

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

8. ΑΝΩ ΛΙΟΣΙΑ : ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΒΛΑΒΩΝ, ΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ και ΑΝΑΤΡΟΠΕΣ ΜΝΗΜΕΙΩΝ, ΕΔΑΦΟΣ

8.1 Σεισμικές Βλάβες : Χαρακτηριστικά, Γεωγραφική Κατανομή

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.7 η πόλη των Ανω Λιουσίων βρίσκεται στην προέκταση του σεισμογόνου ρήγματος, στην ανατολική του άκρη. Κτισμένη στους πρόποδες της Πάρνηθας καταλαμβάνει έκταση 3 km x 3 km, με πληθυσμό περίπου 50,000. Η προβολή στην επιφάνεια της γής του σεισμογόνου ρήγματος ουσιαστικά εφάπτεται του περιγράμματος της πόλης. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με την αναμενόμενη δυσμενή επίπτωση της *κατευθυντικότητας* (η οποία, όπως ήδη αναφέρθηκε, κατά πάσαν πιθανότητα λειτούργησε καθ' όλες τις ενδείξεις στην διάρρηξη της 7-9-99), εξηγεί την σφοδρότητα του σεισμικού κραδασμού, παρά το σχετικώς μικρό μέγεθος (M_s 5.9) του σεισμού.

Οι εκτεταμένες βλάβες αποτυπώνονται στα αποτελέσματα των δευτεροβαθμίων επιτροπών έλεγχου :

- 1050 "κόκκινα" κτίσματα, ποσοστό 22% του συνόλου
- 3150 "κίτρινα" κτίσματα, ποσοστό 65% του συνόλου
- 620 "πράσινα" κτίσματα , ποσοστό 13% του συνόλου.

Στα "κόκκινα" κτίσματα περιλαμβάνονται αρκετές (περίπου 15) καταρρεύσεις, εκ των οποίων οι 4 προξένησαν ανθρώπινα θύματα. Τα περισσότερα από τα "κόκκινα" κτίσματα ήταν δυόροφες και τριόροφες κατοικίες με σκελετό ωπλισμένου σκυροδέματος (ΩΣ).

Δύο ήσαν οι επικρατέστεροι τύποι δομικών συστημάτων στα Ανω Λιόσια :

- (i) Πολυκατοικίες 2 έως 5 ορόφων, με σκελετό υποστυλωμάτων και δοκών Ω.Σ., χωρίς κατασκευαστικές προβλέψεις για εξασφάλιση πλαισιακής λειτουργίας. Σπάνια χρήση φερόντων τοιχείων ΩΣ. Κατασκευάσθηκαν στην μεγάλη τους πλειονότητα τα τελευταία 30 χρόνια. Ο υπολογισμός τους έγινε ψευδοστατικά, με σεισμικόν συντελεστή στην βάση 0.04, τον ελάχιστο επιτρεπτό κατά τον τότε ισχύοντα αντισεισμικό κανονισμό του 1959. Σημαντική ήταν η ύπαρξη τοιχοπληρώσεων, πάχους ως επί το πλείστον 10 cm. Στα νεότερα και υψηλότερα δομήματα οι τοίχοι αυτοί συχνά απουσίαζαν από τον ισόγειο όροφο ο οποίος χρησιμοποιούνταν ως ημι-υπαίθριο γκαράζ, ή κατάσταση με τζαμαρίες, ή και χώρος αναψυχής. Η προκύπτουσα ασυνέχεια στην κατακόρυφη διεύθυνση, με την αθελήτως προκαλούμενη κατάσταση "*ισχυρής δοκού -- ασθενούς υποστυλώματος*" για τον ισόγειο όροφο (βλ. Φαρδή 2000) αποδείχθηκε καταστροφική: οι περισσότερες σοβαρές βλάβες και ιδίως οι καταρρεύσεις συνοδεύτηκαν (άν δεν προκλήθηκαν) από αστοχία των υποστυλωμάτων του ισογείου.
- (ii) Κατοικίες 1 έως 2 ορόφων με φέρουσα τούβλινη τοιχοποιία, ή μικτόν φορέα από τοιχοποιία σε συνδυασμό με έναν ελάχιστο σκελετό ΩΣ, π.χ. για να παραλάβει τα κατακόρυφα φορτία μιάς μεταγενέστερης προσθήκης. Η ποιότητα τους ήταν ποικίλη, πολλές δε απ' αυτές πρωτοχτίστηκαν ως μονόροφα την δεκαετία του 60 για να επεκταθούν κατά έναν όροφο αργότερα.

Οι βλάβες ήταν μεγάλες και στους δύο τύπους κατασκευών. Η πλειονότητα των καταρρεύσεων και καταστροφικών αστοχιών αφορούσαν κτίρια 2–3 ορόφων.

Σημειώνεται ότι και πολλές πολυόροφες πολυκατοικίες δέν κατασκευάσθηκαν με μιάς. Συνήθως οι δύο πρώτοι όροφοι προηγήθηκαν τουλάχιστον κατά μία δεκαετία. Η προσθήκη δύο ή περισσότερων ορόφων γινόταν τις περισσότερες φορές χωρίς να ελεγχθεί με την δέουσα αυστηρότητα : (α) κατά πόσον τα υποστυλώματα του προϋπάρχοντος δομήματος ήταν σε θέση να παραλάβουν τις πρόσθετες σεισμικές δράσεις που θα προέκυπταν από την ταλάντωση του νέου υπερκειμένου δομήματος, και (β) πώς οι κόμβοι συνδέσεως παλιών και νέων υποστυλωμάτων θα αντιμετώπιζαν την επιβαλλόμενη ένταση και παραμόρφωση. Οι δύο αυτές παραλήψεις συγκαταλέγονται μεταξύ των κυρίων αιτίων πολλών θανατηφόρων καταρρεύσεων του σεισμού [π.χ., κτίρια Φαράν (Αδάμες), Φιαλοπλάστ (Χελιδονού), Δέδε και Δαμάσκου (Μενίδι), Βιζυηνού 25 (Ανω Λιόσια), Στρατηγού Σύρμα & Παναγούλη (Ανω Λιόσια)].

