

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11

## **11. Τα ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ της ΕΡΕΥΝΑΣ --- Η ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ σε ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΘΕΣΕΙΣ της ΠΛΕΙΟΣΕΙΣΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ**

Κάθε ισχυρός σεισμός αποτελεί ένα εν-δυνάμει μεγάλο πείραμα σε φυσική κλίμακα : οπτικές παρατηρήσεις, ενόργανες καταγραφές, επιτόπιες κι' εργαστηριακές μετρήσεις, και αριθμητικές αναλύσεις μπορεί να προσφέρουν πολύτιμη γνώση προς μια βαθύτερη κατανόηση των περίπλοκων φαινομένων που λαμβάνουν χώραν μετά από μια σεισμική διάρρηξη. Σ' αυτήν την κατανόηση θα στηριχθεί ο ορθολογικότερος αντισεισμικός σχεδιασμός των ανθρώπινων δομημάτων. Ο σεισμός της Αθήνας της 7-9-99 και η ερευνητική προσπάθεια που καταγράφεται στην παρούσα Εκθεση αποτελούν μία τέτοια περίπτωση προς την κατανόηση των σεισμικών φαινομένων.

Τα κυριότερα συμπεράσματα του ερευνητικού προγράμματος σε σχέση με τα ερωτήματα που είχαν αρχικώς τεθεί θα μπορούσαν να διατυπωθούν συγκεφαλαιωτικά ως εξής :

(α) Η υπολογιστική "πρόβλεψη" (έστω και εκ των υστέρων) των χρονοϊστοριών και φασμάτων των επιταχύνσεων του εδάφους σε καίριες θέσεις της πλειόσειστης περιοχής αποτελεί δυσχερή συνθετική εργασία. Είναι γνωστό ότι η ένταση, το συχνотικό περιεχόμενο, και οι χρονικές λεπτομέρειες της δόνησης μεταβάλλονται από σημείο σε σημείο ακόμη και όταν όλες οι άλλες συνθήκες (σεισμολογικές, γεωλογικές, γεωτεχνικές) παραμένουν εντελώς όμοιες. Επομένως, η εδαφική σεισμική κίνηση για μία περιοχή όπως δίδεται στην παρούσα Εκθεση πρέπει να θεωρείται απλώς ως *αντιπροσωπευτική* της αντίστοιχης περιοχής, και όχι ως ακριβές επιταχυνσιογράφημα ενός συγκεκριμένου σημείου.

(β) Τα φυσικά δεδομένα στα οποία βασίσθηκε η υπολογιστική εργασία μας περιλαμβάνουν :

- τις σεισμολογικές παρατηρήσεις ως προς τον μηχανισμό γενέσεως του σεισμού και τον προσανατολισμό της πλειόσειστης περιοχής ως προς το ρήγμα
- τα καταγραφέντα επιταχυνσιογραφήματα της Αθήνας, και την σύγκριση τους με τις καταγραφές άλλων καταστροφικών σεισμών της χώρας
- την έκταση των βλαβών και την χωρική (γεωγραφική) τους κατανομή
- τις παρατηρηθείσες αστοχίες έως και μικρές βλάβες μερικών απλών δομημάτων, με σαφή "στατική" λειτουργία
- τα δεδομένα μιάς ολοκληρωμένης γεωτεχνικής και γεωλογικής αναγνώρισης του υπεδάφους, και της τοπογραφικής αποτύ-πωσης του αναγλύφου σε ορισμένες θέσεις.

Για να είναι επιτυχής μία υπολογιστική μέθοδος πρέπει να αξιοποιεί ή επαληθεύει όλα τα ανωτέρω συστατικά στοιχεία του προβλήματος.

(γ) Η γεωγραφική κατανομή της έντασης των βλαβών αποδείχθηκε εντελώς ανομοιόμορφη, τόσο σε μεγάλη κλίμακα (από πόλη σε πόλη) όσο και σε μικρότερη (από γειτονιά σε γειτονιά). Τα αίτια της ανομοιομορφίας σχετίζονται : *(i)* με τον μηχανισμό διαρρήξεως, την θέση, και τον προσανατολισμό της κάθε περιοχής, *(ii)* με την σεισμική τρωτότητα των κατασκευών, *(iii)* με τις επικρατούσες γεωλογικές και τοπικές εδαφικές συνθήκες, και *(iv)* με το τοπογραφικό ανάγλυφο. Η έρευνά μας υποδεικνύει τον *(i)* και *(iii)* ως τους κυριότερους παράγοντες διαφοροποιήσεως της σεισμικής έντασης, χωρίς ωστόσο να υποτιμάται και ο ρόλος των *(ii)* και *(iv)*.

