

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.

ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο σεισμικός θόρυβος ανάλογα με την περίοδο της εδαφικής κίνησης διακρίνεται σε μικροδονήσεις (microtremors) για μικρής περιόδου σεισμικό θόρυβο και σε μικροσεισμούς (microseisms) για περιόδους μεγαλύτερες από 2 sec. Η καταγραφή του εδαφικού θορύβου που προέρχεται από σχετικά μακρινές πηγές και όχι τοπικές ισχυρές πηγές κοντά στο σταθμό και μικροσεισμών, περιέχει την πληροφορία της αλληλεπίδρασής τους με τα επιφανειακά στρώματα η οποία απομονώνεται με κατάλληλες τεχνικές.

Πρώτος ο Omori (1908) μελέτησε την φύση του προβλήματος των μικροσεισμών. Αργότερα οι Ewing et al. (1957) θεώρησαν ότι είναι απαραίτητη για την κατανόηση των μικροσεισμών και την χρησιμοποίησή τους στα πλαίσια της Τεχνικής Σεισμολογίας για τον αντισεισμικό σχεδιασμό και προστασία, η γνώση των παρακάτω :

- α) η φύση της πηγής,
- β) ο μηχανισμός διάδοσης σε υποθαλάσσιες δομές,
- γ) το αποτέλεσμα στα ηπειρωτικά όρια και
- δ) οι ιδιότητες του δρόμου διάδοσης στις ηπειρωτικές δομές.

Έρευνα έχει γίνει τόσο πάνω στη φύση της κίνησης, όσο και στη δυνατότητα εφαρμογής του εδαφικού θορύβου για την εκτίμηση της απόκρισης των διαφορετικών γεωλογικών σχηματισμών πάνω από τους οποίους βρίσκονται οι σταθμοί μελέτης. Σε ό,τι αφορά τη φύση των μικροσεισμών είναι γνωστό ότι οφείλονται είτε σε ατμοσφαιρικές διαταραχές πάνω από τις θάλασσες είτε σε μακρινή ανθρώπινη δραστηριότητα. Τα επιφανειακά στρώματα είναι συνήθως εκτεθειμένα στο θόρυβο που οφείλεται σε φυσικές

(καταιγίδα, θαλάσσια κύματα) και τεχνητές δυνάμεις (βλάστηση, αυτοκίνητα, τρένα κλπ.). Τα θαλάσσια κύματα επάγουν θόρυβο σχετικά μεγάλης περιόδου (2-3 sec ή και περισσότερο), δηλαδή μικροσεισμούς (microseisms), ενώ η καταιγίδα και οι τεχνητές δυνάμεις προκαλούν θόρυβο μικρής περιόδου, τον αποκαλούμενο microtremor.

Οι μελέτες των Aki (1957), Omote et al. (1973), Irikura and Kawanaka (1980), Sato et al. (1981), Hough et al. (1992) για εδαφικό θόρυβο μικρής περιόδου (microtremors), έδειξαν ότι αυτός αποτελείται από κύματα Rayleigh που διεγείρονται τοπικά από κυκλοφοριακές διαταραχές κοντά στα όργανα καταγραφής. Η χρησιμοποίηση του εδαφικού θορύβου μεγάλης περιόδου (microseisms) στην εκτίμηση της απόκρισης των διάφορων επιφανειακών γεωλογικών σχηματισμών σε μελλοντικό σεισμό, εξετάστηκε αρχικά από τους Sakajiri (1982), Horike (1985), Ohta et al. (1978), Kagami et al. (1982, 1986), οι οποίοι κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ο φασματικός λόγος μιας περιοχής σε μαλακό έδαφος σε σχέση με μια πετρώδη περιοχή εξαρτάται άμεσα από το πάχος των ιζημάτων. Ωστόσο, παραδέχονται ότι ενώ η προσέγγιση αυτή είναι χρήσιμη για μια γενική ταξινόμηση των συνθηκών της περιοχής, δεν μπορεί να δώσει μια ακριβή εκτίμηση του παράγοντα ενίσχυσης εξαιτίας της άγνωστης επίδρασης της πηγής.

Ο Kanai και οι συνεργάτες του [Kanai and Tanaka (1954,1961), Kanai (1983), Kobayashi et al. (1986)] υπέδειξαν ότι είναι πιθανή η εκτίμηση της δεσπόζουσας περιόδου και του επιπέδου ενίσχυσης των χαλαρών ιζημάτων μετρώντας κατευθείαν τη δεσπόζουσα περίοδο και το μέγιστο πλάτος των microtremors. Αυτή η προσέγγιση με κάποιες αλλαγές χρησιμοποιήθηκε από τους Kanai and Tanaka (1954,1961), Kobayashi et al. (1986), Lermo et al. (1988), Field et al. (1990) και Finn (1991). Η δυσκολία που συναντούν είναι στο διαχωρισμό της επίδρασης της πηγής του θορύβου και της τοπικής γεωλογίας. Στην πραγματικότητα, όσο μικρότερη είναι η περίοδος του εδαφικού θορύβου τόσο πιο ισχυρή είναι η εξάρτησή του από τις πολύ κοντινές πηγές που τον προκαλούν, δυσκολεύοντας έτσι την εξήγηση των μεταβολών του από περιοχή σε περιοχή.

Η κατάσταση άλλαξε δραστικά στις αρχές της δεκαετίας του ενενήντα μετά τη δημοσίευση πολλών μελετών που ασχολήθηκαν με την δυνατότητα της

Η/Υ τεχνικής να παρέχει ικανοποιητικά αποτελέσματα για την εκτίμηση της απόκρισης χαλαρών εδαφικών αποθέσεων σε περίπτωση σεισμού. Σ' αυτή την ανάπτυξη και διάδοση της συγκεκριμένης τεχνικής, σημαντικό ρόλο έπαιξε η τεχνολογική εξέλιξη των σειсмоγράφων τόσο σε δυναμική απόκριση όσο και σε ευαισθησία.

Λαμβάνοντας υπόψη τόσο τη μεγάλη έμφαση που δόθηκε στις τοπικές επιδράσεις και στις μικροζωνικές μελέτες μετά τους καταστροφικούς σεισμούς στο Mexico (1985), Spitak (1988), Loma Prieta (1989), Kobé (1995), όσο και τον περιορισμένο αριθμό διαθέσιμων δεδομένων για τέτοιες μελέτες, σε αναπτυσσόμενες χώρες όπως επίσης και σε χώρες χαμηλής σεισμικότητας, αυτή η χαμηλού κόστους τεχνική προσέλκυσε πολλούς ερευνητές.

Το 1989 ο Nakamura ξαναέφερε στο φως τη συγκεκριμένη ιδέα χρησιμοποιώντας ψηφιακά δεδομένα. Πρώτοι οι Field και Jacob (1993) και αργότερα οι Lachet και Bard (1994) έδωσαν θεωρητική υποστήριξη προσπαθώντας να υπολογίσουν τη θεωρητική απόκριση οριζόντιων εδαφικών σχηματισμών, εξομοιώνοντας τον εδαφικό θόρυβο με τυχαία κατανομή (σε χώρο και διεύθυνση) σημειακών πηγών έχοντας διαφορετικές συναρτήσεις πηγής. Βρέθηκε ότι το φάσμα των οριζόντιων συνιστωσών του εδαφικού θορύβου περιέχει την βασική συχνότητα συντονισμού της εδαφικής στήλης. Στη συνέχεια τα αποτελέσματα αυτά επιβεβαιώθηκαν από πλήθος δημοσιεύσεις πειραματικών αποτελεσμάτων (πχ. Field et.al. 1990, 1992,1993, Field and Jacob 1994,1995, Ohmachi 1991, Lachet et.al. 1994, Lermo et.al. 1992, Mucciarelli. and Monachesi, 1998, Fah et.al. 1997, Bindi et.al. 2000 κλπ.)

