



Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΟΙ ΣΕΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ ΤΟΥ 1981 ΚΑΙ ΤΟΥ 1999.**  
**ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**  
**ΑΠΟ ΤΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΣΤΑ**  
**ΔΥΟ ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΓΕΓΟΝΟΤΑ.**

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΑΣ: ΓΚΖΙΚΗ ΕΥΘΥΜΙΑ – ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ  
ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΗΤΡΩΟΥ: 31919

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΝΙΚΟΛΕΤΤΑ ΨΥΛΛΑ

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	1
-----------------------	---

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> :** **Ο ΣΕΙΣΜΟΣ ΤΟΥ 1981**

<b>1.1</b> Γενικά στοιχεία .....	6
<b>1.2</b> Επίδραση των εδαφικών συνθηκών της περιοχής .....	9
<b>1.2.1</b> Κατάταξη εδαφών .....	9
<b>1.3</b> Καταγραφή της σεισμικής δόνησης .....	10
<b>1.4</b> Περιγραφή κτιρίων των περιοχών της Αθήνας .....	11
<b>1.4.1</b> Ταξινόμηση κτιρίων .....	11
<b>1.5</b> Συμπεριφορά κτιρίων και βλάβες .....	13
<b>1.5.1</b> Καταγραφή και εκτίμηση βλαβών .....	13
<b>1.6</b> Συμπεράσματα .....	16
<b>1.7</b> Φωτογραφικό υλικό .....	17

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> :** **Ο ΣΕΙΣΜΟΣ ΤΟΥ 1999**

<b>2.1</b> Γενικά στοιχεία .....	19
<b>2.2</b> Επίδραση των εδαφικών συνθηκών της περιοχής.....	22
<b>2.2.1</b> Κατάταξη εδαφών .....	22
<b>2.3</b> Καταγραφή της εδαφικής κίνησης .....	24
<b>2.3.1</b> Φασματικές επιταχύνσεις ανά κατηγορία εδάφους .....	27
<b>2.4</b> Περιγραφή και συμπεριφορά κτιρίων .....	29

2.4.1	Κριτήρια κατηγοριοποίησης κτιρίων .....	29
2.4.2	Ταξινόμηση και περιγραφή κτιρίων .....	31
2.4.3	Συμπεριφορά κτιρίων κατά τον σεισμό .....	33
2.5	Καταγραφή βλαβών των κτιρίων ανά δομικό στοιχείο .....	38
2.5.1	Βλάβες σε κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα και τοιχοποιίες πληρώσεως .....	40
2.5.2	Βλάβες σε κατασκευές από φέρουσα τοιχοποιία .....	48
2.5.3	Βλάβες σε μικτές κατασκευές .....	48
2.6	Εκτίμηση των αιτιών της δημιουργίας των βλαβών.....	49
2.7	Συμπερασματικά στοιχεία που αποδεικνύουν το μέγεθος της καταστροφής .....	51
2.8	Συμπεράσματα .....	55
2.9	Φωτογραφικό υλικό .....	57

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> :**  
**ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΤΩΝ**  
**ΔΥΟ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΓΕΓΟΝΟΤΩΝ**  
**ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ**

3.1	Συγκριτική μελέτη και συμπεράσματα των δύο σεισμικών γεγονότων .....	60
3.1.2	Συγκεντρωτικός πίνακας των κύριων στοιχείων των δύο σεισμικών γεγονότων .....	63
	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>64</b>
	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>65</b>

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο σεισμός είναι ένα από τα πιο καταστροφικά φυσικά φαινόμενα. Εκδηλώνεται χωρίς σαφή προειδοποίηση και δεν μπορεί να αποτραπεί. Παρά τη μικρή χρονική του διάρκεια, μπορεί να προκαλέσει μεγάλες υλικές ζημιές στις ανθρώπινες υποδομές, οι οποίες έχουν ως επακόλουθο σοβαρούς τραυματισμούς και απώλειες.

Η Ελλάδα είναι μια από τις πλέον σεισμογενείς περιοχές του πλανήτη. Κατέχει την πρώτη θέση από πλευράς σεισμικότητας στην Ευρώπη και την έκτη σε παγκόσμιο επίπεδο. Η γεωγραφική της θέση συμπίπτει με περιοχή του πλανήτη που λαμβάνουν χώρα μεγάλα γεωτεκτονικά φαινόμενα, με αποτέλεσμα να παρατηρείται μεγάλη σεισμικότητα στην περιοχή αυτή.

Οι τεκτονικοί σεισμοί που γίνονται στην χώρα μας είναι κυρίως επιφανειακοί και ενδιάμεσου βάθους.

Βεβαίως κάθε σεισμός έχει την δική του ταυτότητα που τη προσδιορίζουν τα φυσικά χαρακτηριστικά, τα επαγόμενα φαινόμενα και οι επιπτώσεις.

Δύο, από τους κυριότερους και καταστροφικότερους σεισμούς της τελευταίας τριακονταετίας, που έχουν πλήξει την Ελλάδα και συγκεκριμένα την ευρύτερη περιοχή της Αθήνας είναι ο σεισμός στις 24-2-1981 με επίκεντρο τις Αλκυονίδες και ο σεισμός στις 7-9-1999 με επίκεντρο την Πάρνηθα.

Στην συγκεκριμένη εργασία θα επιχειρηθεί η παρουσίαση των δύο αυτών σεισμικών γεγονότων. Οι δύο αυτοί σεισμοί επιλέχθηκαν να μελετηθούν λόγω της έντονης «καταστρεπτικότητάς» τους, η οποία εξαρτήθηκε κυρίως από το μέγεθος τους. Επίσης γιατί εκδηλώθηκαν σε αστικό κέντρο και δη στην πρωτεύουσα της χώρας, εκεί όπου ο οικιστικός ιστός είναι πυκνός και χαρακτηρίζεται από τη μεγάλη ποικιλία ως προς τον τύπο των κατασκευών. Επιπλέον γιατί η εμπειρία και των δύο αυτών σημαντικών σεισμικών γεγονότων οδήγησε στην καλύτερη κατανόηση του σεισμικού φαινομένου και της επιρροής του πάνω στις κατασκευές. Οι δύο καταστροφικοί αυτοί σεισμοί δηλαδή, ο καθένας την χρονική περίοδο που συνέβη, συνέβαλλαν στην διεθνή ωρίμανση των μέχρι τότε γνώσεων και στην τεράστια τεχνική πρόοδο που διεθνώς έχει επιτευχθεί.

Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας αναλύεται ο πρώτος ισχυρός σεισμός της 24<sup>ης</sup> Φεβρουαρίου 1981, ο οποίος συγκλόνισε το

λεκανοπέδιο Αττικής. Ο σφοδρός εκείνος σεισμός των 6.7 Ρίχτερ, με επίκεντρο τις Αλκυονίδες, μια περιοχή του ανατολικού Κορινθιακού, άφησε πίσω του είκοσι νεκρούς και πεντακόσιους τραυματίες. Πολλά ήταν και τα τεχνικά έργα και ιδιαίτερα τα κτίρια που υπέστησαν σοβαρές βλάβες. Περίπου σε 85000 κτίρια προκλήθηκαν βλάβες, από τα οποία τα 22554 κτίρια κρίθηκαν μη επισκευάσιμα. Ορισμένες περιοχές της πόλης χτυπήθηκαν βαριά από το σεισμό, ενώ κάποιες άλλες φάνηκαν σαν να μην έγινε καν σεισμός. Τα αίτια αυτής της μεγάλης διαφοροποίησης των συνεπειών του σεισμού πάνω στα κτίρια οφείλονται στα χαρακτηριστικά του εδάφους της κάθε περιοχής που «χτυπήθηκε» από τον σεισμό και ασφαλώς και στα χαρακτηριστικά του κάθε κτιρίου, όπως ο τρόπος κατασκευής του, η ιδιοσυχνότητα, και φυσικά η ποιότητα της κατασκευής.

Από την εμπειρία των σεισμών που είχαν συμβεί πριν από αυτόν των Αλκυονίδων του 1981 είχε δημιουργηθεί ο Αντισεισμικός Κανονισμός, ο οποίος είχε θεσμοθετηθεί το 1959. Τα κτίρια δηλαδή της περιόδου εκείνης και έπειτα μελετούνταν και σχεδιάζονταν με βάση τον Κανονισμό αυτό και όχι πλέον εμπειρικά. Η φιλοσοφία του βασιζόταν στα διάφορα επίπεδα ασφάλειας που παρείχε. Το μέλημα του δηλαδή ήταν η ανθρώπινη ασφάλεια και μετέπειτα η ελαχιστοποίηση των ζημιών. Η εφαρμογή του είχε δώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα σε κτίρια μέχρι 4 - 5 ορόφων.

Έπειτα όμως από την συσσωρευμένη εμπειρία καταστροφικών σεισμών που διεθνώς είχαν συμβεί και με αφορμή το σεισμό του 1981, από τον οποίο «χτυπήθηκαν» τα τότε κτίρια των Αθηνών, που στην πλειοψηφία τους ήταν σχεδιασμένα σύμφωνα με τον Κανονισμό του 1959, έγινε έντονη η ανάγκη δημιουργίας ενός ασφαλέστερου Αντισεισμικού Κανονισμού. Γι' αυτό και το 1984 έλαβε χώρα η τροποποίηση του Κανονισμού.

Τα μετέπειτα όμως του 1984 σεισμικά φαινόμενα που διεθνώς συνέβησαν, αποτέλεσαν πηγή πολύτιμων πληροφοριών για την αντισεισμική θωράκιση, που βασιζόμενη σε μια διαφορετική φιλοσοφία σχεδιασμού, οδήγησε τελικά στην δημιουργία του ΝΕΑΚ1995.

Στην συνέχεια της εργασίας, στο δεύτερο κεφάλαιο, μελετείται ο σεισμός που εκδηλώθηκε στις 7 Σεπτεμβρίου 1999 στην Αθήνα. Το μέγεθος του ήταν  $M_s=5.9R$ . Το επίκεντρο του τοποθετήθηκε στην Πάρνηθα, ενώ το σεισμικό ρήγμα είχε γενική διεύθυνση Α-Δ. Από τον σεισμό αυτό προκλήθηκαν 143 θάνατοι εξ' αιτίας των

καταρρεύσεων που έγιναν ακόμα και σε σύγχρονα κτίρια με αντισεισμική σχεδίαση και σε πολλά βιομηχανικά κτίρια. Οι περιοχές που επλήγησαν περισσότερο ήταν κυρίως οι δυτικές, ενώ οι ανατολικές που απείχαν από το επίκεντρο δεν είχαν σημαντικές απώλειες.

Ο σεισμός της Πάρνηθας μπορεί να είχε διπλάσια επιτάχυνση από το σεισμό στις Αλκυονίδες το 1981, αυτό όμως δεν σημαίνει ότι συνεπάγονται ανάλογα και διπλάσιες καταστροφές. Το αποτέλεσμα εξαρτάται από την απόσταση της πόλης από το ρήγμα, από την κατεύθυνση που εκλήθη η ενέργεια, από την απόσβεση που υπάρχει από το ρήγμα. Όσο δηλαδή πιο μεγάλη είναι η διάρκεια του σεισμού τόσο χειρότερα αποτελέσματα αναμένονται.

Με τη σειρά του και ο σεισμός αυτός συντέλεσε στο μέγλωμα της εμπειρίας πάνω στα σεισμικά φαινόμενα. Ο Αντισεισμικός Κανονισμός επομένως που συμπυκνώνει την επιστημονική γνώση εμπλουτίστηκε και από την εμπειρία του καταστροφικού σεισμού του 1999. Με αφορμή και αυτόν τον ισχυρό σεισμό κρίθηκε απαραίτητη η αλλαγή της σεισμικής επικινδυνότητας των περιοχών της πρωτεύουσας. Έτσι δημιουργήθηκε ο Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (ΕΑΚ2000) που βρίσκεται σε ισχύ μέχρι και σήμερα.

Στο τρίτο κεφάλαιο και έπειτα από την μελέτη των δύο αυτών σεισμικών γεγονότων, θα επιχειρηθεί να γίνει η συγκριτική μελέτη της συμπεριφοράς των κατασκευών. Επιπλέον θα εξαχθούν συμπεράσματα για την επάρκεια των ισχυρόντων Αντισεισμικών Κανονισμών σε κάθε περίπτωση, αλλά και για τις βελτιώσεις αυτών.

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι δυστυχώς, έπειτα από την ανάλογη έρευνα που έγινε, δεν βρέθηκαν αρκετά στοιχεία που να αφορούν τον σεισμό των Αλκυονίδων του 1981 παρά μόνο κάποιες γενικές αναφορές για τον ισχυρό εκείνο σεισμό. Γι' αυτό και το πρώτο κεφάλαιο, που αναφέρεται στον σεισμό του 1981, είναι συγκριτικά αρκετά μικρότερο και όχι το ίδιο αναλυτικό, σε σχέση με το δεύτερο κεφάλαιο.

Οι διαθέσιμες πληροφορίες αντίθετα για τον σεισμό της Αθήνας του 1999 ήταν πολλές. Η διαφοροποίηση αυτή της συγκέντρωσης στοιχείων μεταξύ των σεισμικών αυτών γεγονότων, μπορεί ίσως να δικαιολογηθεί λόγω του ότι ο πρώτος συνέβη πολλές δεκαετίες πριν, ενώ ο δεύτερος ένας πρόσφατος σχετικά σεισμός. Την περίοδο εκείνη δεν υπήρχαν τόσα πολλά μέσα ενημέρωσης, σε αντίθεση με τα επόμενα χρόνια, ώστε να υπάρχουν και οι ανάλογες διαθέσιμες πληροφορίες σήμερα. Ακόμα η έλλειψη δικτύου

επιταχυνσιογράφων κοντά στο επίκεντρο, αλλά και σε περιοχές κοντά σε αυτό, έπαιξε ρόλο στην μη ύπαρξη καταγραφών. Επιπλέον ο Ο.Α.Σ.Π., που είναι ο Οργανισμός (υπό τη εποπτεία του Υπουργείου Δημοσίων Έργων) που συγκεντρώνει όλα τα σεισμοτεκτονικά στοιχεία των σεισμικών γεγονότων της Χώρας, δημιουργήθηκε το 1983. Οπότε τα προηγούμενα σεισμικά γεγονότα, όπως αυτό του '81 δεν έχουν καταγραφεί.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

## Ο ΣΕΙΣΜΟΣ ΤΟΥ 1981

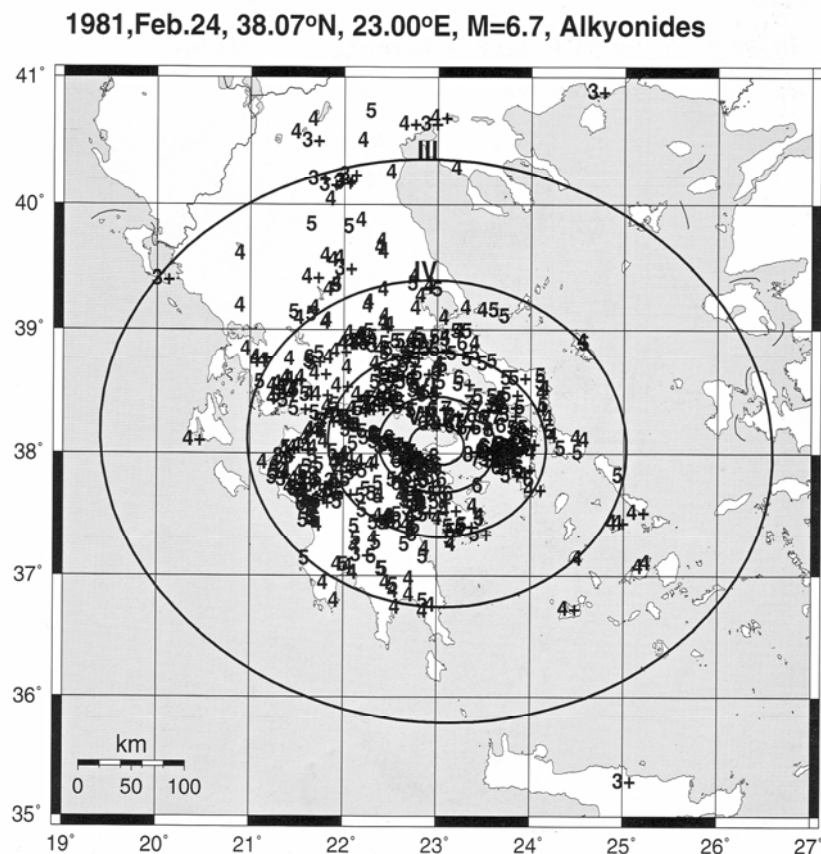


[ Φωτ. 1.1: Alkyon 1981 ]



## 1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

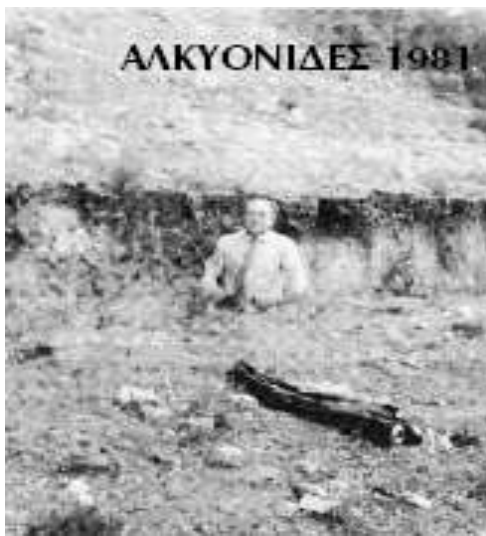
Στις 24 Φεβρουαρίου του 1981 και ώρα 20:53:37 οι Αθηναίοι σταμάτησαν να νιώθουν ασφαλείς εξ' αιτίας ενός ιδιαίτερα αισθητού σεισμού που εκδηλώθηκε. Ο ισχυρός αυτός σεισμός έγινε σε μια περιοχή του ανατολικού Κορινθιακού, στον κόλπο των Αλκυονίδων. Οι περιοχές κοντά στο επίκεντρο, δηλαδή στις Αλκυονίδες, αλλά και η περιοχή της πρωτεύουσας παρόλο που είναι σε απόσταση 77 χιλιόμετρα από το επίκεντρο, δονήθηκαν έντονα. Η δόνηση έγινε ιδιαίτερα αισθητή, λόγω του ότι ήταν ένας επιφανειακός σεισμός, αφού το εστιακό του βάθος ήταν 8 χλμ και το μέγεθός του ήταν  $M_s=6.7R$ . Οι ακριβείς συντεταγμένες του epicέντρου ήταν  $38.07^\circ N$ ,  $23.00^\circ E$  (φωτ. 1.2).



Φωτ. 1.2 Απεικόνιση των συντεταγμένων του epicέντρου του σεισμού και της κατανομής της έντασης.