(δ) Ο μηχανισμός της σεισμικής διάρρηξης φαίνεται ενμέρει υπεύθυνος για την ανομοιόμορφη κατανομή σε μεγάλη κλίμακα. Για παράδειγμα, ο Ασπρόπυργος, η πιό κοντινή πόλη στο επίκεντρο, υπέφερε ελάχιστα, ενώ οι περιοχές της βόρειας Αθήνας στην προέκταση του ρήγματος ή και βορειότερα, π.χ. Θρακομακεδόνες και Αδάμες, υπέστησαν καταστροφικές βλάβες μεγάλης εκτάσεως. Ο προσανατολισμός και η θέση του "κανονικού" ρήγματος (βύθιση υπό γωνίαν  $\approx 55^\circ$  προς N-ΝΔ) και η κατεύθυνση διαδόσεως της σεισμικής διάρρηξης (από την εστία, σε βάθος 15 km, προς ανατολάς και προς την επιφάνεια, δηλ. προς βορειοανατολικά) μπορεί να εξηγήσουν, ποιοτικώς τουλάχιστον, την πολύ μεγαλύτερη έκταση των βλαβών κυρίως δυτικά και βορειοανατολικά της προέκτασης του ρήγματος. Έτσι, σε αντίθεση με την "κλασσική" σεισμολογική άποψη, η μεγάλη ένταση δεν παρατηρήθηκε στο "επικρεμάμενο" (μετακινηθέν προς τα κάτω) τέμαχος.

Το φαινόμενο της κατευθυντικότητας έχει αποδεδειγμένα λειτουργήσει και στους σεισμούς της Καλαμάτας 1986 και Αιγίου 1995 [Γκαζέτας 1988, 1995]. Ατυχώς, όμως, η επιστημονική ικανότητα της επιστήμης να προβλέψει ποσοτικά ανάλογες διαφοροποιήσεις σε άλλες περιοχές είναι ακόμη περιορισμένη.

(ε) Οι διαφοροποιήσεις στην έκταση των βλαβών σε μικρότερη κλίμακα (της τάξεως του 1-2 χιλιομέτρων), αποδίδονται σε μεγάλο βαθμό στον "συντονιστικό" ρόλο του εδάφους. Παρά την ενγένει πυκνή/σκληρή φύση των εδαφικών στρώσεων, σε πολλές πλειόσειστες περιοχές η διέλευση των σεισμικών κυμάτων διαμέσου σχηματισμών με μέση ταχύτητα κύματος 300–400 m/s και πάχος μόλις 10–20 m έδωσε σημαντικώς ενισχυμένες επιταχύνσεις. Ιδιαίτερως επηρεάσθηκαν οι δεσπόζουσες υψίσυχνες συνιστώσες ( $T_E \approx 0.15 - 0.30$ ) του διεγείροντος κραδασμού με αποτέλεσμα την αύξηση και της κορυφαίας τιμής της εδαφικής επιτάχυνσης.

(ζ) Οι εδαφοδυναμικές αναλύσεις της κυματικής διέλευσης μέσω χαρακτηριστικών εδαφικών προφίλ έδωσαν αποτελέσματα που εξηγούν με ποιοτική αλλά *καί* ποσοτική ακρίβεια την έκταση των βλαβών στις εξής περιοχές :

- Ανω Λιόσια, όπου η υπολογισθείσα ενίσχυση των επιταχύνσεων στα εδαφικά προφίλ της κεντρικής ζώνης της πόλης ήταν της τάξεως του 60% τόσο για την κορυφαία τιμή όσο και για τις φασματικές επιταχύνσεις μεγάλου εύρους περιόδων.
- Αδάμες, όπου η ενίσχυση των επιταχύνσεων ήταν σε ορισμένες θέσεις της τάξεως του 50% ή και μεγαλύτερες σε περιορισμένο όμως εύρος περιόδων.