Παρά τα προβλήματα που σχετίζονται με τα παραπάνω, οι μετρήσεις του εδαφικού θορύβου παρέχουν μια πολύ ενδιαφέρουσα προσέγγιση της εκτίμησης των εδαφικών επιδράσεων, λόγω του χαμηλού κόστους, της ταχύτητας με την οποία εκτελούνται οι εργασίες στην ύπαιθρο καθώς και της απλότητας ανάλυσης των δεδομένων.

Τεχνική του φασματικού λόγου οριζόντιας προς κατακόρυφης συνιστώσας ή μέθοδος Nakamura (HVSR- Horizontal to Vertical Spectral Ratio)

Μια σχετικά πρόσφατη τεχνική για την εκτίμηση των τοπικών εδαφικών επιδράσεων, στην οποία δεν απαιτείται σταθμός αναφοράς, είναι αυτή του φασματικού λόγου της οριζόντιας προς την κατακόρυφη συνιστώσα (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR). Η τεχνική αυτή βασίζεται στην υπόθεση ότι η κατακόρυφη συνιστώσα της κίνησης δεν ενισχύεται σημαντικά στα επιφανειακά στρώματα, με εξαίρεση τα κύματα Rayleigh. Σύμφωνα με τον Nakamura (1989), είναι δυνατό να εκτιμηθεί η επίδραση της πηγής στην ενίσχυση της κίνησης, με τον λόγο

$$ES = EVS / EVB$$

των κατακόρυφων συνιστωσών στις αλλουβιακές αποθέσεις (EVS) και στο βράχο (EVB). Ο λόγος αυτός γίνεται μεγαλύτερος όσο αυξάνεται η επίδραση των κυμάτων Rayleigh. Στην περίπτωση που ο λόγος δεν είναι μονάδα, τότε σύμφωνα με τις παραδοχές του Nakamura η θεώρηση της παραμέτρου είναι περισσότερο αξιόπιστη για τον υπολογισμό της συνάρτησης μεταφοράς. Η συνάρτηση μεταφοράς STT ορίζεται ως ο λόγος του λόγου των οριζοντίων συνιστωσών προς το λόγο των αντίστοιχων κατακόρυφων και είναι :

$$S_{TT} = \frac{S_T}{E_S} = \frac{S_{HS}/S_{HB}}{E_{VS}/E_{VB}} = \frac{S_{HS}}{E_{VS}} \times \frac{E_{VB}}{S_{HB}}$$

Αντίθετα, στο βαθμό που επαληθεύεται η σχέση $SHB/EVB=1$, όταν δηλαδή δεν καταγράφεται ενίσχυση στο βράχο τότε αρκεί ο υπολογισμός της $STT=SHS/EVS$.

Αυτή η τεχνική αρχικά εφαρμόστηκε για τον εδαφικό θόρυβο, (Ochmachi et al. 1991; Field και Jacob, 1993; Lachet και Bard, 1994). Εφαρμόστηκε επίσης σε μελέτες ασθενούς (Lermo και Chavez-Garcia, 1993; Duval, 1994; Field και Jacob, 1994) και σε μερικές περιπτώσεις ισχυρής εδαφικής κίνησης (Lermo και Chavez-Garcia, 1993; Raptakis et al. 1994; Theodulidis και Bard, 1995). Πειραματικές και θεωρητικές μελέτες δείχνουν τη δεσπόζουσα συχνότητα συντονισμού στην περίπτωση απλής γεωλογικής δομής, αλλά στην πλειονότητα των περιπτώσεων η εκτίμηση του απολύτου επιπέδου ενίσχυσης

δεν είναι απλή (Bard, 1995). Μελέτες, όπως των Ohta et al., 1978; Kagami et al., 1982,1986; Celebi et al., 1987; Field et al., 1990 περιγράφουν επιτυχίες της μεθόδου.

Χρησιμοποιώντας λοιπόν καταγραφές εδαφικού θορύβου από ειδικούς ψηφιακούς σειсмоγράφους υψηλής ευκρίνειας (24 bits) και αισθητήρες ευρέως φάσματος (broadband sensors), μπορούμε με κατάλληλη φασματική ανάλυση να διαπιστώσουμε τις συχνότητες συντονισμού και το επίπεδο ενίσχυσης (εμπειρική συνάρτηση μεταφοράς) των εδαφικών σχηματισμών από το υπόβαθρο έως την επιφάνεια. Το επίπεδο ενίσχυσης που υπολογίζεται με τη συγκεκριμένη μεθοδολογία θεωρείται ως το ελάχιστο δυνατό επίπεδο ενίσχυσης συγκεκριμένης συχνοτικής ζώνης.

Επειδή η βασική ιδιοσυχνότητα συντονισμού εξαρτάται βασικά από το βάθος των ιζημάτων έως το υπόβαθρο και την πυκνότητά τους, είναι δυνατή και η εκτίμηση αυτού του βάθους με σφάλμα της τάξης του 10% (Seht και Wohlenberg, 1999). Μετά από αυτή την εργασία έχουν ακολουθήσει δεκάδες άλλες προσπάθειες να χρησιμοποιήσουν την συγκεκριμένη τεχνική και ως μέθοδο «διασκόπησης» κυρίως του αναγλύφου του βραχώδους υποβάθρου.

Απεναντίας, πειράματα και αναλύσεις αποδεικνύουν ότι η μέθοδος δεν είναι σε θέση να προβλέψει ικανοποιητικά τις υψηλότερες ιδιοσυχνότητες εδαφικών σχηματισμών.

Συμπερασματικά, μπορούμε να πούμε ότι η τεχνική «Nakamura», μολονότι δεν έχει ακόμα σαφώς αποδεδειγμένο θεωρητικό υπόβαθρο, αποτελεί παγκοσμίως πλέον μία εμπειρική, φθηνή και απλή μέθοδο για τον προσδιορισμό της θεμελιώδους ιδιοσυχνότητας μαλακών εδαφικών σχηματισμών και μια μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης και για μια πρώτη εκτίμηση του βάθους του βραχώδους υποστρώματος εάν αυτό μπορεί να οριστεί ως το στρώμα που δεν προκαλεί ενίσχυση στη σεισμική κίνηση.

