

Προσομοίωμα τριών διαστάσεων της γεωλογικής δομής της Μυγδονίας Λεκάνης και μελέτη της σεισμικής απόκρισής της

Determination of the 3D geological structure of the Mygdonian basin and study of its site response.

ΜΑΝΑΚΟΥ, Μ.
ΡΑΠΤΑΚΗΣ, Δ.
ΜΑΚΡΑ, Κ.
CHAVEZ-GARCIA F.
ΑΠΟΣΤΟΛΙΔΗΣ, Π.
ΠΙΤΙΛΑΚΗΣ, Κ.

Msc Γεωλόγος, Υποψ. Δρ Τμ. Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ.
Λέκτορας Τμ. Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ.
Δόκιμος Ερευνητής Ι.Τ.Σ.Α.Κ.
Καθηγητής Πανεπιστημίου Mexico (UNAM)
Γεωλόγος – Δρ. Τμ. Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ.
Πολιτικός Μηχανικός, Καθηγητής Τμ. Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται ο προσδιορισμός της τρισδιάστατης γεωλογικής δομής της Μυγδονίας λεκάνης, η οποία βασίστηκε σε πλήθος γεωτεχνικών, γεωφυσικών, γεωλογικών και σεισμικών δεδομένων, και των δυναμικών ιδιοτήτων των γεωλογικών σχηματισμών που την συνιστούν. Η ακριβής εκτίμηση της τρισδιάστατης δομής της λεκάνης είναι απαραίτητη α) για την μελέτη της σεισμικής απόκρισης των εδαφικών σχηματισμών που την συνιστούν με τη χρήση μονοδιάστατων, δισδιάστατων και τρισδιάστατων μεθόδων της σεισμικής απόκρισης και β) για την μελέτη της φυσικής της διάδοσης των σεισμικών κυμάτων σε σύνθετες δομές και τη κατανόηση της επίδρασης της τοπικής γεωλογίας στη σεισμική κίνηση.

ABSTRACT: In the paper presented the definition of the three dimensional geological structure of the Mygdonia basin and the estimation of the dynamic properties of the geological formations of the valley. The structure is based on numerous geotechnical, geophysical, geological and seismological data. Accurate knowledge of the three dimensional geological model of the valley is necessary a) for site response analysis using 1D, 2D and 3D models of the seismic response and b) to study of the complicated physics of the wave propagation in complex media and the understanding of the influence of local geology in seismic motion.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι πλέον διεθνώς αποδεχτό ότι η τοπική γεωλογία επηρεάζει σημαντικά την ισχυρή εδαφική κίνηση και ελέγχει την κατανομή των ζημιών σε περίπτωση καταστροφικών σεισμών. Η κατανόηση λοιπόν της φυσικής των τοπικών εδαφικών συνθηκών συμβάλλει αποφασιστικά στην αξιόπιστη εκτίμηση της αναμενόμενης εδαφικής κίνησης. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η κατασκευή προσομοιώματος της γεωλογικής δομής της Μυγδονίας λεκάνης σε τρεις διαστάσεις.

Η λεκάνη αυτή ανήκει στον πλησιέστερο σεισμοτεκτονικό χώρο στην πόλη της Θεσσαλονίκης και για το λόγο αυτό μελετάται εδώ και 12 χρόνια από το Εργαστήριο Εδαφομηχανικής, Θεμελιώσεων & Γεωτεχνικής Σεισμικής Μηχανικής του Τμήματος Πολιτικών

Μηχανικών Α.Π.Θ. στα πλαίσια Ευρωπαϊκών Ερευνητικών Προγραμμάτων (<http://euroseis.civil.auth.gr/>). Η μέχρι τώρα γνώση της γεωλογικής δομής υποβάθρου – εδαφικών σχηματισμών της ιζηματογενούς λεκάνης, περιοριζόταν στην λεπτομερή γνώση της δισδιάστατης τομής διεύθυνσης ΒΝ η οποία προέκυψε από προηγούμενες γεωφυσικές και γεωτεχνικές μελέτες (Ραπτάκης 1995, Pitilakis et al. 1999, Raptakis et al. 1996, 1998, 2000) και σε περιορισμένης έκτασης γεωλογικές πληροφορίες σε ορισμένες θέσεις της λεκάνης μεταξύ των λιμνών Λαγκαδά και Βόλβης.

Το δισδιάστατο μοντέλο των Raptakis et al. (2000) χρησιμοποιήθηκε σε πλήθος μονοδιάστατων και δισδιάστατων θεωρητικών αναλύσεων σεισμικής απόκρισης (Chávez-García et al. 2000, Μάκρα 2000, Makra et al.

2001, 2005). Για την ολοκληρωμένη μελέτη της σεισμικής απόκρισης της λεκάνης απαιτείται η γνώση της γεωλογικής δομής της λεκάνης στις τρεις διαστάσεις. Στην παρούσα εργασία περιγράφεται αναλυτικά η απόκτηση αυτής της γνώσης με τη χρήση όλων των παλαιών και νέων στοιχείων. Η ολοκληρωμένη επεξεργασία των δεδομένων που αποκτήθηκαν τα τελευταία χρόνια, περιλαμβάνει την χρήση γεωφυσικών και σεισμολογικών τεχνικών σε έξι μεγάλες κατηγορίες δεδομένων. Αυτές είναι: ηλεκτρικές διασκοπήσεις, γεωτεχνικές δοκιμές, σεισμικές διασκοπήσεις, μετρήσεις μικροθορύβου σε ένα σταθμό και σε δίκτυα σταθμών και καταγραφές σεισμικών δεδομένων (Σχήμα 1).

