα 40m οι ταχύτητες αυξάνονται στα 300 ως 400m/sec. Από τη σύγκριση προκύπτει ότι οι Vs που υπολογίστηκαν με την ανάπτυξη δύο ακτίνων 10 και 30m με τη μέθοδο SPAC βρίσκονται σε καλή συμφωνία με αυτές της μεθόδου SASW.

Η γεωφυσική ερμηνεία του προσομοιώματος ταχύτητας στη θέση μικροθορύβου 8 έγινε με βάση τα στοιχεία της δειγματοληπτικής γεώτρησης SK3. Ο επιφανειακός οριζόντιος πάχους 8m που χαρακτηρίζεται από Vs ως 200m/sec αντιστοιχεί στον σχηματισμό της ιλυώδους αργίλου πάχους 10m που παρουσιάζει τιμές NSPT μικρότερες του 15. Η αύξηση της Vs σε τιμές 300-400m/sec ως το βάθος των 28m περιγράφει τον ίδιο σχηματισμό ο οποίος χαρακτηρίζεται από μεγάλες τιμές NSPT λόγω της παρουσίας ενδιάμεσων στρώσεων άμμου και αργίλου. Η εμφάνιση δε κροκάλων κάτω από το βάθος αυτό και τουλάχιστον μέχρι τα 40m, δικαιολογεί την αύξηση της Vs με τιμές πάνω από τα 500m/sec.



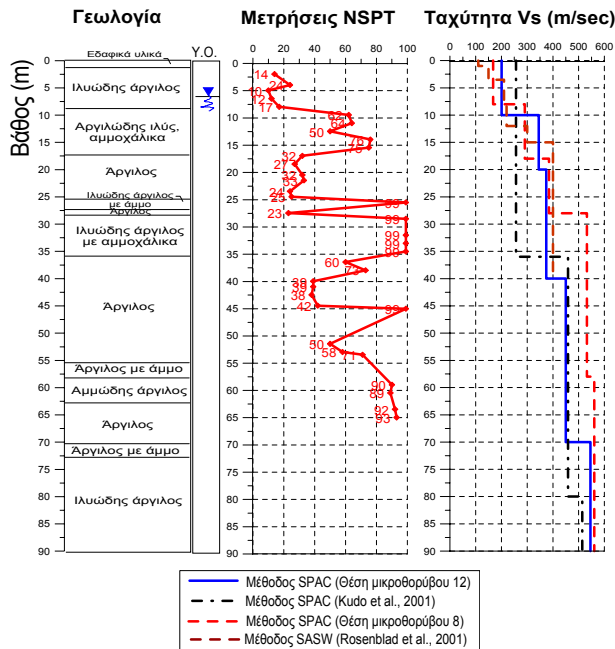
Σχήμα 5: Ταχύτητες Vs και διαθέσιμη γεωλογική και γεωτεχνική πληροφορία στη θέση του Μετεωρολογικού σταθμού.

Figure 5: Vs velocities and available geological and geotechnical information at the Meteorological station.



Η θέση μικροθорύβου 12 τοποθετείται κοντά στη μέτρηση SPAC που πραγματοποιήθηκε από τους Kudo et al. (2001), 1km ανατολικά του Μετεωρολογικού σταθμού της πόλης (Σχήμα 3). Οι ταχύτητες που προσδιορίστηκαν από την αντιστροφή της καμπύλης σκέδασης της ταχύτητας φάσης των Rayleigh κυμάτων στις δύο αυτές θέσεις προβάλλονται στο Σχήμα 6 μέχρι το βάθος των 90m όπου υπάρχει και διαθέσιμη γεωλογική και γεωτεχνική πληροφορία στην περιοχή.

Όπως διαπιστώνεται από το σχήμα, η μεταβολή της ταχύτητας με το βάθος στη θέση 12 είναι σε γενικές γραμμές παρόμοια με αυτή των Kudo et al. (2001). Εξαίρεση αποτελούν τα επιφανειακά στρώματα που περιγράφονται από τους Kudo et al. (2001) ως ένας σχηματισμός πάχους 35m και ταχύτητας 260m/sec, η οποία είναι μικρότερη της σταθμισμένης Vs των στρωμάτων (330m/sec) που προσδιορίστηκαν με τη μέτρηση μικροθорύβου μέχρι το βάθος των 35m. Κάτω από το βάθος αυτό και μέχρι τουλάχιστον τα 90m οι σχηματισμοί χαρακτηρίζονται από ταχύτητες στο εύρος μεταξύ 370 και 550m/sec, τιμές που βρίσκονται σε καλή συμφωνία με τις τιμές που υπολογίστηκαν από τους Kudo et al. (2001).