Εφαρμογή της Μεθόδου στις θέσεις καταγραφής

Μετρήσεις εδαφικού θορύβου έλαβαν χώρα πολύ καιρό μετά τον κύριο σεισμό (Σεπτέμβριος-Οκτώβριος 2003) και έγιναν τόσο δίπλα σε θέσεις που είχε καταγραφεί ο κύριος σεισμός, όσο και δίπλα σε επιλεγμένες θέσεις καταγραφής της μετασεισμικής ακολουθίας ούτως ώστε να έχουμε ενδείξεις του ρόλου των τοπικών γεωλογικών συνθηκών στην σεισμική κίνηση ακόμα και σε θέσεις που δεν υπήρχαν γεωτεχνικά αρκετά στοιχεία. Οι θέσεις στις οποίες έγιναν οι μετρήσεις είναι οι εξής:

Σταθμοί Γεωδυναμικού Ινστιτούτου

- Μετρό - Μοναστηράκι (MNSA)
- Μετρό - Σεπόλια (SPLA)

Σταθμοί ΙΤΣΑΚ

- Χαλάνδρι (ATH-2)
- ΚΕΔΕ (ATH-3)
- Αδάμες FARAN – Νέο Κτίριο (FAR)
- Μεταμόρφωση – Δημαρχείο (MET)
- Μενίδι – Δημαρχείο (MND)
- Άνω Λιόσια – Δημαρχείο (ALS)
- Καματερό – Γήπεδο Handball (KAM)
- Θρακομακεδόνες – Μ. Αλεξάνδρου (TRM)

Σταθμοί Πανεπιστημίου Αθηνών

- Αδάμες (ADAM)
- Αδάμες FARAN – Παλαιό Κτίριο (FARA)
- Φυλή (Γήπεδο ποδοσφαίρου) (COUR)
- Θριάσιο – Θέση 3 Πεύκα (PEFK)

Η διεξαγωγή των μετρήσεων καθώς και η επεξεργασία των καταγραφών πραγματοποιήθηκαν από την Εργαστήριο Σεισμολογίας του Πανεπιστημίου Αθηνών. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν μέσω φορητών σειсмоγράφων τύπου REFTEK (130-01) υψηλής δυναμικής απόκρισης και ευκρίνειας (24 bits)

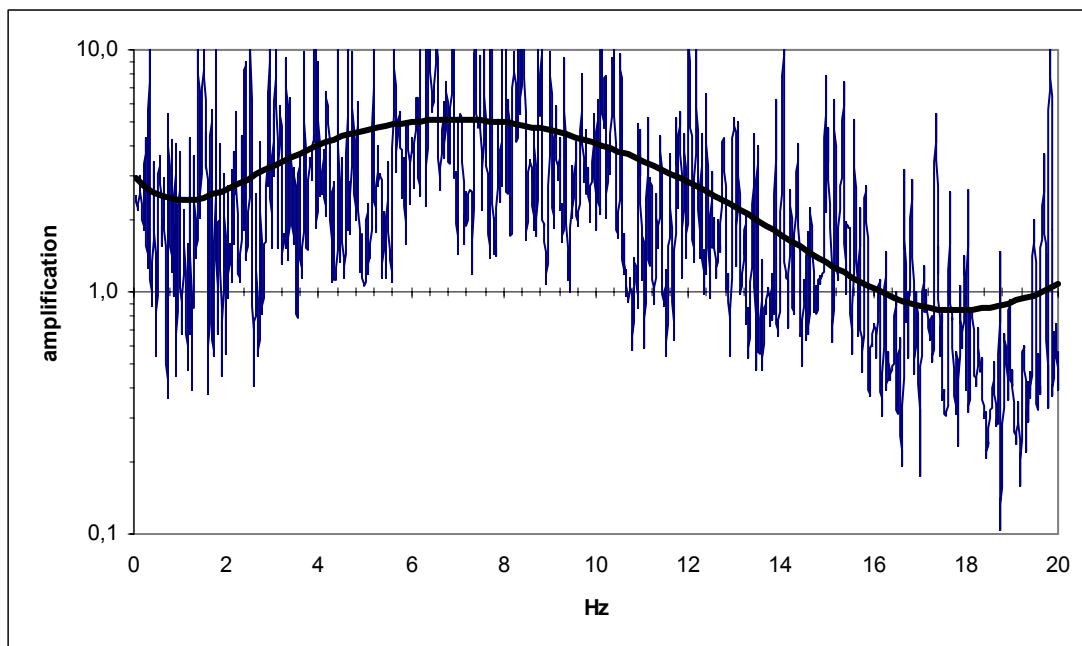
με χρήση αισθητήρα ευρέως φάσματος τύπου Guralp CMG-40T με επίπεδη απόκριση στο συχνοτικό εύρος 60sec-60Hz.

Αφού έγιναν οι απαραίτητες διορθώσεις (sensor response correction, remove mean, remove trend), υπολογίστηκε ο φασματικός λόγος H/V, ο οποίος εξομαλύνθηκε κατάλληλα ώστε να αποδίδεται κατά το δυνατόν η εκτιμώμενη ευκρίνεια της μεθόδου.

Ακολουθούν τα αποτελέσματα των αναλύσεων εδαφικού θορύβου:

Θέση σταθμός Μετρό Μοναστηράκι

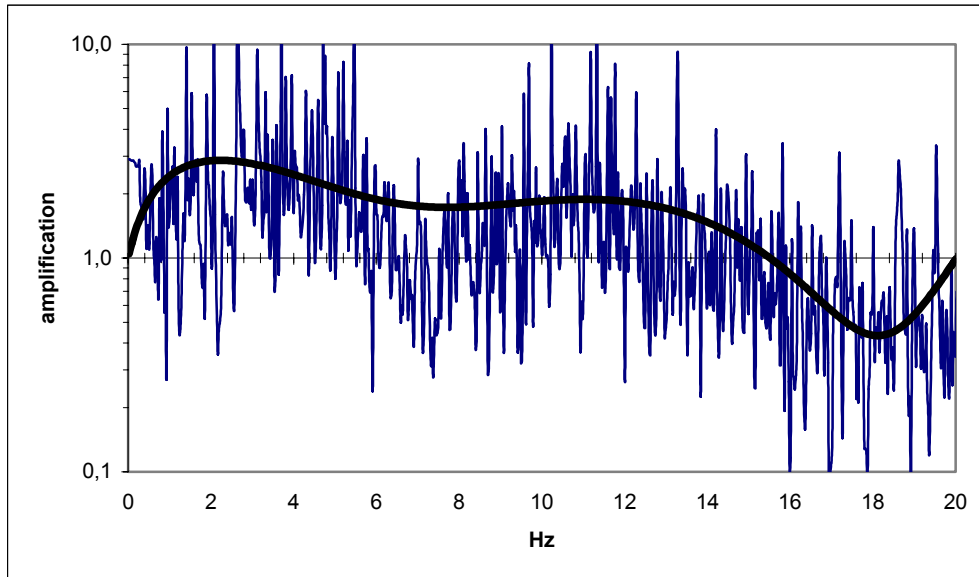
Στο σχήμα 5.1 παρατηρείται ενίσχυση σε σχετικά μεγάλο εύρος συχνοτήτων, χαρακτηριστικό της επιφανειακής γεωλογίας της συγκεκριμένης θέσης που αποτελείται από σιφρές αμμώδεις αργίλους και άκρως αποσαθρωμένους σχιστολιθικούς σχηματισμούς σε βάθος τουλάχιστον 60 m. Μέγιστη ενίσχυση (>5) παρατηρείται για συχνότητες 4 έως 10 Hz.