[ πηγή : Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών ]

Σύμφωνα με τα στοιχεία του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, ο σεισμός προήλθε από τη ζώνη ρηγμάτων του ανατολικού Κορινθιακού που συνεχίζεται με τη μορφή τόξου και περικλείει την Αττική από βορρά έως νότο (Φωτ. 1.3). Όπως αναφέρει και ο κ. Παπαδόπουλος, διευθυντής ερευνών στο Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, ο ανατολικός Κορινθιακός είναι η σημαντικότερη σεισμική εστία που βρίσκεται σε απόσταση ικανή να επηρεάσει την Αττική.



Φωτ. 1.3

Απεικόνιση ενός σημείου του ρήγματος που δημιουργήθηκε.

[ πηγή : από την ηλεκτρονική σελίδα του Ο.Α.Σ.Π. ]

Εξ' αιτίας του επιφανειακού ισχυρού αυτού σεισμού επλήγησαν σοβαρά και οι νομοί Κορινθίας, Βοιωτίας, Φωκίδας, Εύβοιας και φυσικά ο νομός Αττικής, όπου «χτυπήθηκε» από τον σεισμό η Αθήνα η πλέον πυκνοδομημένη περιοχή.

Οι συνέπειές του στην Αττική ήταν πολλές. Ανθρωπιστικές, λόγω των θανάτων και τραυματισμών που προκλήθηκαν κατά τις καταρρεύσεις των κτιρίων. Οικονομικές, εξ' αιτίας των βλαβών που προκάλεσε η σεισμική κίνηση στις οικοδομές. Ψυχολογικές, που οφείλονταν στην όλη αναστάτωση που προκλήθηκε από τον σεισμό.

Συγκεκριμένα, οι συνέπειες πρωτίστως εντοπίστηκαν στις ανθρώπινες απώλειες, αφού συνολικά είκοσι άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους και δεκάδες τραυματίστηκαν. Εν συνεχεία στην «επίδραση» του σεισμού στις κατασκευές και συγκεκριμένα στις

βλάβες - καταστροφές που προκλήθηκαν. Ο αριθμός των κτιρίων που επλήγησαν και υπέστησαν σοβαρές ζημιές ήταν πολύ μεγάλος. Αναλυτικά 85000 κτίρια περίπου έπαθαν βλάβες. Από αυτά τα 22554 χαρακτηρίστηκαν ως μη επισκευάσιμα.

Σε κάποιες περιοχές κοντά στο επίκεντρο παρατηρήθηκαν ακόμα φαινόμενα ρευστοποίησης, πτώσεις βράχων και ασθενές θαλάσσιο κύμα βαρύτητας.

## **1.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΕΛΑΦΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ**

Η διάδοση της έντασης του σεισμού που επιδρά στις κατασκευές, ποικίλει και εξαρτάται από τη σύνθεση και το είδος των διαφόρων πετρωμάτων. Ο εντοπισμός και η μελέτη της ποιότητας των τοπικών εδαφών μετά και από τον σεισμό του 1981 αποτέλεσε έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες για τον προσδιορισμό των μεταβολών της σεισμικής εντάσεως.

Για τον προσδιορισμό επομένως των σεισμικών δυνάμεων είχαν τοποθετηθεί από παλαιότερα όργανα καταγραφής των σεισμικών δονήσεων, που είναι επικίνδυνες για την ασφάλεια των κατασκευών, οι επιταχυνσιογράφοι. Από την ανάλυση των καταγραφών των όσων εγκατεστημένων επιταχυνσιογράφων, προέκυψαν λοιπόν τα κύρια χαρακτηριστικά του σεισμού, η επιτάχυνση και τα φάσματα απόκρισης που ήταν ιδιαίτερα χρήσιμα για την μελέτη της συμπεριφοράς των κατασκευών κατά τον σεισμό της 24<sup>ης</sup> Φεβρουαρίου.

### **1.2.1 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΕΛΑΦΩΝ**

Η πόλη της Αθήνας θεμελιώνεται στον σχιστόλιθο των Αθηνών, που ανήκει στο θεμελιώδες στρώμα του στερεού φλοιού. Η επέκτασή της όμως και τα προάστια εδράζονται σε δυσμενή εδάφη θεμελίωσης, που αύξησαν και αυξάνουν την σεισμική επικινδυνότητα της πόλης. Επομένως το έδαφος συνολικά των περιοχών της πρωτεύουσας χωρίζεται στις εξής δύο ακόλουθες κατηγορίες:

- ◆ *το βραχώδες - ημιβραχώδες έδαφος.* Είναι επεκτεινόμενο σε αρκετή έκταση και βάθος και δεν παρουσιάζει έντονη ρηγμάτωση. Είναι έδαφος αποτελούμενο δηλαδή από βράχο, σκληρό αμμοχάλικο και γενικά στρωσιγενή πετρώματα όπως ασβεστόλιθο, μάρμαρο, αργιλικό σχιστόλιθο κλπ.
- ◆ *το μαλακό έδαφος.* Είναι αλλούβιο αποτελούμενο από μαλακές δελταϊκές αποθέσεις.

### 1.3 ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΟΝΗΣΗΣ

Η συμπεριφορά των κατασκευών ύστερα από την ισχυρή δόνηση των Αλκυονίδων μελετήθηκε από την ανάλυση των καταγραφών των επιταχυνσιογράφων. Το φάσμα απόκρισης που προέκυψε από τις καταγραφές είναι το διάγραμμα στο οποίο σημειώνεται για κάθε τιμή της φυσικής περιόδου ταλαντώσεως μονοβάθμιου συστήματος, η αντίστοιχη μέγιστη τιμή του ερευνούμενου μεγέθους (επιτάχυνση, ταχύτητα και μετατόπιση). Οι καμπύλες των φασμάτων εμφάνισαν τις μεταβολές των συχνοτήτων της εδαφικής κίνησης και οδήγησαν στην εκτίμηση της συμπεριφοράς των κατασκευών έναντι του σεισμού.

Σύμφωνα με τις μέχρι τότε εκτιμήσεις τα φάσματα σχεδιασμού είχαν προσδιορισθεί για την περιοχή της Αθήνας για ποικίλες εδαφικές συνθήκες και για απόσταση 80 km με σεισμό  $M = 6-7R$  ως ακολούθως:

- Για βραχώδες - ημιβραχώδες έδαφος 0.09 g
- Για μαλακό έδαφος 0.11 - 0.13 g

Οι παραπάνω τιμές ήταν οι μέγιστες προβλεπόμενες επιταχύνσεις για τις δύο κατηγορίες εδαφικών συνθηκών της ευρύτερης περιοχής των Αθηνών.

Κατά τον σεισμό που έδωσαν οι Αλκυονίδες εκτιμήθηκε η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση στην Αθήνα περίπου 0.15g για  $T_0 = 0.7-0.9$  sec για σκληρό έδαφος. Από την τιμή αυτή αντιλαμβάνεται κανείς επομένως ότι οι επιπονήσεις που δέχτηκαν τα κτίρια ήταν πολύ μεγαλύτερες από αυτές που είχαν προβλεφθεί.

Κάποιο διάγραμμα δυστυχώς, το οποίο θα αποτύπωνε τις τιμές αυτές και θα βοηθούσε καλύτερα στην διερεύνηση της συμπεριφοράς των κτιρίων, δεν βρέθηκε. Η έλλειψη αυτή στοιχείων, όπως προαναφέρθηκε, ερμηνεύεται λόγω του ότι συνέβη δεκαετίες πριν και η μη ύπαρξη τότε ψηφιακής συγκέντρωσης και μετάδοσης πληροφοριών, συνέβαλλε στην μη εύρεση αναλυτικών καταγραφών και διαγραμμάτων, που αφορούσαν το συγκεκριμένο σεισμό.

## **1.4 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΤΙΡΙΩΝ ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ**

Ο σεισμός της 24<sup>ης</sup> Φεβρουαρίου 1981, επέφερε σημαντικές καταστροφές στο δομημένο περιβάλλον. Τα κτίρια της ευρύτερης περιοχής των Αθηνών που χτυπήθηκαν την περίοδο εκείνη από τον σεισμό δεν ήταν όμοια. Ανάλογα με το έτος κατασκευής τους, διέφεραν ως προς το είδος του δομικού τους συστήματος. Είχαν δηλαδή διαφορετικά κριτήρια σχεδιασμού, ανάλογα με την χρονολογία κατασκευής.

Το έτος μελέτης επομένως του κάθε κτιρίου χαρακτηρίζει τις προϋποθέσεις με τις οποίες σχεδιάστηκε. Μέχρι την περίοδο του σεισμού των Αλκυονίδων τα κτίρια της Αθήνας ήταν μελετημένα και σχεδιασμένα ως εξής: Τα παλαιότερα, δηλαδή αυτά που είχαν χτισθεί μέχρι και τη δεκαετία του '50, δεν πληρούσαν απαιτήσεις αντισεισμικότητας. Ήταν κτισμένα κυρίως με βάση την μέχρι τότε εμπειρία των κατασκευαστών τους.

Οι σεισμοί όμως που συνέβαιναν στον Ελλαδικό χώρο και συγκεκριμένα στην πρωτεύουσα ήταν ένα σύνηθες φαινόμενο και οι καταστροφές που κατά συνέπεια προέκυπταν στα κτίρια ήταν πολλές και σημαντικές. Για τον λόγο αυτό η Πολιτεία δημιούργησε τον 1<sup>ο</sup> Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό το 1959. Στόχος του Κανονισμού ήταν η κατασκευή ανθεκτικότερων κτισμάτων, ώστε να αποφευχθούν οι ανθρώπινοι τραυματισμοί, αλλά και απώλειες που συνέβαιναν κατά τον σεισμό. Σύμφωνα με τον Κανονισμό αυτό τα κτίρια σχεδιάζονταν πλέον, με τιμή εδαφικής επιτάχυνσης σχεδιασμού, η οποία ήταν 0.04g.

Λόγω των διαφορών αυτών και φυσικά των εδαφικών συνθηκών, η συμπεριφορά των κτιρίων κατά τον σεισμό δεν ήταν όμοια. Για την ακριβή μελέτη και εκτίμηση της σεισμικής τους συμπεριφοράς κρίνεται σκόπιμη αρχικά η ταξινόμησή τους σε κατηγορίες.

### **1.4.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ**

Σύμφωνα με το δομικό του σύστημα, την χρονολογία κατασκευής και το σύστημα ανάληψης των φορτίων, επιχειρείται στην παρούσα εργασία μια ταξινόμηση των κτιρίων των Αθηνών της περιόδου εκείνης στις ακόλουθες τέσσερις κατηγορίες:

- ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ Α: Σ' αυτήν ανήκουν τα παλαιά, έως και το '50, κτίρια των Αθηνών. Τα υλικά κατασκευής της τοιχοποιίας τους ήταν από πέτρες ή τούβλα, που συνδέονταν με ασβέστη ή σε λιγότερες περιπτώσεις με τσιμέντο. Χρησίμευαν για κατοικίες ή καταστήματα και ήταν κυρίως ισόγεια κτίσματα. Τα περισσότερα είχαν κτισθεί χωρίς να στηρίζονται σε κάποιο αντισεισμικό πλαίσιο, παρά στις γνώσεις των κατασκευαστών τους. Στατική μελέτη δηλαδή δεν γινόταν για τον σχεδιασμό των κτιρίων αυτών. Σε κάποια από τα νεότερα αυτά κτίρια υπήρχαν σενάζ από ξύλο ή σκυρόδεμα ή ξύλινα διαγώνια δεσίματα.
- ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ Β : Την αποτελούν τα κτίρια νεότερης κατασκευής που είχαν σχεδιαστεί σύμφωνα με τον 1<sup>ο</sup> Αντισεισμικό Κανονισμό του 1959. Χρησιμοποιούνταν ως κατοικίες ή γραφεία. Ο φέροντας σκελετός τους ήταν από επιτόπου εγχυόμενο οπλισμένο σκυρόδεμα και οι τοιχοποιίες πλήρωσης ήταν άοπλες από τρυπητά τούβλα. Τα πρώτα κτίρια της κατηγορίας αυτής, αυτά στις αρχές της δεκαετίας του '60, είχαν τοιχώματα. Ο αριθμός των ορόφων τους εξαρτιόταν από τους περιορισμούς ύψους της περιοχής της χρονιάς κατασκευής τους. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν και τα κτίρια της δεκαετίας του '70 και έπειτα που πληρούσαν τις αντισεισμικές προϋποθέσεις του Κανονισμού του '59, αλλά είχαν ανοιχτό ισόγειο, τη γνωστή πυλωτή. Η κατασκευή κτιρίων με πυλωτή ξεκίνησε την δεκαετία εκείνη, γιατί τότε ο Γενικός Οικοδομικός Κανονισμός επέτρεψε την ύπαρξή της.
- ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ Γ : Σ' αυτήν εντάσσονται τα ειδικά κτίρια. Λέγοντας ειδικά εννοούνται τα κτίρια με κατόψεις μεγάλων διαστάσεων, εμπορικής ή βιομηχανικής χρήσης, σχολεία, νοσοκομεία κλπ. Τα κτίρια αυτά είχαν σχεδιαστεί σύμφωνα με τον Κανονισμό του 1959 και επομένως τα υλικά κατασκευής τους, αλλά και οι γενικότερες προϋποθέσεις μελέτης τους ήταν όμοιες με αυτές των κτιρίων της κατηγορίας Β.
- ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ Δ : Στην Αθήνα εκτός από τα κτίρια κατοικίας, εμπορικής και βιομηχανικής χρήσης υπήρχαν και τα κτίρια αρχιτεκτονικής κληρονομιάς. Αυτά μετρούν χιλιετίες ζωής και φυσικά είχαν κτισθεί χωρίς ειδικά μέτρα.

## **1.5 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΤΙΡΙΩΝ ΚΑΙ ΒΛΑΒΕΣ**

Σύμφωνα με τις σημειώσεις του σεμιναρίου σεισμολογίας και αντισεισμικών κατασκευών, που έλαβε χώρα στην Αθήνα το 1981, εκτιμάται ότι οι κατασκευές της πρωτεύουσας συμπεριφέρθηκαν ως εξής: Αυτές, οι οποίες είχαν κατασκευαστεί με βάση τον Αντισεισμικό Κανονισμό του '59 και ήταν κτίρια της κατηγορίας Β, με φέροντα σκελετό από οπλισμένο σκυρόδεμα, με πολλές και καλές τοιχοποιίες από τούβλα, σχετικά μικρό αριθμό ορόφων και μικρά ανοίγματα, συμπεριφέρθηκαν αρκετά ικανοποιητικά κατά τον σεισμό. Παρουσίασαν ένα μικρό μόνο ποσοστό βλαβών, ο οποίος ήταν επισκευάσιμος.

Αντίθετα ιδιαίτερα προβληματικές αποδείχθηκαν αυτές, οι οποίες κτίστηκαν από την δεκαετία του '70 και έπειτα. Τα κτίρια αυτά κατασκευάζονταν σύμφωνα με τον Κανονισμό (1959), αλλά με όροφο χωρίς καθόλου τοιχοποιία (κατηγορία Β), με λίγους τοίχους πληρώσεως και με μεγάλα ανοίγματα (κατηγορία Γ). Το αποτέλεσμα ήταν να παρουσιάσουν σοβαρά προβλήματα στις τοιχοποιίες και στα φέροντα στοιχεία και αρκετά τελικά από αυτά να καταρρεύσουν.

Εκτός όμως από τις κατασκευές αυτές, κύρια πηγή διακινδύνευσης αποδείχθηκαν κατά τον σεισμό ότι ήταν και οι κατασκευές παλαιού τύπου, της κατηγορίας Α, οι οποίες υπέστησαν σοβαρότατες βλάβες και ήταν οικονομικά ασύμφορες για επισκευή.

Μειωμένη αντοχή όμως και πολλές βλάβες παρουσίασαν και τα κτίρια που είχαν υποστεί φθορές και δεν είχαν συντηρηθεί και που είχαν υποστεί αυθαίρετες τροποποιήσεις από τους ιδιοκτήτες τους, όπως καθαιρέσεις τοιχοποιιών για δημιουργία μεγαλύτερων χώρων.

Τέλος τα κτίρια πολιτιστικής κληρονομιάς επέδειξαν αξιόλογη σεισμική συμπεριφορά, αφού παρατηρήθηκαν σ' αυτά ελάχιστες και ασήμαντες ουσιαστικά ζημιές.

### **1.5.1 ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΒΛΑΒΩΝ**

Η μελέτη των αποτελεσμάτων ενός ισχυρού σεισμού, όπως αυτού της 24<sup>ης</sup> Φεβρουαρίου, έχει ιδιαίτερη σημασία για τον



μηχανικό. Συγκεκριμένα, είναι ιδιαίτερα χρήσιμη και αναγκαία η προσεκτική παρατήρηση, ανάλυση και αξιολόγηση των βλαβών. Μέσω των απαραίτητων αυτών ενεργειών εκτιμάται η συμπεριφορά των κατασκευών σε οριακές καταστάσεις καταπονήσεων και οδηγείται ο μηχανικός μέσω της γνώσης στην ορθότερη σχεδίαση νέων αντισεισμικών κατασκευών.

Η επέκταση των βλαβών στις κατασκευές, με βάση τα στοιχεία που δόθηκαν από το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του Αστεροσκοπείου Αθηνών από τον ισχυρό σεισμό του '81 ήταν πολύ μεγάλη. Από τους ελέγχους (αυτοψίες) που έγιναν μετά τον σεισμό και που παρουσιάζονται στις σημειώσεις του σεμιναρίου σεισμολογίας και αντισεισμικών κατασκευών, με σκοπό να προκύψουν συμπεράσματα για την σεισμική συμπεριφορά των κτιρίων, οι βλάβες εκτιμήθηκε να ταξινομηθούν ως εξής:

❖ Βλάβες στον φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Οι βλάβες που παρουσιάστηκαν στα φέροντα στοιχεία των νεότερων κατασκευών, στα κτίρια δηλαδή της κατηγορίας Β, από οπλισμένο σκυρόδεμα ήταν διαφόρων βαθμών. Παρατηρήθηκε από απλή ρηγμάτωση μικρού πλάτους έως και μεγάλες ρηγματώσεις με τοπική αποδιοργάνωση σκυροδέματος.

❖ Βλάβες στις τοιχοποιίες πληρώσεως.

Στα κτίρια - κατηγορίας Β και Γ - με σκελετό από οπλισμένο σκυρόδεμα οι βλάβες στις τοιχοποιίες πληρώσεως ήταν οι συνηθέστερες, αφού η τοιχοποιία επέδρασε σημαντικά στην ακαμψία του φέροντος οργανισμού.

❖ Βλάβες στις φέρουσες τοιχοποιίες.

Οι περισσότερες και σημαντικότερες βλάβες εντοπίστηκαν στα κτίρια της κατηγορίας Α που είχαν κατασκευαστεί κατά την δεκαετία του '50 και ήταν από άοπλη φέρουσα πλινθοδομή ή λιθοδομή. Σ' αυτά παρατηρήθηκαν από εκτεταμένες ρηγματώσεις έως και καταρρεύσεις.