Ορισμένες από αυτές τις κατηγορίες δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν επίσης για την ενόργανη προσέγγιση της προκαταρκτικής μελέτης της σεισμικής απόκρισης της λεκάνης με όρους χαρακτηριστικών του θεμελιώδη συντονισμού των εδαφικών σχηματισμών.



- ▲ Προσωρινό δίκτυο σεισμογράφων
- Μόνιμο δίκτυο επιταχυνσιογράφων
- Μικροθόρυβος μεμονωμένου σταθμού καταγραφής
- Μικροθόρυβος κυκλικής διάταξης
- Τομή ηλεκτρικής τομογραφίας
- Γεωτρήσεις
- ★ Πηγές γραμμικών πειραμάτων
- Πενετρομετρήσεις

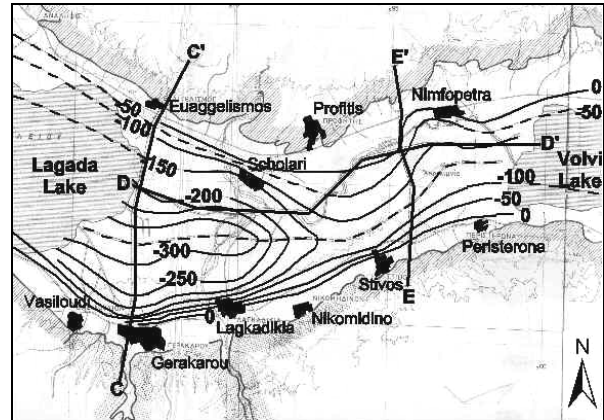
Σχήμα 1. Γεωλογικός χάρτης της Μυγδονίας λεκάνης με την θέση του Euroseistest και των διαφόρων δοκιμών πεδίου.

Figure 1. The geological map of Mygdonian basin with the location of Euroseistest and of in-situ measurements.

2. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ

Εκτός από την πληροφορία που παρέχει η 2Δ μηκοτομή των Raptakis et al. (2000) για τα Vs και την γεωμετρία στη συγκεκριμένη θέση της λεκάνης ελήφθη υπόψη και το αρχικό ομοίωμα της τρισδιάστατης απεικόνισης της Μυγδονίας λεκάνης με όρους Vr ταχύτητας κατά την BRGM (1971). Η έρευνα αυτή (σεισμική διάθλαση, ηλεκτρικές μετρήσεις και διάτρηση

βαθιών γεωτρήσεων) που σαν σκοπό είχε τον προσδιορισμό του υδρογραφικού δυναμικού της περιοχής, κατ' ουσίαν προδιέγραψε μόνο τη διεπιφάνεια μεταξύ αποθέσεων και βραχώδους υποβάθρου. Επικουρικά στα διασδιάστατα (2Δ) και τρισδιάστατα (3Δ) προσομοιώματα χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από ηλεκτρικές διασκοπήσεις ΙΓΜΕ (2001) και ιδιωτικές υδρογεωτρήσεις.



Σχήμα 2. Ισοβαθείς καμπύλες της διεπιφάνειας μεταξύ υποβάθρου - ιζημάτων στην περιοχή της Μυγδονίας λεκάνης κατά την BRGM (1971). Οι τομές CC', DD' και EE' αντιπροσωπεύουν τις θέσεις μετρήσεων.

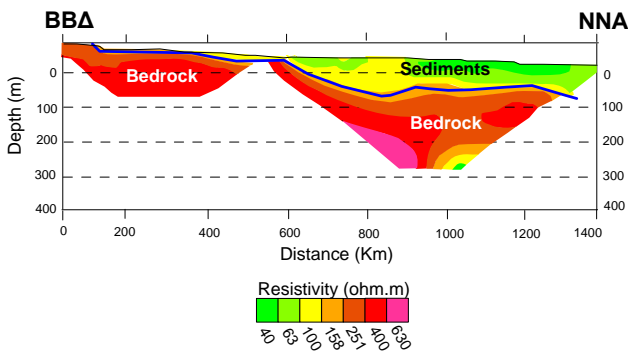
Figure 2. Contour map of the interface between bedrock - sediments in the region of Mygdonian basin according to BRGM (1971). Lines CC', DD', and EE' indicate the location of the measurements.

Το αρχικό προσομοίωμα της BRGM βελτιώθηκε με την χρήση δεδομένων διαφορετικών διασκοπήσεων που πραγματοποιήθηκαν κατά καιρούς στην περιοχή. Συγκεκριμένα α) το ομοίωμα της BRGM περιγράφει μόνο την διεπιφάνεια υποβάθρου – αποθέσεων, ενώ το τελικό ομοίωμα της παρούσας μελέτης περιγράφει και τη διεπιφάνεια μεταξύ των ιζηματογενών συστημάτων Μυγδονιακού–Προμυγδονιακού. β) οι τιμές ταχύτητας που χαρακτηρίζουν τους γεωλογικούς σχηματισμούς του μοντέλου της BRGM είναι ταχύτητες Vr και όχι Vs που χαρακτηρίζουν καλύτερα το τελικό προσομοίωμα και οι οποίες χρησιμοποιούνται στις αναλύσεις σεισμικής απόκρισης. γ) η μορφή της επιφάνειας του υποβάθρου παρουσιάζεται στο μοντέλο της BRGM με τριγωνική μορφή από τραπεζοειδή που προσδιορίστηκε τόσο από την τομή BN των Raptakis et al. (2000) όσο και από το τελικό τρισδιάστατο μοντέλο της παρούσας μελέτης. Η τελική τρισδιάστατη δομή που

προσδιορίστηκε στην παρούσα μελέτη βασίστηκε σε πλήθος στοιχείων η συνεισφορά των οποίων περιγράφεται αναλυτικά παρακάτω:

Ηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις & τομογραφίες.