Σχήμα 5.1. Λόγος H/V εδαφικού θορύβου και η αντίστοιχη καμπύλη τάσης για τη θέση του Μετρό - Μοναστηράκι (MNSA)

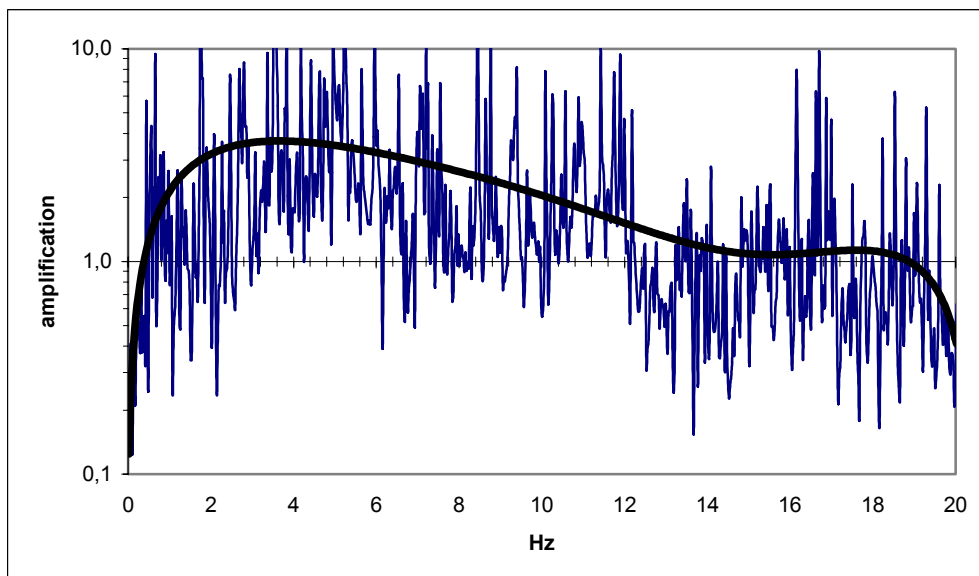
Θέση σταθμός Μετρό Σεπόλια

Στη συγκεκριμένη θέση παρατηρείται (Σχ. 5.2) μία συχνοτική ζώνη ενίσχυσης (~3) γύρω στα 3-4 Hz και μία δεύτερη (~2) στα 11-12 Hz. Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα βρίσκονται σε σχετική συμφωνία με τα αποτελέσματα της ελαστικής μονοδιάστατης καμπύλης εδαφικής ενίσχυσης του σχήματος Παρ. 2 Σχ. 19.



Σχήμα 5.2. Λόγος H/V εδαφικού θορύβου και η αντίστοιχη καμπύλη τάσης για τη θέση του Μετρό - Σεπόλια (SPLA)

Θέση σταθμός Χαλάνδρι

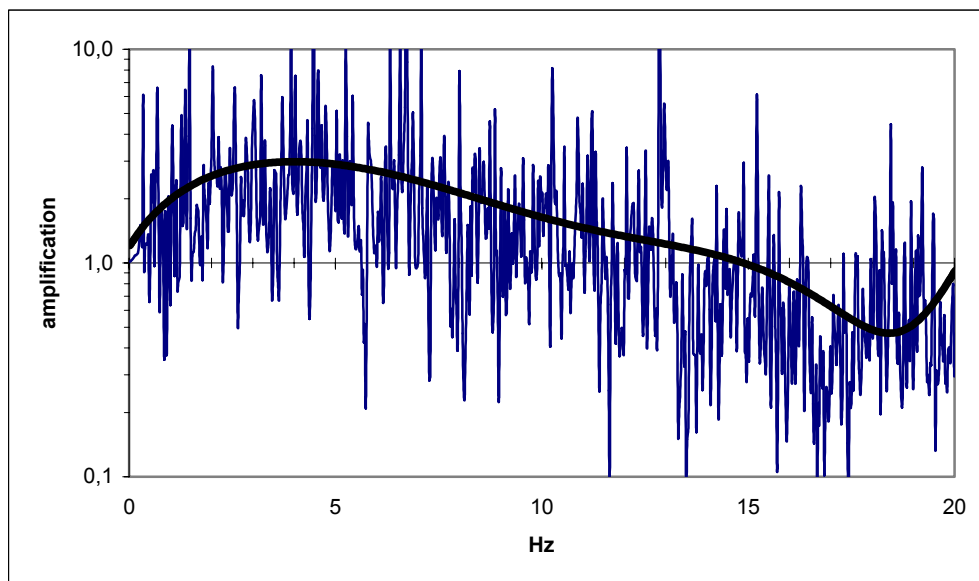


Σχήμα 5.3. Λόγος H/V εδαφικού θορύβου και η αντίστοιχη καμπύλη τάσης για τη θέση του σταθμού στο Χαλάνδρι (ATH-2)

Στη συγκεκριμένη θέση παρατηρείται (Σχ. 5.3) μία συχνотική ζώνη ενίσχυσης (~3) στα 3-6 Hz και μία δεύτερη μικρότερη (~2) γύρω στα 11Hz. Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα δεν συμφωνούν με τα αποτελέσματα της ελαστικής μονοδιάστατης καμπύλης εδαφικής ενίσχυσης του σχήματος Παρ. 2 Σχ. 24.

Θέση σταθμός ΚΕΔΕ

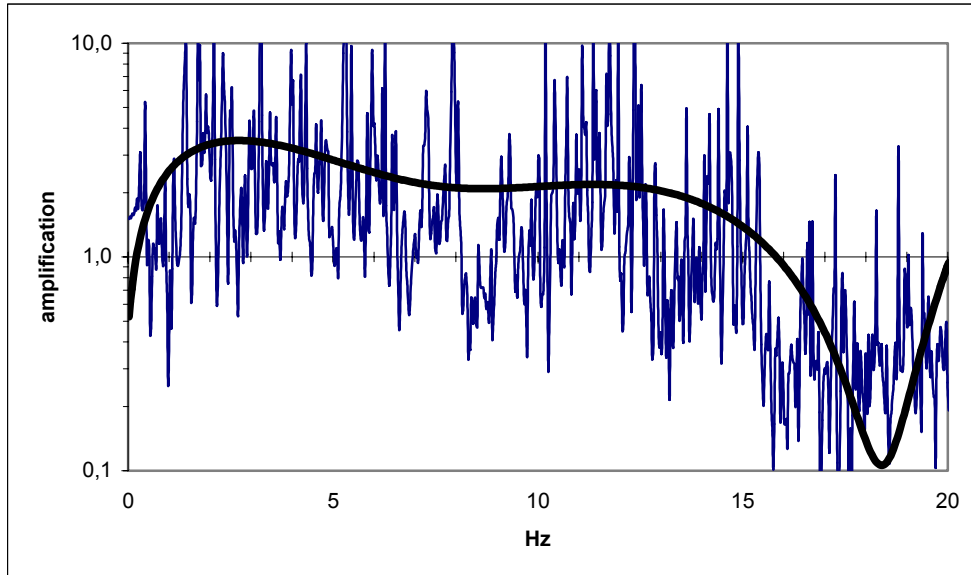
Στη συγκεκριμένη θέση παρατηρείται (Σχ. 5.4) μία συχνотική ζώνη ενίσχυσης (~3) στα 3-5 Hz. Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα διαφέρουν λίγο με τα αποτελέσματα της ελαστικής μονοδιάστατης καμπύλης εδαφικής ενίσχυσης του σχήματος Παρ. 2 Σχ. 25. τα οποία προτείνουν μια ενίσχυση γύρω στα 6-7 Hz.



