



**30 χρόνια  
μετά το σεισμό της Θεσσαλονίκης  
Μνήμες και προοπτική**

**Πομπιαχνική Σχολή Α.Π.Θ.  
Θεσσαλονίκη, Μάιος 2008**

**30 χρόνια  
μετά το σεισμό της Θεσσαλονίκης  
Μνήμες και προοπτική**

**Πολυτεχνική Σχολή Α.Π.Θ.**

**Θεσσαλονίκη, Μάιος 2008**

**Συντακτική επιτροπή:**

- **Νικόλαος Μουσιόπουλος,**  
καθηγητής του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, κοσμήτορας της Πολυτεχνικής Σχολής.
- **Γεώργιος Πενέλης,**  
ομότιμος καθηγητής του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών.
- **Ιωάννης Αβραμίδης,**  
καθηγητής του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών.
- **Κοσμάς Στυλιανίδης,**  
καθηγητής του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών.
- **Νίκος Καλογήρου,**  
καθηγητής, πρόεδρος του Τμήματος Αρχιτεκτόνων.
- **Δημήτρης Αραβαντινός,**  
αναπλ. καθηγητής του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών.

**Ό**πως κάθε μεγάλη φυσική καταστροφή, έτσι και ο μεγάλος σεισμός της Θεσσαλονίκης στις 20 Ιουνίου 1978 προκάλεσε πολυάριθμα θύματα και σημαντικές ζημιές, αφήνοντας ανεξίτηλες μνήμες σε όσους τον έζησαν. Τον πανικό της πρώτης στιγμής διαδέχθηκε η έντονη ανησυχία των επόμενων ημερών σχετικά με το αν θα ακολουθούσαν και άλλες δονήσεις, ενώ γενική ήταν και η εντύπωση ότι η πολιτεία δεν ήταν προετοιμασμένη να αντιμετωπίσει μια τέτοια κρίση.

Μέσα σε αυτές τις συνθήκες, η Πολυτεχνική Σχολή του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης κλήθηκε να προσφέρει τις υπηρεσίες της προς το κοινωνικό σύνολο. Μέσα σε ελάχιστο χρόνο συγκροτήθηκαν ομάδες επιφορτισμένες, σε συντονισμό με συναδέλφους από άλλες σχολές και τις αρμόδιες υπηρεσίες της πολιτείας, να ελέγξουν την έκταση των ζημιών στα κτίρια και να αξιολογήσουν τις ανάγκες επιδιορθωτικών παρεμβάσεων. Άλλα μέλη της σχολής επικεντρώθηκαν στα μνημεία της πολιτιστικής μας κληρονομιάς, πολλά των οποίων είχαν πληγεί από το σεισμό. Με ακατάπαυτη εργασία μέσα στο καλοκαίρι και –χωρίς υπερβολή– μεγάλη δόση αυταπάρνης οι συνάδελφοι συνεισέφεραν αποφασιστικά στην επιτυχή διαχείριση της πρωτόγνωρης κρίσης και στην επάνοδο της πόλης στους κανονικούς της ρυθμούς.

Με αφορμή τη συμπλήρωση 30-ετίας από το σεισμό του 1978 και σε ένδειξη της ευγνωμοσύνης της προς όλους όσους συνέβαλαν στο να ξεπεραστεί η τότε κρίση, η κοσμητεία της Πολυτεχνικής Σχολής αποφάσισε την έκδοση του ανά χείρας τεύχους. Η έκδοση αυτή αποσκοπεί στο να αποτυπωθούν οι μνήμες από τη μεγάλη καταστροφή, αλλά και να καταγραφεί η σημαντική επιστημονική πρόοδος που συντελέστηκε έκτοτε στη σεισμική θωράκιση των κτιρίων, τις μεθόδους προσεισμικού και μετασεισμικού ελέγχου, αλλά και γενικότερα στην τεχνολογία των κατασκευών και τη σεισμολογική έρευνα.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους συγγραφείς για την προθυμία τους να συνεισφέρουν στην προσπάθεια αυτή με την υποβολή υψηλού επιπέδου άρθρων. Ιδιαίτερα θα ήθελα να εξάρω τη συμβολή των μελών της συντακτικής επιτροπής συναδέλφων Γ. Πενέλη, Γ. Αβραμίδη, Κ. Στυλιανίδη, Ν. Καλογήρου και Δ. Αραβαντινού.

Θεσσαλονίκη, Μάιος 2008  
Νικόλαος Μουσιόπουλος,  
κοσμήτορας της Πολυτεχνικής Σχολής Α.Π.Θ.



## Πίνακας περιεχομένων

Σεισμός της Θεσσαλονίκης 1978: Καμπή στην αντισεισμική προστασία της χώρας <i>Γεώργιος Πενέλης</i> .....	7
Η συμβολή του Τ.Ε.Ε./Τ.Κ.Μ. στην αντισεισμική προστασία της Κεντρικής Μακεδονίας <i>Βασίλης Λεκίδης, Πηνελόπη Ράλλη</i> .....	18
Η εξέλιξη των αντισεισμικών κανονισμών <i>Κυριάκος Αναστασιάδης</i> .....	23
Αντισεισμικές κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα στην Ελλάδα <i>Χρήστος Ιγνατάκης</i> .....	26
Η καταλυτική εξέλιξη των υπολογιστικών εργαλείων του πολιτικού μηχανικού από το 1978 μέχρι σήμερα <i>Ευθυμία Μητσοπούλου, Πανίκος Παπαδόπουλος</i> .....	30
Σεισμική τρωτότητα και διακινδύνευση κτιριακών συνόλων <i>Ανδρέας Κάππος</i> .....	34
Προσεισμικός και μετασεισμικός έλεγχος κατασκευών <i>Ιωάννης Αβραμίδης</i> .....	39
Προσεισμική και μετασεισμική ενίσχυση κτιρίων <i>Κοσμάς Στυλιανίδης</i> .....	47
Δομική αναστήλωση σε σεισμοπαθείς περιοχές <i>Γεώργιος Πενέλης</i> .....	53
Αποτίμηση τρωτότητας και διαχείριση σεισμικής διακινδύνευσης δικτύων κοινής ωφέλειας, υποδομών και κρίσιμων υπηρεσιών Εφαρμογή στη μητροπολιτική Θεσσαλονίκη <i>Κυριαζής Πιτιλάκης</i> .....	59
Οι επιπτώσεις του σεισμού της Θεσσαλονίκης στην αρχιτεκτονική διευθέτηση της πόλης <i>Νίκος Καλογήρου</i> .....	64
Μελέτες προστασίας, συντηρήσεως και αναστηλώσεως βυζαντινών μνημείων Θεσσαλονίκης μετά τους σεισμούς του 1978 <i>Ν. Κ. Μουτσόπουλος</i> .....	66
Εφαρμογή γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών για την ανάλυση των βλαβών από το σεισμό του 1978 στα κτίρια της Θεσσαλονίκης 1. Ανάλυση των βλαβών κτιρίων στο πολεοδομικό συγκρότημα Θεσσαλονίκης στο πλαίσιο του ερευνητικού έργου SEISIMPACT-Thess <i>Πάρις Σαββαΐδης, Ηλίας Τζιαβός, Ιωάννης Δούκας, Αριστέιδης Βουλγαρούδης</i> .....	77
2. Ανάλυση της συμπεριφοράς κτιρίων του ιστορικού κέντρου της Θεσσαλονίκης με τη χρήση ΓΣΠ και 3D ψηφιακών μοντέλων <i>Πέτρος Πατιάς</i> .....	79

Συμβολή της τοπογραφίας στην έρευνα για την πρόγνωση των σεισμών στην Ελλάδα. Το δίκτυο Βόλβης. <i>Δημήτρης Βλάχος</i> .....	82
Μελέτη της μεταβολής γεωδαιτικών και γεωφυσικών παραμέτρων σε σχέση με τη σεισμικότητα στον ευρύτερο χώρο της περιοχής της Θεσσαλονίκης <i>Δ. Ν. Αραμπέλος, Γ. Αστεριάδης, Μ. Κονταδάκης, Σ. Δ. Σπαταλάς</i> .....	86
Τεκτονική μελέτη των σεισμικών ρηγμάτων των κυριότερων επιφανειακών σεισμών της Ελλάδας <i>Δημοσθένης Μουντράκης, Σπυρίδων Παυλίδης</i> .....	92
Το δίκτυο σειсмоγράφων του Α.Π.Θ. και ο σεισμός του 1978 <i>Κωνσταντίνος Παπαζάχος, Μανώλης Σκορδύλης, Παναγιώτης Χατζηδημητρίου</i> .....	96
Μεσοπρόθεσμη πρόγνωση των σεισμών <i>Βασίλειος Κ. Παπαζάχος, Γεώργιος Φ. Καρακαϊσής</i> .....	101

# Σεισμός της Θεσσαλονίκης 1978: Καμπή στην αντισεισμική προστασία της χώρας

του Γεώργιου Πενέλη,  
ομότιμου καθηγητή του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ.

*Για πρώτη φορά στη σύγχρονη ιστορία της Ελλάδας ένα μεγάλο αστικό κέντρο 800 περίπου χιλιάδων κατοίκων με σύγχρονα πολυώροφα κτίρια χτυπιόταν από ισχυρό σεισμό, χωρίς κατάλληλη προετοιμασία της πολιτείας. Τα όσα ακολούθησαν βοήθησαν στην αντιμετώπιση των άμεσων προβλημάτων αλλά συγχρόνως αποτέλεσαν καταλύτη για ριζικές αλλαγές στην αντισεισμική πολιτική της χώρας.*

## 1. Ιστορικό

### 1.1. Τα χαρακτηριστικά του σεισμού

Ο σεισμός της 20-06-78 μπορεί να καταταχθεί σε έναν από τους 5 - 6 μεγαλύτερους σεισμούς που έπληξαν στο ιστορικό παρελθόν την πόλη. Ο σεισμός αυτός είχε τα εξής χαρακτηριστικά:

- Χρόνος συμβάντος: 20-06-78, ώρα 20:30 [1].
- Επίκεντρο: 20 km ανατολικά της Θεσσαλονίκης μεταξύ λίμνης Κορώνειας και Βόλβης, στο χωριό Στίβος.
- Βάθος σεισμού: 8 - 10 km (μικρού εστιακού βάθους).
- Μέγεθος: 6,5 βαθμοί σε κλίμακα Richter.
- Διάρκεια: 10 sec.
- Η ένταση στη Θεσσαλονίκη: VII - VIII βαθμοί Μ.Μ.
- Οι ισόσειστες του σεισμού απεικονίζονται στην εικόνα 1 [2].
- Η μέγιστη επιτάχυνση εδάφους που προσδιορίστηκε στη μοναδική καταγραφή που έγινε σε επιταχυνσιογράφο, εγκατεστημένο στο υπόγειο του ξενοδοχείου City ανήλθε σε:

$$a_{\max} = 0,15g$$

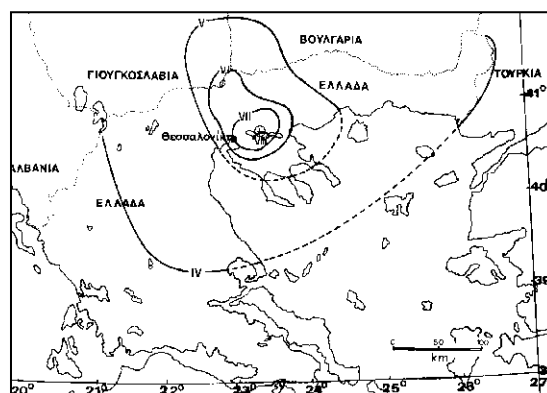
- Προέχουσα περίοδος σεισμικής δόνησης: 0,40 - 0,50 sec.
- Το φάσμα επιταχύνσεων της εν λόγω καταγραφής απεικονίζεται στην εικόνα 2 [3].

Είχε προηγηθεί σειρά προσειμών με ισχυρότερο εκείνο της 23-05-78 μεγέθους 5,8 βαθμών της κλίμακας Richter από τον αυτό εστιακό χώρο, ο οποίος προκάλεσε και σποραδικές ζημιές σε επώνυμα κτίρια της πόλης, όπως στη Μητρόπολη (εικόνα 3), στην τότε Βιομηχανική Σχολή και αλλού.

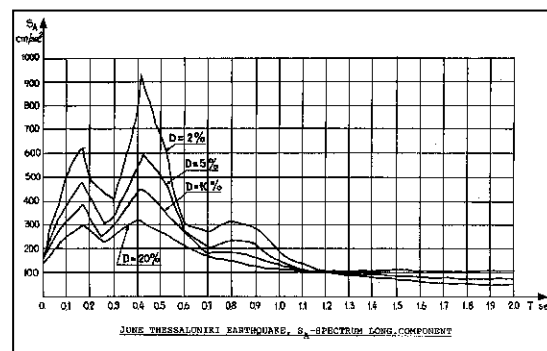
Ακολούθησε επίσης σειρά ισχυρών μετασειμών με ισχυρότερο εκείνο της 05-07-78 μεγέθους 5,0 βαθμών της κλίμακας Richter και με μετακινημένο επίκεντρο δυτικά της λίμνης Κορώνειας στα 7,0 - 10,0 km από τη πόλη.

### 1.2. Οι αντιδράσεις των κατοίκων

- Από το σεισμό η Θεσσαλονίκη είστηκε συθέμελα. Το τι επακολούθησε δεν είναι εύκολο να περιγραφεί. Έπιπλα μέσα στα σπίτια μετακινήθηκαν ή ανα-



Εικόνα 1: Ισόσειστες σεισμού Βόλβης 20-06-78.



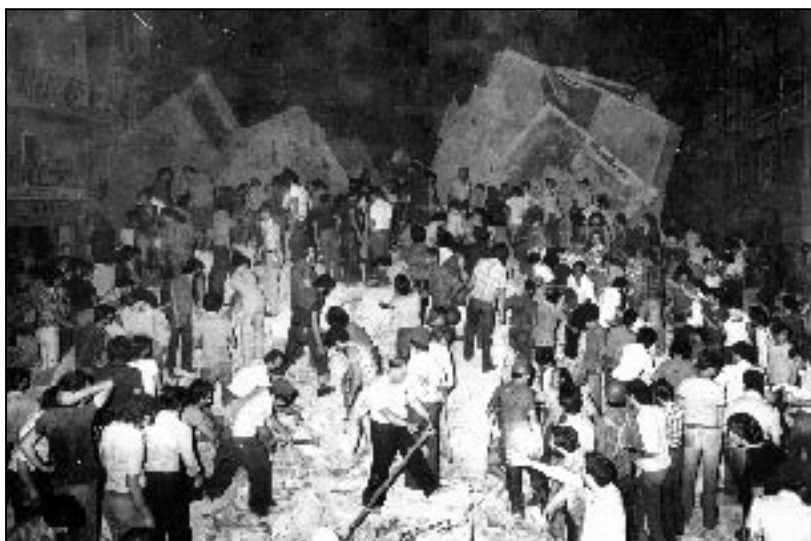
Εικόνα 2: Φάσμα επιταχύνσεων του σεισμού της 20-06-78. Εγκάρσια συνιστώσα.

τράπηκαν, κτίρια ράγισαν, τοίχοι κατέρρευσαν, κτίρια κατέρρευσαν ή αχρηστεύθηκαν, πολίτες τραυματίστηκαν ή έχασαν τη ζωή τους. Ο κόσμος ξεχύθηκε μέσα σε σύννεφα σκόνης στους δρόμους που σε μεγάλο ποσοστό ήταν αδιάβατοι από καταπτώσεις επιχρισμάτων, στηθαίων, καμινάδων, τοιχοποιιών. Δημιουργήθηκε κυκλοφοριακή συμφόρηση στην προσάθια όλων να αποδράσουν στο ύπαιθρο, με αποτέλεσμα να είναι αδύνατη η κίνηση νοσοκομειακών και πυροσβεστικών οχημάτων.





Εικόνα 3: Βλάβες στη Μητρόπολη Θεσσαλονίκης από τον προσεισμό της 23-05-78.



Εικόνα 4: Εικόνα από την κατάρρευση της 8-ωρόφου οικοδομής στην πλατεία Ιπποδρομίου.



Εικόνα 5: Εικόνα από την κατάρρευση της 8-ωρόφου οικοδομής στην πλατεία Ιπποδρομίου.

- Οι επικοινωνίες κόπηκαν, τα δίκτυα Μ.Μ.Ε. εσίγησαν, και ο πανικός ενισχυόταν από φήμες για πολλές καταρρεύσεις πολυώροφων κτιρίων και αμέτρητους νεκρούς και τραυματίες. **Εκείνη τη νύχτα στη Θεσσαλονίκη το κράτος είχε γονατίσει.**
- Το επόμενο πρωί βρήκε την πόλη με τις πληγές χαινούσες, με 49 νεκρούς, 220 τραυματίες, με 800 περίπου χιλιάδες πολίτες άστεγους, είτε διότι τα σπίτια τους είχαν καταστραφεί, είτε διότι δεν τολμούσαν να τα χρησιμοποιήσουν. Καραβάνια ατελείωτα από αυτοκίνητα με αλλόφρονες πολίτες κινούνταν σημειωτόν προς τις εξόδους της πόλης, προκειμένου να αποδράσουν σε ασφαλείς προορισμούς.
- Η έκρυθμη αυτή κατάσταση διατηρήθηκε αμείωτη για έναν τουλάχιστον μήνα, και μόνο περί τα τέλη Αυγούστου η ζωή στην πόλη ομαλοποιήθηκε. Βασική αιτία του μεγάλου πανικού που συνέχισε την πόλη για μεγάλο χρονικό διάστημα υπήρξε η μοναδική κατάρρευση οκταώροφης οικοδομής στην πλατεία Ιπποδρομίου, στην οποία βρήκαν το θάνατο 29 από τα συνολικώς 49 θύματα (εικόνας 4 και 5) [4]. Με την κατάρρευση αυτή **γκρεμίστηκε συγχρόνως και η ψευδαίσθηση των πολιτών ότι οι σύγχρονες πόλεις με αντισεισμικά κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα ήταν άτρωτες στο σεισμό.**

### 1.3. Οι απώλειες

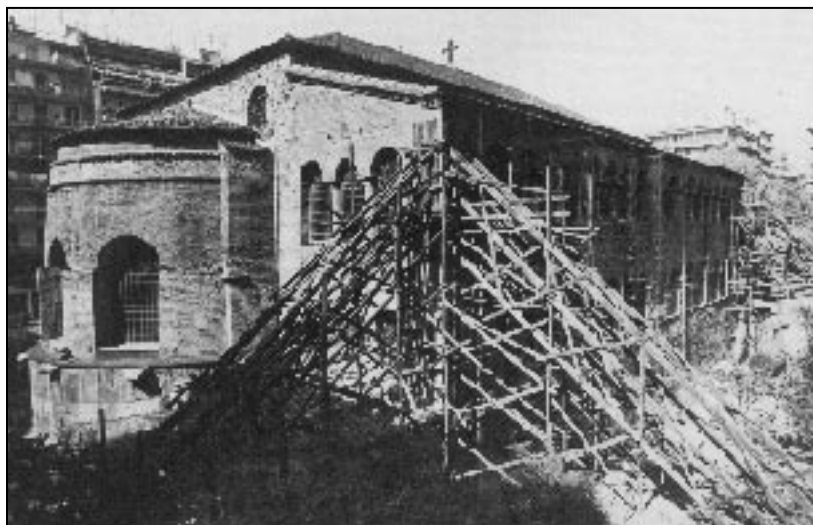
Πέραν από τις ανθρώπινες απώλειες, που ήδη αναφέρθηκαν στην παράγραφο 1.2., υπήρξαν μεγάλης κλίμακας υλικές ζημιές. Ως γνωστόν πρόκειται για το δεύτερο σε μέγεθος αστικό συγκρότημα της Χώρας με 66.000 περίπου κτίρια, στη μεγάλη τους πλειοψηφία (65%) με φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα, πολυώροφα (3-9 όροφοι), κτισμένα στο μέγιστο ποσοστό τους μετά το 1950. Το μεγαλύτερο ποσοστό των κτιρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα (95%) ήταν σχεδιασμένο με βάση τον αντισεισμικό κανονισμό του 1959 [5], [6].

Με βάση μεγάλης κλίμακας στατιστικές έρευνες [5], που διεξήχθησαν μετά την αποκατάσταση σε συνεργασία του Εργαστηρίου Σιδηροπαγούς Σκυροδέματος Α.Π.Θ. και της Υ.Α.Σ.Β.Ε., προέκυψαν τα εξής:

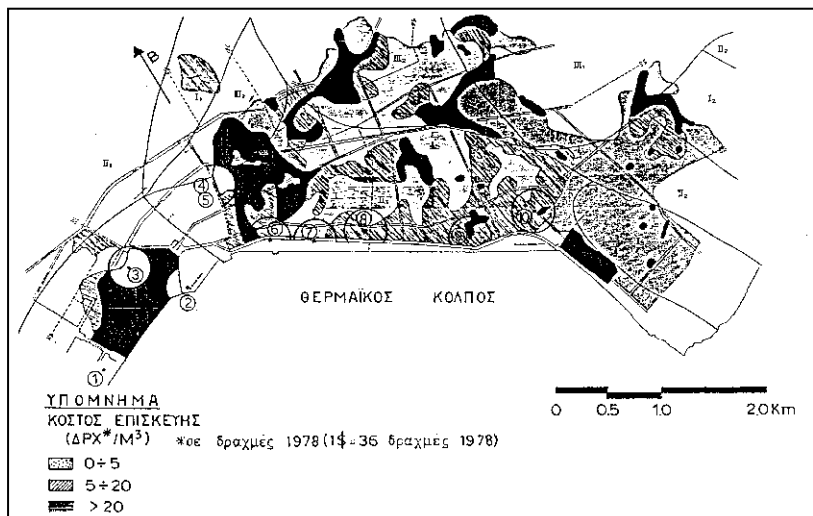
- Υπήρξε, όπως ήδη λέχθηκε, μία κατάρρευση οκταώροφης οικοδομής, καθώς και άλλες δευτερεύουσας σημασίας καταρρεύσεις παλιών κτισμάτων.
- Εντοπίστηκαν 3.170 (4,5%) κτίρια με σοβαρές και επικίνδυνες βλάβες στον φέροντα οργανισμό (κόκκινα) που πολλά απ' αυτά κρίθηκαν κατεδαφιστέα.
- Εντοπίστηκαν 13.918 (21,0%) κτίρια με μέσης ή και μικρής κλίμακας βλάβες στον φέροντα οργανισμό (κίτρινα).
- Επιστημάνθηκαν 49.071 (74,5%) κτίρια χωρίς βλάβες στο φέροντα οργανισμό (πράσινα), με περιορισμένες ή καθόλου βλάβες στον οργανισμό πλήρωσης.
- Εντοπίστηκαν εκτεταμένες βλάβες στα μνημεία



Εικόνα 6: Η Ροτόντα Θεσσαλονίκης μετά από το σεισμό της 20-06-78.



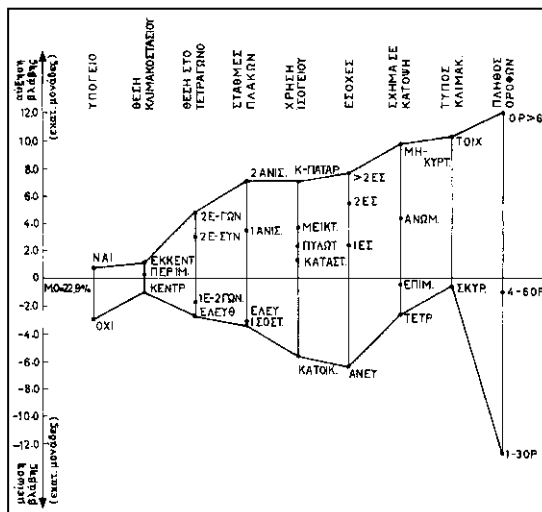
Εικόνα 7: Η Αχειροποίητος Θεσσαλονίκης μετά το σεισμό της 20-06-78.



Εικόνα 8: Χάρτης κατανομής ζημιών στη Θεσσαλονίκη κατά το σεισμό της 20-06-78.

της πόλης (Ροτόντα, Αχειροποίητο κ.τ.λ.) (εικόνες 6 και 7), που οφείλονταν πιο πολύ στην επιδείνωση υφισταμένων βλαβών από δεκαετίες ή και αιώνες.

- Οι βλάβες στα δίκτυα κοινής ωφέλειας ήταν πολύ περιορισμένες έως και ανύπαρκτες.
- Ανάλογες ζημιές εκδηλώθηκαν σε όλη την πληγείσα περιοχή με ιδιαίτερη **έμφαση στην επικεντρική**, όπου όμως δεν περιλαμβάνονταν μεγάλα αστικά κέντρα.
- **Το κόστος αποκατάστασης του δομημένου περιβάλλοντος, επικαιροποιημένο, ανήλθε σε 1,0 - 1,2 δισ. €**, χωρίς να περιλαμβάνεται σ' αυτό το κόστος νέων διανοίξεων οδών, οικοσκευής και έμμεσων απωλειών λόγω αποδιοργάνωσης της οικονομικής ζωής της πόλης και της ευρύτερης περιοχής.
- Κοινή είναι η αντίληψη ότι ο σεισμός προκάλεσε περιορισμένες βαρύτητας αλλά πολύ μεγάλης έκτασης ζημιές.
- Με δεδομένη τη χαμηλή ποιότητα του φέροντος εξοπλισμένου σκυροδέματος σκελετού των πολυώροφων κτιρίων, λόγω χαμηλής αντοχής σκυροδέματος και κακής όπλισης, εκτιμάται ότι η απόκριση των κατασκευών, παρά την υψηλή ένταση σεισμού, **ήταν εντυπωσιακά καλή**. Η συμπεριφορά αυτή αποδόθηκε στην υψηλή ποιότητα του οργανισμού πλήρωσης (καλοδομημένες πλινθοδομές) γεγονός που επιβεβαιώθηκε από εκτεταμένα ερευνητικά προγράμματα του Εργαστηρίου Σιδηροπαγούς Σκυροδέματος του Α.Π.Θ. [6], [7].
- Τέλος, από άλλες έρευνες στο ίδιο εργαστήριο [5], [8], [9] προέκυψε ότι στην τοπογραφική κατανομή των υψηλών ζημιών σημαντικό ρόλο έπαιξε το εδαφικό προφίλ στις διάφορες περιοχές της πόλης (εικόνα 8), ενώ διάφορες παράμετροι, όπως ο αριθμός των ορόφων ή η ύπαρξη πιλοτής επηρέασαν την έκταση των ζημιών στον φέροντα οργανισμό των κτιρίων (εικόνα 9).



Εικόνα 9: Στατιστική αξιολόγηση ζημιών Θεσσαλονίκης στο σεισμό της 20-06-78.

#### 1.4. Η αντίδραση της πολιτείας

- Η σεισμική ηρεμία που επικράτησε στη χώρα από το 1955 έως το 1978 σε συνδυασμό με την καθιέρωση από το 1959 και μετά του αντισεισμικού κανονισμού είχε ως συνέπεια **το γενικό εφησυχασμό** και την εσφαλμένη εκτίμηση ότι **οι κατασκευές με σκελετό από οπλισμένο σκυρόδεμα είχαν λύσει οριστικά το πρόβλημα του σεισμικού κινδύνου**. Οι όποιες αντίθετες φωνές, κυρίως πανεπιστημιακών, **μεταξύ των οποίων και του γράφοντος**, αποτελούσαν παραφωνία. Φθάνει να αναφερθεί ότι η Διεύθυνση Τεχνικής Σεισμολογίας και Αντισεισμικών Κατασκευών του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. το 1978 ήταν στελεχωμένη μόνο με δύο πολιτικούς μηχανικούς.
- Δεν πρέπει να λησμονείται ότι τέτοιος ήταν ο εφησυχασμός, ώστε **ο αντισεισμικός κανονισμός του 1959, σε μια περίοδο κρίσιμων επιστημονικών εξελίξεων διεθνώς, έμεινε αναλλοίωτος για 25 περίπου χρόνια** και αυτά σε μια περίοδο, κατά την οποία ανοικοδομήθηκαν με κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα άνω του 80% των αστικών κέντρων της χώρας.
- Ο σεισμός της Θεσσαλονίκης ξύπνησε την πολιτεία από το λήθαργο και μάλιστα με πολύ επώδυνο τρόπο, χτυπώντας το δεύτερο σε μέγεθος αστικό κέντρο της χώρας. Πολίτες και κράτος διαπίστωσαν με χειροπιαστά αποτελέσματα ότι οι ελληνικές πόλεις, παρ' όλο ότι ήταν κτισμένες με κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα και με βάση τον αντισεισμικό κανονισμό του 1959, δεν ήταν άτρωτες στο σεισμό.
- Έτσι, η πολιτεία βρέθηκε ανέτοιμη για την αντιμετώπιση της κρίσης. **Μετά όμως από το πρώτο σοκ η ενεργοποίηση υπήρξε άμεση**. Με την αμέριστη συμπαράσταση των σχολών Πολιτικών Μηχανικών και Γεωφυσικής του Α.Π.Θ. καθώς και του Τ.Ε.Ε./Τ.Κ.Μ. η πολιτεία οργάνωσε το σύστημα:
  - Περίθαλψης πληγέντων.
  - Χαρακτηρισμού κτιρίων - Εκτίμησης βλαβών.
  - Επισκευής και ενίσχυσης.
  - Αναστήλωσης μνημείων.
  - Οικονομικής στήριξης πληγέντων.

Παράλληλα η πολιτεία προχώρησε σε μακροπρόθεσμες δράσεις με τη δημιουργία ή ενίσχυση επιστημονικών και διοικητικών υποδομών για τη μείωση του σεισμικού κινδύνου.

Οι βραχυπρόθεσμες δράσεις για την επούλωση των πληγών του σεισμού, αλλά και οι μακροπρόθεσμες που ακολούθησαν και συνεχίζονται μέχρι σήμερα για τη μείωση του σεισμικού κινδύνου θα μας απασχολήσουν στα επόμενα κεφαλαία.

## 2. Βραχυπρόθεσμες δράσεις της πολιτείας

### 2.1. Γενικά

- Πρέπει εξ αρχής να σημειωθεί ότι το υφιστάμενο σχέδιο έκτακτης ανάγκης «ΞΕΝΟΚΡΑΤΗΣ» αποδείχθηκε ανεφάρμοστο, ανεπίκαιρο και μη ρεαλιστικό.

- Δεν κινητοποιήθηκαν άμεσα σωστικά συνεργεία, **διότι δεν υπήρχαν**,
- δεν κινητοποιήθηκαν μηχανήματα, **διότι η πολιτική επιστράτευσή τους απέτυχε**,
- δεν υπήρχαν υλικά (χονδροξυλεία - ικριώματα) και ανθρώπινο δυναμικό για υποστυλώσεις,
- δεν υπήρχε **σχέδιο δράσης για τη μετασεισμική αντιμετώπιση** της κρίσης και, το πιο σημαντικό, **δεν υπήρχε θεσμικό πλαίσιο** που να παρέχει στην πολιτική ηγεσία και στις υπηρεσίες τη βάση και τη νομιμοποίηση για γρήγορες και αποτελεσματικές δράσεις.
- Έτσι, η ευθύνη για τη διαχείριση της κρίσης ανατέθηκε από την κυβέρνηση ad hoc στον τότε υπουργό δημόσιων έργων αείμνηστο Ν. Ζαρντινίδη, ο οποίος συγκρότησε άμεσα μια συμβουλευτική επιτροπή από τους καθ' ύλην αρμόδιους καθηγητές του Α.Π.Θ. Γ. Νιτσιώτα (Π.Σ.), Δ. Βαλαλά (Π.Σ.), Γ. Πενέλη (Π.Σ.) και Β. Παπαζάχο (Φ.Μ.Σ.) και παράλληλα προέβη στην αναδιάταξη του επιχειρησιακού δυναμικού του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. στην Κεντρική Μακεδονία. Με την εν λόγω αναδιάταξη μετακινήθηκε στην ειδική υπηρεσία που συγκροτήθηκε προς τούτο (μετέπειτα Υ.Α.Σ.Β.Ε.), ότι εκλεκτότερο διέθετε το Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. σε ανθρώπινο δυναμικό στο βορειοελλαδικό χώρο.
- Η όλη προσπάθεια στηρίχθηκε από το Τ.Ε.Ε./Τ.Κ.Μ., με πρόεδρο τον μετέπειτα υπουργό Σωτ. Κούβελα, το οποίο κινητοποίησε τα μέλη του ποικιλοτρόπως σε εθελοντική βάση.
- Τα προβλήματα που έπρεπε να αντιμετωπιστούν υπό αφόρητη πίεση και χωρίς καμία προεργασία ήταν:
  - Διάσωση - περίθαλψη.
  - Εκτίμηση ζημιών κτιρίων.
  - Υποστυλώσεις - καθαιρέσεις.
  - Επισκευές - ενισχύσεις.
  - Αναστήλωση μνημείων.
  - Χρηματοδότηση.
  - Δημιουργία κατάλληλου θεσμικού πλαισίου μετασεισμικών επεμβάσεων,
  - Δημιουργία Υπηρεσιακών δομών υλοποίησης,
- Τα προβλήματα προσωρινής στέγασης σε σκηνές, σίτισης και ιατροφαρμακευτικής περίθαλψης απασχόλησαν το Υπουργείο Υγείας & Πρόνοιας καθώς και το στρατό και την τοπική αυτοδιοίκηση και ως εκ τούτου δεν θα αναφερθούμε στις παραγράφους που ακολουθούν σ' αυτά.

### 2.2. Εκτίμηση ζημιών κτιρίων - Υποστυλώσεις - Καθαιρέσεις

Μετά από ολονύκτιες συσκέψεις με αντικρουόμενα επιχειρήματα τελικώς, σε ό,τι αφορά στην εκτίμηση των ζημιών αποφασίσθηκαν τα εξής:

- Τη συνολική ευθύνη για την εκτίμηση των ζημιών να την αναλάβει η πολιτεία για λόγους δημόσιας ασφάλειας. Στα κτίρια που ανήκαν σε φορείς του ευρύτε-

ρου δημόσιου τομέα ο έλεγχος διενεργούνταν από μηχανικούς των τεχνικών τους υπηρεσιών.

- Ο έλεγχος να επεκταθεί στο σύνολο των κτιρίων της πληγείσας περιοχής για την σύντομη **αποκατάσταση του αισθήματος ασφάλειας**.
- Ο έλεγχος να είναι οπτικός (ποιοτικός) και να αποβλέπει **στην προστασία των πολιτών από μερική ή ολική κατάρρευση από μετασεισμούς**, αφού ο κύριος στόχος είναι η εμπέδωση του αισθήματος της δημόσιας ασφάλειας.
- Ο οπτικός έλεγχος αποφασίστηκε να κατατάξει όλα τα κτίρια στις εξής κατηγορίες:
  - Μη ορατές βλάβες στον φέροντα οργανισμό - Απεριόριστη χρήση (**πράσινα**).
  - Περιορισμένες βλάβες στον φέροντα οργανισμό - Περιορισμένη χρήση με ευθύνη του χρήστη (**κίτρινα**).
  - Σοβαρές βλάβες στον φέροντα οργανισμό - Απαγόρευση εισόδου και χρήσης (**κόκκινα**).

Η όλη διαδικασία ελέγχου απεικονίζεται στο διάγραμμα ροής της εικόνα 10, ενώ το διοικητικό σχήμα του όλου εγχειρήματος στην εικόνα 11 [10].

- Για την υλοποίηση του εγχειρήματος απαιτήθηκαν για 45 μέρες 1.000 περίπου μηχανικοί.
- Τέλος, σημειώνεται ότι υπήρξε ειδική μέριμνα για τη δημιουργία Τμήματος Υποστυλώσεων - Καθαιρέσεων, πολύ σημαντική συμβολή στο οποίο, υπήρξε η δωρεάν παροχή χονδροξυλίας και ειδικού τεχνικού προσωπικού από τα ορυχεία Στρατωνίου του Συγκροτήματος Μποδοσάκη, με την οποία έγινε η

προσωρινή υποστύλωση των μνημείων της πόλης.

### 2.3. Επισκευές - Ενισχύσεις - Χρηματοδότηση

Τα βασικά ερωτήματα που έπρεπε να απαντηθούν σε σχέση με τις επισκευές - ενισχύσεις ήταν τα εξής:

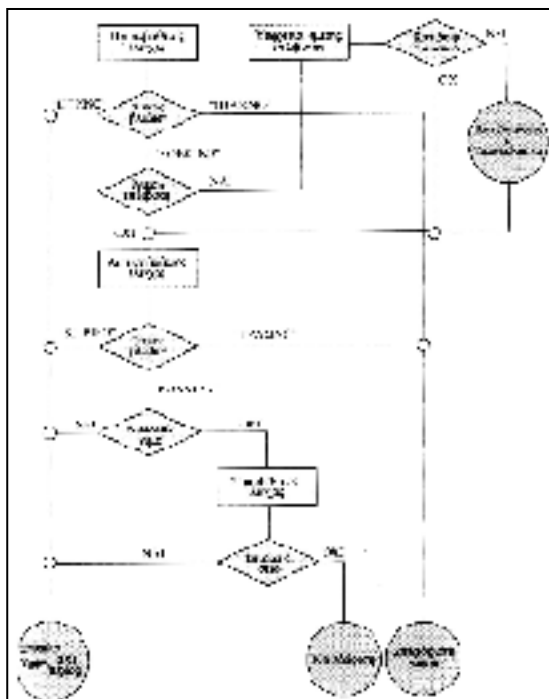
- Βαθμός και έκταση οικονομικής παρέμβασης του κράτους στην αποκατάσταση των ζημιών.
- Βαθμός εμπλοκής της πολιτείας **στη διαδικασία** επεμβάσεων στις κατασκευές.
- Υπηρεσιακές **δομές**, οι οποίες θα εμπλέκονταν (π.χ. η Πολεοδομία ή κάποια νέα υπηρεσία).
- Επίπεδο **ενίσχυσης** και έκταση επεμβάσεων.
- **Προδιαγραφές** για επισκευές και ενισχύσεις - κοστολόγηση.
- **Μετεκπαίδευση** μηχανικών και τεχνητών στις τεχνολογίες επεμβάσεων.
- Διασφάλιση **ανθρώπινων πόρων**.

#### (α) Χρηματοδότηση

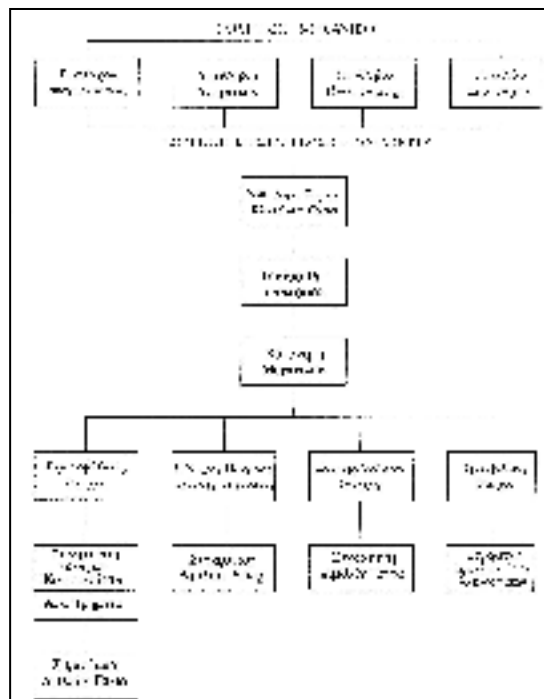
- Αποφασίσθηκε οι πάσης φύσεως επισκευές και ενισχύσεις να επιδοτηθούν σε ποσοστό 30% από κρατικούς πόρους.
- Το υπόλοιπο 70% των δαπανών καλύπτονταν με τραπεζικό δάνειο, με εγγύηση του Δημοσίου, εικοσαετούς διάρκειας, με επιδοτούμενο επιτόκιο.
- Για την κάλυψη των δαπανών αυτών αποφασίσθηκε από την πολιτεία η επιβολή ειδικού φόρου.

#### (β) Βαθμός εμπλοκής του κράτους - Υπηρεσιακές δομές

- Για τα κτίρια του ιδιωτικού τομέα αποφασίσθηκε



Εικόνα 10: Οργανόγραμμα διεξαγωγής μετασεισμικών ελέγχων στη Θεσσαλονίκη το 1978.



Εικόνα 11: Οργανόγραμμα συγκρότησης της Υπηρεσίας Μετασεισμικών Ελέγχων στη Θεσσαλονίκη το 1978.

η εμπλοκή του κράτους να περιορισθεί μόνο στα εξής:

- Στον έλεγχο των μελετών επισκευής και ενίσχυσης που οι ιδιοκτήτες συνέτασσαν με ιδιώτες μηχανικούς και στην έκδοση της σχετικής οικοδομικής άδειας.
- Στον έλεγχο του προϋπολογισμού μελέτης, από την οποία καθοριζόταν και το ύψος της οικονομικής ενίσχυσης.
- Στην επιθεώρηση και πιστοποίηση των συντελούμενων επεμβάσεων σε τρία στάδια μέχρι περατώσεως.
- Για τα κτίρια του ευρύτερου δημόσιου τομέα αποφασίσθηκε οι επεμβάσεις να εκτελεστούν από τις τεχνικές τους υπηρεσίες με την διαδικασία εκτέλεσης των δημόσιων έργων.
- Για την υλοποίηση του όλου εγχειρήματος αποφασίσθηκε η δημιουργία μιας νέας ευέλικτης υπηρεσίας (Υπηρεσία Αποκατάστασης Σεισμοπλήκτων Βόρειας Ελλάδας - Υ.Α.Σ.Β.Ε.) του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. με αποκεντρωμένες μονάδες υλοποίησης (Τομείς Αποκατάστασης Σεισμοπλήκτων - Τ.Α.Σ.).
- Για τη στελέχωση της νέας υπηρεσίας της Υ.Α.Σ.Β.Ε. προσλήφθηκαν από το Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. 800 περίπου νέοι τεχνικοί και διοικητικοί υπάλληλοι.

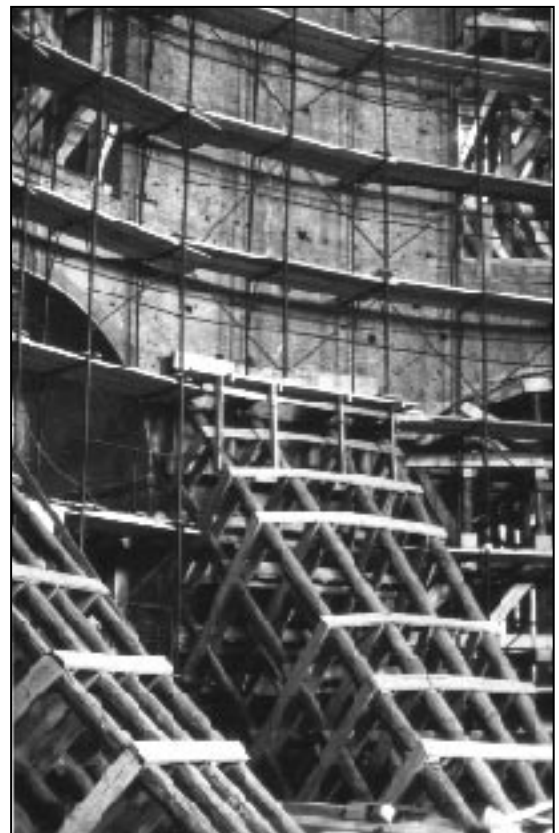
#### (γ) Λοιπές δράσεις, σχετιζόμενες με τις επισκευές

- Σε ό,τι αφορά στην έκταση και στο επίπεδο αντισεισμικής αναβάθμισης, ύστερα από ατέρμονες συζητήσεις και αντιπαραθέσεις αποφασίσθηκε:
  - Οι πάσης φύσεως στατικοί και αντισεισμικοί έλεγχοι να γίνουν με βάση τον τότε ισχύοντα αντισεισμικό κανονισμό (Α.Κ. 1959).
  - Τα κτίρια χωρίς βλάβες στο φέροντα οργανισμό (πράσινα) αλλά με βλάβες στον οργανισμό πληρώσεως να απαλλαγούν κάθε στατικού ελέγχου και να επισκευασθούν με βάση ειδικές προδιαγραφές επισκευών οργανισμού πληρώσεως μετά από έκδοση σχετικής άδειας.
  - Στα κτίρια με τοπικές βλάβες στο φέροντα οργανισμό να επαναδιαστασιολογηθούν **μόνο τα βλαφθέντα δομικά στοιχεία** οπλισμένου σκυροδέματος και να επισκευασθούν με βάση ειδικές προδιαγραφές του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. μετά από την έκδοση σχετικής άδειας.
  - Τα κτίρια με βλάβες **γενικού χαρακτήρα** να αναλυθούν εκ νέου για φορτία βαρύτητας και σεισμού, να αναδιαστασιολογηθούν και να ενισχυθούν ως σύνολο με βάση τη σχετική άδεια.
- Για την υλοποίηση του προγράμματος, το Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. σε συνεργασία με το Ε.Μ.Π. και την Πολυτεχνική Σχολή του Α.Π.Θ. **εξέδωσε εντός τριών μηνών** προδιαγραφές για τον ανασχεδιασμό, την επισκευή και ενίσχυση των κτιρίων [11], [12], [13], [14], στις οποίες ενσωματώθηκαν όλες οι τότε σύγχρονες αντιλήψεις για την αντισεισμική τεχνολογία.

- Επίσης στο αυτό χρονικό διάστημα εκδόθηκαν από το Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. **αναλυτικά τιμολόγια σύνθετων τιμών** για την επισκευή δομικών στοιχείων υπό τη μορφή **«αντικειμενικών τιμών μονάδας»**. Έτσι, ελαχιστοποιήθηκαν οι τριβές μεταξύ ιδιοκτητών και υπηρεσιών για το ύψος του δανείου και της κρατικής επιχορήγησης.
- Την ίδια χρονική περίοδο από το Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. σε συνεργασία με την Πολυτεχνική Σχολή του Α.Π.Θ. και το Τ.Ε.Ε./Τ.Κ.Μ., οργανώθηκαν επάλληλα μετεκπαιδευτικά σεμινάρια μηχανικών **για τις επισκευές κτιρίων με ζημιές από σεισμό**. Τα σεμινάρια αυτά τα παρακολούθησαν περίπου 750 μηχανικοί και συνοδεύτηκαν από σχετική υποστηρικτική έκδοση του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. με τίτλο: **«Σεμινάριο για τις επισκευές κτιρίων με ζημιές από σεισμό»** Υ.Δ.Ε. - Α.Π.Θ./ Π.Σ. - Τ.Ε.Ε./Τ.Κ.Μ., Θεσσαλονίκη 1979.
- Τέλος, για τη διασφάλιση ανθρώπινων πόρων αποφασίσθηκε η αναστολή έκδοσης νέων οικοδομικών αδειών στην περιοχή για έξι μήνες.

#### 2.4. Η ανασύλωση των μνημείων

- Ο σεισμός βρήκε τα μνημεία της πόλης σε κακή κατάσταση. Από την απελευθέρωση της πόλης το 1912 μέχρι την ημέρα του σεισμού δεν είχε γίνει



**Εικόνα 12:** Προσωρινή υποσύλωση της Ροτόντας εσωτερικώς μετά το σεισμό του 1978.





**Εικόνα 13:** Προσωρινή υποστήλωση της Ροτόντας εξωτερικώς μετά το σεισμό του 1978.

καμία μεγάλης κλίμακας συντήρηση σ' αυτά. Έτσι, η κατάσταση με το σεισμό επιδεινώθηκε τραγικά και σε ορισμένα από αυτά είχε δρομολογηθεί πορεία προϊούσας κατάρρευσης (π.χ. Ροτόντα, Αχειροποίητος κ.τ.λ.).

- Με δεδομένο ότι ο κυρίαρχος στόχος κατά την επέμβαση σε μνημειακά κτίρια είναι η **διατήρηση της αυθεντικότητας και δευτερεύοντος η επανάχρηση**, έπρεπε για τις επεμβάσεις να ακολουθηθεί ειδική διαδικασία. Έτσι, με κοινή υπουργική απόφαση του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. και του Υπ. Πολιτισμού συγκροτήθηκε μεικτή «**Επιτροπή εποπτείας για την αποκατάσταση των μνημείων που επλήγησαν από σεισμό**» αποτελούμενη από καθηγητές του Α.Π.Θ., έφορους αρχαιοτήτων του Υπουργείου

**Εικόνα 15:**  
Η Ροτόντα  
μετά την  
αποκατάσταση.



**Εικόνα 14:**  
Εργασίες  
αποκατάστασης  
στη Ροτόντα.

γείου Πολιτισμού και διευθυντικά στελέχη του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.

- Η επιτροπή αυτή
  - διαμόρφωσε **πλαίσιο αρχών** επεμβάσεων συμβατό με τη **Χάρτα της Βενετίας**,
  - διαχώρισε τις άμεσες εργασίες προσωρινής υποστήλωσης από τις αναστηλωτικές εργασίες,
  - διαμόρφωσε προδιαγραφές σύνταξης μελετών,
  - συνέταξε, διαχωρισθείσα σε ομάδες εργασίας, μελέτες αναστηλωτικών επεμβάσεων για σειρά μνημείων όπως η Ροτόντα, η Μονή Βλατάδων, ο ναός του Σωτήρα στην Καμάρα, κ.τ.λ.,
  - δρομολόγησε την σύνταξη των μελετών για τα λοιπά μνημεία.
- Η Υ.Α.Σ.Β.Ε. επιφορτίστηκε με την ευθύνη των εργασιών προσωρινής υποστήλωσης (εικόνες 12 και 13) [15], η δε 9η Εφορία Βυζαντινών Αρχαιοτήτων επιφορτίστηκε με το τιτάνιο έργο της αναστήλωσης που διήρκεσε μέχρι πρόσφατα (εικόνες 14 και 15) [15]. Το έργο αυτό η εν λόγω υπηρεσία, όπως ο καθένας μπορεί να διαπιστώσει, έφερε σε πέρας με τρόπο αξιοθαύμαστο. **Ήταν η πρώτη φορά που στην ελληνική επικράτεια, παράλληλα με την Ακρόπολη εκτελέστηκε αναστηλωτικό έργο αυτής της κλίμακας.**

Στο σημείο αυτό είναι απαραίτητο να γίνει αναφορά στην παράλληλη δράση της ομάδας **N. Μουτσόπουλου** για την μορφολογική μελέτη του ιστού της Άνω Πόλης, **ώστε να διατηρηθεί η παραδοσιακή μορφή της**. Παρά τις έντονες αντιπαραθέσεις, όπως εξάλλου και σε όλες τις άλλες δράσεις για τις επιλογές που έγιναν, η δουλειά εκείνη συνέβαλε τα μέγιστα στη διατήρηση του ύφους της περιοχής.

### 3. Μακροπρόθεσμες δράσεις της πολιτείας

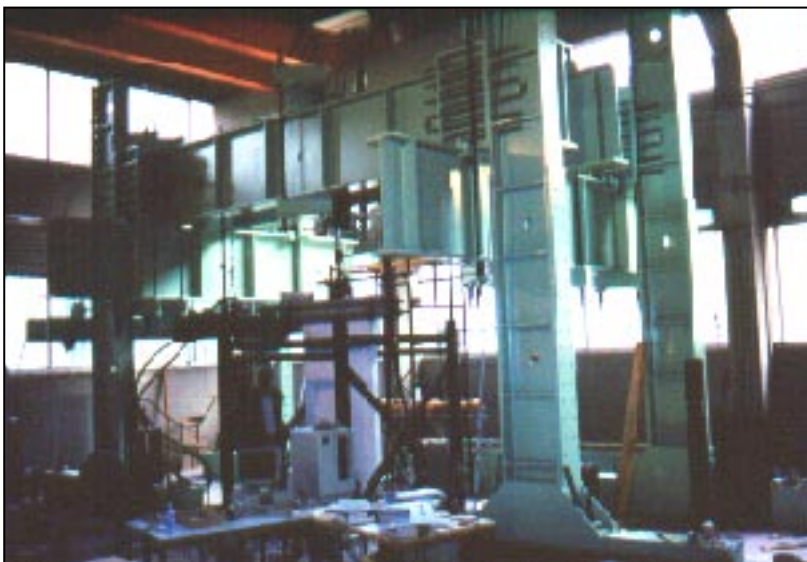
Παράλληλα η πολιτεία, με αφορμή και καταλύ- τη το σεισμό της Θεσσαλονίκης, προχώρησε σε μα- κροπρόθεσμης σημασίας ενέργειες με την δημι- ουργία νέων ή ενίσχυση υφιστάμενων επιστημονι- κών και διοικητικών υποδομών για τη μείωση του σεισμικού κινδύνου στη χώρα. Παράλληλα, προχώ- ρησε στη γενναία χρηματοδότηση της σεισμικής έρευνας.

#### 3.1. Ενίσχυση Επιστημονικών Υποδομών

Οι επιστημονικές υποδομές δημιουργήθηκαν ή ενι- σχύθηκαν κατά κύριο λόγο στα πανεπιστήμια και δευ- τερευόντως σε ερευνητικά ινστιτούτα. Πιο συγκεκρι- μένα:

- Δημιουργήθηκε το Σεισμολογικό Κέντρο του Α.Π.Θ. με διευθυντή τον καθηγητή Β. Παπαζάχο.
- Δημιουργήθηκε το Σεισμολογικό Κέντρο στο Πα- νεπιστήμιο Πατρών με διευθυντή τον καθηγητή Τσελέντη.
- Ενισχύθηκε με εξοπλισμό για δυναμικές επιπονή- σεις φορέων (χωρικό πλαίσιο αντίδρασης) το Ερ- γαστήριο Σιδηροπαγούς Σκυροδέματος του Α.Π.Θ. με διευθυντή τον καθηγητή Γ. Πενέλη (εικόνα 16).
- Ενισχύθηκε με την προμήθεια και εγκατάσταση μι- κρής σεισμικής τράπεζας δύο συνιστωσών το Ερ- γαστήριο Αντοχής Υλικών του Α.Π.Θ. με διευθυντή τον καθηγητή Γ. Μάνο.
- Δημιουργήθηκε το Εργαστήριο Αντισεισμικών Κα- τασκευών του Ε.Μ.Π. με μια από τις μεγαλύτερες σεισμικές τράπεζες της Ευρώπης με διευθυντή τον καθηγητή Π. Καρύδη.
- Ενισχύθηκε το Εργαστήριο Οπλισμένου Σκυροδέ- ματος Ε.Μ.Π. με εξοπλισμό ανάλογο της Θεσσαλο- νίκης (διευθυντής ο καθηγητής Θ. Τάσιος).
- Ενισχύθηκε το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του Αστε- ροσκοπείου Αθηνών με νέο σύγχρονο εξοπλισμό

**Εικόνα 16:**  
Πλαίσιο αντίδρασης  
στο Εργαστήριο  
Σιδηροπαγούς  
Σκυροδέματος στο  
Α.Π.Θ.



τηλεματικής, με διευθυντή τον αιμνηστο καθηγη- τή Ιωάν. Δρακόπουλο.

- Δημιουργήθηκε το Ινστιτούτο Τεχνικής Σεισμολο- γίας και Αντισεισμικών Κατασκευών (Ερευνητικό Ινστιτούτο του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.) με έδρα τη Θεσσα- λονίκη, στο οποίο ανατέθηκε ως κύρια αποστολή **η εγκατάσταση και λειτουργία δικτύου επιταχυν- σιογράφων σε όλη τη χώρα**, δουλειά που κάνει με ιδιαίτερη αξιοπιστία, διεθνώς αναγνωρισμένη.
- **Χρηματοδοτήθηκε η αντισεισμική έρευνα** με προ- γράμματα που υπέβαλαν σε ανταγωνιστική βάση σε κάθε προκήρυξη όλοι οι ερευνητικοί φορείς που ασχολούνταν με το αντικείμενο πανελληνίως.

#### 3.2. Διοικητικές υποδομές

Στις διοικητικές υποδομές που δημιουργήθηκαν στα πρώτα χρόνια μετά το σεισμό της Θεσσαλονίκης εντάσσονται:

- Η Υπηρεσία Αποκατάστασης Σεισμοπλήκτων Βο- ρείου Ελλάδος (Υ.Α.Σ.Β.Ε.) στη Θεσσαλονίκη (1978).
- Η Υπηρεσία Αποκατάστασης Σεισμοπλήκτων (Υ.Α.Σ.) στην Αθήνα για όλη την υπόλοιπη Ελλάδα, αντίστοιχη της Υ.Α.Σ.Β.Ε.
- Ο Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προ- στασίας (Ο.Α.Σ.Π.) στην Αθήνα, επιτελικό όργανο του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. για την ενάσκηση αντισεισμικής πολιτικής, ήτοι:
  - χρηματοδότηση υποδομών και συναφούς έρευ- νας,
  - ανανέωση κανονισμών,
  - συμμετοχή σε διεθνείς οργανισμούς συναφούς δραστηριότητας,
  - έκδοση βοηθημάτων - προδιαγραφών κ.τ.λ.

#### 3.3. Τα μακροπρόθεσμα αποτελέσματα

- Είναι αυτονόητο ότι η δημιουργία και η ενίσχυ- ση των παραπάνω υποδομών συνοδεύτηκε από την ενεργοποίηση μεγάλου αριθμού επιστημόνων στους συναφείς επιστημονικούς κλάδους.
- Με τις παραπάνω υποδομές, καθώς και όσες δη- μιουργήθηκαν στα χρόνια που ακολούθησαν στα άλλα πανεπιστήμια της χώρας, **δημιουργήθηκε η απαραίτητη κρίσιμη μάζα** για παραγωγή ερευνη- τικού έργου, εφαρμοσμένου έργου, εκπαιδευτικού έργου, συγχρόνως όμως και για ενίσχυση των απα- ραίτητων διεθνών και διακρατικών συνεργασιών με στόχο τη **διάχυση της γνώσης** σε πρώτη φάση από το εξωτερικό προς τα εδώ, αργότερα όμως και αντίστροφα.
- Στον τομέα της ερευνητικής παραγωγής έγινε εντυπωσιακή δουλειά:
  - στη σεισμολογία,
  - στην πρόγνωση των σεισμών,
  - στην εδαφομηχανική,
  - στην αντισεισμική συμπεριφορά νέων κατα- σκευών,

- στην αντισεισμική τεχνολογία επισκευών,
- στην αναστύλωση μνημείων,
- στην σεισμική συμπεριφορά δικτύων,
- στην σεισμική συμπεριφορά γεφυρών,
- στην τρωτότητα των κατασκευών,
- στην προσεισμικό έλεγχο.
- Για τη συμμετοχή σε διεθνή προγράμματα και οργανισμούς θα μπορούσε να παρατεθεί εδώ κατάσταση με περισσότερες από 50 περιπτώσεις, όπου η ελληνική επιστημονική κοινότητα είχε ενεργό συμμετοχή ή και ηγετική θέση με πρωταγωνιστικό ρόλο στο Α.Π.Θ.
- Με ευθύνη και πρωτοβουλία του Ο.Α.Σ.Π. ανανεώθηκε τα τελευταία 30 χρόνια πλήρως το πλέγμα των κανονισμών που αφορούσε τις κατασκευές και αντικατέστησε σταδιακά το απαξιωμένο κανονιστικό πλαίσιο που ίσχυε από την δεκαετία του '50. Το πλέγμα αυτό περιέλαβε:
  - την τροποποίηση του αντισεισμικού κανονισμού του 1959 (1985),
  - τον ελληνικό κανονισμό οπλισμένου σκυροδέματος (1990),
  - τον ελληνικό αντισεισμικό κανονισμό (1992),
  - τους ελληνικούς κανονισμούς κατασκευών από χάλυβα, τοιχοποιία και ξύλο (1994),
  - την ενσωμάτωση των Ευρωκωδίκων στο ελληνικό δίκαιο (2000-2010),
  - την επεξεργασία κανονισμού επισκευών και ενισχύσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.),
  - τη σύνταξη κανονιστικού πλαισίου για τον προσεισμικό έλεγχο δημοσίων κτιρίων,
  - τεχνικές οδηγίες επισκευών και ενισχύσεων,
  - κανονισμούς τεχνολογίας σκυροδέματος και χάλυβα οπλισμού.
- Ο σεισμός της Θεσσαλονίκης συνέβαλε στη δραματική στροφή των εκπαιδευτικών προγραμμάτων όλων των σχολών πολιτικών μηχανικών της χώ-

ρας. Η κεντρική φιλοσοφία που τα διαπερνά είναι:

- Δεν νοείται κατασκευή χωρίς αντισεισμική προστασία.

- Καμία κατασκευή δεν είναι άτρωτη στο σεισμό, συνεπώς δεν χωρεί εφησυχασμός.
- Η σεισμική μηχανική ως επιστημονικός κλάδος διέρχεται μεταβατική περίοδο συνεχώς μεταβαλλόμενη και απαιτεί συνεχή εγρήγορση.

Έτσι, τα μαθήματα κορμού αναπροσανατολίστηκαν, νέα μαθήματα προστέθηκαν, όπως π.χ. η δυναμική των κατασκευών, μεταπτυχιακά τμήματα δημιουργήθηκαν, η παραγωγή διδακτορικών ενισχύθηκε, κ.ο.κ.

- Τέλος, ιδιαίτερα σημαντικό είναι το γεγονός ότι με όλες αυτές τις δραστηριότητες **έχει ευαισθητοποιηθεί όλη η πυραμίδα του τεχνικού δυναμικού που εργάζεται στα έργα και τηρεί σε μεγάλο βαθμό τις διατάξεις των κανονισμών** (εικόνα 17).