Οι μετρήσεις αυτές έγιναν στα όρια των εδαφικών αποθέσεων και του υποβάθρου στα άκρα της λεκάνης, προκειμένου να προσδιοριστεί η γεωμετρία τους, καθώς είναι γνωστό ότι τα χαρακτηριστικά των ασυνχειών αυτών έχουν μεγάλη σημασία για την πλευρική διάδοση των περιθλώμενων επιφανειακών κυμάτων και επομένως στη σεισμική απόκριση. Από την επεξεργασία των δεδομένων, σχεδιάστηκαν διασδιάστατες τομές μεταβολής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, παράμετρος η οποία συνδέεται με την γεωλογία στη θέση διασκόπησης (1st year Euroseisrisk report). Οι μετρήσεις αυτές έδωσαν πληροφορία αναφορικά με την κλίση της διεπιφάνειας ιζημάτων – βραχώδους υποβάθρου καθώς και του βάθους του αλπικού υποβάθρου. Παράδειγμα τομογραφίας δίνεται στο Σχήμα 3. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων αυτών συσχετίστηκαν με άλλες ηλεκτρικές διασκοπήσεις (IGME 2001) και πλήθος υδρογεωλογικών γεωτρήσεων και ελήφθησαν υπόψη για το 3D προσομοίωμα.

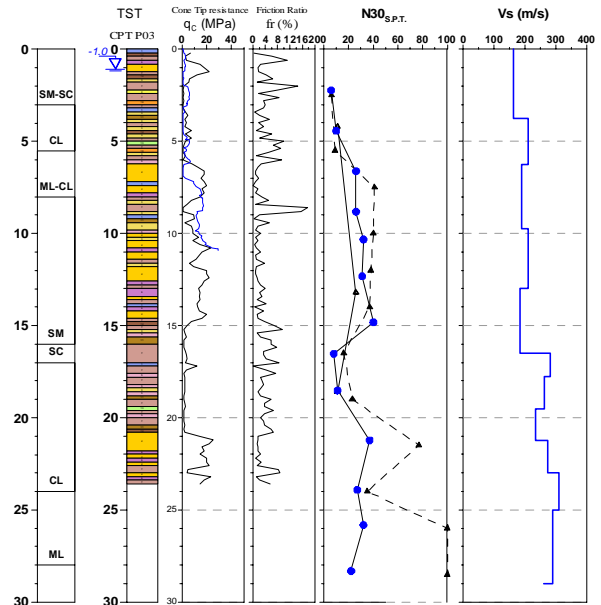


Σχήμα 3. Διασδιάστατη ηλεκτρική τομή CC'.
Figure 3. 2D electrical cross-section CC'.

Γεωτεχνικές γεωτρήσεις, πενетроμετρήσεις.

Τα δεδομένα από την επί τόπου γεωτεχνική έρευνα σε επιλεγμένες θέσεις εντός της λεκάνης συσχετίστηκαν με άλλα μεγέθη, όπως δοκιμές SPT, εκτίμηση της ταχύτητας Vs από διάφορες δοκιμές καθώς και με την στρωματογραφία προκειμένου να τεκμηριωθούν και γεωτεχνικά οι υπό διερεύνηση σχηματισμοί. Παράλληλα σε διαταραγμένα και αδιατάρακτα δείγματα που ληφθήκαν από τις γεωτρήσεις πραγματοποιήθηκε πλήθος εργαστηριακών

δοκιμών. Από την επεξεργασία όλων των γεωτεχνικών αυτών δοκιμών προσδιορίστηκαν οι φυσικές – μηχανικές ιδιότητες των εδαφικών σχηματισμών της λεκάνης (Pitilakis et al. 1999). Παράδειγμα όλων αυτών δίδεται στο Σχήμα 4.



Σχήμα 4. Πενетроμέτρηση στη θέση TST, δειγματοληπτική γεώτρηση και η κατανομή της αντίστασης αιχμής και τριβής με το βάθος. Συγκριτικά δίνεται η κατανομή SPT και η ταχύτητα Vs (Anastasiadis, 2005).

Figure 4. CPT at site TST, sampling borehole, friction ratio and cone resistance with depth. SPT and Vs profiles (Anastasiadis, 2005).