Από τις ζημιές που προκλήθηκαν από τον σεισμό, εκτιμάται, ότι σ' ένα μεγάλο βαθμό, με γνώμονα τις σημειώσεις του σεμιναρίου οφείλονται:

- στην μορφολογία της κατασκευής. Εμφανίστηκαν δηλαδή βλάβες σε κατασκευές ενιαίας λειτουργίας με περίπλοκη και μεγάλη κάτοψη (ειδικά κτίρια κατηγορίας Γ), σε κατασκευές που είχαν πλάκες διαφορετικής στάθμης και σε κατασκευές (κατηγορίας Β)

- με τα λεγόμενα ανοιχτά ισόγεια (πυλωτή)
- στην πρόσκρουση γειτονικών κτιρίων με διαφορετικές στάθμες.
  - στις κατασκευαστικές ατέλειες και παραλήψεις στα νεότερα κτίρια της κατηγορίας Β. Αυτές κυρίως οφείλονται στη κακή διάστρωση του σκυροδέματος κυρίως στις περιοχές με πυκνό οπλισμό, στις ανεπαρκείς αγκυρώσεις των οπλισμών, στις ρηγματώσεις σε θέσεις αρμών διακοπής εργασίας.
  - στη συμπεριφορά των τοιχωμάτων ακαμψίας. Τα τοιχώματα εμφάνισαν λοξές ρηγματώσεις που οφείλονται στην χαμηλή διατμητική αντοχή.

## 1.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Την περίοδο που συνέβη ο σεισμός των Αλκυονίδων ο δομικός ιστός της πρωτεύουσας υπέστη πολλές ζημιές. Τα κτίρια της Αθήνας ήταν σχεδιασμένα ως εξής:

- τα παλαιότερα, χωρίς κανένα αντισεισμικό μέτρο και συνηθέστερα με γνώμονα την εμπειρία των κατασκευαστών τους
- τα νεότερα, με βάση τον Αντισεισμικό Κανονισμό του 1959.

Στο σύνολό τους τα δομήματα ήταν σχεδιασμένα σύμφωνα με τον Κανονισμό αυτό, που στόχευε στην καλύτερη αντιμετώπιση του σεισμικού κινδύνου. Δηλαδή στην εξασφάλιση περιορισμένων βλαβών.

Ο συντελεστής τότε σεισμικής επιβάρυνσης για την Αθήνα ήταν 0.09 και ~0.12 για εδάφη μικρής (σκληρά) και μεγάλης (μαλακά) αντίστοιχα σεισμικής επικινδυνότητας.

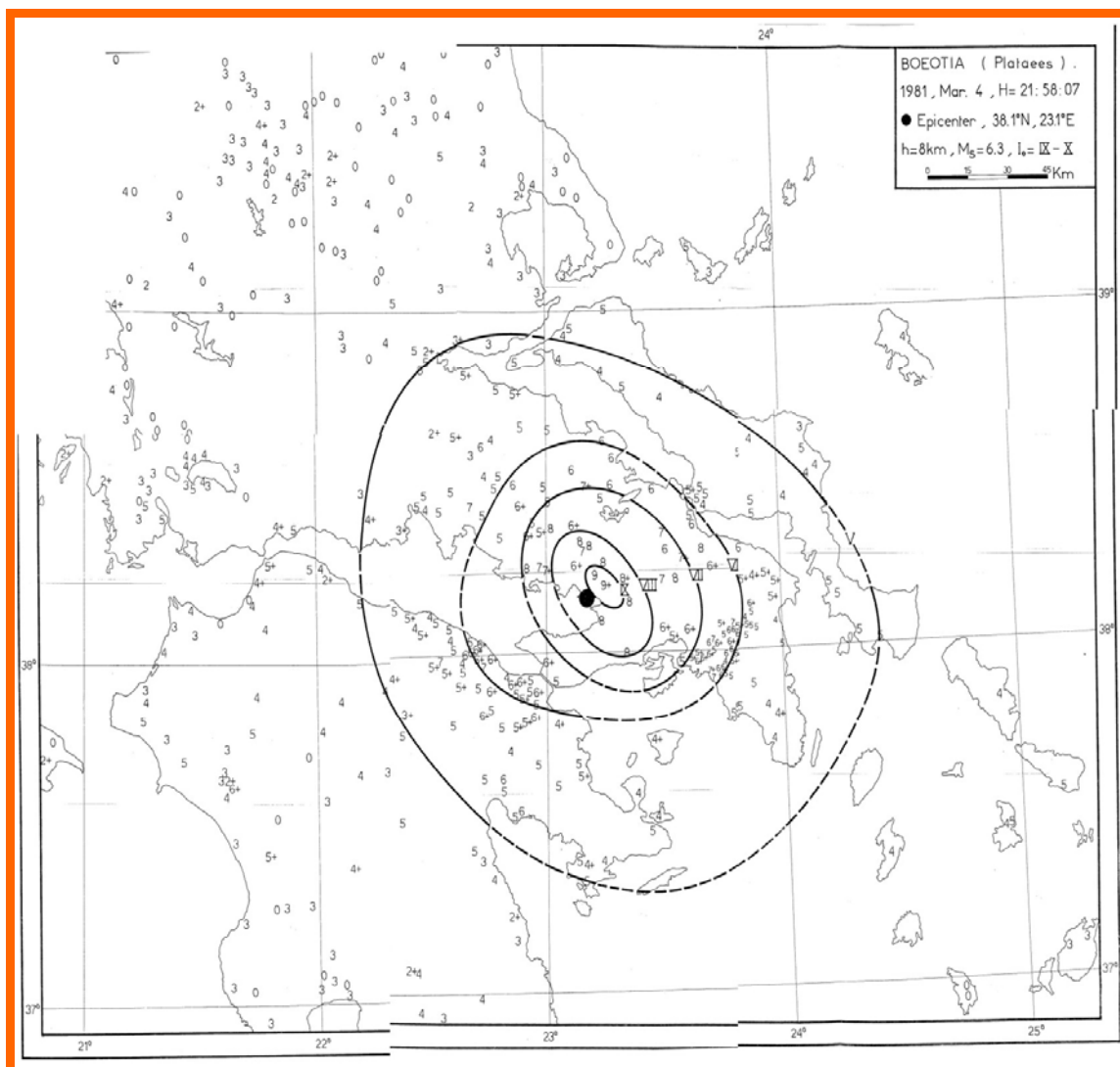
Η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση, όπως μετρήθηκε, όμως κατά τον σεισμό του '81 ήταν 0.15g, πολύ μεγαλύτερη από την προβλεπόμενη. Αυτός ήταν ένας λόγος που το συγκεκριμένο σεισμικό γεγονός θεωρήθηκε και θεωρείται ένα από τα πλέον αισθητά και καταστροφικά του Ελλαδικού χώρου.

Με βάση λοιπόν την διεθνή εμπειρία ανάλογων σεισμικών φαινομένων και με τη γνώση της σεισμικής δραστηριότητας του '81 και συγκεκριμένα των τεκτονικών, γεωλογικών και εδαφικών συνθηκών, αλλά και των τεχνολογικών δυνατοτήτων, έγινε το 1984 μια σημαντική τροποποίηση του Κανονισμού του 1959. Σκοπός ήταν η καλύτερη γενική συμπεριφορά των κτιρίων έναντι της σεισμικής δράσης, ώστε αν παρουσιαστούν βλάβες να είναι ελεγχόμενες. Γι' αυτό και υπήρξε αύξηση του σεισμικού συντελεστή.

Πιο συγκεκριμένα ο τροποποιημένος Κανονισμός στόχευε στην αντιμετώπιση των αδυναμιών του προηγούμενου που αφορούσαν τα νεότερα κτίρια (δεκαετίας 70 και έπειτα) με μεγάλα ανοίγματα, λίγους τοίχους πληρώσεως και ορόφους χωρίς σχεδόν καθόλου τοιχοποιία (πυλωτή).

Συμπερασματικά λοιπόν ο σεισμός του '81, μέσα δυστυχώς και από τα δυσάρεστα αποτελέσματά του, συνέβαλλε στην διεθνή κατανόηση του φαινομένου και στην ανάπτυξη μιας ασφαλέστερης σεισμολογικής τεχνικής υποδομής.

## 1.7 ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΣΕΙΣΜΟΥ ΑΘΗΝΑΣ 24-2-1981



Φωτ. 1.4

Απεικόνιση επικέντρου, κατανομής εντάσεως και των αντίστοιχων με την ένταση βαθμών βλαβών που υπέστη το δομημένο περιβάλλον.

[ πηγή: Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του Αστεροσκοπείου Αθηνών ]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

### Ο ΣΕΙΣΜΟΣ ΤΟΥ 1999

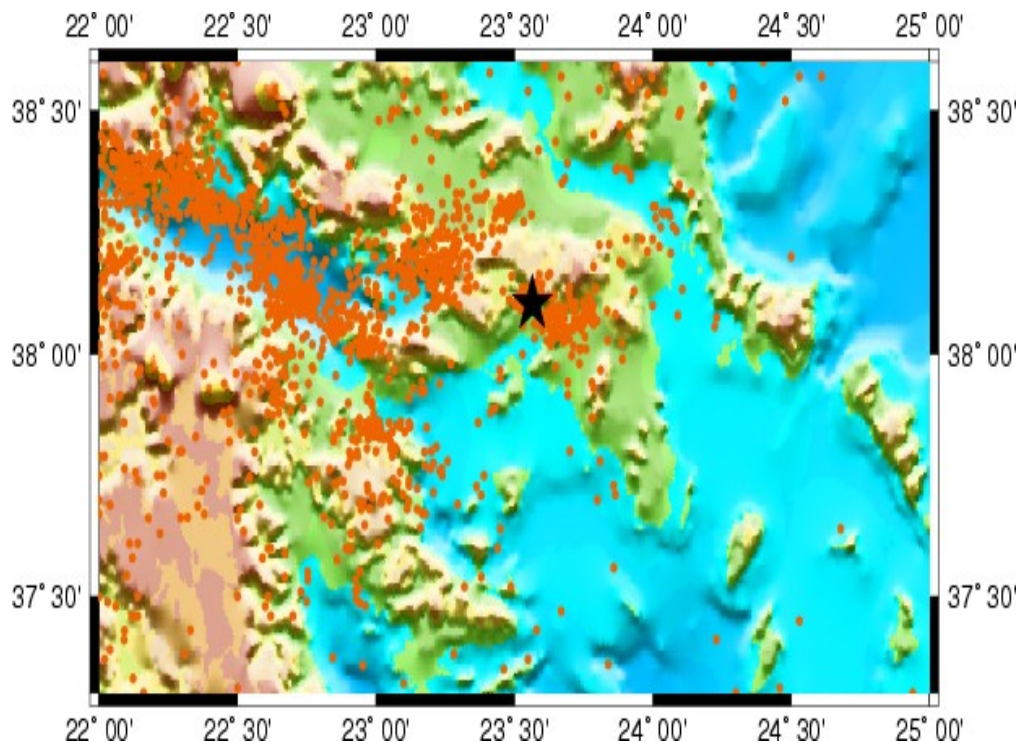


[ Φωτ. 2.1: Απεικόνιση επίκεντρου σεισμού Αθήνας ]

## 2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Ένας ισχυρός σεισμός εκδηλώθηκε στην Αθήνα στις 7 Σεπτεμβρίου του 1999 και ώρα 14:57. Η Αθήνα την ημέρα εκείνη δονήθηκε έντονα, αφού το επιφανειακό μέγεθος του σεισμού ήταν  $M_s = 5.9R$ . Το επίκεντρο του εντοπίστηκε σε απόσταση 18 km από το κέντρο της Αθήνας, στις νοτιοδυτικές παρυφές της Πάρνηθας, με ακριβείς συντεταγμένες  $38.09^\circ N, 23.63^\circ W$  (Φωτ. 2.2). Ήταν ένας επιφανειακός σεισμός, αφού το εστιακό του βάθος ήταν  $h \sim 11\text{km}$ . Η σεισμική του ροπή υπολογίστηκε σε  $7 \times 10^{17} \text{ Nm}$ .

Σύμφωνα με τα στοιχεία που έδωσε το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο Αθηνών, ο μηχανισμός γένεσης του προσδιόρισε «κανονικής» μορφής διάρρηξη. Δηλαδή η υπερκείμενη «πλάκα» του ρήγματος διολίσθησε προς τα κάτω, με διεύθυνση στο επίπεδο του ρήγματος μεταξύ  $36^\circ$  και  $47^\circ$  νοτιοδυτικά.



Φωτ. 2.2 Απεικόνιση επικέντρου σεισμού Αθήνας στις 7-9-1999.

[ πηγή: ηλεκτρονική σελίδα του Πανεπιστημίου Αθηνών, τμήματος Γεωλογίας, τομέας Γεωφυσικής – Γεωθερμίας]

Ο εν λόγω σεισμός δεν ήταν αναμενόμενος. Το επίκεντρο του ήταν σε μια περιοχή σεισμικά αδρανής και επομένως θεωρούμενης σεισμικά χαμηλής επικινδυνότητας, δεδομένου του ότι είχε να δώσει σεισμούς τα τελευταία 200 χρόνια.

Ο ισχυρός αυτός σεισμός έπληξε την μητρόπολη, την πλέον πυκνοδομημένη περιοχή της χώρας. Εξαιτίας των σημαντικότερων κοινωνικών, αλλά και οικονομικών επιπτώσεών του, αποτέλεσε ένα από τα σημαντικότερα, καταστροφικά και απρόβλεπτα σεισμικά γεγονότα των τελευταίων δεκαετιών.

Οι επιπτώσεις του κυρίως εντοπίζονται στα αποτελέσματα του στο δομημένο περιβάλλον, γιατί σε αρκετές περιπτώσεις υπήρξαν εκτός από τις βλάβες και απώλειες ανθρωπίνων ζώων.

Με τον όρο «δομημένο περιβάλλον» εννοούνται όλα τα κτίρια της ευρύτερης περιοχής των Αθηνών. Από τα κτίρια λοιπόν της αστικής και βιομηχανικής ζώνης των Αθηνών, αυτά που υπέστησαν τις σημαντικότερες και εκτενέστερες ζημιές έως και καταρρεύσεις, ήταν αυτά που βρίσκονταν στις βορειοδυτικές περιοχές. Η θέση των κτιρίων αυτών δηλαδή ήταν στις περιοχές βορειοανατολικά του epicέντρου, στη διεύθυνση της σεισμικής διάρρηξης. Τις περιοχές αυτές αποτελούν οι Δήμοι Αχαρνών, Άνω Λιοσίων, Θρακομακεδόνων, Μενιδίου, Κηφισιάς, Μεταμόρφωσης.

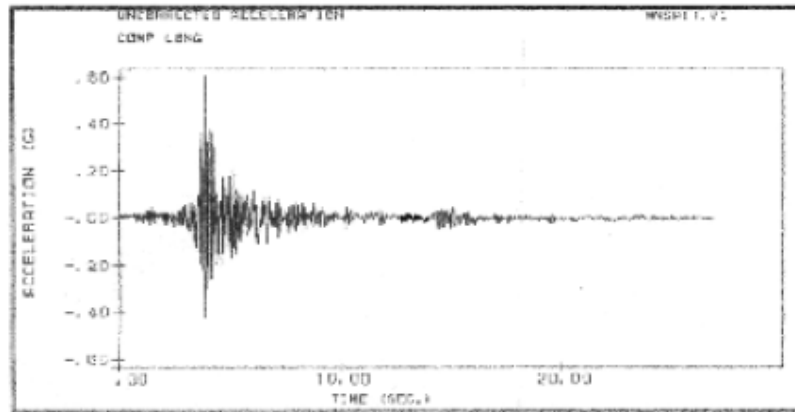
Κάποιες ζημιές, μικρότερης εκτάσεως, παρατηρήθηκαν και στους υπόλοιπους Δήμους της Αττικής, αλλά και σε ορισμένες περιοχές της Βοιωτίας.

Τα κτίρια των Αθηνών είχαν σχεδιαστεί, στην πλειοψηφία τους, με βάση τον παλαιό Αντισεισμικό Κανονισμό, ο οποίος προέβλεπε τη χρήση σεισμικών συντελεστών της τάξης των 0.04, 0.06 και 0.08 για σκληρά, μέσης σκληρότητας και μαλακά εδάφη αντίστοιχα.

Την ισχυρή σεισμική κίνηση της 7<sup>ης</sup> Σεπτεμβρίου κατέγραψαν 17 επιταχυνσιογράφοι στο νομό Αττικής από τα μόνιμα δίκτυα του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, του ΙΤΣΑΚ και της ΔΕΗ. Οι επιπλοήσεις που δέχτηκαν τα κτίρια ήταν πολύ μεγαλύτερες από αυτές βάση των οποίων είχαν σχεδιαστεί. Αυτό φάνηκε και από τις τιμές που έδωσαν τα επιταχυνσιογραφήματα (Φωτ. 2.3).

Όπως παρουσιάζεται και στην εικόνα 2.3 της επόμενης σελίδας η οριζόντια συνιστώσα ξεπέρασε το 0.5g, ενώ η κατακόρυφη εκτιμήθηκε ότι πλησίασε το g. Η τιμή της κατακόρυφης συνιστώσας εκτιμήθηκε, λόγω του ότι δεν υπήρχε εγκατεστημένο δίκτυο επιταχυνσιογράφων, κοντά στο επίκεντρο.

Αυτό συνέβη γιατί όπως προαναφέρθηκε δεν προβλεπόταν η περιοχή της Πάρνηθας και το συγκεκριμένο ρήγμα να δώσει τον εν λόγω σεισμό. Για τον λόγο αυτό δεν υπάρχουν καταγραφές στην επίκεντρη περιοχή και οι μέγιστες τιμές εκτιμούνται.



Φωτ. 2.3 Τιμές καταγραφής επιταχυνσιογράφου του μόνιμου δικτύου του ΙΤΣΑΚ, στο οποίο απεικονίζεται ότι η οριζόντια συνιστώσα ξεπέρασε το 0.5g



## **2.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΕΛΑΦΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ**

Το κύριο χαρακτηριστικό του σεισμού της Πάρνηθας ήταν το μικρό εστιακό του βάθος και η μικρή απόσταση του epicέντρου από την μητρόπολη. Το αποτέλεσμα ήταν οι κατασκευές να υποστούν πολλές και εκτενείς ζημιές.

Σε κάθε σεισμό εξ' αιτίας του οποίου έχουν προκληθεί αρκετές και σημαντικές δομικές βλάβες, διερευνούνται τα στοιχεία των βλαβών αυτών που παρουσιάστηκαν. Έτσι και στο σεισμό της 7<sup>ης</sup> Σεπτεμβρίου, οι συνέπειές του στις κατασκευές συσχετίζονται με την ένταση και το φασματικό περιεχόμενο της σεισμικής δόνησης. Ιδιαίτερη σημασία για τον τρόπο μετάδοσης και εκδήλωσης της εντάσεως του σεισμού είχαν οι εδαφικές και τοπογραφικές συνθήκες, βάσει των οποίων αξιολογούνται οι φασματικές επιταχύνσεις και κατά συνέπεια και οι βλάβες που προκλήθηκαν.