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει η γεωγραφική κατανομή των βλαβών στην πόλη των Ανω Λιοσίων. Πρός τούτο, το Σχήμα 8.1 δίνει σε περιεκτική μορφή τον χάρτη των βλαβών --- αποτέλεσμα επιθεωρήσεων πολλών ομάδων ελέγχου. Είναι προφανής η τελείως ανομοιόμορφη κατανομή της έκτασης των ζημιών. Το ποσοστό των κτιρίων με χαρακτηρισμό "κόκκινο" (που σημαίνει κατάρρευση, ή ανεπανόρθωτη βλάβη, ή σημαντική δομητική βλάβη με ενγένει ασύμφορη επισκευή) κυμαίνεται από σχεδόν μηδενικό στο βορειοδυτικό τμήμα της πόλης σε άνω του 50% στις γειτονιές περί το κέντρο της πόλης, και ξανά σε μηδενικό στο νότιο τμήμα της πόλης (απ' όπου διέρχεται η υπο-κατασκευήν Αττική Οδός).

Αναζητείται ο ρόλος της γεωλογίας και των τοπικών εδαφικών συνθηκών στην διαμόρφωση και διαφοροποίηση της έντασης και του συχνοτικού περιεχομένου του σεισμικού κραδασμού από θέση σε θέση. Διερευνάται κατά πόσον ο ρόλος αυτός είναι αρκετός για να ερμηνευθεί η έκταση και η ανομοιομορφία στην κατανομή των

βλαβών.

8.2 Γεωλογία και Γεωτεχνική Έρευνα

Απλοποιημένος χάρτης της επιφανειακής γεωλογίας της περιοχής δίδεται στο Σχήμα 8.2 [Αντωνίου και Μαρίνος (2001)] . Παρόμοιοι χάρτες δίδονται από τους Κούκη & Σαμπатаκάκη (2001) και σε μεγαλύτερη λεπτομέρεια από τους Λέκκα et al(2000).

Το μεγαλύτερο μέρος των Ανω Λιοσίων εδράζεται σε στιφρά και πυκνά εδάφη τα οποία γεωλογικώς χαρακτηρίζονται ως *κώνοι πλευρικών κορημάτων*. Αποτελούνται από εναλλαγές κροκαλοπαγών, αργίλων, και άμμων. Είναι χαρακτηριστική η ανομοιομορφία των σχηματισμών αυτών : οι μηχανικές τους ιδιότητες κυμαίνονται από αυτές βράχων έως και μετρίως πυκνών (κατά τόπους) εδαφικών σχηματισμών .

Αλλουβιακές αποθέσεις, ενγένη στιφρές και πυκνές, αποτελούμενες κατά τόπους από αργίλους, άμμους, λατύπες και κροκάλες καταλαμβάνουν τμήμα του κέντρου και νοτίου τμήματος της πόλης.

Η όλη περιοχή περιβάλλεται από επιφανειακές εκδηλώσεις βραχώδους υλικού, μαργαϊκής ή ασβεστολιθικής συστάσεως, ποικίλου βαθμού αποσαθρώσεως. Χαρακτηριστικοί είναι οι βραχώδεις λόφοι Προφήτη Ηλία (ανατολικά των Ανω Λιοσίων) στα όρια με τις Αχαρνές, του Ζεφυρίου (νοτιο-Ανατολικά των Ανω Λιοσίων), και της Κορυφής (νοτίως των Ανω Λιοσίων, στα όρια με το Καματερό).

Είναι αμέσως εμφανής η ποιοτική συσχέτιση μεταξύ επιφανειακής γεωλογίας και έκτασης των βλαβών : ουσιαστικά δεν υπήρξαν βλάβες σε επιφανειακή εκδήλωση βράχου ή σε σκληρές και μικρού πάχους αποθέσεις κώνων κορημάτων, ενώ οι μέγιστες βλάβες έλαβαν χώραν κυρίως σε (σκληρές!) αλλουβιακές αποθέσεις.

Για μία πιο εμπειριστατωμένη και ποσοτική ερμηνεία της ανομοιομορφίας των βλαβών και συσχέτισή τους με τις εδαφικές συνθήκες, προϋπόθεση ήταν η γνώση των εδαφικών προφίλ σε διάφορες θέσεις.

Δύο ξεχωριστές γεωτεχνικές δερευνήσεις (η μία από το ΚΕΔΕ για την Επιτροπή Διερευνήσεως των Αιτίων των Καταρρεύσεων με Ανθρώπινα Θύματα [ΕΔΑΚΑΘ], και η άλλη από την Τεχνική Υπηρεσία του Δήμου Ανω Λιοσίων) απέδωσαν ένα πλήθος εδαφικών προφίλ, στα οποία συμπεριλαμβάνονται 18 προφίλ της ταχύτητας V_s του διατμητικού κύματος συναρτήσει του βάθους z (δοκιμές crosshole και downhole).

Δύο χαρακτηριστικά εδαφικά προφίλ, τυπικά των περιοχών 1 και 2 του Σχήματος 8.1, χρησιμοποιούνται εδώ για να επιδειχθεί ο ρόλος του εδάφους στην παρατηρηθείσα γεωγραφική κατανομή των βλαβών. Τα δύο προφίλ $V_s(z)$ δίδονται στα Σχήματα 8.2 και 8.3.