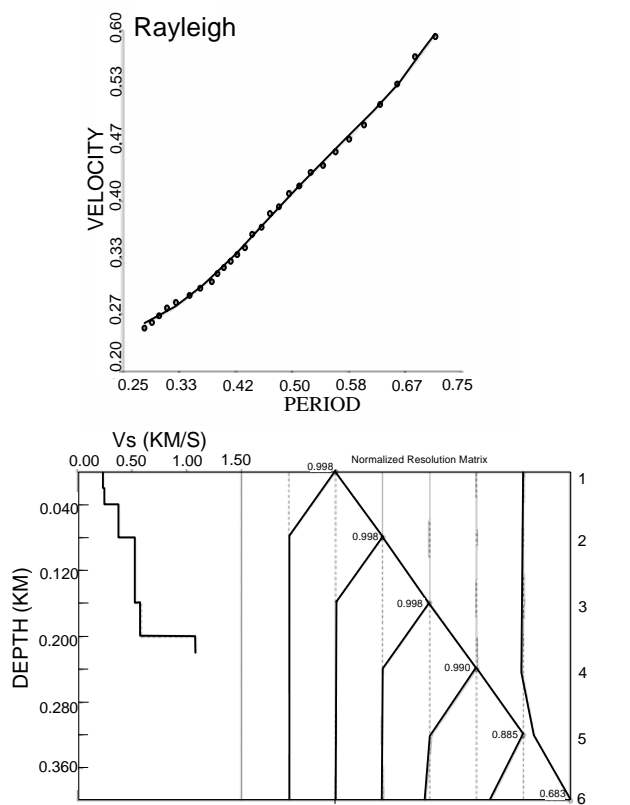
Σεισμικές διασκοπήσεις μεγάλης κλίμακας.

Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από μεγάλης κλίμακας πειράματα κατά τη διεύθυνση ΑΔ συνολικού μήκους 8Km. Στα πειράματα αυτά χρησιμοποιήθηκε μεγάλος αριθμός σειсмоγράφων και ως πηγές διέγερσης ποσότητες εκρηκτικών σε γεωτρήσεις 40m περίπου. Καταγραφές επεξεργάστηκαν με τη μέθοδο της αντιστροφής των επιφανειακών κυμάτων για τον προσδιορισμό της ταχύτητας των διατμητικών κυμάτων. Αποτελέσματα όπως αυτά του παραδείγματος στο Σχήμα 5, χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του 3D προσομοιώματος.

Μετρήσεις μικροθορύβου σε δίκτυο με κυκλική διάταξη.

Σε επιλεγμένες θέσεις εντός της λεκάνης πραγματοποιήθηκε πλήθος μετρήσεων. Με τις μετρήσεις αυτές δόθηκε η δυνατότητα να επιτευχθεί σημαντική πληροφορία για τα πάχη και τις Vs της βασικής στρωματογραφίας σε

μεγάλα βάθη (Μανάκου & συν., 2005). Από την επεξεργασία αυτών, με την μέθοδο SPAC, προσδιορίστηκαν οι πειραματικές καμπύλες σκέδασης σε κάθε θέση από την αντιστροφή τους προσδιορίστηκε η κατανομή της ταχύτητας Vs με το βάθος. Ένα παράδειγμα από το σύνολο των 27 θέσεων παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.

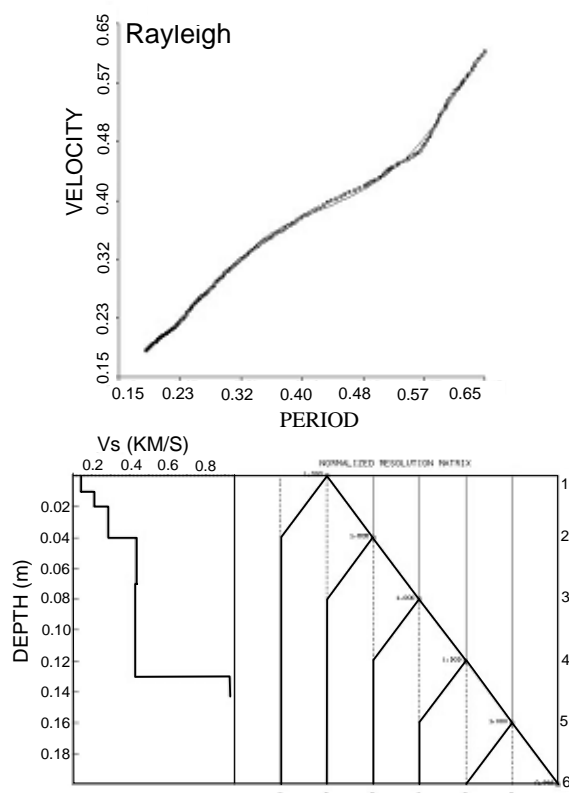


Σχήμα 5. Η ανάλυση στη θέση BRG. Θεωρητική & πειραματική καμπύλη σκέδασης (πάνω), κατανομή Vs με το βάθος (κάτω) και οι επιλυόμενοι πυρήνες (δεξιά).
Figure 5. The analysis at site BRG. Theoretical & experimental dispersion curve (top), Vs distribution with depth (bottom) and the resolving kernels.

3. ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ

Ο προσδιορισμός της 3Δ γεωμετρίας της λεκάνης που κατά βάση βασίζεται στην οριζόντια και κατακόρυφη μεταβολή των μηχανικών ιδιοτήτων των βασικών εδαφικών σχηματισμών θα ήταν ελλιπής αν δεν λαμβάνονταν υπόψη η πυκνή πληροφορία σε ότι αφορά τις συχνότητες του θεμελιώδη συντονισμού ο οποίος αντιστοιχεί στην απόκριση του συνολικού όγκου των αποθέσεων (μεταξύ ελεύθερης επιφάνειας και άνω επιφάνειας του βραχώδους υποβάθρου).