### **2.2.1 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΕΛΑΦΩΝ**

Με βάση την εργασία των Μπουκοβάλα και Κουρέτζη, για να μπορέσουν να οριστούν οι εδαφικές συνθήκες στις θέσεις καταγραφής, χρησιμοποιήθηκε η τεχνική για την εκτίμηση της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου, σύμφωνα πάντα με την αξιολόγηση των στοιχείων που έδωσαν τα επιταχυνσιογραφήματα. Υπολογίστηκαν δηλαδή οι λόγοι των ελαστικών φασμάτων απόκρισης των δύο οριζοντίων προς την κατακόρυφη συνιστώσα της κίνησης. Το αποτέλεσμα της τεχνικής αυτής ήταν το έδαφος των περιοχών των Αθηνών να χωρισθεί σε δύο κατηγορίες:

- ◆ τους βραχώδεις – ημιβραχώδεις σχηματισμούς, που είναι επεκτεινόμενοι σε αρκετή έκταση και βάθος και περιλαμβάνουν τις υγιείς έως μετρίως αποσάθρωμένες φάσεις του Αθηναϊκού Σχιστόλιθου, μεταμορφωμένους σχιστόλιθους και μάρμαρα, συνεκτικούς κώνους κορημάτων και μέτρια έως καλά συγκολλημένα κροκαλοπαγή ή νεογενείς μάργες.
- ◆ τα χαλαρά εδάφη, που αποτελούνται από ικανού πάχους προϊόντα αποσάθρωσης του γεωλογικού υπόβαθρου, αλλούβια με μέτρια έως πυκνή δομή ή ιστορικές και πρόσφατες

τεχνητές αποθέσεις.

Οι θεμελιώδεις περίοδοι ταλάντωσης του εδάφους, ώστε να μπορέσουν να διακριθούν οι δύο προηγούμενες κατηγορίες, ήταν : Για την πρώτη, που αποτελείται από το βραχώδεις – ημιβραχώδεις σχηματισμούς, από 0.10 έως 0.27 sec. Για την δεύτερη, που περιλαμβάνει τα χαλαρά εδάφη, από 0.20 έως 0.44 sec.

Ακολούθως, στην Φωτ. 2.4 απεικονίζονται οι δύο αυτές κατηγορίες των εδαφικών σχηματισμών.



Φωτ. 2.4 Απεικόνιση μορφολογίας εδάφους των περιοχών της πρωτεύουσας.

Οι βραχώδεις – ημιβραχώδεις σχηματισμοί φαίνονται με σκούρους χρωματισμούς και τα χαλαρά εδάφη με ανοιχτούς χρωματισμούς.

Στην φωτογραφία φαίνεται επιπλέον το επίκεντρο του σεισμού και τα ρήγματα.

[ πηγή: χάρτης του Ι.Γ.Μ.Ε που δημοσιεύτηκε στην εφημερίδα «ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ» ]

### 2.3 ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

Κάθε ισχυρού σεισμού, όπως αυτού της 7<sup>ης</sup> Σεπτεμβρίου, καταγράφεται η εδαφική επιτάχυνση από ειδικά σειсмоγραφικά όργανα, τους επιταχυνσιογράφους, εφόσον υπάρχει βέβαια εγκατεστημένο δίκτυο αυτών. Αυτοί αποδίδουν ενόργανες μετρήσεις της εδαφικής δόνησης σε συγκεκριμένη θέση. Οι μηχανικοί, με τη χρήση των δεδομένων αυτών, παρατηρούν και εκτιμούν τις επιταχύνσεις του σεισμού, ανάλογα πάντα με τις εδαφικές συνθήκες.

Την ισχυρή εδαφική κίνηση της 7<sup>ης</sup> Σεπτεμβρίου κατέγραψαν συνολικά μόνο 17 επιταχυνσιογράφοι (Φωτ. 2.5) στο νομό Αττικής. Αυτοί είναι εγκατεστημένοι, από τα μόνιμα δίκτυα του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών σε συνεργασία με την Αττικό Μετρό Α.Ε., του ΙΤΣΑΚ και της ΔΕΗ, σε πολεοδομικά συγκροτήματα, λαμβάνοντας υπόψη τη σεισμικότητα και την πολεοδομική ανάπτυξη.

Οι τιμές επιτάχυνσης που έδωσαν στο σεισμό του '99 ήταν απρόσμενα πολύ υψηλές. Αξιοσημείωτο είναι ότι οι τιμές αυτές ήταν πολύ υψηλές σε περιοχές που δεν βρίσκονταν κοντά στο επίκεντρο, αφού ο κοντινότερος επιταχυνσιογράφος βρισκόταν σε απόσταση 10 km περίπου από το πλησιέστερο άκρο του σεισμογόνου ρήγματος. Μπορεί να αναλογιστεί κανείς επομένως, πόσο πολύ πιο υψηλές από τις καταγεγραμμένες ήταν οι επιταχύνσεις στις πλειόσειστες περιοχές και έτσι μπορούν να δικαιολογηθούν και οι μεγάλης εκτάσεως βλάβες στις περιοχές αυτές.

Συγκεκριμένα, οι μέγιστες τιμές που καταγράφηκαν από τα τέσσερα πλησιέστερα στην πλειόσειστη ζώνη καταγραφικά όργανα, όπως δίνονται μέσα από την Έκθεση προς το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος των Γκαζέτα, Μπουκοβάλα κ.α., ήταν : 0.36g, 0.51g, 0.31g και 0.25g. Τις τιμές αυτές έδειξαν οι επιταχυνσιογράφοι που ήταν εγκατεστημένοι στα Σεπόλια, στο Μοναστηράκι, στο ΚΕΔΕ και στο Σύνταγμα αντίστοιχα.

Με γνώμονα τις τιμές αυτές εκτιμήθηκε, γιατί καταγραφές δεν υπήρχαν στις περιοχές κοντά στο επίκεντρο, παρόλο που το ρήγμα ήταν γνωστό, πως η επιτάχυνση του εδάφους ξεπέρασε το 0.51g. Επειδή τα κτίρια είχαν μελετηθεί για πολύ μικρότερες σεισμικές δυνάμεις, το γεγονός αυτό επέδρασε δυσμενώς πάνω σ' αυτά.

Περιοχή	Κωδικός Σταθμού	Χώρος Εγκατάστασης	Βάθος Οργάνου (m)	Τοπικές Εδαφικές Συνθήκες	Απόσταση* από προβολή ρήγματος (km)	Επιτάχυνση LONG	Επιτάχυνση TRANS	Επιτάχυνση VERT
Σεπόλια	SPL <sub>A</sub>	Υπόγειο 2-ορόφου	13	13m αλλουβιακές αποθέσεις επί σχιστολίθου	9	0.25	0.22	0.08
Σεπόλια	SPL <sub>B</sub>	Επιφάνεια Εδάφους	0	10-15 m εδάφους επί σχιστολίθου	9	0.36	0.31	0.19
Κ.Ε.Δ.Ε	ATH-03	Ισόγειο 1-ορόφου	0	μάργα	11	0.26	0.31	0.16
Μοναστηράκι	MNSA	Ελεύθερο πεδίο	0	αλλούβια- αποσασθρωμένος αθηναϊκός σχιστόλιθος	10	0.23	0.51	0.16
Σύνταγμα	SGMA	Μετρό Στάθμη -1	7	αθηναϊκός σχιστόλιθος	11	0.15	0.24	0.05
Σύνταγμα	SGMB	Μετρό Στάθμη -3	26	αθηναϊκός σχιστόλιθος	11	0.11	0.09	0.09
Χαλάνδρι	ATH-02	Υπόγειο 2-ορόφου	0	αλλούβια	12	0.11	0.16	0.09
Γ.Υ.Σ.	ATH-04	Ισόγειο 3-ορόφου	0	αλλούβια	10	0.12	0.11	0.05
Πεντάγωνο	PNT	Μετρό Στάθμη -2	15	αλλούβια	13	0.09	0.08	0.06
Νέο Ψυχικό	ATHA	Υπόγειο 3-ορόφου	0	αθηναϊκός σχιστόλιθος	12	0.08	0.10	0.11
Δάφνη	DFNA	Μετρό Στάθμη -2	13.5	3.5 m εδάφους επί σχιστολίθου	13	0.04	0.08	0.04
Νέος Κόσμος (ΦΙΞ)	FIX	Σταθμός Μετρό Στάθμη-1	15	αθηναϊκός σχιστόλιθος	12	0.09	0.12	0.05
Δημόκριτος	DMK	Ελεύθερο πεδίο	0	ασβεστόλιθος	16	0.05	0.08	0.04
Ραφήνα	RFN	-	0		30	0.08	0.01	0.03
Αλιβέρι	ALIB	-	0		54	0.02	0.02	0.01
Κερατσίνι	KERA	Υπόγειο Νομαρχίας	0		8	0.22	0.19	0.16
Λαύριο	LAVR	-	0		62	0.04	0.05	0.05

### Φωτ. 2.5

Μέγιστες τιμές επιταχύνσεως της κάθε καταγραφής, των 17 επιταχυνσιογράφων που ήταν εγκατεστημένοι στο νομό Αττικής.

[ πηγή: Έκθεση προς το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος : «Μελέτη του σεισμού της Αθήνας της 7-9-99 » ]

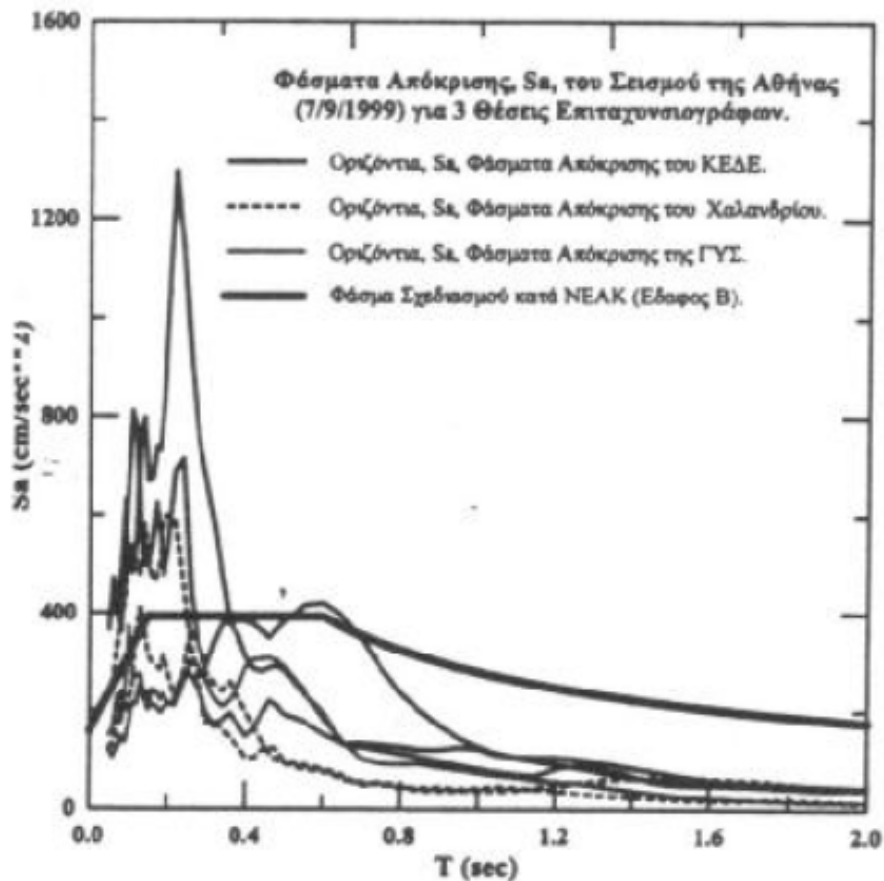
Τα φάσματα απόκρισης των επιταχυνσιογράφων για έδαφος ενδιάμεσης επικινδυνότητας έδειξαν, εξ' αιτίας του υψίσυχνου χαρακτήρα τους, τιμές μεγάλες στις μικρές περιόδους για  $T = 0.15 - 0.25$  sec, ερχόμενες σε αντίθεση με το ελαστικό φάσμα σχεδιασμού του ΝΕΑΚ1995, του οποίου οι τιμές ήταν πολύ χαμηλότερες. Το εύρος των συχνοτήτων ήταν περίπου 1.5 – 10.0 Hz, ενώ οι οριζόντιες επιταχύνσεις του εδάφους κυμαίνονταν μεταξύ 0.04 και 0.35 g. Στις περιοχές αντίστοιχα της πλειόσειστης ζώνης εκτιμήθηκε ότι οι επιταχύνσεις θα πρέπει να ήταν αρκετά υψηλές και ότι προσέγγισαν το g.

Σε μεγαλύτερες περιόδους, δηλαδή για  $T > 0.25$  sec οι φασματικές τιμές μειώνονται συναρτήσει της περιόδου και τελικά για περιόδους  $T > 0.40$  sec δίνουν προβλεπόμενες τιμές.

### 2.3.1 ΦΑΣΜΑΤΙΚΕΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΙΣ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ

Σύμφωνα με τα εγκαταστημένα καταγραφικά όργανα του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του Αστεροσκοπείου Αθηνών, του ΙΤΣΑΚ και του Αττικό Μετρό, οι σεισμικές επιταχύνσεις θεωρήθηκαν αρκετά υψηλές, τόσο για τα Ελληνικά, όσο και για τα διεθνή δεδομένα. Οι μετρηθείσες μέγιστες εδαφικές επιταχύνσεις κυμαίνονταν μεταξύ 0.05 και 0.50 g. Η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση στο επίκεντρο του σεισμού εκτιμήθηκε, από το ΙΤΣΑΚ, ίση με 0.60g.

Στο διάγραμμα της Φωτ. 2.6 που ακολουθεί φαίνεται η σύγκριση των φασμάτων απόκρισης για τρεις θέσεις επιταχυνσιογράφων, με το ελαστικό φάσμα σχεδιασμού του ΝΕΑΚ1995.



Φωτ. 2.6 Φάσματα απόκρισης τριών επιταχυνσιογράφων.  
[ πηγή : από τις εργασίες του 6<sup>ου</sup> Φοιτητικού Συνεδρίου «Επισκευές Κατασκευών 00» ]

Όπως παρουσιάζεται και στο διάγραμμα σε βραχώδη – ημιβραχώδη εδάφη, τα οποία είναι ανθεκτικά στις σεισμικές δονήσεις, οι φασματικές επιταχύνσεις ήταν υψηλές στις περιόδους από 0.10 έως 0.27 sec, με τιμές περί τα 0.35g. Συνέβησαν στις περιοχές μικρών ιδιοπεριόδων που αντιστοιχούν σε δύσκαμπτα γενικώς κτίρια με θεμελιώδη περίοδο που κυμαίνονταν μεταξύ 0.10 και 0.15 sec.

Στα χαλαρά εδάφη αντίστοιχα στις περιόδους από 0.20 έως 0.44 sec, η οριζόντια φασματική επιτάχυνση υπολογίστηκε έως 0.50g. Οι κορυφαίες τιμές στα χαλαρά εδάφη αντίθετα συνέβησαν στις περιοχές μεγάλων ιδιοπεριόδων. Αντιστοιχούν σε εύκαμπτα κτίρια με θεμελιώδη περίοδο μεταξύ 0.20 και 0.30 sec.

Στον Πιν 2.7 που ακολουθεί, ο οποίος παρουσιάζεται στο τεύχος 2115 του ΤΕΕ, δίνονται οι μέσες τιμές των μέγιστων κατακόρυφων και οριζόντιων επιταχύνσεων, ανάλογα με τον τύπο εδάφους, για τις επίκεντρες αποστάσεις έως τριών χιλιομέτρων. Η ακτίνα αυτή καλύπτει τις περιοχές, στις οποίες παρουσιάστηκαν οι σημαντικότερες βλάβες, αλλά και καταρρεύσεις κτιρίων. Επιπλέον δίνεται και η μέση ελαστική φασματική επιτάχυνση για περιόδους από 0.10 έως 0.25 sec, στις οποίες και εντοπίστηκαν οι κορυφαίες τιμές των φασμάτων αποκρίσεως και στις δύο κατηγορίες εδάφους.

	<b>Βράχοι – Ημίβραχοι</b>	<b>Μαλακά Εδάφη</b>
Μέγιστη Κατακόρυφη Επιτάχυνση	0.23 - 0.28 g	0.23 - 0.28 g
Μέγιστη Οριζόντια Επιτάχυνση	0.33 – 0.42 g	0.48 – 0.51 g
Μέση Φασματική Επιτάχυνση για T=0.10-0.25	0.68 – 0.80 g	1.05 – 1.25 g

Πιν. 2.7 Μέσες τιμές των μέγιστων κατακόρυφων και οριζόντιων επιταχύνσεων, ανάλογα με τις εδαφικές συνθήκες

## **2.4 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΤΙΡΙΩΝ**

Ο σεισμός της Πάρνηθας έπληξε την πρωτεύουσα, την πλέον πυκνοδομημένη περιοχή της χώρας. Ο τρόπος με τον οποίο συμπεριφέρθηκε η κάθε κατασκευή κατά τον σεισμό, όπως και στον σεισμό του '81, προκύπτει από την παρατήρηση και ανάλυση της κάθε βλάβης. Οι κατασκευές της Αθήνας της περιόδου εκείνης που συνέβη ο συγκεκριμένος σεισμός δεν ήταν όμοιες, αλλά διέφεραν ως προς ως προς τα κριτήρια σχεδιασμού τους, ανάλογα με την χρονολογία κατασκευής τους και κατά συνέπεια διέφεραν και οι βλάβες τις οποίες υπέστησαν. Γι' αυτό και κρίθηκε αναγκαία η ταξινόμησή τους σε κατηγορίες. Η κατηγοριοποίηση τους έχει ως στόχο την ακριβέστερη μελέτη της συμπεριφοράς τους και την καλύτερη εκτίμηση των επιπτώσεων του σεισμού στο δομημένο περιβάλλον.

### **2.4.1 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ**

Οι παράγοντες οι οποίοι διαμορφώνουν τις κατηγορίες των κτιρίων, όπως παρουσιάζονται στην εργασία του Καραμπίνη και κατά συνέπεια την σεισμική τους συμπεριφορά είναι:

- α) Πρώτα από όλα το είδος του δομικού τους συστήματος. Γίνεται διαχωρισμός δηλαδή σε κατασκευές με δομικό σύστημα από οπλισμένο σκυρόδεμα και σε αυτές από φέρουσα τοιχοποιία.
- β) Η χρήση της κατασκευής, δηλαδή εάν είναι χώρος κατοικίας, εργασίας, βιομηχανικό ή ειδικό κτίριο, είναι άλλο ένα στοιχείο που συμβάλει στην κατηγοριοποίηση.
- γ) Το μέγεθος της κατασκευής και ο αριθμός των ορόφων. Συγκεκριμένα κτίρια ενός μέχρι δύο ορόφων έως 150 m<sup>2</sup> θεωρούνται μικρού μεγέθους (μ), τριών ορόφων έως 300 m<sup>2</sup> μεσαίου μεγέθους (μM) και κτίρια με περισσότερους των τριών ορόφων και μεγαλύτερα των 300 m<sup>2</sup> θεωρούνται μεγάλου μεγέθους (M).