#### 4. Κριτική αξιολόγηση

##### 4.1. Αποτίμηση των πεπραγμένων το 1978

- Αποτιμώντας μετά τριάντα χρόνια, τα γεγονότα μπορεί πολύ σοβαρά να υποστηριχθεί ότι ο βαθμός των ζημιών σε σχέση με το μέγεθος του σεισμού ήταν περιορισμένος, η έκταση τους όμως πολύ μεγάλη λόγω της προσβολής του δεύτερου αστικού κέντρου της χώρας.
- Παρ' όλα αυτά, η κατάρρευση της οκταώροφης οικοδομής με τα 29 θύματα και οι αστοχίες σε στύλους οπλισμένου σκυροδέματος στα ισόγεια πολλών πολυώροφων κτιρίων, σε συνδυασμό με την έλλειψη κάθε ετοιμότητας εκ μέρους της πολιτείας για διαχείριση της κρίσης, είχε δυσανάλογα μεγάλες ψυχολογικές επιπτώσεις που οδήγησαν σε πλήρη αποδιοργάνωση της οικονομικής και κοινωνικής ζωής της πόλης για δύο μήνες περίπου.
- Μετά το πρώτο σοκ πραγματοποιήθηκε τότε, υπό καθεστώς αφόρητης πίεσης στη Θεσσαλονίκη, με τη συμβολή της πολιτείας του τεχνικού κόσμου της πόλης (Τ.Ε.Ε.) και της ακαδημαϊκής κοινότητας (Α.Π.Θ.) έργο τιτάνιο.

Συγκεκριμένα:

- Διαμορφώθηκε το θεσμικό πλαίσιο μετασεισμικής δράσης **που εφαρμόζεται σχεδόν αυτούσιο μέχρι σήμερα.**
- Διαμορφώθηκαν οι **διοικητικοί φορείς** που εξακολουθούν μέχρι σήμερα να αποτελούν τον πυρήνα για την μετασεισμική κινητοποίηση του κράτους.
- Αντιμετώπιστηκε επιτυχώς εντός δύο ετών η αποκατάσταση **ύψους δαπάνης 1,0 - 1,2 δισ. ευρώ** περίπου σε σημερινές τιμές.
- Αποκαταστάθηκαν τα μνημεία της πόλης.
- Δρομολογήθηκαν μακροχρόνιες δράσεις που διαμόρφωσαν το σημερινό πλαίσιο αντισεισμικής προστασίας.

**Εικόνα 17:**  
Οπλιση αντισεισμικών τοιχωμάτων σε σύγχρονο κτίριο (Μέγαρο Μουσικής).





#### 4.2. Η διαχείριση του σεισμικού κινδύνου στην Ελλάδα του σήμερα

- Από όσα εκτέθηκαν ως τα τώρα προκύπτει ότι ο σεισμός της 20-6-78 της Θεσσαλονίκης **αποτέλεσε καταλύτη για την προώθηση της αντισεισμικής προστασίας της χώρας.**
- Μέσα σε 30 περίπου χρόνια η Ελλάδα, παρά τις περιορισμένες οικονομικές της δυνατότητες και το περιορισμένο πληθυσμιακό δυναμικό της, χάρη στις υποδομές που έστησε ή ενίσχυσε η πολιτεία και στις διεθνείς συνεργασίες που αποκατέστησε κατάφερε:
  - Να έχει μια πολλή εντυπωσιακή επιστημονική παραγωγή που μπορεί να διαπιστωθεί από το εκτεταμένο δημοσιευμένο έργο σε διεθνή περιοδικά και πρακτικά συνεδρίων των μελών της επιστημονικής κοινότητας.
  - Να έχει μια εντυπωσιακή παρουσία ως χώρα στα διεθνή φόρα και στους διεθνείς οργανισμούς του κλάδου.
  - Να αποκτήσει έναν πολύ σύγχρονο αντισεισμικό κανονισμό που συνεχώς επικαιροποιείται.
  - Να έχει ευαισθητοποιήσει όλη την πυραμίδα του τεχνικού της δυναμικού που εργάζεται στα έργα, για την σημασία της τήρησης των διατάξεων του κανονισμού αυτού.
  - Να έχει στην τελική φάση επεξεργασίας ένα σύγχρονο Κανονισμό Επισκευών (ΚΑΝ.ΕΠΕ.).
  - Να έχει δημιουργήσει ένα αξιόπιστο σύστημα ετοιμότητας στηριζόμενο σε δοκιμασμένο θεσμικό πλαίσιο και εν λειτουργία μηχανισμούς αντίδρασης, όπως την Υ.Α.Σ.Β.Ε., το Ι.Τ.Σ.Α.Κ., την Υ.Α.Σ., τον Ο.Α.Σ.Π. και τα σεισμολογικά ινστιτούτα.
  - Να έχει πλήρες επεξεργασμένο θεσμικό πλαίσιο μετασεισμικής αποτίμησης ζημιών και επεμβάσεων στις κατασκευές.
  - Να έχει σύγχρονες προδιαγραφές επισκευών.
  - Να έχει επεξεργαστεί θεσμικό πλαίσιο για τον προσεισμικό έλεγχο των δημόσιων κτιρίων που πιλοτικά δοκιμάζει κυρίως σε σχολικά κτίρια.
  - Να έχει μειώσει τον αριθμό των θυμάτων από σεισμό τα τελευταία τριάντα χρόνια **σε ένα νεκρό ανά εκατομμύριο κατοίκους και έτος**, επίπεδο που μπορεί να συγκριθεί μόνο με την Καλιφόρνια των Ηνωμένων Πολιτειών.
- Βεβαίως, το σύστημα αντισεισμικής θωράκισης της χώρας δεν παύει να έχει και τις αδυναμίες του, όπως:
  - Στον **ποιοτικό έλεγχο των μελετών και των κατασκευών** των ιδιωτικών έργων, που αποτελεί κλειδί για το τελικό αποτέλεσμα, η κατάσταση μάλλον **έμεινε στάσιμη.**
  - Οι επιλεκτικές **προσεισμικές** επεμβάσεις σε κτίρια ιδιαίτερης κοινωνικής και οικονομικής ευαισθησίας καθυστερούν ανεπίτρεπτα.
  - Δεν έχει γίνει ως τώρα καμία **δράση** για μείω-

ση του σεισμικού κινδύνου με μικροεπεμβάσεις **μικρού κόστους** και **μεγάλης ωφελιμότητας** σε υφιστάμενα (π.χ. μαρκίζες, στηθαία, γλάστρες, καμινάδες, κ.τ.λ.). Σημειώνεται ότι το 35% περίπου των θανάτων και των τραυματισμών οφείλονται σε τέτοιες αστοχίες.

- Στον τομέα της ενημέρωσης - εκπαίδευσης των πολιτών και κυρίως των μαθητών η κατάσταση δεν είναι ικανοποιητική.
- Ο γράφων έχοντας μετάσχει ενεργώς από καιρίες θέσεις τόσο στην αντιμετώπιση της κρίσης του 1978, όσο και στη διαμόρφωση του πλέγματος αντισεισμικής άμυνας της χώρας τα τελευταία 30 χρόνια, ίσως να θεωρηθεί ως υποκειμενικός στις θετικές εκτιμήσεις του για το παραχθέν έργο. Όμως τα γραπτά σχόλια ξένων, διεθνούς κύρους επιστημόνων σε διεθνή περιοδικά για την **«πολύ ισχυρή ελληνική σχολή στο οπλισμένο σκυρόδεμα και την σεισμική μηχανική»** [16], [17], [18] αποτελούν αδιάφυστους μάρτυρες, ότι μια χούφτα επιστήμονες εργαζόμενοι αθόρυβα, χάρη και στη συμπαράσταση της ελληνικής πολιτείας κατάφεραν να χτίσουν **«Σχολή Σεισμικής Μηχανικής και Κατασκευών»** στην Ελλάδα και ιδιαίτερα στο Α.Π.Θ., με ότι αυτό σημαίνει διεθνώς για τα ακαδημαϊκά δρώμενα αλλά και για την αντισεισμική θωράκιση της χώρας.

#### Βιβλιογραφία

- [1] **Β. Παπαζάχος & Κ. Παπαζάχου:** «Οι σεισμοί της Ελλάδας», Ζήτη, Θεσσαλονίκη 2003.
- [2] **Β. Κ. Παπαζάχος:** «Τεκτονική βάση και σεισμικότητα του ελληνικού χώρου», Συνέδριο «Σεισμοί και κατασκευές», Σ.Π.Μ.Ε. / Ο.Α.Σ.Π., 1984.
- [3] **Γ. Γρ. Πενέλης:** «Το καθεστώς των επισκευών στην Ελλάδα μετά το 1978», Διήμερο «10 Χρόνια από το σεισμό της Θεσσαλονίκης της 20-6-78», Σ.Π.Μ.Θ. και Τ.Ε.Ε./Τ.Κ.Μακεδονίας, 1988.
- [4] **Γ. Πενέλης, Σωτ. Κούβελας, Ιωαν. Κώστογλου:** «Τα αίτια κατάρρευσης της οκταώροφης οικοδομής στην Πλατεία Ιπποδρομίου», Έκθεση πραγματογνωμοσύνης, 1978.
- [5] **Κ. Στυλιανίδης:** «Στατιστική αξιολόγηση των ζημιών που προκλήθηκαν από το σεισμό της 20-6-78 στα κτίρια της Θεσσαλονίκης», Διήμερο «10 Χρόνια από το σεισμό της Θεσσαλονίκης της 20-6-78», Σ.Π.Μ.Θ. και Τ.Ε.Ε./Τ.Κ.Μ., 1988.
- [6] **Mark Findel:** «Report of the Earthquake of May 24 and June 20, 1978 Salonica, Greece», ACI Journal, October, 1978.
- [7] **Valiasis T. & Stylianidis K.:** «Masonry Infill of R/C Frames under Horizontal Loading. Experimental Results», European Earthquake Engineering 3 (3), 1989.
- [8] **Γ. Πενέλης, Κ. Στυλιανίδης κ.ά.:** «Προβλέψεις συμπεριφοράς του δομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης σε μελλοντικές σεισμικές διεγέρ-

- σεις», 1ο συμπόσιο για τις «Νέες εξελίξεις στη σεισμολογία και γεωφυσική του ελληνικού χώρου», Τομέας Γεωφυσικής Α.Π.Θ., 1988.
- [9] **G. Penelis & A. Kappos**: «Earthquake Resistant Concrete Structures», E & FN SPON, London, 1997.
- [10] **Γ. Πενέλης - Α. Κάππος**: «Αντισεισμικές κατασκευές από σκυρόδεμα», Εκδόσεις "Ζήτη", Θεσσαλονίκη, 1990.
- [11] **Ε.Μ.Π./Π.Μ.**: «Συστάσεις για τις επισκευές κτιρίων βλαμμένων από σεισμό», Αθήνα, 1978.
- [12] **Α.Π.Θ./Π.Μ.**: «Επισκευή ζημιών σε κτίρια - Οδηγίες», Θεσσαλονίκη, 1978.
- [13] **Υ.Δ.Ε. (Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.)**: «Επισκευές βλαβών σε κτίρια που έχουν πληγεί από σεισμούς», (Μετάφραση Σχετικών Οδηγιών Ο.Η.Ε., 1977), Θεσσαλονίκη, 1978.
- [14] **Υ.Δ.Ε. (Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.)**: «Κατευθυντήριες προδιαγραφές και οδηγίες για τις επισκευές κτιρίων με βλάβες από σεισμό», Θεσσαλονίκη, 1978.
- [15] **G. Penelis et al.**: «The Rotunda of Thessaloniki: Seismic Behavior of Roman and Byzantine Structures» Hagia Sophia, Editors R. Mark - A.Cakmak, Cambridge University Press, 1992.
- [16] **Edmund Booth**: «Earthquake Resistant Concrete Structures», G. Penelis and A. Kappos, Book Review», Engineering Structures Vol.20, No 7 p.644, 1998.
- [17] **Edmund Booth**: «Earthquake Resistant Concrete Structures by G. Penelis and A. Kappos, Book Review», SECED Newsletter Vol.11, No 2,1997.
- [18] **M. Tschotschel**: «Penelis - Kappos: Earthquake Resistant Concrete Structures, Bucherschau», Beton and Stahlbeton bau (93), 1998.

# Η συμβολή του Τ.Ε.Ε./Τ.Κ.Μ. στην αντισεισμική προστασία της Κεντρικής Μακεδονίας

του **Βασίλη Λεκίδη,**

*δρ. πολιτικού μηχανικού Α.Π.Θ., μέλους της αντιπροσωπείας Τ.Ε.Ε./Τ.Κ.Μ.*

και της **Πηνελόπης Ράλλη,**

*διπλ. πολιτικού μηχανικού Α.Π.Θ., μέλους της αντιπροσωπείας Τ.Ε.Ε./Τ.Κ.Μ.*

Τα τελευταία 30 χρόνια το ενδιαφέρον των αρμοδίων Φορέων (στον ελλαδικό χώρο) επάνω σε θέματα αντισεισμικής θωράκισης και προστασίας έχει αυξηθεί σημαντικά. Κύριος λόγος οι ισχυροί σεισμοί που έπληξαν μεγάλα πολεοδομικά συγκροτήματα, όπως της Θεσσαλονίκης, της Καλαμάτας, της Αθήνας, της Έδεσσας, της Κοζάνης και του Αιγίου, της Λευκάδας, των Κυθέρων, της Κορώνης. Δεν είναι τυχαίο ότι η ανάπτυξη όλων των “εμπλεκόμενων” φορέων, δηλαδή εργαστηρίων στα πανεπιστήμια, ερευνητικών ινστιτούτων, υπηρεσιών αποκατάστασης σεισμοπλήκτων και οργανισμών χάραξης αντισεισμικής πολιτικής έχει σημειωθεί τα τελευταία 30 χρόνια.

Ακόμη την τελευταία 30ετία έχουμε μία έντονη πίεση για αναθεωρήσεις σχετικών κανονισμών, μέχρι και ριζικές αναδιατυπώσεις, σύμφωνα με τη διεθνή πρακτική και πρότυπα (ρυθμίσεις του αντισεισμικού κανονισμού του 1984, Ν.Ε.Α.Κ. 1995, Ν.Ε.Κ.Ο.Σ. 1992, Ε.Α.Κ. 2000, Ε.Α.Κ. 2003, Ευρωκώδικες, κανονισμοί γεφυρών κ.λ.π.).

Ο σεισμός βέβαια ως εδαφική δόνηση και μόνο θεωρούμενος, σε πολύ λίγες περιπτώσεις αποτελεί επικίνδυνο φαινόμενο για την ανθρώπινη ζωή και δραστηριότητα (π.χ. μόνο από κατολισθήσεις, παλιρροϊκά κύματα, ρευστοποιήσεις εδαφών). Μόνο όταν συσχετίσουμε την κατασκευή με το σεισμό, αυτός καθίσταται επικίνδυνο φαινόμενο για τον άνθρωπο. Η «σεισμική απόκριση» των κατασκευών ή η σεισμική συμπεριφορά των κατασκευών, όπως λέγεται, αποτελεί το αντικείμενο που καλείται να μελετήσει ο αρμόδιος επιστήμονας. Και αυτό επειδή η μελέτη των κατασκευών πριν, κατά τη διάρκεια και μετά από ένα ισχυρό σεισμό, θα δώσει τα στοιχεία εκείνα που χρειάζονται οι αρμόδιοι φορείς για να αντιμετωπίσουν ριζικά το πρόβλημα. Με άλλα λόγια ο σεισμός είναι δεμένος με το έδαφος, την κατασκευή και τον δρόμο διάδοσης των σεισμικών κυμάτων, άρα αφορά **κυρίαρχα** είτε αυτούς που ασχολούνται με την ανωδομή είτε αυτούς που ασχολούνται με τη θεμελίωση - υπόγειες κατασκευές - έδαφος.

Αλλά και η σχετική βιβλιογραφία αναφέρει ότι ο σεισμικός κίνδυνος (**σεισμική διακινδύνευση**), δηλ. το αναμενόμενο τελικό αποτέλεσμα της σεισμικής κίνη-

σης σε μία θέση εξαρτάται από τη **σεισμική επικινδυνότητα** της θέσης αυτής και από τις ιδιότητες της ίδιας της κατασκευής (ποιότητα, μελέτη κατασκευής, δυναμικά χαρακτηριστικά, δείκτες συμπεριφοράς, έδαφος θεμελίωσης). Το μέτρο των ιδιοτήτων αυτών της κατασκευής ονομάζεται **τρωτότητα (vulnerability)** της τεχνικής κατασκευής.

Στόχος όλων των προσπαθειών είναι η μείωση της σεισμικής διακινδύνευσης. Η **σεισμική επικινδυνότητα** καθορίζεται από φυσικούς παράγοντες (σεισμικότητα, ιδιότητες της σεισμικής εστίας και του μέσου διάδοσης των σεισμικών κυμάτων), τους οποίους ο άνθρωπος αδυνατεί να μεταβάλλει. Αυτό, στο οποίο είναι δυνατή η παρέμβαση των κατασκευών, είναι η **μείωση της τρωτότητας** των κατασκευών με τα **κατάλληλα προσεισμικά μέτρα. Γενικότερα, τα προσεισμικά μέτρα στοχεύουν στη μείωση των συνεπειών ενός σεισμού.** Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με άμεσα και μακροπρόθεσμα μέτρα (άρση επικινδυνότητας, προσεισμική ενίσχυση κατασκευών, μέτρα αυτοπροστασίας, ετοιμότητα εμπλεκόμενων υπηρεσιών κ.ο.κ.).

**Η ανάδειξη αυτού του προβλήματος ως πρώτου θέματος αποτελεί και τον κεντρικό στόχο του Τ.Ε.Ε./Τ.Κ.Μ.**

## Σύντομη αναδρομή στο έργο που έγινε

Το Τ.Ε.Ε./Τ.Κ.Μ. συμμετείχε από τη πρώτη ημέρα του σεισμού του 1978 σε όλες τις φάσεις ελέγχων και αποκατάστασης της κάθε μετασεισμικής δραστηριότητας. Στελέχωσε όλες τις επιτροπές ελέγχου κατασκευών υπό συνθήκες έκτακτης ανάγκης Α΄ βαθμού και Β΄ βαθμού (έντυπα καταλληλότητας για χρήση) και συνέβαλε στην επιτυχή ολοκλήρωση όλων των αυτοψιών, καθώς και στην επιχείρηση προσωρινής στέγασης των κατοίκων που το κτίριό τους ήταν ακατάλληλο για χρήση.

Οργάνωσε πολλές ενημερωτικές ημερίδες για τους μηχανικούς και το κοινό. Συνέβαλε στην έκδοση πολλών επιστημονικών και τεχνικών εγχειριδίων σχετικά με τις επισκευές και τις ενισχύσεις των βλαφθεισών κατασκευών από το σεισμό.

Ανέδειξε όλα τα σημαντικά θέματα για την ασφάλεια των κατασκευών και έβαλε τις βάσεις για ριζική

αναθεώρηση του τότε ισχύοντος αντισεισμικού κανονισμού. Στελέχωσε τις επιστημονικές επιτροπές για την αναθεώρηση του αντισεισμικού κανονισμού και εκπόνησε σειρά αριθμητικών παραδειγμάτων για τις νέες διατάξεις του αντισεισμικού κανονισμού του 1985.

Αμέσως μετά τους πρώτους μήνες μετά το σεισμό της 20/6/1978 το Τ.Ε.Ε./Τ.Κ.Μ. με στόχο να οργανωθεί και να αντιμετωπισθεί στην Ελλάδα σωστά το μεγάλο πρόβλημα του αντισεισμικού σχεδιασμού και της αντισεισμικής προστασίας πρότεινε στην πολιτεία τη δημιουργία δύο νέων φορέων τόσο για τον κεντρικό σχεδιασμό της αντισεισμικής πολιτικής, όσο και για την εφαρμοσμένη έρευνα και τεκμηρίωση των επιστημονικών αποτελεσμάτων που πρέπει να προωθηθούν για να μπει σε νέα βάση το πρόβλημα της αντισεισμικής θωράκισης. Έτσι δημιουργήθηκαν ο **Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας** (Ο.Α.Σ.Π.) στην Αθήνα και το **Ινστιτούτο Τεχνικής Σεισμολογίας και Αντισεισμικών Κατασκευών** (Ι.Τ.Σ.Α.Κ.) στη Θεσσαλονίκη που άλλαξαν τα δεδομένα στο πεδίο του σχεδιασμού και της εφαρμοσμένης έρευνας.

Επίσης για να επιτευχθούν οι στόχοι στον τομέα της αντισεισμικής προστασίας το Τ.Ε.Ε./Τ.Κ.Μ. συγκρότησε μόνιμες επιτροπές και ομάδες εργασίας για την επεξεργασία προτάσεων και θέσεων. Επί πλέον συγκροτήθηκαν κλιμάκια μετάβασης σε περιοχές που επλήγησαν από ισχυρούς σεισμούς.

Η μόνιμη επιτροπή αντισεισμικής προστασίας του Τ.Ε.Ε./Τ.Κ.Μ. μελέτησε θέματα που αφορούσαν την αντισεισμική θωράκιση, εισηγήθηκε στην διοικούσα επιτροπή του επιμελητηρίου και πρότεινε συγκεκριμένες δράσεις και παρεμβάσεις σχετικές με τα παραπάνω αντικείμενα.

Συγκεκριμένα, σημαντικοί άξονες μελέτης και παραγωγής θέσεων για το Τ.Ε.Ε./Τ.Κ.Μ. ήταν:

- Προσεισμικός έλεγχος δημοσίων κτιρίων, σχολείων, νοσοκομείων.
- Νομικά ζητήματα σχετιζόμενα με αντισεισμικές ενισχύσεις ιδιωτικών έργων.
- Συστάσεις για προσεισμικές και μετασεισμικές επεμβάσεις σε κτίρια.
- Ασφάλιση κατασκευών.
- Συμβολή των Ο.Τ.Α. στο πλαίσιο του σχεδίου «ΞΕΝΟΚΡΑΤΗΣ».
- Θέματα που αφορούν τις επισκευές και τις ενισχύσεις κατασκευών, που εβλήθησαν από σεισμό.
- Σήμανση κτιρίων μετά από ισχυρό σεισμό.
- Χώροι υποδοχής συγκέντρωσης κοινού μετά από ισχυρό σεισμό ετοιμότητα της πολιτείας - σχέδιο «Ξενοκράτης» - ενέργειες που απορρέουν.
- Επίπεδο στατικών μελετών - κυκλοφορούντα προγράμματα Η/Υ για τα κτιριακά έργα.
- Ερμηνεία ασαφών κανονιστικών διατάξεων για την εκπόνηση στατικών μελετών.
- Μικροζωνικές μελέτες στην Κεντρική Μακεδονία.
- Τρωτότητα του πολεοδομικού συγκροτήματος Θεσσαλονίκης.

- Παρεμβάσεις για το σχέδιο οδηγιών του Ο.Α.Σ.Π., σχετικά με την εκπόνηση μικροζωνικών μελετών στην Ελλάδα, καθώς και για τη συγκρότηση εξειδικευμένων επιτροπών σύνταξης κανονιστικών διατάξεων.
- Σχέδιο έκτακτης ανάγκης Γεν. Γραμ. Δημοσίων Έργων για αντιμετώπιση σεισμικής καταστροφής

Με βάση τους παραπάνω άξονες οργανώθηκαν σεμινάρια για δημοσίους υπαλλήλους μηχανικούς επάνω στα αποτελέσματα των επομένων ομάδων εργασίας και επί πλέον έγιναν σεμινάρια για όλους τους μηχανικούς, προγράμματα κατάρτισης μεγάλης διάρκειας συγχρηματοδοτούμενα με το Ε.Κ.Τ., καθώς επίσης και αυτοχρηματοδοτούμενα μικρής διάρκειας. Δόθηκαν συνεντεύξεις, στάλθηκαν προτάσεις σε αρμοδίους και, τέλος, συγκροτήθηκαν ομάδες εργασίας για συστηματική μελέτη των αντίστοιχων θεμάτων.

Τα σημαντικότερα θέματα για τα οποία συγκροτήθηκαν ομάδες εργασίας είναι:

#### **Θέματα που αφορούν τις επισκευές και τις ενισχύσεις κατασκευών που εβλήθησαν από σεισμό.**

Περιλαμβάνονται θέματα σχετικά με την επικαιροποίηση διατάξεων που ισχύουν για τις επισκευές και ενισχύσεις –φιλοσοφία ενισχύσεων– κριτήρια ενισχύσεων. Αξιοποίηση της προηγούμενης δουλειάς του Τ.Ε.Ε. Διατύπωση συγκεκριμένης πρότασης για εκπόνηση ολοκληρωμένου εγχειριδίου - οδηγιών για μηχανικούς της πράξης.

#### **Η σήμανση κτιρίων μετά από ισχυρό σεισμό.**

Το πρόβλημα της σήμανσης των κατασκευών μετά από έναν ισχυρό σεισμό παραμένει επίκαιρο. Ο άμεσος πρωτοβάθμιος μετασεισμικός έλεγχος μετά την εκδήλωση κάποιου ισχυρού σεισμού στον ελληνικό χώρο, έχει βρει πολλές διαφορετικές εφαρμογές. Η μη ύπαρξη ενιαίου τρόπου καταγραφής των βλαβών και προκαταρκτικής διάγνωσης της απομένουσας σεισμικής ικανότητας των κτιρίων δεν συμβάλλει στον αποτελεσματικό τρόπο μετασεισμικής εκτίμησης βλαβών και στην εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων. Πρόσφατα ο Ο.Α.Σ.Π. κατέληξε σε ένα νέο τρόπο σήμανσης των κτιρίων πιο απλοποιημένο από τα προηγούμενα έντυπα. Πρέπει να γίνει αξιολόγηση αυτού, καθώς και των προηγούμενων εντύπων –ιδιαίτερα αυτού της UNIDO– έτσι ώστε να γίνει τελική πρόταση για το έντυπο που θα πρέπει να χρησιμοποιείται.

#### **Η εφαρμογή σχεδίου «Ξενοκράτης» στη Βόρεια Ελλάδα, βαθμός ετοιμότητας της πολιτείας για την αντιμετώπιση του σεισμικού κινδύνου και οι ενέργειες που απορρέουν.**

Στο πλαίσιο του σχεδίου έκτακτης ανάγκης «Ξενοκράτης», απαιτείται διαρκής και σημαντική προσπάθεια από το σύνολο των εμπλεκόμενων φορέων για την επίτευξη ενός σχετικά ικανοποιητικού βαθμού

ετοιμότητας. Υπάρχουν ενέργειες που προκύπτουν από το σχέδιο «Ξενοκράτης», που χρήζουν δημιουργία υποδομής και βελτίωση δομών, όπως:

- α) Επικαιροποίηση καταλόγου συνεργείων άρσης ερειπίων μετά από ισχυρό σεισμό.
  - β) Επικαιροποίηση καταλόγου συνεργείων υποστύλωσης κτιρίων που έχουν σοβαρές και επικίνδυνες βλάβες μετά από ισχυρό σεισμό.
  - γ) Ενέργειες για συγκέντρωση και οργάνωση κατάλληλου υλικού, όπως ξυλεία και μεταλλικά ικριώματα για την υποστύλωση κατασκευών που κινδυνεύουν να καταρρεύσουν, μετά από ένα ισχυρό σεισμό. Αποθήκευσή τους και διατήρησή τους σε κατάσταση ετοιμότητας.
  - δ) Δημιουργία ελευθέρων χώρων για να χρησιμοποιηθούν για εγκατάσταση μεγάλου αριθμού ατόμων για αρκετούς μήνες, μέχρι να επιστρέψουν ξανά στα σπίτια τους.
  - ε) Άρση από τώρα τοπικών επικινδυνοτήτων που πιθανόν να προκαλέσουν θύματα σε περίπτωση ισχυρού σεισμού.
- στ) Έλεγχος νοσοκομείων, επάρκεια νοσηλευτικού προσωπικού για αντιμετώπιση ενός σχετικά μεγάλου αριθμού τραυματιών.

#### **Το επίπεδο των στατικών μελετών και τα κυκλοφορούντα προγράμματα Η/Υ για τα κτιριακά έργα.**

Η εφαρμογή του Ν.Ε.Α.Κ. τα τελευταία χρόνια άλλαξε ριζικά τον τρόπο εκπόνησης των στατικών μελετών. Η όλη στατική - δυναμική μελέτη βασίζεται πλέον σε ένα πρόγραμμα Η/Υ της αγοράς και τα αποτελέσματα βασίζονται στο κατά πόσο το ίδιο το πρόγραμμα είναι δομημένο σωστά και σύμφωνο με τον κανονισμό, αλλά και κατά πόσο ο χρήστης γνωρίζει να εισάγει τα δεδομένα «σωστά».

Η ποιότητα των στατικών μελετών δεν είναι εξασφαλισμένη από κανένα φορέα και οι προσπάθειες για κάποιο βασικό έλεγχο των προγραμμάτων δεν είχε πάντα τα αναμενόμενα αποτελέσματα. Ο έλεγχος που γίνεται από την πολεοδομία θα μπορούσε να περιλαμβάνει ορισμένα στάδια για αποτελεσματικότερο έλεγχο των μελετών.

#### **Η συσχέτιση της δομικής βλάβης με οικονομικές απώλειες με βάση στοιχεία από ελληνικούς σεισμούς.**

Μία σημαντική παράμετρος σε μία μελέτη τρωτότητας είναι η άμεση συσχέτιση της δομικής βλάβης και της οικονομικής απώλειας, πράγμα που βοηθά στην εκτίμηση της αναμενόμενης απώλειας σε μία περιοχή όπου αναμένεται ισχυρός σεισμός. Η εκτίμηση της απώλειας με πραγματικά στοιχεία συμβάλλει τα μέγιστα στον καλύτερο προγραμματισμό και στην λήψη μέτρων από την πολιτεία με στόχο πάντα την μείωση των αναμενόμενων απωλειών. Στο σχέδιο «Ξενοκράτης» και στο κεφάλαιο της ετοιμασίας των υλικών και εξοπλισμού, μπορεί να γίνει συσχέτιση των αναμε-

νομένων απωλειών και της ποσότητας και κατανομής του εξοπλισμού για επιτυχέστερη αντιμετώπιση των καταστροφών.

Αλλά και στις μετασεισμικές επιχειρήσεις είναι απαραίτητο να είναι γνωστή η σχέση μεταξύ δομικής και οικονομικής απώλειας για την δυνατότητα πραγματικής εκτίμησης της χρηματοδότησης της αποκατάστασης της βλαφθείσας κατασκευής.

#### **Η ερμηνεία ασαφών κανονιστικών διατάξεων για την εκπόνηση στατικών μελετών.**

Ο καθημερινός έλεγχος στη Διεύθυνση Πολεοδομίας των στατικών μελετών πολλές φορές επικεντρώνεται σε ορισμένα ασαφή σημεία που επιδέχονται διαφορετική ερμηνεία από τα ενδιαφερόμενα μέρη. Αποτέλεσμα αυτού είναι η καθυστέρηση και η δυσλειτουργία στον έλεγχο των μελετών με τα όποια αποτελέσματα στην ποιότητα των έργων. Η εκπόνηση βοήθηματος που ξεκαθαρίζει πολλά από τα επίμαχα σημεία θα συμβάλει στη σωστή εφαρμογή του Ν.Ε.Α.Κ.

#### **Οι μικροζωνικές μελέτες σεισμικής επικινδυνότητας**

Το Τ.Ε.Ε./Τ.Κ.Μ. στο πλαίσιο λειτουργίας της επιτροπής αντισεισμικής προστασίας μελέτησε και ανέδειξε την αναγκαιότητα ένατηξης των διαφόρων μικροζωνικών μελετών στους αντισεισμικούς κανονισμούς.

Ο νέος ελληνικός αντισεισμικός κανονισμός (Ε.Α.Κ. 2003) ορίζει τις σεισμικές δράσεις σχεδιασμού ως τις ελάχιστες σεισμικές κινήσεις, για τις οποίες απαιτείται να γίνεται ο σχεδιασμός των πάσης φύσεως δομημάτων στη χώρα μας. Ωστόσο –και χωρίς αυτό να μειώνει στο ελάχιστο την ορθότητα και σπουδαιότητα των αντισεισμικών κανονισμών– έχουν παρατηρηθεί τόσο στην Ελλάδα, όσο και διεθνώς σοβαρές αποκλίσεις των απαιτούμενων από τους κανονισμούς σεισμικών δράσεων σχεδιασμού από τις παρατηρημένες σεισμικές κινήσεις κατά τη διάρκεια ισχυρών σεισμών. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η **μακροζωνική** αντιμετώπιση του προβλήματος του σεισμικού κινδύνου δεν είναι σε θέση να συμπεριλάβει λεπτομέρειες τοπικού χαρακτήρα, όσο σημαντικές και αν αυτές είναι. Για το λόγο αυτό έχει προταθεί διεθνώς η ανάπτυξη των **μικροζωνικών** μελετών, οι οποίες με συγκεκριμένη μεθοδολογία επιχειρούν να δώσουν απάντηση στο πρόβλημα της εκτίμησης της ισχυρής κίνησης σε τοπικό επίπεδο.

Οι μικροζωνικές μελέτες είναι ένα ουσιώδες στοιχείο του αντισεισμικού και γενικότερα πολεοδομικού σχεδιασμού, επειδή περιλαμβάνουν το σύνολο των πληροφοριών τεχνικής φύσης που χρειάζεται η πολιτεία και ο μηχανικός, προκειμένου να σχεδιάσουν και να κατασκευάσουν τεχνικά έργα με επαρκή αντισεισμική ασφάλεια. Ο κύριος στόχος των μικροζωνικών μελετών είναι η ποσοτική εκτίμηση της διαφοροποίησης της ισχυρής σεισμικής κίνησης είτε υπό μορφή φασμάτων σχεδιασμού είτε χρονοϊστοριών εδαφικών

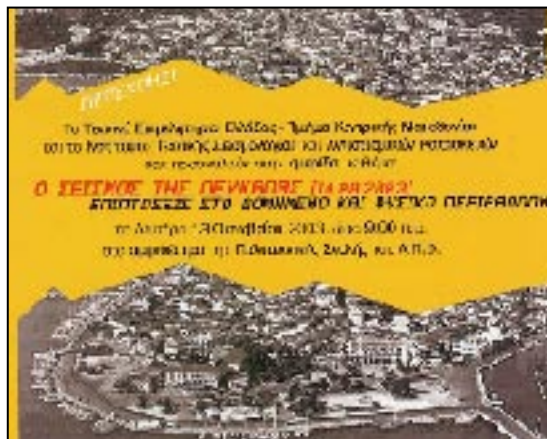
επιταχύνσεων, σε επιλεγμένες θέσεις την περιοχής, για την οποία γίνεται η μελέτη (π.χ. ενός πολεοδομικού συγκροτήματος) και η ενσωματωσή της σε διατάξεις του κανονισμού. Ασφαλώς, τέτοιες μελέτες μπορεί να γίνονται σε διαφορετικό επίπεδο ακρίβειας, σε χάρτες με κλίμακα 1:5.000 έως 1:10.000. Αν και αυτό δεν έχει θεσμοθετηθεί, φαίνεται ότι η διάκριση των μικροζωνικών μελετών σε τρία επίπεδα Α (προκαταρκτικό), Β (ενδιάμεσο) και Γ (λεπτομερές), έχει μάλλον γενικότερη αποδοχή.



**Εικόνα 1:**  
20 χρόνια από το σεισμό του 1978.



**Εικόνα 2:**  
Μέθοδοι και τεχνικές προσεισμικής και μετασεισμικής επέμβασης στις κατασκευές.



**Εικόνα 3:**  
Ο σεισμός της Λευκάδας του 2003.

## Επιλογή από ημερίδες - συνέδρια - σεμινάρια

Η δουλειά που παρήγαγε το Τ.Ε.Ε./Τ.Κ.Μ. στον τομέα της αντισεισμικής προστασίας προβλήθηκε μέσα από ημερίδες, συνέδρια και σεμινάρια. Πολλές από τις ημερίδες και τα σεμινάρια που έγιναν οργανώθηκαν από κοινού με τη Πολυτεχνική Σχολή του Α.Π.Θ. και το Ινστιτούτο Τεχνικής Σεισμολογίας και Αντισεισμικών Κατασκευών.

- Αναφέρονται μερικές από τις εκδηλώσεις:
- Προβλήματα κατασκευών σε σεισογενείς περιοχές (COPISEE - Τ.Ε.Ε., 1979).
- Συντήρηση - αποκατάσταση βλαβών σε κτίρια (1992). Πρόγραμμα μεγάλης διάρκειας Τ.Ε.Ε./Τ.Κ.Μ.
- Στατική και σεισμική ανάλυση δομημάτων βάσει των νέων κανονισμών (1993-1994). Πρόγραμμα μεγάλης διάρκειας Τ.Ε.Ε./Τ.Κ.Μ.
- 1ο και 2ο συνέδριο αντισεισμικής μηχανικής και τεχνικής σεισμολογίας.
- Ανάλυση, σχεδιασμός και διαστασιολόγηση κτιρίων με τους νέους κανονισμούς εφαρμογής (1996). Πρόγραμμα μεγάλης διάρκειας Τ.Ε.Ε./Τ.Κ.Μ.
- Παρέμβαση των πολιτικών μηχανικών σε θέματα αντισεισμικής θωράκισης.
- Κατεδάφιση κατασκευών με ελεγχόμενη χρήση εκρηκτικών.
- 20 χρόνια από το σεισμό της Θεσσαλονίκης (εικόνα 1).
- Μέθοδοι και τεχνικές προσεισμικής και μετασεισμικής επέμβασης σε κατασκευές (εικόνα 2).
- Νέος Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός. Παρουσίαση και ερμηνεία του Ν.Ε.Α.Κ. (ημερίδα).
- Παραδείγματα με βάση τις πρόσθετες διατάξεις του αντισεισμικού κανονισμού, που προέκυψαν από την κοινή έκδοση Ι.Τ.Σ.Α.Κ.-Τ.Ε.Ε.
- Εκπαίδευση μηχανικών στον Ν.Ε.Α.Κ. (2000). Πρόγραμμα μεγάλης διάρκειας Τ.Ε.Ε./Τ.Κ.Μ.
- Ο σεισμός της Λευκάδας του 2003 (εικόνα 3).

## Σημερινά προβλήματα - προτάσεις - προοπτικές

- Παρέμβαση - εξυγίανση στο κύκλωμα παραγωγής τεχνικού έργου με θεσμικά μέτρα (π.χ. πτυχίο κατασκευαστού, αρμοδιότητες σε περιφερειάρχες για τα ιδιωτικά έργα, ελεγκτές μηχανικοί).
- Συμμετοχή πολιτικών μηχανικών σε εγκρίσεις πολεοδομικών μελετών και επεκτάσεις σχεδίων πόλεων έτσι ώστε να λαμβάνονται υπόψη χώροι συγκέντρωσης κοινού, κοινοί ακάλυπτοι χώροι, συσχετισμός μορφολογίας με βελτίωση σεισμικής συμπεριφοράς οικοδομικού τετραγώνου.
- Παρέμβαση των πολιτικών μηχανικών σε κτιριοδομικό και γενικό οικοδομικό κανονισμό για συμβατότητα και συναρμογή με αντισεισμικό κανονισμό.
- Θέσπιση κανονισμών για εξοπλισμούς χημικών βιομηχανιών, δεξαμενών, τηλεπικοινωνιών, σταθμών παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, νοσοκομείων.

ων κ.ο.κ.

- Ενοργάνωση σύγχρονων μεγάλων κατασκευών και δημιουργία εθνικού συστήματος ειδικών δικτύων επιταχυνσιογράφων.
- Θέσπιση πιστοποιητικού για συνεργεία σιδεράδων και έγχυσης οπλισμένου σκυροδέματος από τα ινστιτούτα επαγγελματικής κατάρτισης, σύμφωνα με τις οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.
- Δημιουργία σώματος υποστυλώσεων κατασκευών μετά από ένα σεισμό με προσωπικό πολιτικούς μηχανικούς.
- Παρέμβαση στα Μ.Μ.Ε. για διαφώτιση της κοινής γνώμης επάνω στα ουσιαστικά προβλήματα των κινδύνων από ένα σεισμό.
- Προτάσεις για την εξειδίκευση του σχεδίου «ΞΕΝΟΚΡΑΤΗΣ».
- Αναγκαιότητα για την αποποινικοποίηση των ευθυνών του μηχανικού στην κατασκευή.

**Σήμερα** κυριαρχεί το μεγάλο πρόβλημα του προσεισμικού ελέγχου των **υφισταμένων κατασκευών** και τα κριτήρια της προσεισμικής ενίσχυσης. Έτσι το Τ.Ε.Ε. σε συνεργασία με πανεπιστήμια και ερευνητικά ινστιτούτα συνεχίζει την **προσπάθεια για τη θωράκιση των υφισταμένων κατασκευών**, κάτι που είναι τελείως απαραίτητο, ιδιαίτερα για τις παλαιότερες κατασκευές (κανονισμός 1959), οι οποίες έχουν κατασκευασθεί υπό δυσμενέστερες συνθήκες ποιότητας υλικών, μελέτης, επίβλεψης και σχετικών κανονισμών. Η πολιτεία από τη πλευρά της, με τη θέσπιση νέων σύγχρονων κανονισμών, μεριμνά για την αντισεισμική θωράκιση των νεοαναγειρόμενων κατασκευών (που αποτελούν ετήσια το 1,5% του δομικού πλούτου). Όμως είναι σήμερα πλέον επιτακτική η ανάγκη να γίνει επέκταση και προς την πλευρά θωράκισης και των υφιστάμενων κτιρίων, τα οποία ως γνωστόν εξακολουθούν να αποτελούν την πλειονότητα του δομικού πλούτου της χώρας.

Στο πλαίσιο αυτό δημιουργήθηκε μία επιτελική επιτροπή για να εφαρμόσει ένα ευρύ εθνικό πρόγραμμα για την αντισεισμική ενίσχυση υφιστάμενων κατασκευών.

### **Η συμβολή του Τ.Ε.Ε. / Τμήματος Κεντρικής Μακεδονίας και τα προκύπτοντα οφέλη για την περιοχή.**

Σε ότι αφορά τώρα στο περιφερειακό μας τμήμα, μια από τις δράσεις του Ε.Π.ΑΝΤ.Υ.Κ. (Εθνική Πολιτική Αντισεισμικής Ενίσχυσης Υφισταμένων Κατασκευών) σχετίζεται με την εκτίμηση της σεισμικής τρωτότητας και διακινδύνευσης στην περιοχή ευθύνης του. Έτσι το Τ.Ε.Ε./Τ.Κ.Μ. καλείται να προχωρήσει στην απογραφή του δομικού πλούτου του χώρου ευθύνης, με στόχο τη συλλογή δομικών πληροφοριών για τα υφιστάμενα κτίρια και τη συσχέτιση αυτών μ' εκείνα της εθνικής απογραφής του 2001, αλλά και την εκτί-

μηση αναμενόμενης συμπεριφοράς ομάδων κτιρίων της περιοχής έναντι μελλοντικών σεισμών διαφόρων εντάσεων. Αντικείμενο ενδιαφέροντος για το περιφερειακό τμήμα αποτελεί και η σύνταξη τοπικών μελετών για την χάραξη καμπυλών τρωτότητας για κάθε ομάδα κτιρίων αλλά και η συλλογή γεωτεχνικών δεδομένων σε κρίσιμες περιοχές.

Στο πλαίσιο της αναλυτικής πρότασης που συντάχθηκε για την πολιτεία θα αναπτυχθούν τα λεγόμενα «*σενάρια σεισμικής διακινδύνευσης*» που θα είναι το βασικό εργαλείο για την χάραξη **εθνικής και τοπικής πολιτικής** για την επίλυση των προβλημάτων που υπόκεινται του τελικού σκοπού της αντισεισμικής ενίσχυσης υφισταμένων κτιρίων. Επίσης θα αξιοποιηθούν τα σενάρια σεισμικής διακινδύνευσης για τον καθορισμό κριτηρίων ιεράρχησης και καθορισμού προτεραιοτήτων στο πλαίσιο προγραμμάτων για την ενίσχυση υφιστάμενων κατασκευών. Τα αποτελέσματα των σεναρίων αυτών θα μπορούσαν να αποτελέσουν την αφετηρία για λήψη μέτρων από τους τοπικούς φορείς για ουσιαστικά μέτρα πρόληψης και μείωσης των πάσης φύσεων απωλειών κατά την διάρκεια ενός μελλοντικού σεισμού. ***Επίσης θα μπορούσαν να ενσωματωθούν στα τοπικά σχέδια «Ξενοκράτης» και να εκσυγχρονίσουν ουσιαστικά αυτά τα σχέδια.***

Κύριος στόχος της πιλοτικής απογραφής είναι να καταγράψει ένα αντιπροσωπευτικό υποσύνολο κτιρίων του πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης. Η περιοχή που θα καλυφθεί είναι το τμήμα του πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης (που αποτελείται από το Δήμο Θεσσαλονίκης και τους 14 γειτονικούς δήμους), για το οποίο χορηγήθηκαν (μέσω του κεντρικού Τ.Ε.Ε.) στην ομάδα του Τ.Ε.Ε./Τ.Κ.Μ. τα αντίστοιχα στοιχεία από την απογραφή κτιρίων του 2001 σε ηλεκτρονική μορφή (χάρτες GIS). Ο εκτιμώμενος συνολικός αριθμός κτιρίων στους δήμους αυτούς είναι της τάξεως των 70.000. Στόχος της πιλοτικής απογραφής είναι να καταγραφούν επιτόπου 3.500 κτίρια, ήτοι περίπου το 5% του συνολικού αποθέματος στην εξεταζόμενη περιοχή. Για τα συγκεκριμένα κτίρια, τα οποία αποτελούν ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα κτισμάτων διαφορετικών περιόδων, διαφορετικών υλικών κατασκευής και τα οποία είναι θεμελιωμένα σε διαφορετικά εδάφη, θα καταστρωθούν πιλοτικά σενάρια σεισμικής διακινδύνευσης για συγκεκριμένες (υποθετικές) σεισμικές δράσεις, οι οποίες θα προσδιορισθούν λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα σεισμολογικών μελετών, της μικροζωνικής μελέτης Θεσσαλονίκης κ.τ.λ. Στόχος είναι να προσδιοριστεί πώς θα συμπεριφερθεί κάθε κτίριο σε ένα μελλοντικό σεισμό με συγκεκριμένο επίκεντρο και ένταση. Παράλληλα, με τη βοήθεια των σύγχρονων γεωγραφικών συστημάτων πληροφορικής (GIS), υπάρχει η δυνατότητα για ένα δεδομένο σενάριο σεισμού, να προβλεφθεί ο βαθμός βλαβών που θα σημειωθεί σε κάθε κατηγορία κτιρίων.

## Ένας αιώνας συνεχούς βελτίωσης της αντισεισμικής ασφάλειας

**Η εξέλιξη των αντισεισμικών κανονισμών**του **Κυριάκου Αναστασιάδη,***ομότιμου καθηγητή του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ.*

Είναι αυτονόητο ότι η εξέλιξη των αντισεισμικών κανονισμών ταυτίζεται με την εξέλιξη των μεθόδων αντισεισμικού υπολογισμού που εφαρμόστηκαν μέχρι σήμερα. Θα αναφερθούμε στα γενικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα των υπόψη μεθόδων και κανονισμών, ανεξάρτητα από το είδος του υλικού της κατασκευής, τα οποία κατά κανόνα αποτελούνται από δύο διακριτά μέρη: το **σεισμολογικό** μέρος που αφορά στον καθορισμό της σεισμικής δράσης ανεξάρτητα από την κατασκευή (ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας, φάσμα απόκρισης) και το **στατικό-δυναμικό** μέρος που αφορά στον καθορισμό μίας ή περισσότερων στατικών φορτίσεων της κατασκευής, βάσει των οποίων επιτυγχάνεται ο τελικός υπολογισμός της μέγιστης σεισμικής απόκρισης με τις μεθόδους της στατικής.

Πέραν των ανωτέρω, ειδικότερες κανονιστικές διατάξεις απαιτούνται κατά την εφαρμογή μη γραμμικών μεθόδων υπολογισμού της απόκρισης με ή χωρίς χρονική ανάλυση (Response history analysis, Pushover analysis).

**Οι πρώτες προσπάθειες: 1900-1932**

Στον Ιάπωνα επιστήμονα F. Omori αποδίδεται η πρώτη, από το 1900, **στατική μέθοδος** αντισεισμικού υπολογισμού, σύμφωνα με την οποία τα σεισμικά φορτία  $F_0$  δίνονται από την σχέση:

$$F_0 = M \cdot \gamma_0$$

όπου  $M$  η μάζα της κατασκευής και  $\gamma_0$  η μέγιστη επιτάχυνση του εδάφους. Κατά την υπόψη μέθοδο η κατασκευή θεωρείται σαν απόλυτα **στερεό** σώμα κατά την κίνηση του εδάφους, οπότε όλα της τα σημεία θα έχουν την ίδια επιτάχυνση  $\gamma_0$  με το έδαφος (ομοιόμορφη καθ' ύψος μεταβολή των επιταχύνσεων). Επίσης λόγω ανυπαρξίας παραμόρφωσης, σύμφωνα με την αρχή του D' Alembert οι δυνάμεις αδράνειας στερεού σώματος  $-M \cdot \gamma_0$  θα εξισορροπούν τις δυνάμεις στήριξης της κατασκευής, δηλαδή θα αποτελούν τα σεισμικά της φορτία (στατικά).

Η σχέση υπολογισμού των σεισμικών φορτίων γράφεται απλούστερα:

$$F_0 = \epsilon \cdot B$$

όπου  $B = M \cdot g$  το βάρος της κατασκευής και  $\epsilon = \frac{\gamma_0}{g}$  ο **σεισμικός συντελεστής**.

Ο συντελεστής αυτός δίνει απευθείας το σεισμικό φορτίο  $F_0$  ως ποσοστό του υπερκείμενου βάρους  $B$  ή, επίσης, την μέγιστη επιτάχυνση  $\gamma_0$  του εδάφους ως πο-

σοστό της επιτάχυνσης της βαρύτητας  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ .

Οι αριθμητικές τιμές του  $\epsilon$  καθορίστηκαν στην αρχή εμπειρικά, λαμβάνοντας υπόψη φαινόμενα κατάρρευσης τοίχων ή ανατροπής λίθων έπειτα από ισχυρούς σεισμούς. Μία από τις παλαιότερες τιμές είναι η  $\epsilon = 1,5\%$ , η οποία καθορίστηκε στη Messina της Ιταλίας έπειτα από τον ισχυρότατο σεισμό του 1908 με μέγεθος 7,5 R. Αργότερα όμως, μετά τον σεισμό του Kanto (1923) στην Ιαπωνία, χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά πραγματικές εγγραφές σεισμομέτρων για την εκτίμηση των επιταχύνσεων με υπόθεση απλής αρμονικής ταλάντωσης του εδάφους. Βάσει των μετρήσεων αυτών καθορίστηκε η τιμή  $\epsilon = 0,10$ , η οποία σημειωτέον ότι υιοθετήθηκε από πολλές χώρες του κόσμου και από τη χώρα μας το 1931 μετά τους σεισμούς της Κορίνθου - Λουτρακίου.

Αλλά και η στατική επίλυση του συστήματος (κτιρίου) για την φόρτιση  $F_0$  είχε τα δικά της διειπίλυτα για την εποχή εκείνη προβλήματα, λόγω του μεγάλου βαθμού στατικής αοριστίας των κτιρίων (χωρικών συστημάτων), που οδηγούσε κατά κανόνα σε πολύ απλουστευτικές παραδοχές για την επίτευξη της επίλυσης.

Την ακριβή και πρακτικά εφικτή λύση των παραπάνω προβλημάτων για τα **μονώροφα** κτίρια έδωσε ο καθ. Α. Ρουσόπουλος με την εργασία του: «Διανομή οριζοντίων δυνάμεων υπό ακάμπτου πλακός εις ολοσώμους εν τω χώρω φορείς. Περίπτωσης σεισμικών δυνάμεων. Διανομή και δίατα αυτών», Τεχνικά Χρονικά, τεύχος 17, 1η Σεπτεμβρίου 1932. Στην εργασία αυτή ορίστηκε η έννοια του **ελαστικού κέντρου** στροφής των πλακών των κτιρίων και θεμελιώθηκε ο κανόνας περί «συμπτώσεως κέντρου βάρους και κέντρου ελαστικής στροφής» για τον ορθό αντισεισμικό σχεδιασμό των κτιρίων. Επίσης η όλη μεθοδολογία υιοθετήθηκε αργότερα από τον ελληνικό αντισεισμικό κανονισμό του 1959 με το όνομα «ακριβής ελληνική μέθοδος» και εφαρμόστηκε χωρίς επαρκή αιτιολόγηση και στα πολυώροφα κτίρια.

**Η ανάπτυξη της βασικής θεωρίας: 1932-1970**

Η αναζήτηση ρεαλιστικών τιμών του  $\epsilon = \gamma_0/g$  για κάθε περιοχή μιας χώρας οδήγησε στη σύνταξη των χάρτων με καθορισμένες **ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας** (τιμές του  $\epsilon$ ), βάσει εμπειρικών και ποιοτικών εκτιμήσεων από προηγούμενους σεισμούς. Ένας από τους πρώτους χάρτες αυτού του είδους ήταν και



ο ελληνικός που δημοσιεύθηκε το 1939 (ο αμερικανικός δημοσιεύθηκε το 1937 στον Uniform Building Code). Στο χάρτη αυτόν θεσπίστηκαν οι ακόλουθες πέντε ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας με τρεις τιμές του  $\epsilon$  για κάθε ζώνη, ανάλογα με την ποιότητα του εδάφους (σκληρό προς μαλακό έδαφος από αριστερά προς δεξιά):

I:	<0,01	<0,01	0,01
II:	<0,01	0,01	0,04
III:	0,01	0,04	0,08
IV:	0,04	0,08	0,12
V:	0,08	0,12	0,16

Στον ελληνικό αντισεισμικό κανονισμό του 1959 οι παραπάνω πέντε ζώνες αντικαταστάθηκαν από τις επόμενες τρεις:

I:	0,04	0,06	0,08
II:	0,06	0,08	0,12
III:	0,08	0,12	0,16

Ενώ στον ισχύοντα σήμερα Ε.Α.Κ.-2000 έχουμε πάλι τρεις (επανορισμένες) ζώνες με τις αντίστοιχες τιμές του  $\epsilon$  (στον κανονισμό  $\alpha = \epsilon$ ) ανεξάρτητα από την ποιότητα του εδάφους:

I:	0,16
II:	0,24
III:	0,36

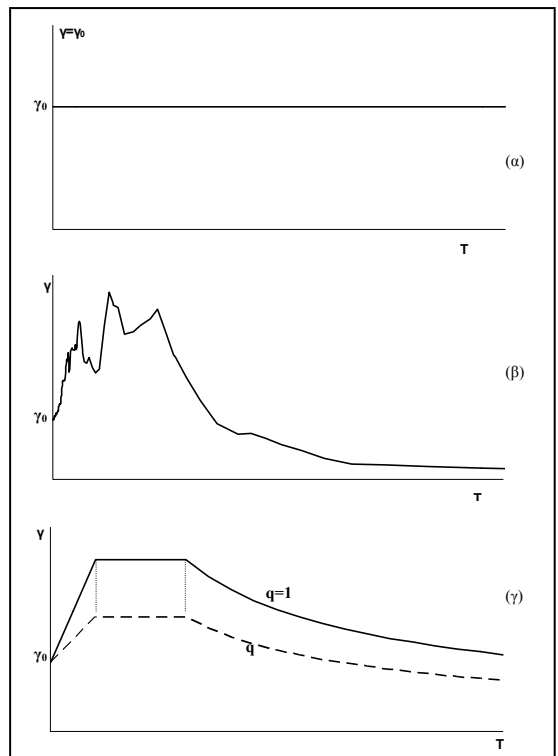
Είναι προφανής η απότομη αύξηση του σεισμικού συντελεστή  $\epsilon$  στον Ε.Α.Κ.-2000, αλλά επί του θέματος αυτού θα επανέλθουμε στην επόμενη ενότητα.

Ένα άλλο πεδίο ανάπτυξης υπήρξε η εισαγωγή και διαμόρφωση της **δυναμικής μεθόδου** αντισεισμικού υπολογισμού βάσει των αρχών της δυναμικής των κατασκευών. Η βασική μαθηματική θεωρία της υπόψη μεθόδου παρουσιάστηκε το 1932 στην διδακτορική διατριβή του Βέλγου επιστήμονα Maurice Biot (υπό την επίβλεψη του διάσημου Theodore Karman στο California Institute of Technology). Εφαρμόστηκε η ιδιομορφική ανάλυση για τον υπολογισμό της σεισμικής απόκρισης και επισημάνθηκε η χρησιμότητα της ξεχωριστής μελέτης του συχνοτικού περιεχομένου του σεισμού με τη βοήθεια του **φάσματος Fourier**. Το τελευταίο, αργότερα με τη συμβολή και του G. Housner, αντικαταστάθηκε από το πιο πρακτικό στις εφαρμογές **φάσμα απόκρισης**, το οποίο παρουσιάστηκε τελικά το 1941 με αντίστοιχες δημοσιεύσεις των Biot και Housner.

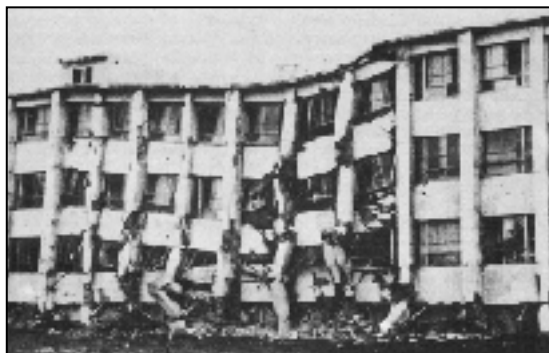
Για την κατασκευή του φάσματος απόκρισης απαιτείται το **επιταχυνσιογράφημα** της σχετικής συνιστώσας του σεισμού, βάσει του οποίου υπολογίζεται η **μέγιστη** απόκριση (μετατόπιση ή ταχύτητα ή επιτάχυνση) μιας ακολουθίας μονοβάθμιων ταλαντωτών με αύξουσες ιδιοπεριόδους  $T_1, T_2, \dots, T_n$ . Έτσι, σε ένα σύστημα αναφοράς με άξονα τετμημένων τις ιδιοπεριόδους  $T_i$  και τεταγμένων την ενδιαφέρουσα μέγιστη απόκριση, θα προκύψει για κάθε ποσοστό απόσβεσης  $\zeta$  μία γραμμή μέγιστων τιμών (φασματική γραμμή) της υπόψη απόκρισης (επιτάχυνση κατά κανόνα).

- Στο σχήμα (α) φαίνεται η μορφή που θα είχε το φάσμα επιτάχυνσης με βάση τις παραδοχές της **στατικής μεθόδου** (επιτάχυνση μάζας  $m$  ανεξάρτητη από την ιδιοπερίοδο της κατασκευής και ίση με την μέγιστη επιτάχυνση  $\gamma_0$  του εδάφους).
- Στο σχήμα (β) φαίνεται η πραγματική μορφή του φάσματος επιτάχυνσης σύμφωνα με τα προηγούμενα, όπου η μέγιστη επιτάχυνση  $\gamma(T)$  της μάζας  $m$  μπορεί να είναι είτε πολύ μεγαλύτερη είτε πολύ μικρότερη από τη μέγιστη επιτάχυνση  $\gamma_0$  του εδάφους, ανάλογα με την τιμή της ιδιοπεριόδου  $T$  της κατασκευής.
- Τέλος, στο σχήμα (γ) φαίνεται η τυπική μορφή των φασμάτων επιτάχυνσης που προδιαγράφουν οι αντισεισμικοί κανονισμοί (φάσματα σχεδιασμού). Τα φάσματα αυτά προκύπτουν από στατιστική και πιθανοτική επεξεργασία φασμάτων απόκρισης, αλλά και άλλων παραγόντων.

Η εισαγωγή της φασματικής μεθόδου στους αντισεισμικούς κανονισμούς άρχισε να γίνεται από το 1970 περίπου, αρχικά ως βελτίωση ορισμένων διατάξεων της στατικής μεθόδου και αργότερα ως αυτοτελής και γενικής ισχύος μέθοδος αντισεισμικού υπολογισμού. Έτσι π.χ. στην Έκθεση ATC-3.06 (1978) του Applied Technology Council (επιτροπής του SEAOC) παρουσιάζεται και τυπικά ως αυτοτελής μέθοδος αντισεισμικού υπολογισμού, από την οποία με διαδοχικές απλοποιήσεις προκύπτει και η στατική μέθοδος. Σημειώνεται πάντως, ότι μέχρι σήμερα υπάρχουν κα-



Η μορφή των φασμάτων επιτάχυνσης.



**Εικόνα 1:**  
Tokachi - Oci, 1968.

νονισμοί (π.χ. Καναδάς 2005) που δεν επιτρέπουν την κάθοδο της τέμνουσας βάσης της φασματικής μεθόδου κάτω από το 80% (κανονικά κτίρια) ή και το 100% (μη κανονικά κτίρια) της αντίστοιχης τέμνουσας βάσης της στατικής μεθόδου.