Το Προφίλ 1 βρίσκεται στην περιοχή όπου καταρρεύσεις και σοβαρές βλάβες παρατηρήθηκαν στο 50% περίπου των δομημάτων. Η θέση του είναι πολύ κοντά στο νεκροταφείο Ανω Λιοσίων, στο οποίο η καταστροφή των μνημάτων ήταν σχεδόν βιβλική. Από τις εκατοντάδες αστοχιών (ολισθήσεις, ανατροπές, θραύσεις) επιλέξαμε δύο : μία ανατροπή ενός απλού μνημείου, και μία ολίσθηση με ανασήκωμα και θραύση ενός σύνθετου μνημείου. Στόχος : με την ανάλυση της σεισμικής τους απόκρισης να αποκτήσουμε έμμεση επιβεβαίωση (ποιοτική και ποσοτική) αφενός της ορθότητας της ακολουθουμένης μεθοδολογίας και, αφετέρου των παραγομένων αποτελεσμάτων --- όπερ και το σπουδαιότερον.

Το Προφίλ 2 είναι αντιπροσωπευτικό της περιοχής με ελάχιστες σοβαρές βλάβες στο βόρειο τμήμα της πόλης --- το οποίο σημειωθήτω βρίσκεται σε απόσταση $0 \leq R < 1$ km από την προβολή στην επιφάνεια του σεισμογόνου ρήγματος, πλησιέστερα δηλαδή από κάθε άλλη περιοχή της πόλης (θυμίζουμε το Σχήμα 2.7).

Εκ πρώτης όψεως τα δύο προφίλ φαίνεται να είναι εξίσου δύσκαμπτα . Καί τα δύο περιλαμβάνουν στιφρές έως σκληρές αμμοχαλικο-αργιλώδεις στρώσεις, με τιμές V_s που θα τα κατέτασσαν στην ίδια και απaráλλακτη κατηγορία εδάφους καθ' όλους τους γνωστούς αντισεισμικούς κανονισμούς :

- κατά ΕΑΚ (2000) : αμφότερα κατηγορίας Α (στρώσεις σκληρής αργίλου, ή πυκνού αμμοχαλίκου, ή υλικού μέσης μεν πυκνότητας αλλά πάχους μικροτέρου των 5 m)
- κατά NEHRP (1997) : αμφότερα κατηγορίας C (πολύ πυκνό / σκληρό υλικό με ταχύτητα $360 < V_{s,30} < 760$ m/s --- διότι για τα Προφίλ 1 και 2 : $V_{s,30} = 600$ m/s και 720 m/s, αντιστοίχως)
- κατά EC8 (Draft 2001) : αμφότερα κατηγορίας Β (αποθέσεις πολύ πυκνής άμμου και χαλίκων, ή πολύ στιφρής αργίλου με $360 < V_{s,30} < 760$ m/s).

Με λίγο όμως προσεκτικότερο κοίταγμα, και με λιγότερο "κανονιστική" διάθεση, θα βλέπαμε ότι στα πρώτα 12 m από την επιφάνεια (κάτω από τα οποία η V_s είναι ενγένει μεγαλύτερη από 650 m/s σε αμφότερα τα προφίλ) :

- η μέση ταχύτητα $V_{s,12}$ για το Προφίλ 1 είναι 380 m/s , ενώ για το Προφίλ 2 είναι 570 m/s --- δηλαδή $1\frac{1}{2}$ φορά μεγαλύτερη
- η μεταβολή $V_s = V_s(z)$ της ταχύτητας με το βάθος απ' την επιφάνεια είναι σχεδόν γραμμική στο Προφίλ 1, με αύξηση 250% στα 12 m : από περίπου 200 m/s ($z = 0$) στα 500 m/s ($z = 12$ m). Αντίθετα στο Προφίλ 2 η $V_s = V_s(z)$ παρουσιάζει αυξομειώσεις, με μέση αύξηση μόνον 80% περίπου στα 12 m : από 400 m/s ($z = 0$) στα 720 m/s ($z = 12$ m).

Θα αναμέναμε λοιπόν διαφορετική ενγένει απόκριση των δύο αυτών εδαφικών προφίλ. Ειδικά μάλιστα για την δεύτερη των

ανωτέρω διαφορών υπενθυμίζουμε ότι η εντονότερη ανομοιογένεια ενδέχεται να οδηγήσει σε δυσανάλογα μεγάλη εδαφική ενίσχυση (π.χ. Gazetas 1982). Ας δούμε επομένως τί αποκαλύπτουν οι 1-Δ αναλύσεις.

8.3 Μονοδιάστατες Αναλύσεις της Εδαφικής Απόκρισης

Η μεθοδολογία των αναλύσεων είναι όμοια μ' αυτήν που περιγράφηκε στο υπό-κεφάλαιο 7.2 για τις Αδάμες. Εδώ, δεδομένης της θέσης του ρήγματος (σχεδόν κάτω από την πόλη) και της ποιότητας του εδάφους, κρίνεται ως τελείως εύλογη υπόθεση ότι τα σεισμικά κύματα προσέπεσαν στο "υπόβαθρο" σχεδόν κατακορύφως, ή υπό μικρήν το πολύ-πολύ γωνία, εισέδυσαν δε στον εδαφικό σχηματισμό κατακορύφως. Ακριβέστερες τιμές γωνιών "αναδύσεως" των κυμάτων είναι δυνατόν να εκτιμηθούν, αλλά η πρόσθετη ακρίβεια δεν συμβαδίζει με τις εισαγόμενες αδρές προσεγγίσεις πολλών από τα φυσικά φαινόμενα του προβλήματος.