- δ) Η ύπαρξη γεωμετρικής μη κανονικότητας στις κατόψεις, δηλαδή τα κτίρια που έχουν κατόψεις σύνθετης μορφής, όπως L, Π, T, κλπ.
- ε) Η ύπαρξη στοιχείων με σημαντική υπερκαταπόνηση, όπως piloti ή αλλιώς “ανοιχτό” ισόγειο χωρίς τοιχοπληρώσεις.
- στ) Τέλος το είδος του δομικού συστήματος οροφής (πλάκα Ο.Σ., ξύλινη ή μεταλλική στέγη) και φυσικά τα υλικά του δομικού συστήματος ( π.χ. ωμοπλινθοδομή, οπτοπλινθοδομή, τσιμεντοπλινθοδομή, λιθοδομή ).

Σημαντικότερος όμως όλων είναι το έτος κατασκευής των κτιρίων, γιατί φαίνεται σύμφωνα με ποιο κανονιστικό πλαίσιο κατασκευάστηκε το κάθε κτίριο (Αντισεισμικός Κανονισμός Σχεδιασμού). Είναι ένας σημαντικός παράγοντας, γιατί προσδιορίζει το υλικό και το τύπο της κατασκευής και επιπλέον φαίνεται ο σεισμικός συντελεστής με τον οποίο υπολογίστηκε το κάθε κτίριο και αν αυτός τελικά επαρκούσε.

Συγκεκριμένα, τα παλαιά κτίσματα των Αθηνών ήταν κατασκευασμένα χωρίς κανένα αντισεισμικό μέτρο. Μέσα όμως από την γνώση και την εμπειρία εκφράστηκε διεθνώς η ανάγκη και η απαίτηση για την δημιουργία και εφαρμογή κανονισμών μελέτης και κατασκευής των οικοδομικών έργων.

Για το σκοπό αυτό τέθηκε σε ισχύ ο πρώτος Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός το 1959 και το 1984 έγιναν τροποποιήσεις του Κανονισμού αυτού για την καλύτερη αντιμετώπιση των αδυναμιών του και βελτίωση της ποιότητας και ασφάλειας των νέων κατασκευών.

Το 1995 έγινε μια πλήρης αναθεώρηση του υπάρχοντος μέχρι τότε Κανονισμού. Θεσπίστηκε δηλαδή ένας σύγχρονος Αντισεισμικός Κανονισμός που αξιοποιούσε την μέχρι τότε επιστημονική γνώση σε διεθνές επίπεδο και ήταν σε μεγάλο βαθμό συμμορφωμένος με τον Ευροκώδικα 8.

## 2.4.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΤΙΡΙΩΝ

Οι Λεκίδης και Καραμπίνης, στην εργασία τους “ Ο σεισμός της 7<sup>ης</sup>-9-99”, ανάλογα με το σύστημα ανάληψης των φορτίων, αλλά και με βάση όλους τους προηγούμενους παράγοντες, ταξινόμησαν τα κτίρια της ευρύτερης περιοχής των Αθηνών στις εξείς τέσσερις κατηγορίες:

- **ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ Α :** Την αποτελούν τα κτίρια από άοπλη φέρουσα τοιχοποιία, με έναν έως δύο ορόφους. Τα περισσότερα από αυτά είναι ηλικίας άνω των πενήντα ετών και είναι παλαιά κτίσματα κατοικίας ή καταστημάτων. Στην πλειοψηφία τους ήταν κατασκευασμένα χωρίς κανένα αντισεισμικό μέτρο και μόνο με βάση την μέχρι τότε εμπειρία των κατασκευαστών.

Η τοιχοποιία είχε κατασκευαστεί από πέτρες ή τούβλα με συνδετικό υλικό που περιέχει ασβέστη ή πιο σπάνια τσιμέντο ή λάσπη. Στη μειονότητά τους και στα νεότερα από αυτά κτίσματα είχε χρησιμοποιηθεί τούβλο ή σενάζ από ξύλο ή σκυρόδεμα ή ξύλινα διαγώνια δεσίματα ή πλάκες ορόφων από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Στην κατηγορία Α εντάσσονται επίσης και τα κτίρια με μικτά συστήματα. Με τον όρο “μικτά συστήματα” εννοούνται τα κτίρια παλιά, κυρίως ισόγεια, από άοπλη φέρουσα τοιχοποιία, στα οποία έγινε προσθήκη ενός ή δύο ορόφων, με φέροντα πλαισιακό σκελετό από οπλισμένο σκυρόδεμα.

- **ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ Β :** Σ’ αυτήν ανήκουν τα σύγχρονα κτίρια με φέροντα οργανισμό από επιτόπου εγχυόμενο οπλισμένο σκυρόδεμα και τοιχοποιίες πλήρωσης κατασκευασμένες από τούβλα. Ορισμένα είχαν τοιχώματα. Αποτελούνται από έναν έως δώδεκα ορόφους. Ο αριθμός των ορόφων εξαρτιόταν από τους περιορισμούς ύψους της περιοχής, της συγκεκριμένης χρονιάς κατασκευής τους.

Η θεμελίωση τους αποτελείται συνήθως από μεμονωμένα πέδιλα και συνδετήριες δοκούς.

Τα αρκετά νεότερα από αυτά κτίρια, της δεκαετίας του ’70 και έπειτα, έχουν ανοιχτό ισόγειο (πυλωτή), γιατί από εκείνη τη περίοδο και έπειτα επέτρεψε ο Γενικός Οικοδομικός

Κανονισμός την ύπαρξη πυλωτής.

Των περισσότερων η χρήση είναι κυρίως για κατοικίες και γραφεία.

Τα κτίρια της δεκαετίας του '60 και έπειτα, της κατηγορίας αυτής, είχαν κατασκευαστεί με βάση τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό του 1959. Τα μετέπειτα πάλι, από οπλισμένο σκυρόδεμα είχαν κατασκευαστεί μετά την αναθεώρηση του Αντισεισμικού Κανονισμού του 1984 και πολλά με τον πιο πρόσφατο Κανονισμό του 1995.

Στο σύνολό τους όλα τα κτίρια με τα παραπάνω στοιχεία, αποτελούσαν τον κυρίαρχο δομικό τύπο κτιρίων των περιοχών της Αττικής.

- ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ Γ : Σ' αυτήν εντάσσονται τα ειδικά κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα. Ως ειδικά κτίρια χαρακτηρίζονται τα δημόσια κτίρια, τα σχολεία, τα νοσοκομεία, τα κτίρια με κατόψεις μεγάλων διαστάσεων εμπορικής ή βιομηχανικής χρήσης. Επιπλέον εδώ εντάσσονται και τα κτίρια με μεταλλικό σκελετό. Ως επί το πλείστον είναι καθαρά βιομηχανικά κτίρια. Τα κτίρια της κατηγορίας Γ είχαν κατασκευαστεί στο σύνολό τους με βάση τους Αντισεισμικούς Κανονισμούς του 1984 και 1995.
- ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ Δ : Την αποτελούν τα κτίρια αρχιτεκτονικής κληρονομιάς. Δηλαδή τα παραδοσιακά κτίρια, τα Βυζαντινά, τα αρχαία Ελληνικά μνημεία. Είχαν χτιστεί χωρίς κανένα ειδικό αντισεισμικό μέτρο που να επιβάλλεται από κάποιο κανονιστικό πλαίσιο.

### 2.4.3 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΤΙΡΙΩΝ ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΣΕΙΣΜΟ

- ΚΤΙΡΙΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ Α : Τα κτίρια της κατηγορίας αυτής, από φέρουσα άοπλη πλινθοδομή ή λιθοδομή, ήταν κατασκευασμένα χωρίς κανένα ιδιαίτερο αντισεισμικό μέτρο και υπέστησαν σοβαρότατες βλάβες. Συγκεκριμένα υπήρξαν καταρρεύσεις εξωτερικών τοίχων και γωνιών, διαχωρισμοί τοίχων που συνέβαλλαν σε γωνία, εκτεταμένες ρηγματώσεις, μερική καταστροφή στεγών και υπήρξε έως και ολική κατάρρευση.

Στα νεότερα από αυτά κτίρια, από τούβλα, παρατηρήθηκαν μικρότερης εκτάσεως βλάβες, όπως κάποιες τριχοειδείς ρωγμές σε ορισμένους τοίχους. Οι παλαιές κατασκευές (Φωτ. 2.8) επομένως απέδειξαν κατά τον σεισμό ότι είναι κύρια πηγή διακινδύνευσης.



Φωτ. 2.8 Παλαιά κατασκευή από φέρουσα τοιχοποιία, με εμφανείς σημαντικές βλάβες από τον σεισμό.  
[ πηγή : από τις εργασίες του 6<sup>ου</sup> Φοιτητικού Συνεδρίου  
«Επισκευές Κατασκευών 00» ]

Τα μικτά πάλι κτίρια της κατηγορίας αυτής, τα οποία είναι αρκετά σε αριθμό, εξ' αιτίας της καθ' ύψος οικονομικά συμφέρουσας επέκτασής τους, συμπεριφέρθηκαν ως εξής: Ο νεότερος σκελετός αντεπεξήλθε ικανοποιητικά, αλλά το παλαιότερο τμήμα παρουσίασε σοβαρές ζημιές στις φέρουσες τοιχοποιίες.

- ΚΤΙΡΙΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ Β : Σ' αυτήν ανήκουν τα περισσότερα κτίρια της Αθήνας και σε αυτά επομένως φάνηκαν και οι περισσότερες βλάβες.

Σε αυτά που είχαν κατασκευαστεί με τον Κανονισμό του 1959 προκλήθηκαν πολλές τυπικές βλάβες έως και ολικές αστοχίες του φέροντα οργανισμού. Τα τοιχώματα αποδείχτηκαν ανεπαρκή για τον περιορισμό μετατοπίσεων και φαινομένων στρέψης. Μεγάλες ήταν και οι αστοχίες των τοιχοποιιών πλήρωσης. Δημιουργήθηκαν ακόμα και απλές αποκολλήσεις μέχρι σημαντικότερες διαγώνιες ρωγμές. Αυτό που παρατηρήθηκε κατά εξακολούθηση και ήταν η αιτία για τις εκτεταμένες βλάβες ήταν οι κατασκευαστικές ελλείψεις. Όπως οι μη επαρκείς συνδετήρες στα υποστηλώματα, με αποτέλεσμα την πρόκληση ζημιών στους κόμβους και γενικά η μη πύκνωση των συνδετήρων στις κρίσιμες περιοχές.

Προβλήματα υπήρξαν και στα πολυώροφα κτίρια, εξ' αιτίας της κρούσης τους με γειτονικά, χαμηλότερου ύψους. Στα νεότερα κτίρια προβλήματα σοβαρά, που σε ορισμένες περιπτώσεις οδήγησαν στην μερική ή και ολική κατάρρευση, υπήρξαν σε αυτά με το γνωστό «ασθενή» όροφο (πυλωτή). Αυτά αστόχησαν σε κόμβους σύνδεσης δοκών – υποστηλωμάτων του «ασθενούς» ορόφου.

Ένας επιπλέον παράγοντας που επηρέασε δυσμενώς τη σεισμική συμπεριφορά των νεότερων κτιρίων ήταν η χαμηλή ποιότητα σκυροδέματος και υλικών. Το αποτέλεσμα ήταν να προκληθούν βλάβες σε φέροντα στοιχεία και να παρατηρηθεί ακόμα πλήρης αποδιοργάνωση του σκυροδέματος.

Ολοκληρώνοντας την κατηγορία αυτή των κτιρίων, κάποια άλλα αίτια καταπόνησης ήταν η ασυμμετρία κατόψεως και ασυμμετρία καθ' ύψος. Σε ορισμένες περιπτώσεις οι ανεπαρκείς θεμελιώσεις, αλλά και η ύπαρξη μεγάλων φορτίων σε υψηλότερους ορόφους.

Στην Φωτ. 2.9 δίνεται μια περίπτωση κτιρίου της κατηγορίας Β, το οποίο υπέστη βλάβες στα στοιχεία του εξ' αιτίας της ασύμμετρης κατανομής της δυσκαμψίας σε κάτοψη και της ύπαρξης πυλωτής.



Φωτ. 2.9

[ πηγή : από τις εργασίες του 6<sup>ου</sup> Φοιτητικού Συνεδρίου  
«Επισκευές Κατασκευών 00» ]

Πάντως για τον συγκεκριμένο επιφανειακό σεισμό τέτοιας εντάσεως η σεισμική συμπεριφορά των κατασκευών, που σχεδιάστηκαν σύμφωνα με τους Κανονισμούς του 1984 και του 1995, στο σύνολό τους, αποδείχτηκε ικανοποιητική.

- ΚΤΙΡΙΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ Γ : Τα ειδικά κτίρια της κατηγορίας αυτής, όπως και τα νεότερα της κατηγορίας Β, είχαν καλή σεισμική συμπεριφορά με περιορισμένο αριθμό βλαβών, οι οποίες ήταν επισκευάσιμες.

Υπήρξαν ορισμένα κτίρια όμως βιομηχανικής χρήσης, μεγάλων κατόψεων που υπέστησαν μερική έως ολική κατάρρευση (Φωτ. 2.10). Αυτό τελικά συνέβη, όπως αποδείχτηκε, γιατί είτε υπήρχαν ελλείψεις στον οπλισμό, είτε είχαν γίνει τραγικά λάθη κατά την κατασκευή, είτε λανθασμένες παρεμβάσεις που αποδείχτηκαν μοιραίες.



Φωτ. 2.10

#### Κτίριο RICOMEX.

Μια από τις γνωστότερες περιπτώσεις καταρρεύσεων κτιρίου βιομηχανικής χρήσης, του σεισμού του '99, με πολλά θύματα.

[ πηγή : ηλεκτρονική σελίδα του Οργανισμού Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας. ]

Τα μεταλλικά κτίρια παρουσίασαν σχεδόν άριστη σεισμική συμπεριφορά. Δεν προέκυψε σχεδόν καμία ζημιά και ένας πολύ μικρός αριθμός κτιρίων που βρίσκονταν κοντά στην επίκεντρο περιοχή είχε βλάβες. Αυτές οφείλονταν σε αστοχία κοχλίων σε διάτμηση ή σε οριζόντιους συνδέσμους. Φαινόμενα, όπως αυτό του λυγισμού, δεν υπήρξαν ακόμα και σε στοιχεία που δεν ανταποκρίνονταν στις τελευταίες απαιτήσεις αντισεισμικού σχεδιασμού. Αξιόλογο επίσης είναι ότι δεν υπήρξαν αστοχίες στα κοντά υποστηλώματα, δεδομένου ότι τα αντίστοιχα από σκυρόδεμα σχεδόν διαλύθηκαν.

Άρα οι εύκαμπτες μεταλλικές κατασκευές απέδειξαν ότι έχουν πλεονεκτική συμπεριφορά έναντι των δύσκαμπτων, της ίδιας περιόδου κατασκευής, από οπλισμένο σκυρόδεμα. Η ικανοποιητική αυτή συμπεριφορά οφείλεται στο μικρό ίδιο βάρος τους, που συνεπάγεται μειωμένες αδρανειακές δυνάμεις και στο γεγονός ότι είναι ολιγόροφα.

- ΚΤΙΡΙΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ Δ : Των κτιρίων πολιτιστικής κληρονομιάς η σεισμική συμπεριφορά αποδείχτηκε για ακόμα μια φορά άριστη. Εντυπωσιακό είναι ότι τα κτίρια αυτά είναι φτιαγμένα χωρίς κανένα αντισεισμικό μέτρο που να επιβάλλεται από κάποιο Κανονισμό και ότι έχουν επιζήσει όχι μόνο από το σεισμό του '81 και του '99, αλλά και από όλες τις προηγούμενες σεισμικές διεγέρσεις που κατά καιρούς έχουν συμβεί. Ιδιαίτερα εντυπωσιακό είναι αν αναλογιστεί κανείς ότι αποτελούνται κυρίως από κομμάτια μαρμάρου που επικάθεται το ένα πάνω στο άλλο, χωρίς την ύπαρξη κάποιου συνδετικού κονιάματος. Σ' αυτά λοιπόν υπήρξαν μόνο μερικές δευτερεύουσες βλάβες, όπως κάποιες πτώσεις και θραύσεις.



### **2.5.1 ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΒΛΑΒΩΝ ΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ ΑΝΑ ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ**

Σε σειсмоγενείς περιοχές, οι κατασκευές πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε να χαρακτηρίζονται από την αντοχή και την πλαστιμότητα που απαιτείται για τις προβλεπόμενες σεισμικές δράσεις. Γιατί ο σεισμός είναι αυτός που αναδεικνύει τα λάθη και τις αστοχίες των κατασκευών. Η θεμελίωση τους γίνεται στο έδαφος, το οποίο αποτελεί το μέσο υποδοχής τους, γι' αυτό και δημιουργούνται βλάβες στα κτίρια από το σεισμό. Το κύριο και άμεσο αίτιο της εκάστοτε βλάβης είναι η σεισμική καταπόνηση που δέχεται το κάθε στοιχείο πέρα από τα όρια της αντοχής του. Συνεπώς η καταγραφή των βλαβών από επί τόπου παρατηρήσεις είναι πολύ σημαντική καθώς προκύπτουν συμπεράσματα για τη σεισμική συμπεριφορά των κτιρίων και εν συνεχεία η αξιοποίηση και επεξεργασία των αποτελεσμάτων αυτών οδηγεί στην υλοποίηση κατασκευών με περισσότερες απαιτήσεις.