Αναφορικά τώρα με τον ελληνικό αντισεισμικό κανονισμό του 1959, είναι προφανές ότι στηρίζεται στη στατική μέθοδο, όπως άλλωστε όλοι οι κανονισμοί της εποχής εκείνης. Το 1985 έγινε περιορισμένη τροποποίηση του κανονισμού (πολυώροφο μοντέλο, τριγωνική φόρτιση, κ.τ.λ.) και το 1995 γενική ανασύνταξη και εκσυγχρονισμός με την εισαγωγή της φασματικής μεθόδου ως κύριας μεθόδου ανάλυσης χωρίς περιορισμούς και της στατικής μεθόδου υπό ορισμένους περιορισμούς. Ο κανονισμός αυτός βελτιώθηκε με τον Ε.Α.Κ.-2000 που ισχύει μέχρι σήμερα.

### Η πλαστική συμπεριφορά: 1970-1995

Κατά την δεκαετία του '60, μετά την εμφάνιση και χρήση των ψηφιακών υπολογιστών, έγιναν πολύ ακριβείς υπολογισμοί φασμάτων απόκρισης με βάση αξιόπιστα επιταχυνσιογραφήματα ισχυρών σεισμών. Από την μελέτη των στοιχείων αυτών προέκυψε ότι οι αναπτυσσόμενες σεισμικές δυνάμεις μπορεί να είναι 3-4 φορές μεγαλύτερες από τις δυνάμεις σχεδιασμού. Αυτό σημαίνει εκτεταμένη είσοδο της κατασκευής στην πλαστική περιοχή συμπεριφοράς, μεγάλες πλαστικές (ανελαστικές) παραμορφώσεις και συνακόλουθες βλάβες σε φέροντα και μη φέροντα στοιχεία, όπως άλλωστε παρατηρείται έπειτα από ισχυρούς σεισμούς. Αλλά και καταρρεύσεις κτιρίων παρατηρούνται όταν ο φέρων σκελετός δεν μπορεί να υποστεί χωρίς θραύση τις μεγάλες ανελαστικές παραμορφώσεις ή υπάρχουν κακοτεχνίες.

Με βάση τις παραπάνω διαπιστώσεις έγιναν μεγάλες αυξήσεις των επιταχύνσεων εδάφους  $\gamma_0$  στους αντισεισμικούς κανονισμούς, όχι όμως και μεγάλες αυξήσεις των επιταχύνσεων (δυνάμεων) σχεδιασμού, ώστε να προσεγγίζουν τις φασματικές επιταχύνσεις  $\gamma(T)$ . Αντίθετα, για λόγους οικονομίας, οι φασματικές επιταχύνσεις  $\gamma(T)$  **διαιρούνται** με τον καλούμενο συντελεστή συμπεριφοράς  $q$  (σχήμα  $\gamma$ ) και υποβιβάζονται σε μία πιο οικονομική στάθμη, με συνέπεια βέ-

βαια, σε περίπτωση ισχυρού σεισμού, την εμφάνιση βλαβών σε φέροντα και μη φέροντα στοιχεία, αλλά χωρίς κατάρρευση (προστασία ζωής). Για την επίτευξη του στόχου αυτού απαιτείται πέρα από την υψηλή ποιότητα κατασκευής, ικανοποιητική αντοχή και πλαστικότητα των δομικών στοιχείων, καθώς επίσης και ιεράρχηση αντοχών (ικανοτικός σχεδιασμός), ώστε να εξασφαλίζεται η ύπαρξη σταθερών περιοχών απελευθέρωσης της μέγιστης δυνατής ενέργειας. Τα θέματα αυτά αποτέλεσαν το αντικείμενο συστηματικής αναλυτικής και πειραματικής έρευνας από την δεκαετία του 60 (Veletsos-Newmark). Βάσει των ερευνών αυτών, αλλά και της εμπειρίας από βλάβες ισχυρών σεισμών, οι αντισεισμικοί κανονισμοί καθορίζουν τις **μέγιστες** τιμές του συντελεστή συμπεριφοράς  $q$ , ανάλογα με το υλικό και το δομικό σύστημα της κατασκευής. Έτσι, π.χ. ο Ε.Α.Κ.-2000 προδιαγράφει μέγιστες τιμές  $q = 3,5$  και  $q = 4$  για πλαίσια από σκυρόδεμα ή από χάλυβα, αντίστοιχα.

### Ο επιτελεστικός σχεδιασμός: 1995-...

Πρόκειται για ένα οργανωμένο σύνολο ιδεών, κανόνων, μεθόδων και κριτηρίων, με ποιοτικό και ποσοτικό περιεχόμενο, που στοχεύει στο σχεδιασμό κτιρίων (ή κατασκευών γενικότερα) με προκαθορισμένη σεισμική συμπεριφορά (ή συμπεριφορές) για δεδομένο επίπεδο (ή επίπεδα) σεισμικής φόρτισης. Οι ιδέες αυτές αναπτύχθηκαν στις Η.Π.Α. κατά την τελευταία δεκαετία υπό την εποπτεία κυρίως της FEMA (Federal Emergency Management Agency) για την επισκευή- αποκατάσταση υφισταμένων κτιρίων και διατυπώθηκαν σε κείμενα μετά το 1995 (Vision 2000, ATC-40, FEMA 273 και 274). Παρόμοιο περιεχόμενο είναι και ο ελληνικός Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.) για υφιστάμενα κτίρια, που βρίσκεται και υπό επεξεργασία.

Κεντρικό σημείο αναφοράς του παραπάνω σχεδιασμού είναι η επιθυμητή (από τον κύριο του έργου) σεισμική **επίδοση ή επιτελεστικότητα** (seismic performance) του κτιρίου, δηλαδή η επιθυμητή (ή, καλύτερα, ανεκτή) **οριακή κατάσταση βλαβών** μετά το σεισμό. Οι οριακές καταστάσεις βλαβών (επίπεδα επίδοσης) ορίζονται περιγραφικά με την μεγαλύτερη δυνατή λεπτομέρεια τόσο για τα φέροντα, όσο και για τα μη φέροντα στοιχεία, ενώ η επίτευξή τους ελέγχεται ποσοτικά με μεθόδους υπολογισμού και αντίστοιχα κριτήρια αποδοχής. Αναλυτικότερα, ο σχεδιασμός με βάση την επίδοση των κτιρίων περιλαμβάνει τα επόμενα πέντε μέρη:

- Επίπεδα επίδοσης.
- Επίπεδα σεισμού.
- Στόχοι σχεδιασμού.
- Μέθοδοι υπολογισμού.
- Κριτήρια αποδοχής.

Τα παραπάνω κριτήρια δεν θα παρουσιαστούν διότι δεν έχουν πάρει ακόμα την τελική τους μορφή.

Η εξέλιξη από τις αρχές του 20ού αιώνα έως σήμερα

# Αντισεισμικές κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα στην Ελλάδα

του **Χρήστου Ιγνατάκη**,  
καθηγητή του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ.

*Στο κείμενο που ακολουθεί παρουσιάζεται η διαδρομή και οι εξελίξεις στον αντισεισμικό σχεδιασμό των κτιριακών έργων από οπλισμένο σκυρόδεμα στην Ελλάδα. Ως κομβικά σημεία αυτής της διαδρομής αναδεικνύονται οι μεγάλοι σεισμοί που έπληξαν τον ελληνικό χώρο και αποτέλεσαν τους καταλύτες τόσο για την επιτάχυνση της επιστημονικής έρευνας, όσο και για τις διαδοχικές αναθεωρήσεις και εκσυγχρονισμούς του αντισεισμικού κανονισμού.*

Το οπλισμένο σκυρόδεμα εμφανίσθηκε δειλά στην κεντρική Ευρώπη και στις Η.Π.Α. περί τα μέσα του 19ου αιώνα και έκτοτε, με συνεχώς επιταχυνόμενο ρυθμό, αναδείχθηκε ως το κατεξοχήν υλικό κατασκευής των φερόντων οργανισμών σε κατασκευές πολιτικού μηχανικού.

Στην Ελλάδα η φέρουσα τοιχοποιία κυριαρχούσε στις κτιριακές κατασκευές ως τις αρχές του 20ου αιώνα. Είναι χαρακτηριστικό ότι η πρώτη εκτεταμένη χρήση του οπλισμένου σκυροδέματος σε πολυώροφα κτιριακά έργα έγινε στη Θεσσαλονίκη κατά την περίοδο της μαζικής ανοικοδόμησης του εμπορικού κέντρου της πόλης μετά τη μεγάλη πυρκαγιά του 1917. Οι πολιτικοί μηχανικοί της εποχής, με σπουδές στο εξωτερικό (Γερμανία, Γαλλία), άρχισαν με γρήγορα βήματα να υιοθετούν το πολλά υποσχόμενο νέο υλικό. Σημαντική ήταν και η οικονομική ώθηση από την ατέλεια εισαγωγής τσιμέντου και χάλυβα που εφάρμοσε η τότε κυβέρνηση Βενιζέλου με στόχο να ενισχύσει την ανοικοδόμηση της Θεσσαλονίκης που είχε πρόσφατα ενσωματωθεί στον εθνικό κορμό.

Οι πρώτες κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα ήταν συνήθως μεικτού τύπου με πεσσούς φέρουσες τοιχοποιίας στις όψεις και εσωτερικό φέροντα οργανισμό (πλάκες, δοκοί, στύλοι) από οπλισμένο σκυρό-

δεμα. Σύντομα όμως η φέρουσα τοιχοποιία περιορίσθηκε στον οργανισμό πλήρωσης. Οι φέροντες οργανισμοί των πολυώροφων οικοδομών ήταν πλέον, από τις αρχές της δεκαετίας του '30, αμιγώς πλαίσιακοί φορείς από οπλισμένο σκυρόδεμα. Οι κατασκευές αυτές έχουν αποδείξει ότι διέθεταν σημαντική αντισεισμική ικανότητα, καθώς αρκετές κατόρθωσαν να επιβιώσουν των σεισμών του 1978, παρ' ότι σχεδιάσθηκαν χωρίς κανένα αντισεισμικό υπολογισμό.

Από τότε μέχρι σήμερα «κύλησε πολύ νερό στο αυλάκι» και η Ελλάδα, ως κράτος μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης πρόκειται να υιοθετήσει, ίσως και πριν κλείσει η τρέχουσα δεκαετία, τους κοινούς πλέον ευρωπαϊκούς κανονισμούς για το σχεδιασμό και τον αντισεισμικό υπολογισμό κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα (Eurocode 2 και Eurocode 8), οι οποίοι θα αντικαταστήσουν τους αντίστοιχους σημερινούς ελληνικούς κανονισμούς (Ε.Κ.Ο.Σ. 2000 και Ε.Α.Κ. 2000).

Με την ευκαιρία της συμπλήρωσης 30 χρόνων από τους σεισμούς του 1978 είναι σκόπιμο να ιχνηλατηθεί η διαδρομή του σχεδιασμού των κτιριακών κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος στην Ελλάδα από τις κατασκευές του 1920 έως τις σύγχρονες αντισεισμικές κατασκευές. Η διαδρομή αυτή χωρίζεται εξ αντικειμένου στις περιόδους προ και μετά τη θέσπιση του πρώτου Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού (Ε.Α.Κ.) του 1959. Η περίοδος από το 1959 μέχρι σήμερα υποδιαιρείται και χαρακτηρίζεται από τις διαδοχικές τροποποιήσεις του Ε.Α.Κ. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά σχεδιασμού των κτιριακών έργων σε κάθε μια από αυτές τις περιόδους.

## Περίοδος προ του 1959

- Υλικά: Σκυρόδεμα εργοταξιακό κατηγορίας Β120 ή Β160 με ποτάμια αδρανή, οπλισμοί από λείο χάλυβα κατηγορίας St I.

*Τα σύγχρονα λογισμικά πακέτα ανάλυσης και διαστασιολόγησης των κατασκευών παρέχουν τεράστιες δυνατότητες βελτιστοποίησης του αντισεισμικού σχεδιασμού, δεν είναι όμως σε θέση να υποκαταστήσουν τον έμπειρο μελετητή στη σωστή σύλληψη και σύνθεση του φέροντα οργανισμού, σύμφωνα και με τις διατάξεις του νέου Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού.*

- Υπολογιστική διαδικασία: Εφαρμογή ξένων κανονισμών (συνήθως γερμανικών), ανάλυση και διαστασιολόγηση με τη μέθοδο των επιτρεπόμενων τάσεων και μόνον έναντι κατακόρυφων φορτίων.
- **Απουσία αντισεισμικού υπολογισμού.**
- Χαρακτηριστικά φερόντων οργανισμών:
  - Αμιγώς πλαισιακές κατασκευές (απουσία τοιχωμάτων).
  - Πλάκες μικρού πάχους (8 - 12 cm), πρόβολοι μικρού ανοίγματος.
  - Δοκοί σε πυκνό κάρναβο, συνήθως κάτω από όλες τις τοιχοποιίες του υπερκείμενου ορόφου, με μικρά πάχη κορμού και συχνά με τριγωνικές ενισχύσεις στις στηρίξεις.
  - Στύλοι με πυκνό κάρναβο, μικρών και συνήθως τετραγωνικών διατομών με ποσοστό διαμήκων ράβδων ~8‰ και μόνον περιμετρικούς συνδετήρες (συνήθως  $\varnothing 6/250\text{mm}$ ).
  - Θεμελιώσεις επιφανειακές, όλων των τύπων, ανάλογα με την αντοχή του εδάφους.
  - Τοιχοποιίες πλήρωσης πυκνές, καλά δομημένες με μικρές διάτρητες πλίνθους, διαζώματα και επιμελημένη σφήνωση στις δοκούς οροφής (τελευταία στρώση σε λοξή διάταξη).

Είναι φανερό ότι η ιδιαίτερα ασθενική αντισεισμική ικανότητα των εύκαμπτων αμιγώς πλαισιακών φερόντων οργανισμών ενισχύεται σημαντικά από τις πυκνές και ισχυρές τοιχοπληρώσεις.

### Περίοδος 1959 - 1984

Είναι χαρακτηριστικό ότι οι αντισεισμικοί κανονισμοί που οριοθετούν την έναρξη και το πέρας της περιόδου αυτής θεσπίστηκαν λίγα χρόνια μετά τους σεισμούς της δεκαετίας του '50 στα Επτάνησα και του 1978 και 1981 σε Θεσσαλονίκη και Αθήνα αντίστοιχα.

Οι δεκαετίες του '60 και του '70 ήταν η «*χρυσή*» εποχή της αντιπαροχής, κατά την οποία ανοικοδομήθηκαν σε μεγάλη έκταση τα μεγάλα και μεσαία αστικά κέντρα με αποτέλεσμα την, κατά γενική ομολογία, αισθητική ισοπέδωση των ελληνικών πόλεων, χωρίς βέβαια να ευθύνεται για αυτό ο Ε.Α.Κ. του 1959.

Τα υλικά που κυριαρχούσαν στις κατασκευές ήταν το εργοταξιακό σκυρόδεμα κατηγορίας B160 και ο λείος χάλυβας St I που σταδιακά αντικαταστάθηκαν από την κατηγορία B225 και τον νευροχάλυβα ST III για τους διαμήκεις οπλισμούς, ενώ στους συνδετήρες εξακολούθησε η χρήση λείων ράβδων κατηγορίας St I.

Ο πρώτος Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός του 1959 επέβαλε τη ψευδοστατική εφαρμογή και την ορθογωνική καθ' ύψος κατανομή των οριζόντιων σεισμικών δυνάμεων σχεδιασμού οι οποίες προέκυπταν μέσω μιας καθορισμένης τιμής του σεισμικού συντελεστή  $\epsilon = 0.04 - 0.16$ , ανάλογα με τη σεισμικότητα της περιοχής (ζώνες I, II, III) και την επικινδυνότητα του εδάφους θεμελίωσης (κατηγορίες  $\alpha, \beta, \gamma$ ).

Η αντικειμενική αδυναμία ακριβούς ανάλυσης με τα μέσα της εποχής (λογαριθμικός κανόνας, χειροκί-

νητη αριθμομηχανή) πολυώροφων-πολύστυλων πλαισιακών συστημάτων αντιμετωπίστηκε με την εύλογη θεώρηση ότι η διαφραγματική λειτουργία των πλάκων επιτρέπει την κατανομή της σεισμικής τέμνουσας κάθε ορόφου στα κατακόρυφα στοιχεία (στύλοι, τοιχώματα) ανάλογα με τη δυσκαμψία τους («μοντέλο του μονώροφου»). Οι δυσκολίες εκτίμησης των συντελεστών δυσκαμψίας των στύλων και ιδιαίτερα των τοιχωμάτων οδήγησαν τελικά σε άτυπες προσεγγίσεις, οι οποίες υπερεκτιμούσαν συνήθως τις τέμνουσες των τοιχωμάτων, ανακουφίζοντας τα υποστυλώματα, ενώ υποτιμούσαν την καμπτική καταπόνηση των τοιχωμάτων, εξετάζοντάς τα ανά όροφο.

Ο Ε.Α.Κ. του 1959 παρείχε και μία διέξοδο απαλλαγής από το ακανθώδες πρόβλημα του αντισεισμικού υπολογισμού αρκεί ο φέρων οργανισμός να διέθετε σε κάθε όροφο κατάλληλα τοποθετημένα τοιχώματα με άθροισμα εμβαδών διατομής ανά διεύθυνση τουλάχιστον ίσο προς το 1/800 ή 1/500 του αθροίσματος των εμβαδών κατόψεων των υπερκείμενων ορόφων σε περιοχές σεισμικότητας I και II ή III αντίστοιχα. Πολλές οικοδομές της Θεσσαλονίκης έγιναν με τον τρόπο αυτό και μόνο κατά τις μελέτες επισκευής μετά τους σεισμούς του 1978 διαπιστώθηκε ότι μερικές από αυτές είχαν κατασκευασθεί «κατ' οικονομία».

Στο σημείο αυτό αξίζει να επισημανθεί μία χαρακτηριστική διαφοροποίηση στις προτιμήσεις μεταξύ των αποφοίτων των σχολών πολιτικών μηχανικών, του Ε.Μ.Π και του Α.Π.Θ. Οι μηχανικοί του Α.Π.Θ. συνήθως αρέσκονταν, σε αντίθεση με τους συναδέλφους τους του Ε.Μ.Π., στην τοποθέτηση αρκετών τοιχωμάτων. Είναι χαρακτηριστικό ότι στην πλειοψηφία των οικοδομών της εποχής στην Αθήνα, τα τοιχώματα απουσιάζουν ακόμη και από τα κλιμακοστάσια. Το φαινόμενο αυτό θα πρέπει μάλλον να αποδοθεί στην επιρροή των αντίστοιχων καθηγητών.

Την ίδια χρονική περίοδο, η εισβολή του ιδιωτικού αυτοκινήτου και η επιτακτική ανάγκη χώρων στάθμευσης προκάλεσε την υιοθέτηση της λεγόμενης πιλοτής σε μεγάλο αριθμό οικοδομών πανελλαδικά. Οι πιλοτές, εκτός από τις ατέρμονες διενέξεις νομικού χαρακτήρα περί του καθεστώτος ιδιοκτησίας των ανοικτών ισόγειων χώρων, κατέδειξαν με ιδιαίτερα έντονο τρόπο κατά τους σεισμούς του 1978 στη Θεσσαλονίκη και του 1981 στην Αθήνα τον ουσιαστικό ρόλο των τοιχοποιιών πλήρωσης στην αντισεισμική επάρκεια των οικοδομών και τα δεινά από την απουσία τους στα ισόγεια των πιλοτών, χωρίς την κατάλληλη ισχυροποίηση των υποστυλωμάτων.

### Περίοδος 1984 - 1994

Οι τραυματικές εμπειρίες από τους σεισμούς του 1978 και του 1981, που έπληξαν για πρώτη φορά τα μεγάλα αστικά κέντρα της χώρας, προκάλεσαν την εσπευσμένη τροποποίηση του Ε.Α.Κ. 1959 μετά από 25 χρόνια εφαρμογής του. Ο τροποποιημένος αντισεισμικός κανονισμός τέθηκε σε εφαρμογή το 1984,

ενώ παράλληλα άρχισε η κυοφορία της ριζικής αλλαγής του κανονισμού, που ακολούθησε δέκα χρόνια μετά.

Δύο ήταν οι βασικές αλλαγές που επήλθαν με τις τροποποιήσεις του 1984 και ενσωματώθηκαν στο άρθρο 6 του Ε.Α.Κ. 1959.

- α. Η ανάλυση του φέροντος οργανισμού υπό τη ψευδοστατική σεισμική φόρτιση για κτίρια με περισσότερους από 3 ορόφους επιβλήθηκε να γίνεται σε χωρικό πολυώροφο προσομοίωμα του φέροντος οργανισμού.
- β. Θεοπίσθησε πληθώρα κατασκευαστικών διατάξεων με στόχο την εξασφάλιση επαρκούς πλαστιμότητας στις κρίσιμες περιοχές των δομικών στοιχείων.

Παράλληλα, επιβλήθηκε έλεγχος των οριζόντιων μετακινήσεων. Σε περίπτωση υπέρβασης των σχετικών ορίων λόγω ανεπάρκειας τοιχωμάτων, ο κανονισμός επέβαλε ικανοτικό έλεγχο των κόμβων του εύκαμπτου φέροντα οργανισμού ώστε το άθροισμα των επιτρεπόμενων ροπών κεφαλής και πόδα κάθε στύλου να υπερβαίνει το άθροισμα των επιτρεπόμενων ροπών των εκατέρωθεν δοκών στις δύο κύριες διευθύνσεις. Ο έλεγχος στοχεύει στην αποφυγή σχηματισμού μηχανισμού κατάρρευσης ορόφου εξαιτίας πρώιμης αστοχίας των υποστυλωμάτων σε περίπτωση σεισμού μεγαλύτερου του σεισμού σχεδιασμού.

Τονίζεται ότι με τον Ε.Α.Κ. 1959-1984 η διαστασιολόγηση εξακολουθούσε να γίνεται με τη μέθοδο των επιτρεπόμενων τάσεων, ενώ παρέμεινε και η ψευδοστατική εφαρμογή των σεισμικών δυνάμεων, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η δυναμική απόκριση της κατασκευής στη σεισμική διέγερση. Οι τιμές των σεισμικών συντελεστών ( $\epsilon = 0.04 - 0.16$ ) έμειναν αναλλοίωτες, αλλά υιοθετήθηκε η λεγόμενη «άνω τριγωνική» κατανομή των σεισμικών δυνάμεων καθ' ύψος με αποτέλεσμα την αύξηση της ροπής ανατροπής της κατασκευής κατά 33% περίπου. Σημειώνεται ότι η διέξοδος απαλλαγής από τον αντισεισμικό υπολογισμό με τη διάταξη επαρκών και κατάλληλα διατεταγμένων τοιχωμάτων διατηρήθηκε αναλλοίωτη.

Τέλος, εισάγεται για πρώτη φορά η έννοια της σπουδαιότητας της κατασκευής ανάλογα με τη χρήση της. Έτσι, στα κτίρια που ο κανονισμός τα κατατάσσει στην κατηγορία μεγάλης σπουδαιότητας, επιβάλλεται προσαύξηση του σεισμικού συντελεστή κατά 50% ή 20% για τις ζώνες σεισμικότητας I, II και III αντίστοιχα.

Σημειώνεται ότι οι κατασκευαστικές διατάξεις του άρθρου 6, ο ικανοτικός έλεγχος κόμβων και οι προσαυξήσεις του σεισμικού συντελεστή λόγω σπουδαιότητας του Ε.Α.Κ. 1959-1984 περιλαμβάνονται, με τις κατάλληλες βέβαια προσαρμογές και προσθήκες, και στον σημερινό Ε.Α.Κ. 2000.

Η υποχρεωτική εφαρμογή του χωρικού πολυώρφου προσομοιώματος για την ανάλυση έναντι σεισμού κατέστησε απαραίτητη τη χρήση προγραμμά-

των ηλεκτρονικού υπολογιστή και συνέπεσε χρονικά με την περίοδο ευρείας διάδοσης των προσωπικών υπολογιστών. Έτσι, κατά τη δεκαετία του '80 συντελέστηκε πραγματική επανάσταση στην εκπόνηση των στατικών μελετών με ραγδαία ανάπτυξη λογισμικών πακέτων, τα οποία πολύ σύντομα εκτός από το υπολογιστικό μέρος εισέβαλαν και στο σχεδιαστικό με τα προγράμματα τύπου CAD.

Από όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, είναι φανερό ότι με τις τροποποιήσεις του 1984 έγινε ένα μεγάλο άλμα στην ποιότητα και στην αξιοπιστία του αντισεισμικού σχεδιασμού των κατασκευών.

### Περίοδος από το 1994 έως σήμερα

Το 1994 τέθηκε σε εφαρμογή ο νέος Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (Ν.Ε.Α.Κ.) ο οποίος, σε συνδυασμό με τον Νέο Ελληνικό Κανονισμό Οπλισμένου Σκυροδέματος (Ν.Ε.Κ.Ο.Σ.) που είχε ήδη τεθεί σε εφαρμογή το 1991, άλλαξαν ριζικά τη φιλοσοφία του σχεδιασμού των κτιριακών έργων. Οι κανονισμοί αυτοί, μετά από σειρά τροποποιήσεων, έλαβαν τη σημερινή μορφή τους και είναι πλέον γνωστοί ως Ε.Α.Κ. 2000 και Ε.Κ.Ο.Σ. 2000.

Οι σημαντικότερες αλλαγές του Ε.Α.Κ. 2000 σε σύγκριση με τον Ε.Α.Κ. 1959-1984 είναι οι ακόλουθες:

- Καταργείται η έννοια του σταθερού σεισμικού συντελεστή και εισάγεται το πιθανοτικό φάσμα σεισμικών επιταχύνσεων σχεδιασμού, μέσω του οποίου λαμβάνεται υπόψη η δυναμική απόκριση κάθε κατασκευής ξεχωριστά ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της. Παράλληλα εκσυγχρονίστηκε και επανασχεδιάστηκε ο χάρτης ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας, εμπλουτισμένος με τα τελευταία σεισμολογικά δεδομένα.
- Επιβάλλεται η δυναμική φασματική μέθοδος με επαλληλία των ιδιομορφικών αποκρίσεων του φέροντος οργανισμού ως γενική μέθοδος ανάλυσης έναντι σεισμού. Η παλιά ψευδοστατική μέθοδος, κατάλληλα τροποποιημένη, ονομάζεται πλέον απλοποιημένη φασματική μέθοδος και η εφαρμογή της περιορίζεται σε ορισμένες κατηγορίες κτιρίων.
- Εισάγονται στον υπολογισμό οι έννοιες της πλαστιμότητας και της απορρόφησης της σεισμικής ενέργειας, που οδηγούν –μέσω του λεγόμενου συντελεστή συμπεριφοράς της κατασκευής ( $q$  factor)– στη μείωση των σεισμικών επιταχύνσεων σχεδιασμού, με παράλληλη όμως αποδοχή τοπικών και εύκολα επισκευάσιμων βλαβών στο φέροντα οργανισμό.
- Για σεισμούς μεγαλύτερους από το σεισμό σχεδιασμού επιδιώκεται η αποφυγή κατάρρευσης μέσω δέσμης μέτρων «ικανοτικού σχεδιασμού» των δομικών στοιχείων και ιεράρχησης των αναπόφευκτων βλαβών. Ο ικανοτικός σχεδιασμός εξασφαλίζει την «επιστράτευση» όλων των υπεραντοχών που παρέχουν στο φέροντα οργανισμό οι συ-

ντελεστές ασφάλειας, καθώς και την δυνατότητα απορρόφησης ενέργειας με εξάντληση της πλαστικότητας των δομικών στοιχείων.

Ο συντάκτης του κειμένου αυτού εκτιμά ότι τα μέτρα ικανοτικού σχεδιασμού είναι ίσως η σημαντικότερη συμβολή του Ε.Α.Κ. 2000 στην αναβάθμιση της αντισεισμικής ικανότητας των κατασκευών. Απαιτείται όμως αυστηρή τήρηση εκ μέρους του μελετητή των διατάξεων μόρφωσης των διατομών και όπλισης των κρίσιμων περιοχών και αυστηρός έλεγχος εκ μέρους του επιβλέποντος μηχανικού της εφαρμογής των λεπτομερειών της μελέτης.

### **Επίμετρο**

Το ισχύον πλαίσιο ελληνικών κανονισμών για το σχεδιασμό αντισεισμικών κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα (Ε.Κ.Ο.Σ. 2000, Ε.Α.Κ. 2000) είναι από τα πλέον σύγχρονα παγκοσμίως. Το τίμημα όμως της εισαγωγής των σύγχρονων μεθόδων δυναμικής ανά-

λυσης των κατασκευών έγκειται στον περιορισμό της δυνατότητας εποπτείας και ελέγχου εκ μέρους του μελετητή μηχανικού εξαιτίας του μεγάλου όγκου των υπολογισμών.

Η δυσκολία αυτή δημιουργεί πολλές φορές ένα αίσθημα εφησυχασμού και παραίτησης που μπορεί τελικά να οδηγήσει σε απώλεια του ελέγχου. Εναπόκειται στην ευσυνειδησία του μηχανικού να ξεφύγει από αυτόν το φαύλο κύκλο, ώστε, αντίθετα, να αξιοποιήσει τις τεράστιες δυνατότητες βελτιστοποίησης του αντισεισμικού σχεδιασμού που παρέχουν οι σύγχρονες μέθοδοι ανάλυσης και οι δυνατότητες εποπτείας των σύγχρονων λογισμικών πακέτων. Είναι όμως αναμφισβήτητο ότι καμιά μέθοδος υπολογισμού και κανένα λογισμικό πακέτο δεν είναι σε θέση να υποκαταστήσει τον έμπειρο μελετητή στη σωστή σύλληψη και σύνθεση του φέροντος οργανισμού ούτε όμως και να διορθώσει έναν κακής σύλληψης φέροντα οργανισμό.

# Η καταλυτική εξέλιξη των υπολογιστικών εργαλείων του πολιτικού μηχανικού από το 1978 μέχρι σήμερα

της **Ευθυμίας Μητσοπούλου**,  
καθηγήτριας του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ.

και του **Πανίκου Παπαδόπουλου**,  
επίκουρου καθηγητή Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ.

*Τα τελευταία χρόνια έγιναν άλματα τόσο στην εξέλιξη των μέσων όσο και των μεθόδων υπολογισμού των κατασκευών, των εργαλείων δηλαδή που ο μηχανικός χρησιμοποιεί.*

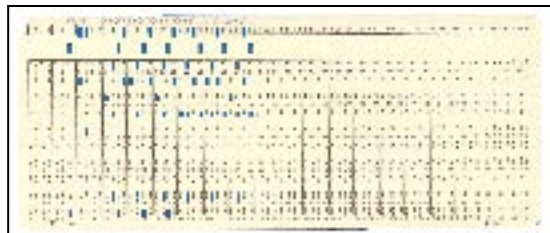
Αν πάμε 30 χρόνια πριν, το **1978**, στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Α.Π.Θ., δουλεύουμε ερευνητικά με τον κεντρικό υπολογιστή του πανεπιστημίου, που βρίσκεται στη Φυσικομαθηματική Σχολή, τον UNIVAC 1106. Χρησιμοποιούμε προγράμματα που έχουμε οι ίδιοι αναπτύξει σε γλώσσα FORTRAN και δεν διαθέτουμε στα εργαστήριά μας έτοιμα εμπορικά προγράμματα. Όσοι ανήκουμε στα εργαστήρια Στατικής ή Σκυροδέματος έχουμε την πολυτέλεια να χρησιμοποιούμε τερματικό σταθμό ο οποίος μέσω διάτρητων καρτών (η κάθε κάρτα 19cm x 8cm (εικόνα 1α) περιλαμβάνει μία εντολή ή μία σειρά δεδομένων) στέλνει τα προγράμματα και τα δεδομένα τους στον κεντρικό υπολογιστή και όταν έχουμε τύχη παίρνουμε αυθημερόν αποτελέσματα ή μηνύματα για λάθη στο θορυβώδη dot matrix (εικόνα 1β) εκτυπωτή μας σε συνεχείς λίστες μηχανογραφικού χαρτιού.

Ερευνητικά ασχολούμαστε με την επίλυση διαφόρων γραμμικών και μη γραμμικών δύσκολων προβλημάτων, όχι όμως και με προβλήματα δυναμικής και δυναμικού αντισεισμικού υπολογισμού των κατασκευών. Άλλωστε ούτε μάθημα δυναμικής των κατασκευ-

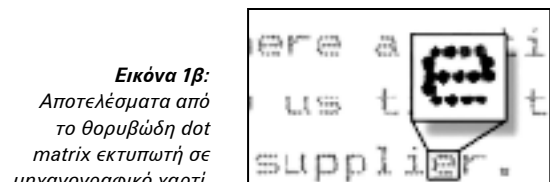
ών υπάρχει στο πρόγραμμα του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών.

Την εποχή αυτή οι πολιτικοί μηχανικοί στην μεγάλη τους πλειοψηφία υπολογίζουν τα πάντα με το χέρι με μόνη χρήση απλής αριθμομηχανής. Η ανάλυση του φέροντα οργανισμού ενός κτιρίου γίνεται για τις πλάκες με τη βοήθεια των πινάκων Markus, Czerny και στη συνέχεια με επίλυση συνεχών δοκών μέσω πινάκων ή με τη μέθοδο των τριών ροπών (Clapeyron) ή τη μέθοδο Cross. Οι ίδιες μέθοδοι εφαρμόζονται και για τις δοκούς. Σε ορισμένες περιπτώσεις γίνονται επιλύσεις πλαισιακών φορέων (συνήθως επίπεδα μονώροφα πλαίσια). Την εποχή αυτή ισχύει ακόμη ο πρώτος αντισεισμικός κανονισμός που τέθηκε σε εφαρμογή το 1959, ο οποίος –σημειωτέον– ότι για τα δεδομένα της εποχής που φτιάχτηκε ήταν από τους καλύτερους. Συνήθως γίνεται αντισεισμικός έλεγχος των κτιρίων και όχι ο πλήρης, σύμφωνα με την μέθοδο του καθηγητή Αθ. Ρουσσόπουλου, αντισεισμικός υπολογισμός. Λαμβάνεται μέριμνα τα αντισεισμικά τοιχώματα να έχουν εμβαδό σε κάτοψη το 1:500 έως 1:800 του εμβαδού των υπερκειμένων ορόφων και το κέντρο βάρους κάθε κάτοψης ξεχωριστά να βρίσκεται σχεδόν σε σύμπτωση με το κέντρο ελαστικής στροφής (ο υπολογισμός τους γίνεται απλά με το «χέρι»). Επίσης ο κανονισμός δίνει «σοφές» συστάσεις για αποφυγή φυτευτών υποστυλωμάτων, διαμόρφωση σαφών πλαισίων, όπλιση κ.τ.λ., που η εφαρμογή τους οδηγεί στην κατασκευή κτιρίων με ικανοποιητική αντισεισμική συμπεριφορά. Όταν το κρίνει απαραίτητο, ο μηχανικός εκπονεί τον αντισεισμικό υπολογισμό του κτιρίου πάντα με το «χέρι» (άλλωστε οι υπολογισμοί δεν είναι ιδιαίτερα επίπονοι).

**Μετά το σεισμό της Θεσσαλονίκης το 1978**, στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Α.Π.Θ., γίνεται ερευνητικά στροφή προς την επίλυση διαφόρων γραμμικών κυρίως αλλά και μη γραμμικών προβλημάτων δυναμικής και δυναμικού αντισεισμικού υπολογισμού των κατασκευών κυρίως σε γραμμικούς φορείς.



**Εικόνα 1α:**  
Διάτρητη κάρτα υπολογιστή UNIVAC στη δεκαετία του '70.



**Εικόνα 1β:**  
Αποτελέσματα από το θορυβώδη dot matrix εκτυπωτή σε μηχανογραφικό χαρτί.

**Από το 1980**, και πάντα στον UNIVAC 1106, επιλύουμε προβλήματα δυναμικής με έτοιμα προγράμματα δυναμικής ανάλυσης προερχόμενα από πολυτεχνεία της Αμερικής. Χρησιμοποιούμε κυρίως τα προγράμματα:

- SAPIV (**ελαστικός** στατικός και δυναμικός υπολογισμός φορέων του χώρου).
- ETABS (**ελαστικός** υπολογισμός **κτιριακών φορέων του χώρου** με υποχρεωτική διαφραγματική λειτουργία των πλακών για στατικά και δυναμικά σεισμικά φορτία).
- DRAIN2D (**ελαστοπλαστικός** υπολογισμός **επιπέδων φορέων** για δυναμικά σεισμικά φορτία).

Τα προγράμματα είναι γραμμένα σε γλώσσα FORTRAN και διαθέτουμε για όλα τον πλήρη κώδικα, γεγονός που μας δίνει τη δυνατότητα να επεμβαίνουμε και να κάνουμε αλλαγές και βελτιώσεις. Τα δεδομένα δίδονται με αυστηρό FORMAT γεγονός που απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή (έστω και ένας αριθμός μετατοπισμένος εκτός του υποχρεωτικού πεδίου γραφής του, συνεπάγεται λανθασμένα αποτελέσματα και νέο τρέξιμο του προγράμματος πάντα με τη διαδικασία που αναφέρθηκε). Τα αποτελέσματα είναι μόνο αριθμητικά (ατελείωτες σελίδες με τιμές μετακινήσεων κόμβων, φορτίων διατομής, τάσεων κ.τ.λ.). Η κατάσταση συνεχίζεται περίπου η ίδια **μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του '80**.

Την ίδια περίπου εποχή εμφανίζονται τα πρώτα γραφεία που χρησιμοποιούν μικροϋπολογιστές (Apple II, Commodore 64, AtariXL με RAM 64 kB) με προγράμματα που προσπαθούν να αξιοποιήσουν τα μέγιστα τις δυνατότητες των μικροϋπολογιστών. Τα προγράμματα κάνουν πλήρη αντισεισμικό υπολογισμό κατά Ρουσσόπουλο και έχουν τη δυνατότητα επίλυσης επιπέδων πλαισίων. Η δυνατότητα επίλυσης επιπέδου πλαισίου με 70 κόμβους και 110 στοιχεία αναφέρεται σε ενημερωτικά άρθρα σχετικών περιοδικών το 1982-1984 ως σημαντικό πλεονέκτημα του προγράμματος. Η εισαγωγή των δεδομένων όμως σε όλα τα επαγγελματικά προγράμματα γίνεται σχετικά απλά από διαδοχικές μάσκες. Παρ' όλες τις μικρές δυνατότητες των τότε υπολογιστών και αντίστοιχα των προγραμμάτων, υπάρχει κάτι που εξασφαλίζει την ποιότητα του αποτελέσματος έναντι της εποχής της έκρηξης των PC λίγα χρόνια αργότερα. Οι μηχανικοί που τα χρησιμοποιούν είναι μηχανικοί με πείρα στην εκπόνηση μελετών με το «χέρι» και έχουν τη δυνατότητα να αξιολογήσουν τα αποτελέσματα τόσο όσον αφορά τα εντατικά μεγέθη, όσο και τα αποτελέσματα της διαστασιολόγησης.

Η απαίτηση **από το έτος 1985** εφαρμογής των διατάξεων τροποποίησης και συμπλήρωσης του Αντισεισμικού Κανονισμού του 1959, που επέβαλαν τη στατική επίλυση πολυώροφων πλαισίων με τριγωνική κατανομή των οριζοντίων σεισμικών φορτίων, ήρθε συγχρόνως με την εξάπλωση των PC (Personal Computer) της IBM (εικόνα 2) και κυρίως των IBM συμβατών PC.

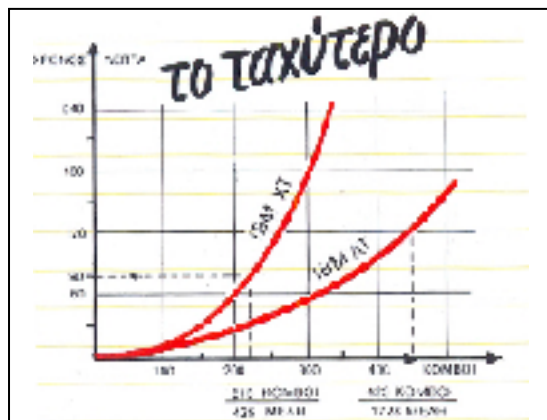


*Εικόνα 2: Από τους πρώτους PC ηλεκτρονικούς υπολογιστές της IBM.*

Οι υπολογιστές αυτοί έχουν αυξημένες, σε σχέση με τους προκατόχους τους, δυνατότητες οι οποίες όμως είναι απειροελάχιστες σε σχέση με τις σημερινές. Ενδεικτικά αναφέρουμε ορισμένα χαρακτηριστικά του PC IBM XT και την τιμή του όπως παρουσιάζονται σε ενημερωτικό δελτίο του ΤΕΕ το 1986:

*256 kB RAM, μόνιμος δίσκος 10 MB, εύκαμπτη δίσκέτα 5.25" χωρητικότητας 360 kB, μονόχρωμη οθόνη. Τιμή 475.000 δρχ.* Και για να θυμηθούμε οι παλιοί και να πάρουν μια εικόνα οι νεότεροι με 475.000 δρχ το 1986 αγόραζε κανείς γύρω στα 10 m<sup>2</sup> καλού διαμερίσματος στη Θεσσαλονίκη, δηλαδή ο υπολογιστής αυτός στοιχίζει σε σημερινές τιμές € 25.000! Και ο πολύ καλός για την εποχή του αυτός υπολογιστής σύμφωνα με το διαφημιστικό έντυπο του προγράμματος FESPA (βλέπε εικόνα 3α) χρειαζόταν μιάμιση ώρα για να λύσει ένα χωρικό πλαίσιο με 215 κόμβους και 425 στοιχεία και άγνωστο πόσες ώρες για χωρικό πλαίσιο με 423 κόμβους και 1728 στοιχεία.

Ενδεικτικά σήμερα με το πρόγραμμα SAP2000 (και παρόμοια με οποιοδήποτε πρόγραμμα) ένα σύγχρονο PC για πρόβλημα αντίστοιχο με το δεύτερο της εικόνας 3α (χωρικό πλαίσιο με 495 κόμβους και 1210 στοι-



*Εικόνα 3α: Διαφημιστικό έντυπο του προγράμματος FESPA.*



**Εικόνα 3β.**  
Αποτελέσματα  
επίλυσης φορέων  
με σύγχρονα  
προγράμματα.

```

B E G I N A N A L Y S I S 2008/03/18 21:26:15
NUMBER OF JOINTS IN THE MODEL = 495
E L E M E N T F O R M A T I O N 21:26:15
NUMBER OF FRAME ELEMENTS FORMED = 1210
L I N E A R E Q U A T I O N S O L U T I O N
FORMING STIFFNESS AT ZERO INITIAL CONDITIONS
TOTAL NUMBER OF EQUILIBRIUM EQUATIONS = 2835
APPROXIMATE "EFFECTIVE" BAND WIDTH = 196
NUMBER OF EQUATION STORAGE BLOCKS = 1
MAXIMUM BLOCK SIZE (8-BYTE TERMS) = 540108
SIZE OF STIFFNESS FILE(S) (BYTES) = 4.132 MB
TOTAL NUMBER OF CASES TO SOLVE = 3
ANALYSIS COMPLETE 2008/03/18 21:26:16

```

χεία) χρειάζεται 1", όπως φαίνεται στην εικόνα 3β που έχει ληφθεί από το αρχείο αποτελεσμάτων του προγράμματος.

Βέβαια οι IBM συμβατοί ήταν φθηνότεροι και οι τιμές τους συνεχώς μειώνονταν (με παράλληλη αύξηση των δυνατοτήτων τους).

Για να επανέλθουμε στα προγράμματα, τα περισσότερα από αυτά για να μειώσουν τον αριθμό των αγνώστων λύνουν το στατικό πάντα πρόβλημα του αντισεισμικού υπολογισμού πολυώροφων κτιρίων, χρησιμοποιώντας μεν καθαρά χωρικά συστήματα αλλά με προϋπόθεση διαφραγματικής λειτουργίας των πλακών (3 άγνωστες μετακινήσεις ανά κόμβο και 3 άγνωστες μετακινήσεις ανά όροφο, αντί για 6 μετακινήσεις ανά κόμβο).

**Στις αρχές της δεκαετίας του '90** ο αριθμός των αγνώστων μπορεί να είναι πολύ μεγάλος και η ταχύτητα επίλυσης ικανοποιητική. Μέχρι την ψήφιση το 1992 του νέου αντισεισμικού κανονισμού και τη θέσπιση της δυναμικής φασματικής μεθόδου υπολογισμού, αλλά και αργότερα, το κύριο βάρος των προγραμματιστών ρίχνεται στο να κάνουν προγράμματα φιλικότερα στο χρήστη, τόσο όσον αφορά το στάδιο της διαμόρφωσης του φορέα και της εισαγωγής των δεδομένων, όσο και το στάδιο λήψης των αποτελεσμάτων. Στόχος είναι τα προγράμματα να δέχονται τα δεδομένα των ξυλότυπων εποπτικά και με τη βοήθεια του ποντικιού και να δίνουν τα αποτελέσματα των εντατικών μεγεθών και των σπλισμών με γραφικές απεικονίσεις στην οθόνη στον εκτυπωτή και στο σχεδιογράφο. Αυτή την εποχή εξακολουθεί να κυριαρχεί το λειτουργικό σύστημα DOS που δεν ήταν ιδιαίτερα φιλικό για τους κατασκευαστές CAD προγραμμάτων.

**Στο δεύτερο μισό της δεκαετίας του '90** σχεδόν όλα τα εμπορικά πακέτα δίνουν τη δυνατότητα επίλυσης χωρικών πλαισιακών φορέων με 6 αγνώστους ανά κόμβο, δυνατότητα φασματικής δυναμικής ανάλυσης σύμφωνα με τις απαιτήσεις του νέου Ε.Α.Κ. - '92 και διαστασιολόγηση σύμφωνα με τον νέο Ε.Κ.Ο.Σ. 1991-1995. Παράλληλα αρχίζει να κυριαρχεί το λειτουργικό σύστημα WINDOWS που δίνει πολλές ευκολίες σε ποικίλες απεικονίσεις.

Αντίθετα με τα εμπορικά πακέτα της πράξης, όπου από την αρχή επεδίωξαν να προσφέρουν αποτελέ-

σματα γραφικά, τα ερευνητικά μας προγράμματα στο Α.Π.Θ. με πάρα πολλές πλέον δυνατότητες, όπως γραμμική και μη γραμμική δυναμική ανάλυση γραμμικών ή/και επιφανειακών φορέων με τη μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων και «απεριόριστο» αριθμό κόμβων, μόλις **στα τέλη της δεκαετίας του '90** αποκτούν αξιόλογες δυνατότητες γραφικών στα δεδομένα (προεπεξεργασία) και τα αποτελέσματα (μετεπεξεργασία). Οι δυνατότητες αυτές της γραφικής παράστασης των αποτελεσμάτων ειδικά για τη δυναμική ανάλυση και ακόμη περισσότερο για τη δυναμική μη γραμμική ανάλυση είναι πολύτιμη. Η παρουσίαση των ιδιομορφών του φορέα, η απεικόνιση των μεγεθών έντασης και ιδιαίτερα σε μη γραμμική σεισμική ανάλυση, οι θέσεις των πλαστικών αρθρώσεων σε γραμμικούς φορείς, η κατανομή των τάσεων σε επιφανειακούς ή τρισδιάστατους φορείς σε συνδυασμό με τον παραμορφωμένο φορέα την οποιαδήποτε χρονική στιγμή στην περίπτωση δυναμικής επίλυσης με τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα ή επιταχυνσιογραφήματα πραγματικών σεισμών, επιτρέπουν σημαντικούς ελέγχους για πιθανά λανθασμένα αποτελέσματα που μπορεί να εντοπισθεί ότι οφείλονται είτε σε εσφαλμένα δεδομένα είτε σε προβλήματα σύγκλισης της λύσης ή ακόμη και σε λάθη του προγράμματος.

**Μετά το 2000** και τους αναθεωρημένους κανονισμούς του Ε.Α.Κ. και στη συνέχεια του Ε.Κ.Ο.Σ. τα προγράμματα τροποποιούνται πάντα και πολλά περιλαμβάνουν και τον κώδικα EC3 για τις μεταλλικές κατασκευές.

**Σήμερα** με έναν υπολογιστή με βασικά χαρακτηριστικά:

- Pentium 4 στα 3,4 GHz με 2 GB RAM,

που στοιχίζει λίγο περισσότερο από 1.000 €, μπορούμε με πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων να πάρουμε αποτελέσματα, από δυναμική φασματική ανάλυση επιφανειακού φορέα διακριτοποιημένου με περίπου 10.000 στοιχεία και 10.000 κόμβους (περίπου 58.000 αγνώστους) χρησιμοποιώντας 50 ιδιομορφές, σε 4 λεπτά και 20 δευτερόλεπτα:

```

B E G I N A N A L Y S I S 2008/03/20 20:05:23
MAXIMUM MEMORY BLOCK SIZE (BYTES) = 48.000 MB
NUMBER OF JOINTS IN THE MODEL = 10201
TOTAL NUMBER OF EQUILIBRIUM EQUATIONS = 58806
APPROXIMATE "EFFECTIVE" BAND WIDTH = 597
NUMBER OF EQUATION STORAGE BLOCKS = 6
MAXIMUM BLOCK SIZE (8-BYTE TERMS) = 6291456
E I G E N M O D A L A N A L Y S I S 20:06:10
R E S P O N S E - S P E C T R U M A N A L Y S I S 20:09:40
USING MODES FROM CASE: MODAL
NUMBER OF DYNAMIC MODES TO BE USED = 50
ANALYSIS COMPLETE 2008/03/20 20:09:40

```

Είναι φανερό η τεράστια εξέλιξη των υπολογιστικών εργαλείων του πολιτικού μηχανικού. Το 1985 ένα πολύ μικρό ποσοστό μηχανικών χρησιμοποιεί για τις μελέτες του Η/Υ. Μετά το 1985 ο αριθμός των μηχανικών που χρησιμοποιεί Η/Υ αυξάνεται εκθετικά. Από το πλούσιο υλικό που μας διέθεσε ο συνάδελφος Σ. Λιβιεράτος προκύπτει ότι το **1992** το 20% των πολι-

τικών μηχανικών σε Αθήνα και Θεσσαλονίκη **δεν** χρησιμοποιεί καθόλου Η/Υ και μόλις το 8,5% των μηχανικών έχει Η/Υ στο σπίτι. Το **2000** όλοι οι πολιτικοί μηχανικοί χρησιμοποιούν Η/Υ και ήδη το 58% έχει σύνδεση στο Διαδίκτυο.

Παράλληλα βλέπουμε τα τελευταία 30 χρόνια οι κανονισμοί να αλλάζουν, αξιοποιώντας τις συνεχώς βελτιούμενες δυνατότητες υπολογιστών - προγραμμάτων. Προς το καλύτερο; Ναι ως προς την ορθότητα τους, σίγουρα όμως όχι ως προς την απλότητα και την εποπτεία τους. Τους σύγχρονους κανονισμούς μπορεί να τους εφαρμόζει μόνο το πρόγραμμα στον Η/Υ.

Αποτέλεσμα: Πολλοί καλοί μελετητές μηχανικοί της παλιάς γενιάς εγκατέλειψαν την ενεργή τους παρουσία ως μελετητές κυρίως γύρω στο 1990, δυσκολεύομενοι να προσαρμοστούν στις νέες απαιτήσεις

Για την πλειοψηφία της «νέας» γενιάς των μελετητών μηχανικών, κατά την προσωπική μας εκτίμηση (και μάλλον και την εκτίμηση των πολλών), χάθηκε ο έλεγχος, χάθηκε (ή τουλάχιστον περιορίστηκε) η στατική αίσθηση - αντίληψη. Η στατική αίσθηση – αντίληψη, ώστε κανείς να μπορεί να εμπιστεύεται πρώτα τον εαυτό του και μετά τον υπολογιστή. Αυτή η στατική αντίληψη είναι κάτι που επείγει να αποκατασταθεί, να επανέλθει. Και σε αυτό μπορεί να βοηθήσει πάλι ο υπολογιστής. Τα σύγχρονα προγράμματα που δίνουν αποτελέσματα με πλήρη εποπτεία μπορούν να διδά-

ξουν το μηχανικό. Αλλά δυστυχώς ακόμη και σήμερα πολύ μικρό ποσοστό φοιτητών διδάσκεται στο Πολυτεχνείο, στο πλαίσιο μαθημάτων επιλογής, τις μεθόδους που εφαρμόζονται στα προγράμματα και τους τρόπους σωστής μοντελοποίησης και ακόμη μικρότερο ποσοστό αποφοιτά με πραγματική εξοικείωση και σημαντικές γνώσεις εφαρμογής των σχετικών προγραμμάτων Η/Υ. Έτσι, δεν είναι πολλοί αυτοί που συνειδητοποιούν ότι ακόμη και στην περίπτωση που το πρόγραμμα που χρησιμοποιούν δεν έχει κανένα ψεγάδι, η πιθανότητα μικρού ή μεγάλου λάθους κατά την εφαρμογή του είναι πολύ μεγάλη.

Επομένως, η καλύτερη προστασία είναι η καλλιέργεια της στατικής αντίληψης. Έτσι ο μηχανικός θα είναι «παρών» στη φάση της προμελέτης και των προεπιλογών, στις γρήγορες αποφάσεις στη φάση της επίβλεψης και κυρίως στον έλεγχο των αποτελεσμάτων της οριστικής μελέτης που δίνει το πρόγραμμα βάσει σύγχρονων και σύνθετων μεθόδων υπολογισμού που όλα τους τα πλεονεκτήματα μπορεί να μηδενισθούν από κακό χειρισμό.

#### **Ευχαριστίες**

Ευχαριστούμε τους συναδέλφους Γιάννη Αβραμίδη, Σπύρο Γεωργιάδη, Θανάση Ζιώγα, Σπύρο Λιβιεράτο και Πασχάλη Πετριδη για τις πολύτιμες πληροφορίες που μας έδωσαν.

Διεθνείς τάσεις και εφαρμογή στο Δήμο Θεσσαλονίκης

# Σεισμική τρωτότητα και διακινδύνευση κτιριακών συνόλων

του **Ανδρέα Κάππου**,  
καθηγητή του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ.

*Τι επιπτώσεις θα είχε σήμερα στη Θεσσαλονίκη ένας ισχυρός σεισμός, ίσος ή και μεγαλύτερος εκείνου του 1978; Μπορούμε να εκτιμήσουμε με επαρκή αξιοπιστία τις βλάβες που προκαλεί ο σεισμός στο δομημένο περιβάλλον και με ποιόν τρόπο; Σε ερωτήματα όπως αυτά επιχειρεί να δώσει απαντήσεις το άρθρο, παρουσιάζοντας τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται σήμερα για την αποτίμηση της σεισμικής διακινδύνευσης και μια πρώτη εφαρμογή τους στο δομικό απόθεμα της Θεσσαλονίκης.*

Την εποχή που έγινε ο σεισμός της Θεσσαλονίκης (1978) οι μέθοδοι αποτίμησης της σεισμικής **τρωτότητας** των κατασκευών, δηλαδή του προσδιορισμού (με ποσοτικό τρόπο) του βαθμού βλάβης που αναμένεται να παρουσιάσει κάθε τύπος κατασκευής (η έμφαση στο παρόν άρθρο είναι στα κτίρια, αλλά παρόμοιες μεθοδολογίες εφαρμόζονται σήμερα για τις γέφυρες και για άλλους τύπους κατασκευών πολιτικού μηχανικού) σε δεδομένη σεισμική διέγερση, βρίσκονταν ακόμη στα σπάργανα. Παρόμοια ήταν η κατάσταση και στον τομέα της κατάστροφωσης των λεγόμενων **«σεισμικών σεναρίων»** δηλαδή της εκτίμησης και της παρουσίασης υπό μορφή (ψηφιακών, πλέον) χαρτών της χωρικής κατανομής των βλαβών ενός πολεοδομικού συγκροτήματος που πλήττεται από ένα συγκεκριμένο (υποθετικό ή ιστορικό) σεισμό. Στα τριάντα χρόνια που μεσολάβησαν από τότε η πρόοδος, διεθνώς, στην ανάπτυξη κατάλληλων μεθόδων ήταν σημαντική.

Είναι απαραίτητο να διευκρινιστεί εδώ ότι το πρόβλημα της σεισμικής αποτίμησης κτιριακών συνόλων, τα οποία μπορεί να αποτελούνται από πολλές χιλιάδες κτίρια, διαφέρει ουσιωδώς από το πρόβλημα του υπολογισμού της απόκρισης ενός μεμονωμένου κτιρίου σε δεδομένη σεισμική διέγερση. Το μεμονωμένο κτίριο είναι (σχετικά) εύκολο να προσομοιωθεί με τη βοήθεια σύγχρονων υπολογιστικών εργαλείων και να υπολογιστεί στη συνέχεια η απόκρισή του στο σεισμό, είτε αυτός εκφράζεται με την καθιερωμένη σήμερα μορφή του φάσματος είτε ακόμη με τη συνθετότερη μορφή του επιταχυνσιογραφήματος. Είναι μάλιστα εφικτό να ληφθεί υπόψη στην ανάλυση της απόκρισης του κτιρίου και η ανελαστική απόκριση των δομικών στοιχείων που ξεπερνούν τη διαθέσιμη αντοχή τους (κάτι που συχνά συμβαίνει και συνέβη άλλωστε και στο σεισμό του 1978). Αντίθετα, ο μεγάλος αριθμός των κτιρίων σε μια πόλη, αλλά και η

μεγάλη ποικιλία των τύπων δόμησης και των δομικών συστημάτων δεν καθιστούν απλώς δύσκολη, αλλά πρακτικώς ανέφικτη, την εφαρμογή των αναλυτικών μεθόδων (ακόμη και των απλοποιημένων ελαστικών) για όλα τα κτίρια.

## Η μέθοδος των μητρώων πιθανότητας βλάβης

Ο τρόπος, με τον οποίον ξεπερνιέται το παραπάνω πρόβλημα, είναι η ταξινόμηση των κτιρίων σε σχετικές ολιγάριθμες κατηγορίες με βάση τα κυριότερα (από αντισεισμική σκοπιά) χαρακτηριστικά τους, θεωρώντας (κατ' οικονομίαν, ασφαλώς) ότι όλα τα κτίρια μιας κατηγορίας θα παρουσιάσουν για δεδομένη σεισμική διέγερση τον ίδιο **βαθμό βλάβης** (έχουν δηλαδή την ίδια τρωτότητα έναντι σεισμού). Κατόπιν, για κάθε κατηγορία εκτιμάται είτε το λεγόμενο **μητρώο πιθανότητας βλάβης**, κάθε στήλη του οποίου αντιστοιχεί σε μια συγκεκριμένη σεισμική ένταση (εκκινώντας από το VI της κλίμακας Mercalli ή της κλίμακας MSK, οπότε και παρουσιάζονται οι πρώτες μικρές βλάβες σε κατασκευές) και δίνει την πιθανότητα εμφάνισης μιας συγκεκριμένης στάθμης βλάβης (π.χ. Μικρή, μεσαία, σοβαρή, κατάρρευση). Ο ιδανικός τρόπος για να εκτιμηθούν αυτές οι πιθανότητες είναι μέσω της στατιστικής επεξεργασίας επαρκών δεδομένων από σεισμικές βλάβες σε κτίρια της εξεταζόμενης κατηγορίας, δυστυχώς όμως τέτοια στοιχεία υπάρχουν μεν, αλλά εν γένει δεν είναι επαρκή, ακόμη και για χώρες όπως η Ελλάδα, στις οποίες οι σεισμοί είναι ιδιαίτερα συχνοί. Αξίζει να σημειωθεί ότι μια από τις πιο πλήρεις και αξιόπιστες βάσεις δεδομένων σεισμικών βλαβών στην Ευρώπη είναι εκείνη που δημιουργήθηκε από το Εργαστήριο Κατασκευών Σκυροδέματος του Α.Π.Θ. μετά το σεισμό της Θεσσαλονίκης (Penelis et al. 1989).