Σχήμα 6: Ταχύτητες Vs και διαθέσιμη γεωλογική πληροφορία σε απόσταση 1km ανατολικά του Μετεωρολογικού σταθμού (Σχήμα 3).

Figure 6: Vs velocities and available geological information 1km east of the Meteorological station (Figure 3).

Παρόμοιες, με τη θέση μικροθорύβου 12, τιμές Vs για τους επιφανειακούς σχηματισμούς προσδιορίστηκαν και με τις μεθόδους SPAC και SASW στη θέση του Μετεωρολογικού σταθμού (Σχήμα 6). Η παρόμοια διακύμανση της Vs μεταξύ των δύο θέσεων μελέτης που απέχουν απόσταση 1km υποδηλώνει πιθανόν όμοιες συνθήκες ιζηματογένεσης, γεγονός που επιβεβαιώνεται και από τα στοιχεία των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων SK3 και SK7 στις θέσεις μικροθорύβου 8 και 12 αντίστοιχα (Σχήμα 3).

#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάστηκαν αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου του μικροθорύβου στο Πολεοδομικό Συγκρότημα της πόλης Düzce στη ΒΔ Τουρκία. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν για τη Μικροζωνική μελέτη της πόλης στο πλαίσιο του Ερευνητικού προγράμματος SRM-DGC (2007). Η εδαφική δομή της πόλης μελετήθηκε συνολικά από 15 μετρήσεις μικροθорύβου κυκλικής διάταξης χρησιμοποιώντας τη μέθοδο SPAC (Aki, 1957). Τα προσομοιώματα ταχύτητας Vs που προέκυψαν από την ανάλυση του θорύβου συγκρίθηκαν με αυτά προηγούμενων διασκοπήσεων πεδίου και συσχετίστηκαν με τη διαθέσιμη γεωλογική και γεωτεχνική πληροφορία στη γειτονία τους.

Το προσομοίωμα ταχύτητας Vs που προσδιορίστηκε στη θέση του Μετεωρολογικού σταθμού της πόλης (θέση μικροθорύβου 8) δείχνει ότι τουλάχιστον μέχρι το βάθος των 110m εμφανίζονται εδαφικοί σχηματισμοί με Vs που αυξάνονται σταδιακά από την επιφάνεια προς το βάθος από 200m/sec ως πάνω από 500m/sec. Οι τιμές αυτές ταχύτητας βρίσκονται σε καλή συμφωνία με τις Vs που υπολογίστηκαν με τη μέθοδο SASW (Rosenblad et al., 2001) στην ίδια θέση, και γεωφυσικά ερμηνεύονται ικανοποιητικά με βάση τα γεωλογικά στοιχεία της γειτονικής γεώτρησης SK3. Το προσομοίωμα Vs που προσδιορίστηκε με τη μέτρηση μικροθорύβου 12 σε απόσταση 1km ανατολικά του Μετεωρολογικού σταθμού και βρίσκεται σε καλή συμφωνία με τις ταχύτητες Vs των Kudo et al. (2001) στην ίδια θέση, περιγράφει γεωλογικούς σχηματισμούς οι οποίοι δεν διαφοροποιούνται αισθητά ως προς τη σύσταση και το πάχος τους σε σχέση με τη θέση μικροθорύβου 8, υποδηλώνοντας ίδιες συνθήκες απόθεσης μεταξύ των δύο θέσεων μελέτης.

Τα δύο παραδείγματα εφαρμογής της μεθόδου του μικροθορύβου (μέθοδος SPAC) που παρουσιάστηκαν στην εν λόγω εργασία αποδεικνύουν τη χρησιμότητα αξιοποίησης του μόνιμου εδαφικού θορύβου στη διασκόπηση της εδαφικής δομής μιας περιοχής και την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων του, κάνοντας το μικροθόρυβο μια ελκυστική μέθοδο διασκόπησης εφαρμόσιμη σε πλήθος θεμάτων γεωτεχνικής σεισμικής μηχανικής.