Είναι ευρέως γνωστό ότι γνωρίζοντας τη θεμελιώδη συχνότητα σε συνδυασμό με τη μέση Vs ταχύτητα όλων των αποθέσεων μπορεί κανείς να προδιαγράψει ικανοποιητικά το πάχος τους.



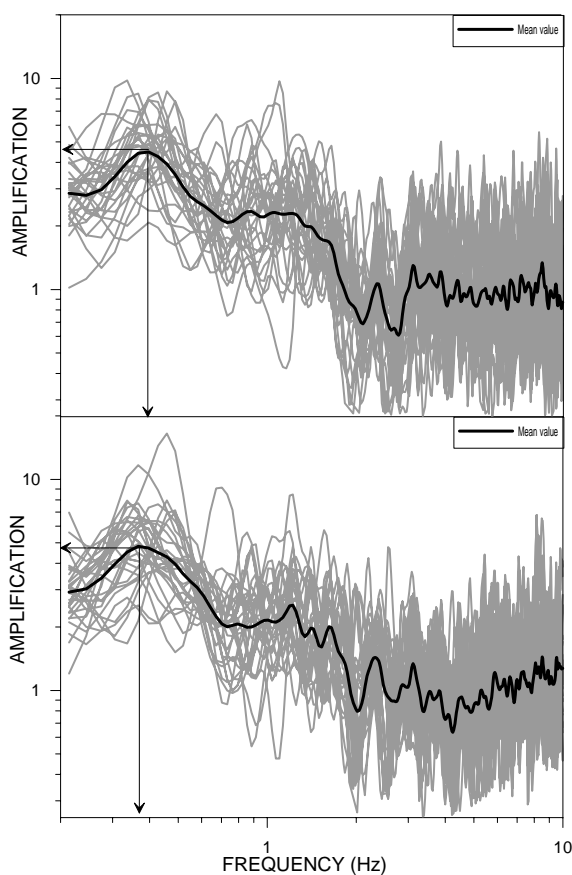
Σχήμα 6. Ανάλυση μικροθορύβου σε διάταξη στη θέση THE. Θεωρητική & πειραματική καμπύλη σκέδασης (πάνω), κατανομή Vs με το βάθος (κάτω) και οι επιλυόμενοι πυρήνες (δεξιά).
Figure 6. Analysis of microtremor measurements at site THE. Theoretical & experimental dispersion curve (top), Vs distribution with depth (bottom) and the resolving kernels.

Είναι επίσης γνωστό ότι σημασία στα χαρακτηριστικά της απόκρισης έχει η αντίθεση των μέσων Vs αποθέσεων και βράχου και όχι τόσο η λεπτομερής διαστρωμάτωση των εδαφικών σχηματισμών. Για όλους αυτούς τους λόγους στην παρούσα μελέτη έγινε συμπληρωματική επεξεργασία πλήθους καταγραφών τόσο μικροθορύβου όσο και σεισμών. Το σύνολο των αποτελεσμάτων (εμπειρικές συναρτήσεις μεταφοράς) που προέκυψαν ως προς τη θεμελιώδη συχνότητα και το πλάτος ενίσχυσης, αξιολογήθηκε ως προς την αξιοπιστία τους και την ορθότητά τους μέσω πολλαπλών συγκρίσεων με βάση το είδος των δεδομένων (μικροθόρυβος, σεισμοί), τις φάσεις των σειсмоγραμμάτων (θόρυβος, S και κύματα ουράς) και τις τεχνικές

που χρησιμοποιήθηκαν (SSR, HVSR και GIS).

Μετρήσεις μικροθρόμβου σε μεμονωμένο σταθμό καταγραφής.

Οι μετρήσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν σε περίπου 200 θέσεις στη λεκάνη με φορητό σειсмоγράφο και είχαν διάρκεια 30min. Σε παράθυρα διάρκειας 20sec προσδιορίστηκε ο φασματικός λόγος της οριζόντιας προς κατακόρυφη συστατώσα (τεχνική HVSR) καθώς και η μέση τιμή τους. Από την επεξεργασία των μετρήσεων προσδιορίστηκε η συχνότητα του θεμελιώδη συντονισμού και ο παράγοντας ενίσχυσης των εδαφικών σχηματισμών σε κάθε θέση. Παράδειγμα για μια θέση δίνεται στο Σχήμα 7.