Η αδυναμία εύρεσης επαρκών στατιστικών στοιχείων βλαβών για έναν εύλογο αριθμό κατηγοριών

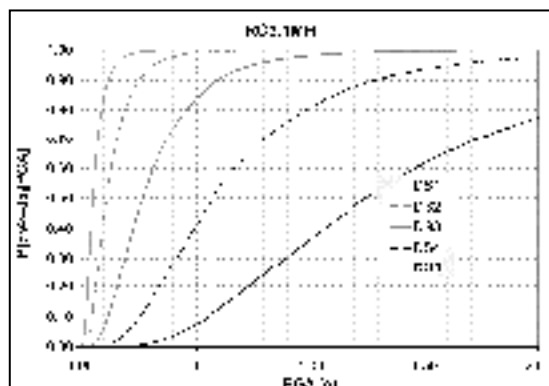
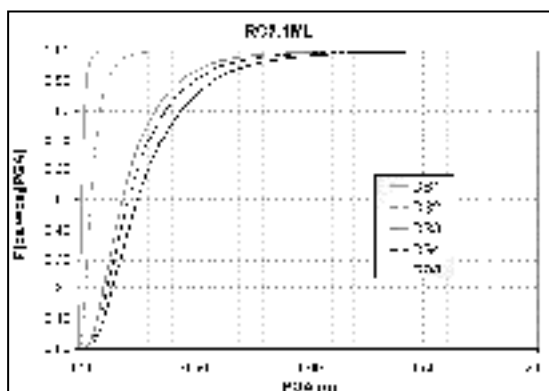
κτιρίων (ώστε να έχει και νόημα η ανάπτυξη των προαναφερθέντων σεισμικών σεναρίων) οδήγησε στην εισαγωγή και άλλων μεθόδων για την κατάστρωση των μητρώων πιθανότητας βλάβης, ανεξάρτητα ή σε συνδυασμό με τη χρήση των στατιστικών στοιχείων. Έτσι, στις μεν Η.Π.Α. χρησιμοποιήθηκε ευρύτατα η μέθοδος της **έμπειρης κρίσης** (expert judgement), ήτοι της συμπλήρωσης ερωτηματολογίων από «ειδικούς» (μηχανικούς με εμπειρία στον αντισεισμικό σχεδιασμό και τις επισκευές), οι οποίοι καλούνταν να εκτιμήσουν τη χαμηλότερη, μέση, και υψηλότερη αναμενόμενη τιμή του δείκτη βλάβης για κάθε τύπο κατασκευής (για δεδομένη ένταση). Οι στήλες του κάθε μητρώου βλάβης προέκυπταν κατόπιν από κατάλληλη στατιστική επεξεργασία των ερωτηματολογίων αυτών (ATC 1985). Η ομάδα του Εργαστηρίου Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος και Φέρουσας Τοιχοποιίας (Ε.Κ.Ο.Σ.Φ.Τ.) του Α.Π.Θ. υπήρξε πρωτόπορα διεθνώς στην ανάπτυξη μιας άλλης προσέγγισης, η οποία συνδυάζει τα (εν γένει ανεπαρκή) στατιστικά στοιχεία από προηγούμενους σεισμούς με τα αποτελέσματα εκτεταμένων ανελαστικών αναλύσεων μοντέλων κτιρίων αντιπροσωπευτικών κάθε κατηγορίας. Αυτή είναι η λεγόμενη **“υβριδική”** μέθοδος αποτίμησης της τρωτότητας (Karros et al. 1998, 2002, 2006), δεδομένου ότι συνδυάζει την εμπειρική προσέγγιση (στατιστική επεξεργασία στοιχείων βλαβών) με την αναλυτική.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η πρώτη μελέτη **σεισμικής διακινδύνευσης** στον ελληνικό χώρο, στην οποία χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των μητρώων βλάβης, ήταν εκείνη που έγινε από το Α.Π.Θ. (Karros et al. 2002) για την πόλη του Βόλου. Εξάλλου, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η συστηματική σύγκριση των ελληνικών μητρώων βλάβης του Α.Π.Θ. με τα αντίστοιχα ιταλικά, που εφαρμόστηκαν ταυτόχρονα για την αποτίμηση της τρωτότητας μιας ιταλικής πόλης (Dolce et al. 2006), μια σύγκριση που δεν έχει ξαναπαρουσιαστεί στη διεθνή βιβλιογραφία και ανέδειξε ενδιαφέρουσες ομοιότητες αλλά και διαφορές.

### Η μέθοδος των καμπυλών τρωτότητας

Μια εναλλακτική προσέγγιση στο πρόβλημα της σεισμικής αποτίμησης κτιριακών συνόλων, η οποία επίσης στηρίζεται στην παραδοχή ότι το δομικό απόθεμα μπορεί να ταξινομηθεί σε έναν περιορισμένο αριθμό κατηγοριών (τυπολογιών), αλλά παρουσιάζει μια σειρά θεωρητικών και πρακτικών πλεονεκτημάτων σε σχέση με εκείνη των μητρώων πιθανότητας βλάβης, είναι η μέθοδος των **καμπυλών τρωτότητας** (vulnerability curves, fragility curves). Μια καμπύλη τρωτότητας (σχήμα 1) δίνει την πιθανότητα εμφάνισης μια συγκεκριμένης στάθμης βλάβης [στο σχήμα αναφέρονται οι στάθμες DS1 (ελαφρές) ως DS5 (πολύ βαριές - κατάρρευση)], για δεδομένη σεισμική ένταση, η οποία μπορεί να εκφραστεί είτε σε όρους μακροσεισμικής έντασης (MSK κ.τ.λ.), είτε εδαφικής επιτάχυνσης (PGA, όπως στο σχήμα) είτε και φασματικών τιμών.

Οι καμπύλες τρωτότητας μπορεί να προκύψουν με τρόπο ανάλογο με εκείνον που χρησιμοποιείται για τα μητρώα βλάβης, αλλά η σύγχρονη τάση είναι να γίνεται μια παραδοχή (βασισμένη με τον προηγούμενα στατιστικά στοιχεία) σχετικά με τον τύπο της στατιστικής κατανομής (η συνηθέστερη είναι ότι η κατανομή είναι λογαριθμοκανονική) και οι μέσες τιμές για κάθε στάθμη βλάβης (τα σημεία που αντιστοιχούν σε  $P=0.50$  στο σχήμα) να υπολογίζονται από τις καμπύλες εξέλιξης του βαθμού βλάβης συναρτήσει της έντασης. Οι τελευταίες είναι σήμερα ευχερές να εκτιμηθούν με αναλυτικό τρόπο, όπως π.χ. γίνεται στην γνωστή αμερικανική μεθοδολογία HAZUS (FEMA-NIBS 2003), αλλά η αμιγώς αναλυτική προσέγγιση εμπεριέχει πάντα σοβαρό κίνδυνο σφαλμάτων, όταν δεν συγκρίνεται με αντίστοιχα στατιστικά δεδομένα. Έτσι, και για τις καμπύλες τρωτότητας η ομάδα του Ε.Κ.Ο.Σ.Φ.Τ. του Α.Π.Θ. (Karros et al. 2006, 2007, 2008) ανέπτυξε και εφάρμοσε για όλους τους συνήθεις (στην Ελλάδα και τη Νότια Ευρώπη) τύπους κτιρίων από οπλισμένο σκυροδέμα (Ο/Σ) και από φέρουσα τοιχοποιία την υβριδική προσέγγιση, με δύο επιμέρους εκδοχές, μία που βασίζεται στην ανελαστική ανάλυση της χρονοϊστορίας (για μεγάλη σειρά ελληνικών επιταχυνσιογραφημάτων) και η οποία εφαρμόστηκε για τα κτίρια από Ο/Σ, και μία που βασίζει-



**Σχήμα 1:**  
Καμπύλες τρωτότητας  
(συναρτήσει της  
επιτάχυνσης, PGA)  
για τοιχοπληρωμένα  
κτίρια από Ο/Σ, μέσω  
ύψους, σχεδιασμένα  
με τον κανονισμό του  
'59 (άνω) και τον Ε.Α.Κ.  
(κάτω).

ται στην ανελαστική στατική ανάλυση και προτιμήθηκε στην περίπτωση των κτιρίων από τοιχοποιία. Και στις δύο περιπτώσεις οι αμιγώς αναλυτικές καμπύλες εξέλιξης του βαθμού βλάβης διορθώνονταν με βάση τα διαθέσιμα (για κάθε τύπο κτιρίου) στοιχεία βλάβης από παλαιότερους σεισμούς, μάλιστα στην πιο πρόσφατη σχετική εργασία (Karros-Panagoroulos 2008) εισάγεται μια διαδικασία στάθμισης αναλυτικών και στατιστικών στοιχείων με βάση την σχετική αξιοπιστία της κάθε κατηγορίας. Οι υβριδικές καμπύλες τρωτότητας (Karros et al. 2006) χρησιμοποιήθηκαν και στο πλαίσιο της ανάπτυξης του σεναρίου διακινδύνευσης για τη Θεσσαλονίκη (Karros et al. 2007) που παρουσιάζεται στη συνέχεια.

### Σενάριο σεισμικής διακινδύνευσης για τη Θεσσαλονίκη

Εφόσον διατίθεται ήδη μια κατάλληλη μεθοδολογία αποτίμησης της τρωτότητας (όπως αυτές που περιγράφηκαν προηγουμένως), το πιο επίπονο τμήμα μιας μελέτης σεισμικής διακινδύνευσης καθίσταται η καταγραφή του κτιριακού αποθέματος της εξεταζόμενης περιοχής. Ο γενικός κανόνας (με ελάχιστες εξαιρέσεις, που αφορούν κυρίως μικρές πόλεις) είναι ότι η επιτόπου καταγραφή είναι δειγματοληπτικού χαρακτήρα (από 1:10 ως 1:2 των οικοδομικών τετραγώνων), ενώ αξιοποιούνται και τα εν γένει διαθέσιμα, αλλά κατά κανόνα όχι επαρκή ή αξιόπιστα, στοιχεία από παλαιότερες εθνικές απογραφές. Στην περίπτωση της Θεσσαλονίκης συνδυάστηκε μια σειρά από διαφορετικές πηγές δεδομένων: Η προαναφερθείσα βάση με στοιχεία του σεισμού του 1978, τα αφορώντα τα κτίρια στοιχεία από την απογραφή του 1991 (τα αντίστοιχα από την απογραφή του 2001 δεν ήταν διαθέσιμα το 2004 που έγινε η μελέτη), και μια περιορισμένη επιτόπου καταγραφή (περίπου του 10% των

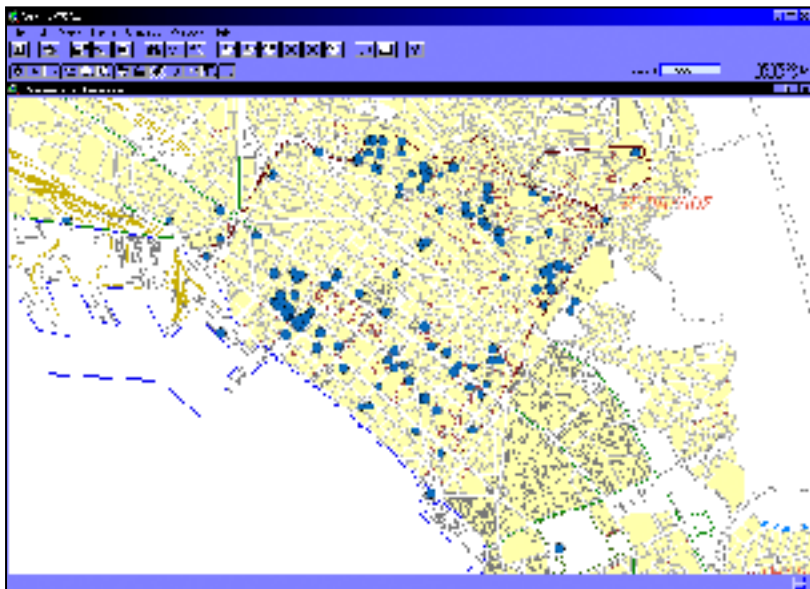
τετραγώνων της αρχικής βάσης), με την οποία επικαιροποιήθηκαν τα στοιχεία της δεκαετίας του '80. Παράλληλα με την καταγραφή του κτιριακού αποθέματος δημιουργήθηκε και μια βάση δεδομένων (σε περιβάλλον GIS, βλ. σχήμα 2) με όλα τα μνημεία της Θεσσαλονίκης (Κάππος και συν. 2006), ρωμαϊκά, βυζαντινά, και νεότερα.

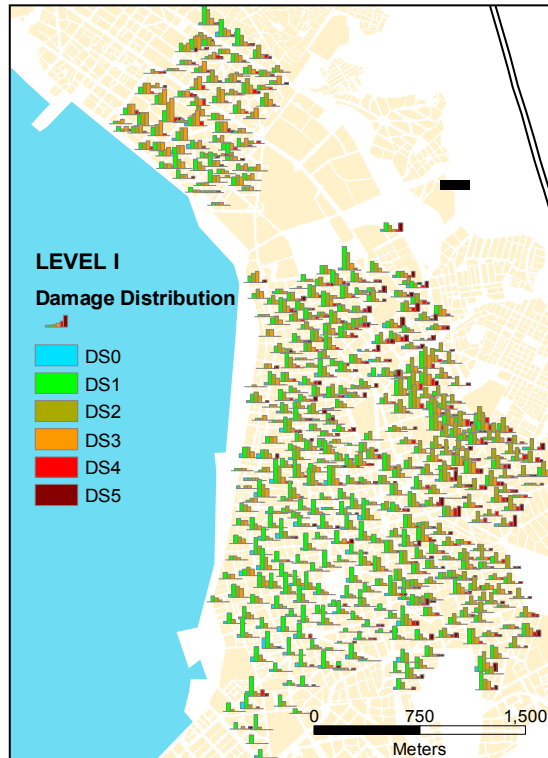
Για την εκτίμηση της διακινδύνευσης (αναμενόμενων απωλειών για δεδομένο σεισμικό σενάριο) στην εξετασθείσα περιοχή (Δήμος Θεσσαλονίκης) χρησιμοποιήθηκαν οι καμπύλες τρωτότητας που είχαν προκύψει με την υβριδική μέθοδο. Αυτές καλύπτουν τα συνήθη κτίρια από Ο/Σ και τοιχοποιία, ενώ για τα μνημεία χρησιμοποιήθηκε (ελλείψει αντίστοιχης ελληνικής) η ιταλική μέθοδος του Lagomarsino (2006) που στηρίζεται σε "βαθμολόγηση" των επιμέρους χαρακτηριστικών ενός μνημείου, τα οποία επηρεάζουν τη σεισμική τρωτότητά του.

Το σενάριο απωλειών καταστρώθηκε για αντίστοιχο **σεισμικό σενάριο** που προέκυψε από δουλειά της ομάδας του Γεωτεχνικού Τομέα του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Α.Π.Θ. (Pitilakis et al. 2004) στο πλαίσιο του ευρωπαϊκού προγράμματος RISK-UE (<http://www.risk-ue.net/update/>). Πρέπει να τονιστεί ότι, αν και το σενάριο αφορά σεισμική δράση με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 έτη, δηλ. αντίστοιχη εκείνης του Ε.Α.Κ., οι εδαφικές επιταχύνσεις που προέκυψαν για ορισμένες τουλάχιστον ζώνες της πόλης είναι πολύ υψηλές (λόγω, κυρίως, εδαφικής ενίσχυσης), φθάνοντας και σε τιμές κοντά στο 0.5g, άρα πρόκειται για έναν (ιδεατό) σεισμό σημαντικά ισχυρότερο εκείνου του 1978. Τα επιλεγμένα (για οικονομία χώρου) αποτελέσματα που παρουσιάζονται στα σχήματα 3 ως 5 πρέπει να ειδωθούν υπό το πρίσμα των προηγούμενων παρατηρήσεων για την ένταση του σεισμικού σεναρίου.

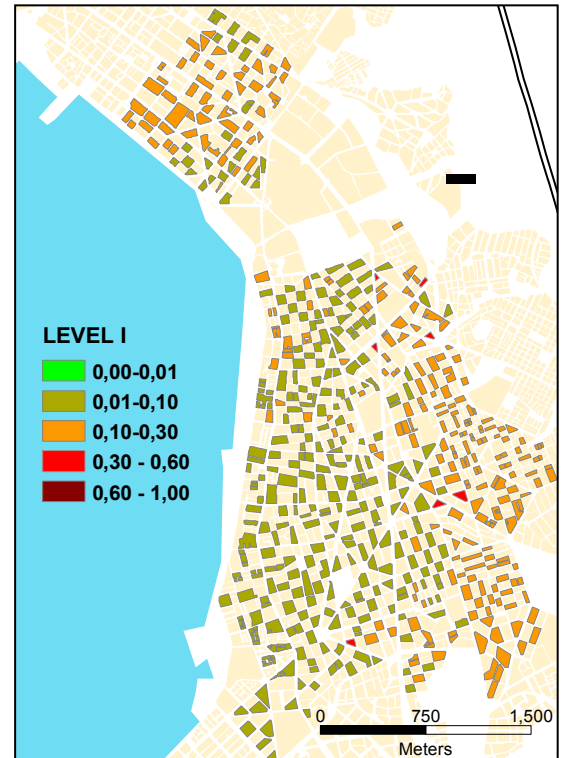
Στο σχήμα 3 φαίνεται η κατανομή του βαθμού βλάβης (στάθμες DS1 ως DS5, βλ. και σχήμα 1) ανά οικοδομικό τετράγωνο για το σεισμικό σενάριο που θεωρήθηκε, βάσει του αριθμού κτιρίων σε κάθε τετράγωνο. Σ' αυτόν τον τύπο σεναρίου, ψηλά και χαμηλά κτίρια έχουν την ίδια βαρύτητα, όπως και κτίρια από σκυρόδεμα και εκείνα από τοιχοποιία. Πιο αντιπροσωπευτικό του συνολικού δομικού αποθέματος μπορεί να θεωρηθεί το σενάριο του σχήματος 4, όπου δίνεται η κατανομή του δείκτη απωλειών (δηλ. του λόγου κόστους αποκατάστασης προς κόστος ανακατασκευής) βάσει του *όγκου* των κτιρίων σε κάθε οικοδομικό τετράγωνο. Αν στο κόστος ανακατασκευής δοθεί μια συγκεκριμένη τιμή (στη μελέτη του 2004 είχε ληφθεί €700/m<sup>2</sup>), μπορεί να προκύψει το πολύ ενδιαφέρον σενάριο του σχήματος 5, όπου αποτιμάται σε χρηματικούς όρους το κόστος του συγκεκριμένου (ιδεατού) σεισμού. Είναι φανερό ότι αναλυτικά εργαλεία, όπως αυτά, μπορούν να αποτελέσουν πολύτιμο βοήθημα σε μια σειρά από πρακτικές ανάγκες, όπως η σεισμική ασφάλιση (καθορισμός εύλογου ασφαλιστρου για κάθε περιοχή).

**Σχήμα 2:**  
Τμήμα του χάρτη GIS της Θεσσαλονίκης όπου φαίνονται οι θέσεις των μνημείων που περιλαμβάνονται στη βάση δεδομένων.

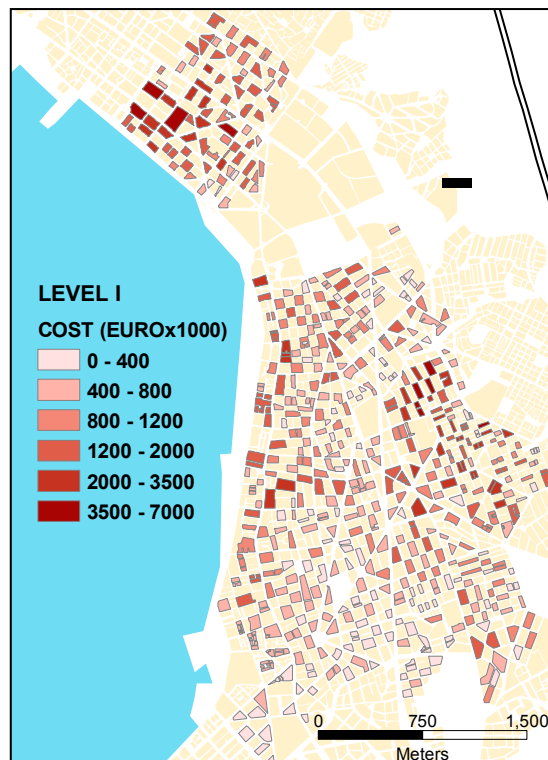




**Σχήμα 3:** Κατανομή (βάσει αριθμού κτιρίων) του βαθμού βλάβης ανά οικοδομικό τετράγωνο για το σεισμικό σενάριο που θεωρήθηκε.



**Σχήμα 4:** Κατανομή (βάσει όγκου κτιρίων) του δείκτη απωλειών ανά οικοδομικό τετράγωνο.



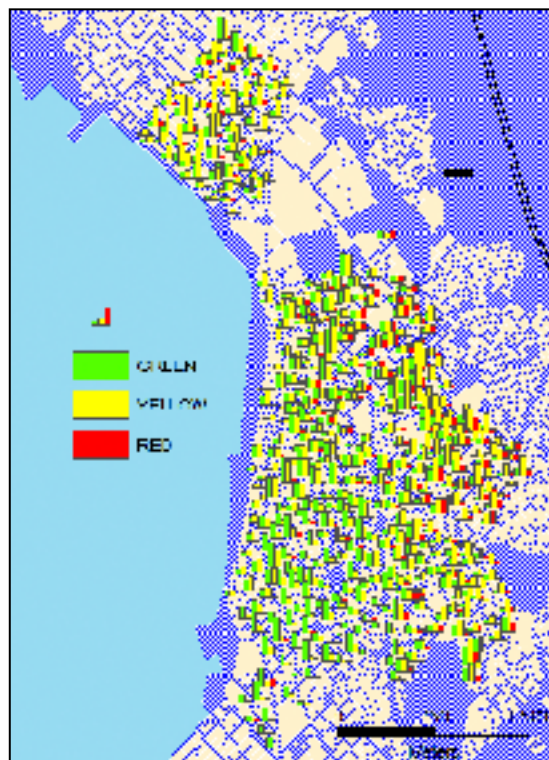
**Σχήμα 5:** Κατανομή του κόστους αποκατάστασης (σε  $10^3$ €) ανά οικοδομικό τετράγωνο.

Μια άλλη πολύτιμη για τη διαχείριση του σεισμικού κινδύνου πληροφορία είναι ο αριθμός των κτιρίων που αναμένεται να χαρακτηρισθούν ως πράσινα, κίτρινα και κόκκινα μετά τον (προβλεπόμενο) σεισμό. Στο σχήμα 6 δίνεται αυτή η κατανομή ανά οικοδομικό τετράγωνο, θεωρώντας (αδρομερώς) ότι η στάθμη DS1 και η μηδενική συναποτελούν τα πράσινα, οι στάθμες DS 2 και 3 τα κίτρινα και οι DS 4 και 5 τα κόκκινα. Στη δημοσίευση των Κάππου και συνεργατών (2006) δίνονται και σχολιάζονται αντίστοιχα αποτελέσματα για τις βλάβες στα μνημεία της Θεσσαλονίκης, ενώ γίνονται και συγκρίσεις με αντίστοιχα σενάρια που αναπτύχθηκαν στο πλαίσιο του προγράμματος RISK-UE για άλλες ευρωπαϊκές πόλεις. Εξάλλου, στην σχετική τελική έκθεση (Pitilakis et al. 2004) γίνεται προσπάθεια εκτίμησης και άλλων χρήσιμων παραμέτρων, όπως οι αναμενόμενες ανθρώπινες απώλειες, το κλείσιμο των δρόμων από την κατάρρευση κτιρίων κ.τ.λ. Ασφαλώς, τέτοιες εκτιμήσεις είναι καταρχήν πολύ χρήσιμες, αλλά υπόκεινται σε ακόμη μεγαλύτερες αβεβαιότητες απ' ό,τι οι εκτιμήσεις του βαθμού βλάβης των κτιρίων, συναρτήσει του οποίου άλλωστε εκφράζονται.

### Τελικές παρατηρήσεις

Στα 30 χρόνια που κύλισαν από τη μέρα του σεισμού της Βόλβης, οι εξελίξεις στον τομέα των μεθόδων αποτίμησης της σεισμικής τρωτότητας και των σεισμικών βλαβών και απωλειών σε πολεοδομικά συ-





**Σχήμα 6:**  
Κατανομή πράσινων  
- κίτρινων - κόκκινων  
ανά οικοδομικό  
τετράγωνο.

γκροτήματα (ένα πρόβλημα πολύ διαφορετικής κλίμακας από την αποτίμηση ενός μεμονωμένου κτιρίου) ήταν καταλυτικές. Νέες μεθοδολογίες αναπτύχθηκαν διεθνώς, οι οποίες χρησιμοποιούν ή (ακόμη καλύτερα) συνδυάζουν εργαλεία από διάφορους τομείς του μηχανικού (ανελαστικές μέθοδοι ανάλυσης, συστηματική στατιστική επεξεργασία στοιχείων από ιστορικούς σεισμούς, έμπειρη κρίση, απεικόνιση σε ψηφιακούς χάρτες σε περιβάλλον GIS και σύνδεση με αντίστοιχες ηλεκτρονικές βάσεις δεδομένων).

Στην προσπάθεια αυτή η ελληνική συμβολή είναι ουσιώδης και από τις σημαντικότερες διεθνώς και το μεγαλύτερο μέρος της προέρχεται αναμφίβολα από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Α.Π.Θ., τόσο από τον Γεωτεχνικό Τομέα του (σε ό,τι αφορά στα σεισμικά σενάρια και στο ρόλο των εδαφικών συνθηκών) όσο και από το Δομοστατικό (σε ό,τι αφορά στην αποτίμηση της τρωτότητας κτιρίων από σκυρόδεμα ή τοιχοποιία και των αντίστοιχων σεισμικών απωλειών σε δομικούς ή και οικονομικούς όρους).

Στο παρόν σύντομο άρθρο δόθηκαν κάποια βασικά στοιχεία και παρουσιάστηκαν επιλεγμένα αποτελέσματα για τη Θεσσαλονίκη, υποθέτοντας ότι αυτή υπόκειται σε ένα σεισμό ισχυρότερο από εκείνον του 1978. Τα σχετικά σενάρια βλάβης και απωλειών είναι πολύτιμα για μια σειρά από σκοπούς, όπως η διαχείριση του σεισμικού κινδύνου ή η σεισμική αφάλιση, αλλά με κανέναν τρόπο δεν θα πρέπει να θεωρηθούν ως οριστικά. Πολλά απομένουν ακόμη να γίνουν και οι προαναφερθείσες ομάδες εξακολουθούν να εργά-

ζονται συστηματικά προς την κατεύθυνση εξέλιξης και βελτίωσης των υφιστάμενων μεθόδων, αντλώντας από τη διεθνή εμπειρία αλλά και εμπλουτίζοντάς την με τις δικές τους πρωτότυπες συμβολές.

### Βιβλιογραφικές παραπομπές

ATC [Applied Technology Council] (1985) Earthquake damage evaluation data for California (ATC-13). Appl. Technology Council, Redwood City, Calif.

Dolce, M., Kappos, A., Masi, A., Penelis, Gr. & Vona, M. (2006) Vulnerability assessment and earthquake damage scenarios of the building stock of Potenza (Southern Italy) using Italian and Greek methodologies. *Engineering Structures* **28** (3): 357-371.

FEMA-NIBS (2003) Multi-hazard Loss Estimation Methodology - Earthquake Model: HAZUS®/MH Technical Manual. Washington DC.

Kappos, A. J., Panagopoulos, G., Panagiotopoulos, Ch. and Penelis, Gr. (2006) A hybrid method for the vulnerability assessment of R/C and URM buildings. *Bull. of Earthquake Engineering*, **4** (4), 391-413.

Kappos, A.J. and Panagopoulos, G. (2008) Fragility curves for R/C buildings in Greece, *Structure & Infrastructure Engineering*, in press.

Κάππος, Α., Παναγόπουλος, Γ., Παπανικολάου, Β., Πενέλης, Γρ., (2006) «Εκτίμηση τρωτότητας για τα μνημεία της Θεσσαλονίκης και κατάσταση σχετικής γεωπληροφορικής βάσης δεδομένων», *1ο Συνέδριο Αναστηλώσεων*, Εργ. αριθ. 39, ΕΤΕΠΑΜ, Θεσσαλονίκη.

Kappos AJ, Panagopoulos, G., and Penelis, Gr. (2007) Development of a seismic damage and loss scenario for contemporary and historical buildings in Thessaloniki, Greece. *Soil Dyn Earthq. Eng.* doi:10.1016/j.soildyn.2007.10.017.

Kappos, A., Ptilakis, K., Morfidis, K. and Hatzinikolaou, N. (2002) Vulnerability and risk study of Volos (Greece) metropolitan area. *12th European Conference on Earthquake Engineering* (London), CD ROM Proceedings (Balkema), Paper 074.

Kappos, A.J., Stylianidis, K.C., and Ptilakis, K. (1998) "Development of seismic risk scenarios based on a hybrid method of vulnerability assessment", *Natural Hazards*, **17** (2), 177-192.

Lagomarsino, S. (2006) On the vulnerability assessment of monumental buildings, *Bull. of Earthquake Engineering*, **4** (4), 445-463.

Penelis, G.G., Sarigiannis, D., Stavrakakis, E. and Stylianidis, K.C. (1989) A statistical evaluation of damage to buildings in the Thessaloniki, Greece, earthquake of June, 20, 1978", *Proceedings of 9th World Conf. on Earthq. Engng.*, (Tokyo-Kyoto, Japan, Aug. 1988), Tokyo:Maruzen, VII:187-192.

Ptilakis, K., et al. (2004) An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different European towns: Synthesis of the application to Thessaloniki city, RISK-UE Report.

## Στόχοι, διαδικασίες, μέθοδοι ελέγχου κατασκευών

# Προσεισμικός και μετασεισμικός έλεγχος κατασκευών

του **Ιωάννη Αβραμίδη,**

καθηγητή του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ.

*Στόχος του παρόντος άρθρου είναι να παρουσιάσει με περιληπτικό τρόπο και να κάνει κατανοητό χωρίς χρήση ιδιαίτερα εξειδικευμένης ορολογίας το πρόβλημα του ελέγχου της αντισεισμικής ασφάλειας υφιστάμενων κτιριακών κατασκευών, όπως αυτό τίθεται πριν ή μετά από μία έντονη σεισμική τους επιπόνηση. Προς τούτο γίνονται σύντομες αναφορές στη σκοπιμότητα και στους γενικούς στόχους των προσεισμικών και μετασεισμικών ελέγχων, στο ισχύον στη χώρα μας θεσμικό πλαίσιο και στις εφαρμοζόμενες σήμερα μεθόδους αποτίμησης της σεισμικής τρωτότητας υφιστάμενων κτιρίων. Πέραν των ενημερωτικών αναφορών διατυπώνονται σημειακά και ορισμένες προσωπικές εκτιμήσεις.*

### Πρόλογος

Μία συστηματική παρουσίαση του εν επικεφαλίδι θέματος και των συναφών προβλημάτων θα απαιτούσε εκατοντάδες σελίδων, δεδομένου ότι η σημερινή αντισεισμική τεχνογνωσία είναι ιδιαίτερα πλούσια και η υπό εξέλιξη σχετική έρευνα ιδιαίτερα εκτεταμένη. Περιοριζόμαστε συνεπώς στο άρθρο αυτό σε ορισμένα κατά τη γνώμη μου σημαντικά σημεία που αφορούν κατά κύριο λόγο (αλλά όχι αποκλειστικά) κτιριακές κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα (που αποτελούν τη συντριπτική πλειοψηφία των κατασκευών στην Ελλάδα), χωρίς απαίτηση πληρότητας και με γνώμονα την κατά το δυνατόν κατανόησή τους και από μη μηχανικούς. Άλλα μεγάλα αντικείμενα προσεισμικού αλλά και μετασεισμικού ελέγχου, όπως είναι τα μνημεία και οι γέφυρες, καθώς και κτίρια από άλλα υλικά (π.χ. τοιχοποιία), δεν θίγονται εδώ ελλείψει χώρου. Σε αμέσως συγγενή θέματα αναφέρονται πάντως και τα άρθρα των συναδέλφων Α. Κάππου, Κ. Στυλιανίδη και Χρ. Ιγνατάκη που περιέχονται στο παρόν τεύχος.

### Εισαγωγή - βασικές έννοιες

Αν και στο κείμενο γίνεται προσπάθεια αποφυγής εξειδικευμένης τεχνικής ορολογίας, είναι απαραίτητη η χρησιμοποίηση ορισμένων βασικών εννοιών και όρων, όπως οι παρατιθέμενοι παρακάτω, με τους οποίους δεν είναι ίσως εξοικειωμένοι όλοι οι ενδιαφερόμενοι αναγνώστες. Η σύντομη επεξήγησή τους θα κάνει ευχερέστερη την κατανόηση των όσων ακολουθούν.

**Σεισμική επιπόνηση μιας κατασκευής:** Η «φόρτιση» και η «καταπόνηση» που δέχεται μια κατασκευή, όταν υπόκειται στη σεισμική δόνηση που δημιουργεί στη βάση της ένας κοντινός ή μακρινός, μεγάλος (ισχυρός) ή μικρός (ασθενής) σεισμός. Η σεισμική επιπόνηση μιας κατασκευής μπορεί να είναι λιγότερο ή περισσότερο έντονη. Η ένταση της σεισμικής επιπόνησης αποτελεί βασικό παράγοντα τόσο για τη μελέτη μιας νέας (υπό σχεδιασμό) κατασκευής, όσο και για τη συμπεριφορά μιας υφιστάμενης κατασκευής που δέχεται σεισμό.

**Αντισεισμική επίδοση (επιτελεστικότητα) μιας κατασκευής:** Η διαθέσιμη ικανότητα της κατασκευής να αντεπεξέλθει σε μία σεισμική επιπόνηση (i) μεγάλης ή (ii) πολύ μεγάλης αναμενόμενης έντασης είτε (α) χωρίς καθόλου βλάβες είτε (β) με επιδιορθώσιμες βλάβες είτε (γ) με σημαντικές και μη επιδιορθώσιμες βλάβες αλλά χωρίς να καταρρεύσει. Ο σεισμός (i) μεγάλης έντασης εκφράζει για συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή τη μέγιστη αναμενόμενη σεισμική ένταση (συνήθως με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια) και είναι ο «σεισμός σχεδιασμού» που κατά κανό-

*Εναλλακτικοί στόχοι αντισεισμικής συμπεριφοράς (επίδοσης) ενός κτιρίου για την καθορισθείσα σεισμική δράση: Το κτίριο (α) παραμένει χωρίς καθόλου βλάβες ή (β) εμφανίζει επιδιορθώσιμες βλάβες ή (γ) εμφανίζει μεγάλες μη επιδιορθώσιμες βλάβες, αλλά χωρίς να καταρρεύσει.*



να χρησιμοποιείται στη μελέτη συνήθων κατασκευών («σεισμός βασικής ασφάλειας»). Ο σεισμός (ii) πολύ μεγάλης έντασης είναι ένας σπανιότερος σεισμός, που χρησιμοποιείται ως σεισμός σχεδιασμού όταν πρόκειται για κατασκευές μεγάλης σπουδαιότητας ή ιδιαίτερης ευαισθησίας (όπως π.χ. κτίρια τηλεπικοινωνίας και άλλων επιτελικών υπηρεσιών, πυροσβεστικοί σταθμοί, νοσοκομεία, σχολεία, κ.τ.λ.).

**Στόχος αντισεισμικής επίδοσης:** Ο επιθυμητός από τον ιδιοκτήτη (δηλ. τον κύριο του έργου) τρόπος συμπεριφοράς (α), (β) ή (γ) της κατασκευής σε περίπτωση ισχυρού σεισμού (i) ή (ii). Ο στόχος αντισεισμικής επίδοσης αποτελεί το επίπεδο αναφοράς, με το οποίο συγκρίνονται τα αποτελέσματα του προσεισμικού και του μετασεισμικού ελέγχου μιας κατασκευής. Ο καθορισμός του αποτελεί επίσης προϋπόθεση για το σχεδιασμό νέων κτιρίων.

**Σεισμική τρωτότητα μιας κατασκευής:** Η «προδιάθεση» μιας κατασκευής να υφίσταται βλάβες, όταν επιβουνοείται σεισμικά. Όσο χαμηλότερη είναι η αντισεισμική επίδοση μιας κατασκευής, τόσο πιο εύρωπη είναι αυτή έναντι της εκάστοτε θεωρούμενης σεισμικής επιπόνησης.

**Αποτίμηση της σεισμικής τρωτότητας ή της αντισεισμικής επίδοσης μιας υφιστάμενης κατασκευής:** Ο με διάφορες μεθόδους προσδιορισμός της φέρουσας ικανότητας [(α), (β) ή (γ)] της κατασκευής σε μία μελλοντική σεισμική επιπόνηση δεδομένης έντασης [(i) ή (ii)].

**Μετασεισμικός έλεγχος μιας κατασκευής:** Με τον έλεγχο αυτόν γίνεται αποτίμηση της *απομένουσας*

*φέρουσας ικανότητας* μιας κατασκευής που δέχθηκε ισχυρή σεισμική επιπόνηση και παρουσιάζει μικρότερες ή μεγαλύτερες βλάβες. Η απομένουσα φέρουσα ικανότητα αφορά αφενός στη δυνατότητα της βλαφθείσας κατασκευής να φέρει τα συγκεκριμένα μη-σεισμικά φορτία της (ίδιο βάρος και ωφέλιμα φορτία) και αφετέρου στην τρωτότητά της έναντι μιας μελλοντικής σεισμικής επιπόνησης δεδομένης έντασης. Η απομένουσα φέρουσα ικανότητα αναφέρεται στο επιθυμητό επίπεδο (δηλ. στο στόχο) αντισεισμικής επίδοσης που καθορίζεται από τον ιδιοκτήτη σε διαβούλευση με το μελετητή.

**Προσεισμικός έλεγχος μιας κατασκευής:** Με τον έλεγχο αυτόν γίνεται αποτίμηση της *διαθέσιμης φέρουσας ικανότητας* μιας υφιστάμενης (νεότερης ή παλαιότερης) κατασκευής ως αυτή έχει σήμερα (με τυχόν αδυναμίες ή φθορές, αλλά χωρίς βλάβες από πρόσφατο σεισμό). Η διαθέσιμη φέρουσα ικανότητα μπορεί να εκφράζει τόσο τη δυνατότητα της κατασκευής να φέρει πρόσθετα μη-σεισμικά φορτία (π.χ. λόγω αλλαγής χρήσης), όσο και την αντισεισμική επίδοσή της έναντι μιας μελλοντικής σεισμικής επιπόνησης δεδομένης έντασης. Η διαθέσιμη φέρουσα ικανότητα αναφέρεται στο επιθυμητό επίπεδο (δηλ. στο στόχο) αντισεισμικής επίδοσης που καθορίζεται από τον ιδιοκτήτη σε συνεργασία με το μελετητή.

## Η σκοπιμότητα του μετασεισμικού ελέγχου

Η σκοπιμότητα του μετασεισμικού ελέγχου μιας κατασκευής που υπέστη μικρότερες ή μεγαλύτερες βλάβες από έναν πρόσφατο σεισμό είναι προφανής. Ο έλεγχος είναι εν προκειμένω το πρώτο αναγκαίο και επείγοντος χαρακτήρα βήμα μιας σειράς πιθανών ενεργειών που πρέπει να ακολουθήσουν, όπως π.χ.:

- (α) η δόκιμη *αποκατάσταση* της προϋπάρχουσας φέρουσας ικανότητας της κατασκευής με κατάλληλη επιδιόρθωση (επισκευή) των βλαβών ή
- (β) η *ενίσχυση* της προϋπάρχουσας φέρουσας ικανότητας της κατασκευής και η βελτίωση (εφόσον βέβαια αυτό είναι επιθυμητό από τους ιδιοκτήτες και στο μέτρο που αυτοί επιθυμούν) της μελλοντικής αντισεισμικής της επίδοσης ή ακόμη και
- (γ) η *κατεδάφιση* της βλαφθείσας κατασκευής, αν ο έλεγχος δείξει ότι η επιδιόρθωση / ενίσχυση δεν είναι τεχνικά δυνατή ή οικονομικά συμφέρουσα.

## Η σκοπιμότητα του προσεισμικού ελέγχου

Διαφορετικό είναι το κίνητρο που οδηγεί στον προσεισμικό έλεγχο μιας μεμονωμένης κατασκευής ή ενός κτιριακού συνόλου. Η σκοπιμότητά του μπορεί να προέρχεται από έναν ή περισσότερους λόγους, όπως π.χ.:

- (α) η διαπίστωση φθορών της κατασκευής και γενικότερα βλαβών μη σεισμικού χαρακτήρα, οι οποίες δημιουργούν ανησυχίες και αίσθημα ανασφάλειας στους χρήστες (π.χ. τραυματισμοί υποστυλωμάτων από προσκρούσεις, αποφλοιώσεις δομικών



Απόσπαση επικάλυψης και οξείδωση οπλισμού υποστυλώματος. Είναι φανερή η απουσία συνδετήρων! → Προσεισμικός έλεγχος. [Αρχείο Θ. Σπηλιόπουλου].

στοιχείων λόγω υγρασίας και οξείδωση οπλισμών, ρηγματώσεις τοιχοποιιών που ενδεχομένως υποδεικνύουν καθιζήσεις θεμελίων κ.ά.π.),

- (β) η αλλαγή χρήσης της κατασκευής (π.χ. μετατροπή από κατοικία σε κατάστημα ή εκπαιδευτήριο) που συνεπάγεται μεγαλύτερα ή/και διαφορετικά φορτία ή/και μεταβολές στο φέροντα οργανισμό της ή
- (γ) η βούληση των ιδιοκτητών μιας (συνήθως παλαιότερης) κατασκευής να βελτιώσουν την αντισεισμική της ασφάλεια έτσι ώστε αυτή να προσεγγίσει, να φθάσει ή και να ξεπεράσει το επίπεδο αντισεισμικής ασφάλειας σύγχρονων κατασκευών. Η βούληση αυτή μπορεί να έχει (αν και όχι υποχρεωτικά) ως αφετηρία την ανησυχία των νοίκων για το γεγονός ότι κάποιες βλάβες που είχε υποστεί η κατασκευή σε παλαιότερους σεισμούς αποκαταστάθηκαν μάλλον πλημμελώς (ή και καθόλου).

### Μετασεισμικός έλεγχος των κτιρίων μιας περιοχής μετά από πολύ ισχυρό σεισμό

Μετά την εκδήλωση κάποιου πολύ ισχυρού σεισμού με σοβαρές επιπτώσεις, ενεργοποιείται από την πολιτεία ο μηχανισμός άμεσου ελέγχου της κατάστασης, στην οποία έχουν περιέλθει τα κτίρια της πληγείσας περιοχής από πλευράς επικινδυνότητας των βλαβών που έχουν υποστεί. Συστήνονται ειδικά συνεργεία μηχανικών και τεχνικών που διενεργούν αυτοψίες (επί τόπου εξέταση των κτιρίων) βάσει συγκεκριμένων οδηγιών του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. Ο έλεγχος περιλαμβάνει δύο φάσεις: (α) Α'-βάθμιος άμεσος μετασεισμικός έλεγχος και (β) Β'-βάθμιος μετασεισμικός έλεγχος.

Κατά τον άμεσο Α'-βάθμιο μετασεισμικό έλεγχο, ο οποίος διενεργείται από (συνήθως διμελή) επιτροπή μηχανικών / τεχνικών και είναι ένας πρώτος γρήγορος έλεγχος που διεξάγεται υπό χρονική πίεση και αντίξοες συνθήκες (ενδεχομένως να βρίσκεται ακόμη σε εξέλιξη η σεισμική δραστηριότητα), τα κτίρια ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες:

Κατηγορία I (κόκκινα): Κτίρια ακατάλληλα για χρήση λόγω εκτεταμένων και σοβαρών βλαβών που καθιστούν πιθανή την κατάρρευσή τους (ή τμημάτων τους).

Κατηγορία II (κίτρινα): Κτίρια προσωρινώς ακατάλληλα για χρήση λόγω βλαβών που μειώνουν σημαντικά τη φέρουσα ικανότητά τους και απαιτούν τη λήψη μέτρων ασφάλειας (π.χ. προσωρινή υποστήλωση).

Κατηγορία III (πράσινα): Κτίρια που δεν έχουν βλάβες.

Μετά την ολοκλήρωση του Α'-βάθμιου ελέγχου, τα κτίρια που χαρακτηρίστηκαν «κόκκινα» ή «κίτρινα» υποβάλλονται σε έναν λεπτομερέστερο Β'-βάθμιο μετασεισμικό έλεγχο, ο οποίος διενεργείται από (συνήθως τριμελή) επιτροπή μηχανικών σύμφωνα με το Π.Δ. 13-22/4/1929 και τυχόν πρόσφατες συμπληρωματικές υπουργικές αποφάσεις. Ο Β'-βάθμιος έλεγχος στοχεύει στον ακριβέστερο εντοπισμό των αδυναμι-

ών του κτιρίου, προκειμένου να ληφθεί απόφαση για την αποκατάσταση ή ενίσχυσή του.

### Προσεισμικός έλεγχος παλαιότερων κτιρίων με σκοπό τη βελτίωση της αντισεισμικής τους επίδοσης

Σε σχέση με το προαναφερθέν σημείο (γ) ως προς τη σκοπιμότητα του προσεισμικού ελέγχου κρίνεται σκόπιμο να γίνει μια σύντομη ιστορική αναφορά και μία σειρά παρατηρήσεων.

#### Κτίρια προ του 1959

Η εκτεταμένη χρήση του οπλισμένου σκυροδέματος για την κατασκευή φερόντων οργανισμών (δηλ. σκελετών) κτιριακών κατασκευών εμφανίστηκε στη χώρα μας την εποχή του μεσοπολέμου. Αρχικά, κατά τη δεκαετία 1920-1930, χρησιμοποιήθηκε κυρίως για την κατασκευή των πλακών και των δοκών, ενώ τα κατακόρυφα στοιχεία αποτελούνταν ακόμη από οπτόπλινθους (τοιχοποιία). Ήδη όμως στην δεκαετία 1930-1940, που χαρακτηρίστηκε από αρκετά έντονη οικοδομική δραστηριότητα, η χρήση οπλισμένου σκυροδέματος επεκτάθηκε στον πλήρη σκελετό πολυώροφων, αλλά και μικρότερων κτιρίων κατοικιών, καθώς και σε βιομηχανικές κατασκευές. Ας σημειωθεί ότι μέχρι τη θέσπιση του (πρώτου) *Κανονισμού Έργων Σκυροδέματος* το 1954 οι μελέτες και οι κατασκευές δεν ακολουθούσαν κάποιο συγκροτημένο και συνεπές σύστημα κανόνων, ενώ μέχρι τη θέσπιση του (πρώτου) *Αντισεισμικού Κανονισμού* το 1959 δεν λαμβάνονταν με έγκυρο και συστηματικό τρόπο υπόψη οι σεισμικές φορτίσεις. Για τα παλαιότερα αυτά κτίρια, που έχουν ηλικία άνω των 50 ετών και αθροίζονται ακόμη σήμερα σε ένα ικανό ποσοστό του υφιστάμενου δομικού πλούτου της χώρας, τίθεται συνεπώς το εξής εύλογο ερώτημα: Σε τι κατάσταση βρίσκονται οι φερόντες οργανισμοί τους και ποιά είναι η διαθέσιμη σήμερα αντοχή τους σε σεισμικές επιπονήσεις; Με σύγχρονη ορολογία: Πόσο εύρωστα είναι σε περίπτωση σεισμού ή πιο συγκεκριμένα, ποιά η αντισεισμική τους επίδοση έναντι των - κατά τις σημερινές εκτιμήσεις - αναμενόμενων μέγιστων σεισμικών εντάσεων;

#### Κτίρια της περιόδου 1959-1985

Το ίδιο ερώτημα τίθεται βέβαια και για τα κτίρια της επόμενης «οικοδομικής» περιόδου 1959-1985, τα οποία μελετήθηκαν και κατασκευάστηκαν βάσει κανονισμών της προηγούμενης «γενιάς», όταν ακόμη η αντισεισμική τεχνολογία ήταν σχετικά περιορισμένη. Τα κτίρια αυτής της περιόδου αποτελούν σήμερα το μεγαλύτερο ποσοστό του υφιστάμενου δομικού πλούτου της χώρας. Παρά το γεγονός όμως ότι κατασκευάστηκαν βάσει κανονισμών και παρόλο που είναι μικρότερης ηλικίας από τα προ του 1959 κτίρια, δεν είναι -γενικώς- λιγότερο εύρωστα από εκείνα έναντι σεισμού. Αυτό οφείλεται μεταξύ άλλων στη συνθετότερη και εν γένει «τολμηρότερη» μορφή του σκελετού



Ρηγγάτωση τοιχώματος πλοτής μετά από σεισμό (Αθήνα, 1999).  
→ Μετασεισμικός έλεγχος. [Αρχείο Ι.Ε.Αβραμίδη]

τους, στην έλλειψη ιδιαίτερου ποιοτικού ελέγχου κατά την κατασκευή τους, αλλά μερικώς και στην «κακή» έως σήμερα χρήση τους (π.χ. αυθαίρετες εσωτερικές μετατροπές, καθαιρέσεις ή/και προσθήκες που αλλοιώνουν ή ανεξέλεγκτα τη φέρουσα ικανότητά τους, βλάβες από φθορές χρήσης ή και από παλαιότερους σεισμούς που αποκαταστάθηκαν πλημμελώς ή και καθόλου κ.ά.π.).

#### Κτίρια της περιόδου 1985-1995

Οι παραπάνω επισημάνσεις αφορούν κατά την εκτίμησή μου εν πολλοίς και στα κτίρια της περιόδου 1985-1995, παρά τη σχετική βελτίωση της αντισεισμικής τους ασφάλειας έναντι των παλαιότερων κατασκευών.

#### Αυθαίρετες κατασκευές

Και βέβαια αφορούν σε όλα τα διαχρονικώς αναγειρόμενα, παντελώς αυθαίρετα οικοδομήματα (δηλ. χωρίς υπεύθυνη μελέτη πολιτικού μηχανικού) ανά την επικράτεια, που αποτελούν κυριολεκτικά εν δυνάμει ταφόπλακες για τους ενοίκους τους.

#### Πηγές δυνητικά μειωμένης αντισεισμικής ασφάλειας παλαιών κτιρίων

Σε κάθε περίπτωση, τα προ του 1995 ή έστω 1985 κτίρια, που αποτελούν τη συντριπτική πλειοψηφία των κτιρίων της χώρας μας, υπολείπονται δυνητικώς σημαντικά έναντι των νεότερων τους κτιρίων όσον αφορά στην αντισεισμική τους ασφάλεια. Οι κυριότεροι λόγοι για τη διαφοροποίηση αυτή είναι οι εξής:

- Οι σεισμικές δράσεις (σεισμική ένταση) που λαμβάνονταν (αν λαμβάνονταν) υπόψη ήταν σημαντικά

## «Οικοδομικές» περιόδοι αντισεισμικής δόμησης στην Ελλάδα

**Κτίρια προ του 1959:** Κτίρια που μελετήθηκαν και κατασκευάστηκαν πριν θεσπισθεί ο (πρώτος) Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (Βασιλικό διάταγμα του 1959).

**Κτίρια της περιόδου 1959-1985:** Κτίρια που μελετήθηκαν και κατασκευάστηκαν βάσει του βασιλικού διατάγματος του 1959 και πριν θεσπισθούν και ισχύσουν οι λεγόμενες «Πρόσθετες διατάξεις του 1984», με τις οποίες ενσωματώθηκαν σ' αυτό ορισμένες ιδιαίτερα σημαντικές βελτιώσεις βάσει της σύγχρονης (τότε) αντισεισμικής τεχνογνωσίας.

**Κτίρια της περιόδου 1985-1995:** Κτίρια που μελετήθηκαν και κατασκευάστηκαν βάσει του βασιλικού διατάγματος του 1959 και των «Πρόσθετων διατάξεων του 1984» πριν καταστεί υποχρεωτική η εφαρμογή του «Νέου Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού (Ν.Ε.Α.Κ.)» το 1995. Με τον Ν.Ε.Α.Κ. επήλθε ένα ολοκληρωμένο βελτιωτικό άλμα στις προδιαγραφές εκπόνησης αντισεισμικών μελετών, οι οποίες πλέον ανυψώθηκαν στο τρέχον (τότε) επίπεδο της αντισεισμικής τεχνογνωσίας και τεχνολογίας.

**Κτίρια της περιόδου 1995-σήμερα:** Κτίρια που μελετήθηκαν και κατασκευάστηκαν βάσει του Ν.Ε.Α.Κ. και των μεταγενέστερων του βελτιώσεων, όπως π.χ. βάσει του «Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού» (Ε.Α.Κ.) του 2000 (ο οποίος με σημειακές βελτιώσεις είναι ο σήμερα ισχύων κανονισμός).

μικρότερες (τάξη μεγέθους: *μισές*) από τις σήμερα επιβαλλόμενες βάσει του ισχύοντος αντισεισμικού κανονισμού.

- Ο φέρων οργανισμός («σκελετός») των κτιρίων συνήθως δεν συμπεριλάμβανε επαρκή τοιχώματα, τα οποία –ως γνωστόν πλέον– μειώνουν δραστικά τον κίνδυνο κατάρρευσης.
- Ο υπολογισμός των κατασκευών γινόταν με απλούστερες μεθόδους (στατική ανάλυση) και λιγότερο αξιόπιστα μοντέλα (π.χ. χωρίς να ληφθεί υπόψη η χωρική πλαισιακή τους λειτουργία και η τυχόν αλληλεπίδρασή τους με το έδαφος θεμελίωσης).
- Η διαστασιολόγηση και η εν συνεχεία όπλιση των δομικών στοιχείων γινόταν με τρόπο που τους παρείχε περιορισμένη μόνο *πλαστιμότητα*, δηλαδή περιορισμένη ικανότητα μεγάλης παραμόρφωσης τους χωρίς θραύση ή αστοχία (τάξη μεγέθους: *μισή* σε σχέση με τη σήμερα γενικώς επιτυγχανόμενη πλαστιμότητα).

*Τα προ του 1995 ή έστω 1985 κτίρια, που αποτελούν τη συντριπτική πλειοψηφία των κτιρίων της χώρας μας, υπολείπονται δυνητικώς σημαντικά έναντι των νεότερων τους κτιρίων όσον αφορά στην αντισεισμική τους ασφάλεια.*

- Τέλος, το τότε επίπεδο τεχνογνωσίας δεν επαρκούσε για την αποφυγή θανάσιμων «παγίδων» κατά τη μόρφωση του φέροντος οργανισμού. Στις παγίδες αυτές εντάσσονται οι ευρύτερα γνωστές για τη σεισμική τους τρωτότητα πιλοτές, τα λιγότερο γνωστά στο ευρύ κοινό «κοντά» υποστυλώματα (οι προσφυώς λεγόμενες «πυριτιδαποθήκες» των οικοδομών) και μία σειρά άλλων προβληματικών διαμορφώσεων του κτιριακού σκελετού, που σήμερα αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα του γνωστικού υποβάθρου των δομοστατικών μηχανικών.

### Ο προσεισμικός έλεγχος κτιριακών συνόλων

Βάσει όλων των παραπάνω γίνεται σαφές ότι παλαιότερες κατασκευές δεν ικανοποιούν τις απαιτήσεις που θέτει η σύγχρονη αντισεισμική τεχνογνωσία για τα νεοσχεδιαζόμενα κτίρια και συνεπώς η αντισεισμική τους ασφάλεια είναι γενικώς (σημ.: προφανώς υπάρχουν και εξαιρέσεις) αρκετά μικρότερη εκείνης των σύγχρονων κτιρίων. Το αν και πόσο μικρότερη είναι αυτή, μπορεί να διαπιστωθεί με τη διενέργεια ενός κατάλληλα στοχευμένου προσεισμικού ελέγχου.

### Το ανέφικτο της αντισεισμικής ενίσχυσης όλων των «παλαιών» κτιρίων

Το παραπάνω όμως γεγονός δεν σημαίνει ότι αυτομάτως τίθεται επί τάπητος θέμα σεισμικής αναβάθμισης όλων των παλαιότερων κτιρίων στο επίπεδο ασφάλειας των σημερινών. Διότι αν σκεπτόμαστε έτσι, επικαλούμενοι π.χ. το συνταγματικό δικαίωμα των Ελλήνων πολιτών για ίση μεταχείριση και άρα ίση ασφάλεια, θα έπρεπε να σκεφθούμε αντίστοιχα π.χ. και για τα εν Ελλάδι «υφιστάμενα» αυτοκίνητα, εκ των οποίων το μεγαλύτερο ποσοστό είναι παλαιάς (έως πολύ παλαιάς) τεχνολογίας και δεν διαθέτει ούτε επαρκές πλήθος και είδος αερόσακων ούτε ζώνες πλαστικής παραμόρφωσης για την προστασία της καμπίνας των επιβατών ούτε βέβαια ακόμη πιο προηγμένα συστήματα ασφάλειας (ESP, ASR, προεντατήρες ζωνών, ενίσχυση πέδησης πανικού κ.ά.π.), οπότε θα έπρεπε να ξεκινήσουμε διαδικασία αντικατάστασης όλων των «υφιστάμενων» παλαιών αυτοκινήτων με νέα. Σημειωτέον ότι ο φόρος αίματος στην ασφαλτο ανέρχεται σε 1500-2000 νεκρούς κατ' έτος και πολλαπλάσιο πλήθος βαριά τραυματισμένων (με μη «επιδιορθώσιμες» βλάβες), ενώ οι σεισμοί (παρά το μεγάλο οικονομικό τους αντίτιμο) τουλάχιστον έχουν λιγότερα ανθρώπινα θύματα. Επανερχόμενοι στο θέμα του σεισμού: Είναι σαφές ότι δεν είναι δυνατόν κάθε φορά που αλλάζει ο αντισεισμικός κανονισμός, να ξεκινάει διαδικασία αναβάθμισης όλων των παλαιότε-

ρων κτιρίων. Η ημερομηνία λήξης ενός κανονισμού δεν μπορεί να ταυτίζεται εν γένει με την ημερομηνία λήξης της ζωής ενός κτιρίου.

Αλλά ακόμη κι αν θέλαμε (ως κοινωνία) να αναβαθμίσουμε **όλα** τα παλαιότερα κτίρια, το εγχείρημα αυτό δεν θα μπορούσε να υλοποιηθεί ποτέ, διότι θα προσέκρουε σε όχι απλώς δυσεπίλυτα, αλλά σε μη επιλύσιμα οικονομικά προβλήματα, που οφείλονται στο αστρονομικό άθροισμα:

- του κατά κανόνα ιδιαίτερα μεγάλου κόστους των ενισχυτικών επεμβάσεων και
- του επίσης μεγάλου κόστους που συνεπάγεται η μείωση ή και διακοπή της λειτουργίας της ενισχυόμενης κατασκευής κατά τη διάρκεια των επεμβάσεων.

Επιπλέον, σε πολλές περιπτώσεις η σεισμική αναβάθμιση - ενίσχυση μιας παλαιάς κατασκευής είναι και πρακτικά ανέφικτη, π.χ. λόγω της απαίτησης ιδιαίτερα ογκωδών νέων δομικών στοιχείων, της ανάγκης εκτεταμένης αναθεμελίωσης, κ.τ.λ.

Το ίδιο ουτοπική είναι και η ιδέα αντισεισμικής ενίσχυσης **πολύ μεγάλων** κτιριακών συνόλων στο επίπεδο των σημερινών απαιτήσεων. Η συχνά προβαλλόμενη αυτή απαίτηση ενίσχυσης **όλων** των δημοσίων κτιρίων της χώρας ή **όλων** των νοσοκομείων ή **όλων** των σχολείων είναι για τους προαναφερθέντες λόγους μη υλοποιήσιμη. Συνεπώς, πρέπει να εγκαταλειφθεί η άγονη συζήτηση για σεισμική αναβάθμιση μεγάλων κτιριακών συνόλων στο επίπεδο των σημερινών απαιτήσεων (και πολύ περισσότερο βέβαια η συζήτηση για σεισμική αναβάθμιση **όλων** των παλαιότερων κτιρίων της χώρας) και να τοποθετηθεί το πρόβλημα σε διαφορετική, ρεαλιστική βάση.

Από την άλλη πλευρά, όταν πρόκειται για ένα μικρότερο σύνολο κτιρίων (της τάξεως μερικών δεκάδων) η διενέργεια προσεισμικών ελέγχων και η υλοποίηση των τυχόν απαιτούμενων ενισχυτικών παρεμβάσεων αποκτά ρεαλιστικότερο χαρακτήρα.

### Το κανονιστικό πλαίσιο για τη διενέργεια προσεισμικών ελέγχων κτιριακών συνόλων

Οι προσεισμικοί έλεγχοι κτιριακών συνόλων, που αποτελούν –όπως προαναφέρθηκε– το πρώτο βήμα προς την κατεύθυνση μιας αντισεισμικής ενίσχυσης, οφείλουν βέβαια να γίνονται βάσει συγκεκριμένων κανόνων. Δυστυχώς όμως, δεν υφίσταται ακόμη στη χώρα μας ολοκληρωμένο κανονιστικό - θεσμικό πλαίσιο ούτε για τους προσεισμικούς ελέγχους ούτε για τις εν συνεχεία ενισχύσεις. Το ισχύον νομικό πλαίσιο, μέσα στο οποίο κινείται σήμερα ο μηχανικός αποτελείται από συστάσεις του Υ.Π.Ε.Χ.Ω.Δ.Ε. υπό μορφή υπουργικών αποφάσεων και εγκυκλίων. Επιπλέον, για το αρχικό στάδιο του προσεισμικού ελέγχου (Α΄-βάθμιος έλεγχος, ταχύς οπτικός έλεγχος) κτιριακών συνόλων υπάρχουν και ορισμένα κείμενα που παρήχθησαν από επιστημονικές ομάδες εργασίας του Ο.Α.Σ.Π. (Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστα-

---

*Η αναβάθμιση όλων των παλαιότερων κτιρίων της χώρας στο επίπεδο ασφάλειας των σημερινών αποτελεί ανέφικτο εγχείρημα.*

---



σίας) με στόχο τα κτίρια δημόσιας και κοινοφελούς χρήσης και του Ο.Σ.Κ. (Οργανισμός Σχολικών Κτιρίων) με στόχο τα σχολικά κτίρια. Τα κείμενα αυτά βασίζονται σε αντίστοιχα κανονιστικά και προκανονιστικά κείμενα των Η.Π.Α. με κατάλληλες προσαρμογές στα ελληνικά δεδομένα. Σύμφωνα με αυτά ο προσεισμικός έλεγχος περιλαμβάνει τρία στάδια:

- **Α'-βάθμιος έλεγχος:** Ταχύς οπτικός έλεγχος (Τ.Ο.Ε.). Τα κτίρια που εξετάζονται με τη βοήθεια ειδικού δελτίου ελέγχου βαθμολογούνται με βάση απλούς πρακτικούς κανόνες και κατατάσσονται κατά φθίνουσα σειρά ως προς την σεισμική τους τρωτότητα, δηλ. από τα ασφαλέστερα προς τα επικίνδυνα. Όσα έχουν βαθμολογία υψηλότερη από ένα **όριο**, θεωρούνται ασφαλή και δεν επανελέγχονται. Αν η βαθμολογία ενός κτιρίου είναι κατώτερη του ορίου αυτού, το κτίριο θεωρείται ότι δεν ανταποκρίνεται στις τεθείσες απαιτήσεις και παραπέμπεται για περαιτέρω έλεγχο στο επόμενο Β' στάδιο. Το εν λόγω όριο καθορίζεται με κριτήρια τεχνικά αλλά και οικονομικά.