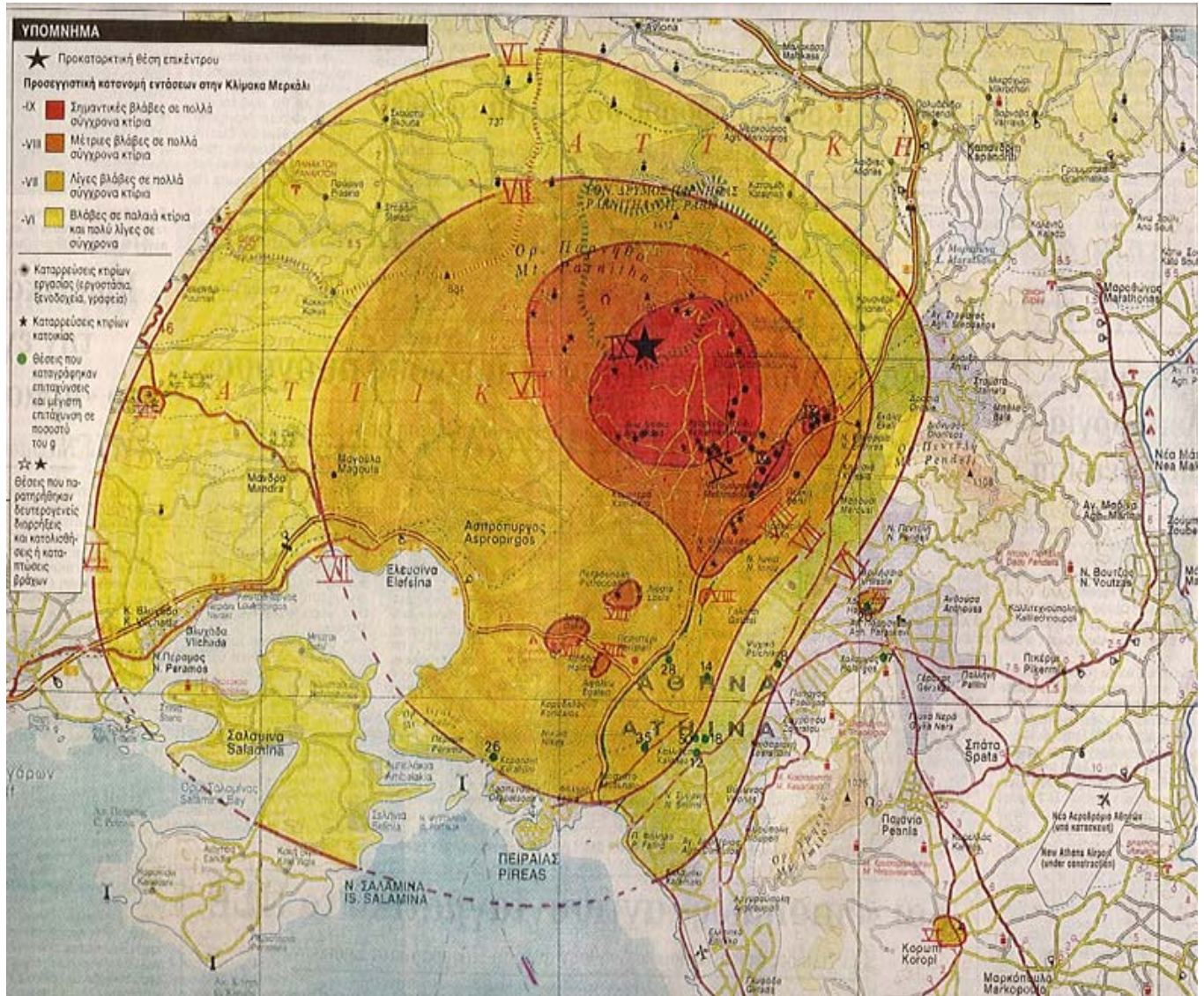
Ο σεισμός της Αθήνας, με επίκεντρο την Πάρνηθα έδειξε με τον πιο θλιβερό τρόπο ότι αρκετές κατασκευές, σχεδιασμένες και με τους παλαιότερους αλλά και με τους νεότερους Κανονισμούς, δεν συμπεριφέρθηκαν με τον πιο ικανοποιητικό τρόπο.

Η πλειονότητα των βλαβών (βλέπε Λεκίδης, 2001) παρατηρήθηκε στα κτίρια των περιοχών που βρίσκονται έως 12 km περίπου από το επίκεντρο του σεισμού, ενώ σε μεγαλύτερες αποστάσεις οι δομικές βλάβες μειώνονταν γρήγορα. Στην υπόλοιπη ευρύτερη περιοχή των Αθηνών παρουσιάστηκαν μη δομικές βλάβες, οι οποίες αφορούσαν κυρίως ρηγματώσεις τοιχοποιιών πλήρωσης. Συγκεκριμένα στις νότιες περιοχές και στις ανατολικές υπήρξε σημαντική απόσβεση της έντασης (Φωτ. 2.11), χωρίς την παρουσία σημαντικών βλαβών σε σύγχρονα κτίρια οπλισμένου σκυροδέματος.

Αντιθέτως στις υπόλοιπες, κοντά στο επίκεντρο, η ένταση μειώθηκε πολύ αργά και οι βλάβες που προκλήθηκαν ήταν αρκετές και σημαντικές. Σε αυτό συντέλεσε η μεγάλη ένταση του σεισμού και οι ελλείψεις τόσο στον σχεδιασμό (κτίρια χωρίς ουσιαστική πλαστιμότητα), όσο και στην κατασκευή.

Η συντριπτική πλειοψηφία των βλαβών που υπέστησαν τα κτίρια της ευρύτερης περιοχής των Αθηνών ήταν επισκευάσιμες. Όμως αυτό δεν σημαίνει ότι δεν ήταν σοβαρές, αφού εμφανίστηκαν

κυρίως στον σκελετό των κτιρίων, δηλαδή στα υποστηλώματα, στις δοκούς, στις πλάκες.



Φωτ. 2.11 Κατανομή των εντάσεων και των αντίστοιχων με την ένταση βαθμών βλαβών που υπέστη το δομημένο περιβάλλον. Παρατηρείται, ότι τα κτίρια κοντά στο επίκεντρο, παλαιά και σύγχρονα, εμφάνισαν σημαντικότερου βαθμού βλάβες.

[ πηγή: Γεωδυναμικό Ινστιτούτου του Αστεροσκοπείου Αθηνών]

## 2.5.1 ΒΛΑΒΕΣ ΣΕ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΚΑΙ ΤΟΙΧΟΠΟΙΕΣ ΠΛΗΡΩΣΕΩΣ

### 1. Βλάβες στα υποστηλώματα:

Οι βλάβες που προκλήθηκαν οφείλονταν σε κάμψη και παρουσιάστηκαν στα άκρα των υποστηλωμάτων, δηλαδή στην κορυφή (Φωτ. 2.12) και στην βάση τους.



Φωτ. 2.12  
Βλάβη στο επάνω μέρος υποστηλώματος, λόγω κάμψης. Συνοδεύεται με αποκάλυψη οπλισμού και μόνιμες παραμορφώσεις.

Στα σημεία αυτά όπου η καμπτική ροπή έχει τις υψηλότερες τιμές της και συνδυάζεται με υψηλή αξονική δύναμη παρουσιάστηκαν οριζόντιες ρωγμές. Οι ρωγμές αυτές οφείλονται κυρίως στην αραιή ή παντελή έλλειψη συνδετήρων καθώς και στην χαμηλή ποιότητα σκυροδέματος.

Σε ορισμένες περιπτώσεις βλάβης στα υποστηλώματα από κάμψη παρατηρήθηκε και αποφλοιώση του σκυροδέματος στην περιοχή επικάλυψης των οπλισμών. Και στις περιπτώσεις όμως που είχε χρησιμοποιηθεί σκυρόδεμα μικρής αντοχής, προκλήθηκε στο σκυρόδεμα του πυρήνα, δηλαδή μεταξύ των ράβδων οπλισμού, πλήρης ρηγμάτωση.

Παρατηρήθηκαν ακόμα βλάβες λόγω διάτμησης. Βλάβες τέτοιου είδους μπορούν να παρουσιαστούν σε οποιοδήποτε σημείο του υποστηλώματος. Συγκεκριμένα, στα κτίρια της Αθήνας, παρατηρήθηκαν κυρίως στο μέσον των υποστηλωμάτων και σε πολύ λιγότερο βαθμό στα άκρα τους. Είχαν την μορφή λοξών ή χιαστί ρωγμών και ήταν οι περισσότερες μικρές σε έκταση. Η κλίση τους σε κάθε περίπτωση εξαρτάται από το μέγεθος της θλιπτικής δύναμης.

Δηλαδή όταν αυτή είναι μικρή οι ρωγμές έχουν κλίση σχεδόν  $45^\circ$  ενώ όταν είναι μεγάλες τείνουν να γίνουν κατακόρυφες.

Και σε αυτήν την περίπτωση, όπως και στην περίπτωση κάμψης, οι ρωγμές οφείλονται στην ανεπάρκεια συνδετήρων και στην χαμηλή αντοχή του σκυροδέματος.

Συγκριτικά με τις βλάβες από κάμψη, αυτές από διάτμηση ήταν πολύ λιγότερες.

Στις δύο επόμενες εικόνες (Φωτ. 2.13 και Φωτ. 2.14) παρουσιάζονται δύο περιπτώσεις σημαντικών βλαβών των υποστηλωμάτων, με έντονες ρωγμές λόγω διάτμησης.



Φωτ. 2.14

Περίπτωση χιαστή ρωγμής σε υποστήλωμα.



Φωτ.

2.13

Περίπτωση σχεδόν κατακόρυφης ρωγμής σε υποστήλωμα.

Οι περιπτώσεις καμπτικής καταπόνησης, αλλά και οι θλιπτικής προκάλεσαν κυρίως βλάβες και όχι αστοχία, με αποτέλεσμα να επιδέχονται επισκευές.

Σοβαρή και σε σημαντικό βαθμό βλάβη που χαρακτηρίζει την κατασκευή έως και ακατάλληλη για χρήση είναι η καμπτοδιατμητική αστοχία (Φωτ. 2.15). Παρουσιάστηκε κυρίως στα άκρα των υποστηλωμάτων και οι ρωγμές που προκλήθηκαν ήταν μεγάλης εκτάσεως με κλίση σχεδόν  $45^\circ$ .

Το αποτέλεσμα των παραπάνω βλαβών στα υποστηλώματα ήταν ο λυγισμός των κατακόρυφων ράβδων. Επίσης το σκυρόδεμα να διογκωθεί και να χάσει σημαντικό μέρος της συνοχής του. Οι κατασκευές αυτές επομένως που υπέστησαν κατά τον σεισμό τέτοιας εκτάσεως βλάβες αδυνατούν να

αναλάβουν και μεταφέρουν τα προβλεπόμενα φορτία.



Φωτ. 2.15 Περίπτωση καμπτοδιατμητικής αστοχίας στα άκρα του υποστηλώματος

Τέλος τα υποστυλώματα παρουσίασαν και κάποιες επιφανειακές και μεμονωμένες ρωγμές, οι οποίες οφείλονταν σε τοπικές αδυναμίες της κατασκευής (π.χ. στους αρμούς διακοπής εργασίας). Οι ρωγμές αυτές ήταν μικρού ανοίγματος, χωρίς βάθος και μήκος.

## **2. Βλάβες στα υποστηλώματα πυλωτών:**

Οι πυλωτές αποτελούν το αδύνατο σημείο μιας κατασκευής. Η διαφορά στην ακαμψία ανάμεσα στην πυλωτή και των τοιχοπληρωμένων υπολοίπων ορόφων, έχει ως αποτέλεσμα την συγκέντρωση μεγάλων ελαστικών παραμορφώσεων στα άκρα των υποστηλωμάτων του “μαλακού” ορόφου ενώ οι υπόλοιποι όροφοι συμπεριφέρονται περίπου σαν στερεά σώματα. Έτσι τα υποστηλώματα των ισογείων υπέστησαν καθαρή καμπτική καταπόνηση, που είχε ως αποτέλεσμα τα κτίρια με πυλωτή να υποστούν σοβαρές βλάβες που προήλθαν από την ύπαρξη και μόνο της πυλωτής και τελικά να καταρρεύσουν. Μια χαρακτηριστική περίπτωση τέτοιου είδους αστοχίας παρουσιάζεται παρακάτω (Φωτ. 2.16)



Φωτ. 2.16 Κατάρρευση κτιρίου εξ' αιτίας της αστοχίας των υποστηλωμάτων της πυλωτής.

### 3. Βλάβες στα κοντά υποστηλώματα:

Τα κοντά υποστηλώματα είναι κολόνες, χαμηλού ύψους, που υπήρχαν κυρίως σε ημιυπόγειους χώρους και πατάρια. Λόγω του μικρού τους ανοίγματος αποδείχτηκαν ιδιαίτερα ευαίσθητα στην καταπόνησή τους από τον σεισμό και εμφάνισαν ψαθυρή διατμητική θραύση.

Συγκεκριμένα, προβλήματα υπήρξαν σε κοντά υποστηλώματα που υπήρχαν σε σειρές σε αρκετές πλευρές σε κάποιον όροφο κτιρίου, τα οποία οδήγησαν σε πολλές περιπτώσεις το κτίριο σε κατάρρευση.

Η πιο επικίνδυνη κατάσταση όμως ήταν η περίπτωση “αθέλητης” εμφάνισης κοντού υποστηλώματος. Αυτό συνέβη όπου υπήρξε παρέμβαση τοιχοποιιών, οι οποίες διακόπτονταν σε κάποιο ύψος του κανονικού υποστηλώματος και εξανάγκαζαν το υπόλοιπο τμήμα του να λειτουργήσει ως αυτόνομο κοντό υποστήλωμα, κάτι που δεν ήταν εφικτό αφού δεν είχε μελετηθεί γι’ αυτόν τον τρόπο χρήσεις.

Στην Φωτ. 2.17 και 2.18 φαίνονται δύο περιπτώσεις αστοχίας κοντού υποστηλώματος. Η ένταση που συσσωρεύτηκε σε αυτό ήταν πολύ δύσκολο να παραληφτεί, με αποτέλεσμα να αστοχήσει. Στις περιπτώσεις σαν και αυτήν, το πρόβλημα λύνεται αν μελετηθεί το στοιχείο και οπλιστεί σαν κοντός πρόβολος.



Φωτ. 2.17



Φωτ. 2.18

Περιπτώσεις αστοχίας κοντού υποστηλώματος  
του σεισμού του '99.

#### 4. Βλάβες στις δοκούς:

Οι βλάβες που εντοπίστηκαν σε αυτές ήταν μικρής εκτάσεως και επικινδυνότητας, χωρίς να επηρεάζουν την υπόλοιπη λειτουργία του κτιρίου. Παρατηρήθηκαν κυρίως εγκάρσιες καμπτικές ρωγμές στο κάτω πέλμα, οι οποίες μπορεί και σε ορισμένες περιπτώσεις να προϋπήρχαν ως τριχοειδείς ρωγμές και να εντάθηκαν και να αποκαλύφθηκαν μετά τον σεισμό.

Ακόμα παρουσιάστηκαν και εγκάρσιες ρωγμές κοντά στις στηρίξεις στο κάτω πέλμα της δοκού. Αυτές οφείλονται στην καμπτική αστοχία της διατομής και στην ανεπαρκή αγκύρωση του οπλισμού του κάτω πέλματος.

Στην Φωτ. 2. 19 φαίνεται μια περίπτωση βλάβης δοκού. Η συγκεκριμένη δοκός υπέστη ολοκληρωτική αποκόλληση της επικάλυψής του οπλισμού της στο κάτω πέλμα.



Φωτ. 2.19



## 5. Βλάβες στην τοιχοποιία:

Στις τοιχοποιίες παρουσιάστηκαν αρκετές ζημιές, οι οποίες φάνηκαν με την μορφή διαγώνιων ή και χιαστί ρωγμών (Φωτ. 2.20), εξ' αιτίας της εναλλασσόμενης δράσης του σεισμού. Οι επεμβάσεις επίσης που έγιναν στις τοιχοποιίες, για τοποθέτηση υδραυλικών και ηλεκτρικών εγκαταστάσεων, είναι μια ακόμα



Φωτ. 2.20  
Περίπτωση χιαστί ρωγμής

σημαντική αιτία δημιουργίας βλαβών, γιατί δημιούργησαν τρωτά σημεία, τα οποία προκάλεσαν σημαντικές βλάβες κατά την διάρκεια του σεισμού.

Τέλος πρέπει να τονισθεί ότι οι τοιχοποιίες προσδίδουν ακαμψία στην κατασκευή και αυτό φάνηκε και στον εν λόγω σεισμό, όπου η έλλειψή τους σε πολλές περιπτώσεις επέφερε μη ικανοποιητικά αποτελέσματα στη συμπεριφορά των κτιρίων αυτών.

## 6. Βλάβες στις σκάλες:

Η σκάλα έχει μεγάλη αξονική και καμπτική δυσκαμψία με αποτέλεσμα την παρουσίαση έντονων ζημιών κατά την διάρκεια του σεισμού. Υπήρξε δηλαδή δημιουργία ρωγμών ανάμεσα στην σκάλα και στην τοιχοποιία καθώς και στην στροφή της σκάλας, οι οποίες συνοδεύτηκαν με αποκάλυψη οπλισμών στο σημείο των ρωγμών.



Φωτ. 2.21

Χαρακτηριστικό παράδειγμα η Φωτ. 2.21 με την ύπαρξη έντονων ρωγμών στην στροφή της σκάλας και αποκάλυψη των οπλισμών.

## 7. Βλάβες στις πλάκες:

Οι πλάκες των κατασκευών δεν επηρεάστηκαν από τον σεισμό, όπως ήταν αναμενόμενο, λόγω της μεγάλης υπερστατικότητας τους. Βέβαια η εξέταση των πλακών είναι πολύ δύσκολη, αφού υπάρχουν τα πατώματα και οι ψευδοροφές. Σε ορισμένες περιπτώσεις φάνηκαν κάποιες ρωγμές, των οποίων οι θέσεις ήταν τυχαίες, που δεν προκάλεσαν καμία ανησυχία. Υπήρξαν και ελάχιστες περιπτώσεις που παρουσιάστηκαν βλάβες στους προβόλους.

Μια περίπτωση αστοχίας πλάκας κατά τον σεισμό του '99, η οποία δεν οφείλονταν αυτή κάθε αυτή στον σεισμό, αλλά στην «αμέλεια» των μηχανικών και απλά παρουσιάστηκε λόγω του σεισμού, δίνεται στην Φωτ. 2. 22. Στη συγκεκριμένη περίπτωση όπως φαίνεται η πλάκα δεν συνδέεται στην μια της πλευρά με οπλισμό με την υπόλοιπη κατασκευή.



Φωτ. 2.22

Αστοχία πλάκας, λόγω «αμελούς» κατασκευαστικού λάθους.

[ ΣΗΜΕΙΩΣΗ : Οι Φωτ. 2.12 – 2.22 του υποκεφαλαίου 2.5.1 είναι από τις εργασίες του 6<sup>ου</sup> Φοιτητικού Συνεδρίου «Επισκευές Κατασκευών 00» ]

### **2.5.2 ΒΛΑΒΕΣ ΣΕ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΦΕΡΟΥΣΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑ**

Τα κτίρια που είχαν χτιστεί από φέρουσα τοιχοποιία ήταν στην πλειοψηφία τους παλαιά και υπέστησαν πολλές και σημαντικές βλάβες, επειδή δεν είχαν κατασκευαστεί τα περισσότερα στηριζόμενα σε κάποιο αντισεισμικό Κανονισμό. Στην πλειονότητά τους χαρακτηρίστηκαν κόκκινα λόγω της πλήρους αστοχίας της τοιχοποιίας και τα υπόλοιπα κίτρινα. Η παντελής έλλειψη οπλισμού ήταν το κυρίαρχο πρόβλημα. Στα κτίσματα αυτά παρατηρήθηκαν μόνιμες παραμορφώσεις, αστοχίες στοιχείων και καταρρεύσεις εξωτερικών τοίχων και γωνιών. Επιπλέον η χρησιμοποίηση σε αρκετά από αυτά δύο ή περισσότερων δομικών υλικών δημιούργησε πρόβλημα στις περιοχές ένωσής τους μέχρι και πλήρη διαχωρισμό.