Επίσης εύλογη είναι η παραδοχή ότι οι εδαφικές στρώσεις συμπεριφέρθηκαν ως ισοδυνάμως-γραμμικά υλικά κατά την διέλευση των σεισμικών κυμάτων, έτσι ώστε η ανάλυση τύπου SHAKE να κρίνεται ρεαλιστική.

Μία δυσχέρεια στην ανάλυση είναι ο προσδιορισμός του "βραχώδους υποβάθρου". Στα δύο αναλυόμενα εδαφικά προφίλ το υπόβαθρο ελήφθη στα 56 m και στα 36 m αντιστοίχως, όπου $V_s = 1000$ m/s. Παραμετρική διερεύνηση κατέδειξε την μικρή ευαισθησία των αποτελεσμάτων στην ανωτέρω παραδοχή. Αλλωστε τα επιταχυνσιογραφήματα που χρησιμοποιούνται ως η βάση για τον "σχεδιασμό" των διεγέρσεων έχουν υπολογισθεί για τέτοιο ακριβώς υπόβαθρο, από τις καταγραφές στην επιφάνεια του εδάφους (βλ. Κεφάλαιο 3).

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων επιβεβαιώνουν πλήρως τον δυσμενή ρόλο του μαλακότερου εδαφικού Προφίλ 1. Ενα

αντιπροσωπευτικό δείγμα της παραμετρικής διερεύνησης συνοψίζεται στα ίδια Σχήματα 8.3 και 8.4, για τα Προφίλ 1 και 2, αντιστοίχως. Το "μυστικό" μιάς ρεαλιστικής ανάλυσης είναι η επιλογή κατάλληλης διέγερσης. Για τα δύο συγκεκριμένα σχήματα, η διέγερση έχει προκύψει με βάση την πλησιέστερη των καταγραφών (SPLB, $R = 8$ km) μετά την "αφαίρεση" της εδαφικής επίδρασης σ' αυτήν και της επικλιμάκιας αναγωγής της στην μικρότερη απόσταση ($R = 2$ km) από το ρήγμα. Η αναγωγή έγινε με τις προαναφερθείσες (Κεφ. 6) εμπειρικές σχέσεις εξασθενήσεως των Boore-Joyner-Funai (1997) και SEA99 : Spudich et al (1999). Το προκύπτον επιταχυνσιογράφημα, με $PGA \approx 0.40$ g, εφαρμόσθηκε ως η δόνηση σε επιφανειακή εκδήλωση του "βραχώδους υποβάθρου".

Οι προκύπτοντες κραδασμοί στην εδαφική επιφάνεια δίδονται στα εν λόγω σχήματα υπό την μορφήν χρονοϊστοριών της επιτάχυνσης και των αντιστοίχων φασμάτων αποκρίσεως, S_A . Δίδονται επίσης η κατανομή με το βάθος των μεγίστων τιμών της επιτάχυνσης, και η συνάρτηση δυναμικής μεγεθύνσεως, \mathcal{A} , οριζομένη όπως και στο Κεφάλαιο 8.

Η σημαντική ενίσχυση του κραδασμού κατά την διέλευσή του από το Προφίλ 1 είναι προφανής. Η φασματική επιτάχυνση S_A , πλησιάζει την τιμή 2.3 g για $T \approx 0.22$ s, ενώ $PGA \approx 0.72$ g. Η μέγιστη ενίσχυση, $\mathcal{A}_{max} \approx 2$, συμβαίνει για $T \approx 0.17$ s. Παρατηρούμε επίσης ότι η αύξηση των PGA είναι αρκετά απότομη στα άνω 12 m εδάφους, γεγονός που αποδίδεται στην προαναφερθείσα ανομοιογένεια ως προς την εδαφική δυστημσία και το εξ αυτής προκαλούμενο "φαινόμενο μαστιγίου" (βλ. Gazetas 1982).

Αντιθέτως, μικρή μόνον ενίσχυση παρατηρείται στο Προφίλ 2 (όπως άλλωστε αναμενόταν) : $PGA \approx 0.52$ g, $\max S_A \approx 1.8$ g, και $\mathcal{A}_{max} \approx 1.4$ --- τιμές κατ'άτι μεγαλύτερες από τις 0.40 g, 1.5 g, και 1.0 που θα ίσχυαν εάν το έδαφος δέν είχε καμμία απολύτως επιρροή. Κάτι τέτοιο προφανώς ισχύει κυριολεκτικά μόνον στις θέσεις

επιφανειακής εκδηλώσεως του μαργαϊκού ή ασβεστολιθικού υποβάθρου.

Οι διαφορές των κατ' αυτόν τον τρόπο υπολογισμένων επιταχυνσιογραφημάτων για τις θέσεις 1 και 2 είναι *συμβιβαστές* με τις παρατηρηθείσες διαφορές στην ένταση των βλαβών. Επιπλέον στον χάρτη του Σχήματος 8.1 δίδονται εντός κύκλου όλες οι υπολογισθείσες τιμές PGA, στις θέσεις αντιστοίχων γεωτεχνικών γεωτρήσεων με διαθέσιμα εδαφικά προφίλ. Δεδομένου ότι η πλειονότητα των καταρρεύσεων και σημαντικών βλαβών παρατηρήθηκε σε κτίρια 1-3 ορόφων, η χωρικός-μεταβλητή τιμή της PGA αποτελεί έναν πρώτον δείκτη "βλαπτικότητας" του κραδασμού. Η ποιοτική συμφωνία της χωρικής κατανομής των υπολογισμένων PGA με την χωρική κατανομή των βλαβών είναι εμφανής στο Σχήμα 8.1.

Επομένως, η 1-Δ κυματική διάδοση μέσω του εδάφους δικαιώνεται, τουλάχιστον ποιοτικά.