## 5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αποστολίδης Π. (2002), “Προσδιορισμός της εδαφικής δομής με τη χρήση μικροθορύβου. Εφαρμογή στην εκτίμηση των δυναμικών ιδιοτήτων και της γεωμετρίας των εδαφικών σχηματισμών της Θεσσαλονίκης”. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή, Α.Π.Θ.
- Ερευνητικό πρόγραμμα SRM-DGC (2007-2009): Development and Proposition for Implementation of an Efficient Methodology and Appropriate Local Instruments for the Management, Prevention and Reduction of Seismic Risk in Duzce-Turkey, Grevena-Greece and Catania-Italy”
- Μανάκου Μ. (2007), “ Συμβολή στον προσδιορισμό τρισδιάστατου εδαφικού προσομοιώματος για τη μελέτη σεισμικής απόκρισης: Εφαρμογή στην ιζηματογενή Μυγδονία λεκάνη”. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή, Α.Π.Θ.
- Aki K., (1957), “Space and Time Spectra of Stationary Stochastic Waves, with Special Reference to Microtremors”. Bull. Earth. Res. Inst. Tokyo Univ. 25, pp. 415-457.
- Capon J. (1969), “High-resolution frequency-wavenumber spectrum analysis”. Proc. IEEE, Vol. 57, pp. 1408-1418.
- Chávez-García F. J., Rodriguez M., Stephenson W. (2005), “An alternative approach to the SPAC analysis of microtremors: exploiting stationarity of noise”. BSSA, Vol. 95(1), pp. 277–294.
- Chouet B., De Luca G., Milana G., Dawson P., Martini M., Scarpa R. (1998), “Shallow velocity structure of Stromboli Volcano, Italy, derived from small-aperture array measurements of strombolian tremor”. BSSA, Vol. 88, pp. 653-666.
- Kudo K., Kanno T., Okada H., Ozel O., Erdik M., Sasatani T., Higashi S., Takahashi M., and Yoshida K. (2002), “Site-Specific Issues for Strong Ground Motions during the Kocaeli, Turkey, Earthquake of 17 August 1999, as Inferred from Array Observations of Microtremors and Aftershocks”. BSSA, Vol. 92 (1), pp. 448–465.
- Malagnini L., Herrmann R., Biella G., and R. de Franco (1995), “Rayleigh waves in Quaternary alluvium from explosive sources: determination of shear-wave velocity and Q structure”. BSSA, Vol. 85, pp. 900-922.
- Marmara earthquake rehabilitation project-MERP, Final Scientific Project Report (2006), “An Intergrated Intervention for the Rehabilitation of Düzce”. Laboratory of Soil Mechanics, Foundations & Geotechnical Earthquake Engineering, Department of Civil Engineering, Aristotle University of Thessaloniki.
- MTA Genel Mudurlugu ve Ankara Universitesi (1999), “17 Augustos 1999 depremi sonrasi Duzce (Bolu) ilcesi alternative yerlesim alanlarinin geologik incelemesi”. Earth Marine Atmospherical Sciences and Environmental Researches Grant Group.
- Nakamura Y. (1989), “A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremors on the ground surface”. QR Railway Tech. Res. Inst. 30, 1.
- Nazarian S., Stokoe K., and Hudson W. (1983), “Use of spectral analysis of surface waves method for determination of moduli and thicknesses of pavement systems”. Transport Res. Record, Vol. 930, pp.38–45.
- Okada, H. (1998) “Microtremors as an exploration method”. Geo-exploration handbook, Soc. of Exploration Geophysicists of Japan, Vol.2, pp.203-211.
- Okada H., Matsushima T., Moriya T., Sasatani T. (1990), “An exploration technique using long-frequency microtremors for determination of deep geological structures under urbanized areas”. Butsuri-Tansa, Vol. 43, pp. 402–417 (in Japanese with English abstract).
- Rosenblad, B.L., Rathje, E.M., and Stokoe, K.H. (2001), “Shear Wave Velocity Profiling by SASW Method at Selected Strong-Motion Stations from the 1999 Turkey Earthquakes”. Final Report to Pacific Earthquake Engineering Research Center, September.
- Saccorotti G., Chouet B. and Dawson P. (2003), “Shallow-velocity models at the Kilauea Volcano, Hawaii, determined from array analyses of tremor wavefields”.

- Geophys. J. Int., Vol. 152, pp.633–648.
- Simsek and Dalgic (1997), "Düzce Ovası killerinin konsolidasyon özellikleri ve jeolojik evrim ile ilişkisi". Geological Bulletin of Turkey, V. 40, No 2, pp. 29-38.
- Yamanaka H., Kato M., Hashimoto M., Gulerce U., Iyisan R. and Ansal A. M. (2002), "Assessment of Seismic Local-Site Effects at Plural Test Sites". Final Report to the Ministry of Education, Science, Sports and Culture, Research Grant No.11694134.