Σχήμα 5.4. Λόγος H/V εδαφικού θορύβου και η αντίστοιχη καμπύλη τάσης για τη θέση του σταθμού στο ΚΕΔΕ (ΑΤΗ-3)

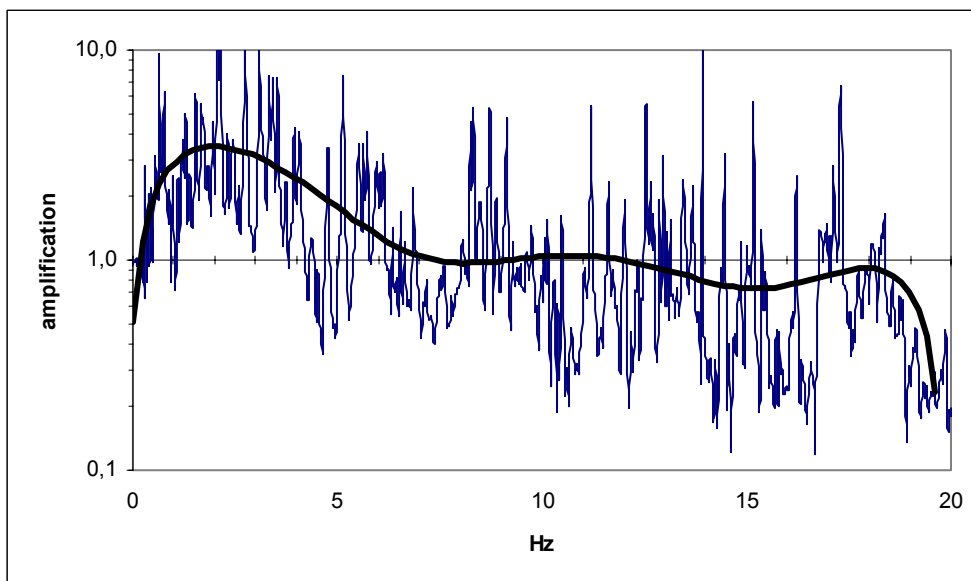
Θέση σταθμός Αδάμες – Νέο κτίριο FARAN

Στη συγκεκριμένη θέση παρατηρείται (Σχ. 5.5) μία συχνοτική ζώνη ενίσχυσης (~3) γύρω στα 2-3 Hz και μία δευτέρα (~2) στα 11-12 Hz.



Σχήμα 5.5. Λόγος H/V εδαφικού θορύβου και η αντίστοιχη καμπύλη τάσης για τη θέση του σταθμού στις Αδάμες FARAN – Νέο Κτίριο (FAR)

Θέση σταθμός Δημαρχείο της Μεταμόρφωσης

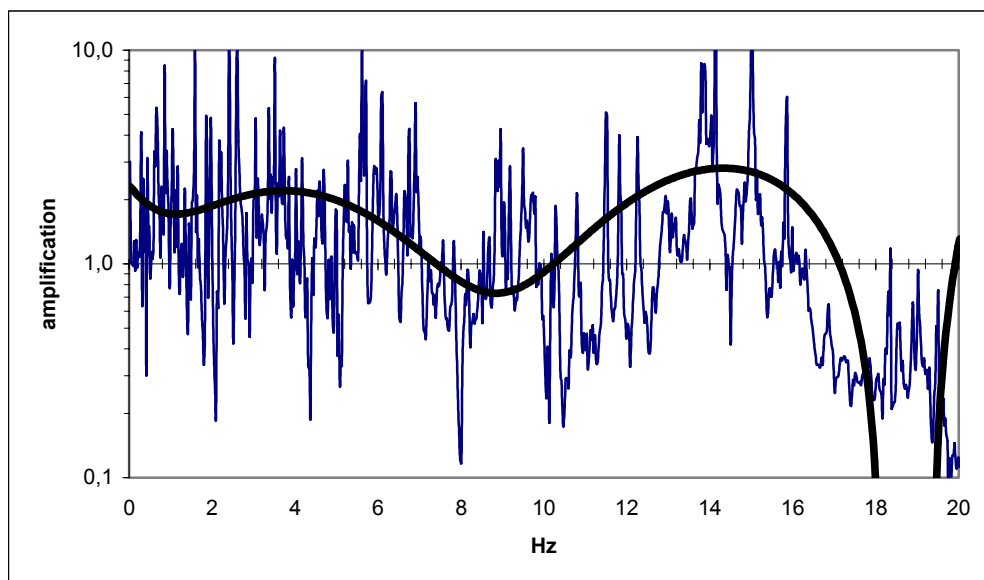


Σχήμα 5.6. Λόγος H/V εδαφικού θορύβου και η αντίστοιχη καμπύλη τάσης για τη θέση του σταθμού στη Μεταμόρφωση – Δημαρχείο (MET)

Στη συγκεκριμένη θέση παρατηρείται (Σχ. 5.6) μία ενίσχυση (~ 3) στη συχνοτική ζώνη στα 2-3 Hz, ενώ δεν παρατηρείται ενίσχυση στις υπόλοιπες συχνότητες. Τα αποτελέσματα της ελαστικής μονοδιάστατης καμπύλης εδαφικής ενίσχυσης του σχήματος Παρ. 2 Σχ. 28. προτείνουν σχεδόν έλλειψη ενίσχυσης στις χαμηλές συχνότητες

Θέση σταθμός Δημαρχείο στο Μενίδι

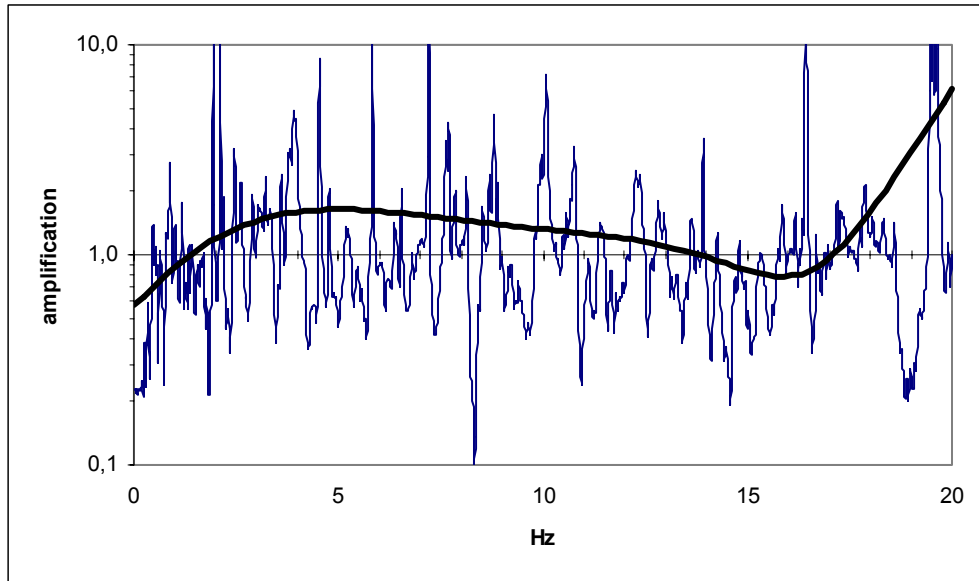
Στη συγκεκριμένη θέση παρατηρείται (Σχ. 5.7) μία πολύ μικρή ενίσχυση (< 2) γύρω από τις συχνότητες 4 και 6 Hz, ενώ πιο έντονη (~ 3) παρουσιάζεται σε υψηλότερες συχνότητες γύρω στα 14-15 Hz. Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα βρίσκονται σε συμφωνία με το βραχύωδες υπόβαθρο της περιοχής.