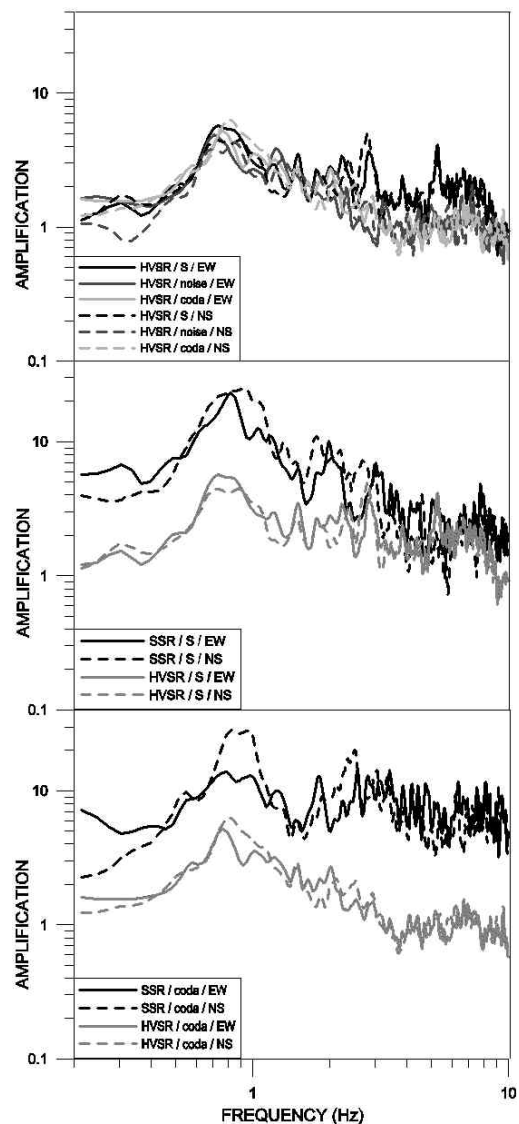
Σχήμα 7. Εμπειρικές συναρτήσεις μεταφοράς από μικροθρόμβου για όλα τα παράθυρα ανάλυσης και η μέση τιμή τους για τις δύο οριζόντιες συστατώσες για τη θέση P165.

Figure 7. Empirical transfer functions derived from microtremor measurement for all window analysis, and their mean value for the two horizontal components for the site P165.

Σεισμικές καταγραφές σε προσωρινό δίκτυο σειсмоγράφων.

Σε διαφορετικά παράθυρα του σήματος διάρκειας 20sec θρόμβου, S και επιφανειακών

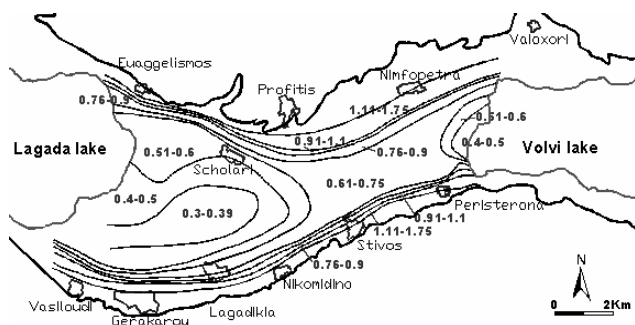
κυμάτων, χρησιμοποιήθηκαν οι τεχνικές HVSR, SSR καθώς και η τεχνική της γενικευμένης αντιστροφής GIS. Οι φασματικοί λόγοι από όλες τις τεχνικές συγκρίθηκαν ως προς την συχνότητα συντονισμού και το πλάτος ενίσχυσης. Τα αποτελέσματά τους συνολικά ήταν συμβατά εκτός από το πλάτος με την τεχνική HVSR σε ορισμένες θέσεις. Οι διαφορές του επιπέδου ενίσχυσης μεταξύ HVSR και SSR καθώς και η ενίσχυση της κατακόρυφης συστατώσας, δείχνουν τη πλευρική διάδοση επιφανειακών κυμάτων που δημιουργούνται στα πλευρικά όρια της λεκάνης. Στο Σχήμα 8 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα στη θέση RSAR.



Σχήμα 8. Σύγκριση μεταξύ των μέσων λόγων HVSR & SSR πλήθους σεισμικών καταγραφών για τις δύο οριζόντιες συστατώσες (θέση RSAR).

Figure 8. Comparison between mean transfer functions HVSR & SSR of many seismic recordings for the two horizontal components (site RSAR).

Τα αποτελέσματα αυτά οδήγησαν στις ιδιοσυχνοτικές καμπύλες του Σχήματος 9 που εκφράζουν τη μεταβολή της συχνότητας απόκρισης όλων των αποθέσεων σε όλη τη έκταση της λεκάνης. Συνεπώς αν η μέση Vs των αποθέσεων είναι κοινή για όλη τη λεκάνη, τότε μπορεί κανείς να μεταφράσει τις καμπύλες αυτές σε ισοβαθείς. Ως εκ τούτου είναι λοιπόν διερευνητέο εάν ισχύει η συνθήκη αυτή.



Σχήμα 9. Χωρική μεταβολή της συχνότητας συντονισμού στη Μυγδονία λεκάνη.
Figure 9. Spatial distribution of the resonant frequency in the Mygdonian basin.

4. ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΕΔΑΦΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

Έχοντας υπόψη όλα τα γεωλογικά, γεωτεχνικά, γεωφυσικά και σεισμολογικά δεδομένα και ιδιαίτερα την κατανομή της Vs με το βάθος από μετρήσεις μικροθορύβου και την τομή BN (Raptakis et al., 2000) για μεγάλα βάθη, επιτεύχθηκε η σύνθεση ενός 3D προσομοιώματος της λεκάνης με ικανοποιητική ακρίβεια.

Το εδαφικό ομοίωμα (Σχήμα 10) πληρεί τις προϋποθέσεις για να χρησιμοποιηθεί σε θεωρητικές αναλύσεις 1Δ, 2Δ και 3Δ προσομοίωσης της σεισμικής απόκρισης, δεδομένου ότι προδιαγράφεται η γεωμετρία των πλευρικών ορίων και των βασικών διεπιφανειών μεταξύ των κύριων γεωλογικών σχηματισμών (Μυγδονιακού–Προμυγδονιακού) και των αποθέσεων–βραχώδους υποβάθρου, καθώς και οι μέσες ταχύτητες των τριών βασικών γεωλογικών σχηματισμών (Διδ. Διατριβή Μανάκου, 2005-2006).