### **2.5.3 ΒΛΑΒΕΣ ΣΕ ΜΙΚΤΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ**

Χαρακτηρίζοντας μια κατασκευή μικτή, εννοείται ένα ισόγειο τμήμα χτισμένο με υλικά όπως πέτρα, τούβλα, τσιμεντόλιθο, στο οποίο έχει γίνει επέκταση καθύψος. Το νέο τμήμα είναι κατασκευασμένο από οπλισμένο σκυρόδεμα. Τέτοιου είδους κατασκευές παρουσίασαν σοβαρά προβλήματα. Το παλαιό ισόγειο τμήμα υπέστη βλάβες στις φέρουσες τοιχοποιίες, από εμφανείς ρωγμές μέχρι και καταρρεύσεις ορισμένων. Ο νεότερος σκελετός παρουσίασε ρωγμές στις γωνίες των ανωφλίων και στις γωνίες των τοιχίων.

## **2.6 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΑΙΤΙΩΝ ΤΗΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΒΛΑΒΩΝ**

Έπειτα από κάθε ισχυρό σεισμό, όπως αυτόν της Πάρνηθας, αναδεικνύονται τα λάθη και οι αστοχίες στο σχεδιασμό και όπλιση του φέροντα οργανισμού των κατασκευών. Η προφανής βασική αιτία της κάθε βλάβης είναι η τοπική υπέρβαση της αντοχής. Υπάρχουν όμως και κάποιοι άλλοι παράγοντες που επαυξάνουν την σεισμική καταπόνηση του κάθε στοιχείου πέρα από την αναμενόμενη.

Συμπερασματικά λοιπόν οι σημαντικότερες παρατηρήσεις έγιναν αφορούν συνολικά τις βλάβες που προκλήθηκαν και την αιτία της δημιουργίας τους είναι οι εξής:

- Η σεισμική ενέργεια διαδόθηκε κυρίως προς τα δυτικά και πολύ λιγότερο προς τα ανατολικά. Τα κτίρια επομένως της δυτικής Αθήνας εμφάνισαν τις κυριότερες βλάβες.
- Καλύτερη συμπεριφορά απέναντι στο σεισμό είχαν τα νεότερα κτίρια σε ηλικία έναντι των παλαιότερων.
- Αστοχίες παρατηρήθηκαν κυρίως στους κόμβους σύνδεσης δοκών - υποστηλωμάτων.
- Τα τοιχώματα δεν ήταν επαρκή για τον περιορισμό των μετατοπίσεων και φαινομένων στρέψης.
- Προβλήματα δημιουργήθηκαν και από την κρούση γειτονικών κτιρίων.
- Τα κτίρια που κατασκευάστηκαν σταδιακά και που η μελέτη τους επομένως δεν έγινε σ' ένα στάδιο (μικτά), δηλαδή το ισόγειο και οι όροφοι είχαν χτιστεί σύμφωνα με διαφορετικούς Κανονισμούς, είχαν ως αποτέλεσμα το ισόγειο σε αντίθεση με τους ορόφους να είναι ασθενέστερο και να παρουσιάσει σοβαρές βλάβες. Αυτό συνέβη λόγω του ότι είχαν σχεδιαστεί για μικρότερης εντάσεως σεισμό.
- Οι απαιτήσεις πλαστιμότητας του σεισμού ήταν πολύ

υψηλές και τελικά ο σεισμός κυρίως στα παλαιότερα κτίρια υπερέβαλε των δυνατοτήτων τους.

- Η μη σωστή διάταξη του δομικού συστήματος για την παραλαβή των σεισμικών φορτίων, οι ανεπαρκείς συνδετήρες και η κακή ποιότητα των υλικών και της κατασκευής αποδείχτηκαν οι κύριοι παράγοντες δημιουργίας των βλαβών.
- Τέλος για τα κατασκευαστικά λάθη αποδείχτηκαν κύριοι υπαίτιοι οι εργολάβοι, οι οποίοι δεν έχουν τις απαιτούμενες μηχανικές γνώσεις και οι υδραυλικοί και ηλεκτρολόγοι, οι οποίοι είχαν δημιουργήσει εγκοπές σε υποστηλώματα και δοκάρια και είχαν «τραυματίσει» το φέροντα οργανισμό. Υπαίτιοι για τα κατασκευαστικά λάθη είναι και οι ίδιοι οι ιδιοκτήτες, οι οποίοι αυθαίρετα προέβησαν σε επεμβάσεις πάνω στην κατασκευή που σε ορισμένες περιπτώσεις αποδείχτηκαν μοιραίες.

## **2.7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ** **ΠΟΥ ΑΠΟΔΕΙΚΝΥΟΥΝ ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΗΣ** **ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗΣ**

Κρίνεται σκόπιμο να παρουσιασθούν στοιχεία που εξηγούν πως ο εν λόγω σεισμός θεωρήθηκε ως ο πιο καταστρεπτικός σεισμός του 20<sup>ου</sup> αιώνα στον Ελλαδικό χώρο. Τα στοιχεία αυτά αφορούν ένα μεγάλο ποσοστό κατασκευών που παρουσίασε σημαντικά χαμηλή σεισμική ικανότητα. Το αποτέλεσμα ήταν οι κατασκευές αυτές είτε να αστοχήσουν είτε να κριθούν κατεδαφιστές, εξ' αιτίας της οικονομικά ασύμφορης αποκατάστασής τους.

Αναλυτικότερα τα συμπερασματικά στοιχεία της τρωτότητας των κτιρίων, όπως παρουσιάστηκαν στην εργασία των Καραμπίνη, Πλέσια κ.α., αφορούν σε σύνολο 4435 οικοδομικές κατασκευές των ευρύτερα πληγείσων περιοχών. Ήταν κτίρια δηλαδή των δήμων Άνω Λιοσίων, Αχαρνών, Μεταμόρφωσης, Ν. Ιωνίας, Ν. Φιλαδέλφειας, από οπλισμένο σκυρόδεμα και φέρουσα τοιχοποιία. Κτίρια δηλαδή της κατηγορίας Α και Β.

Από αυτά συνολικά 363 αστόχησαν (κατέρρευσαν) κατά τη διάρκεια του σεισμού και 4072 παρουσίασαν σημαντικότερου βαθμού και έκτασης βλάβες, με αποτέλεσμα σε πολλές περιπτώσεις να κριθεί η αποκατάστασή τους ασύμφορη και να κατεδαφιστούν.

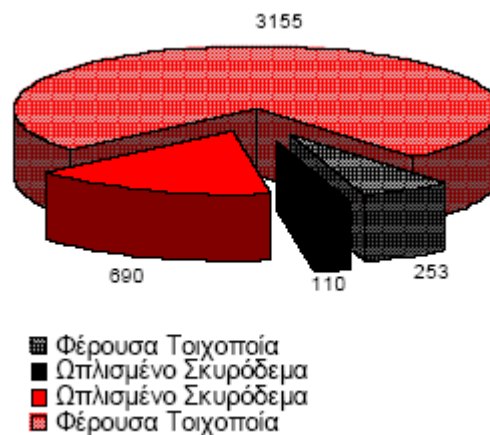
Συγκεκριμένα 110 κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα και 253 από φέρουσα τοιχοποιία κατέρρευσαν κατά την διάρκεια του σεισμού. Αυτές που παρουσίασαν σοβαρότατες βλάβες, οι οποίες στην πλειοψηφία τους χαρακτηρίστηκαν ως μη επισκευάσιμες ήταν 1300 από οπλισμένο σκυρόδεμα και 2727 από φέρουσα τοιχοποιία.

Τα κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία στην συντριπτική τους πλειοψηφία 78% αποτελούσαν, όπως έχει προαναφερθεί, ισόγεια καταστήματα, με πτωχά σε σεισμική ικανότητα υλικά (κυριαρχούσε η οπτοπλινθοδομή και η ωμοπλινθοδομή) και ήταν σχεδιασμένα χωρίς κανένα σχεδόν αντισεισμικό μέτρο. Το αποτέλεσμα ήταν το 70% των κτιρίων με σχεδιασμό πριν από το έτος σταθμό (1959) ή συνηθέστερα χωρίς καθόλου κάλυψη από Αντισεισμικό Κανονισμό, να καταρρεύσει.

Αντίθετα τα νεότερα από αυτά κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα παρουσίασαν μια σχετικά πλάστιμη συμπεριφορά με μικρότερο ποσοστό καταρρεύσεων ~30%. Στις κατασκευές αυτές υπήρξαν στοιχεία υπερκαταπόνησης όπως κοντά υποστυλώματα, πυλωτή, ανοιχτά ισόγεια. Επίσης υπήρξε αλληλεπίδραση με γειτονικό κτίριο

και σε πολλές φορές η μορφολογία του δομικού συστήματος παρουσίαζε μη κανονικότητα σε κάτοψη και καθ' ύψος. Ένα ποσοστό όμως του ~72% των κτιρίων αυτών υπέστη σημαντικής εκτάσεως βλάβες.

Στη Φωτ. 2.23 παρουσιάζεται η κατανομή των παραπάνω στοιχείων, που αφορούν τις παραπάνω κατασκευές της ευρύτερα πληγείσας περιοχής του Λεκανοπεδίου, ανάλογα πάντα με το είδος του δομικού τους συστήματος και εν συνεχεία με την συμπεριφορά που επέδειξαν κατά τον σεισμό.



**Φωτ. 2.23 Κατανομή βλαβών ανάλογα με το είδος του δομικού συστήματος των κτιρίων.**

[πηγή: εργασία για το ΤΕΕ, των Καραμπίνη, Πλέσα, κ.α.]

Μια άλλη καταγραφή μεγαλύτερης εκτάσεως των βλαβών του σεισμού του 1999 που αποδεικνύει το μέγεθος της καταστροφής, πραγματοποιήθηκε από το Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν 1300 περίπου μηχανικοί για ένα αριθμό 200000 κτιρίων. Αυτοί επιθεώρησαν την στατική επάρκεια του εκάστοτε κτιρίου. Σκοπός των επιθεωρήσεων αυτών ήταν:

Α) Να ταξινομηθούν, σύμφωνα με την Ελληνική κλίμακα του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., τα πληγέντα κτίρια σε κατηγορίες σεισμικής επικινδυνότητας. Τα κριτήρια για την κατάταξη αυτή του κάθε κτιρίου στην ανάλογη κατηγορία ήταν:

- ο βαθμός βλάβης που υπέστη το κτίριο
- η λειτουργική χρήση του κτιρίου μετά το πέρας του σεισμού.

Συγκεκριμένα από τις ζημιές που υπήρξαν τα κτίρια ταξινομούνται με τρία χρώματα:

1. ΠΡΑΣΙΝΑ: Χαρακτηρίστηκαν αυτά που είχαν αμελητέες έως ανύπαρκτες βλάβες. Κυρίως σε ορισμένα παρουσιάστηκαν κάποιες τριχοειδείς ρωγμές στους τοίχους. Επομένως ήταν αβλαβή και μπόρεσαν να χρησιμοποιηθούν χωρίς κανένα περιορισμό.
2. ΚΙΤΡΙΝΑ: Αυτά που παρουσίασαν λίγες βλάβες στο σκελετό και περισσότερες στα μη φέροντα στοιχεία. Κυρίως οι ζημιές ήταν στους τοίχους πλήρωσης, είχαν ρωγμές τριχοειδείς στο σκελετό, ρωγμές από κάμψη. Η χρήση τους κρίθηκε ότι δεν πρέπει να είναι συνεχής πριν την οριστική επισκευή τους, αλλά προσωρινά η υποστήλωση κρίθηκε αρκετή.
3. ΚΟΚΚΙΝΑ: Αυτά που είχαν πολύ σοβαρές βλάβες στα δομικά τους στοιχεία, δηλαδή στα υποστηλώματα και στις δοκούς. Είχαν αστοχίες από διάτμηση, μετατόπιση από κάμψη, υπήρξε καταστροφή κόμβων, λυγισμός του οπλισμού, έως και μερική ή ολική κατάρρευση.  
Για τα κτίρια αυτά κρίθηκε απαραίτητη και αναγκαία η επισκευή τους, σε όσα βεβαίως μπορούσαν να επισκευαστούν. Φυσικά η πρόσβαση σε αυτά μέχρι την επισκευή απαγορεύτηκε. Για τα περισσότερα όμως των κτιρίων αυτών η επισκευή θα ήταν πολύ δαπανηρή οπότε αποφασίστηκε η κατεδάφισή τους.

Ενδεικτικά η ποσοστιαία (%) κατάταξη των ανεξάρτητων ιδιοκτησιών, σύμφωνα με τα στοιχεία των μηχανικών που επιθεώρησαν τα κτίρια των Δήμων της Αττικής φαίνεται στον Πιν. 2.24:



ΔΗΜΟΣ	ΠΡΑΣΙΝΑ	ΚΙΤΡΙΝΑ	ΚΟΚΚΙΝΑ
Αθηνών	81.62	17.78	0.60
Άνω Λιοσίων	16.66	67.54	15.80
Ασπροπύργου	34.82	56.53	8.64
Αχαρνών	29.01	61.70	8.29
Φυλής	22.34	48.54	3.41
Ν. Φιλαδέλφειας	49.96	48.17	4.84
Θρακομακεδόνων	19.73	76.09	4.18
Πειραιώς	65.15	32.07	2.78
Βιομηχανίες	62.52	34.81	2.66

Πιν. 2.24

Για την υπόλοιπη ευρύτερη περιοχή τα αντίστοιχα ποσοστά είναι:

ΠΡΑΣΙΝΑ → **55.94 %**  
ΚΟΚΚΙΝΑ → **41.16 %**  
ΚΙΤΡΙΝΑ → **2.90 %**

*B)* Για να γίνει η εκτίμηση της απομένουσας φέρουσας ικανότητας των διατομών των βλαβέντων μελών ανάλογα πάντα με το βαθμό βλάβης, η οποία θα οδηγήσει στην μελέτη επισκευής και ενίσχυσης.

*Γ)* Τέλος η καταγραφή είναι αναγκαία για την εμπειρία που θα αποκομισθεί από τον τρόπο με τον οποίο αστόχησαν τα μέλη λόγω των διαφόρων ειδών έντασης. Η μελέτη οδηγεί στην καλύτερη γνώση των μηχανικών λειτουργιών των μελών.

## 2.8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα κτίρια της ευρύτερης περιοχής των Αθηνών που «χτυπήθηκαν» από τον σεισμό της 7<sup>ης</sup> Σεπτεμβρίου είχαν χτιστεί, ανάλογα με το έτος κατασκευής τους, με βάσει κάποιον από τους Κανονισμούς του 1959, 1984, 1995 ή ακόμα ορισμένα χωρίς να στηρίζονται σε κανένα κανονιστικό πλαίσιο.

Κατά τον σεισμό της Πάρνηθας, τα κτίρια που ήταν κατασκευασμένα σύμφωνα με τις διατάξεις του Αντισεισμικού Κανονισμού του 1995 συμπεριφέρθηκαν σχετικά ικανοποιητικά, ενώ σ' αυτά που είχαν σχεδιαστεί με τον παλιό Κανονισμό του 1959, ο σεισμός υπερέβαλε των δυνατοτήτων τους. Διαπιστώθηκε, συγκριτικά πάντα με την ένταση του σεισμού, ότι τα κτίρια γενικά διέθεταν ένα σημαντικό απόθεμα αντοχής, το οποίο εξαρτάται από την υπερστατικότητα τους και την υπεραντοχή των επιμέρους δομικών τους στοιχείων. Επίσης διέθεταν και πρόσθετους μηχανισμούς απόσβεσης ενέργειας, όπως οι τοιχοποιίες, οι οποίες συνεισέφεραν σε μια αύξηση του συντελεστή σεισμικής συμπεριφοράς. Παρόλα αυτά όμως οι απαιτήσεις πλαστιμότητας του σεισμού του 1999 ήταν αρκετά υψηλότερες, ιδιαίτερα στην περιοχή των 0.15 sec – 0.40 sec, που τυπικά αντιστοιχούν σε μικρού και μεσαίου μεγέθους κτίρια. Η σύγκριση των φασμάτων απόκρισης της καταγεγραμμένης κίνησης με το ελαστικό φάσμα σχεδιασμού του ΝΕΑΚ1995 για έδαφος ενδιάμεσης επικινδυνότητας υπέδειξε ότι το φάσμα σχεδιασμού ήταν αρκετά χαμηλότερο στην περιοχή των μικρών και μεσαίων περιόδων (T~ 0.05 – 0.40 sec) και πολύ υψηλότερο για μεγαλύτερες περιόδους.

Επομένως το 1999, μετά από την διεθνή μέχρι τότε εμπειρία και εξ' αιτίας και του εν λόγω σεισμού, οι απαιτήσεις πλαστιμότητας αυξήθηκαν και έγινε μια ακόμα μερική αναθεώρηση του Κανονισμού του 1995, ΕΑΚ2000, η οποία βρίσκεται σε ισχύ μέχρι και σήμερα. Στόχος του είναι οι σύγχρονες κατασκευές να λειτουργήσουν ανελαστικά, δηλαδή να παρουσιάσουν ελεγχόμενο ποσοστό βλάβης, όταν επισυμβεί σε αυτές ο σεισμός σχεδιασμού. Γι' αυτό και αυξήθηκαν οι τιμές των μέχρι τότε εδαφικών επιταχύνσεων σχεδιασμού από 0.12g, σύμφωνα με τον Κανονισμό του '84 σε 0.16g και 0.24g. Συγκεκριμένα, σεισμικό συντελεστή 0.24 έχουν οι περιοχές Άνω Λιοσίων, Αχαρνών, Μεταμόρφωσης, Ν. Φιλαδέλφειας, Φυλής, Θρακομακεδόνων κ.α. Οι περιοχές αυτές είναι που «χτυπήθηκαν» περισσότερο από το σεισμό του '99, λόγω

του ότι ήταν κοντά στο επίκεντρο και επειδή το ρήγμα θεωρείται ενεργό, έχουν και μεγαλύτερους συντελεστές.

Δεν είναι βεβαίως καθόλου απίθανο σε μερικά χρόνια όπως φάνηκε, οι νέες κατασκευές που σχεδιάζονται με βάση τον ΕΑΚ2000, να είναι και αυτές εκτός προδιαγραφών.

## 2.9 ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΣΕΙΣΜΟΥ ΑΘΗΝΑΣ 24-2-1981

### ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΚΤΙΣΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΚΑΤΕΡΡΕΥΣΑΝ ΑΠΟ ΤΟΝ ΣΕΙΣΜΟ ΣΤΙΣ ΕΠΙΚΕΝΤΡΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ



Φωτ. 2.25 Απεικόνιση κατάρρευσης κτίσματος κατοικίας, παλαιάς κατασκευής, στην επίκεντρη περιοχή του Μενιδίου.  
[ πηγή : ηλεκτρονική σελίδα του Οργανισμού Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας ]



Φωτ. 2.26 Ολοκληρωτική καταστροφή κτιρίου επίκεντρης περιοχής από τον σεισμό.  
[ πηγή : ηλεκτρονική σελίδα του Οργανισμού Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας ]

## ΒΛΑΒΕΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ



Φωτ. 2.27 Αστοχία εξ' αιτίας κατασκευαστικών λαθών Όπως φαίνεται πολλά στοιχεία αστόχησαν εξ' αιτίας της λανθασμένης τοποθέτησης των υδραυλικών και ηλεκτρικών εγκαταστάσεων. Παρατηρήθηκαν συγκεκριμένα υδροροές ενσωματωμένες στα κατακόρυφα δομικά στοιχεία και ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις που διέρχονταν μέσα από τους οπλισμούς των δοκών και υποστηλωμάτων.