Σχήμα 5.7. Λόγος H/V εδαφικού θορύβου και η αντίστοιχη καμπύλη τάσης για τη θέση του σταθμού στο Μενίδι – Δημαρχείο (MND)

Θέση σταθμός Δημαρχείο στα Άνω Λιόσια

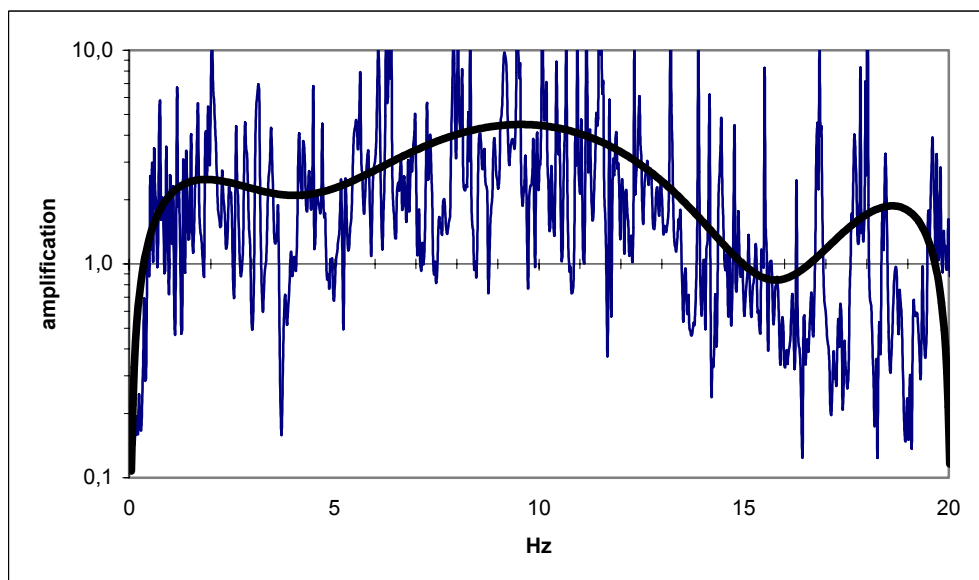
Στη συγκεκριμένη θέση παρατηρείται (Σχ. 5.8) δεν παρατηρείται σημαντική ενίσχυση στις χαμηλές συχνότητες. Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα δεν συμφωνούν με τα αποτελέσματα της ελαστικής μονοδιάστατης καμπύλης εδαφικής ενίσχυσης του σχήματος Παρ. 2 Σχ. 29.



Σχήμα 5.8. Λόγος H/V εδαφικού θορύβου και η αντίστοιχη καμπύλη τάσης για τη θέση του σταθμού στο Δημαρχείο των Άνω Λιοσίων (ALS)

Θέση σταθμός Καματερό

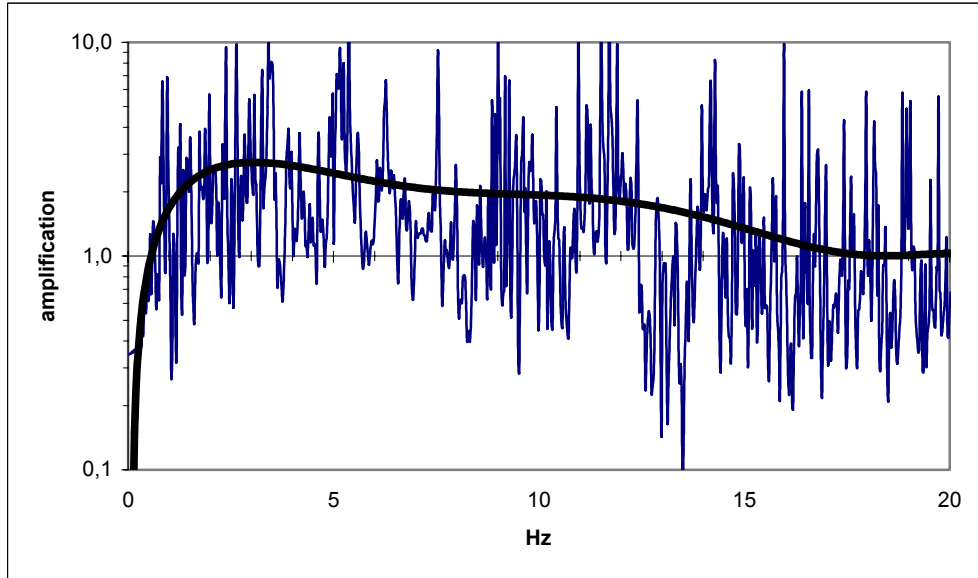
Στη συγκεκριμένη θέση παρατηρείται (Σχ. 5.9) μία συχνοτική ζώνη ενίσχυσης (~4) γύρω στα 9-10 Hz. Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα δεν συμφωνούν με τα αποτελέσματα της ελαστικής μονοδιάστατης καμπύλης εδαφικής ενίσχυσης του σχήματος Παρ. 2 Σχ. 31.



Σχήμα 5.9. Λόγος H/V εδαφικού θορύβου και η αντίστοιχη καμπύλη τάσης για τη θέση του σταθμού στο Καματερό – Γήπεδο Handball (KAM).

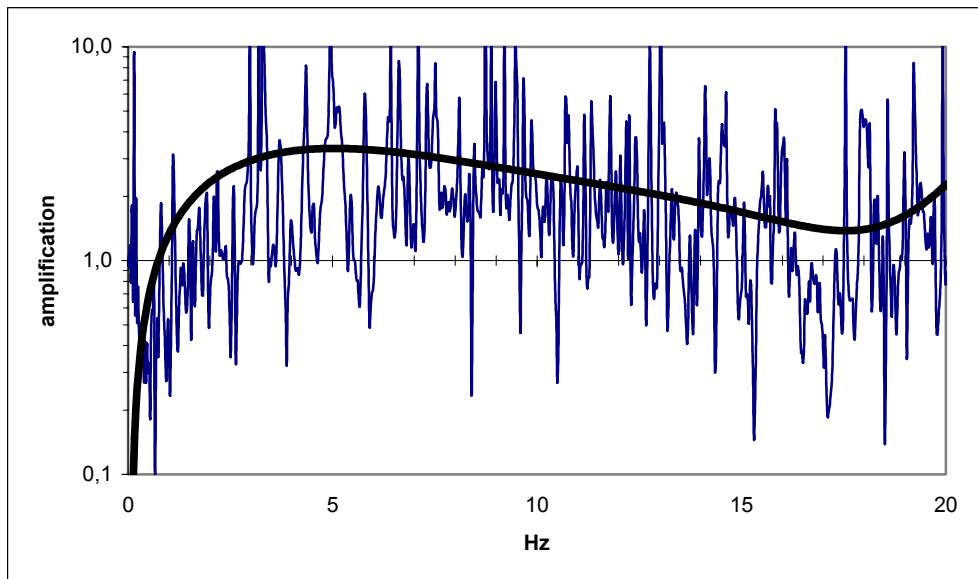
Θέση σταθμός στους Θρακομακεδόνες

Στη συγκεκριμένη θέση παρατηρείται (Σχ. 5.10) μία πολύ μικρή ενίσχυση (~ 2) γύρω από τις συχνότητες 4 και 6 Hz, και μια ακόμα μικρότερη ($\sim 1,5$) παρουσιάζεται σε ψηλότερες συχνότητες γύρω στα 12 Hz. Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα βρίσκονται σε συμφωνία με το βραχώδες υπόβαθρο της περιοχής.