Οι ανωτέρω περιπτώσεις εδαφικής μεγέθυνσης του σεισμικού κραδασμού επαληθεύονται ποσοτικά *καί* μέσω αντιστρόφων αναλύσεων αστοχίων απλών κατασκευών (ανατροπών / ολισθήσεων τύμβων στα Ανω Λιόσια, καταρρεύσεως κτιρίου στις Αδάμες). Δεν "προβλέπεται" όμως η μεγέθυνση με σαφήνεια σε σύγχρονους αντισεισμικούς κανονισμούς. Ούτε ο NEHRP-1997(ΗΠΑ), ούτε ο Ευρωκώδικας EC8-2000, ούτε ο ΕΑΚ-2000. Οι τελευταίοι δεν διαφοροποιούν *ως προς την μέγιστη εδαφική επιτάχυνση* τα στιφρά εδαφικά προφίλ του κέντρου των Ανω Λιοσίων από τον μαλακό αποσαθρωμένο βράχο που εμφανίζεται στην επιφάνεια του νοτίου τμήματος, στους πρόποδες της Πάρνηθας, και στον λόφο του Προφήτη Ηλία. Κι όμως στις περιοχές αυτές η ένταση MMI είναι ζήτημα εάν έφθασε έστω και το ασήμαντο (για έναν τέτοιο σεισμό) VII.

(η) Αντίθετα οι 1-διάστατες εδαφομηχανικές αναλύσεις δεν επαρκούν για την πλήρη ποιοτική και ποσοτική ερμηνεία της εντόνως ανομοιομόρφης κατανομής των βλαβών στο Μενίδι.

Επιπλέον, οι μονο-διάστατα υπολογιζόμενες επιταχύνσεις υπολείπονται κατάτι των εμμέσως υπολογισθεισών από την αξιοποίηση του πειράματος στις Πύλες της Οδού Διαγόρα.

Κι όμως, η διαφορετική *επιφανειακή γεωλογία* φαίνεται να εξηγεί (ποιοτικά βεβαίως) τις διαφοροποιήσεις στις βλάβες. Η πιθανή λειτουργία του "*φαινομένου κοιλάδας*" υποδεικνύεται ως ένα από τα πιθανά αίτια της ανεπάρκειας της 1-διάστατης θεωρίας.

(θ) Στις Αδάμες μία πρόσθετη ενίσχυση της έντασης του σεισμικού κραδασμού προέρχεται τεκμηριωμένα από την ύπαρξη της απότομης και βαθιάς χαράδρας του Κηφισσού.. Οι κυματικές διαθλάσεις και περιθλάσεις στις γωνίες του πρανούς οδηγούν σε αύξηση της οριζόντιας και κατακόρυφης επιτάχυνσης σε μιά μικρή ζώνη, λίγες δεκάδες μέτρα από το χείλος της χαράδρας --- σ' αυτήν ακριβώς την περιοχή είχαμε την μεγαλύτερη έκταση βλαβών στις Αδάμες, και από την "πυκνότερη" συσσώρευση καταρρεύσεων από τον σεισμό.

(ι) Οι υπολογισμοί μας καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι στις πέντε περιοχές της πλειόσειστης περιοχής που δίδονται στο Σχήμα 2.7 οι επιταχύνσεις κυμάνθηκαν (*ως επί το πλείστον*) μεταξύ των εξής τριών :

– *κορυφαία τιμή της εδαφικής επιτάχυνσης :*

$$PGA \approx 0.30g - 0.70g$$

– *μέση τιμή της φασματικής επιτάχυνσης για το εύρος περιόδων*

$$T \approx 0.15 \div 0.30 \text{ sec} :$$

$$S_A \approx 0.75 g - 1.50 g$$

αλλά αρκετά μεγαλύτερη μέγιστη τιμή στις περιόδους αυτές.

– μέση τιμή της φασματικής επιτάχυνσης για το εύρος περιόδων

$$T \approx 0.60 - 1.0 \text{ sec} :$$

$$S_A \approx 0.15 \text{ g} - 0.30 \text{ g}$$

Φυσικά, σε περιοχές κτισμένες σε επιφανειακή εκδήλωση βράχου (μαλακού ή σκληρού), οι επιταχύνσεις ήταν αναμφισβήτητα πολύ μικρότερες για όλες τις τιμές περιόδων. Μόνον έτσι εξηγείται, π.χ. η ανυπαρξία σοβαρών βλαβών (MMI = VI – VII) στο Καματερό και στον Προφήτη Ηλία, δίπλα στα Ανω Λιόσια, και μεταξύ Ανω Λιοσίων και Μενιδίου, αντιστοίχως.