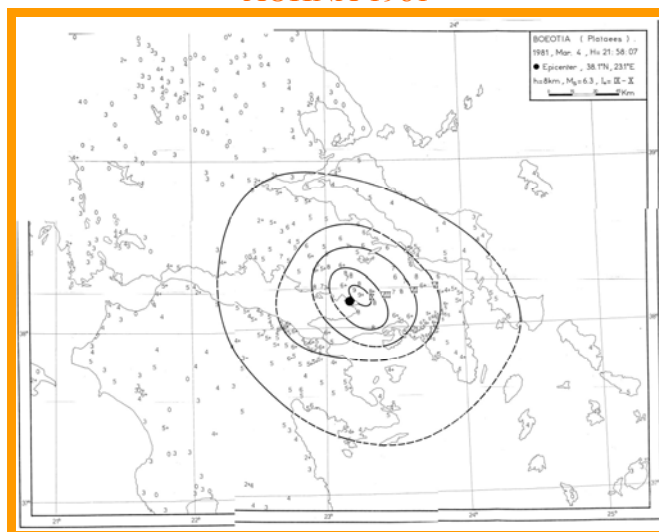


Στη Φωτ. 2.28 αποτυπώνεται μια από τις πολλές περιπτώσεις της κατάστασης των στοιχείων μετά τον σεισμό. Αιτία της κατάστασης αυτής ήταν οι κακοτεχνίες, που σε αρκετές περιπτώσεις οδήγησαν στην κατάρρευση της κατασκευής.

Φωτ. 2.28

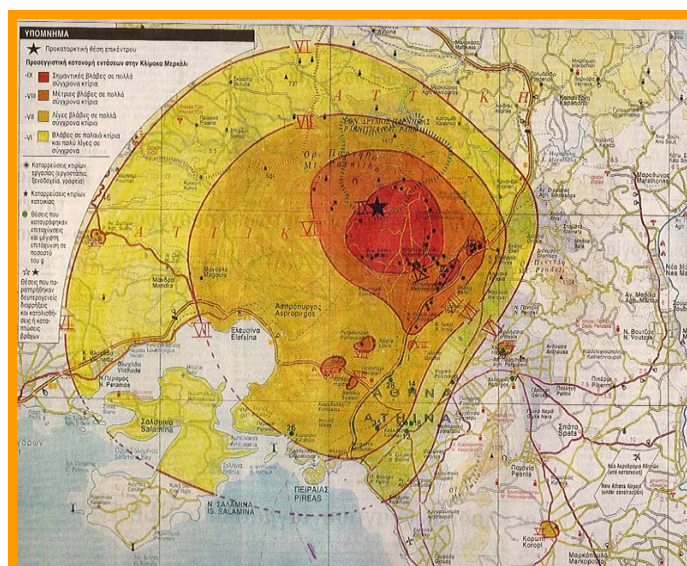
[πηγή : εργασίες του 6<sup>ου</sup> Φοιτητικού Συνεδρίου «Επισκευές Κατασκευών 00»]

ΑΘΗΝΑ 1981



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

# ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΔΥΟ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΓΕΓΟΝΟΤΩΝ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ



ΑΘΗΝΑ 1999

### 3.1 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΥΟ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΓΕΓΟΝΟΤΩΝ

Οι σεισμοί της 24<sup>ης</sup> Φεβρουαρίου 1981 και της 9<sup>ης</sup> Σεπτεμβρίου 1999 έπληξαν την Αθήνα. Όπως παρουσιάζεται στο κείμενο που ακολουθεί, τα δύο αυτά σεισμικά γεγονότα μπορεί να διέφεραν ως προς τον αριθμό του μεγέθους τους, το επίκεντρο, τον τρόπο διάδοσης της ενέργειας, αλλά ως προς την ένταση και τις καταστροφικές επιπτώσεις τους κρίνονται ισοδύναμοι.

Ήταν δύο ιδιαίτερα αισθητές σεισμικές δονήσεις, αφού το μέγεθος τους ήταν Ms=6.7 και 5.9 αντίστοιχα. Ο σεισμός του '81 ήταν ισχυρότατος, λόγω του ότι ήταν επιφανειακός και μεγάλου μεγέθους, παρόλο που το επίκεντρο του εντοπίστηκε στο κόλπο των Αλκυονίδων, σε αρκετά μακρινή δηλαδή απόσταση από την Αθήνα. Ομοίως και ο σεισμός του '99 ήταν επιφανειακός. Η δόνηση του '99 ήταν αντίστοιχα πολύ έντονη, γιατί μπορεί το επιφανειακό του μέγεθος να ήταν μικρότερο από αυτό του '81, το επίκεντρο του όμως σε αντίθεση, ήταν πολύ κοντά στην Αθήνα και συγκεκριμένα εντοπίστηκε στις παρυφές της Πάρνηθας. Και οι δύο επομένως ήταν ένα δυσάρεστο ξάφνιασμα για όλους.

Ιδιαίτερη όμως σημασία και στις δύο περιπτώσεις στην ένταση εκδήλωσής τους, άρα και στις συνέπειές τους είχαν οι εδαφικές συνθήκες. Έτσι συγκέντρωση βλαβών παρατηρήθηκε και στους δύο σεισμούς στα χαλαρά εδάφη. Γενικότερα όμως οι επιπονήσεις και στα δύο γεγονότα που δέχτηκαν τα κτίρια, ανεξαρτήτως των εδαφικών συνθηκών, ήταν μεγαλύτερες από αυτές για τις οποίες είχαν σχεδιαστεί. Συγκεκριμένα η περιοχή της πρωτεύουσας μέχρι την περίοδο του σεισμού του '81 σχεδιάζονταν για επιτάχυνση υποβάθρου 0.04g και μέχρι την περίοδο του σεισμού του '99 σχεδιάζονταν για 0.08g. Σήμερα η επιτάχυνση σχεδιασμού είναι 0.16g και 0.24g σε ορισμένες περιοχές. Η σημερινή αυτή τιμή προέκυψε από την δυστυχώς κακή εμπειρία των προηγούμενων αυτών σεισμικών δονήσεων. Άρα οι σεισμοί αυτοί απέδειξαν, ο καθένας την χρονική περίοδο που συνέβη, ένα σοβαρό έλλειμμα στη γνώση του σεισμοτεκτονικού περιβάλλοντος και στην εκτίμηση του σεισμικού κινδύνου, καθώς και στην ανεπάρκεια στη σεισμολογική τεχνική υποδομή.

Η μεγαλύτερη σεισμική απειλή για απώλεια ζωής και καταστροφή περιουσίας από τους ισχυρούς αυτούς σεισμούς προήλθε από τις υφιστάμενες παλαιότερες κατασκευές, οι οποίες

δεν είχαν σχεδιαστεί με απαιτήσεις αντισεισμικότητας. Στο σεισμό του '99 επιπλέον απειλή αποτέλεσαν και αυτές που είχαν κτισθεί σύμφωνα με τους Κανονισμούς προ του 1984. Στις κατασκευές αυτές παρατηρήθηκαν οι περισσότερες και σημαντικότερες βλάβες και καταρρεύσεις. Οφείλονταν στη χαμηλή ποιότητα των υλικών τους, στις κακοτεχνίες τους και στα προβλήματα συντήρησής τους που μείωσαν την επιτελεστικότητα του φέροντα οργανισμού τους. Επιπλέον η ανεπάρκεια ή ακόμα και η παντελής έλλειψη οπλισμού και οι αυθαίρετες επεμβάσεις πάνω στις κατασκευές αποδείχτηκαν μοιραίες.

Επίσης και στους δύο σεισμούς ιδιαίτερα προβληματικά αποδείχτηκαν τα κτίρια που είχαν μεγάλα ανοίγματα, λίγους τοίχους πλήρωσης και ανοιχτά ισόγεια. Ήταν στο σύνολό τους τα κτίρια της δεκαετίας του '70 και έπειτα που είχαν κτισθεί υπό το καθεστώς του Κανονισμού του 1959.

Και τα δύο αυτά σεισμικά γεγονότα ήταν σημαντικά και χρήζουν μελέτης, γιατί εκτός από το μεγάλο και ουσιαστικά σχεδόν ισοδύναμο μέγεθος της καταστροφικότητάς τους, άλλαξαν το καθένα -την περίοδο που συνέβη- τα δεδομένα αντισεισμικού σχεδιασμού για το Λεκανοπέδιο Αττικής. Συγκεκριμένα η εμπειρία και γνώση του σεισμού του 1981 οδήγησε στην ανάγκη για κατασκευή ανθεκτικότερων κτισμάτων. Γι' αυτό και η τροποποίηση του Κανονισμού του 1959 που έγινε το 1984 στόχευε στην αντιμετώπιση των αδυναμιών του και στην ενσωμάτωση της γνώσης που θα βελτίωνε την ποιότητα και την ασφάλεια των κατασκευών. Αντίστοιχα από την εμπειρία του σεισμού του 1999 κρίθηκε αναγκαίο οι κατασκευές να λειτουργήσουν ανελαστικά. Οι δείκτες πλαστιμότητας δηλαδή που ίσχυαν και γίνονταν δεκτοί για τον υπολογισμό των κατασκευών θεωρήθηκε σκόπιμο ν' αλλάξουν και έτσι δημιουργήθηκε με την αναθεώρηση του Κανονισμού του 1995, ο ΕΑΚ2000.

Γενικότερα όμως η συσσωρευμένη εμπειρία των δύο αυτών σεισμικών συμβάντων οδήγησε στο συμπέρασμα, ότι η σεισμική προστασία των περιοχών της πρωτεύουσας βασίζεται και σε διάφορους άλλους παράγοντες. Αυτοί είναι οι τοιχοποιίες πλήρωσης, η σωστή διάταξη του δομικού συστήματος για την παραλαβή σεισμικών φορτίων, η καλή ποιότητα των υλικών και της κατασκευής.

Συμπερασματικά λοιπόν οι δύο αυτοί καταστροφικοί σεισμοί, που έπληξαν με ιδιαίτερη σφοδρότητα τις περιοχές της Αθήνας, συγκριτικά ήταν σχεδόν ισοδύναμοι σε καταστροφικότητα και



«προσέφεραν» ένα πλήθος δεδομένων, βελτιώνοντας το επίπεδο των γνώσεων πάνω σε θέματα αντισεισμικού σχεδιασμού και γενικότερα μείωσης της σεισμικής επικινδυνότητας.

**3.2 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΩΝ ΚΥΡΙΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΩΝ ΔΥΟ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΓΕΓΟΝΟΤΩΝ**

	<b>ΣΕΙΣΜΟΣ 1981</b>	<b>ΣΕΙΣΜΟΣ 1999</b>
<b>Επίκεντρο σεισμού</b>	Στο κόλπο των Αλκυονίδων	Στις νοτιοδυτικές παρυφές της Πάρνηθας
<b>Ms</b>	6.7	5.9
<b>Είδος σεισμού</b>	Επιφανειακός σεισμός	
<b>Εστιακό βάθος</b>	~8 χλμ	~ 11 χλμ
<b>Απόσταση από Αθήνα</b>	77 χλμ	18 χλμ
<b>Μέγιστες φασματικές επιταχύνσεις</b>	0.15g	0.50g
<b>Είδη κτιρίων Αθηνών</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- άοπλη φέρουσα τοιχοποιία</li> <li>- νεότερα με Φ.Ο. από οπλισμένο σκυρόδεμα</li> <li>- ειδικά κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα</li> <li>- κτίρια πολιτιστικής κληρονομιάς</li> </ul>	
<b>Τρόποι σχεδιασμού κτιρίων - Ισχύοντες Αντισεισμικοί Κανονισμοί</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- χωρίς αντισεισμικό μέτρο ( εμπειρικά)</li> <li>- 1<sup>ος</sup> Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός 1959</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- χωρίς αντισεισμικό μέτρο (εμπειρικά)</li> <li>- 1<sup>ος</sup> Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός 1959</li> <li>- Κανονισμός 1984 (τροποποίηση 1959)</li> <li>- ΝΕΑΚ 1995</li> </ul>
<b>Επιπτώσεις στο δομημένο περιβάλλον</b>	<p>Ισοδύναμοι σε καταστροφικότητα σεισμοί. Από απλές βλάβες – επισκευάσιμες στα κτίρια έως μεγάλης εκτάσεως βλάβες και καταρρεύσεις.</p>	
<b>Απαιτήσεις πλαστικότητας</b>	<p>Βελτίωση της ποιότητας και ασφάλειας των κατασκευών</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 1984: τροποποίηση 1<sup>ου</sup> Ελληνικού Κανονισμού 1959</li> </ul>	<p>Οι κατασκευές να λειτουργήσουν ανελαστικά</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ΕΑΚ 2000: αναθεώρηση Κανονισμού 1995</li> </ul>

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Οι δύο ισχυροί σεισμοί της τελευταίας εικοσαετίας - Αλκυονίδες 1981, Πάρνηθα 1999 - έπληξαν την Αθήνα, την πλέον πυκνοδομημένη περιοχή της χώρας. Και οι δύο περιπτώσεις σεισμών απέδειξαν πόσο, ένα μεγάλο ποσοστό των υφιστάμενων κατασκευών παρουσιάζει σημαντικά χαμηλή σεισμική ικανότητα.

Η κατανόηση της συμπεριφοράς αυτής των κατασκευών στις δύο ακραίες αυτές καταστάσεις καταπονήσεων έγινε μέσα από την προσεκτική παρατήρηση και ανάλυση της κάθε βλάβης που προκλήθηκε στις κατασκευές που έφτασαν στην οριακή τους κατάσταση.

Και οι δύο μεγάλοι αυτοί σεισμοί ξεσκέπασαν σφάλματα στη μελέτη, στην εκτέλεση, στη χρήση των κατασκευών. Προέκυψε επομένως από την δημιουργία τους ένα μεγάλο φάσμα προβλημάτων. Όπως αποδείχτηκε οφείλονταν κυρίως στην ελλιπή γνώση, σε παραλείψεις, σε ατέλειες και στη μη τήρηση των κατασκευαστικών διατάξεων.

Οι σεισμοί του '81 και του '99 αποτέλεσαν δηλαδή μια «στιγμή αλήθειας» της σεισμικής ικανότητας των κατασκευών. Υπήρξαν πηγές πολύτιμων πληροφοριών για την αντισεισμική θωράκιση, αλλά και μέσο αποτίμησης μεθοδολογιών που είχαν εφαρμοστεί. Ήταν επομένως ένα πολύ καλό «μάθημα» για τους μηχανικούς, ώστε να γίνουν σοφότεροι και συνετέστεροι μελλοντικά. Άλλωστε *ο καλύτερος επιβλέπων σε μια οικοδομή ήταν και θα είναι ο ... σεισμός.*

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Παπαζάχος Β., “Οι σεισμοί της Ελλάδας”, Εκδόσεις Ζήτη, σελ. 171-173
- “Σημειώσεις του Σεμιναρίου Σεισμολογίας και Αντισεισμικών Κατασκευών”, ΤΕΕ, Αθήνα 1981
- Δρακάτος (Διευθυντής έρευνας του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του Αστεροσκοπείου Αθηνών) : προσωπική επικοινωνία
- “Η επίδραση του εδάφους στο σεισμικό κίνδυνο Ελληνικών πόλεων (Αθήνα και Κόρινθος, σεισμός 1981)”, 1<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής Μηχανικής, ΤΕΕ, Αθήνα 1988, 8 βιβλ. αναφ.
- ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ:
  1. [www.oasp.gr](http://www.oasp.gr)
  2. [www.gein.noa.gr](http://www.gein.noa.gr)
  3. [www.itsak.gr](http://www.itsak.gr)
  4. [www.civilprotection.gr](http://www.civilprotection.gr)
  5. [www.geophysics.geol.uoa.gr](http://www.geophysics.geol.uoa.gr)
  6. [www.earthquakenet.gr](http://www.earthquakenet.gr)
  7. [www.liosia.gr/dal/geology/lekkashtm](http://www.liosia.gr/dal/geology/lekkashtm)
- Λεκίδης, Καραμπίνης, “Ο σεισμός της Αθήνας της 7-9-99”, 2<sup>ο</sup> Πανελλαδικό Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής και Τεχνικής Σεισμολογίας, ΤΕΕ, Τόμος Β, Αθήνα 2001, σελ. 143-152
- Γκαζέτας, Ψαρρόπουλος, Ασημάκη, Κάλλιου, “Ο σεισμός της Πάρνηθας 7-9-99”, ΤΕΕ, σελ. 139-140 και 142-143
- Γκαζέτας, Μπουκοβάλας κλπ, “Μελέτη του σεισμού της Αθήνας 7-9-77. Υπολογιστική Εκτίμηση των Επιταχύνσεων στις πλειόσειστες περιοχές”, Έκθεση προς το ΤΕΕ, σελ. 146-149

- Μπουκοβάλας, Κουρτέζης, “Προκαταρκτική Εκτίμηση των Επιταχύνσεων στις πλειόσειστες περιοχές του σεισμού της Αθήνας”, Τεύχος 2115 ΤΕΕ
- Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ., “Πρωτοβάθμιος και δευτεροβάθμιος έλεγχος κτιρίων”, Αθήνα 2001
- Καραμπίνης, “Στοιχεία από την τρωτότητα των Κατασκευών της 7<sup>ης</sup>-9-99”, 14<sup>ο</sup> Συνέδριο Σκυροδέματος, ΤΕΕ, σελ. 146-147
- Καραμπίνης, Πλέσιας, Φωτοπούλου, Αβραμόπουλος, “Συμπεράσματα για την σεισμική τρωτότητα των κτιρίων από τον σεισμό της Αθήνας”, 14<sup>ο</sup> Συνέδριο Σκυροδέματος, ΤΕΕ, σελ. 521,525
- Σύλλογος Πολιτικών Μηχανικών Ελλάδος, “Θέσεις για το σεισμό της 7<sup>ης</sup>-9-99”, Τεύχος 2072 ΤΕΕ
- ΟΑΣΠ, “Κοινωνικές και Οικονομικές επιπτώσεις ... στη δυτική Αθήνα από το σεισμό της 7-9-99”, Τεύχος, σελ. 7-8
- [www.episkeves.civil.upatras.gr](http://www.episkeves.civil.upatras.gr) : εργασίες του 6<sup>ου</sup> Φοιτητικού Συνεδρίου «Επισκευές Κατασκευών 00»