Σχήμα 5.10. Λόγος H/V εδαφικού θορύβου και η αντίστοιχη καμπύλη τάσης για τη θέση του σταθμού στους Θρακομακεδόνες – Μ. Αλεξάνδρου (TRM).

Θέση σταθμός στις Αδάμες – Παλαιό κτίριο FARAN

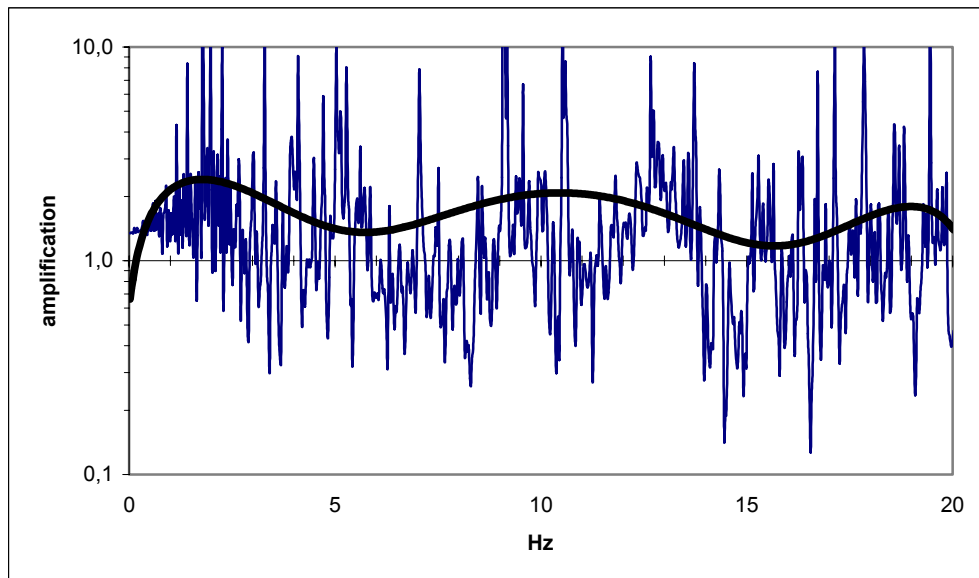


Σχήμα 5.11. Λόγος H/V εδαφικού θορύβου και η αντίστοιχη καμπύλη τάσης για τη θέση του σταθμού στις Αδάμες FARAN – Παλαιό Κτίριο (FARA)

Στη συγκεκριμένη θέση παρατηρείται (Σχ. 5.11) μία ενίσχυση (~ 3) γύρω από μία σχετικά ευρεία ζώνη συχνοτήτων ανάμεσα στα 4 έως τα 10Hz. Αξίζει να σημειωθεί ότι αν και τα δύο κτίρια της FARAN (παλαιό και νέο) βρίσκονται κοντά το ένα με το άλλο, η φασματική ανάλυση εδαφικού θορύβου δείχνουν σημαντικές διαφορές (βλ. Σχ. 5.5) όσο αφορά την ενίσχυση της σεισμικής κίνησης.

Θέση σταθμός στο Γήπεδο ποδοσφαίρου στη Φυλή

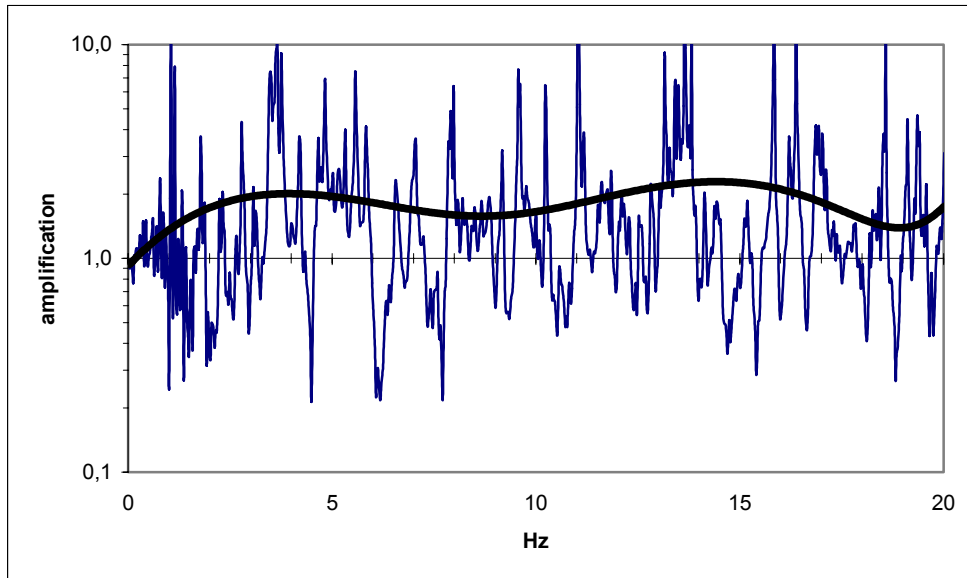
Στη συγκεκριμένη θέση παρατηρούνται (Σχ. 5.12) πολύ μικρές ενισχύσεις (< 2) σε όλο το συχνοτικό εύρος ενδιαφέροντος. Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα βρίσκονται σε συμφωνία με το βραχώδες υπόβαθρο της περιοχής.



Σχήμα 5.12. Λόγος H/V εδαφικού θορύβου και η αντίστοιχη καμπύλη τάσης για τη θέση του σταθμού της Φυλής (Γήπεδο ποδοσφαίρου) (COUR)

Θέση σταθμός στο Θριάσιο – Θέση 3 Πεύκα

Στη συγκεκριμένη θέση παρατηρούνται (Σχ. 5.13) μικρές ενισχύσεις (~ 2) στις συχνοτικές περιοχές γύρω από τα 4 και τα 13-14 Hz.