8.4 Πιθανή Επίδραση "Κοιλιάδας" σε 2 ή 3 Διαστάσεις

Δεν μπορεί όμως να αποκλεισθεί και η πιθανότητα λειτουργίας του φαινομένου "κοιλιάδας" σε δύο ή και τρεις διαστάσεις. Πράγματι, είναι προφανές ότι δύο τομές κατά μήκος των αξόνων Βορρά-Νότου και Ανατολής-Δύσης θα έδειχναν μία κοιλιάδα διαστάσεων 1.5 επί 1.0 km, με μέγιστο πάχος εδαφικών στρώσεων περί τα 100–150m μέχρι τον μητρικό βράχο. (Δυστυχώς, τα υπάρχοντα στοιχεία δεν είναι ακόμη επαρκή για την αξιόπιστη "παραγωγή" της γεωμετρίας και των ιδιοτήτων αυτής της πιθανής κοιλιάδας.)

Τονίζεται όμως ότι σε παρόμοιες κοιλιάδες, η δημιουργία κυμάτων Rayleigh στις άκρες και ο εστιασμός των "εγκλωβιζομένων" κυμάτων οδηγούν σε αύξηση της έντασης κυρίως περί το μέσον της. Παραδείγματα αποδεδειγμένης ενισχύσεως του κραδασμού λόγω των ανωτέρω φαινομένων έχουμε και στον ελληνικό χώρο : Δίκτυο

Κεφαλονιάς (Ψαρρόπουλος και Γκαζέτας 2001), και Δίκτυο Euroseistest (Πιτιλάκης et al 1999). Φυσικά δε η διεθνής βιβλιογραφία βρίθει σχετικών παραδειγμάτων, εκ των οποίων αξίζει ίσως να αναφερθεί ο ρόλος μιάς "κοιλιάδας" αντίστοιχων διαστάσεων στο Kirovakan, ο δυσμενής ρόλος της οποίας στον σεισμό της Αρμενίας το 1989 έχει τεκμηριωθεί πλήρως Yeghian et al 1994 [a, b])

Είναι λοιπόν πιθανόν, εκτός απ' τον αναμφισβήτητο 1-διάστατο δυσμενή ρόλο του εδάφους που σκιαγραφήθηκε στα Σχήματα 8.1, 8.2, και 8.3, η σεισμική ένταση στις κεντρικές γειτονιές των Ανω Λιοσίων να επιδεινώθηκε από φαινόμενα 2-διάστατης ή 3-διάστατης κυματικής διάδοσης στην υποκείμενη κοιλιάδα. Το θέμα αξίζει να ερευνηθεί στο μέλλον.

8.5 Τεκμήρια από το Νεκροταφείο : Επαλήθευση Αποτελεσμάτων

Όλα τα παραπάνω είναι σε πλήρη ποιοτική και ποσοτική αντιστοιχία με τις παρατηρηθείσες ανομοιόμορφες κατανομές βλαβών. Το γεγονός ότι τα περισσότερα από τα κτίρια με σημαντικές βλάβες ήταν 1 – 3 ορόφων (και κατά συνέπεια με ιδιοπερίοδο $T < 0.50$ s) συνηγορεί στην αποδοχή των υπολογισθέντων φασμάτων επιταχύνσεων.

Παρ' όλα αυτά, μια σημαντικότερη *ποσοτική* επαλήθευση είναι δυνατή με βάση τις παρατηρήσεις ολισθήσεων, στροφών και ανατροπών μνημείων στο κοιμητήριο Άνω Λιοσίων (βλ. Σχήμα 5.11). Για δύο τέτοια μνημεία μια σχολαστικότερη επιτόπου αναγνώριση παρήγαγε την μορφή των μονίμων μετακινήσεων και της συμπεριφοράς που σκιαγραφούνται στα Σχήματα 7 και 8. Αμφότερα τα εξετασθέντα μνημεία αποτελούνται από εδραζόμενα δι' απλής επαφής στερεά σώματα, με συντελεστές «στατικής» τριβής $\mu_s \approx 0.40 - 0.50$. Το υψίκορμο σώμα ($H/B \approx 6$) ανετράπη το μή υψίκορμο με τον σταυρό στην κορυφή ολίσθησε και περιστράφη. Παρόμοια

ήταν η συμπεριφορά και άλλων σωμάτων στο νεκροταφείο αυτό.

Η ανάλυση της συμπεριφοράς του ανασηκώματος, του λικνισμού, και της ανατροπής στερεών σωμάτων (σε ανένδοτη ή ενδόσιμη βάση) αποτελεί δυσχερέστατο πρόβλημα μη-γραμμικής ταλάντωσης, αντικείμενο μεγάλου ερευνητικού ενδιαφέροντος τα τελευταία χρόνια. (π.χ. Anoooshehpoor et al 1999, Spanos & Koh 1984, Makris & Roussos 2000). Το σημαντικό συμπέρασμα της παρούσης έρευνας είναι η καθοριστική επίδραση της δεσπόζουσας περιόδου της διεγέρσεως στην ευστάθεια ή ανατροπή του σώματος : για διεγέρσεις μικρής περιόδου (έστω $T_p < 0.20 \text{ sec}$) το μέγεθος της απαιτούμενης επιτάχυνσης για ανατροπή πρέπει να ξεπεράσει κατά πολύ την "στατική" επιτάχυνση ανατροπής :

$$a_c = (b / h) g$$

όπου g = η επιτάχυνση της βαρύτητας, b = το πλάτος και h = το ύψος του σώματος. Παραδείγματος χάριν, για ημιτονικόν παλμό ενός κύκλου, περιόδου $T_p \approx 0.20 \text{ sec}$, προκύπτει $a_{\text{over}} / a_c \approx 5$.