Συνέπειες **κοντού υποστυλώματος** σε συνδυασμό με «κακή» όπλιση και κακοτεχνία (Κόνιτσα 1996). [Αρχειο Ι.Ε.Αβραμίδη]



- **Β'-βάθμιος έλεγχος:** Προσεγγιστική αποτίμηση της διαθέσιμης αντισεισμικής ικανότητας. Η αντισεισμική φέρουσα ικανότητα όσων κτιρίων παραπέμφθηκαν σε Β'-βάθμιο έλεγχο αποτιμάται και αξιολογείται με βάση την επαλήθευση κρίσιμων γεωμετρικών στοιχείων (διαστάσεις διατομών, όπλισμοί, κ.τ.λ.), ορισμένους μη καταστροφικούς ελέγχους των δομικών υλικών (π.χ. αντοχή σκυροδέματος) και κάποιους απλούς προσεγγιστικούς αριθμητικούς υπολογισμούς (π.χ. της τέμνουσας βάσης). Όσα κτίρια αξιολογηθούν ως ανώτερα ενός ορίου αντισεισμικής φέρουσας ικανότητας, θεωρείται ότι είναι ασφαλή και δεν επανελέγχονται. Τα υπόλοιπα θεωρείται ότι δεν ανταποκρίνονται στις τεθείσες απαιτήσεις και παραπέμπονται για περαιτέρω έλεγχο στο επόμενο Γ' στάδιο. Το εν λόγω όριο αντισεισμικής ικανότητας καθορίζεται με κριτήρια τεχνικά, αλλά και οικονομικά. Προϋπόθεση και επίπεδο αναφοράς για την Β'-βάθμια αποτίμηση αποτελεί ο καθορισμός (από τον ιδιοκτήτη / κύριο του έργου σε διαβούλευση με το μελετητή) της επιθυμητής συμπεριφοράς της κατασκευής υπό ένταση δεδομένου μεγέθους.
- **Γ'-βάθμιος έλεγχος:** Λεπτομερής αποτίμηση της αντισεισμικής ικανότητας (επίδοσης) και μελέτη αποκατάστασης / αναβάθμισης / ενίσχυσης. Για κάθε κτίριο που παραπέμπεται στο στάδιο αυτό συντάσσεται πλήρης μελέτη αποτίμησης και ενδεχομένως μελέτη εφαρμογής για την αποκατάσταση / αναβάθμιση / ενίσχυσή του βάσει του ισχύοντος Θεσμικού - νομικού πλαισίου.

#### Προσεισμικός έλεγχος δημόσιων κτιρίων κοινοφελούς χρήσης - Σχόλιο

Στο σημείο αυτό έχει ενδιαφέρον η αναφορά στην τύχη του Α'-βάθμιου προσεισμικού ελέγχου δημοσίων κτιρίων κοινοφελούς χρήσης (μεταξύ αυτών τα νοσοκομεία και τα εκπαιδευτήρια) που ξεκίνησε με πρωτοβουλία του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. το 2001 (εγκύκλιος αρ. πρωτ. 2189/29.5.2001). Στα 7 χρόνια που μεσολάβησαν έκτοτε ελέγχθηκαν μόλις 5.500 (περίπου) από τα συνολικώς 80.000 (περίπου) κτίρια κοινοφελούς χρήσης. Ακόμη και αγνοώντας τον ελλειμματικό χαρακτήρα πολλών από τα συμπληρωθέντα δελτία ελέγχου, το ποσοστό των ελεγχθέντων κτιρίων είναι πάρα πολύ μικρό, δεδομένου μάλιστα ότι πρόκειται για έναν ιδιαίτερος απλό Α'-βάθμιο προσεισμικό έλεγχο. Με τον ρυθμό αυτόν η ολοκλήρωση του προσεισμικού ελέγχου των τριών φάσεων Α', Β' και Γ' θα απαιτούσε αιώνες. Ας μην μιλήσουμε βέβαια για τον επιπλέον χρόνο που θα απαιτούσε και η υλοποίηση των όποιων αναγκαίων επεμβάσεων.

Το κακό αυτό προηγούμενο δεν είναι απλώς απογοητευτικό· πολύ περισσότερο δείχνει το ουτοπικό της εφαρμογής της διαδικασίας του προσεισμικού ελέγχου των τριών φάσεων σε ιδιαίτερος μεγάλα κτιριακά σύνολα.



Προσεισμική ενίσχυση με χιαστί μεταλλικούς συνδέσμους. [Αρχείο Ι.Ε.Αβραμίδη]

Πάντως, εκτιμώ ότι η διεξαγωγή ενός Α΄-βάθμιου προσεισμικού ελέγχου σε **μικρότερα** κτιριακά σύνολα, για τα οποία είναι ευχερέστερη η ολοκλήρωση της, μπορεί να είναι πολύ χρήσιμη, όχι τόσο για την ιεράρχηση των κτιρίων και την παραπομπή κάποιων εξ αυτών σε Β΄-βάθμιο (και εν συνεχεία κάποιων εξ αυτών σε Γ΄-βάθμιο) έλεγχο, αλλά κατά κύριο λόγο για τη διαπίστωση τυχόν επικίνδυνων κτιρίων που χρήζουν άμεσης παρέμβασης.

#### Προσεισμικός έλεγχος σχολείων - Σχόλιο

Ενημερωτικά αναφέρεται ότι με τον στόχο αυτόν (εντοπισμός επικινδύνων) ως βασική προτεραιότητα ξεκίνησε το 2004 και βρίσκεται σήμερα σε εξέλιξη ένα φιλόδοξο πρόγραμμα του Οργανισμού Σχολικών Κτιρίων (Ο.Σ.Κ.), το οποίο αφορά στον προσεισμικό έλεγχο όλων των δημόσιων εκπαιδευτηρίων της χώρας. Πρόσφατα (Μάιος 2008) ολοκληρώθηκε ο Α΄-βάθμιος έλεγχος (Τ.Ο.Ε.) των περίπου 6000 κτιριακών σχολικών μονάδων που κατασκευάστηκαν πριν το 1959 (χωρίς αντισεισμικό κανονισμό) και για όσα εξ αυτών κρίθηκε ότι υφίσταται δυνητικά κίνδυνος, αποφασίστηκε η υλοποίηση των απαιτούμενων επεμβάσεων αποκατάστασης (επισκευής) ή ενίσχυσής τους. Διατηρούμενης της απαραίτητης πολιτικής βούλησης και με παρόμοιο με τον έως τώρα ρυθμό εργασιών θα μπορούσε μέσα στα επόμενα τέσσερα χρόνια να ολοκληρωθεί ο Α΄-βάθμιος έλεγχος και σε όλα τα σχολικά κτίρια της περιόδου 1959-1985 (περίπου 5.500), που γενικώς θεωρούνται περισσότερο εύρωστα σε σχέση με τα νεότερα κτίρια, πάντα με στόχο τον εντοπισμό των άμεσα επικινδύνων και την ενίσχυσή τους. Βέβαια, η

ολοκλήρωση του τριφασικού προσεισμικού ελέγχου για όλα τα σχολικά κτίρια της χώρας και η υλοποίηση των αποκαταστάσεων / ενισχύσεων που θα απαιτηθούν παραμένει ένα ουτοπικό εγχείρημα.

#### Κτίρια που υπέστησαν ζημιές σε παλαιότερους σεισμούς

Τέλος, αξίζει να γίνει μνεία μιας ομάδας κτιρίων που απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή. Πρόκειται για τα κτίρια που υπέστησαν μικρότερες ή μεγαλύτερες ζημιές από ισχυρό σεισμό κατά το παρελθόν, οι οποίες αποκαταστάθηκαν πλημμελώς ή και καθόλου. Π.χ., πόσα από τα περίπου 3.500 κτίρια της Θεσσαλονίκης που χαρακτηρίστηκαν «κόκκινα» από την Υ.Α.Σ.Β.Ε. (Υπηρεσία Αποκαταστάσεως Σεισμοπλήκτων Βορείου Ελλάδος) μετά τον σεισμό του 1978 αποκαταστάθηκαν πράγματι; (Είναι ευρέως γνωστή –βλ. εφημερίδα ΤΑ ΝΕΑ, 23/02/2008– η περίπτωση του κτιρίου της οδού Προνοίας στη Θεσσαλονίκη). Για τα κτίρια αυτά, που στην πλειοψηφία τους βέβαια δεν είναι δημόσια, θα όφειλε να διενεργηθεί κατά προτεραιότητα τουλάχιστον ένας Α΄-βάθμιος έλεγχος με ελάχιστο στόχο τον εντοπισμό των τυχόν επικίνδυνων εξ αυτών.

#### Προ- και μετασεισμικός έλεγχος μεμονωμένων κτιρίων

Σε αντίθεση με τον ουτοπικό χαρακτήρα του τριφασικού προσεισμικού ελέγχου πολύ μεγάλων κτιριακών συνόλων, ο προσεισμικός έλεγχος σε συγκεκριμένα μεμονωμένα ιδιωτικά αλλά και δημόσια κτίρια έχει εφαρμοστεί επανειλημμένα στο πρόσφατο παρελθόν και σε αρκετές περιπτώσεις έχει οδηγήσει στην υλοποίηση των απαιτούμενων επεμβάσεων αποκατάστασης (επισκευής) ή και ενίσχυσης.

#### Το κανονιστικό πλαίσιο για τη διενέργεια ελέγχων σε μεμονωμένα κτίρια

Ο μετασεισμικός έλεγχος ενός κτιρίου που υπέστη ζημιές από σεισμό, δηλαδή η αποτίμηση της απομένουσας φέρουσας ικανότητάς του και ο ενδεχόμενος ανασχεδιασμός του προκειμένου να αποκατασταθεί ή ενισχυθεί, διεξάγεται κατά τα οριζόμενα από την υπουργική απόφαση 5172/ΑΖ5β/18.1.1999 περί «ελάχιστων υποχρεωτικών απαιτήσεων για τη σύνταξη μελετών αποκατάστασης ...κ.τ.λ...», όπως αυτή συμπληρώθηκε με το Φ.Ε.Κ. 26/Β/26-1-2001.

Όσον αφορά στον προσεισμικό έλεγχο, με την απόφαση αρ. πρωτ. 817/12-7-2004 η «Μόνιμη Επιτροπή Επιστημονική Επιτροπή για την επίλυση θεμάτων εφαρμογής και συμβατότητας των κανονισμών και οδηγιών για τον αντισεισμικό σχεδιασμό των κατασκευών» του Ο.Α.Σ.Π. ορίζει ότι ένα υφιστάμενο κτίριο που έχει μελετηθεί με παλαιότερους κανονισμούς μπορεί να ελεγχθεί σύμφωνα με την προαναφερθείσα απόφαση 5172/ΑΖ5β, ανεξάρτητα αν περιλαμβάνεται στις περιπτώσεις κτιρίων που έχουν υποστεί βλάβες από σεισμό. Η απόφαση αυτή του Ο.Α.Σ.Π. υιοθετήθηκε

*Σύμφωνα με τη σύγχρονη φιλοσοφία αντισεισμικού σχεδιασμού τόσο ο σχεδιασμός νέων, όσο και ο προσεισμικός και μετασεισμικός έλεγχος υφιστάμενων κατασκευών προαπαιτούν τον καθορισμό ενός επιθυμητού από τον ιδιοκτήτη στόχου αντισεισμικής συμπεριφοράς.*



Μόνο ο αγιασμός δεν μπορεί να μας σώσει

Αντίγραφο από  
εφημερίδα προ  
30-ετίας. [Αρχείο  
Ι.Ε.Αβραμίδη]

από τη διεύθυνση Ο.Κ.Κ. του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. Συνεπώς, για τον προσεισμικό έλεγχο, δηλαδή για την αποτίμηση της διαθέσιμης φέρουσας ικανότητας ενός υφιστάμενου (παλαιού ή και νεότερου) κτιρίου και τον ενδεχόμενο ανασχεδιασμό του προκειμένου να ενισχυθεί, ισχύουν *mutatis mutandis* οι διατάξεις που διέπουν τον μετασεισμικό έλεγχο.

Στο σημείο αυτό σημειώνεται ότι βρίσκεται υπό σύνταξη ένας νέος κανονισμός, ο Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.), ο οποίος όταν ολοκληρωθεί και θεσπισθεί από την πολιτεία θα αποτελέσει ένα σύγχρονο κανονιστικό - νομικό πλαίσιο για τον προσεισμικό αλλά και μετασεισμικό έλεγχο, καθώς και για την εν συνεχεία αποκατάσταση / αναβάθμιση / ενίσχυση των υφιστάμενων κατασκευών.

#### Καθορισμός της επιθυμητής σεισμικής συμπεριφοράς ενός κτιρίου

Η προαναφερθείσα συμπληρωμένη υπουργική απόφαση 5172/ΑΖ5β διαχωρίζει καταρχάς στο άρθρο 1 με σαφή τρόπο τις βλάβες / ανεπάρκειες σε «τοπικού» χαρακτήρα, που δεν επηρεάζουν τη γενική στατική ευστάθεια (νεολογισμός: «στατικότητα») του κτιρίου, και σε «γενικού» χαρακτήρα, που λόγω του είδους και της έκτασής τους επηρεάζουν τη γενική ευστάθεια του κτιρίου. Οι βλάβες / ανεπάρκειες τοπικού χαρακτήρα αποκαθίστανται με σημειακές επεμβάσεις μόνο στα βλαφθέντα / ανεπαρκή δομικά στοιχεία. Οι βλάβες / ανεπάρκειες γενικού χαρακτήρα αποκαθίστανται μετά από επανυπολογισμό και ενδεχομένως

ανασχεδιασμό ολόκληρου του φέροντος οργανισμού της κατασκευής.

Κατά δεύτερον και πολύ σημαντικό, στο άρθρο 2 η υπουργική απόφαση ορίζει ότι ο τυχόν επιθυμητός βαθμός επισκευής / ενίσχυσης αποτελεί απόφαση του ιδιοκτήτη του κτιρίου. Αυτό σημαίνει ότι:

- (α) συνειδητά επιλέγεται είτε η απλή αποκατάσταση (επισκευή) των βλαβών/ανεπαρκειών είτε η συγκεκριμένου επιπέδου (βαθμού) ενίσχυση της κατασκευής και
- (β) ο ιδιοκτήτης παίζει πλέον θεσμικά σημαντικό ρόλο στον καθορισμό του επιπέδου ενίσχυσης (σημ.: παλαιότερα αποφάσιζε ο μηχανικός ερμήνην του ιδιοκτήτη, αναλαμβάνοντας βέβαια και τη σχετική ευθύνη).

Με τον τρόπο αυτό η απόφαση ευθυγραμμίζεται εμμέσως με τη σύγχρονη φιλοσοφία αποτίμησης της σεισμικής ικανότητας, σύμφωνα με την οποία η κατασκευή ελέγχεται ως προς τον βαθμό που ικανοποιεί ένα συγκεκριμένο στόχο αντισεισμικής επίδοσης, ο οποίος καθορίζεται από τον ιδιοκτήτη σε διαβούλευση με το μελετητή.

Εφόσον η προσεισμική ή μετασεισμική αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας της ελεγχόμενης κατασκευής ικανοποιεί τις τεθείσες απαιτήσεις αντισεισμικής επίδοσης (πράγμα σπάνιο), δεν λαμβάνεται κανένα περαιτέρω μέτρο. Αν όμως δεν τις ικανοποιεί (που είναι το πλέον πιθανό), η διαδικασία προχωράει με την επιλογή κατάλληλου σχήματος ενισχυτικής επέμβασης (βλ. άρθρο Κ. Στυλιανίδη στο παρόν τεύχος). Τονίζεται ότι όπως ο προσεισμικός ή μετασεισμικός έλεγχος (αποτίμηση) ενός κτιρίου, έτσι και ο ενδεχόμενος προσεισμικός ή μετασεισμικός ανασχεδιασμός με σκοπό την ενίσχυσή του προϋποθέτει τον καθορισμό ενός συγκεκριμένου στόχου αντισεισμικής επίδοσης.

#### Αντί επιλόγου

Κλείνοντας το άρθρο αυτό, θεωρώ άξιο αναφοράς το γεγονός ότι και ο σχεδιασμός **νέων** κατασκευών προαπαιτεί –σύμφωνα με τη σύγχρονη φιλοσοφία αντισεισμικού σχεδιασμού– τον καθορισμό του επιθυμητού στόχου αντισεισμικής τους επίδοσης. Τονίζεται μάλιστα ότι στις συνήθεις στατικές μελέτες ο τιθέμενος στόχος (για τον οποίο κατά κανόνα δεν ερωτάται ο ιδιοκτήτης!) δεν είναι η αποφυγή βλαβών υπό το σεισμό σχεδιασμού, αλλά απλώς και μόνον η προστασία της ζωής των ενοίκων. Αυτό σημαίνει ότι και σύγχρονες κατασκευές μπορούν δυνητικά να υποστούν έως και σημαντικές βλάβες υπό σεισμό μεγάλης έντασης.

#### Βιβλιογραφία

Ο ενδιαφερόμενος αναγνώστης παραπέμπεται στο εγχειρίδιο του Ο.Α.Σ.Π. / Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.: «Συστάσεις για προσεισμικές και μετασεισμικές επεμβάσεις σε κτίρια» (Αθήνα, 2001), καθώς και στην εκεί αναφερόμενη βιβλιογραφία.

*Ακόμη και κατασκευές που σχεδιάστηκαν με βάση τον ισχύοντα αντισεισμικό κανονισμό μπορούν δυνητικά να υποστούν πολύ σημαντικές βλάβες υπό σεισμό μεγάλης έντασης.*



Στόχοι, κριτήρια, στρατηγική, τύποι, υλικά και τεχνικές

## Προσεισμική και μετασεισμική ενίσχυση κτιρίων

του **Κοσμά Στυλιανίδη**,  
καθηγητή του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ.

*Το άρθρο περιγράφει κατά τρόπο περιληπτικό και απλό το πρόβλημα της προσεισμικής και μετασεισμικής ενίσχυσης υφισταμένων κτιρίων. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζει τους στόχους της ενίσχυσης, το θεσμικό πλαίσιο, τα κριτήρια επιλογής του τύπου επέμβασης, τις εναλλακτικές στρατηγικές προσέγγισης του προβλήματος, καθώς και τις διαθέσιμες μεθόδους και τεχνικές.*

### Ορισμοί

Για τη διευκόλυνση της παρακολούθησης του άρθρου, κρίνεται σκόπιμη η παράθεση ορισμένων βασικών εννοιών.

**Επέμβαση:** Οποιαδήποτε εργασία που έχει ως αποτέλεσμα την επιθυμητή μεταβολή των υφιστάμενων μηχανικών χαρακτηριστικών ενός δομήματος και έχει ως συνέπεια την τροποποίηση της απόκρισής του.

**Επισκευή:** Η διαδικασία επέμβασης σε ένα δόμημα που έχει βλάβες από οποιαδήποτε αιτία, η οποία αποκαθιστά τα προ της βλάβης μηχανικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων και το επαναφέρει στην αρχική του φέρουσα ικανότητα.

**Ενίσχυση:** Η διαδικασία επέμβασης σε ένα δόμημα με ή χωρίς βλάβες, η οποία αυξάνει τη φέρουσα ικανότητα του φορέα σε στάθμη υψηλότερη από αυτήν του αρχικού σχεδιασμού.

**Αποτίμηση:** Η εκτίμηση της διαθέσιμης φέρουσας ικανότητας υφιστάμενου δομήματος και ο έλεγχος ικανοποίησης των ελάχιστων υποχρεωτικών απαιτήσεων που επιβάλλονται από τους ισχύοντες κανονισμούς.

**Ανασχεδιασμός:** Η υιοθέτηση στόχων υψηλότερων από αυτούς που ικανοποιεί ένα υφιστάμενο δόμημα, η κατάσταση στρατηγικής για την επιλογή κατάλληλου τύπου επέμβασης και ο έλεγχος ικανοποίησης των στόχων που έχουν τεθεί.

### Διαφορές προσεισμικών και μετασεισμικών ενισχύσεων

Η ουσιώδης διαφορά μεταξύ προσεισμικών και μετασεισμικών επεμβάσεων συνίσταται στο γεγονός ότι οι μετασεισμικές επεμβάσεις αποτελούν συνέπεια ενός σεισμού που προκάλεσε βλάβες, η αποκατάσταση των οποίων έχει μάλιστα επείγοντα χαρακτήρα, ενώ οι προσεισμικές επεμβάσεις αποτελούν επιλογή αναβάθμισης υπό συνθήκες ηρεμίας. Η προσεισμική



*Οξείδωση διαμήκων οπλισμών. Η βλάβη αυτή, σε συνδυασμό με την απουσία συνδετήρων και τη χαμηλή ποιότητα του σκυροδέματος, οδηγεί σε απόφαση προσεισμικής ενίσχυσης.*

*Η ουσιώδης διαφορά μεταξύ προσεισμικών και μετασεισμικών επεμβάσεων συνίσταται στο γεγονός ότι οι μετασεισμικές επεμβάσεις αποτελούν συνέπεια ενός σεισμού που προκάλεσε βλάβες, η αποκατάσταση των οποίων έχει μάλιστα επείγοντα χαρακτήρα, ενώ οι προσεισμικές επεμβάσεις αποτελούν επιλογή αναβάθμισης υπό συνθήκες ηρεμίας.*



*Προχωρημένη οξείδωση οπλισμών πέργολας. Στην περίπτωση αυτή ενδείκνυται η προσεισμική καθαίρεση και ανακατασκευή παρά η ενίσχυση (αριστερά). Προετοιμασία, όπλιση και εφαρμογή εκτοξευόμενου ακυροδέματος (δεξιά).*



αναβάθμιση μπορεί να έχει ως αφετηρία είτε βλάβες μη σεισμικού χαρακτήρα, π.χ. γήρανση εμφανιζόμενη υπό μορφή οξείδωσης οπλισμών, είτε τη βούληση των χρηστών να εναρμονίσουν κατά το δυνατόν μια παλιά κατασκευή προς τις σύγχρονες αντιλήψεις περί ασφάλειας.

Πέραν όμως του επείγοντος, υπάρχει και μια ακόμη σημαντική διαφορά στη διαχείριση του ανασχεδιασμού. Οι μετασεισμικές επεμβάσεις έχουν συνήθως ως διέγερση ένα σαφές κριτήριο, την παθολογία της κατασκευής από το σεισμό και γνώμονα την αποτροπή παρόμοιων μελλοντικών βλαβών. Οι προσεισμικές επεμβάσεις, αντίθετα, βασίζονται μόνον στην αποτίμηση της κατασκευής και έχουν ως στόχο την αναβάθμισή της. Είναι φανερό ότι στη δεύτερη περίπτωση υπεισέρχονται πολύ περισσότερες αβεβαιότητες στις εκτιμήσεις του μηχανικού, ο οποίος δεν διαθέτει μια σαφή έκφραση των αδυναμιών της κατασκευής. Κατά τα λοιπά οι ομοιότητες στη διαχείριση προσεισμικών και μετασεισμικών επεμβάσεων είναι πολλές, όπως για παράδειγμα η στρατηγική που ακολουθείται, οι μέθοδοι και οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται.

Επισημαίνεται πάντως ότι οι διαφορές που επισημάνθηκαν παραπάνω οδηγούν πολλές φορές σε ανάγκες προσαρμογής της γενικής στρατηγικής της μετασεισμικής επέμβασης προς το συγκεκριμένο πρόβλημα, π.χ. δεν έχει νόημα να επιλέγονται μέθοδοι και τεχνικές που δεν διατίθενται στον τόπο της βλάβης υπό τις συνθήκες πίεσης που επικρατούν. Αντίθετα, στο πλαίσιο μιας προσεισμικής ενίσχυσης, οι μέθοδοι αυτές μπορούν εύκολα να προγραμματισθούν και να υλοποιηθούν σε ανύποπτο χρόνο.

### Στόχοι της ενίσχυσης

Σύμφωνα με τις σύγχρονες αντιλήψεις, κάθε ενισχυόμενη κατασκευή πρέπει να ικανοποιεί ένα σαφή και ευδιάκριτο στόχο επιτελεστικότητας (επιθυμητής συμπεριφοράς). Οι κυριότεροι εναλλακτικοί στόχοι (εδώ, χάριν απλότητας, δεν σχολιάζονται ορισμένοι ενδιαμέσοι στόχοι της βιβλιογραφίας) είναι οι εξής τρεις:

«**Άμεση χρήση μετά το σεισμό**». Είναι μια κατάσταση, κατά την οποία αναμένεται ότι καμιά λειτουργία του κτιρίου δεν διακόπτεται κατά τη διάρκεια και μετά το σεισμό σχεδιασμού, εκτός ενδεχομένων από σπάνιες δευτερεύουσας σημασίας λειτουργίες. Είναι ενδεχόμενο να παρουσιασθούν μερικές πολύ αραιές τριχοειδείς ρωγμές καμπτικού χαρακτήρα στο φέροντα οργανισμό.

«**Προστασία ζωής**». Είναι μια κατάσταση, κατά την οποία κατά το σεισμό σχεδιασμού αναμένεται να παρουσιασθούν επισκευάσιμες βλάβες στο φέροντα οργανισμό του κτιρίου, χωρίς όμως να συμβεί θάνατος ή σοβαρός τραυματισμός από μόνον εξαιτίας των βλαβών αυτών, και χωρίς να συμβούν ουσιώδεις φθορές στην οικοσκευή ή τα αποθηκευόμενα στο κτίριο υλικά.

«**Αποφυγή οιονεί κατάρρευσης**». Η οιονεί κατάρρευση είναι μια κατάσταση κατά την οποία κατά το σεισμό σχεδιασμού αναμένεται να παρουσιασθούν εκτεταμένες σοβαρές (μη επισκευάσιμες κατά πλειονότητα) βλάβες στο φέροντα οργανισμό, ο οποίος όμως έχει ακόμη την ικανότητα να φέρει τα προβλεπόμενα κατακόρυφα φορτία (κατά, και για ένα διάστημα μετά, το σεισμό), χωρίς πάντως να διαθέτει άλλο ουσιαστικό περιθώριο ασφάλειας έναντι ολικής ή μερικής κατάρρευσης.

Για καθένα από τα παραπάνω επίπεδα απαιτήσεων προδιαγράφονται συγκεκριμένοι υπολογιστικοί έλεγχοι ικανοποίησης των ανισοτήτων ασφαλείας, εκφρασμένων σε μεγέθη έντασης ή μετακίνησης.

Για παράδειγμα, ένα νοσοκομειακό κτίριο ή ένα κτίριο επιτελικής υπηρεσίας που πρέπει οπωσδήποτε να λειτουργήσουν αμέσως μετά από ένα ισχυρό σεισμό, εντάσσονται στην πρώτη κατηγορία. Οι απαιτήσεις για τα κτίρια αυτά είναι πολύ υψηλές καθώς δεν

*Σύμφωνα με τις σύγχρονες αντιλήψεις, κάθε ενισχυόμενη κατασκευή πρέπει να ικανοποιεί ένα σαφή και ευδιάκριτο στόχο επιτελεστικότητας (επιθυμητής συμπεριφοράς). Οι κυριότεροι εναλλακτικοί στόχοι είναι οι εξής τρεις: (α) άμεση χρήση μετά τον σεισμό, (β) προστασία ζωής, (γ) αποφυγή οιονεί κατάρρευσης.*

επιτρέπεται πρακτικώς η εμφάνιση βλάβης, δηλαδή επιβάλλεται η ελαστική απόκριση του φέροντος οργανισμού. Στην περίπτωση αυτή το σχήμα ενίσχυσης ενδέχεται να είναι πολύ βαρύ και εκτεταμένο.

Ένα συνηθισμένο κτίριο κατοικιών εντάσσεται στη δεύτερη κατηγορία. Οι αντίστοιχες απαιτήσεις είναι πιο χαλαρές καθώς επιτρέπονται επισκευάσιμες βλάβες, δηλαδή επιτρέπεται ανελαστική συμπεριφορά, όση το ενισχυμένο κτίριο μπορεί να αναπτύξει, τηρουμένων πάντως και κάποιων περιθωρίων ασφαλείας. Στην περίπτωση αυτή το σχήμα ενίσχυσης είναι πιο ελαφρό, αναμένονται όμως βλάβες.

Ένα κτίριο δευτερεύουσας χρήσης, π.χ. μια αποθήκη, εντάσσεται στην τρίτη κατηγορία, οπότε στόχος είναι μόνον η αποφυγή κατάρρευσης. Οι απαιτήσεις είναι πλέον ελάχιστες, ίσως μάλιστα δεν χρειάζεται ενίσχυση. Στην περίπτωση αυτή είναι ανεκτή η εκτεταμένη βλάβη, ακόμη και η καθαίρεση και ανακατασκευή του κτιρίου μετά το σεισμό.

### Θεσμικό πλαίσιο

Η χώρα μας δεν διαθέτει μέχρι σήμερα θεσμικό πλαίσιο προσεισμικών επεμβάσεων υποχρεωτικού ή ακόμη και προαιρετικού χαρακτήρα. Η μόνη σχετική κανονιστική διάταξη, αναφερόμενη σε έλεγχο επάρκειας υφιστάμενου δομήματος με το ερώτημα της ενδεχόμενης προσεισμικής ενίσχυσης, συνδέεται με τη δυνατότητα καθ' ύψος προσθήκης (Παράρτημα Ε', Ε.Α.Κ. 2000). Τα κριτήρια μάλιστα του Παραρτήματος

αυτού είναι μάλλον κοινωνικά παρά επιστημονικά.

Παρόλο, λοιπόν, που δεν υπάρχει μέχρι σήμερα σχετική κανονιστική υποχρέωση, έχουν υλοποιηθεί προσεισμικές επεμβάσεις σε αρκετά κτίρια ανά τη χώρα, βασιζόμενες μάλιστα σε ένα θολό και ασαφές νομικό πλαίσιο. Γενικώς, το θέμα της προσεισμικής ενίσχυσης έχει από καιρού ωριμάσει, καθώς μάλιστα έχουν πολλαπλασιασθεί οι φωνές εκείνων που υποδεικνύουν ότι είναι απαραίτητη η εξέταση και η προσεισμική ενίσχυση ορισμένων κατηγοριών υφιστάμενων κτιρίων, μάλιστα ορισμένοι δημόσιοι φορείς (π.χ. Ο.Σ.Κ.) έχουν εντάξει στο πρόγραμμά τους την αναβάθμιση των πλέον τρωτών μονάδων τους.

Για το λόγο αυτό έχει αρχίσει από το 2001 με μερίμνα του Ο.Α.Σ.Π., η σύνταξη Τεχνικού Κανονισμού Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.) από 17-μελή επιτροπή. Το όλο εγχείρημα φθάνει στο τέλος του και αναμένεται να θεσμοθετηθεί μέσα στους επόμενους μήνες. Πρόκειται για διεθνώς πρωτοποριακή προσπάθεια, που αναμένεται να καλύψει ένα σοβαρό κενό στη διαδικασία αναβάθμισης του κτιριακού δυναμικού.

Ως προς τις μετασεισμικές επεμβάσεις, ιστορικά, στη χώρα μας δεν τηρήθηκε ενιαία στάση ως προς τις απαιτήσεις ανασχεδιασμού μετά από τους διάφορους ισχυρούς σεισμούς που έπληξαν τη χώρα κατά τις τελευταίες δεκαετίες. Σε όλες τις περιπτώσεις πάντως επικράτησε η άποψη ότι οι ελάχιστες απαιτήσεις ανασχεδιασμού καθορίζονται από τον αντισεισμικό κανονισμό της εποχής κατασκευής του κτιρίου και όχι από



*Μανδύας οπλισμένου ακυροδέματος, χυτού επί τόπου. Στη μια πλευρά διακρίνεται πλημμελής εφαρμογή του μανδύα λόγω πυκνών οπλισμών και μη χρήσης δονητή (αριστερά).*

*Περίσφιξη με μεταλλικό κλωβό τιτανίου για την προσεισμική ενίσχυση πεσσού από τοιχοποιία βυζαντινής εκκλησίας (δεξιά).*



τον εκάστοτε κανονισμό που ίσχυε κατά την εκδήλωση του σεισμού. Σημειώνεται επίσης ότι στις απαιτήσεις ανασχεδιασμού ουδέποτε συνεκτιμήθηκε ο παράγων «χρόνος» υπό την έννοια του απομένοντος χρόνου ζωής της κατασκευής, παράγων που θα μπορούσε να οδηγήσει στη μείωση των σεισμικών δράσεων και στην αντίστοιχη μείωση των απαιτήσεων και του κόστους επέμβασης.

### Κριτήρια επιλογής τύπου επέμβασης

Η επιλογή των τύπων δομητικής επέμβασης πρέπει να γίνεται καταρχήν με βάση γενικά κριτήρια κόστους, διαθεσιμότητας των απαιτούμενων μέσων, αρχιτεκτονικών αναγκών κ.τ.λ. Για την επιλογή αυτή πρέπει να συνεκτιμάται και η οικονομική αξία του δομήματος, τόσο πριν, όσο και μετά τις επεμβάσεις. Τέτοια γενικά κριτήρια θεωρούνται τα ακόλουθα:

- Το κόστος, τόσο το αρχικό, όσο και το μελλοντικό (δηλ. τα έξοδα συντήρησης και οι πιθανές μελλο-

*Εφαρμογή  
ρητινενέσεων για την  
επισκευή δοκού (άνω).  
Εφαρμογή μεμβράνης  
υαλοϋφάσματος για  
την ενίσχυση δοκού  
έναντι κάμψης και  
διάτμησης (κάτω).*



ντικές βλάβες), σε σχέση με τη σπουδαιότητα και την ηλικία του υπόψη κτιρίου.

- Η διαθέσιμη ποιότητα εργασίας (είναι εξαιρετικά σημαντικό τα μέτρα επέμβασης να είναι συμβατά με τα διαθέσιμα μέσα και την διαθέσιμη ποιότητα εργασίας).
- Η διαθεσιμότητα του κατάλληλου ποιοτικού ελέγχου.
- Η χρήση του κτιρίου (επίπτωση των εργασιών επέμβασης στη χρήση του κτιρίου).
- Η αισθητική (το σχήμα επέμβασης ενδέχεται να ποικίλλει μεταξύ πλήρως αφανών επεμβάσεων και σκόπιμα διακριτών νέων –πρόσθετων– στοιχείων).
- Η διατήρηση της αρχιτεκτονικής ταυτότητας των ιστορικών κτιρίων και η συνεκτίμηση του βαθμού αντιστρεψιμότητας των επεμβάσεων.
- Η διάρκεια εκτέλεσης των εργασιών.

Η επιλογή του τύπου, της τεχνικής, της έκτασης και του επειγόντος της επέμβασης πρέπει να γίνεται και με βάση τεχνικά κριτήρια, σχετιζόμενα με τη διαπιστωθείσα κατάσταση του κτιρίου, καθώς και με τη μέριμνα για όσο γίνεται μεγαλύτερη ικανότητα απορρόφησης ενέργειας μετά την επέμβαση. Τέτοια τεχνικά κριτήρια θεωρούνται τα ακόλουθα:

- Όλα τα διαπιστωμένα σοβαρά σφάλματα πρέπει να αποκατασταθούν καταλλήλως.
- Σε περίπτωση εντόνως μη κανονικών κτιρίων (κυρίως από την άποψη της κατανομής της υπεραντοχής) η δομική κανονικότητά τους πρέπει να βελτιωθεί στο μέγιστο δυνατό βαθμό.
- Όλες οι απαιτήσεις αντίστασης κρίσιμων περιοχών των πρωτευόντων στοιχείων (δηλαδή τα απαιτούμενα εντατικά μεγέθη αντίστασης και η απαιτούμενη ικανότητα πλαστικής παραμόρφωσης) πρέπει να ικανοποιούνται μετά την επέμβαση.
- Θα πρέπει να επιδιώκεται η ελάχιστη δυνατή μεταβολή της τοπικής δυσκαμψίας, εκτός εάν απαιτείται διαφορετικά από τα πιο πάνω κριτήρια.
- Όπου είναι δυνατό, θα πρέπει να επιδιώκεται η αύξηση της τοπικής πλαστιμότητας σε κρίσιμες περιοχές. Πρέπει να λαμβάνεται ιδιαίτερη μέριμνα, ώστε, στον βαθμό που είναι δυνατόν, οι τοπικές επισκευές ή/και ενισχύσεις να μη μειώνουν τη διαθέσιμη πλαστιμότητα των κρίσιμων περιοχών.
- Πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η ανθεκτικότητα τόσο των νέων, όσο και των αρχικών στοιχείων, καθώς και το ενδεχόμενο επιτάχυνσης της φθοράς όταν έλθουν σε επαφή μεταξύ τους.

### Στρατηγικές επέμβασης

Με βάση τα προηγούμενα κριτήρια και τα αποτελέσματα της αποτίμησης του δομήματος, πρέπει να επιλεγούν οι κατά περίπτωση κατάλληλοι τύποι επέμβασης σε επιμέρους δομικά στοιχεία ή στο σύνολο του κτιρίου και του δευτερεύοντος οργανισμού, λαμβάνοντας πάντοτε υπόψη τις επιπτώσεις

Προσωρινή υποστήλωση τοιχώματος με σοβαρές βλάβες από σεισμό με την εφαρμογή μεταλλικού κλωβού (αριστερά). Προσεισμική εφαρμογή μεταλλικών συνδέσμων για την τοπική υποκατάσταση δυσκαμψίας και αντοχής, λόγω καθαίρεσης τοίχων πλήρωσης (δεξιά).



των επεμβάσεων στις θεμελιώσεις. Η επιλογή αυτή εντάσσεται σε μια στρατηγική επέμβασης, η οποία έχει ως στόχο τη βελτίωση της σεισμικής συμπεριφοράς του κτιρίου και συνίσταται στην τροποποίηση ή στον έλεγχο βασικών παραμέτρων που επηρεάζουν τη σεισμική συμπεριφορά του. Προκειμένου να επιτευχθεί μείωση της σεισμικής διακινδύνευσης μπορούν να υιοθετηθούν στρατηγικές τόσο τεχνικού, όσο και διαχειριστικού χαρακτήρα ή/και συνδυασμός τους.

Ενδεικτικά αναφέρονται εδώ ορισμένες στρατηγικές τεχνικού και διαχειριστικού χαρακτήρα:

- Στρατηγικές τεχνικού χαρακτήρα:
  - αύξηση της αντοχής του κτιρίου,
  - αύξηση της δυσκαμψίας του κτιρίου,
  - αύξηση της ικανότητας παραμόρφωσης των μελών του κτιρίου,
  - διόρθωση κρίσιμων ανεπαρειών,
  - μείωση των σεισμικών απαιτήσεων.
- Στρατηγικές διαχειριστικού χαρακτήρα:
  - περιορισμός ή αλλαγή της χρήσης του κτιρίου,
  - μερική ή ολική καθαίρεση,
  - μονολιθική μεταφορά του δομήματος σε άλλη θέση,
  - απόφαση για «καμία επέμβαση». Στην τελευταία αυτή περίπτωση μπορεί να γίνει αποδεκτή και μια μείωση της απομένουσας διάρκειας ζωής του δομήματος, υπό τον όρο ότι η μετά ταύτα κατεδάφιση του κτιρίου είναι εγγυημένη.

*Η χώρα μας δεν διαθέτει μέχρι σήμερα θεσμικό πλαίσιο προσεισμικών επεμβάσεων υποχρεωτικού ή ακόμη και προαιρετικού χαρακτήρα. Όμως, από το 2001 έχει αρχίσει με μέριμνα του Ο.Α.Σ.Π., η σύνταξη Τεχνικού Κανονισμού Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.) από 17-μελή επιτροπή. Το όλο εγχείρημα φθάνει στο τέλος του και αναμένεται να θεσμοθετηθεί μέσα στους επόμενους μήνες.*

### Τύποι επεμβάσεων

Παρακάτω αναφέρονται ορισμένοι τύποι επεμβάσεων σε φέροντα στοιχεία που συνδέονται με συγκεκριμένες στρατηγικές ενίσχυσης τεχνικού χαρακτήρα.

- Η αύξηση της αντοχής και της δυσκαμψίας επιτυγχάνεται εναλλακτικά με την επιλεκτική ή συνολική ενίσχυση των δομικών στοιχείων με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος ή με προσθήκη νέων στοιχείων που αναλαμβάνουν μέρος ή το σύνολο των σεισμικών δράσεων (π.χ. τοιχώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα ή χάλυβα, μεταλλικά πλαίσια με συνδέσμους δυσκαμψίας, τοιχοποιία πλήρωσης, διαζώματα από χάλυβα, ξύλο ή οπλισμένο σκυρόδεμα σε κτίρια από τοιχοποιία κ.τ.λ.). Στην περίπτωση αυτήν, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στο σχεδιασμό της θεμελίωσης λόγω της αύξησης της μάζας του δομήματος αλλά κατά κανόνα και των σεισμικών φορτίων.
- Η αύξηση της μεταελαστικής ικανότητας παραμόρφωσης επιτυγχάνεται με βελτίωση της περισφιξης των υφιστάμενων μελών, π.χ. με συνδετήρες, μεταλλικές πλάκες, ινοπλισμένα πολυμερή κ.τ.λ.
- Η διόρθωση κρίσιμων ανεπαρειών συνίσταται στην άρση εκείνων των χαρακτηριστικών που συνεπάγονται δυσμενή αντισεισμική συμπεριφορά. Ενδεικτικά αναφέρονται:
  - Η τροποποίηση του δομητικού συστήματος (κατάργηση ορισμένων αρμών, κατάργηση ευαίσθητων δομικών στοιχείων, τροποποίηση προς μια πιο κανονική και πιο πλαστική μορφή).
  - Η προσθήκη ελαστικών συνδέσμων μεταξύ της ψαθυρής τοιχοποιίας και του περιβάλλοντος στοιχείου, όταν τούτο επιτρέπεται από την αντοχή της τοιχοποιίας.
  - Η τοπική ή συνολική τροποποίηση δομικών στοιχείων που έχουν ή δεν έχουν πάθει βλάβες.
  - Η πλήρης αντικατάσταση ανεπαρκών μελών ή μελών που έχουν πάθει εκτεταμένες βλάβες.



Διατμητικά αγκύρια κατά πλάτος επέκτασης θεμελίου από χυτό σκυρόδεμα.

- Η ανακατανομή έντασης (π.χ. μέσω εξωτερικής προέντασης).
- Η μείωση των σεισμικών απαιτήσεων επιτυγχάνεται με τη μείωση της μάζας του δομήματος, την τροποποίηση του δομητικού συστήματος με στόχο την ευεργετική αλλαγή της ιδιοπεριόδου του δομήματος (π.χ. μέσω αποσβεστήρων ή συστημάτων σεισμικής μόνωσης), κ.τ.λ.

#### Υλικά και τεχνικές επεμβάσεων

Σήμερα διατίθενται αρκετές τεχνικές επεμβάσεων που χρησιμοποιούν μια πληθώρα υλικών, τα κυριότερα από τα οποία είναι τα εξής:

- Συμβατικό σκυρόδεμα χυτό επί τόπου.
- Σκυρόδεμα υψηλής αντοχής - σταθερού όγκου - χυτό επί τόπου.
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.
- Πολυμερικές κόλλες.
- Ρητινοκονιάματα.
- Τσιμεντενέματα.
- Χαλύβδινα επικολητά ελάσματα.
- Διατμητικά αγκύρια.
- Ηλεκτροσυγκολλημένοι νέοι σπλισμοί.
- Επικολητές μεμβράνες με υαλονήματα, ανθρακονήματα, εσχάτως και χαλυβδονήματα.

#### Σημείωση

Μεγάλο τμήμα του άρθρου βασίζεται στο κεφάλαιο 2 του υπό ολοκλήρωση Κανονισμού Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.).

#### Βιβλιογραφία

Δρίτσος Σ., «Επισκευές και ενισχύσεις κατασκευών», Γ' έκδοση αναθεωρημένη, Πάτρα 2005.

Μυστακίδης Ε., «Λήψη αποφάσεων μέσω της μη γραμμικής στατικής μεθόδου», διημερίδα «Σεισμική Διακινδύνευση και Αντισεισμική Ενίσχυση των Κατασκευών», Τ.Ε.Ε., Βόλος, 2003.

Ο.Α.Σ.Π., «Συστάσεις για προσεισμικές και μετασεισμικές επεμβάσεις σε κτίρια», Αθήνα 2001.

Ο.Α.Σ.Π., «Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.)» (υπό ολοκλήρωση), σχέδιο 2, Αθήνα, 2005.

Πενέλης Γ. Γ., «Ενισχύσεις - Επισκευές μετά από σεισμό», 13ο Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος, Ρέθυμνο Κρήτης, (1999).

Πενέλης Γ. και Κάππος Α., «Αντισεισμικές κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα», Εκδόσεις "Ζήτη", Θεσσαλονίκη, 1990.

Στυλιανίδης Κ., «Υποστυλώσεις. Υλικά και τεχνικές επέμβασης», φοιτητικές σημειώσεις, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών, «Αντισεισμικός Σχεδιασμός Τεχνικών Έργων», Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, 2004.

Τάσιος Θ. Π. και Κωστίκας Χ., «Γενική τοποθέτηση του προβλήματος», σεμινάριο «Επισκευές των κτιρίων από τις βλάβες των σεισμών», Αθήνα, (2000).

Τ.Ε.Ε./ΑΝΤΥΚ, ΟΕ II.4, Κεφ. 3, «Μεθοδολογία λήψης αποφάσεων για επέμβαση», Αθήνα, 2002.

*Η επιλογή του κατάλληλου τύπου επέμβασης εντάσσεται σε μια στρατηγική επέμβασης, η οποία έχει ως στόχο τη βελτίωση της σεισμικής συμπεριφοράς του κτιρίου και συνίσταται στην τροποποίηση ή τον έλεγχο βασικών παραμέτρων που επηρεάζουν τη σεισμική συμπεριφορά του.*



# Δομική αναστήλωση σε σεισμοπαθείς περιοχές

του Γεώργιου Πενέλη,  
ομότιμου καθηγητή του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ.

*Κατά τη δομική αναστήλωση κυρίαρχος στόχος είναι η διατήρηση της αυθεντικότητας του μνημείου και παρεπόμενό του η επανάχρησή του.*

*Έτσι το πρόβλημα της αποκατάστασης μνημειακών έργων διαφέρει ριζικά από τις επεμβάσεις σε συνήθη κτίρια.*

*Αντικείμενο του άρθρου είναι οι τεχνικές, τα υλικά και οι διαδικασίες σχεδιασμού που εφαρμόζονται στην αποκατάσταση μνημείων σε σεισμοπαθείς περιοχές.*

## 1. Εισαγωγή

Ο συντάκτης του άρθρου κατά τους σεισμούς της Θεσσαλονίκης το 1978 συμμετείχε ενεργώς ως σύμβουλος του τότε υπουργού ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., αείμνηστου **Ν. Ζαρντινίδη**, στο πρόγραμμα αποκατάστασης των κτιρίων της πόλης. Παράλληλα συνεργάστηκε στενά με τον συνάδελφο καθηγητή **Ν. Μουτσόπουλο** τόσο στην σύνταξη των μελετών αναστήλωσης της **Ροτόντας, του Καθολικού της μονής Βλατάδων και του Ι.Ν. του Αγ. Ανδρέα στην Περιστερά**, όσο και στην Επιτροπή Αποκατάστασης των Μνημείων γενικότερα. Το παρόν άρθρο αποτελεί μία σύνοψη της συνολικής θεώρησης του προβλήματος δομικής αναστήλωσης που διαμόρφωσε ο γράφων από τις παραπάνω επεμβάσεις, όπως και από σειρά άλλων που ακολούθησαν όπως της **Αχειροποιήτου, της Αγίας Αναστασίας, της Εθνικής Βιβλιοθήκης στην Αθήνα, του Εθνικού Θεάτρου, του Μεγάρου του Μ.Τ.Σ. στην Αθήνα κ.ά.**

Αντικείμενο του άρθρου είναι η σύντομη περιγραφή των **τεχνικών, των υλικών και των διαδικασιών σχεδιασμού** που εφαρμόζονται στην αποκατάσταση ιστορικών κτιρίων και μνημείων που έχουν υποστεί βλάβες από σεισμό.

Το πρόβλημα αποκατάστασης αυτών των κτιρίων διαφέρει ριζικά από την επισκευή και ενίσχυση συνθησιμένων κτιρίων. Και τούτο επειδή στα κτίρια - μνημεία, σύμφωνα με το Χάρτη της Βενετίας, δίνεται έμφαση στη **διατήρηση της αυθεντικότητας, καθώς και της αισθητικής και της ιστορικής τους αξίας**, ενώ το σκέλος της **διατήρησής τους εν χρήσει** μπορεί να θεωρηθεί ως δευτερευούσης σημασίας και σε κάθε περίπτωση ως παρεπόμενο (εικόνα 1) [1].

## 2. Τεχνικές δομικής αποκατάστασης

### 2.1. Εισαγωγικές παρατηρήσεις

Με βάση τα παραπάνω και το περιεχόμενο του άρθρου 10 του **Χάρτη της Βενετίας**, προκύπτει ότι η διαδικασία επέμβασης είναι μία δράση υψηλής πολυπλοκότητας και προϋποθέτει ειδικές τεχνικές και κατάλληλα υλικά για κάθε περίπτωση. Οι τεχνικές αποκατάστασης μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες:

- **Τις αντιστρέψιμες.**
- **Τις μη αντιστρέψιμες.**

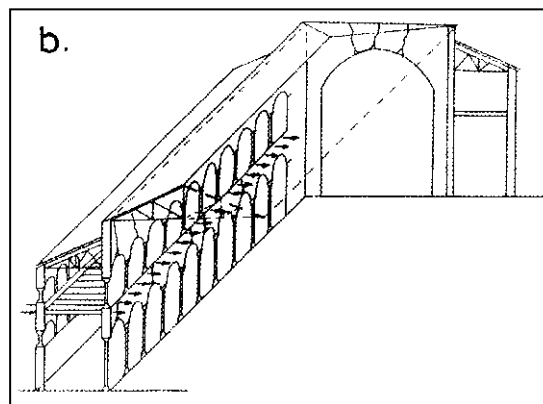
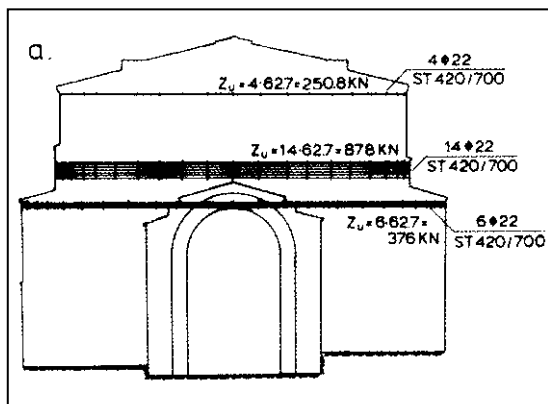
Γενικά, οι αντιστρέψιμες δράσεις είναι προτιμότερες διότι δεν αποτελούν επέμβαση στον αρχικό ιστό του



**Εικόνα 1:**  
Συγκριτική παράθεση βλαβών από σεισμό συμβατικού και μνημειακού έργου. Κτίριο γραφείων στο Mexico city (αριστερά) και Ροτόντα Θεσσαλονίκης (δεξιά).



**Εικόνα 2:**  
Αντιστρέψιμες  
επεμβάσεις.  
a. Προεντεταμένοι  
δακτύλιοι στη βάση του  
τρούλου της Ροτόντα  
Θεσσαλονίκης.  
b. Βελτίωση της  
διαφραγματικής  
δράσης των  
γυναικωνιτών της  
Αχειροποιήτου  
Θεσσαλονίκης.



μνημείου. Οι παρακάτω τεχνικές μπορούν να ταξινομηθούν στην κατηγορία των αντιστρέψιμων δράσεων:

- Εξωτερικές αντιστηρίξεις.
- Ελκυστήρες στη βάση των τόξων.
- Δακτύλιοι στη βάση των τρούλων (εικόνα 2α).
- Προεντεταμένες μη ενσωματωμένες ραφές.
- Ανασύλωση πέτρινων ή μαρμάρινων μνημείων με ξηρούς αρμούς.
- Εξωτερικοί ελκυστήρες.
- Εσωτερικοί μεταλλικοί κλωβοί για διευκόλυνση της περισφιξης.
- Βελτίωση αντοχής, ακαμψίας και πλαστιμότητας σε υπάρχοντα διαφράγματα (εικόνα 2β).

Τα υλικά γι' αυτές τις τεχνικές επιβάλλουν συνήθως πολύ λίγους περιορισμούς στις κατασκευές. Έτσι, στις αντιστρέψιμες τεχνικές **όλα τα σύγχρονα υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωρίς σοβαρούς περιορισμούς.**

Παρά τα προαναφερθέντα πλεονεκτήματα, οι αναστρέψιμες μέθοδοι δεν είναι πάντοτε ρεαλιστικές ή εφαρμόσιμες. Επιπλέον, μπορεί να μην είναι δυνατό να επιλυθεί ένα πρόβλημα αποκατάστασης αποκλειστικά με αντιστρέψιμες επεμβάσεις. Αντίθετα, οι επεμβάσεις είναι κυρίως **αμετάκλητου τύπου** (μη αντιστρέψιμες), ειδικά στην περίπτωση των **κτιρίων τοιχοποιίας, όπου η αποκατάσταση ολόσωμης λειτουργίας είναι μεγίστης προτεραιότητας.**

Οι παρακάτω τεχνικές μπορούν να ταξινομηθούν στην κατηγορία των μη αντιστρέψιμων δράσεων:

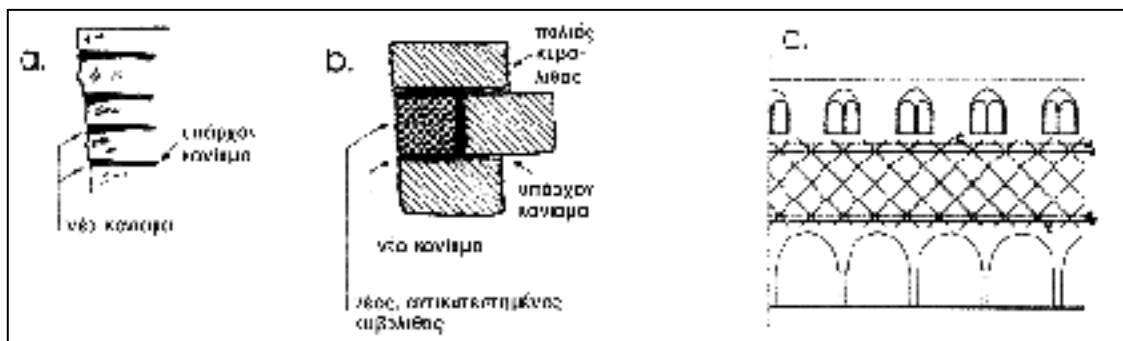
- Ενέματα.
- Ανακτήσεις κλειδιών στις ρωγμές (εικόνα 3α).
- Βαθιά αρμολογήματα (εικόνα 3β).
- Ανάκτηση τμήματος των όψεων των τοίχων όπου αυτοί κατέρρευσαν συνολικά.
- Ραφή των τοίχων με προεντεταμένες ράβδους.
- Ενίσχυση της τοιχοποιίας με ενσωματωμένες ατσάλινες ράβδους (Reticolo cementato) (εικόνα 3γ).
- Αλληλοσυνδέσεις μαρμάρινων ή λίθινων τμημάτων με ενσωματωμένα βλήτρα.
- Μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος σε τοίχους ή στην άνω πλευρά των θόλων.
- Ενίσχυση των θεμελιώσεων, κ.τ.λ.

Από τις τεχνικές που αναφέρθηκαν παραπάνω **τα ενέματα, η ενσωμάτωση κλειδιών νέων πλίνθων στις ρωγμές, τα βαθιά αρμολογήματα και η ανακατασκευή των τοιχοποιιών,** είναι οι πλέον εφαρμόσιμες και οι πιο εκτεταμένες επεμβάσεις.

Για όλη την κλίμακα των μη αντιστρέψιμων επεμβάσεων μαζί με τις αρχές που εφαρμόζονται για την επισκευή και ενίσχυση των συνηθισμένων κατασκευών θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και δύο επιπλέον απαιτήσεις, πέραν αυτών οι οποίες αναφέρθηκαν προηγούμενα και είναι:

- Η συμβατότητα των υλικών επισκευής και ενίσχυσης με τα υλικά που συνιστούν τον αρχικό ιστό του έργου.
- Η αντοχή των νέων υλικών για μακρό χρονικό διάστημα (ανθεκτικότητα).

**Εικόνα 3:**  
Μη αντιστρέψιμες  
επεμβάσεις.  
a. Βαθιά  
αρμολογήματα.  
b. Ανακτήσεις κλειδιών  
στις ρωγμές.  
c. Ενίσχυση επιστυλίων  
(Reticolo cementato).



### 3. Υλικά για επισκευή και ενίσχυση

#### 3.1. Τα αρχικά υλικά

Τα μνημεία και τα ιστορικά κτίρια μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κύριες κατηγορίες από την άποψη της δομικής μορφής τους:

- I. Τα αρθρωτά με ξηρούς αρμούς (κυρίως κλασικοί ναοί και κιονοστοιχίες).
- II. Τα κτίρια με τοιχοποιία (ρωμαϊκά, βυζαντινά, μουσουλμανικά).

Τα κύρια υλικά που χρησιμοποιούνταν για την κατασκευή τους ήταν λαξευτοί λίθοι ή μάρμαρα, αργό λίθοι, πλίνθοι, κέραμοι, κονιάματα, ξυλεία, σιδηρές αγκυρώσεις, αλυσίδες, κ.τ.λ.

Από τα παραπάνω είναι σαφές ότι τα κύρια υλικά του αρχικού κτιρίου για τα οποία απαιτείται συνεργασία με τα νέα είναι **οι λίθοι, οι πλίνθοι και τα κονιάματα**.

Σε περίπτωση αποκατάστασης συγκεκριμένου μνημείου είναι απαραίτητο να μελετώνται οι ιδιότητες των μηχανικών υλικών του. Στο Εργαστήριο Οπλισμένου Σκυροδέματος του Α.Π.Θ. ξεκίνησε εδώ και χρόνια, ένα φιλόδοξο πρόγραμμα δημιουργίας μιας βάσης δεδομένων για πλίνθους και κονιάματα που χρησιμοποιήθηκαν σε μνημειακά κτίρια στην περιοχή των Βαλκανίων (πίνακας 1) [2].

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί ότι η εκτίμηση των μηχανικών ιδιοτήτων της αρχικής τοιχοποιίας, δηλαδή της αντοχής, του μέτρου ελαστικότητας και του συντελεστή Poisson, του σύνθετου στοιχείου «τοιχοποιία» που είναι απαραίτητες για την ανάλυση και το σχεδιασμό, είναι πολύ δύσκολη εργασία που ενέχει πολλές αβεβαιότητες (εικόνα 4) [3], [4].

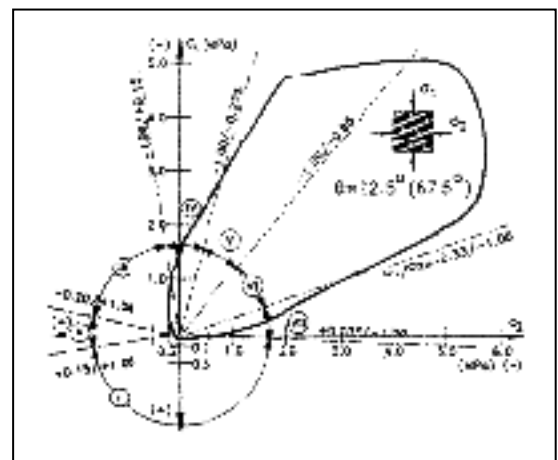
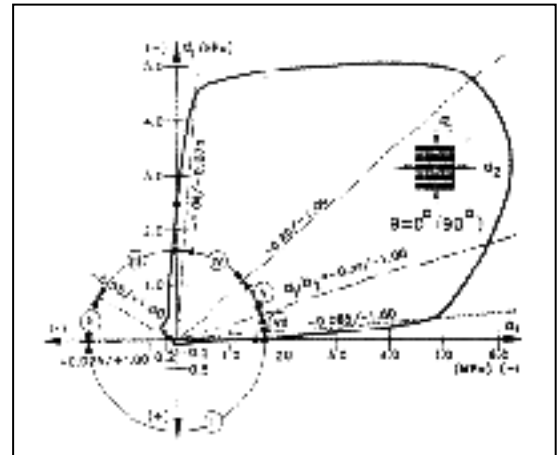
#### 3.2. Τα υλικά για την επισκευή και την ενίσχυση

##### 3.2.1. Εισαγωγικές παρατηρήσεις

Ο καλύτερος τρόπος για να εξασφαλιστεί η συμβατότητα και η αντοχή των υλικών επισκευής και ενίσχυσης είναι η χρήση παραδοσιακών υλικών της ίδιας σύνθεσης με τα αρχικά. Ωστόσο, αυτή η διαδικασία δεν είναι πάντοτε δυνατή.