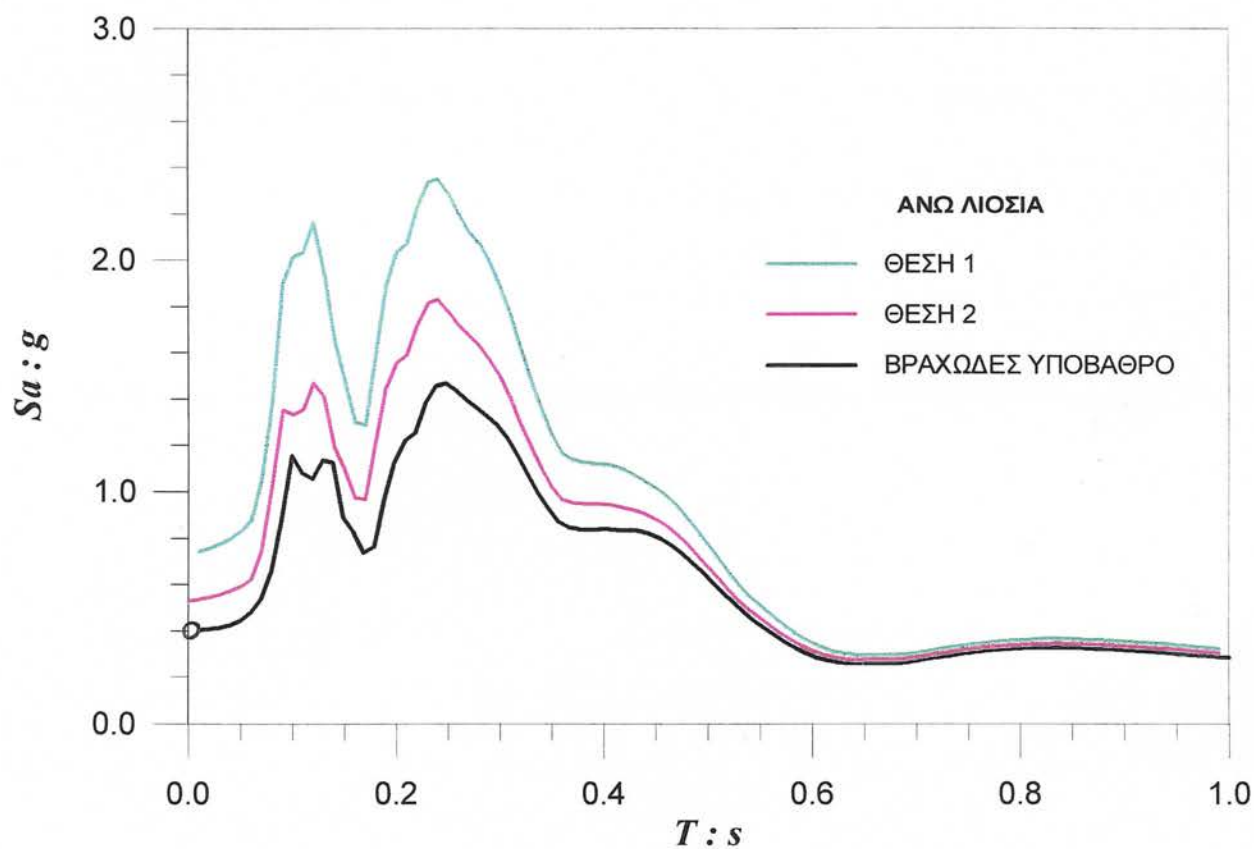
-----

Αντί επιλόγου, παρουσιάζουμε το Σχήμα 11.1, στο οποίο συγκρίνονται 3 από τα ισχυρότερα φάσματα (κατά τους υπολογισμούς μας) από την περιοχή των Ανω Λιοσίων. [Οι θέσεις 1 και 2 δείχνονται στα Σχήματα 8.1 , τα δε εδαφικά προφίλ στα Σχήματα 8.2 και 8.3.] Θεωρούμε τα φάσματα αυτά ως ένα *άνω πιθανό όριο* της πραγματικότητας. Είναι σαφές ότι οι τιμές  $S_A$  υπερέρχουν σημαντικά των φασματικών τιμών του ΕΑΚ ακόμη και για ζώνη IV. Παρατηρείστε ωστόσο ότι για  $T > 0.40 \text{ sec}$ , όπου ανήκει και η πλειονότητα των κτιρίων με Φέροντα Οργανισμό από ΩΣ, η υπεροχή έναντι του κανονισμού είναι μικρή ή και ασήμαντη. —

ΣΧΗΜΑΤΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 11





**Σχήμα 11.1**

Τρία από τα δυσμενέστερα φάσματα που υπολογίσθηκαν για  
τα Ανω Λιόσια (θεωρούμενα ως άνω πιθανό όριο)