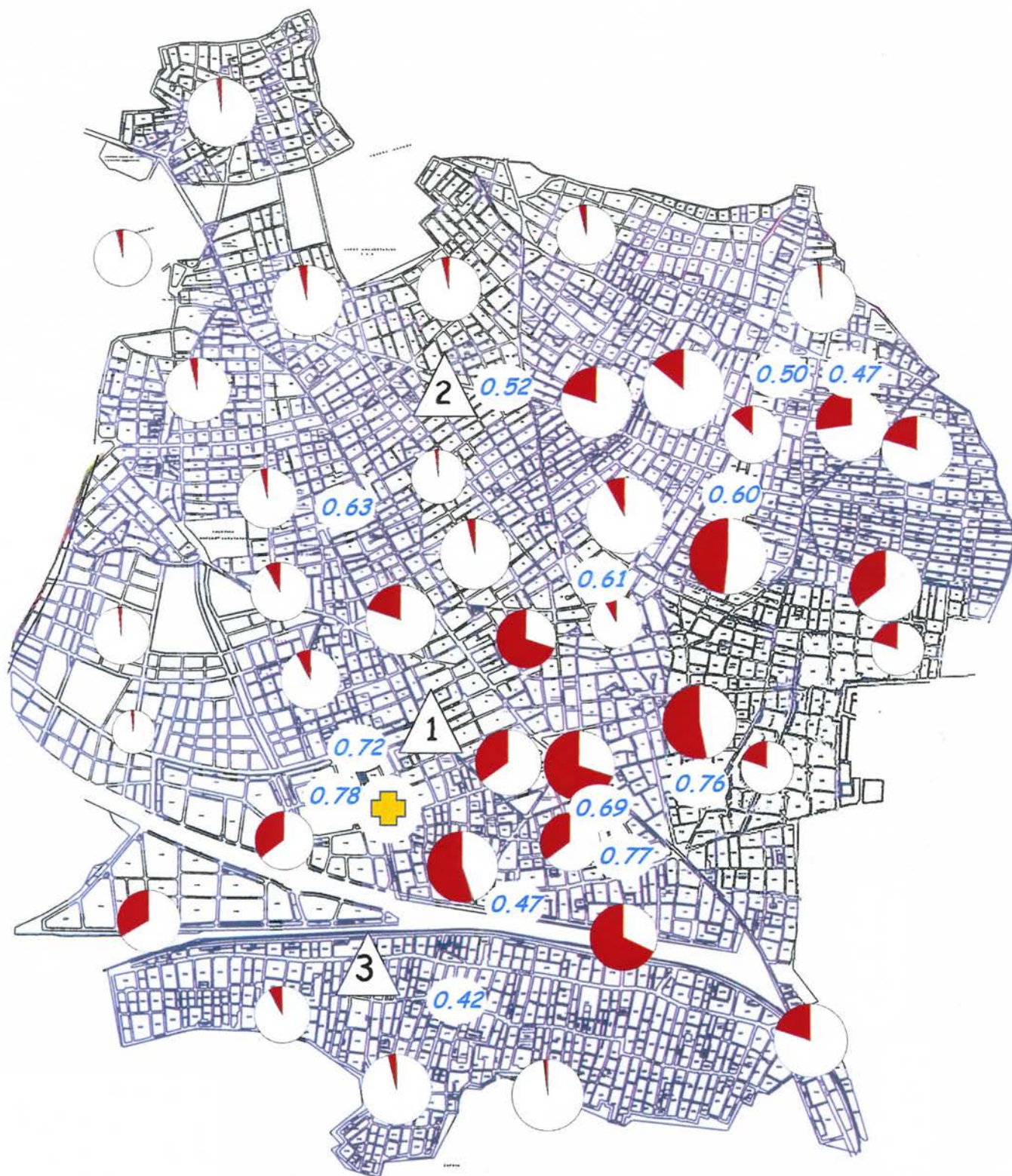
Για την εκτίμηση των απαιτούμενων επιταχύνσεων ανατροπής ακολουθήσαμε "θαμιστική" μεθοδολογία : διεξήχθησαν δηλαδή μία σειρά από παραμετρικές επαναληπτικές αναλύσεις, χρησιμοποιώντας διαφορετικές χρονοϊστορίες επιταχύνσεων ως βασικούς "τύπους" διεγέρσεως. Με την χρονοϊστορία της επιτάχυνσης στην εδαφική επιφάνεια του νεκροταφείου όπως προκύπτει από την μονοδιάστατη κυματική ανάλυση (Σχήμα 8.2) προκύπτει μέγιστη τιμή της επιτάχυνσης για ανατροπή του τύμβου, περίπου $0.65 - 0.75 g$ αναλόγως και με τη φύση και το μέγεθος των άλλων δύο συνιστωσών της διεγέρσεως. Μια μικρή αύξηση της δεσπόζουσας περιόδου (της τάξεως του 20 %) θα μείωνε την επιτάχυνση ανατροπής στο $0.55 g$.

Επιπλέον η ίδια χρονοϊστορία εδαφικής επιτάχυνσης (όπως

στο Σχήμα 8.2) εξηγεί πλήρως καί την παραμένουσα μετεκίνηση και περιστροφή του ογκώδους τύμβου, καί το σπάσιμο του σταυρού στην κορυφή του.

Εν κατακλείδι, από τα προηγούμενα σε συνδυασμό με επιπρόσθετα στοιχεία (π.χ. Μπουκοβάλας & Κουρετζής 2001) φαίνεται ότι η εδαφική ενίσχυση είναι υπεύθυνη για την παρατηρηθείσα ένταση και γεωγραφική κατανομή των βλαβών στα Ανω Λιόσια. Επομένως, οι επιταχύνσεις των Σχημάτων 8.1 , 8.2 και 8.3 κρίνονται ως εύλογες και αξιόπιστες θεωρητικές προβλέψεις του σεισμικού κραδασμού στις αντίστοιχες περιοχές.