##### 3.2.2. Μη μεταλλικά υλικά

Από τα υλικά μη αντιστρεπτών επεμβάσεων τα πιο σημαντικά είναι:



Εικόνα 4: Αναλυτικός προσδιορισμός περιβάλλουσας αντοχής ρωμαϊκής τοιχοποιίας.

- Πέτρα και μάρμαρο, πλίνθοι, κονιάματα και ενέματα, σκυρόδεμα. Η σύνθεση των κονιαμάτων και των ενεμάτων για επεμβάσεις αποκατάστασης παρουσιάζει τη μεγαλύτερη δυσκολία ως προς τη συμβατότητα με τα αρχικά υλικά.

**Από τα παραπάνω, τα ποζολανικά κονιάματα και ενέματα μπορούν να χαρακτηριστούν ως έχοντα μεγάλη αποτελεσματικότητα και συμβατότητα για την αποκατάσταση ρωμαϊκών, βυζαντινών και μουσουλμανικών μνημείων στην περιοχή της Μεσογείου [5], [6], [7].**

##### 3.2.3. Μεταλλικά υλικά

Όπου απαιτούνται υψηλές αντοχές εφελκυσμού ή δυνάμεις προεντάσεως, συνήθως πρέπει να χρησιμοποιηθεί χάλυβας παρά το μειονέκτημα της διάβρωσης που παρουσιάζει, καθώς εναλλακτικές λύσεις, όπως για παράδειγμα αυτή του τιτανίου, είναι πολύ ακριβές. Από την άλλη πλευρά σύγχρονα υλικά, όπως καλώδια συνιστώμενα από οργανικές ή ανόργανες ίνες, αποτελούν μια νέα, πολλά υποσχόμενη, προσέγγιση του προβλήματος.

#### Πίνακας 1:

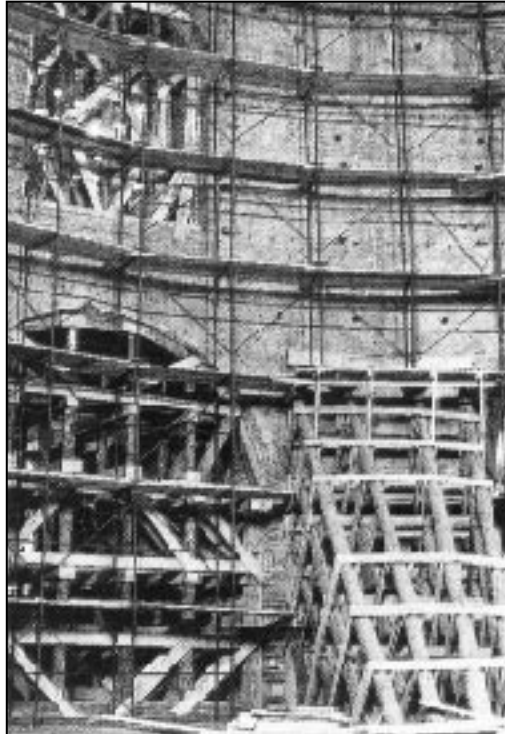
Θλιπτική αντοχή και χαρακτηριστικά αδρανών υλικών παραδοσιακών κονιαμάτων.

Μνημείο	Αιώνας	Δύναμη (N/mm <sup>2</sup> )	Μέγιστο μέγεθος μίγματος αδρανών (mm)	Ποσοστό κονιάματος στο μίγμα	Μικρότερα σωματίδια <0.075mm (%)
Ρωμαϊκή Ροτόντα	4ος	2.3	16	1:3.1	28.25
Χριστιανική Ροτόντα	4ος-5ος	3.7	25	1:2.5	35.40
Αχεροποίητος	7ος	-	16	-	46.69
Αγία Σοφία	8ος	4.5	19	-	24.03
Παναγία Χαλκίων	11ος	-	25	-	20.30
Άγιος Παντελεήμων	12ος	-	25	-	29.63
Μπέι Χαμάμ	15ος	1.18	6	1:2.5	45.70
Μιναρές της Ροτόντας	17ος	1.25	30	1:2.84	38.50



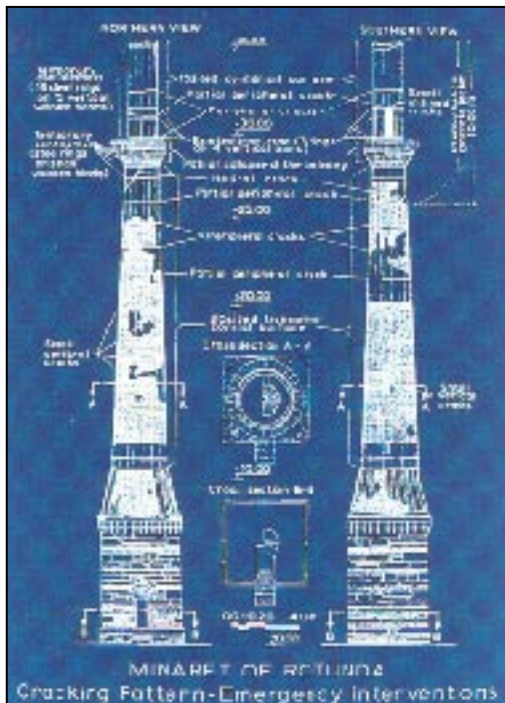
Οι πιο συνήθεις τύποι χρησιμοποιούμενων μεταλλικών στοιχείων για τη δομική αποκατάσταση δίνονται παρακάτω με σειρά αντοχής στη διάβρωση και κόστους:

- Επικαλυμμένοι χάλυβες με επικάλυψη ψευδαργύρου, μολύβδου ή ρητίνης.



**Εικόνα 5:**

Εσωτερική προσωρινή υποστήλωση της Ροτόντα Θεσσαλονίκης μετά το σεισμό.



**Εικόνα 6:**

Κατασκευαστική αποτύπωση του Μιναρέ της Ροτόντα μετά το σεισμό.

- Ανοξειδωτοι χάλυβες. Οι πιο κατάλληλοι για κατασκευή κτιρίων είναι οι ωσθενητικοί χάλυβες με χρώμιο, νικέλιο και μολυβδαίνιο (τύπος Ch - Ni - Mo).
- Ράβδοι τιτανίου. Εφαρμόζονται όπου η αξία του μνημείου δεν επιτρέπει κανένα ρίσκο για μελλοντική διάβρωση. Είναι σχετικά ελαφρό μέταλλο και το κυριότερο χαρακτηριστικό του είναι η εξαιρετικά καλή αντοχή στη διάβρωση (π.χ. Ακρόπολη, Αχειροποίητος, Εθνική Βιβλιοθήκη, και αλλού).

## 4. Η διαδικασία της δομικής αποκατάστασης

### 4.1. Εισαγωγικές παρατηρήσεις

Τα υλικά και οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται συνδέονται άμεσα με το σχέδιο επεμβάσεων, η διαμόρφωση του οποίου αποτελεί την κύρια δράση της διαδικασίας της δομικής αποκατάστασης. Ταυτόχρονα θα πρέπει να σημειωθεί ότι η αρχαιολογική και αρχιτεκτονική μελέτη των διαδοχικών φάσεων ενός μνημείου ή ιστορικού κτιρίου πρέπει να προηγούνται των δραστηριοτήτων σχεδιασμού της δομικής αποκατάστασης ή τουλάχιστον να είναι παράλληλες. Μετά από τα προηγούμενα κρίνεται ως ενδιαφέρουσα μια αναφορά στα διαδοχικά βήματα αυτής της διαδικασίας.

### 4.2. Τα βήματα σχεδιασμού

**Προσωρινή υποστήλωση.** Πρόκειται για ένα ξεχωριστό βήμα στη διαδικασία αποκατάστασης, ιδιαίτερα όταν αυτή αποφασίζεται κατόπιν ενός ισχυρού σεισμού, ο οποίος προκάλεσε βλάβες, θέτοντας σε κίνδυνο μερικής ή ολικής κατάρρευσης την κατασκευή (εικόνα 5).

**Επιτόπου έρευνες.** Συνήθως αυτές περιλαμβάνουν τις ακόλουθες δραστηριότητες:

- Γεωμετρική και κατασκευαστική αποτύπωση (εικόνα 6).
- Εκτίμηση των ζημιών.
- Επιτόπου καταστροφικοί έλεγχοι (π.χ. κρουσιμετρήσεις, υπερηχομετρήσεις, κ.ά.).
- Επιτόπου μη καταστροφικοί έλεγχοι, π.χ. έλεγχος με σφυρί, υπερηχητικές μετρήσεις, κ.ά.
- Συνεχής παρακολούθηση των μεταβολών των ρωγμών, των κλίσεων κ.ά.
- Επιτόπου εδαφικές έρευνες (εκσκαφές δίπλα στη θεμελίωση, γεωτρήσεις, κ.ά.).

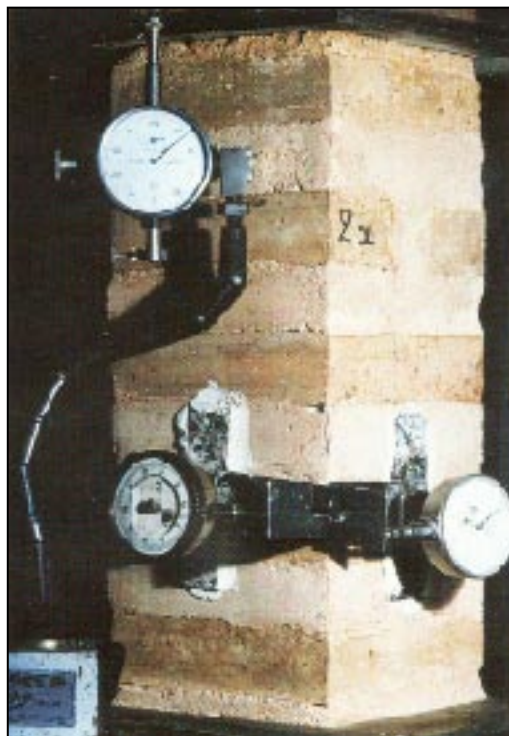
**Εργαστηριακές έρευνες.** Συνήθως αυτές περιλαμβάνουν τις ακόλουθες δραστηριότητες:

- Καθορισμός των χημικών και ορυκτολογικών ιδιοτήτων των μητρικών υλικών.
- Καθορισμός των μηχανικών ιδιοτήτων των μητρικών υλικών.
- Σύνθεση ενεμάτων και κονιαμάτων συμβατών προς τα αρχαία υλικά δόμησης.
- Εδαφοτεχνικοί έλεγχοι σε δείγματα που λαμβάνονται από τις γεωτρήσεις.
- Έλεγχοι επί μοντέλων (π.χ. τοίχων ή πεσσών) (εικόνα 7 και εικόνα 8).

**Ανάλυση και διαστασιολόγηση.** Η ανάλυση και η διαστασιολόγηση των μνημειακών κτιρίων είναι ένα πολύ σημαντικό βήμα και περιλαμβάνει ως αναγκαίες προϋπο-

θέσεις τις ακόλουθες ενέργειες:

- Καθορισμός των μηχανικών ιδιοτήτων των τοιχοποιιών και άλλων στοιχείων, δηλαδή, το μέτρο ελαστικότητας, καμπύλες  $\sigma - \epsilon$ , καμπύλες  $\sigma - \tau$ , καμπύλες  $\sigma_1 - \sigma_2$ .
- Καθορισμός των δυναμικών χαρακτηριστικών



**Εικόνα 7:**  
Προσομοίωση  
ρωμαϊκού πεσσού  
στο Εργαστήριο  
Σιδηροπαγούς  
Σκυροδέματος Α.Π.Θ.



**Εικόνα 8:**  
Παραδοσιακή  
τοιχοποιία: Δοκιμή  
στο Εργαστήριο  
Σιδηροπαγούς  
Σκυροδέματος Α.Π.Θ.

του μνημείου, όπως η θεμελιώδης περίοδος  $T$  κ.ά.

- Καθορισμός του συντελεστού συμπεριφοράς ( $q$ -factor) του μνημειακού κτιρίου.
- Καθορισμός του φάσματος σχεδιασμού για την ανάλυση, λαμβάνοντας υπόψη μια ανάλυση σεισμικού ρίσκου που διεξάγεται ειδικά γι' αυτή την περίπτωση.

Για την ανάλυση του δομικού συστήματος μπορούν να εφαρμοστούν διάφορες προσεγγίσεις. Οι πιο συνηθισμένες είναι οι ακόλουθες:

- Ελαστική - στατική, με στοιχεία πλαισίου ή κελύφους (εικόνα 9).
- Ελαστική - δυναμική με στοιχεία πλαισίων και σπανιότερα και κελύφους.
- Στατική ανελαστική ανάλυση, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο βήμα προς βήμα για τον καθορισμό του μηχανισμού κατάρρευσης και των φορτίων (Push over analysis)
- Στατική ανελαστική ανάλυση, χρησιμοποιώντας τα θεωρήματα των άνω και κάτω ορίων για τον καθορισμό των φορτίων κατάρρευσης.

Για τη διαστασιολόγηση των διατομών πρέπει να χρησιμοποιηθούν οι καμπύλες  $\sigma - \tau$  ή  $\sigma_1 - \sigma_2$ .

**Σχήμα επεμβάσεων:** Ο καθορισμός του σχήματος των επεμβάσεων αποτελεί τον πυρήνα όλης της διαδικασίας και είναι το αποτέλεσμα μιας προσέγγισης αλληλοσυσχετισμού των δομικών, αρχιτεκτονικών και αρχαιολογικών παραμέτρων. Συνήθως ο υπεύθυνος δομοστατικός μηχανικός, διατυπώνει διάφορες εναλλακτικές λύσεις που ικανοποιούν τις απαιτήσεις ασφάλειας, βασιζόμενος σε μια συνολική εκτίμηση των επιτόπου, εργαστηριακών και αναλυτικών ερευνών. Κατόπιν εξαντλητικών συζητήσεων με τους διάφορους συνεργάτες στο έργο αποκατάστασης διαμορφώνεται η τελική λύση (εικόνα 10) [8].

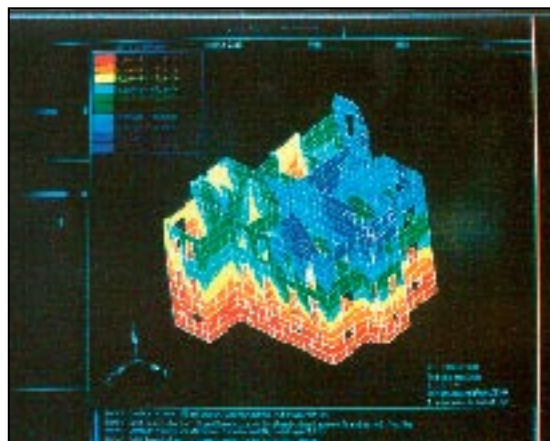
**Εκ νέου ανάλυση και επαναδιαστασιολόγηση:** Το τροποποιημένο από τις επεμβάσεις δομικό σύστημα του μνημειακού κτιρίου πρέπει να αναλυθεί και να διαστασιολογηθεί ξανά με την ίδια διαδικασία που ήδη παρουσιάστηκε προηγουμένως.

**Σχέδια, περιγραφές και προδιαγραφές:** Το σύνολο της μελέτης συμπληρώνεται με γενικά και λεπτομερή σχέδια, τεχνικές περιγραφές και τεχνικές προδιαγραφές, στοιχεία εξίσου απαραίτητα όλα για τις εργασίες στο εργοτάξιο.

## 5. Συμπεράσματα

- Σε περιοχές υψηλής σεισμικής επικινδυνότητας οι σεισμοί είναι οι κυρίαρχες αιτίες βλαβών και καταρρεύσεων μνημείων και ιστορικών κτιρίων. Επί αιώνες αυτά τα κτίρια υπέστησαν ισχυρές σεισμικές δράσεις και έχουν υποβληθεί σε ένα είδος φυσικής επιλογής κατά τέτοιο τρόπο, ώστε μόνον αυτά τα οποία ήταν σωστά μελετημένα και κατασκευασμένα να επιβιώσουν. **Κατά συνέπεια, όταν γίνονται δομικές επεμβάσεις, το αρχικό δομικό σύστημα πρέπει να παραμένει κατά το δυνατό αμετάβλητο.** Θα πρέπει να γίνονται αποδεκτές μόνο τοπικές επισκευές ή βελτιώσεις του αρχικού συστήματος. **Κανένας δεν είναι σε θέση, με οποιοδήποτε τρόπο να εγγυηθεί ότι ένα τροποποιημένο ριζικά**





**Εικόνα 9:**  
Στατική προσομοίωση  
Villa Bianca.

**δομικό σύστημα θα έχει καλύτερη τύχη από το αρχικό ηλικίας ορισμένων αιώνων αναφορικά με την επιβίωση του στους επόμενους αιώνες.**

- Προκειμένου να υπολογιστεί η φέρουσα ικανότητα ενός μνημείου σε φορτία βαρύτητας και σεισμική φόρτιση και να ληφθούν αποφάσεις σχετικά με πιθανές επεμβάσεις, απαιτείται μια πολύπλοκη διαδικασία ενεργειών. Αυτή η διαδικασία ξεκινά με προσωρινή υποστήλωση και τοποθέτηση σκαλωσιών για την προσέγγιση του μνημείου και συνεχίζεται με επιτόπου μετρήσεις και έρευνες, εργαστηριακούς ελέγχους και λεπτομερειακές στατικές και δυναμικές αναλύσεις. Μόνο μια εκτεταμένη γνώση των ιδιοτήτων των χρησιμοποιούμενων υλικών και της δομικής συμπεριφοράς του μνημείου δικαιολογεί τις επεμβάσεις.
- Δεδομένου του γεγονότος ότι απαιτούνται επεμβάσεις, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι ο σκοπός της αποκατάστασης είναι **να διατηρήσει και να αποκαλύψει την αισθητική και ιστορική αξία του μνημείου**, βασιζόμενη στα αρχικά υλικά και τα αυθεντικά ντοκουμέντα. Αυτό επιβάλλει στους επι-

**Εικόνα 10.**  
Η Ροτόντα μετά την  
επέμβαση.



φορισμένους με την αποκατάσταση ειδικούς το καθήκον να μελετούν τους περιορισμούς που αυτές οι θεωρήσεις εισάγουν στην επιλογή των τεχνικών και των υλικών επισκευής και ενίσχυσης.

- Η δομική αποκατάσταση είναι μια εργασία υψηλής ειδικευσης που απαιτεί τη συνεργασία ειδικών πολλών επιστημονικών ειδικοτήτων, όπως της αρχαιολογίας, της αρχιτεκτονικής, της δομοστατικής, της χημικής μηχανικής κ.ά., που θα πρέπει να υποστηρίζονται όλες με κατάλληλα εργαστήρια και κατάλληλο υψηλής στάθμης λογισμικό.

## Βιβλιογραφία

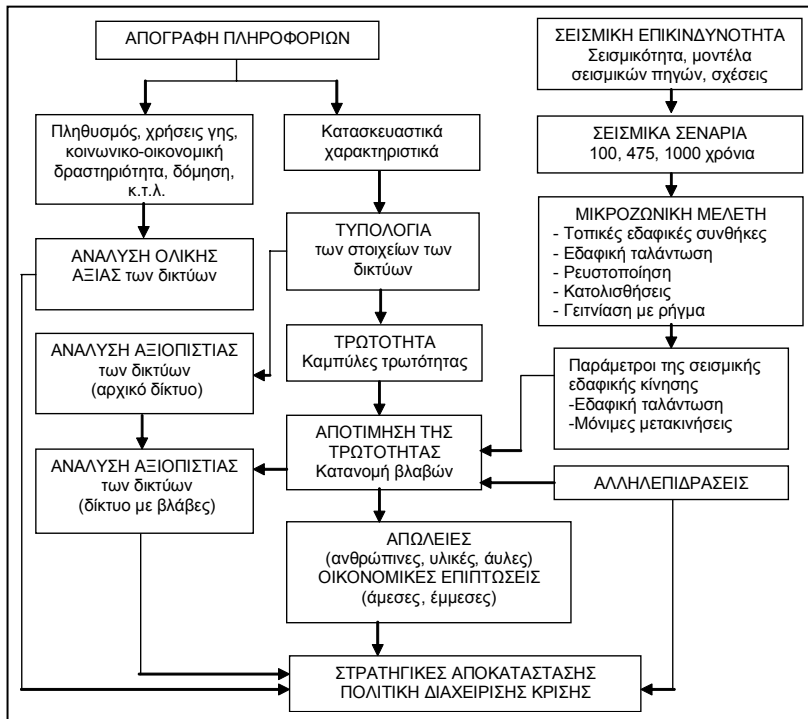
- [1] **UNDP/UNIDO (1984).** In: Repair and Strengthening of Historical Monuments and Buildings in Urban Nuclei. UNIDO, ed., 6, Chap. 1,2, 1-6. Vienna.
- [2] **Penelis, G.G., (1996).** Techniques and Materials for Structural Restoration, In: Proc. Of 11th WCEE, Acapulco, Mexico.
- [3] **Berger, F. (1989).** Assessment of Old Masonry by Means of Partially Destructive Methods, In Proc. of Conf, On Structural Repair and Maintenance of Historical Buildings, Florence, (C.A. Brebbia, ed.), 103 - 118. Computational Mechanics Publications, Southampton, Boston.
- [4] **Stavrakakis, E. Ignatakis, C. Penelis, G. (1995).** Behaviour of Roman Masonry under Biaxial Loading. Analytical Assessment of Complete Failure Criterion. In : Proc. Of the 4th Intern. Conf. On Structural Studies of Historical Buildings, Chania - Crete, (C.A. Brebbia, ed.), 339 - 347, Computational Mechanics Publ. Southampton, Boston.
- [5] **Karaveziroglou, M., Papayianni, J., Penelis, G., (1995).** Mortars and Grouts in Restoration of Roman and Byzantine Monuments. In ; Europ. Seminar on Ancient and Traditional Mortar Technology and Their Importance in Conservation Projects. (P.A.C.T., ed.). In press, Brussels.
- [6] **Penelis, G.G., Karaveziroglou, M. and Papayianni, J. (1989a).** Materials used in the Restoration of Historical Buildings and Monuments. In Seminario per Conservavao, Recuperacao e Consolidacao de Monumentos e Edificios Historicos. (Conselho Directivo National, ed.), Lisboa.
- [7] **Penelis, G.G., Karaveziroglou, M. and Papayianni, J. (1989b)** Mortars for Repair of Masonry Structures. In: Proc Of Conf. On Structural Repair and Maintenance of Historical Buildings, Florence, (C.A. Brebbia, ed.), 161 - 170. Computational Mechanics Publications, Southampton, Boston.
- [8] **Penelis, G.G., Karaveziroglou, M., Stylianidis, K., Leontaridis, D. (1990).** The Rotunda of Thessaloniki. Seismic Behaviour of Roman and Byzantine Structures. In: Proc. Of Coll. On Hagia Sophia from the Age of Justinian to the Present, Princeton, (R. Mark and A.S. Cakmak, ed.), 132 - 157, Cambridge University Press, New York.

# Αποτίμηση τρωτότητας και διαχείριση σεισμικής διακινδύνευσης δικτύων κοινής ωφέλειας, υποδομών και κρίσιμων υπηρεσιών Εφαρμογή στη μητροπολιτική Θεσσαλονίκη

του **Κυριαζή Πιτιλάκη**,  
καθηγητή του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ.

Η εκτίμηση της σεισμικής τρωτότητας και η διαχείριση της σεισμικής διακινδύνευσης δικτύων κοινής ωφέλειας και υποδομών είναι πρωταρχικής σημασίας, ειδικά στην περίπτωση μεγάλων πόλεων. Παρουσιάζεται εν συντομία μια πολυεπίπεδη μεθοδολογία για την εκτίμηση και διαχείριση της σεισμικής διακινδύνευσης των δικτύων κοινής ωφέλειας και υποδομών εντός αστικών συγκροτημάτων (σχήμα 1) με ορισμένα χαρακτηριστικά παραδείγματα από την εφαρμογή της στην πόλη της Θεσσαλονίκης.

**Σχήμα 1.**  
Γενικό διάγραμμα μεθοδολογίας.



## Ταξινόμηση δικτύων κοινής ωφέλειας και υποδομών. Ανάπτυξη βάσεων δεδομένων GIS.

Η ταξινόμηση και απογραφή των επιμέρους χαρακτηριστικών των δικτύων είναι μια εξαιρετικά κρίσιμη και ιδιαίτερος χρονοβόρα διαδικασία. Περιλαμβάνει την ανάπτυξη ενός καταλόγου με όλα τα απαραίτητα στοιχεία για την ταξινόμηση και τον καθορισμό της τυπολογίας των συνιστωσών των δικτύων κοινής ωφέλειας, των υποδομών και των κρίσιμων υπηρεσιών. Ακολουθεί η συλλογή και καταχώρηση των στοιχείων σε βάσεις δεδομένων, καθώς και η χαρτογράφηση όλων των εκτιθέμενων σε σεισμικό κίνδυνο στοιχείων σε ενιαίο περιβάλλον γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών (GIS).

Ο προσδιορισμός της τυπολογίας αποσκοπεί στην περιγραφή και τον καθορισμό των τεχνικών και λοιπών χαρακτηριστικών των επιμέρους συνιστωσών του κάθε δικτύου, τα οποία καθορίζουν σε σημαντικό βαθμό το επίπεδο της σεισμικής συμπεριφοράς. Ο καθορισμός τυπολογικών κατηγοριών για την κάθε συνιστώσα σχετίζεται άμεσα με τις καμπύλες τρωτότητας που προτείνονται σε επόμενο στάδιο, διότι γενικά κατασκευές με παρόμοια τυπολογικά χαρακτηριστικά παρουσιάζουν παρόμοια απόκριση υπό ορισμένη σεισμική φόρτιση.

## Σενάρια σεισμικής επικινδυνότητας - Μικροζωνική μελέτη

Η σεισμική τρωτότητα εκτιμάται για συγκεκριμένα σεισμικά σενάρια που ενδεχομένως διαφέρουν σημαντικά από τις επιταγές των επιταχύνσεων σχεδιασμού του κανονισμού. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της σύνταξης μικροζωνικών μελετών.

Η μικροζωνική μελέτη της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης πραγματοποιήθηκε για τρεις διαφορετικές μέσες περιόδους επαναφοράς  $T_m = 100, 475$  και  $1.000$  χρόνια. Τα αντίστοιχα σεισμικά σενάρια καθορίστηκαν με βάση μια πιθανολογική ανάλυση της σεισμικής επικινδυνότητας. Για την εκτίμηση της επιρροής των τοπικών εδαφικών συνθηκών στη σεισμική κίνηση πραγματοποιήθηκε για κάθε σενάριο πληθώρα αναλύσεων της εδαφικής απόκρισης λαμβάνοντας υπόψη τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά και τις δυναμι-

*Η αποτίμηση της σεισμικής τρωτότητας βασίζεται σε σεισμικά σενάρια που προκύπτουν μέσω της σύνταξης λεπτομερών μικροζωνικών μελετών.*

κές ιδιότητες των κύριων εδαφικών σχηματισμών που προσδιορίστηκαν για όλη την έκταση του πολεοδομικού συγκροτήματος. Για τις αναλύσεις αυτές έγινε χρήση πέντε διαφορετικών, ανοιγμένων στις τιμές σχεδιασμού, επιταχυνσιογραφημάτων (σε συνθήκες βράχου), επιλεγμένων με βάση τα αποτελέσματα της ανάλυσης σεισμικής επικινδυνότητας και της τεκτονικής της περιοχής.

### Γεωτεχνικές ζώνες και δυναμικά χαρακτηριστικά των εδαφικών σχηματισμών

Η πλήρης γεωτεχνική χαρτογράφηση των εδαφικών σχηματισμών σε όλη την έκταση της πόλης και μάλιστα ως το βραχώδες υπόβαθρο, αποτελεί το βασικότερο στάδιο της μικροζωνικής μελέτης. Η σεισμική απόκριση των εδαφικών σχηματισμών και η χωρική εκτίμηση των παραμέτρων προσδιορισμού της σεισμικής τρωτότητας εξαρτώνται απολύτως από την ακριβή γεωτεχνική χαρτογράφηση και κατηγοριοποίηση.

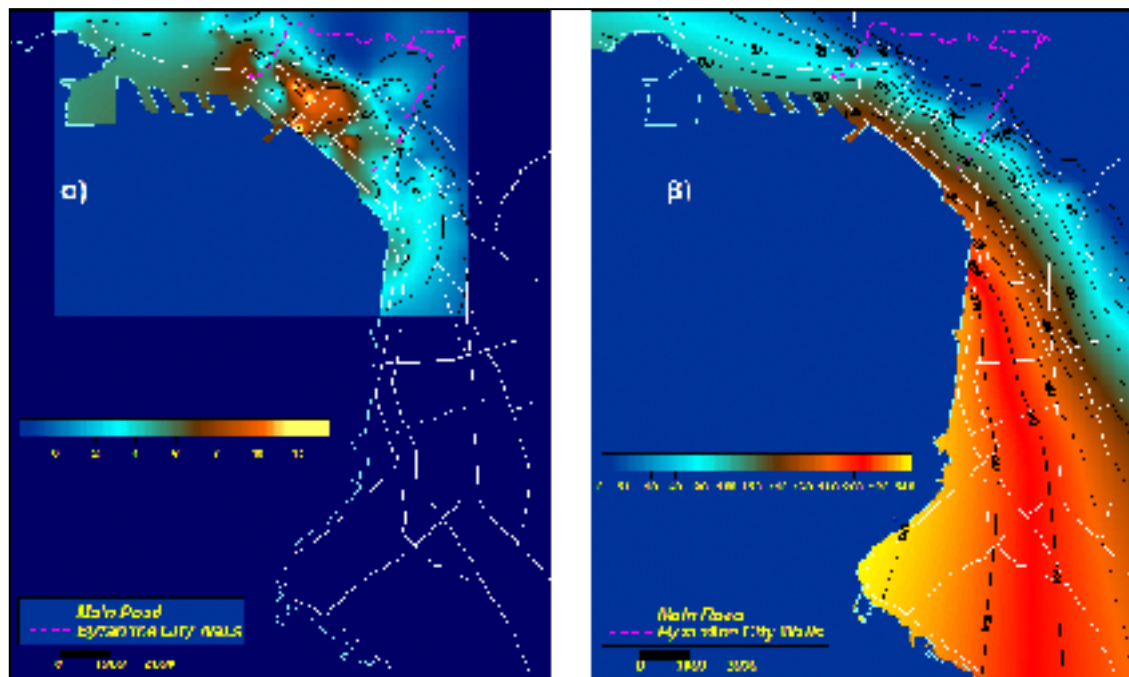
Με την επεξεργασία εκατοντάδων θέσεων γεωτεχνικών πληροφοριών και τη διενέργεια πλήθους νέων επιτόπου ερευνών και εργαστηριακών πειραμάτων κατασκευάστηκε για την πόλη της Θεσσαλονίκης ένα λεπτομερές μοντέλο της επιφανειακής γεωλογίας με πλήρη γνώση των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών, κατάλληλα προσανατολισμένο στην μελέτη των τοπικών εδαφικών συνθηκών. Καταρτίστηκε λεπτομερής γεωτεχνικός χάρτης (Anastasiadis et al., 2001) με βάση πολυάριθμα δεδομένα από γεωτεχνικές έρευνες (δειγματοληπτικές γεωτρήσεις, πεντρομετρήσεις, υδρογεωτρήσεις), γεωφυσικές διασκοπήσεις (δοκιμές cross hole, down hole, αντιστροφής επιφανειακών κυμάτων), δοκιμές μικροθορύβου, κλασικές γεωτεχνι-

κές και ειδικές εργαστηριακές δοκιμές (στήλη συντονισμού, κυκλική τριαξονική) (Pitilakis et al., 1992, Pitilakis and Anastasiadis, 1998, Raptakis et al., 1994a, Raptakis et al., 1994b, Ραπτάκης, 1995, Apostolidis et al., 2004). Προσδιορίστηκαν εννιά (9) διαφορετικοί εδαφικοί σχηματισμοί που συνθέτουν το εδαφικό υπόβαθρο της πόλης. Για όλες τις κατηγορίες εδαφών καθορίστηκαν καμπύλες μεταβολής του μέτρου διάτμησης ( $G/G_0$ ) και του λόγου απόσβεσης ( $D_s-\gamma$ ). Τέλος, κατασκευάστηκε πλήθος θεματικών χαρτών των γεωτεχνικών συνθηκών, ένα δείγμα των οποίων δίδεται στο σχήμα 2.

### Αναλύσεις σεισμικής απόκρισης

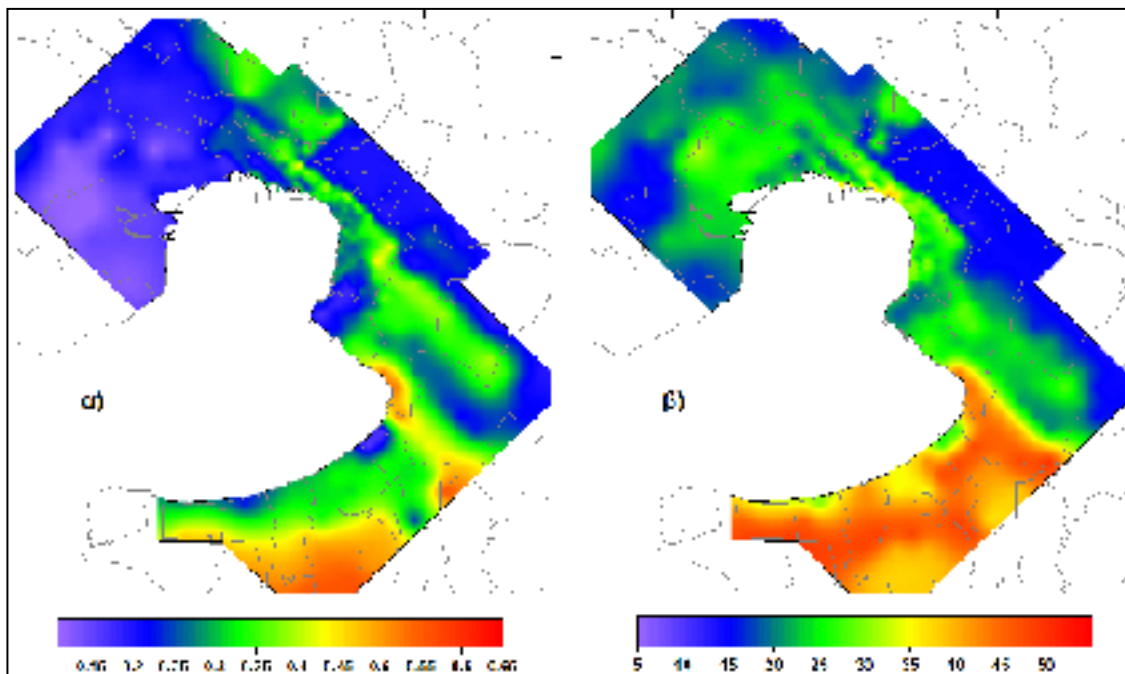
Συνδυάζοντας το γεωτεχνικό χάρτη, τους θεματικούς χάρτες που περιγράφουν τη χωρική κατανομή και το πάχος των εδαφικών σχηματισμών και τις λεπτομερείς δισδιάστατες εδαφοδυναμικές τομές, δημιουργήθηκαν εκατοντάδες τυπικές μονοδιάστατες εδαφοδυναμικές τομές σε κάρναβο με διαστάσεις που κυμαίνονται από 250 m x 250 m έως 1.000 m x 1.000 m. Για τις αναλύσεις σεισμικής απόκρισης χρησιμοποιήθηκαν κατάλληλα επιλεγμένες σεισμικές διεγέρσεις στο εκάστοτε βραχώδες υπόβαθρο, με χαρακτηριστικά που καλύπτουν ικανοποιητικά την ένταση και το συχνοτικό περιεχόμενο του σεισμού σχεδιασμού σε συνθήκες επιφανειακής εμφάνισης βραχώδους υποβάθρου για την περιοχή της Θεσσαλονίκης. Τα αντίστοιχα επιταχυνσιογραφήματα χρησιμοποιήθηκαν μετά από κατάλληλη αναγωγή τους βάσει των αποτελεσμάτων της ανάλυσης σεισμικής επικινδυνότητας για τα τρία σενάρια.

Στο σχήμα 3 παρουσιάζεται ένα μικρό δείγμα των αποτελεσμάτων της σεισμικής εδαφικής απόκρισης.



**Σχήμα 2:**

Τυπικοί γεωτεχνικοί θεματικοί χάρτες της περιοχής Θεσσαλονίκης  
 α) πάχος του σχηματισμού Α ("ιστορικές" επιχωματώσεις),  
 β) βάθος εμφάνισης του βραχώδους υποβάθρου (σχηματισμός G).



**Σχήμα 3:**  
Χωρική κατανομή των μέσων τιμών  
α) της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης (PGA: g's) και  
β) της μέγιστης εδαφικής ταχύτητας (PGV: cm/s)  
( $T_m = 475$  χρόνια).

Πρόκειται για τη χωρική κατανομή της σεισμικής ταλάτωσης στην επιφάνεια του εδάφους, σε όρους μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) και ταχύτητας (PGV) για την περίπτωση του σεισμικού σεναρίου με 10% πιθανότητα υπέρβασης στα 50 χρόνια ( $T_m = 475$  χρόνια).

Αντίστοιχοι χάρτες έχουν δημιουργηθεί σε όλα τα σεισμικά σενάρια για όλες τις βασικές παραμέτρους της εδαφικής ταλάτωσης (PGA σε διαφορετικά βάθη, φασματικές τιμές επιτάχυνσης και ταχύτητας σε διάφορες περιόδους  $T = 0.3$  s, 0.6 s, 1.0 s, 2.0 s, αναπτυσσόμενες διατμητικές παραμορφώσεις σε κρίσιμα βάθη, π.χ. -3.0 και -6.0 m, συντελεστές εδαφικής ενίσχυσης και δεσπόζουσες περίοδοι). Παράλληλα μελετήθηκε ο κίνδυνος ρευστοποίησης που είναι υπαρκτός στην παραλιακή ζώνη και ειδικά στις δυτικές παράλιες περιοχές και προσδιορίστηκαν οι μόνιμες αναμενόμενες εδαφικές μετακινήσεις.

Οι παραπάνω παράμετροι της ισχυρής εδαφικής κίνησης είναι αναγκαίες, καθώς οι μελέτες εκτίμησης της σεισμικής τρωτότητας των εκτεταμένων δικτύων, απαιτούν την χρήση χαρτών με τη χωρική κατανομή διαφορετικών παραμέτρων της εδαφικής κίνησης, ανάλογα με το είδος του στοιχείου που εκτίθεται σε κίνδυνο (π.χ. αγωγός, δεξαμενή, κτίριο) και φυσικά για διαφορετικής έντασης σεισμικά σενάρια.

### Αποτίμηση της τρωτότητας

Η αποτίμηση των πιθανών αστοχιών πραγματοποιήθηκε για όλα τα δίκτυα και τις κρίσιμες υποδομές στην Θεσσαλονίκη, με βάση τα αποτελέσματα της μικροζωνικής μελέτης για τα τρία σεισμικά σενάρια. Για κάθε δίκτυο και συνιστώσα δικτύου εκτιμήθηκε η πλέον κατάλληλη συνάρτηση τρωτότητας, συνήθως από τη διεθνή βιβλιογραφία. Υπενθυμίζεται ότι οι συναρτήσεις τρωτότητας δίνουν την πιθανότητα το υπό εξέταση στοιχείο να βρίσκεται ή να έχει υπερβεί ένα δεδομένο επίπεδο βλάβης (π.χ. μικρές, μέτριες, εκτεταμένες, πλήρεις), υπό την επίδραση μιας σεισμικής διέγερσης συγκεκριμένης έντασης (Pitilakis et al., 2005).

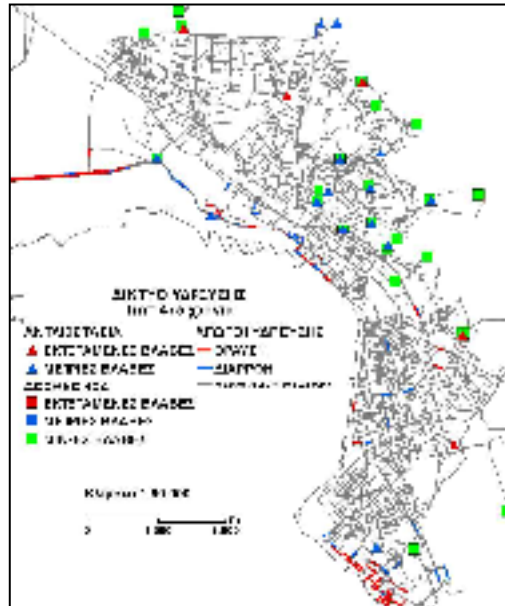
Η πρόταση των πλέον κατάλληλων σχέσεων τρωτότητας και η επιλογή καμπυλών τρωτότητας, βασίστηκε στην αξιολόγηση των διαθέσιμων μεθόδων αποτίμησης της τρωτότητας, σε συνδυασμό με τα τυπολογικά χαρακτηριστικά της κάθε συνιστώσας και τα δεδομένα αστοχιών από σεισμούς του ελλαδικού χώρου όπου αυτά υπήρχαν (π.χ. Λευκάδα). Σε ορισμένες περιπτώσεις, όπως για παράδειγμα για τις σήραγγες μικρού βάθους, παρήχθησαν νέες αναλυτικές σχέσεις τρωτότητας (Αργυρούδης και Πιτιλάκης, 2008).

Στη Θεσσαλονίκη μελετήθηκαν όλα τα δίκτυα ωφέλειας και οι σχετικές υποδομές, όπως τα δίκτυα ύδρευσης αποχέτευσης και φυσικού αερίου, τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας και τηλεπικοινωνιών, τα συγκοινωνιακά δίκτυα συμπεριλαμβανομένου του λιμένα και του αεροδρομίου, το δίκτυο πυρόσβεσης, τα νοσοκομεία κ.τ.λ. Στη συνέχεια, για λόγους οικονομίας χώρου, παρουσιάζονται δύο χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτίμησης της τρωτότητας.

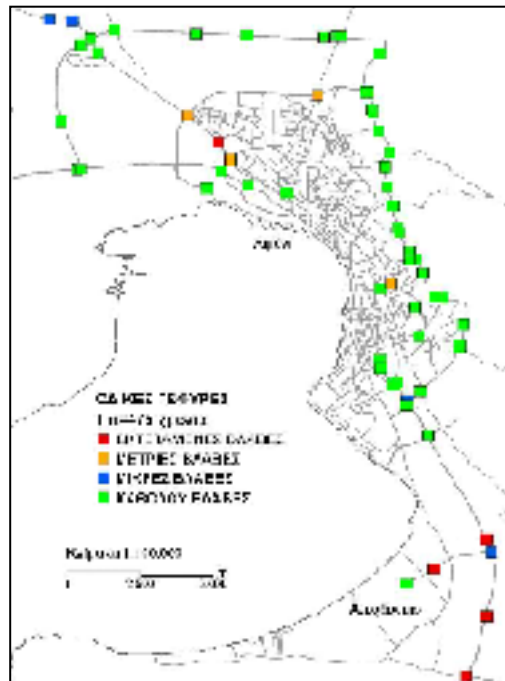
*Η αποτίμηση των πιθανών αστοχιών πραγματοποιήθηκε για όλα τα δίκτυα και τις κρίσιμες υποδομές στην Θεσσαλονίκη με βάση τα αποτελέσματα της μικροζωνικής μελέτης και κατάλληλες σχέσεις τρωτότητας.*



*Η έκταση και η θέση των βλαβών στα δίκτυα, σχετίζονται με τη χωρική κατανομή της σεισμικής διέγερσης του κάθε σεισμικού σεναρίου, καθώς και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των εξεταζόμενων υποδομών.*



**Σχήμα 4:**  
Αποτίμηση της τρωτότητας και κατανομή βλαβών για το δίκτυο ύδρευσης της Θεσσαλονίκης ( $T_m = 475$  χρόνια) (Alexoudi et al, 2007).



**Σχήμα 5:**  
Κατανομή βλαβών για τις οδικές γέφυρες της μητροπολιτικής περιοχής της Θεσσαλονίκης ( $T_m = 475$  χρόνια).

*Η ιεράρχηση της σπουδαιότητας των υπό κίνδυνο στοιχείων, αποτελεί το κλειδί για τον καθορισμό στρατηγικών διαχείρισης της κρίσης.*

### Δίκτυο ύδρευσης

Το δίκτυο ύδρευσης της Θεσσαλονίκης αποτελείται περίπου από 1.350 km αγωγών, για τους οποίους αναπτύχθηκε μια κατά το δυνατόν πλήρης βάση δεδομένων. Η αποτίμηση των αναμενόμενων βλαβών (διαρροές και/ή θραύσεις) έγινε με βάση τον υπολογισμό του αναμενόμενου συντελεστή επιδιορθώσεων ανά km (RR/km). Χρησιμοποιήθηκε δε κατάλληλη σχέση τρωτότητας που προτείνεται από το HAZUS (NIBS, 2004), στην οποία το επίπεδο της σεισμικής διέγερσης καθορίζεται από την τιμή της μέγιστης εδαφικής ταχύτητας (PGV).

Για την αποτίμηση των αναμενόμενων βλαβών λόγω εδαφικής αστοχίας συναρτήσε της μόνιμης εδαφικής παραμόρφωσης λόγω ρευστοποίησης, χρησιμοποιήθηκε αντίστοιχη σχέση τρωτότητας. Η αποτίμηση της τρωτότητας για τις δεξαμενές και τα αντλιοστάσια πραγματοποιήθηκε με χρήση κατάλληλων καμπυλών τρωτότητας με βάση τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των υπό εξέταση στοιχείων. Το σχήμα 4 παρουσιάζει την χωρική κατανομή και την έκταση των εκτιμώμενων βλαβών για το σενάριο των 475 χρόνων. Ο αριθμός, η έκταση και η θέση των βλαβών σχετίζονται με τη χωρική κατανομή της σεισμικής διέγερσης για το συγκεκριμένο σενάριο, καθώς και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των εξεταζόμενων στοιχείων.

### Οδικό δίκτυο

Η βάση δεδομένων που δημιουργήθηκε για το οδικό δίκτυο της μητροπολιτικής περιοχής της Θεσσαλονίκης περιλαμβάνει περίπου 600 km δρόμων και 80 γέφυρες. Η αποτίμηση της τρωτότητας περιλαμβάνει την εκτίμηση των άμεσων απωλειών σε γέφυρες και δρόμους, καθώς και των έμμεσων απωλειών, όπως κλεισίματα των δρόμων λόγω κατάρρευσης των παράπλευρων κτιρίων (Αργυρούδης και συν., 2008). Το αναμενόμενο επίπεδο βλαβών για τις γέφυρες υπολογίζεται με την υιοθέτηση καμπυλών τρωτότητας που προτείνονται από το HAZUS (NIBS, 2004), ενώ το σεισμικό σενάριο εισαγωγής αναφέρεται στην μέση τιμή της φασματικής επιτάχυνσης για περίοδο  $T = 1,0$  sec.

Το σχήμα 5 παρουσιάζει για κάθε γέφυρα το εκτιμώμενο δυσμενέστερο πιθανό επίπεδο βλάβης. Η εφαρμογή αποδεικνύει ότι, ενώ η πλειοψηφία των γεφυρών θα αποκριθεί με ικανοποιητικό τρόπο, υπάρχουν ορισμένες γέφυρες, που αναμένεται να υποστούν σοβαρές βλάβες για το συγκεκριμένο σενάριο. Αυτό οφείλεται στην μεγαλύτερη δομική τρωτότητα αυτών και τις υψηλές τιμές της αναμενόμενης φασματικής επιτάχυνσης στην επιφάνεια. Οι τελευταίες αποδίδονται κυρίως στις τοπικές εδαφικές συνθήκες. Για παράδειγμα, στο δυτικό και παράλιο τμήμα της πόλης το έδαφος αποτελείται από βαθιές, μαλακές αλλουβιακές αποθέσεις, ιλλο-αμμώδεις αργίλους έως αργιλώδεις άμμους και ιλύες, με χαμηλή αντοχή και μεγάλη συμπίεσιότητα (κατηγορία C κατά EC8). Επομένως, η αναμενόμενη σεισμική διέγερση στην περιοχή αυτή παρουσιάζει μεγαλύτερη ενίσχυση σε μεγάλες περιόδους.

### Ανάλυση ολικής αξίας

Η ανάλυση και ιεράρχηση της σπουδαιότητας όλων των

συνιστώσων του αστικού δικτύου, είναι πρωταρχικής σημασίας για τον καθορισμό της συνολικής διακινδύνευσης, τον εντοπισμό των ευαίσθητων σημείων και την χάραξη στρατηγικών διαχείρισης του σεισμικού κινδύνου.

Στο πλαίσιο της μεθοδολογίας προτείνεται ένα σύστημα ανάλυσης της «ολικής αξίας» των εκτιθέμενων σε σεισμικό κίνδυνο στοιχείων, που λαμβάνει υπόψη τις συνιστώσες του αστικού δικτύου, καθώς και τις μεταξύ τους σχέσεις, ανά περίοδο λειτουργίας (κανονική, κρίσεως και αποκατάστασης). Η εκτίμηση της ολικής αξίας της κάθε συνιστώσας στηρίζεται σε κατάλληλα κριτήρια (λειτουργικά, κοινωνικά ή/και πολεοδομικά) και κλίμακες. Μέσω αυτής καθορίζονται οι «πρωταρχικές», «σημαντικές» και «δευτερεύουσες» συνιστώσες, καθώς και τα «αδύναμα» στοιχεία του κάθε συστήματος και η αποτύπωση αυτών σε αντίστοιχους θεματικούς χάρτες.

### Στρατηγικές διαχείρισης της σεισμικής διακινδύνευσης

Τα σχέδια για προσεισμική μείωση της διακινδύνευσης πρέπει να στηρίζονται σε κατάλληλα κριτήρια καθορισμού προτεραιοτήτων επέμβασης που συνδυάζουν κατασκευαστικές τεχνικές, εργαλεία οικονομικής ανάλυσης και διαδικασίες λήψης αποφάσεων. Έτσι είναι δυνατό να επιτευχθεί η λήψη κατάλληλων μέτρων για την προσεισμική ενίσχυση του δομημένου περιβάλλοντος, αλλά και την αποτελεσματικότερη οργάνωση για τη διαχείριση της κρίσης και την αποκατάσταση των βλαβών μετά το σεισμό.

Η ιεράρχηση της σπουδαιότητας των υπό κίνδυνο στοιχείων, αποτελεί το κλειδί για τον καθορισμό στρατηγικών διαχείρισης της κρίσης. Οι προτεραιότητες καθορίζονται συνεκτιμώντας τα αποτελέσματα ανάλυσης της «ολικής αξίας», όπου ιεραρχήθηκε η σπουδαιότητα της κάθε συνιστώσας για τις τρεις περιόδους, καθώς και τα αποτελέσματα αποτίμησης της τρωτότητας, οπότε και προσδιορίστηκαν τα αναμενόμενα επίπεδα βλάβης για το κάθε σεισμικό σενάριο. Επιπλέον, ένα αποτελεσματικό σχέδιο διαχείρισης πρέπει να οδηγεί σε ελαχιστοποίηση του απαιτούμενου κόστους και χρόνου αποκατάστασης. Ο τελευταίος εκτιμάται ως συνάρτηση της επαναφοράς της λειτουργικότητας των στοιχείων με τη χρήση κατάλληλων καμπυλών αποκατάστασης, που προσδιορίστηκαν για κάθε συνιστώσα των δικτύων κοινής ωφέλειας και υποδομών. Σε κάθε περίπτωση, ο τελικός χρόνος αποκατάστασης είναι συνάρτηση της οργάνωσης, της δυνατότητας και αμεσότητας λήψης αποφάσεων, του επιπέδου επιχειρησιακής ετοιμότητας και της υλικοτεχνικής υποδομής της πολιτείας, των αρμόδιων υπηρεσιών και των οργανισμών διαχείρισης των δικτύων.

### Συμπεράσματα

Η αποτίμηση και διαχείριση της σεισμικής διακινδύνευσης δικτύων κοινής ωφέλειας και υποδομών αποτελεί ένα πολυσύνθετο θέμα, στο οποίο εμπλέκονται διαφορετικοί τομείς (πολιτικοί, επιστημονικοί, κοινω-

νικοί, οικονομικοί κ.ά.). Πρόκειται για ένα μείζονος σημασίας θέμα, ειδικά για τις περιοχές που χαρακτηρίζονται από υψηλή σεισμικότητα, αλλά και παρουσιάζουν υψηλή συγκέντρωση πληθυσμού και δραστηριοτήτων, όπως συμβαίνει στην περίπτωση των μεγάλων αστικών συγκροτημάτων.

Στην Ελλάδα και στην Ευρώπη γενικότερα, η έρευνα στο συγκεκριμένο θέμα ξεκίνησε σχετικά αργά. Τα τελευταία όμως χρόνια έγιναν ορισμένα θεαματικά βήματα προόδου. Ειδικά η Θεσσαλονίκη διαθέτει σήμερα μια σχεδόν πλήρη μελέτη σεισμικής τρωτότητας των δικτύων της και των συναφών με τη λειτουργία της υποδομών που πραγματοποιήθηκε σε μεγάλο ποσοστό στο πλαίσιο ευρωπαϊκών και εθνικών προγραμμάτων (RISK-UE και SRM-LIFE αντίστοιχα).

Στην παρούσα εργασία περιγράφηκαν πολύ συνοπτικά τα κυριότερα βήματα της προτεινόμενης μεθοδολογίας, στην οποία οι αβεβαιότητες που υπεισέρχονται είναι πολλές. Ωστόσο, η αποτίμηση της σεισμικής διακινδύνευσης, όπως περιγράφηκε, αποτελεί μια ολοκληρωμένη, επιστημονικά σύγχρονη και υψηλού επιπέδου ανάλυση για τον εντοπισμό των πλέον αδύναμων σημείων ή περιοχών εντός του αστικού ιστού και την διαμόρφωση πολιτικών και στρατηγικών αντιμετώπισης των αναμενόμενων απωλειών.

### Βιβλιογραφία

- Anastasiadis A., Raptakis D., Ptilakis K., (2001), "Thessaloniki's Detailed Microzoning: Subsurface Structure as basis for Site Response Analysis", *Pure and Applied Geophysics - PAGEOPH*, 158(12), pp. 2597-2633.
- Αργυρούδης Σ., Πιτιλάκης Κ. (2008). «Καμπύλες τρωτότητας σφράγγων μικρού βάθους», *3ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας*, 5-7 Νοεμβρίου, Αθήνα, άρθρο 1960.
- National Institute of Building Sciences (NIBS) (2004), "Earthquake loss estimation methodology. HAZUS". *Technical manuals*, FEMA, Washington, D.C.
- Ptilakis K., Alexoudi A., Argyroudis S., Monge O., Martin C., (2005), «Chapter 9: Vulnerability assessment of lifelines», C.S. Oliveira, A. Roca and X. Goula (eds). *Assessing and Managing Earthquake Risk. Geo-Scientific and Engineering Knowledge for Earthquake Risk mitigation: Developments, Tools and Techniques*, Springer Publications.
- RISK-UE, (2001-2004), «An advanced approach to earthquake risk scenarios with application to different European towns», European Commission, 5FP - City of Tomorrow and Cultural Heritage.
- SRM-LIFE, (2003-2007), «Ανάπτυξη ολοκληρωμένης μεθοδολογίας εκτίμησης της σεισμικής τρωτότητας δικτύων κοινής ωφέλειας, υποδομών, κτιρίων στρατηγικής σημασίας για τη διαχείριση του σεισμικού κινδύνου σε πολεοδομικά συγκροτήματα. Εφαρμογή στο πολεοδομικό συγκρότημα Θεσσαλονίκης», *Ερευνητικό πρόγραμμα*, Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας (Γ.Γ.Ε.Τ.).

.....  
*Η Θεσσαλονίκη  
 διαθέτει σήμερα  
 μια σχεδόν πλήρη  
 μελέτη σεισμικής  
 τρωτότητας  
 των δικτύων και  
 υποδομών της.*  
 .....

# Οι επιπτώσεις του σεισμού της Θεσσαλονίκης στην αρχιτεκτονική διεύθυνση της πόλης

του **Νίκου Καλογήρου**,  
καθηγητή του Τμήματος Αρχιτεκτόνων Α.Π.Θ.

Ο σεισμός του 1978 είχε σημαντικές επιπτώσεις στην αρχιτεκτονική διεύθυνση της Θεσσαλονίκης. Λειτουργήσε ουσιαστικά ως καταλύτης, επιταχύνοντας μία σειρά εξελίξεων που ήδη ήταν ορατές στις πρώτες μεταπολεμικές δεκαετίες.

Παρά το γεγονός ότι στατιστικά οι σημαντικές βλάβες από το σεισμό του 1978 στα κτίρια μπορούν να θεωρηθούν σχετικά περιορισμένες, εύλογα προκλήθηκε η εγρήγορση της κοινής γνώμης, καθώς έγιναν ευρύτερα αντιληπτά τα εγγενή προβλήματα του υφιστάμενου κτιριακού αποθέματος αλλά και του τυπικού προτύπου ανάπτυξης της σύγχρονης νεοελληνικής πόλης με την εξαιρετική πυκνοδόμηση των κεντρικών περιοχών.

Έτσι, στα χρόνια που επακολούθησαν παρατηρήθηκε μαζική τάση φυγής από το κέντρο. Αυτή διευκόλυνε την άναρχη επέκταση της Θεσσαλονίκης προς την περιφέρεια, η οποία πήρε νέες μορφές. Στις περιοχές εγκατάστασης προσφύγων και εσωτερικών μεταναστών, οργανωμένες και αυθαίρετες, που βρίσκονταν κοντά στις βιομηχανικές και βιοτεχνικές ζώνες προστέθηκαν νέοι θύλακες κατοικίας υψηλών και μεσαίων εισοδημάτων, εμπορικά κέντρα και αργότερα περιοχές υποδοχής μεταναστών και παλιννοστούτων από την Ανατολική Ευρώπη και τα Βαλκάνια. Η δυναμική και κατακερματισμένη περιφέρεια οδήγησε στη σημερινή διάχυτη αστικοποίηση, φαινόμενο βέβαια παγκόσμιο, στο οποίο οι εξαιρετικές συγκυρίες στη Θεσσαλονίκη, όπως ο σεισμός του 1978, που έδωσε το έναυσμα και η κατάρρευση του υπαρκτού σοσιαλισμού στην ευρύτερη γεωγραφική περιοχή μετά το 1989, αποτέλεσαν ευδιάκριτους σταθμούς.

Δυστυχώς, οι διαστάσεις και η κλίμακα των φαινομένων δεν έγιναν αντιληπτές στο βαθμό που θα έπρεπε. Η συνολική προσπάθεια ρύθμισης του χώρου με την «Επιχείρηση Πολεοδομικής Ανασυγκρότησης» μετά το 1983 και την ίδρυση του Οργανισμού Ρυθμιστικού Σχεδίου Θεσσαλονίκης εγκλωβίστηκε για πολλά χρόνια σε μία αντίληψη ένταξης κατά προτεραιότητα πυκνοδομημένων περιοχών αυθαίρετων και δειλών επεκτάσεων με το σκεπτικό ότι τα υφιστάμενα σχέδια διέθεταν επαρκή χωρητικότητα για τις νέες ανάγκες. Η σημερινή εικόνα μιας ευρύτερης διάχυτης πόλης με πολλαπλότητα χρήσεων, περιοχές ταχύτητα μεταβαλλόμενες, όπου φαινόμενα κατα-

κερματισμού του χώρου και πολλαπλών κοινωνικών αποκλεισμών αποτελούν τον κανόνα, φανερώνει την αδυναμία πρόβλεψης και ελέγχου των πολεοδομικών εξελίξεων. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι παρόλο που τα νέα πολεοδομικά σχέδια πρέπει να προβλέπουν ανοιχτούς χώρους συγκέντρωσης και οδούς διαφυγής μετά από ενδεχόμενους σεισμούς και άλλες φυσικές καταστροφές, σήμερα η κατάσταση είναι προφανώς χειρότερη από το 1978 όχι μόνον εξαιτίας της άναρχης επέκτασης της πόλης, αλλά και από τη γενικότερη ανεπάρκεια σε χώρους πρασίνου και μεταφορικής υποδομής.

Ειδικότερα για την κεντρική περιοχή ο σεισμός του 1978 έδωσε την αφορμή για τη μαζική κατεδάφιση παλαιότερων κτιρίων, πολλά από τα οποία είχαν ιδιαίτερη ιστορική αξία. Την εποχή εκείνη ελάχιστα κτίρια είχαν χαρακτηριστεί ως διατηρητέα και η πολιτική αποκατάστασης και επανάρχησης εντοπιζόταν σε ελάχιστα σημαντικά μνημεία. Έτσι, ο σεισμός συνέτελεσε στην ολοκλήρωση της εφαρμογής του σχεδίου Hébrard σε περιοχές που δεν είχαν καταστραφεί από την πυρκαγιά του 1917 (π.χ. με τη διάνοιξη της οδού Ιασονίδου και την κατεδάφιση των λαϊκών κατοικιών γύρω από την Ροτόντα και πολλών αντίστοιχων στην Άνω Πόλη).