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η τρισδιάστατη γεωλογική δομή της Μυγδονίας λεκάνης προσδιορίστηκε με την χρήση πλήθους στοιχείων, περιγράφοντας την διεπιφάνεια αποθέσεων – υποβάθρου και των ιζηματογενών συστημάτων Μυγδονιακού – Προμυγδονιακού. Παράλληλα με τον

προσδιορισμό της γεωμετρίας του αλπικού υποβάθρου και της εδαφικής διαστρωμάτωσης της λεκάνης εκτιμήθηκε η μέση τιμή ταχύτητας Vs των τριών γεωλογικών σχηματισμών που την συνιστούν.

Από τις 1Δ αναλύσεις σεισμικής απόκρισης που πραγματοποιήθηκαν σε δεδομένα σεισμικών καταγραφών και μικροθορύβου προέκυψε η χωρική μεταβολή της συχνότητας συντονισμού και του πλάτους ενίσχυσης των εδαφικών σχηματισμών σε όλη την έκταση της λεκάνης δίνοντας την δυνατότητα εκτίμησης της τοπικής γεωλογίας στη σεισμική κίνηση.

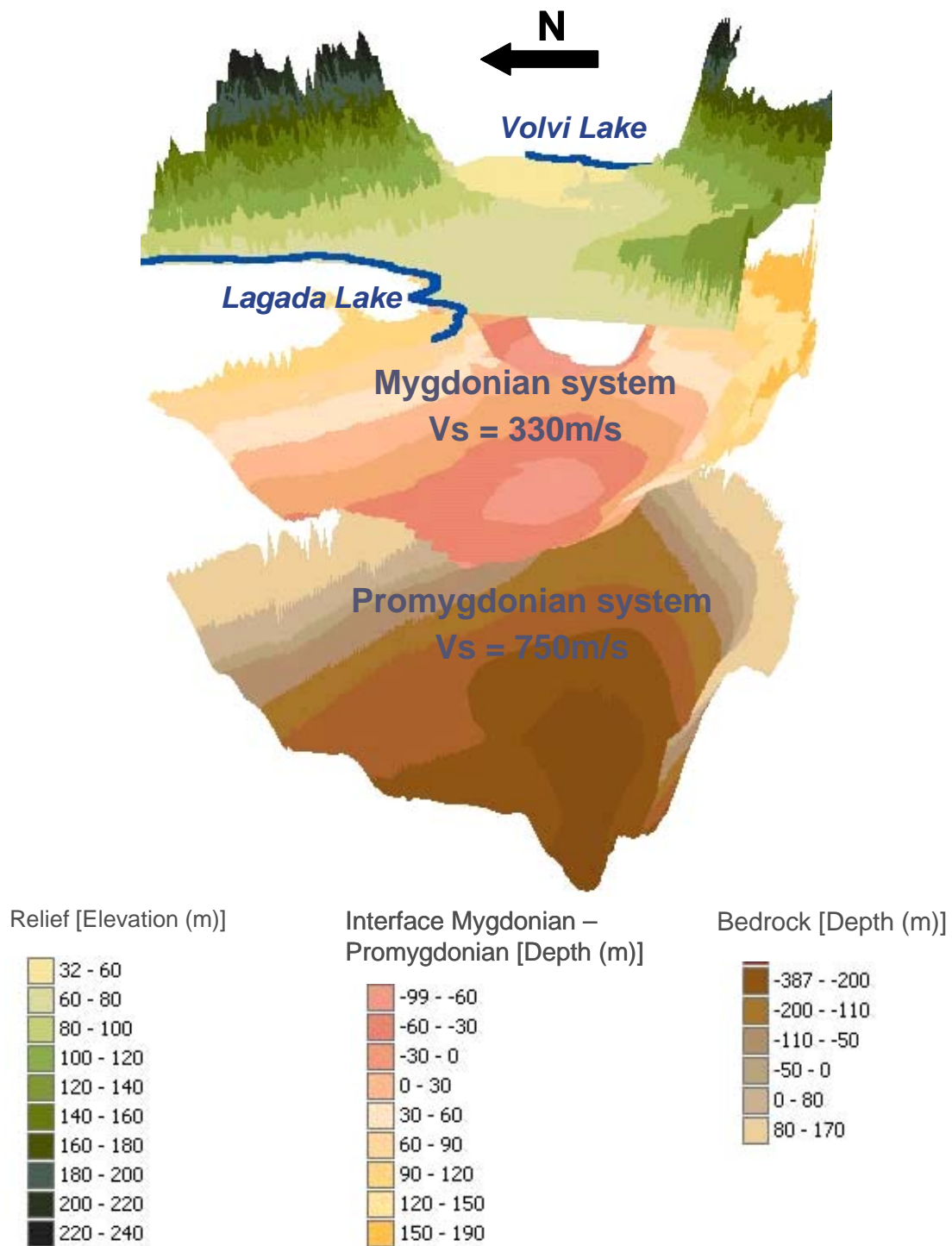
6. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οι μετρήσεις πεδίου πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού Ερευνητικού Προγράμματος Euroseisrisk (EVG1-CT-2001-00040) και του Ερευνητικού Προγράμματος X-Soils (χρηματοδοτούμενο από τη ΓΓΕΤ με κωδικό Δ.Π. 23). Ειδικά οι μετρήσεις ηλεκτρικής βυθοσκόπησης και τομογραφίας έγιναν από το Εργαστήριο Γεωφυσικής του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. για λογαριασμό του Εργαστηρίου Εδαφομηχανικής, Θεμελιώσεων και Γεωτεχνικής Σεισμικής Μηχανικής του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ. στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού Προγράμματος Euroseisrisk.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Anastasiadis, An. (2005). "Interpretation of CPT tests, Soil Classification and Liquefaction Risk Assessment", Technical Report.
- B.R.G.M. (1971). "Etude Hydrogeologique du Basin de Mygdonia", O.A.E.S (in French).
- Chávez-García, F.J., Raptakis, D., Makra, K., Pitilakis, K. (2000). "Site effects at Euroseisrisk — II. Results from 2D numerical modeling and comparison with observations", Soil Dyn. Earthq. Engrg. Vol. 19, 23-39.
- 1st year Euroseisrisk Report (2002). "Seismic Hazard Assessment, Site Effects and Soil Structure Interaction Studies In An Instrumented Basin".
- IGME (2001). "Inventory – recording of water boreholes in the graben of Koronia, Thessaloniki". (Project coordinator: I. Mylopoulos, editors: Veranis and Katirgioglou). Geophysical surface survey in the graben of Koronia, Thessaloniki. (Project coordinator: I. Mylopoulos, editor:

- Atzemoglou et al). Reports of the project entitled "Investigation of the exploitation possibilities of the deepest water table in the graben of Koronia, Thessaloniki", Water Supply Company of Thessaloniki (in Greek).
- Μάκρας, Κ. (2000). "Συμβολή στην εκτίμηση της σεισμικής απόκρισης σύνθετης εδαφικής δομής (Λεκάνη EUROSEISTEST) με ανόργανες και θεωρητικές προσεγγίσεις". Διδ. Διατρ. Τμ. Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (Ελληνικά).
- Makra, K., Raptakis, D., Chávez-García, F.J., Pitilakis, K. (2001). "Site effects and design provisions: the case of Euroseistest", PAGEOPH 158, 2349-2367.
- Makra, K., Raptakis, D., Chávez-García, F.J., Pitilakis, K. (2005). "Parametric analysis of the seismic response of a 2D sedimentary valley: Implications for code implementations of site effects". Soil Dyn. Earthq. Engrg. Vol. 25, pp. 303 -315.
- Μανάκου, Μ., Αποστολίδης, Π., Ραπτάκης, Δ., Πιτιλάκης, Κ. (2005). "Προσδιορισμός της ταχύτητας των διατμητικών κυμάτων Vs με τη χρήση μικροθορύβου στη Μυγδονία λεκάνη". 5^ο Παν. Συνέδριο Γεωτεχνικής & Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής.
- Μανάκου, Μ. (2005-2006, σε εξέλιξη). "Συμβολή στην εκτίμηση της τρισδιάστατης γεωμετρίας και των δυναμικών ιδιοτήτων των γεωυλικών της Μυγδονίας λεκάνης". Διδ. Διατρ. Τμ. Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (Ελληνικά).
- Pitilakis, K., D. Raptakis, K. Lontzetidis, Th. Tika-Vassilikou & D. Jongmans, 1999. "Geotechnical & Geophysical description of EURO-SEISTEST, using field, laboratory tests and moderate strong-motion recordings". Journal of Earthquake Engineering, Vol. 3 (3), pp. 381-409.
- Ραπτάκης, Δ. (1995). "Συμβολή τον προσδιορισμό της γεωμετρίας και των δυναμικών ιδιοτήτων των εδαφικών σχηματισμών και στη σεισμική απόκρισή τους". Διδ. Διατρ. Τμ. Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (Ελληνικά).
- Raptakis, D., Lontzetidis, K., Pitilakis, K. (1996). "Surface Waves Inversion Method: A Reliable Method for the In Situ Measurements of Shear Wave Velocity". Proc. 4eme Colloque Nationale de Genie Parasismique et Aspects Vibratoires dans le Genie Civil, Vol. I, pp. 160-169, A.F.P.S, Paris, France.
- Raptakis, D., Theodulidis, N., Pitilakis, K. (1998). "Data analysis of the EURO-SEISTEST strong motion array in Volvi (Greece): Standard and horizontal to vertical spectral ratio techniques". Earthq. Spectra, Vol.14, pp. 203-224.
- Raptakis, D., Chávez-García, F.J., Makra, K., Pitilakis, K. (2000). "Site effects at Euroseistest — I. Determination of the valley structure and confrontation of observations with 1D analysis", Soil Dyn. Earthq. Engrg. Vol. 19, pp. 1-22.
- Raptakis, D., Manakou, M., Chávez-García, F.J., Makra, K., Pitilakis, K. (2005). "3D configuration of Mygdonian basin and preliminary estimate of its site response". Soil Dyn. Earthq. Engrg., Vol. 25, pp. 871-887.



Σχήμα 10. Το αρχικό τρισδιάστατο μοντέλο της Μυγδονίας λεκάνης.
Figure 10. 3D preliminary model of Mygdonian basin.