ΣΧΗΜΑΤΑ
ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 8



Cemetery

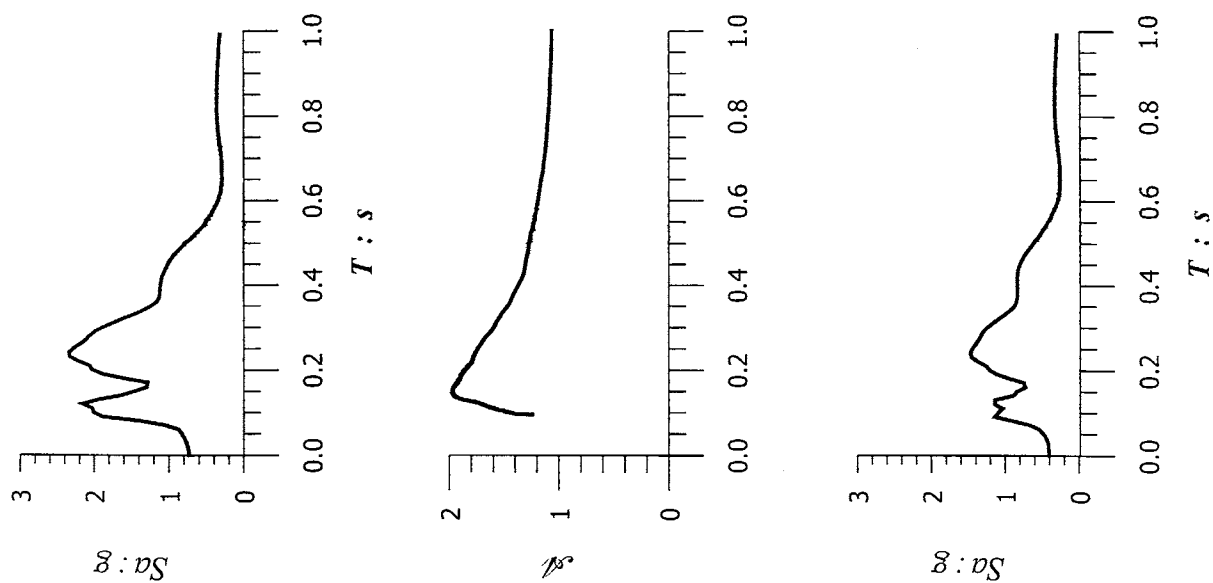
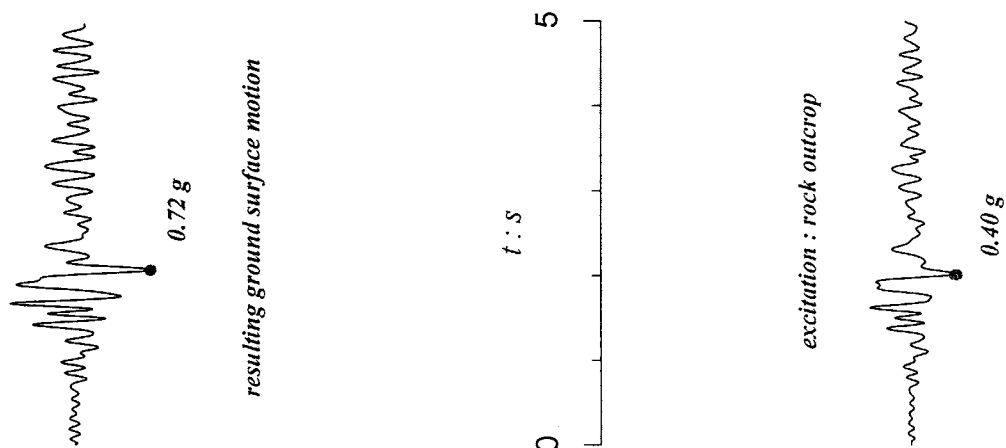
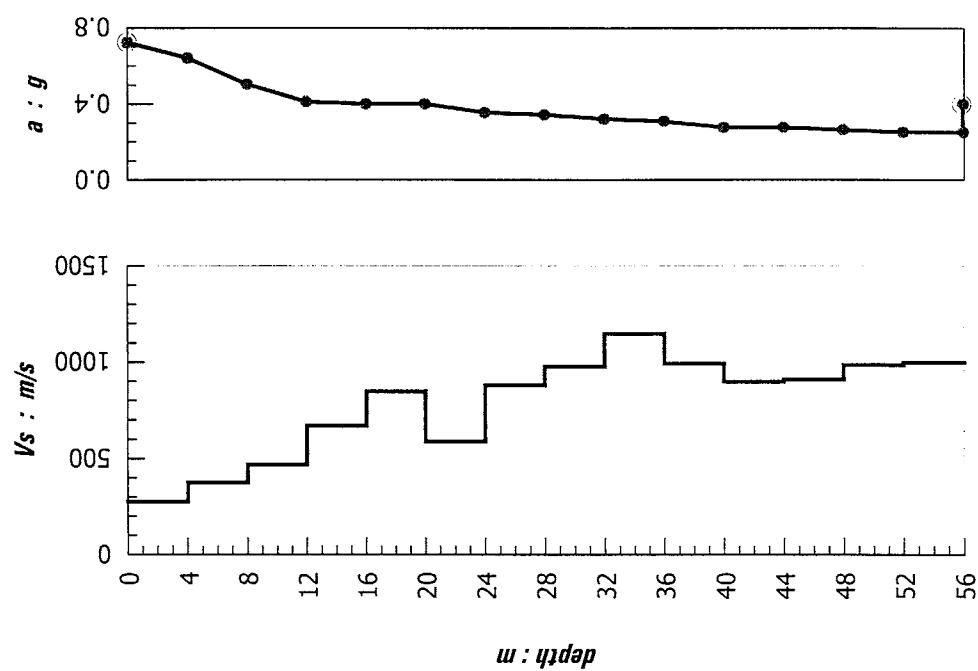
Light or No Damage