Η εντεινόμενη απώλεια της συλλογικής μνήμης σε μεγάλη κλίμακα δημιούργησε ευτυχώς τις πρώτες αντιδράσεις. Οι εμπειρίες που προέκυψαν από τις αναστηλώσεις των σημαντικών μνημείων έδωσαν την τεχνογνωσία και τα στελέχη που στην επόμενη περίοδο έβαλαν τις βάσεις για την καταγραφή και την προστασία των μνημείων της πρόσφατης περιόδου, ενώ βαθμιαία έγινε συνειδητή και η ανάγκη αναβίωσης ευρύτερων οικιστικών συνόλων. Η εφαρμογή ενός έστω και ανεπαρκούς προγράμματος προστασίας για την Άνω Πόλη και αργότερα για τα Λαδάδικα και τις αγορές του κέντρου, ο χαρακτηρισμός της κεντρικής περιοχής ως ιστορικού τόπου, οι κηρύξεις μεμονωμένων διατηρητέων από το ΥΠ.ΠΟ το Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. και το Υ.ΜΑ.Θ. κατάφεραν, ως ένα βαθμό, να αναστρέψουν το κλίμα και να εγκαινιάσουν μία πολιτική στοιχειώδους προστασίας της ιστορικής πόλης.

Η ενεργός ανάμιξη της Πολυτεχνικής Σχολής και του Τμήματος Αρχιτεκτόνων ειδικότερα κατά την περίοδο μετά τους σεισμούς δημιούργησε τις προϋπο-

θέσεις για μία περισσότερο συστηματική μελέτη και τεκμηρίωση της ιστορικής αρχιτεκτονικής και πολεοδομίας, καθώς και για τη συστηματική διδασκαλία των μεθόδων επέμβασης και αποκατάστασης κτιρίων και συνόλων. Έτσι, σήμερα η αποκατάσταση αποτελεί μία από τις βασικές συνιστώσες του πτυχιακού προγράμματος αλλά και ειδικό αντικείμενο του διατμηματικού προγράμματος μεταπτυχιακών σπουδών στην «Προστασία Συντήρηση και Αποκατάσταση Μνημείων Πολιτισμού» που συντονίζει το τμήμα μας. Ωστόσο, πρέπει να υπογραμμιστεί ότι στην πραγματικότητα η προστασία και η αναβίωση σε επίπεδο ιστορικής πόλης δεν αποτέλεσαν σοβαρή προτεραιότητα για την πολιτεία, με την έννοια της διάθεσης επαρκών πόρων και καθορισμού ενός ενιαίου και συνεπούς πλαισίου που να καθορίζει σαφώς τους όρους και τα όρια των πολιτικών που εφαρμόζονται.

Η εφαρμογή των νέων αντισεισμικών κανονισμών είχε σημαντικές επιπτώσεις και στην αρχιτεκτονική σύνθεση. Η σημαντική αύξηση των στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος στις νέες κατασκευές, σε συνδυασμό με την αυξημένη ανάγκη για μονώσεις και εγκαταστάσεις, καθώς και η παράλληλη εφαρμογή του νέου Γ.Ο.Κ. μετά το 1985 με τους αντίστοιχους κτιριοδομικούς κανονισμούς επηρέασαν σε σημαντικό βαθμό τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό, ο οποίος οφείλει να ενσωματώνει από τα αρχικά στάδια τις νέες αυξημένες απαιτήσεις. Οι αλλαγές αυτές είχαν αντίστοιχες επιπτώσεις στην αισθητική, καθώς δεν ήταν πλέον δυνατή η χρήση των ραδινών υποστυλωμάτων, δοκών

και προβόλων του ελληνικού μοντερνισμού της δεκαετίας του '60, ενώ και η εικονογραφία του εμφανούς σκελετού της περιόδου του μπρουταλισμού ανατρεπόταν, ως ένα βαθμό, από τις ανάγκες υποστήριξης των νέων τεχνολογιών στη δόμηση. Έτσι, στο πλαίσιο της μετανεωτερικής ατμόσφαιρας που βαθμιαία κυριάρχησε, οδηγηθήκαμε σε νέες αρχιτεκτονικές εκφράσεις που αξιοποιούν περισσότερο τις επικαλύψεις και την επιδερμίδα του κτιρίου σε ό,τι αφορά στην εξωτερική αλλά και στην εσωτερική εμφάνιση.

Η εμμονή στη βαριά αντισεισμική κατασκευή με σκυρόδεμα αποτελεί σημαντικό εμπόδιο στη διάδοση των νέων «απελευθερωμένων» αρχιτεκτονικών μορφών που κυριαρχούν αυτή τη στιγμή στο διεθνή χώρο. Η «καθυστέρηση» αυτή έχει και ορισμένα θετικά στοιχεία, καθώς επιτρέπει μία ψυχραιμότερη αποστασιοποίηση από επιπόλαια κινήματα της μόδας, αλλά μακροπρόθεσμα αποτελεί τροχοπέδη για τη συμμετοχή της χώρας μας στη σύγχρονη, παγκοσμιοποιημένα, αρχιτεκτονική σκηνή.

Εκτιμώ ότι μόνο με τη δημιουργική συνεργασία των εμπλεκόμενων ειδικοτήτων, ιδιαίτερα στο χώρο του πανεπιστημίου που οφείλει να είναι ένα φυτώριο προωθημένης έρευνας και εφαρμογών, μπορούμε να εξασφαλίσουμε κατασκευές προωθημένες συνθετικά αλλά και τεχνολογικά που στοχεύουν στην εξελιγμένη ανταπόκριση στα ιδιαίτερα περιβαλλοντικά δεδομένα του μέλλοντος. Οι καταστάσεις κρίσης όπως οι σεισμοί και οι επερχόμενες κλιματικές αλλαγές μπορούν να λειτουργήσουν ως καταλύτες για τις νέες εξελίξεις.

# Μελέτες προστασίας, συντηρήσεως και αναστηλώσεως βυζαντινών μνημείων Θεσσαλονίκης μετά τους σεισμούς του 1978

του Ν. Κ. Μουτσόπουλου,

ομότιμου καθηγητή του Τμήματος Αρχιτεκτόνων Α.Π.Θ.

Κατά τη σύσκεψη η οποία έγινε με εκπροσώπους του Υπουργείου Δημοσίων Έργων, του Υπουργείου Πολιτισμού (επικεφαλής της αρμόδιας Εφορείας), τους υπουργούς δημοσίων έργων και Βόρειας Ελλάδας και καθηγητές του Α.Π.Θ. ανατέθηκε στο γράφοντα η εκπόνηση των αναγκαίων μελετών και η ευθύνη των επεμβάσεων στα μνημεία: *Ροτόντα Αγίου Γεωργίου, καθολικό μονής Βλατάδων και καθολικό μονής Αγίου Ανδρέα Περιστεράς Χορτιάτη* και η πολεοδομική μελέτη της *Άνω Πόλεως της Θεσσαλονίκης* σε συνεργασία με τον καθηγητή Γ. Πενέλη και τους επιστημονικούς του συνεργάτες για θέματα της αρμοδιότητάς τους.

## Α. Ροτόντα

**Εργασίες αποτυπώσεως, συμβατικές και με τη μέθοδο της φωτογραμμετρίας, εργασίες ευρηθριασμού, έρευνες και ανασκαφές στο εσωτερικό και τον περιβάλλοντα χώρο του μνημείου. Προτάσεις στερεώσεως και αναστηλώσεως.**

**Εικόνα 1:**  
Η Ροτόντα με τις προσωρινές αντιστηρίξεις και την εγκατάσταση μεταλλικών ικριωμάτων.



Φαίνεται πως για πρώτη φορά, στις αρχές του 18ου αιώνα, ονομάζει το ναό των Ασωμάτων, την Eski metropolί των χρόνων της τουρκοκρατίας, ο Paul Lucas, «Rotonda» (Paul Lucas, *Voyage du Sieur Paul Lucas, fait par ordre du roi dans la Grèce, L'Asie Mineure, la Macédoine et l'Afrique. Tome premier contenant la description de la Natolie de la Caramanie et de la Macédoine*, Amsterdam 1714, σ. 203-206). Λίγο αργότερα αναγνώρισαν στη Ροτόντα ένα ρωμαϊκό μνημείο των χρόνων του Αυγούστου, του Νέρωνα ή του Τραϊανού ο Felix de Beaujour, που επισκέφθηκε την πόλη την δεκαετία 1787-1797 (Felix de Beaujour, *Tableau du commerce de la Grèce*, τ. I, Paris 1800, σ. 35), ο M.E. Cousinery (*Voyage dans la Macédoine*, τ. I, Paris 1831, σ. 85). Ένα σκίτσο της Ροτόντας από το Γάλλο πρόξενο στην Αθήνα M. Fauvel δημοσιεύει ο Cousinégy στη σ. 34) και ο προσεκτικός W.M. Leake (*Travels in Northern Greece*, τ. III, London 1835, σ. 243). Οι Texier - Pullan μας έδωσαν τις πρώτες αποτυπώσεις της μορφής του μνημείου και έγχρωμες απεικονίσεις του ψηφιδωτού διακόσμου (C. Texier-P. Pullan, *Byzantine Architecture*, London 1864, σ. 132, 143 κ.έ.), που συμπληρώθηκαν επιστημονικά αργότερα από τους Duchesne και Bayet (*Mémoire sur une mission au Mont Athos*, 1876, σ. 249 κ.έ., 319 κ.έ.).

## Συμπεράσματα της αρχαιολογικής έρευνας

Τα ερωτήματα που θέσαμε από την αρχή αναφέρονταν στη μορφολογία της παλαιοχριστιανικής φάσεως και ειδικότερα στις επεμβάσεις και στις προσθήκες που έγιναν στο ρωμαϊκό πυρήνα του μνημείου (εικόνες 2 και 3).

Σε γενικές γραμμές ήταν γνωστός ο ισόγειος κυκλικός, περιφερικός διάδρομος που προστέθηκε στο μνημείο, το μεσημβρινό πρόπυλο και κάποια κτίσματα δυτικά, εξωτερικά από το διάδρομο, ήδη από την εποχή του Hébrard (*B.C.H.* 44, 1920), καθώς και η ύπαρξη δύο συμμετρικών προσκισμάτων στο παλαιοχριστιανικό πρόπυλο, από τον Dyggve (Πρβλ. πρόχειρα τις κατώψεις του E. Dyggve στο Χ.Ι. Μακαρόνα, «Χρονικά Αρχαιολογικά», *Μακεδονικά*, τ. Α'(1940) 467, εικ. 2, II, 472, εικ. 7).

Όμως δεν ήταν γνωστή η ακριβής μορφή (όπως

αποδείχθηκε) των συμμετρικών προσκτισμάτων στο πρότυπο ούτε η ακριβής διαμόρφωση της αψίδας του ιερού ούτε ο τρόπος που αρθρώνεται στον κεντρικό, αρχικό, ρωμαϊκό πυρήνα ο κυκλικός περιδρόμος κατά τη μετατροπή του παγανιστικού ναού σε εκκλησία κατά την παλαιохριστιανική εποχή (ca. 400).

Οι πιο πάνω απορίες, μαζί με την προσπάθεια διερευνήσεως των διαδοχικών φάσεων του μνημείου, αποτέλεσαν μια παράλληλη ενασχόλησή μας, πλάι στη μέριμνα για την αποκατάσταση των ζημιών του μνημείου κατά το διάστημα της παραμονής μας, έναν ολόκληρο χρόνο, στο χώρο της Ροτόντας.

\*

Το επιστημονικό συνεργείο που εργάστηκε στη Ροτόντα αποτελούνταν από αρχιτέκτονες, επικεφαλής των οποίων ήταν ο Πέτρος Δεβολής, ο οποίος κατασκεύασε και τα απαραίτητα αρχιτεκτονικά προγράμματα για τη μελέτη της στατικής καταστάσεως του μνημείου και για την καταγραφή των ρηγματώσεων. Εργάστηκαν επίσης οι αρχιτέκτονες: Μαρία Αρακαδάκη, Κ. Πιτένης, Χ. Ιωαννίδης, Δ. Αϊβαζόγλου, Β. Αλεξίου, Ρ. Τρυφιάνη και οι σχεδιάστριες Δ. Παντελιάδου, Αικ. Λυμπέρη και Αθ. Λυμπέρη. Στις εργασίες ανασκαφής εργάστηκαν οι αρχαιολόγοι: Ε. Βαγδατζόγλου, Ε. Ζάμπα, Α. Καλφαγιάν και Ε. Ασπιώτη.

Στο διάστημα αυτό μπορέσαμε να αποτυπώσουμε με ακρίβεια το μνημείο με παραδοσιακή μέθοδο και με φωτογραμμετρική, με τη βοήθεια επιστημονικού συνεργείου της ειδικής υπηρεσίας που συνεστήθη από το Υπουργείο Δημοσίων Έργων (Υ.Α.Σ.Β.Ε.) και Πολωνών ειδικών επιστημόνων, με επικεφαλής το δόκτορα Sitek, που έσπευσαν να ανταποκριθούν στην πρόσκλησή μας. Μας δόθηκε επίσης η ευκαιρία, χάρη στα ικριώματα που τοποθετήθηκαν εσωτερικά και εξωτερικά στο μνημείο, να κάνουμε μια σειρά από παρατηρήσεις, που έδωσαν κάποιες απαντήσεις μαζί με τα δεδομένα των στρωματογραφικών τομών στα ερωτήματα που θέσαμε. Η μορφή που έλαβε η Ροτόντα κατά το στάδιο της μετατροπής της σε χριστιανικό μνημείο, γύρω στο 400, ήταν βαθύτατα επηρεασμένη από τα περίκεντρα μνημεία που προϋπήρχαν.

Από την έρευνα, η οποία διενεργήθηκε για τη διαπίστωση της εδράσεως των ισχυρών πεσσών του μνημείου, διευκρινίστηκε ότι εδράζονται σε ενιαίο σταθερό βράχο και ότι η στάθμη του υπόγειου υδάτινου οριζοντα βρισκόταν σε βάθος 6,00 m. κάτω από τη στάθμη του εσωτερικού δαπέδου της Ροτόντας. Τελικά, η διερεύνηση και η μελέτη στεραιώσεως και σταθεροποιήσεως της στατικής καταστάσεως του μνημείου οδήγησαν την επιστημονική ομάδα στην πρόταση της αντιστρέψιμης λύσεως της ενισχύσεως της εδράσεως του τρούλου της Ροτόντας με ένα ισχυρό μεταλλικό νάρθηκα αποτελούμενο από σειρά υπάλληλων προεντεταμένων δακτυλίων (εικόνα 1). Ελάβαμε μέριμνα για την αντικατάσταση των τραυματισμένων ή καταπονημένων κυβολίθων στην εξωτερική επιφάνεια της τοιχοποιίας, την αφαίρεση των

σαθρών κονιαμάτων και την εκ νέου αρμολόγηση των αρμών και σε ειδικά σημεία των ρηγμάτων από σεισμικές δονήσεις έγιναν ενέματα και κάθε δυνατή ενίσχυση στα θεμέλια.

## **B. Οι εργασίες στο καθολικό της Μονής των Βλατάδων**

Το επιστημονικό προσωπικό που εργάστηκε στη μελέτη του καθολικού της Μονής Βλατάδων αποτελούνταν από την Κατερίνα Σημαντηράκη, αρχιτέκτονα, και Αναίτ Καλφαγιάν, αρχαιολόγο. Στην αποτύπωση του καθολικού εργάστηκαν οι φοιτητές της Αρχιτεκτονικής: Εύη Τριπολιτσιώτη και Σωτήρης Θεοφάνους. Στην στατική μελέτη εργάστηκε ο Δημήτρης Λεονταρίδης, πολιτικός μηχανικός. Στην τοπογράφιση του περιβάλλοντος χώρου εργάστηκε ο τοπογράφος μηχανικός Βασίλης Καψάλης.

Λεπτομερές ημερολόγιο των εργασιών και των ανασκαφικών τομών παραδόθηκε, μαζί με τα ευρήματα (αντικείμενα, κεραμική και νομίσματα) στην 9η Εφορεία Βυζαντινών Αρχαιοτήτων.

### **1. Η σημερινή κατάσταση του μνημείου**

Σήμερα το καθολικό αποτελείται από τον παλιό βυζαντινό πυρήνα κολοβωμένο στο αριστερό βόρειο τμήμα που περιβάλλεται από μεταγενέστερες προσθήκες (εικόνα 2). Από το παλιό καθολικό του Παντοκράτορος Χριστού έχει διασωθεί το ιερό με το μεσημβρινό παρεκκλήσι των Αποστόλων Πέτρου και Παύλου που συνδέεται με ένα τμήμα της μεσημβρινής στοάς με το τρίβολο άνοιγμα της και το κάτω από τον τρούλο τμήμα του ναού.

Τα υπόλοιπα τμήματα του ναού είναι μεταγενέστερα, όπως ο βόρειος και ο δυτικός τοίχος, που φαίνονται κτίσματα των επισκευών που έγιναν το 1801. Η μεσημβρινή πλευρά αντικατέστησε παλιότερη κατά την τελευταία επισκευή του 1907, όπως διαβάζουμε σε μαρμάνινη πλάκα, επάνω από τη δυτική είσοδο του ναού.

### **2. Στρωματογραφικές τομές στο εσωτερικό του καθολικού**

Για να προσδιορίσουμε με ακρίβεια τη θέση του αρχικού (αυθεντικού) Β. τοίχους κρίναμε αναγκαίο να σκάψουμε σε διάφορα κρίσιμα σημεία στο εσωτερικό του ναού για να επαληθεύσουμε τη θέση της αρχικής θεμελιώσεως του Β. τοίχου. Με την ανασκαφή διαπιστώθηκε αναντίρρητα η απόλυτη συμμετρικότητα του μνημείου και η ύπαρξη της βόρειας συμμετρικής στοάς (περιστώου) (εικόνα 2). Κατά την ανασκαφή αποκαλύφθηκαν τρεις τάφοι στο εσωτερικό του ναού. Τα ευρήματα (κεραμική, νομίσματα κ.τ.λ.) παραδόθηκαν, συνοδευόμενα με λεπτομερή σχέδια στην 9η Εφορεία Βυζαντινών Αρχαιοτήτων.

### **3. Πρόταση αποκαταστάσεως των ζημιών**

Παράλληλα με τις εργασίες αποτυπώσεως και την



καταγραφή των ζημιών, των ρηγματώσεων και γενικά την κατάσταση του μνημείου, έγινε προσπάθεια σε συνεργασία με τους στατικούς της ομάδας Β', με επικεφαλής τον καθηγητή Γ. Πενέλη, να διερευνηθεί η όλη στατική κατάσταση του μνημείου. Διενεργήθηκαν κρουσιμετρήσεις του κονιάματος για την εύρεση της θλαστικής του αντοχής. Η θλιπτική αντοχή του κονιάματος σε συνδυασμό με την αντοχή των βησάλων μάς οδήγησε στην εύρεση της αντοχής της τοιχοποιίας. Στη συνέχεια έγιναν ηχομετρήσεις του κονιάματος για την ανεύρεση του μέτρου ελαστικότητας του και σε συνδυασμό με την ανεύρεση του μέτρου ελαστικότητας των βησάλων μας προσδιόρισε το μέτρο πλαστικότητας της τοιχοποιίας.

Οι πιο πάνω θλιπτικές αντοχές και τα μέτρα ελαστικότητας χρησιμεύουν τόσο για τη στατική ανάλυση του φορέα, όσο και για την εκλογή του κονιάματος για την εκτέλεση των ενεμάτων στα σημεία που εμφανίζονται επικίνδυνες ρηγματώσεις.

Από τη στατική επεξεργασία των κρουσιμετρήσεων και των ηχομετρήσεων που έγιναν στο καθολικό της Μονής Βλατάδων προέκυψε μέση ολιστική αντοχή για το εξωτερικό στρώμα του κονιάματος  $18 \text{ kg/cm}^2$  και μέτρο ελαστικότητας κονιάματος  $EC = 6792 \text{ kg/cm}^2$ .

Ύστερα από σειρά διαπιστώσεων αποφασίσαμε να διατηρήσουμε το μνημείο στο σημερινό του όγκο,

επιδιορθώνοντας τις κακές επεμβάσεις, ιδίως ως προς τη στέγαση που αλλοιώνει φρικτά την προβολή των κομφών μορφών των κεραιών του σταυρού του κεντρικού βυζαντινού πυρήνα.

## Γ' Μελέτη συντηρήσεως και αποκαταστάσεως του καθολικού της Μονής Αγίου Ανδρέα Περιστέρας

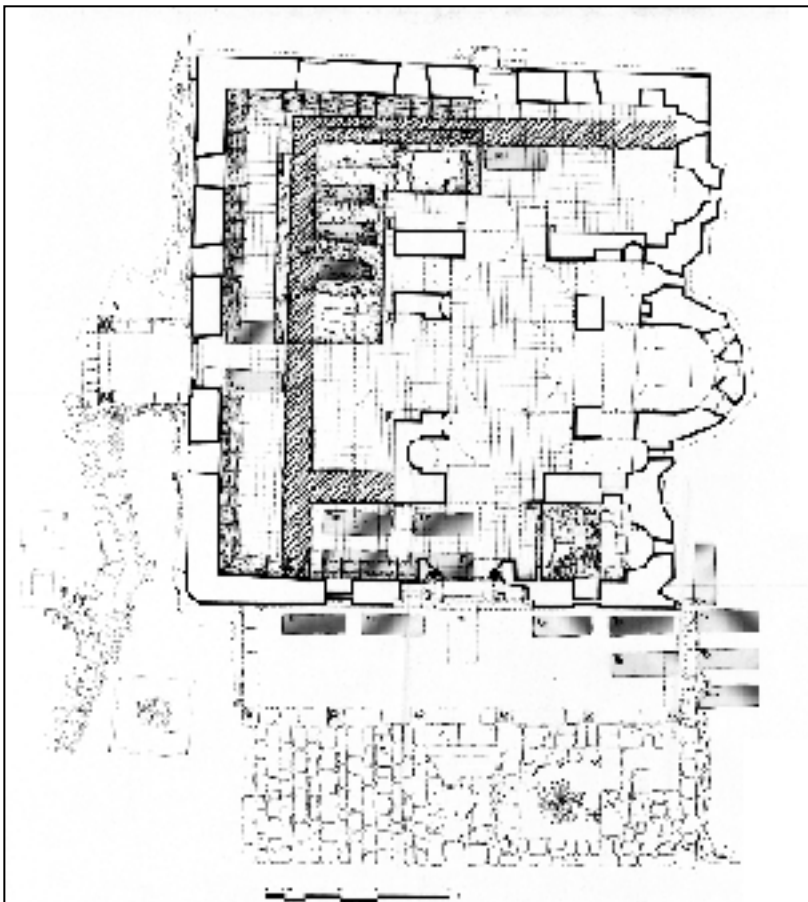
### 1. Το καθολικό της μονής

Το καθολικό της μονής του Αγίου Ανδρέα Περιστέρας επεσήμανε πρώτος ο Ρώσος Porph. Ousprenski (*Αποδημία στα μοναστήρια των Μετέωρων* (ρωσικά), St. Petersburg 1896, σ. 41). Λίγο αργότερα ο Δανός αρχαιολόγος K.F. Kinch (*«Ein Byzantinsk Kirke», Festkrift til J.L. Ussing*, Kobenhaven 1900, σ. 144-145. Βλ. και J. Strygowski, *«Die Baukunst der Armenier und Europa»*, τ. II, Wien 1918, σ. 854) ασχολήθηκε με το ναό, χωρίς όμως να πραγματοποιήσει συστηματική αποτύπωση. Το κενό αυτό ήρθε να συμπληρώσει το 1951, η μελέτη του διδασκάλου μου αείμνηστου Αναστ. Κ. Ορλάνδου («Το καθολικόν της παρά την Θεσσαλονίκην μονής Περιστέρας», *A.B.M.E.*, τ. Ζ', 1951, σ. 146-167. Βλ. και Χρυσάνθη Μαυροπούλου - Τσιούμη, Αργύρη Κούντουρα, «Ο ναός του Αγίου Ανδρέα στην Περιστέρα», *Κληρονομία*, τ. Β', 2, Θεσσαλονίκη 1981, σ. 487-496).

Στο εσωτερικό του καθολικού κυριαρχεί η επαλληλία και η διαδοχή των τόξων που τελικά και με τα τελευταία σε προβολή τόξα στηρίζουν τα βαριά τύμπανα των τρούλων της δεύτερης οικοδομικής φάσεως (αντίστοιχες ενισχυτικές ζώνες, επισημαίνονται και στον Άγιο Δημήτριο του Κατσούρη, στον κάμπο της Άρτας, μνημείο που ο Παν. Βοκοτόπουλος, χρονολόγησε από μορφολογικά και τυπολογικά δεδομένα στον 9ο-10ο αιώνα. [*Η εκκλησιαστική αρχιτεκτονική εις την Δυτικήν Στερεάν Ελλάδα και την Ήπειρον, από του τέλους του 7ου μέχρι του τέλους του 10ου αιώνα, Θεσσαλονίκη 1975, σ. 88, 89*]). Ο τρόπος μεταβίβασης των πιέσεων είναι ο κλασικός και το πολύκογχο σύστημα βοηθάει στην ομαλότερη μεταφορά των δυνάμεων στο έδαφος· ένα έδαφος αρκετά σαθρό μια και στα σπλάχνα του αναβλύζει η ζωοδότης πηγή της Περιστέρας. Η κάλυψη της θολοδομίας γίνεται με ντόπιες σχιστόπλακες που προστάτεψαν αρκετά καλά μέχρι σήμερα το μνημείο (εικόνα 3).

Κατά το χρονικό διάστημα που είχα την ευθύνη των εργασιών αποτύπωσης και μελέτης αποκατάστασης των ζημιών του μνημείου, έδωσα τις απαραίτητες εντολές και κατευθύνσεις για την καταρχήν προσεκτική και συστηματική αποτύπωση της υπάρχουσας κατάστασής του. Επικεφαλής του συνεργείου ήταν η βοηθός μου Κατερίνα Σημαντηράκη, επιστήμων με μεγάλη πείρα σε αντίστοιχες εργασίες. Τη βοήθησαν στις εργασίες αποτύπωσης και στη σχεδίαση του ναού οι αριστούχοι τελειοφοίτοι της Αρχιτεκτονικής Δημήτρης Θεοδωρίδης και Βαγγέλης Γαβριελιάτος. Στις εργασίες αποτύπωσης και στην οριζοντιογραφία του

**Εικόνα 2:**  
Κάτοψη του καθολικού της Μονής Βλατάδων μετά την αποκάλυψη του αρχικού συμμετρικού Β. και Δ. τοίχου. Σημειώνονται οι θέσεις των τάφων.





**Εικόνα 3:**  
Ανατολική άποψη του  
καθολικού του Αγίου  
Ανδρέα Περιστεράς.

μνημείου βοήθησε και ο τοπογράφος - μηχανικός, επιμελητής στην έδρα της Γεωδαισίας Βασ. Καψάλης, επικεφαλής συνεργείου τεσσάρων τοπογράφων. Με τη συνεργασία όλων αυτών έγιναν σε ποικίλες κλίμακες (1:50, 1:20, 1:10), τα εξής σχέδια:

- α) Κύρια κάτοψη του ναού,
- β) κάτοψη του γυναικωνίτη,
- γ) κατόψεις και τομές των τρούλων,
- δ) άνοψη του ναού,
- ε) πέντε εγκάρσιες τομές,
- στ) τέσσερις όψεις του μνημείου,
- ζ) λεπτομερής αποτύπωση των τρούλων,
- η) λεπτομέρειες των κιόνων και
- θ) λεπτομέρειες των ανοιγμάτων.

Παράλληλα, έγινε πλήρης φωτογράφιση εξωτερικά και εσωτερικά του μνημείου από το γράφοντα και το συνεργάτη μου Δημ. Λυκόπουλο. Φωτογραφήθηκαν επίσης οι ρηγματώσεις του μνημείου και κάθε άλλη τεκτονική λεπτομέρεια χρήσιμη κατά το στάδιο της σύνταξης της μελέτης αποκατάστασης των ζημιών. Με συνεργασία, τέλος, των πολιτικών μηχανικών Γ. Πενέλη (καθηγητή), Κ. Στυλιανίδη και Δ. Λεονταρίδη συντάχθηκε σε πρώτο στάδιο μελέτη με προτάσεις για την πρόχειρη υποστύλωση του κεντρικού τρούλου που παρουσίαζε και τις μεγαλύτερες ζημιές.

Ένα άλλο τμήμα του μνημείου που παρουσίαζε προβλήματα ήταν η στέγη της μεταγενέστερης προσθήκης του νάρθηκα, που είχε αποκτήσει ρήγματα και το νερό πλημμύριζε το εσωτερικό του ναού. Έγινε γενική συντήρηση και αντικατάσταση πολλών κεραμιδιών που είχαν τοποθετηθεί ανάποδα σε προηγούμενη περίοδο.

Επισημάνθηκε επίσης ότι μεγάλο κίνδυνο διατρέχει η ευστάθεια του μνημείου από γειτονικά δέντρα που έχουν αναπτυχθεί υπερβολικά εξαιτίας του νερού που αναβλύζει σε πολύ μικρό βάθος από την επιφάνεια του εδάφους σε όλη τη γειτονική περιοχή. Το ριζικό σύστημα των δέντρων είχε εισχωρήσει βαθειά και υπόσκα-

πτε τα θεμέλια του ναού. Ζητήσαμε με επιμονή και από τον πρόεδρο της κοινότητας και από τον ιερέα να μεριμνήσουν το ταχύτερο για την κοπή των δέντρων.

## 2. Οι στρωματογραφικές τομές

Για να διερευνήσουμε στατικά προβλήματα (μεταφοράς πιέσεων στο έδαφος κ.τ.λ.) στη γωνία του κεντρικού τετραγώνου του ναού, αλλά και για να διαπιστώσουμε τελεσίδικα την εξωτερική διαμόρφωση, αποφασίσαμε να ερευνήσουμε το ΒΔ τμήμα, στο εσωτερικό του ναού, που άλλοτε ήταν εξωτερικό και μετά την προσθήκη του μεταγενέστερου νάρθηκα, γύρω στα 1915, εγκλωβίστηκε.

Η αρχαιολογική έρευνα στο εσωτερικό του ναού αποφασίστηκε να γίνει με δύο αρχαιολογικές τομές στο βόρειο τμήμα του ναού, την τομή Α και την τομή Β. Από τις ταφές που βρέθηκαν μέσα και έξω από τα όρια του αρχικού ναού διαπιστώνεται και εδώ η συνήθεια της ταφής μέσα στους ναούς. Θα μπορούσαμε μάλιστα να υποστηρίξουμε ότι η ταφή Τ<sub>1</sub> ανήκει στον ιδρυτή της μονής Άγιο Ευθύμιο, διαπίστωση η οποία έγινε αποδεκτή από την Εκκλησία ύστερα από ενδελεχή έλεγχο των δεδομένων που υποβάλαμε.

Πρέπει να θεωρηθεί βέβαιο ότι ο πρώτος ναός χτίστηκε επάνω σε έδαφος, όπου από τα ελάχιστα αρχαία όστρακα αγγείων που βρέθηκαν διαπιστώσαμε την ύπαρξη ζωής κατά την ελληνοιστική και ρωμαϊκή τουλάχιστον εποχή στη θέση αυτή, γεγονός που είχαμε διαπιστώσει άλλωστε και από την ανεύρεση των αναγλύφων σε διάφορα σημεία του χωριού, και από την άποψη της συντηρήσεως του μνημείου διαπιστώθηκε η ύπαρξη υπερβολικής υγρασίας που προέρχεται από τα νερά της μισγάγγειας και από άλλα νερά που αναβλύζουν στην άμεση περιοχή.

Με βάση τα σχέδια της αποτύπωσής και των αρχαιολογικών τομών μπορέσαμε να αναπαραστήσουμε με ακρίβεια τη μορφή της κατόψεως του μνημείου κατά την πρώτη παλαιοχριστιανική του φάση (Προτάσεις για την αναδομή της παλαιοχριστιανικής φάσεως υπάρχουν και στη μελέτη των Χρυσ. Μαυροπούλου-Τσιούμη, Αργύρη Κούντουρα, «Ο ναός του Αγίου Ανδρέα στην Περιστερά», *Κληρονομία*, τ. 13, 2, Θεσσαλονίκη 1981, σ. 5-8, όπου τα τρίκογχα προσκτίσματα στο κεντρικό τετράγωνο σε σχήμα ελεύθερου σταυρού στεγάζονται με ημικυλινδρικούς θόλους και στο κέντρο με ασπίδα επί λοφίων [calotte]).

## 3. Επισήμανση ζημιών και προτάσεις αποκατάστασής τους

Δυστυχώς, μας είναι άγνωστο το οικοδομικό χρονικό του καθολικού. Παρατηρούμε όμως ότι είχε και παλιότερα υποφέρει κυρίως από την υγρασία των θεμελιών αλλά και γενικότερα από την υγρασία και προβλήματα μόνωσης, ώστε χρειάστηκε παλιά να ανακατασκευαστούν ολόκληρα τμήματα της εξωτερικής επιφάνειας των αψίδων (βορείας) και των τυμπάνων

των τρούλλων (ιδίως ΒΑ της κεντρικής σφενδόνης).

Για να επισημανθούν με ακρίβεια οι ρηγματώσεις και να μελετηθεί από τους στατικούς συστηματικά το μνημείο, χρειάστηκε να γίνει μια πλήρης αποτύπωση του. Οι κατόψεις και οι τομές του ναού σχεδιάστηκαν σε κλίμακα 1:50 και σε μεγαλύτερες κλίμακες (1:20) έγιναν λεπτομέρειες των τρούλων. Με την ευκαιρία αυτή έγινε και αποκατάσταση συστηματική και με τη μεγαλύτερη ακρίβεια των οικοδομικών φάσεων του μνημείου.

Η πρότασή μας, εκτός από τις επεμβάσεις για την επούλωση των τραυματισμών του μνημείου, ιδίως των ρηγματώσεων και τη στήριξη στη βάση τους εξωτερικά των τρούλλων και την εκ νέου προσεκτική του στεγανοποίηση, προβλέπει αφαίρεση του γυναικωνίτη που τόσα δεινά έφερε στο μνημείο. Δυστυχώς, δεν μπορούμε να προτείνουμε ολική αφαίρεση διότι ο νάρθηκας, όπως διαμορφώθηκε, εξυπηρετεί και σήμερα και άλλωστε έχει συνδεθεί με την ιστορία του μνημείου. Άλλωστε, με την αφαίρεση του γυναικωνίτη και τον αυτόματο περιορισμό του ύψους της προσθήκης θα γίνει επαναφορά των μορφών του μνημείου που έχουν κατεδαφιστεί και κρυφτεί κάτω από τις κατασκευές με τα γαλλικά κεραμίδια. Θα συμπληρωθούν επίσης, διότι δεν χρειάζεται πια οπτική επικοινωνία (μετά την αφαίρεσή του) του γυναικωνίτη προς το εσωτερικό του ναού, οι κόγχες που κατεδαφίστηκαν και θα διαμορφωθούν αντίστοιχα τα τεταρτοσφαίριά τους και εξωτερικά. Μετά θα γίνει νέα κάλυψη του μνημείου όλου και του γυναικωνίτη με σχιστόπλακες για να αποκτήσει ενιαίο ύψος. Περισσότερες λεπτομέρειες υπάρχουν στο Β' στατικό μέρος που επιμελήθηκε η ομάδα των συνεργατών στατικών επιστημόνων καθώς και στις κατασκευαστικές λεπτομέρειες που συνοδεύουν.

#### **Δ' Άνω Πόλη της Θεσσαλονίκης**

##### **Πολεοδομική μελέτη, όροι δομήσεως, προτάσεις νέων κτισμάτων, μορφολογικές και κατασκευαστικές λεπτομέρειες.**

Ο σεισμός του 1978 τραυμάτισε εκτός από τα βυζαντινά μνημεία και το παραδοσιακό τμήμα της Θεσσαλονίκης που βρίσκεται στο ψηλότερο σημείο της πόλεως που συνήθως αποκαλείται *Παλιά ή Άνω Πόλη*. Η πολεοδομία της τυχαία ακολουθεί κάποιους πανάρχαιους κανόνες, οι οποίοι σέβονται τη γεωμορφολογία του εδάφους. Οι δρόμοι ακολουθώντας τις υψομετρικές καμπύλες ελίσσονται, δημιουργώντας κλειστά τετράγωνα, όπου οι κατοικίες των ανθρώπων διαμορφώνονται με ικανή εσωστρέφεια γύρω από κλειστές εσωτερικές αυλές, αρθρώνονται ακολουθώντας τον πανάρχαιο πλατυμέτωπο αρχιτεκτονικό τύπο με πλατιά «χαγιάτια» που στρέφονται προς τη μεσημβρία και την ανατολή, δομημένες με ευτελή αρχιτεκτονικά υλικά, ξύλο, *μπαγδατιά* και *τσατμάδες*. Ορισμένοι οντάδες διατηρούν ανοίγματα και προς το εξωτερικό και στα γραφικά *καλντερίμια* διακρίνουμε να προβά-

λουν κατά διαστήματα, δειλά μικρές χαρακτηριστικές προεξοχές («*σαχνισιά*»).

Αυτή την απλότητα των μορφών αγάπησαν οι Θεσσαλονικείς και κατανόησαν τη σοφία που κρύβει, τη σοφία των λύσεων, χώρων, φωτισμού, και λειτουργίας· την ανθρώπινη κλίμακα. Τα πιο αξιόλογα σπίτια στην Άνω πόλη ακολουθούν τα βασικά, τα μορφολογικά στοιχεία της μακεδονικής αρχιτεκτονικής. Ακολουθούν μάλιστα το τελευταίο στάδιο της τυπολογικής εξελίξεως, μιας αστικοποιημένης κοινωνίας.

Η ευκαιρία την οποία έδωσε ο σεισμός, ήταν μοναδική, διότι ο κίνδυνος της ολοκληρωτικής αλλοιώσεως του πολεοδομικού ιστού ήταν μεγάλος· το μπετόν, οι κατασκευές με τα αταίριαστα ύψη είχαν αρχίσει να εισβάλλουν αλλοιώνοντας ολοκληρωτικά την ανθρώπινη κλίμακα του οικισμού (Ν.Κ. Μουτσόπουλος, *Άνω Πόλη Θεσσαλονίκης*, Θεσσαλονίκη 1979, σ. 5-17).

Οι ώρες ήταν κρίσιμες διότι και ο σεισμός είχε προκαλέσει τραυματισμούς και οι κάτοχοι κτισμάτων ήταν φτωχοί και αδύναμοι να δώσουν λύσεις στα μεγάλα προβλήματα της συνοικίας, του σπιτιού τους. Και τα προβλήματα υπήρξαν πολλά και μεγάλα. Απουσία υποδομών, κακή κατάσταση των δρόμων, του δημοσίου φωτισμού, των κοινόχρηστων χώρων.

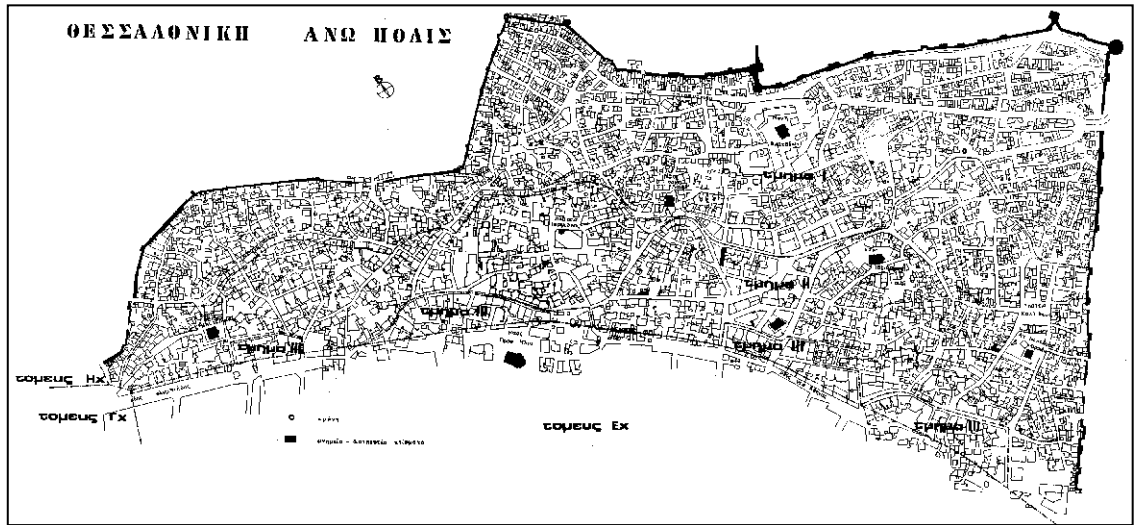
Η εντολή που λάβαμε ήταν ρητή και λιγόλογη. Να γίνουν οι μελέτες (ρυθμιστικές, ρυμοτομικές και ειδικός οικοδομικός κανονισμός) ώστε να μπορέσουν οι κάτοικοι να χτίσουν αμέσως. Ο χρόνος που ορίστηκε ελάχιστος· μονάχα τέσσερις μήνες. Μοναδική ελπίδα η συνεργασία της πανεπιστημιακής ομάδας με τους συναδέλφους του Υπουργείου Δημοσίων Έργων. Η συνεργασία υπήρξε γόνιμη, το κλίμα υποδειγματικό και το πνεύμα προσφοράς προς τους συμπολίτες, κατοίκους της Άνω Πόλεως, μοναδικός γνώμονας που θέρμανε τις ψυχές των εκλεκτών νέων επιστημόνων. Το πιο ευαίσθητα σημεία της μελέτης ήταν εκείνα όπου ο παραδοσιακός κίνναβος ερχόταν σε επαφή και περιέβαλε τα ιστορικά μνημεία, δημιουργώντας ένα αποδεκτό, από την άποψη της αρχιτεκτονικής κλίμακας και ατμόσφαιρας περιβάλλον. Επίσης η γειτονία του τμήματος εκείνου της πόλεως με τα σημεία όπου ήδη έχουν εισχωρήσει κακόμορφες και έξω από κάθε κλίμακα πολυκατοικίες.

##### **Η σύνθεση της επιστημονικής ομάδας**

Αρχιτέκτονες: Μίλτος Μαυρομάτης, Δέσποινα Αϊβάζογλου, Άγγελος Βογιατζής, Νίκος Κουφουδάκης, Κώστας Οικονόμου, Κατερίνα Σημαντηράκη, Βαγγέλης Αδαμογιάννης, Μαρίνα Βαρθολομαίου, Σμαρώ Γκλαβίνα, Κώστας Δεμίρης, Κατερίνα Σημαντηράκη, Γιάννης Δράγκος, Σμαρώ Καλοκάρδη.

##### **Οι εργασίες που έγιναν**

Χρειάστηκε επίπονη καταγραφή όλων των οικοδομών της Άνω Πόλεως. Τα τοπογραφικά συνεργεία ακούραστα κατέγραψαν κάθε λεπτομέρεια και επαλήθευσαν και ενημέρωσαν τις παλιότερες τοπογρα-



Εικόνα 4.

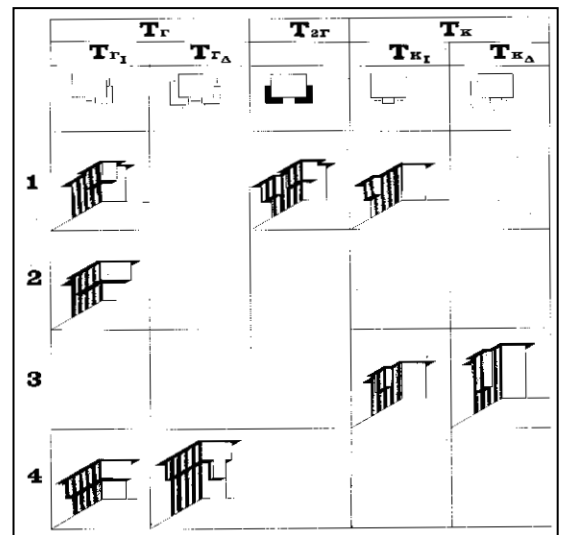
φικές πινακίδες (1:500). Ακολούθησε η προσεκτική μελέτη του οδικού δικτύου, καταγράφηκε η ποιότητά του, μελετήθηκαν διανοίξεις νέων δρόμων, επελέγησαν και διαμορφώθηκαν νέοι ελεύθεροι χώροι. Το κυκλοφοριακό πρόβλημα απασχόλησε ιδιαίτερα τους πολεοδόμους της ομάδας. Η μελέτη σεβάστηκε και ανέδειξε ορισμένες πορείες προς τα κύρια κέντρα ιστορικού ενδιαφέροντος, διότι αποτελούν τους πυρήνες που γύρω τους δημιουργούνται οι γειτονίες με την ιδιόμορφη προσωπικότητά τους (εικόνα 4).

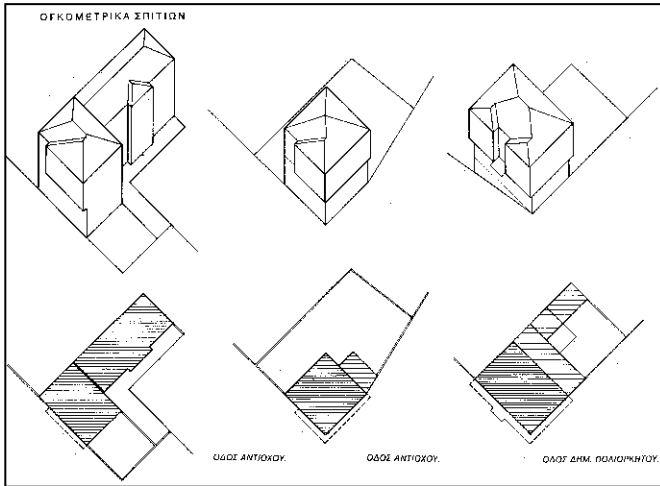
Η μελέτη μερίμνησε να συντάξει ένα αριθμό υποδειγματικών προτάσεων νέων κτισμάτων - κατοικιών, που να μην υστερούν σε κάποιες ανέσεις από τις σύγχρονες οικοδομές, με σύγχρονα υλικά κατασκευής, οι οποίες όμως να σέβονται την ανθρώπινη κλίμακα και τις παραδοσιακές μορφές. Για να διευκολύνουμε τους μελλοντικούς μελετητές συγκεντρώσαμε σε ένα λεύκωμα ένα πλήθος από αρχιτεκτονικές λεπτομέρειες, λύσεις και προτάσεις, οι οποίες θα βοηθήσουν και θα

εμπνεύσουν τους αρχιτέκτονες και θα ενημερώσουν τους ιδιοκτήτες.

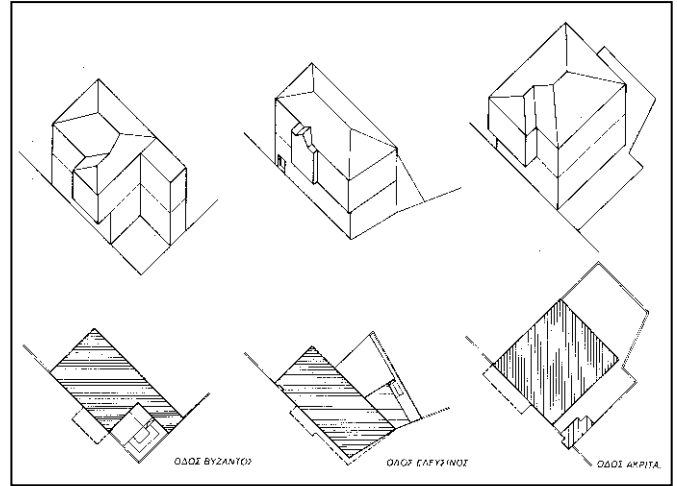
Για να κατανοήσουμε τα προβλήματα την τυπολογία και την μορφολογία της κατοικίας της Άνω Πόλεως, καταγράψαμε σε πίνακες την τυπολογία των αρχιτεκτονικών προεξοχών (εικόνες 5 και 6) και σε ισομετρικά ογκομετρικά σκαριφήματα την άρθρωση των σπιτιών της Άνω Πόλεως (εικόνες 7 ως 9) και παράλληλα έναν αριθμό αναπτυγμάτων στους πιο χαρακτηριστικούς δρόμους (εικόνες 10 ως 13) και σκαριφήματα προτάσεων επιθυμητών μορφολογικών διαπλάσεων επιλεγμένων οικοδομικών τετραγώνων (εικόνα 14) και σχέδια καλύψεως διαφόρων οικοδομικών τετραγώνων (εικόνα 17) και όψεις αναπτυγμάτων σύμφωνα με τον νέο οικοδομικό κανονισμό (εικόνα 18) καθώς και επιλογή μορφολογικών και κατασκευαστικών λεπτομερειών, χαγιάτα, θύρες, παράθυρα, και, τέλος, προτάσεις με υποδειγματικές επιλύσεις σε συγκεκριμένα οικόπεδα (εικόνες 20 ως 25).

Εικόνα 5.  
και  
Εικόνα 6.

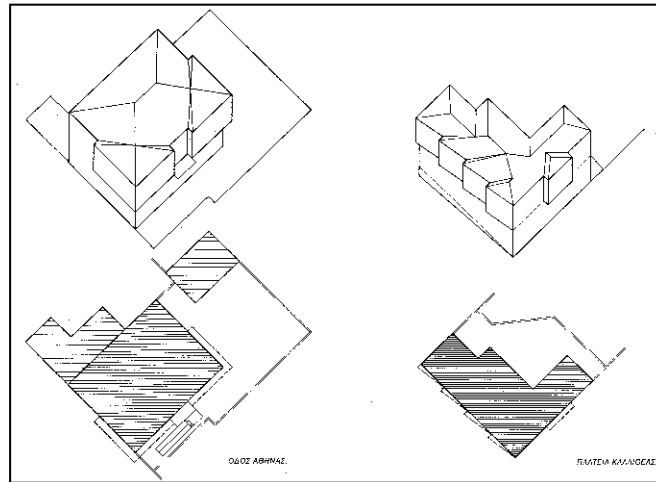




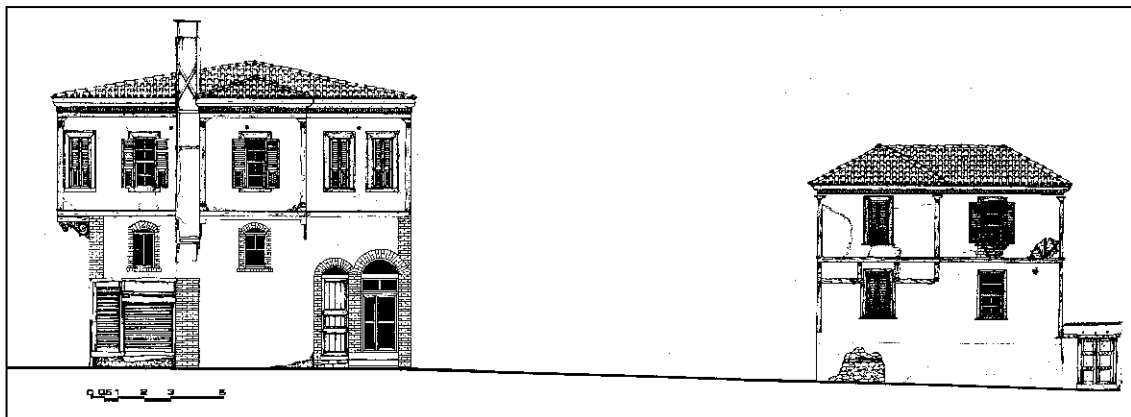
Εικόνα 7.



Εικόνα 8.



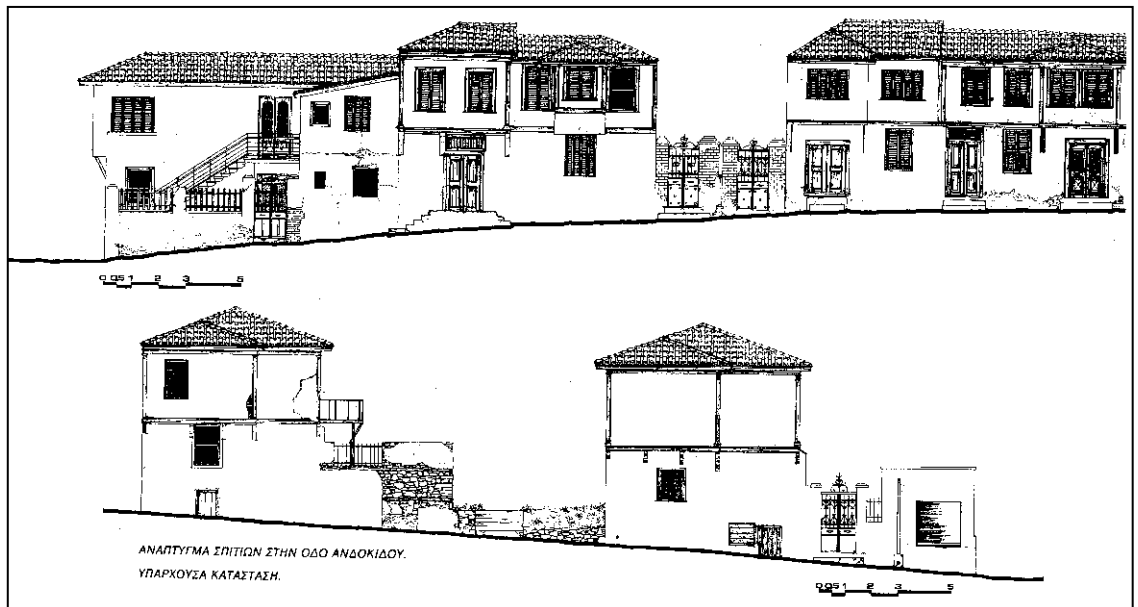
Εικόνα 9.



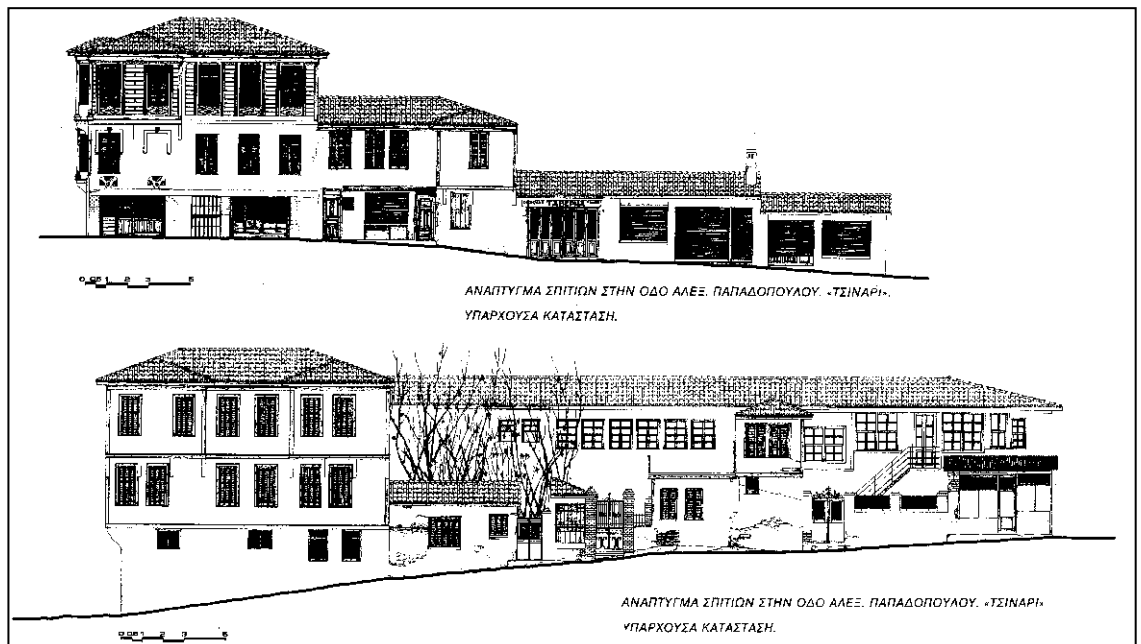
Εικόνα 10.



Εικόνα 11.

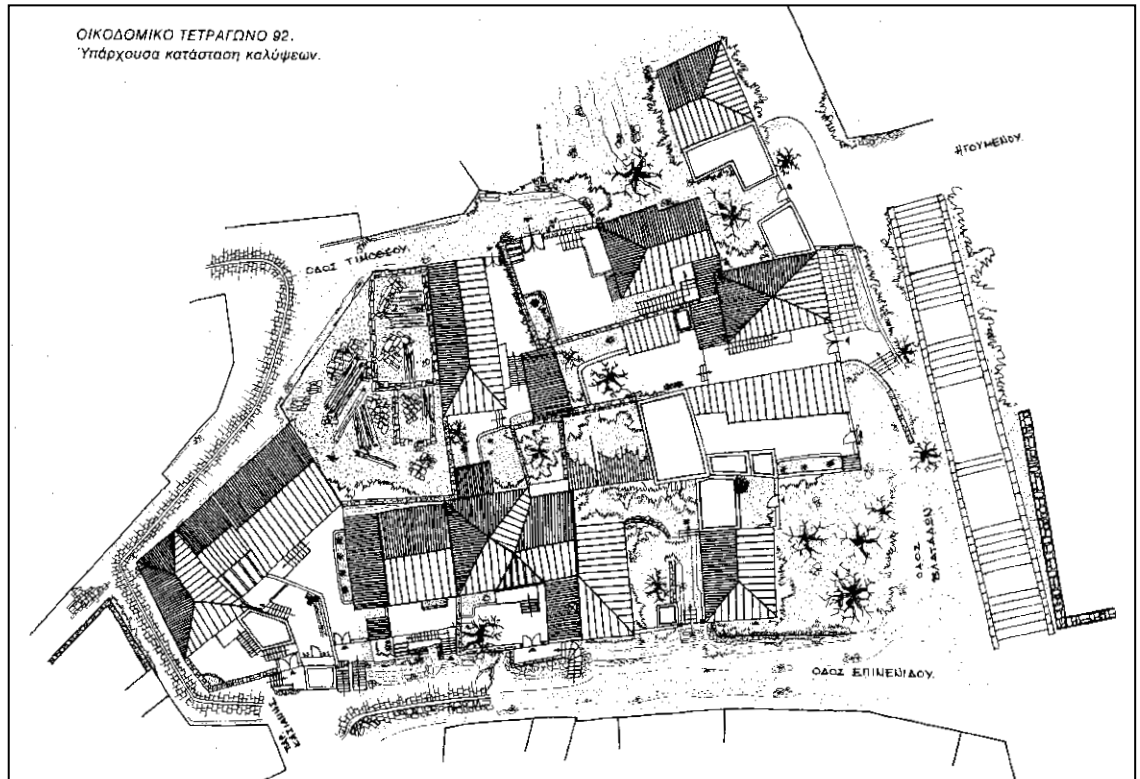


Εικόνα 12.

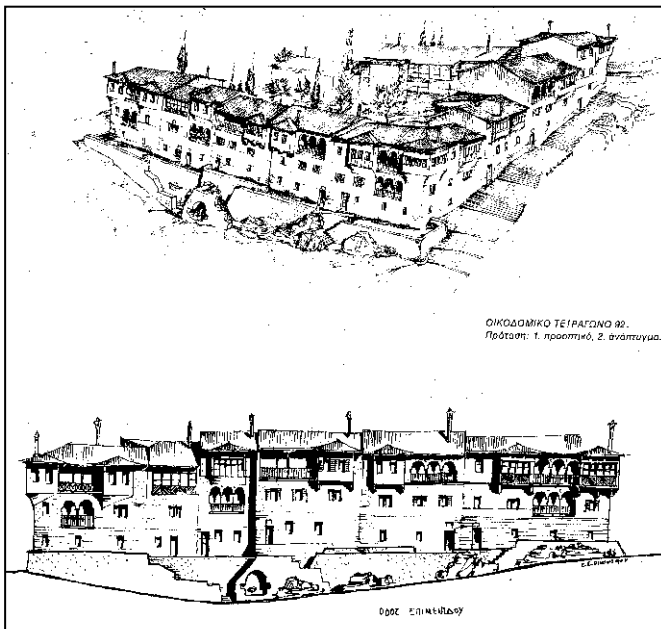


Εικόνα 13.

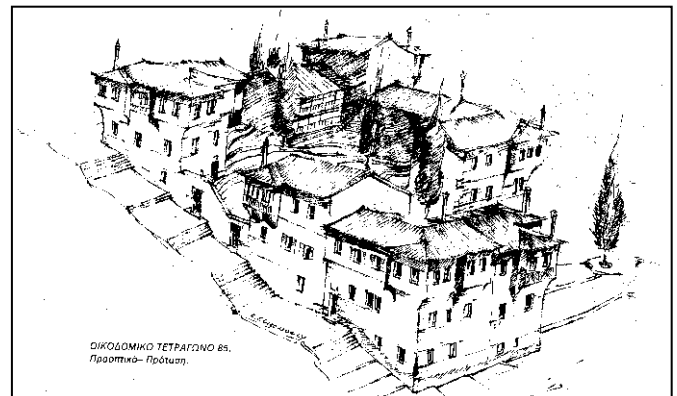




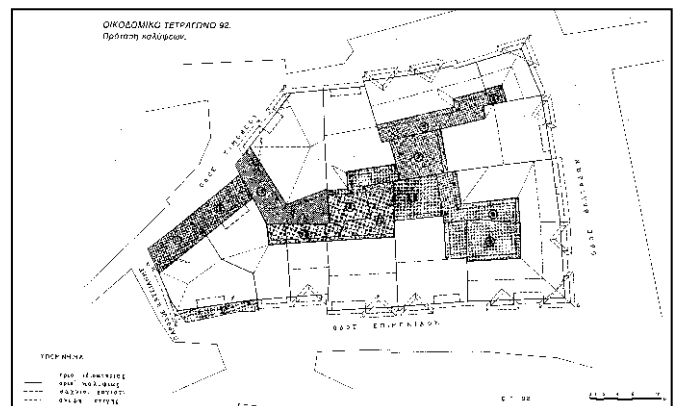
Εικόνα 14.