Σχήμα 5.13. Λόγος H/V εδαφικού θορύβου και η αντίστοιχη καμπύλη τάσης για τη θέση του σταθμού στο Θριάσιο – Θέση 3 Πεύκα (PEFK)

Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας του εδαφικού θορύβου, δείχνουν για μία ακόμη φορά ότι:

- δρουν συμπληρωματικά με τη γεωτεχνική προσέγγιση, ιδιαίτερα όταν στις θέσεις ενδιαφέροντος δεν υπάρχουν δεδομένα γεωτρήσεων που να φτάνουν έως το βραχώδες υπόβαθρο
- διαφέρουν σε αρκετές περιπτώσεις με τις αντίστοιχες ελαστικές μονοδιάστατες αναλύσεις εδαφικής απόκρισης, ιδιαίτερα σε θέσεις που τα γεωτεχνικά στοιχεία προέρχονται από γεωτρήσεις που δεν έγιναν ακριβώς δίπλα στη θέση ενδιαφέροντος.
- μας δίνουν μία εικόνα των συχνοτικών ζωνών επίδρασης των επιφανειακών γεωλογικών συνθηκών στη σεισμική κίνηση η οποία προφανώς ισχύει για ελαστικές παραμορφώσεις.
- Τα πλάτη ενίσχυσης μπορούν να χαρακτηριστούν μόνο ως ενδεικτικά γιατί δεν είναι δυνατό να αποδώσουν κατά περίπτωση μη γραμμικές διαδικασίες σε περίπτωση ισχυρού σεισμού.
- Οι ενδείξεις πλατών ενίσχυσης υποδεικνύουν ότι στις θέσεις Μοναστηράκι, Αδάμες, Χαλάνδρι, Καματερό, ΚΕΔΕ, Σεπόλια, Μεταμόρφωση και Μενίδι, η επιφανειακή γεωλογική δομή επέδρασε αρκετά στη διαμόρφωση της τελικής σεισμικής κίνησης, ενώ στις θέσεις Άνω Λιόσια, Θρακομακεδόνες, Φυλή και Θριάσιο φαίνεται ότι η επίδραση ήταν μικρότερη ή και αμελητέα.

Βιβλιογραφία

- Bard, P.Y. (1998), "Microtremor Measurements: A Tool For Site Effect Estimation?", Manuscript for *Proc. of 2nd International Symposium of the Effect of Surface Geology on Seismic Motion*, Yokohama, Japan, 1-3 Dec, 1998.
- Fäh, D., Ruttener, T., Noack, T. and Kruspan, P. (1997), "Microzonation of the City of Basel", *Journal of Seismology* 1: pp.87-102.
- Bindi, D., Parolai, S., Spallarossa, D. and Cattaneo M., 2000. Site effects by H/V ratio: Comparison of two different procedures. *Jour. of Earth. Engin.* Vol. 4, No 1(2000) 97-113
- Diagourtas, D., Tzanis, E-A. and Makropoulos, K., 2001. Comparative study of microtremor analysis methods. *Pure appl. geophys.*, 158, 2463-2479.
- Field, E.H., Hough, S.E. and Jacob, K.H. (1990), "Using Microtremors to Assess Potential Earthquake Site Response: A Case Study in Flusing Meadows, New York City", *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 80, No. 6, pp. 1456-1480.
- Field, E.H., Jacob, K.H. and Hough, S.E. (1992), "Earthquake Site Response Estimation: A Weak-Motion Case Study", *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 82, No. 6, pp.2283-2307.
- Field, E.H. and Jacob, K.H. (1993), "The Theoretical Response of Sedimentary Layers to Ambient Seismic Noise", *Geophys. Res. Let.*, 20, 2925-2928.
- Field, E.H., Jacob, K.H., (1994), "A comparison and test of various site response estimation techniques, including three that are non reference-site dependent". *BSSA*, Vol. 85, pp. 1127-1143, June 1994.
- Field, E.H. and Jacob, K.H. (1995), " A Comparison and Test of Various Site Response Estimation Techniques, Including Three That Are Not Reference Site Dependent", *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 85, No.4, 1127-1143.
- Lachet, C. and Bard, P.Y (1994), "Numerical and Theoretical Investigations on the Possibilities and Limitations of Nakamura's Technique", *J. Phys. Earth*, 42, 377-397.
- Lachet, C., Theodulidis, N., Bard, Y. and Bouchon, M. (1994), "Horizontal to vertical spectral ratio and geological conditions", *Proc. 10th Europ. Conf. Earth Eng.* Vienna.
- Lermo, J., Francisco, S. and Chavez-Garcia, J. (1992), "Site Effect Evaluation using microtremors: a review (abstract)", *EOS* 73, 352.
- Lermo, J., Francisco, S. and Chavez-Garcia, J. (1994), "Are Microtremors Useful in Site Response Evaluation?", *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 84, No. 5, pp. 1350-1364.
- Makropoulos, K., Diagourtas, D., Voulgaris, N. and Drakopoulos, J. (1996), "A Study of Site Effects on Strong Motion Records Obtained From Local Network Around Gulf of Corinth, (Central Greece)", *Earthquake Hazard and Risk*, pp. 241-252.

Mucciarelli, M. and Monachesi, G., 1998. A quick survey of local amplifications and their correlation with damage observed during the Umbro-Marchesan (Italy) earthquake of September 26, 1997. *Jour. of Earth. Engin.* Vol. 2, No 2(1998) 325-337

Nakamura, Y. and Saito, A. (1983), "Estimations of Seismic Response Characteristics and Maximum Acceleration of Surface Ground using Strong Motion Records (in Japanese)", *Proc. 17th JSCE Earthquake Eng. Symposium*, 25-28.

Nakamura, Y. (1989), "A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface", *Quarterly Report of Railway Technical Research Institute (RTRI)*, Vol. 30, No.1.

Nakamura, Y. and Samizo, M. (1989), "Site Effect Evaluation of Surface Ground using Strong Motion Records (in Japanese)", *Proc. 20th JSCE Earthquake Eng. Symposium*, 133-136.

Nakamura Y. and Takizawa, T. (1990), "Evaluation of Liquefaction of Surface Ground using Microtremor (in Japanese)", *Proc. 45th Annual Meeting of JSCE*, I-519, 1068-1069.

Nakamura, Y. (1996), "Real Time Information Systems for Seismic Hazards Mitigation UREDAS, HERAS and PIC", *Quarterly Report of RTRI*, Vol.37, No.3, 112-127.

Nakamura, Y. (1997), "Seismic Vulnerability Indices For Ground and Structures Using Microtremor", *World Congress on Railway Research in Florence, Italy*, November 1997.

Nakamura, Y., Gurler, E.D. and Saita, J. (1999), "Dynamic Characteristics of Leaning Tower of Pisa Using Microtremor-Preliminary Result", *Proc. 25th JSCE Earthquake Eng. Symposium*, Vol. 2, 921-924.

Nakamura, Y., Gurler, E-D., Saita, J., Rovelli, A., and Donati, S., (2000). Vulnerability investigation of roman Collisseum using microtremor. *Proc. of WCEE 2000*.

Ohmachi, T., Nakamura, Y. and Toshinawa, T. (1991), Ground Motion Characteristics in the San Francisco Bay Area detected by Microtremor Measurements", *Proc. 2nd. Int. Conf. On Recent Adv. In Geot. Earth. Eng. And Soil Dyn.*, 11-15 March, ST. Louis, Missouri: 1643-1648.

Seht, M. and Wohlenberg, J., 1999. Microtremor measurements used to map thickness of soft sediments. *BSSA* Vol. 89, No 1 250-259.