Collapse or Heavy Damage

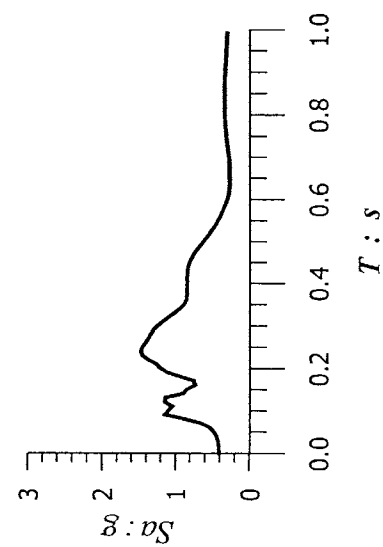
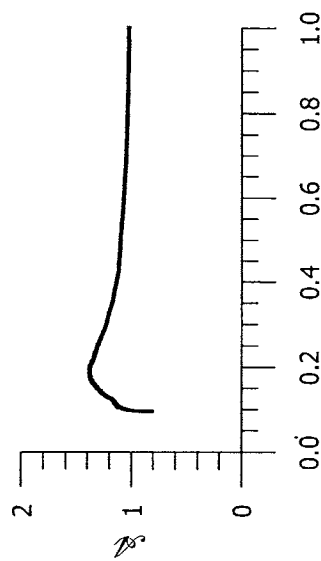
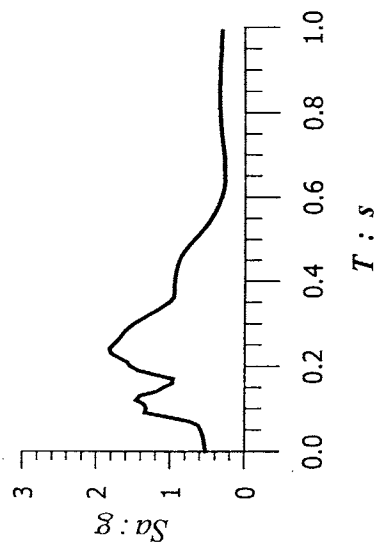
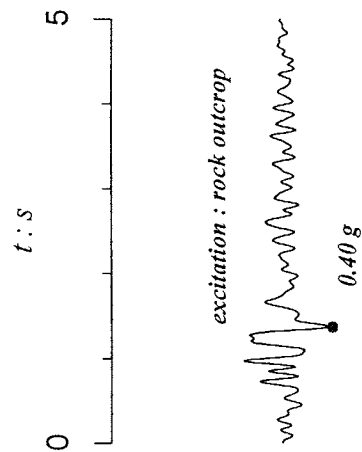
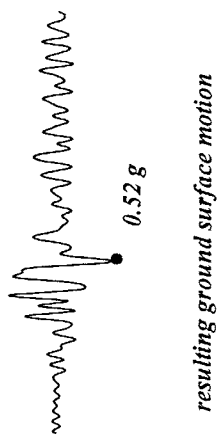
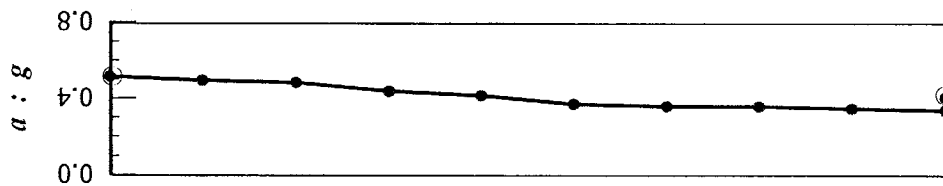
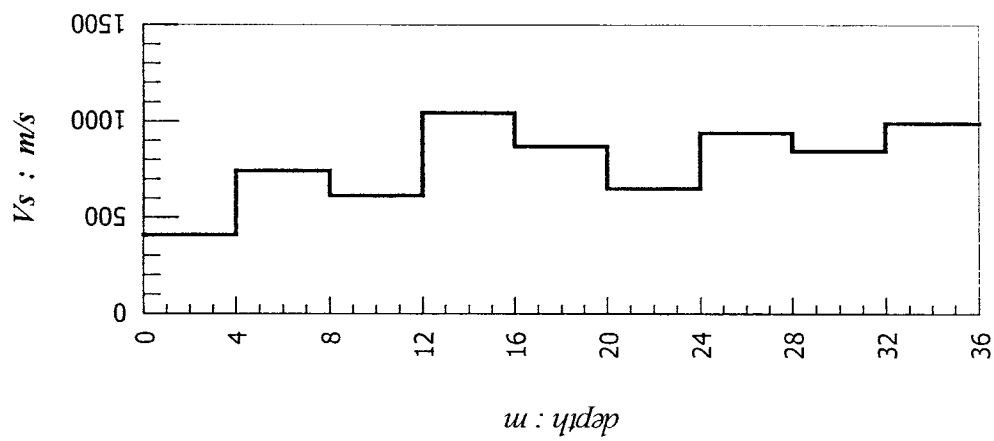
Σχήμα 8.1

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΤΟΜΗ 1
ΔΙΕΤΕΡΕΣ ΤΥΠΟΥ SPLB



Σχήμα 8.2

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΤΟΜΗ 2
ΔΙΕΤΕΡΣΗ ΤΥΠΟΥ SPLB



Σχήμα 8.3