Εικόνα 15.

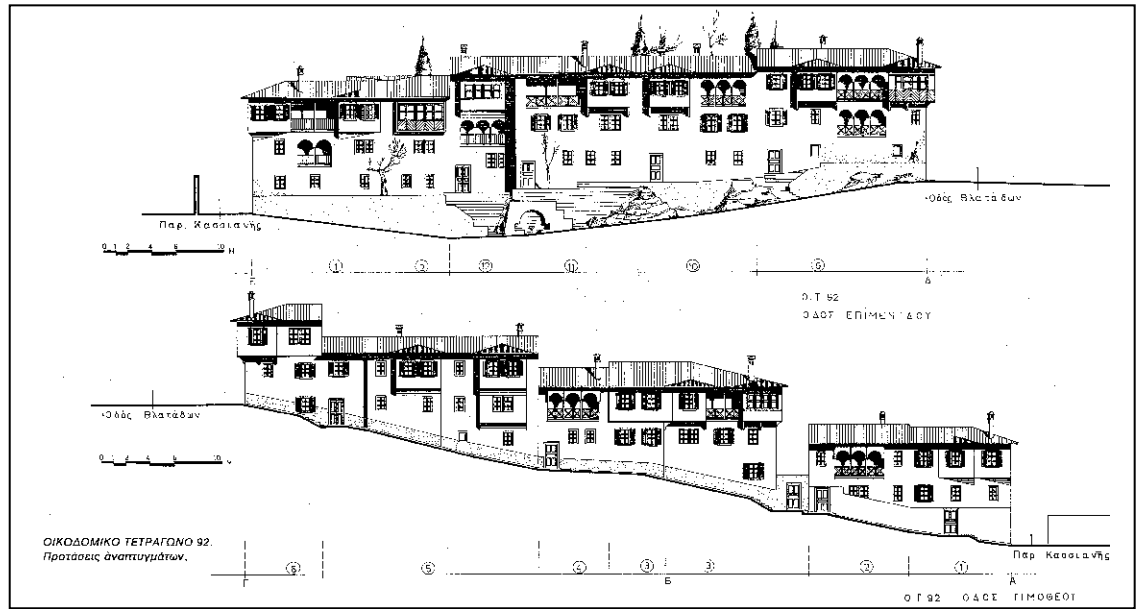


Εικόνα 16.



Εικόνα 17.

Εικόνα 18.



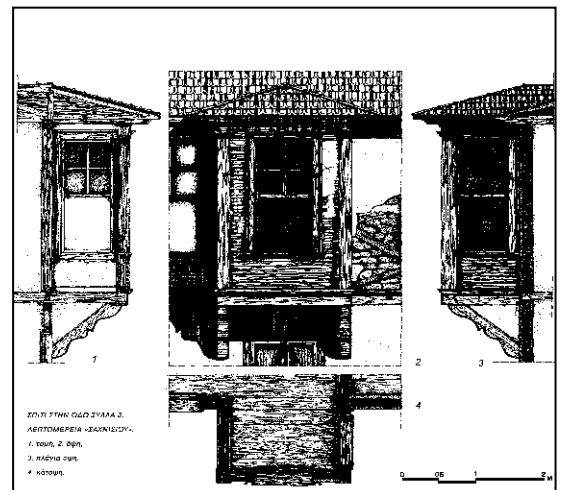
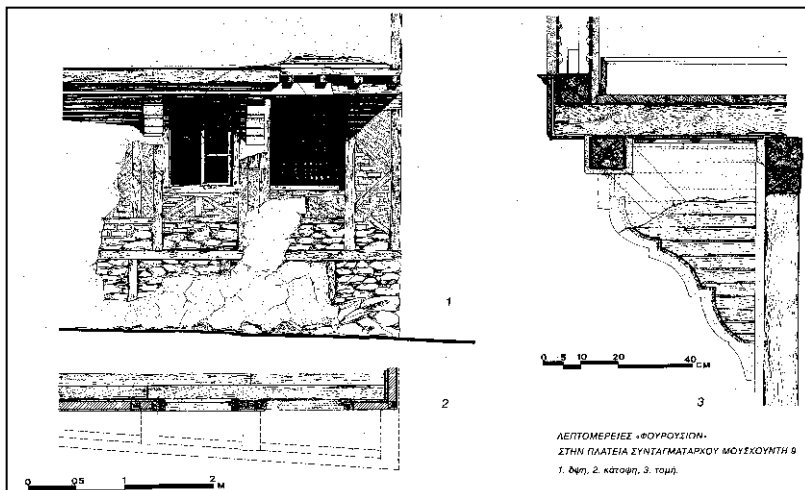
Εικόνα 19.

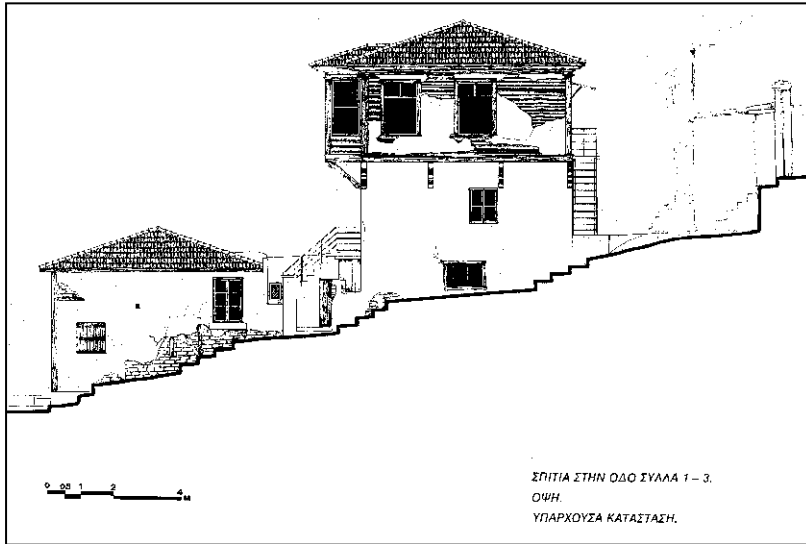


Εικόνα 20.

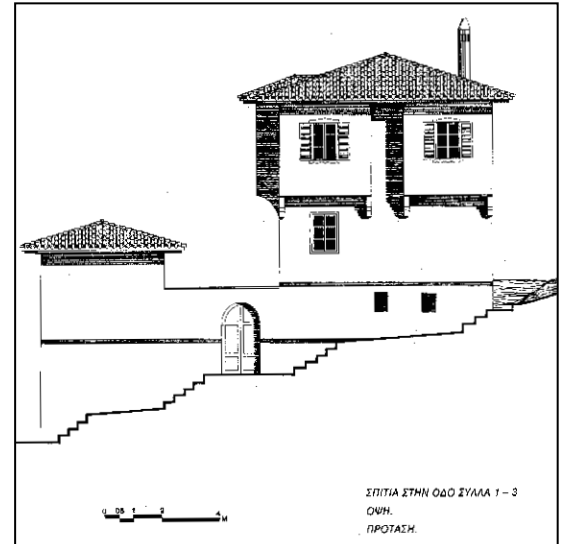
ΚΑΙ

Εικόνα 21.

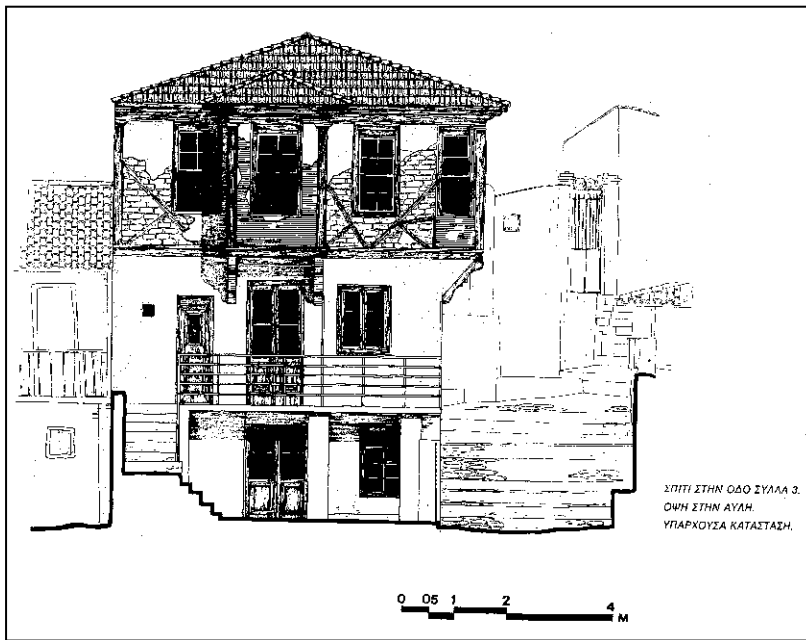




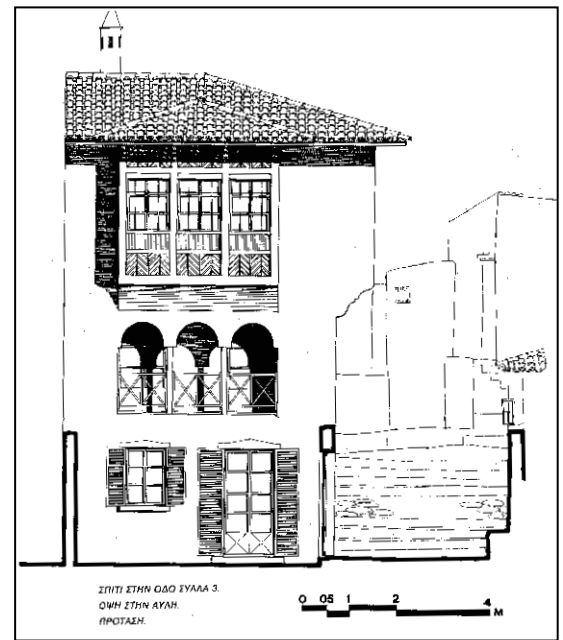
Εικόνα 22.



Εικόνα 23.



Εικόνα 24.



Εικόνα 25.

# Εφαρμογή γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών για την ανάλυση των βλαβών από το σεισμό του 1978 στα κτίρια της Θεσσαλονίκης

## 1. Ανάλυση των βλαβών κτιρίων στο πολεοδομικό συγκρότημα Θεσσαλονίκης στο πλαίσιο του ερευνητικού έργου SEISIMPACT-Thess

του Πάρι Σαββαΐδη,

καθηγητή του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ.,

του Ηλία Τζιαβού,

καθηγητή του Τμήματος Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών Α.Π.Θ.,

του Ιωάννη Δούκα,

αναπληρωτή καθηγητή του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ.,

και του Αριστείδη Βουλγαρούδη,

διπλ. πολιτικού μηχανικού Α.Π.Θ.

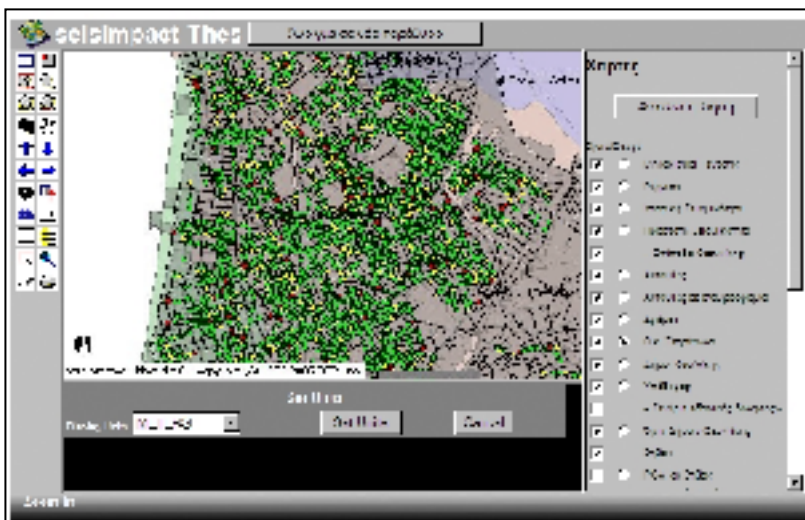
Μετά το σεισμό της Θεσσαλονίκης, δημιουργήθηκε αρχικά μια κατάσταση χάους εξαιτίας του πανικού, των καταστροφών, της έλλειψης πληροφόρησης και των αμέτρητων κλήσεων για βοήθεια, αλλά και για έλεγχο της στατικής κατάστασης και των βλαβών των κτιρίων. Μέχρι τότε δεν υπήρχε κάποια ιδιαίτερη υποδομή και οργάνωση για τέτοιου είδους ελέγχους. Αφού παρήλθε η πρώτη δύσκολη περίοδος, οργανώθηκαν συνεργεία από πολιτικούς μηχανικούς που άρ-

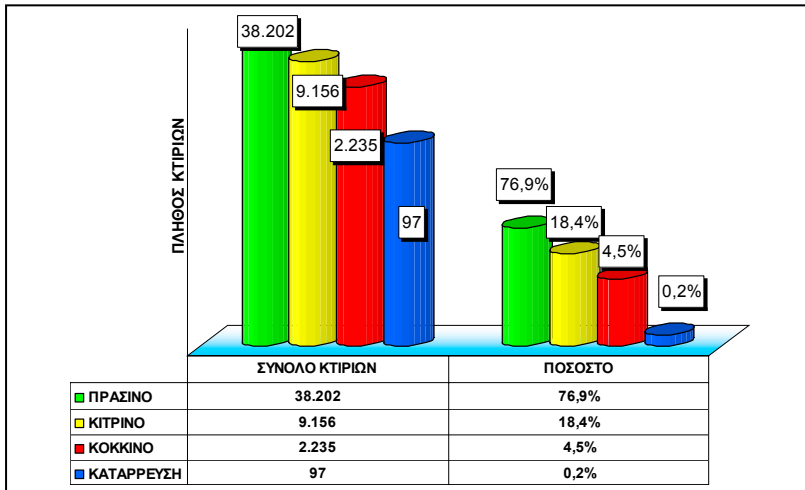
χισαν να ελέγχουν τα κτίρια. Για τις αυτοψίες σχεδιάστηκαν, εκτυπώθηκαν και μοιράστηκαν φύλλα αυτοψιών για την καταγραφή των ζημιών. Η οργάνωση των αυτοψιών έγινε ανά διοικητική περιοχή ευθύνης των αστυνομικών τμημάτων της πόλης, τα οποία αποτέλεσαν και τα πρώτα κέντρα συγκέντρωσης των φύλλων αυτοψιών.

Ο σεισμός της Θεσσαλονίκης υπήρξε η αφετηρία για μια νέα θεώρηση αντιμετώπισης των επιπτώσεων των σεισμών στην Ελλάδα. Έτσι, ιδρύθηκε η Υπηρεσία Αποκατάστασης Σεισμοπλήκτων Βορείου Ελλάδος (Υ.Α.Σ.Β.Ε.), η οποία λειτουργήσε με βάση το νόμο 867/79 υπαγόμενη στο Υ.Π.Ε.Χ.Ω.Δ.Ε. Επίσης, άρχισε να δημιουργείται μια νομοθετική βάση για τη λήψη οικονομικών και τεχνικών μέτρων για την ανακούφιση των σεισμοπαθών. Τέλος, ιδρύθηκαν νέοι φορείς με σκοπό τη μελέτη και το σχεδιασμό μέτρων πρόληψης και ανακούφισης των επιπτώσεων των σεισμών, όπως το Ινστιτούτο Τεχνικής Σεισμολογίας και Αντισεισμικών Κατασκευών (Ι.Τ.Σ.Α.Κ.), η Υπηρεσία Αποκατάστασης Σεισμοπλήκτων (Υ.Α.Σ.) στην οποία υπήχθη η Υ.Α.Σ.Β.Ε. και ο Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (Ο.Α.Σ.Π.).

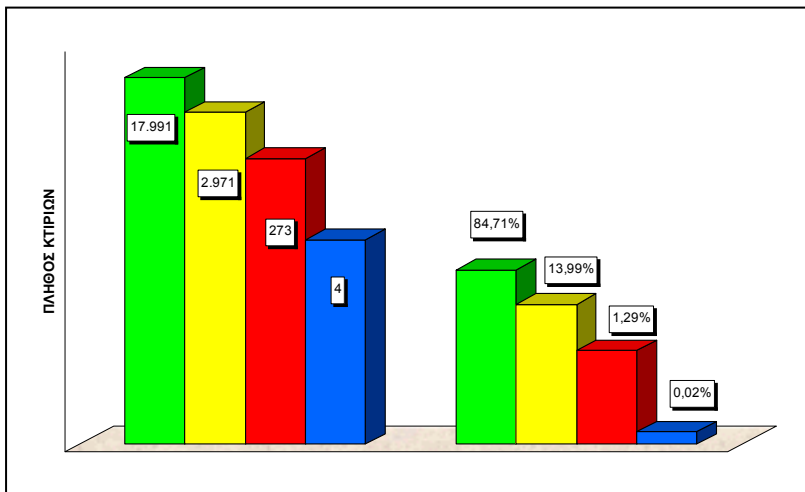
Οι αυτοψίες στην Θεσσαλονίκη και στην περιοχή της ολοκληρώθηκαν μέσα σε χρονικό διάστημα δύο μηνών. Τα κτίρια κατατάχθηκαν σε τρεις κατηγορίες από πλευράς βλαβών και καταλληλότητας χρησιμοποίησης (**πράσινο**: χωρίς σοβαρές βλάβες, κατοική-

**Σχήμα 1.**  
Περιοχή του Δήμου Θεσσαλονίκης με το γενικό χαρακτηρισμό των κτιρίων (πράσινα, κίτρινα, κόκκινα), όπως απεικονίζεται στο σύστημα SEISIMPACT-Thess.

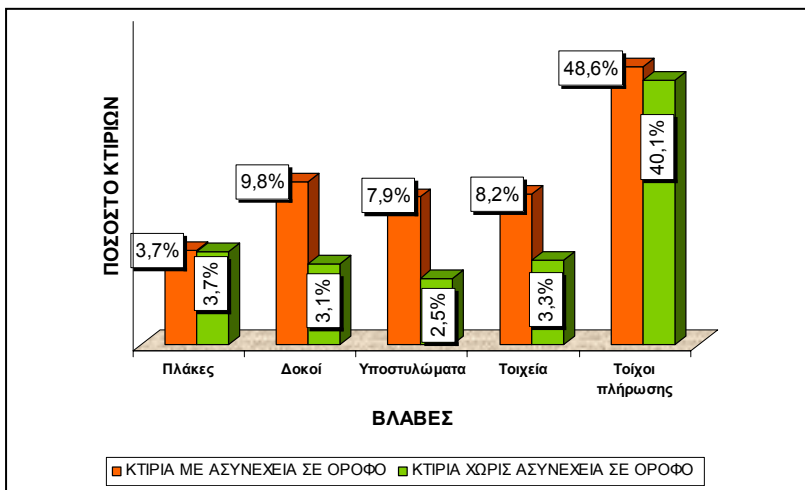




Σχήμα 2: Εκτίμηση καταλληλότητας στο σύνολο των κτιρίων του πολεοδομικού συγκροτήματος Θεσσαλονίκης.



Σχήμα 3: Εκτίμηση καταλληλότητας στα κτίρια με φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα.



Σχήμα 4: Βλάβες που παρατηρήθηκαν σε κτίρια με ή χωρίς ασυνέχεια σε όροφο (πιλοτής).

σιμο, **κίτρινο**: με επισκευάσιμες βλάβες, κατοικήσιμο μετά τις επισκευές, **κόκκινο**: πολύ σοβαρές βλάβες, μη κατοικήσιμο - πιθανόν κατεδαφιστέο).

Το αποτέλεσμα αυτής της καταγραφής ήταν η δημιουργία ενός τεράστιου αρχείου από εκθέσεις αυτοψιών, οι οποίες περιείχαν χαρακτηρισμούς καταλληλότητας των κτιρίων, αλλά και επιπλέον ειδικές πληροφορίες για τις βλάβες που παρατηρήθηκαν, το φέροντα οργανισμό κάθε κτιρίου, όπως και άλλα στοιχεία (π.χ. ύπαρξη πιλοτής, αριθμός ορόφων, υπογείων, εσοχών κ.τ.λ.). Το αρχείο αυτό των περίπου 65.000 αυτοψιών (από τις οποίες περίπου 50.000 σε κτίρια του πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης) παρέμεινε και παραμένει ως σήμερα στην Υ.Α.Σ.Β.Ε. και κατά κανόνα για όλη την περίοδο ύπαρξής του, χρησιμοποιήθηκε σχεδόν αποκλειστικά για μελέτες επισκευής - ανακατασκευής και βέβαια για δανειοδοτήσεις σεισμοπλήκτων ιδιωτών.

Κατά τη χρονική περίοδο 2003-2005 υλοποιήθηκε το ερευνητικό έργο **SEISIMPACT-Thess** (σύστημα εκτίμησης των σεισμικών επιπτώσεων στο δομημένο περιβάλλον του νομού Θεσσαλονίκης) που χρηματοδοτήθηκε από τη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας (Γ.Γ.Ε.Τ.) του Υπουργείου Ανάπτυξης στο πλαίσιο του προγράμματος «Ανταγωνιστικότητα». Το έργο εκπονήθηκε με επιστημονικό συντονισμό το Εργαστήριο Γεωδαισίας και Γεωματικής του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ. και συμμετείχαν ο Τομέας Γεωδαισίας και Τοπογραφίας του Τμήματος Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών Α.Π.Θ., ο Τομέας Γεωφυσικής του Τμήματος Γεωλογίας Α.Π.Θ., το Ινστιτούτο Τεχνικής Σεισμολογίας και Αντισεισμικών Κατασκευών (Ι.Τ.Σ.Α.Κ.) και οι εταιρείες Hellas on Line (HOL) και Agiltech. Το έργο αφορούσε την ανάπτυξη ενός πληροφοριακού συστήματος (λογισμικού) ανοικτής αρχιτεκτονικής για την καταγραφή και διαχείριση των βλαβών από σεισμό στα κτίρια για οποιοδήποτε συμβάν σε οποιοδήποτε μέρος της Ελλάδας, με πιλοτική εφαρμογή τη Θεσσαλονίκη. Έτσι, το αρχείο των αυτοψιών της Υ.Α.Σ.Β.Ε. οργανώθηκε σε ψηφιακή μορφή στο πλαίσιο ενός διαδικτυακού γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών (σχήμα 1) μαζί με γεωλογικά, γεωφυσικά, σεισμολογικά δεδομένα, καθώς στοιχεία προσομοίωσης της αναμενόμενης εδαφικής κίνησης για διάφορα πιθανά σενάρια γένεσης σεισμών.

Με τη βοήθεια των στοιχείων της βάσης δεδομένων με τις βλάβες των κτιρίων έγιναν διάφορες αναλύσεις, όπως χαρακτηρισμός καταλληλότητας κτιρίων συγκεκριμένης γεωγραφικής περιοχής (πράσινο, κίτρινο, κόκκινο), κατανομή βλαβών ανάλογα με το είδος του φέροντος οργανισμού, συχνότερα συναντώμενες βλάβες στο δομημένο περιβάλλον συγκεκριμένης γεωγραφικής περιοχής (βλάβες σε συγκεκριμένα δομικά στοιχεία), συσχέτιση παρατηρούμενων βλαβών και χρήσεων γης, αριθμού ορόφων, ύπαρξης πιλοτής κ.τ.λ. Στα σχήματα 2, 3 και 4 φαίνονται παραδείγματα τέτοιων αναλύσεων.



## 2. Ανάλυση της συμπεριφοράς κτιρίων του ιστορικού κέντρου της Θεσσαλονίκης με τη χρήση ΓΣΠ και 3D ψηφιακών μοντέλων

του Πέτρου Πατιά,

καθηγητή του Τμήματος Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών Α.Π.Θ.

Σε μία άλλη εφαρμογή, το ιστορικό κέντρο της Θεσσαλονίκης (πυρκαϊαστη ζώνη) μελετήθηκε με τη βοήθεια αεροφωτογραφιών της Γ.Υ.Σ. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν αεροφωτογραφίες του έτους 1997, από τις οποίες με χρήση φωτογραμμετρικών τεχνικών δημιουργήθηκε το 3D ψηφιακό μοντέλο της πόλης (έδαφος και κτίρια με οριζοντιογραφική και υψομετρική ακρίβεια της τάξης των 50 cm (σχήμα 5).

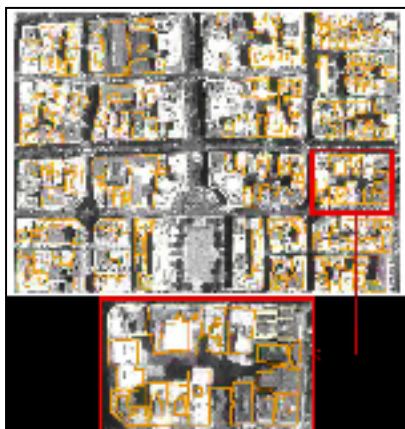
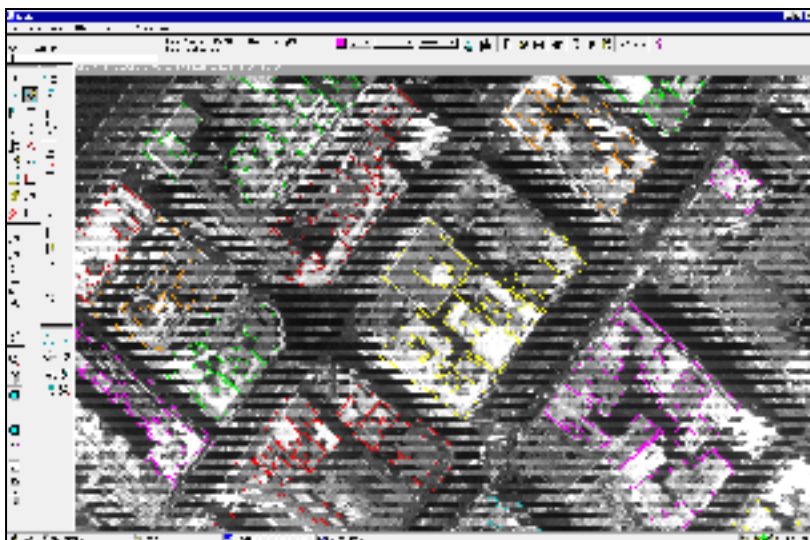
Παράλληλα, αναπτύχθηκε βάση δεδομένων για 1.537 κτίρια, η οποία περιλαμβάνει μια σειρά από πληροφορίες που αφορούν στα χαρακτηριστικά - περιγραφικά στοιχεία (οδό, αριθμό, αριθμό ορόφων,

αριθμό άδειας επισκευής, ληφθέν δάνειο, ιδιότητα διατηρητέου) και στις αυτοψίες των κτιρίων (χαρακτηρισμός της κατάστασής τους μετά το σεισμό), κ.τ.λ. Τα στοιχεία αυτά συγκεντρώθηκαν από τα αρχεία των φακέλων της Υ.Α.Σ.Β.Ε.

Τέλος, ο 3D ψηφιακός πολεοδομικός χάρτης συνδέθηκε με τη βάση δεδομένων και με τον τρόπο αυτό δημιουργήθηκε το σύστημα των γεωγραφικών πληροφοριών (GIS). Έτσι, προέκυψε μια σειρά θεματικών χαρτών με ποσοτικές και χωρικές αναλύσεις. Για κάθε κατηγορία διαχωρισμού κτιρίων (κόκκινα, κίτρινα, πράσινα, μη ελεγμένα κ.τ.λ.) δημιουργήθηκε διαφορετικός θεματικός χάρτης με σκοπό τη βέλτιστη παρουσίαση της υφιστάμενης κατάστασης μετά το σεισμό.

Σε ένα τέτοιο τρισδιάστατο μοντέλο που αναπαριστά με ακρίβεια και αξιοπιστία την πραγματικότητα, μπορεί να εφαρμοστεί ο σχεδιασμός και η διαχείριση έκτακτης ανάγκης με την αξιοποίηση προσομοιωτών και σεισμικών σεναρίων, τα οποία είναι δυνατό να δοκιμαστούν σε αυτό και να ελεγχθούν ως προς την καταλληλότητά τους. Στο πλαίσιο ενός τέτοιου σχεδιασμού και για μία πυκνοκατοικημένη περιοχή –όπως είναι το κέντρο της Θεσσαλονίκης– το μοντέλο αυτό μπορεί για παράδειγμα να χρησιμοποιηθεί:

- Στην ανάλυση και εύρεση των διεξόδων στην περίπτωση που είναι απαραίτητη η εκκένωση των κτιρίων κατά τη διάρκεια μιας υποτιθέμενης καταστροφής (φωτιάς, σεισμού κ.τ.λ.). Μπορεί δηλαδή να χρησιμοποιηθεί στη δημιουργία ενός εκτεταμένου δικτύου ελεύθερων χώρων, σωστά ενταγμένων στον πολεοδομικό ιστό της πόλης.
- Μπορεί ακόμη να χρησιμοποιηθεί στα κέντρα των αστικών πόλεων για την εύρεση της καταλληλότερης διαδρομής που πρέπει να ακολουθήσουν σε περίπτωση κινδύνου ή ατυχήματος, τα πυροσβεστικά οχήματα, οι αστυνομικές δυνάμεις και τα ασθενοφόρα. Η επιλογή της διαδρομής αυτής εξαρτάται από ένα αριθμό παραγόντων, όπως τις αποστάσεις, τα πλάτη των πεζοδρομίων, την κατανομή του κυκλοφοριακού φόρτου, τις καιρικές συνθήκες κ.ά.
- Οι παραγόμενοι χάρτες βοηθούν στην αποτελεσματικότερη επέμβαση της τοπικής αυτοδιοίκησης, δίνοντας μία συνεχή εποπτική εικόνα των προβλημάτων και της πορείας επίλυσής τους.

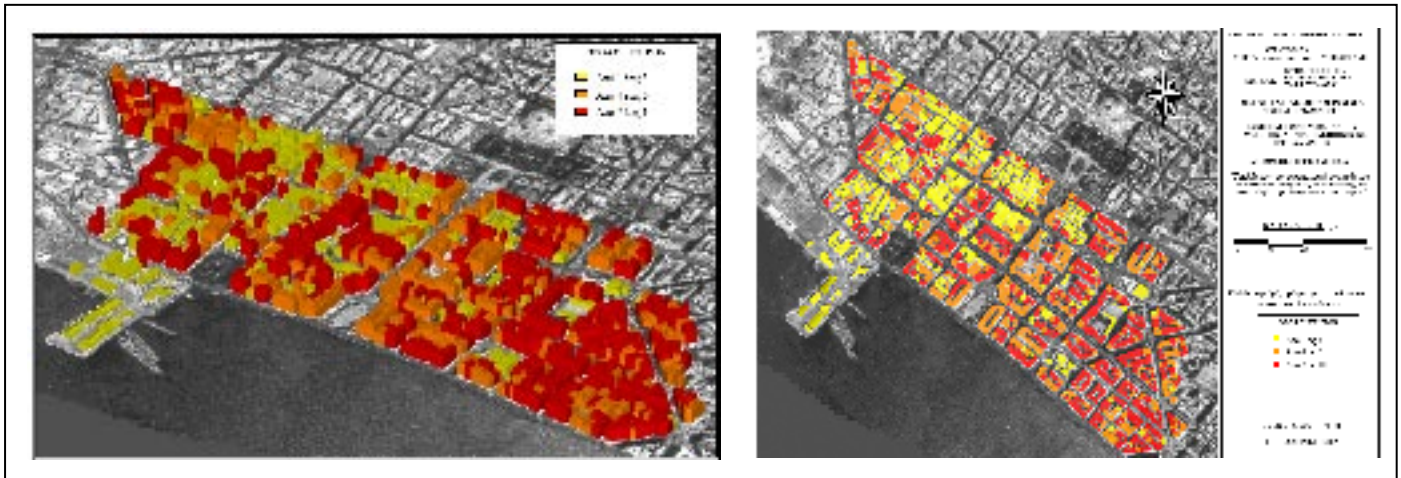


**Σχήμα 5:**  
Τρισδιάστατη φωτογραμμετρική απόδοση κτιρίων.

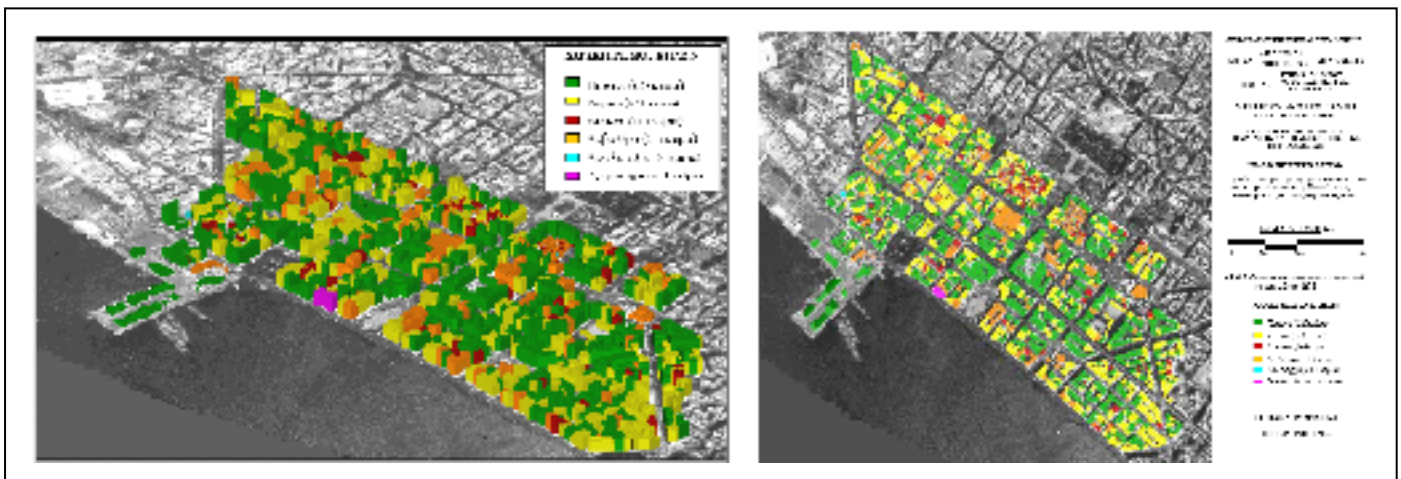
- Το γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών που δημιουργήθηκε αποτελεί τη βάση αναφοράς όχι μόνο κατά τη διάρκεια της κρίσης των ημερών που ακολουθούν ένα μεγάλο σεισμό, αλλά και μελλοντικά για την ανασκόπηση, παρουσίαση, οργάνωση και παρακολούθηση των αλλαγών της περιοχής μελέτης. Με τον τρόπο αυτό υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας χαρτών που αναπαριστούν συγκεκριμένες χρονολογικές περιόδους με αποτέλεσμα την απλή εποπτεία εξέλιξης του συνόλου της κατάστασης. Η μελέτη αυτή τόσο με την έντυπη μορφή των θεματικών χαρτών, όσο και με την ψηφιακή μορφή μέσω της οποίας είναι δυνατός ο συνδυασμός των επιμέρους πληροφοριακών επιπέδων είναι σημαντικό βοήθημα τόσο σε οργανωτικό, όσο και σε επιχειρησιακό επίπεδο σε περίπτωση που η πόλη της Θεσσαλονίκης περιέλθει σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης.

### Βιβλιογραφία

1. Βουλγαρούδης Α., 2006, Χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών για την αξιολόγηση βλαβών από σεισμό σε κτίρια, διπλωματική εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ.
2. Doukas I. and Savva P., 2007, *A web-based GIS System that can be used for management and evaluation of the records of reported damage in buildings connected to the occurrence of earthquakes*, Coordinates, Vol. 3, Issue VII, July.
3. Καραποστόλου Γ., 2002, «Δημιουργία φωτορεαλιστικών διαδρομών στην Πυρικήουστη Ζώνη της Θεσσαλονίκης», μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Α.Π.Θ. στην "Προστασία, Συντήρηση και Αποκατάσταση Μνημείων Πολιτισμού".
4. Patias, P., Karapostolou, G., Simeonidis, 2002, *Documentation and Visualization of historical city cent-*



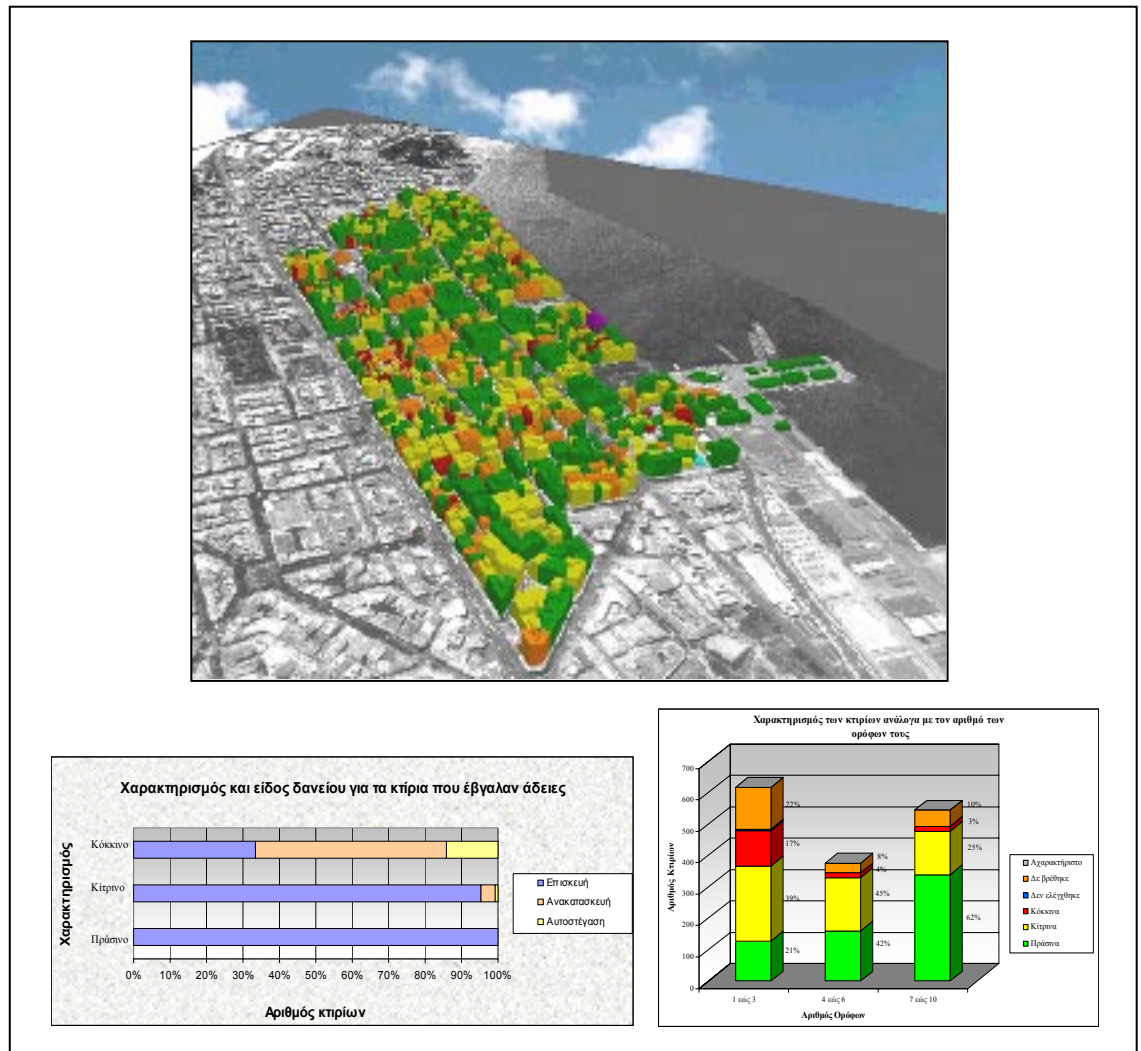
Σχήμα 6: Ταξινόμηση κτιρίων με βάση τον αριθμό ορόφων.



Σχήμα 7: Χαρακτηρισμός καταλληλότητας κτιρίων.



- ers, IAPRS&SIS, Vol. XXXIV, Part 5, Com V, Corfu, Greece, pp. 393-399.
5. Savvaidis P., Doukas I., Hatzigogos Th., Tziavos I.N., Kiratzi A., Roumelioti Z., Savvaidis A., Theodulidis N., Drakatos G., Koutoupes S., Karantonis G., Sotiriadis A., 2004, *Database development and evaluation of earthquake damage reports under the SEISIPACT-THES system*, Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXVI (3), 1509 - 1518.
  6. Savvaidis P., Doukas I., Tziavos I., Kiratzi A., Savvaidis A., Sotiriadis T., Koutoupes S., 2005, *Use of web-based GIS for the assessment of damage due to natural or man-made disasters to the urban environment*, Proceedings Inter. Symp. on "Modern Technologies, Education and Professional Practice in Geodesy and Related Fields", FIG International Symposium, Sofia, 3-4 November, 495-504.
  7. Σοφιανίδου Χριστίνα, 2002, «Τρισδιάστατη φωτογραμμετρική αναπαράσταση του ιστορικού κέντρου της Θεσσαλονίκης και ανάπτυξη GIS για διαχείριση έκτακτης ανάγκης», Μεταπτυχιακή εργασία, Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Γεωπληροφορικής, Τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών ΑΠΘ.
  8. Συμεωνίδης Π., 2002, «Νεότερα μνημεία Πυρκαϊστής Ζώνης Θεσσαλονίκης», Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Α.Π.Θ. στην "Προστασία, Συντήρηση και Αποκατάσταση Μνημείων Πολιτισμού".



Σχήμα 8: Διάφορα στατιστικά στοιχεία.

# Συμβολή της τοπογραφίας στην έρευνα για την πρόγνωση των σεισμών στην Ελλάδα Το δίκτυο Βόλβης

του Δημήτρη Βλάχου,

ομότιμου καθηγητή του Τμήματος Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών Α.Π.Θ.

Η διαχρονική παρακολούθηση των παραμορφώσεων του γήινου φλοιού μέσω τοπογραφικών μεθόδων, αποτελεί μία διεθνώς παραδεχόμενη πρακτική στο πλαίσιο της έρευνας για πρόγνωση των σεισμών. Και τούτο διότι οι τοπογραφικές μέθοδοι έχουν τη δυνατότητα να προσδιορίζουν με την απαιτούμενη μεγάλη ακρίβεια τις θέσεις σημείων του εδάφους, και ως εκ τούτου να επιτυγχάνουν τον εντοπισμό ενδεχόμενων μικρομετακινήσεων τους με την πάροδο του χρόνου. Η κεντρική ιδέα των μεθόδων αυτών έγκειται στον οριζοντιογραφικό και τον υψομετρικό προσδιορισμό αντιπροσωπευτικών σημείων, τα οποία επιλέγονται στην περιοχή γεωλογικών ρηγμάτων, σε διαδοχικές χρονικές περιόδους και στη σύγκριση των αποτελεσμάτων. Εφαρμόζονται εδώ και πολλά χρόνια στις χώρες που αντιμετωπίζουν το πρόβλημα των σεισμών, όπως είναι η Ιαπωνία, οι Η.Π.Α., η Κίνα κ.ά.

Θα ακούσαν ίσως μερικά παραδείγματα σοβαρών οριζοντιογραφικών και υψομετρικών μεταβολών στις θέσεις σημείων του εδάφους, που παρατηρήθηκαν μετά από μεγάλους σεισμούς, για να δικαιολογήσουν το γεγονός ότι σήμερα, σε όλα τα ερευνητικά προγράμματα των ξένων χωρών, οι τοπογραφικές μέθοδοι συμμετέχουν ισότιμα με τις γεωφυσικές - σεισμολογικές μελέτες στην προσπάθεια που γίνεται για την αντιμετώπιση του προβλήματος της πρόγνωσης των σεισμών. Χαρακτηριστικό τέτοιο παράδειγμα αποτελεί η συστηματική εφαρμογή των τοπογραφικών μεθόδων κατά μήκος του ρήγματος του Αγίου Ανδρέα στην Καλιφόρνια των Η.Π.Α.

Κάθε μετακίνηση στο χώρο των τριών διαστάσεων είναι η συνισταμένη μιας οριζόντιας και μιας κατακόρυφης συνιστώσας. Από τοπογραφική άποψη η οριζόντια συνιστώσα προσδιορίζεται με τριγωνισμό ή πολυγωνομετρία ή δε κατακόρυφη συνιστώσα με γεωμετρική ή τριγωνομετρική χωροστάθμηση. Για την εφαρμογή των μεθόδων αυτών πρέπει να μετρηθούν στο έδαφος ορισμένα γεωμετρικά μεγέθη τα οποία είναι γωνίες, αποστάσεις και υψομετρικές διαφορές. Επειδή οι αναμενόμενες μετακινήσεις των ελεγχόμενων σημείων είναι συνήθως μικρές, επιδιώκεται η μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια κατά την εκτέλεση των μετρήσεων και των υπολογισμών. Το γεγονός αυτό επιβάλλει, αφενός μεν τη χρήση οργάνων και βοηθητικού εξοπλισμού μεγάλης ακρίβειας, αφετέρου δε την

εφαρμογή αυστηρών υπολογιστικών μεθόδων. Σήμερα οι προσδιορισμοί των θέσεων των ελεγχόμενων σημείων μπορεί να γίνουν με πολύ πιο εύκολο τρόπο χρησιμοποιώντας το GPS.

Το σοβαρότερο πρόβλημα, που αντιμετωπίζει ο τοπογράφος μηχανικός σε παρόμοιες εργασίες, είναι το να αποφανθεί εάν οι διαφορές που προσδιορίζει με τις διαδοχικές μετρήσεις οφείλονται σε πραγματικές μετακινήσεις των ελεγχόμενων σημείων ή μήπως αυτές δικαιολογούνται από τα τυχαία σφάλματα των μετρήσεων και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του δικτύου που χρησιμοποίησε. Και ως προς τις μετρήσεις έχει ήδη αναφερθεί ότι πρέπει να εξαντλείται η απόδοση των σύγχρονων τοπογραφικών οργάνων. Η δομή του δικτύου όμως εξαρτάται από τη θεωρητική κατάρτιση και την πείρα του μηχανικού, σε συνδυασμό με τους περιορισμούς που επιβάλλει η τοπογραφική διαμόρφωση του εδάφους. Για λόγους οικονομίας και αποτελεσματικότητας είναι χρήσιμο να γνωρίζουμε ή να μπορούμε βάσιμα να αποθέσουμε την τάξη μεγέθους και τις διευθύνσεις των μετακινήσεων που περιμένουμε, προτού προβούμε στην εγκατάσταση του δικτύου. Τα στοιχεία αυτά, σε συνδυασμό με τα γεωλογικά δεδομένα της περιοχής (σύσταση εδάφους, υπάρχοντα γεωλογικά ρήγματα κ.τ.λ.), ορίζουν το πιθανό μοντέλο παραμόρφωσης, με βάση το οποίο γίνεται ο σχεδιασμός του δικτύου κατά τρόπο που η γεωμετρική του δομή, το είδος και το πλήθος των παρατηρήσεων και τέλος η ακρίβεια των διατιθέμενων οργάνων μετρήσεων να επιτρέπουν τον προσδιορισμό των μεταβολών των θέσεων των ελεγχόμενων σημείων με ικανοποιητική ακρίβεια και με το ελάχιστο κόστος (βελτιστοποίηση δικτύου).

Η ακρίβεια των αποτελεσμάτων, δηλαδή οι θέσεις των ελεγχόμενων σημείων, ελέγχεται με τη βοήθεια ποσοτικών κριτηρίων, τα οποία προκύπτουν από την συνόρθωση του δικτύου ως ελεύθερου και ως εξαρτημένου και είναι οι απόλυτες και οι σχετικές ελλείψεις σφαλμάτων μεταξύ των εν λόγω σημείων (βλ. διαγράμματα 2, 3). Εννοείται βέβαια ότι πρέπει να προηγηθεί η στατιστική επεξεργασία των παρατηρήσεων με σκοπό τον εντοπισμό εσφαλμένων μετρήσεων. Οι υπολογιστικές αυτές εργασίες προϋποθέτουν τη χρήση εξειδικευμένου λογισμικού. Είναι φανερό ότι για την εισαγωγή αξιόπιστων συμπερασμάτων σχετικά

με το ακριβές μοντέλο παραμόρφωσης απαιτούνται αρκετές σειρές μετρήσεων και αντίστοιχων υπολογισμών, καθώς και ο συνδυασμός των αποτελεσμάτων τους με εκείνα που προκύπτουν από την εφαρμογή άλλων μεθόδων, όπως είναι οι μικρομεταβολές της βαρύτητας, του μαγνητικού πεδίου, της στάθμης των υπόγειων νερών κ.ά. Συνεπώς η αποτελεσματική αξιοποίηση των παρατηρήσεων που αποβλέπουν στον ασφαλή προσδιορισμό των παραμορφώσεων του στερεού φλοιού της γης με τοπογραφικές μεθόδους, αποτελεί μια λεπτή και ευαίσθητη εργασία, που απαιτεί συστηματική οργάνωση και πεπειραμένο προσωπικό. Η σκέψη όμως ότι με τον τρόπο αυτό μπορεί να προβλεφθεί ένας σεισμός, γεγονός που συνδέεται με τη σωτηρία ανθρώπινων ζώων, δικαιώνει τις προσπάθειες που πρέπει να καταβληθούν.

Όπως είναι γνωστό το 1978 στην περιοχή των λιμνών Βόλβη και Λαγκαδά (απόσταση 30 περίπου χιλιομέτρων από τη Θεσσαλονίκη), παρατηρήθηκε μια έντονη σεισμική δραστηριότητα, η οποία κορυφώθηκε με το μεγάλο σεισμό με μέγεθος 6,5 Ρίχτερ, που έγινε στις 20 Ιουνίου. Ο σεισμός αυτός προκάλεσε μεγάλες καταστροφές στα γύρω χωριά και στην πόλη της Θεσσαλονίκης, όπου η κατάρρευση μιας πολυκατοικίας στοίχισε τη ζωή σε 40 άτομα. Όπως συμβαίνει συνήθως μετά από μεγάλους σεισμούς, παρατηρήθηκαν στην επικεντρική περιοχή ρηγματώσεις του επιφανειακού εδάφους, οι κυριότερες από τις οποίες ήταν τρεις και συνέκλιναν στο χωριό Στίβος. Το ίχνος της νοτιότερης από τις ρηγματώσεις αυτές ήταν σε καλή συμφωνία με το ρήγμα που σημειώνεται στους γεωλογικούς χάρτες της περιοχής. Η μορφή των ρηγματώσεων φανέρωνε σημαντικές οριζοντιογραφικές και υψομετρικές μετακινήσεις του επιφανειακού εδάφους, το μέγεθος των οποίων έφθανε τα 50 και 20

εκατοστά αντιστοίχως (βλ. φωτογραφία 1). Οι ρηγματώσεις αυτές απέκτησαν μυθικό περιεχόμενο στις εκτιμήσεις των απλών ανθρώπων, συντελώντας στη δημιουργία κλίματος πανικού και φυγής από την Θεσσαλονίκη, το οποίο επηρέασε δυσμενώς ακόμη και την οικονομική της ζωή.

Με τα επιστημονικά δεδομένα της εποχής εκείνης σχετικά με τη συμμετοχή των τριγωνισμών υψηλής ακρίβειας σε ερευνητικά προγράμματα για πρόγνωση των σεισμών και με τις δυνατότητες των τοπογραφικών οργάνων που διέθετε η τότε έδρα της Τοπογραφίας, εκτιμήσαμε ότι το Α.Π.Θ. θα μπορούσε να υποστηρίξει τη διενέργεια περιοδικών μετρήσεων σε ένα δίκτυο ελέγχου που καλύπτει ένα μεγάλο μέρος της σερβομακεδονικής ζώνης, η οποία εκτείνεται από τα ελληνοβουλγαρικά σύνορα (Κρέσνα) μέχρι τη χερσόνησο του Άθω και έχει δώσει μεγάλους σεισμούς (Ασσηρος, 1902,  $M=6,6$ , Ιερισσός, 1932,  $M=7,0$ , Θεσσαλονίκη (Βόλβη), 1978,  $M=6,5$ ).

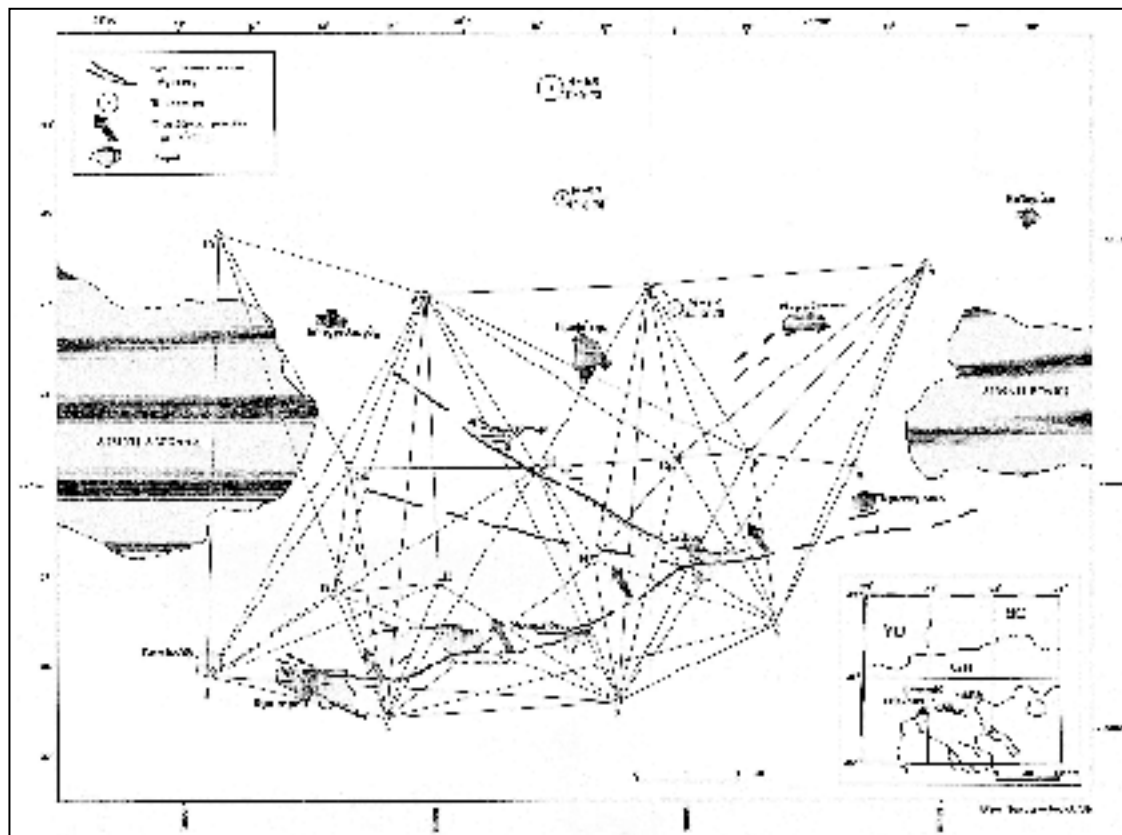
Το δίκτυο αυτό θα προέκυπτε με πύκνωση του υπάρχοντος κρατικού τριγωνομετρικού δικτύου. Η σεισμική δραστηριότητα της ζώνης αυτής επηρεάζει τη ζωή πολλών αστικών κέντρων από το Κιλκίς μέχρι την Ιερισσό, μεταξύ των οποίων περιλαμβάνεται και η Θεσσαλονίκη, καθώς και έναν πολύ μεγάλο αριθμό χωριών που βρίσκονται στην περιοχή της. Η κεντρική ιδέα του προγράμματος ήταν η σύγκριση των διαδοχικών θέσεων ενός μεγάλου αριθμού σημείων του επιφανειακού εδάφους, οι οποίες προσδιορίζονται κάθε δύο χρόνια με τοπογραφικές μεθόδους υψηλής ακρίβειας (τριγωνισμός, χωροστάθμιση). Προϋπόθεση βέβαια για την εφαρμογή της ήταν η χρήση υπαρχόντων τριγωνομετρικών σημείων της Γ.Υ.Σ. και η υλοποίηση των νέων σημείων πύκνωσης με τη βοήθεια βάθρων από μπετόν, θεμελιωμένων σε κατάλληλο βάθος. Τα αποτελέσματα των τοπογραφικών μετρήσεων θα συνδυάζονταν με σεισμολογικές παρατηρήσεις, με τελικό σκοπό τον εντοπισμό περιοχών μελλοντικού σεισμού.

Δεδομένου ότι τα εργαστήρια του Α.Π.Θ. διαθέτουν το επιστημονικό προσωπικό και τα όργανα μετρήσεων, θα μπορούσε να εξασφαλιστεί η περιοδική μέτρηση του δικτύου αυτού με τη συμμετοχή φοιτητών, για τους οποίους η εκπόνηση της διπλωματικής τους εργασίας με αυτό το αντικείμενο θα αποτελούσε ένα μικρό σχολείο τοπογραφίας. Παρέμενε όμως το πρόβλημα της εγκατάστασης του δικτύου που σήμαινε την εξασφάλιση πρόσβασης σε δύσκολες περιοχές του εδάφους, εκσκαφές θεμελίωσης των βάθρων, μεταφορά υλικών, ημερομίσθια εργατοτεχνικού προσωπικού, ημερήσια αποζημίωση του προσωπικού των εργαστηρίων κ.τ.λ. Για την αντιμετώπιση των δαπανών της πρώτης εγκατάστασης του δικτύου, οι τότε έδρες Τοπογραφίας, Γεωφυσικής και Γεωδαισίας του Α.Π.Θ. και η Τοπογραφική Υπηρεσία του Υπουργείου Γεωργίας, υπέβαλαν από κοινού το Νοέμβριο του 1978 τεκμηριωμένη πρόταση για χρηματοδότηση σχετικού προγράμματος από τη Νομαρχία Θεσσαλονίκης, χωρίς όμως αποτέλεσμα.



**Φωτογραφία 1:**  
Επιφανειακή διάρρηξη  
του εδάφους  
στη περιοχή  
του χωριού Στίβος.





**Διάγραμμα 1:**  
Επιφανειακά ρήγματα  
και το τριγωνομετρικό  
Δίκτυο Βόλβης.

Κάτω από τις συνθήκες αυτές και με βάση το συγκινητικό ενδιαφέρον του προσωπικού της Έδρας Τοπογραφίας και των φοιτητών του Τμήματος Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, αποφασίσαμε να κάνουμε ότι ήταν δυνατόν. Καταλήξαμε στο να εγκαταστήσουμε ένα μικρό τμήμα του παραπάνω δικτύου μεταξύ των λιμνών Βόλβης και Λαγκαδά για εκπαιδευτικούς κυρίως σκοπούς, το οποίο θα μετρούσαν κάθε χρόνο φοιτητές στο πλαίσιο διπλωματικών εργασιών (Δίκτυο Βόλβης). Περιλαμβάνει 16 τριγωνομετρικά σημεία και καλύπτει επιφάνεια 150 τετραγωνικών χιλιομέτρων (βλ. διάγραμμα 1).

Μετά την αποτυχία της πρώτης μας προσπάθειας

να μεταφέρουμε τα υλικά για την κατασκευή των βάθρων με τα ιδιωτικά μας αυτοκίνητα, ζητήσαμε τη βοήθεια του Γ΄ Σώματος Στρατού, που μας διέθεσε ένα αυτοκίνητο και δύο στρατιώτες, (βλ. φωτογραφία 2), οι οποίοι εργάστηκαν κατά τη δύσκολη εκείνη πρώτη φάση των εργασιών το 1979 με αξιοθαύμαστο ζήλο, μαζί με τους φοιτητές και το προσωπικό της έδρας επί 10 περίπου ημέρες.

Στο Δίκτυο Βόλβης έχουν γίνει 11 σειρές μετρήσεων (η τελευταία το 1990) από τελειόφοιτους φοιτητές του Τμήματος Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών (μερικοί από αυτούς είναι σήμερα καθηγητές του). Με το πέρασμα των χρόνων και την απομάκρυνσή μας από το κλίμα που είχαν δημιουργήσει οι σεισμοί του 1978 στη Θεσσαλονίκη (από τις 20 Ιουνίου μέχρι τον Οκτώβριο σχεδόν η συντριπτική πλειονότητα των κατοίκων της είχαν εγκαταλείψει την πόλη), το ενδιαφέρον των φοιτητών για την ανάληψη διπλωματικών εργασιών στο Δίκτυο Βόλβης (που συνεπάγονταν κοπιαστική εργασία και έξοδα), δικαιολογημένα ατόνησε. Όμως η αξία παρόμοιων εργασιών που αποσκοπούν στην ανίχνευση και παρακολούθηση προσεισμικών και μετασεισμικών παραμορφώσεων του επιφανειακού εδάφους, κατά τα διεθνώς παραδεδομένα, αποτελεί σημαντικότατο στοιχείο στο φάσμα των παρατηρήσεων που εκτελούνται από ερευνητές πολλών ειδικοτήτων με στόχο τη διερεύνηση του σεισμικού φαινομένου και τη



**Φωτογραφία 2:**  
Φοιτητές και  
στρατιώτες  
κατασκεύασαν τα  
βάθρα του Δικτύου  
Βόλβης.

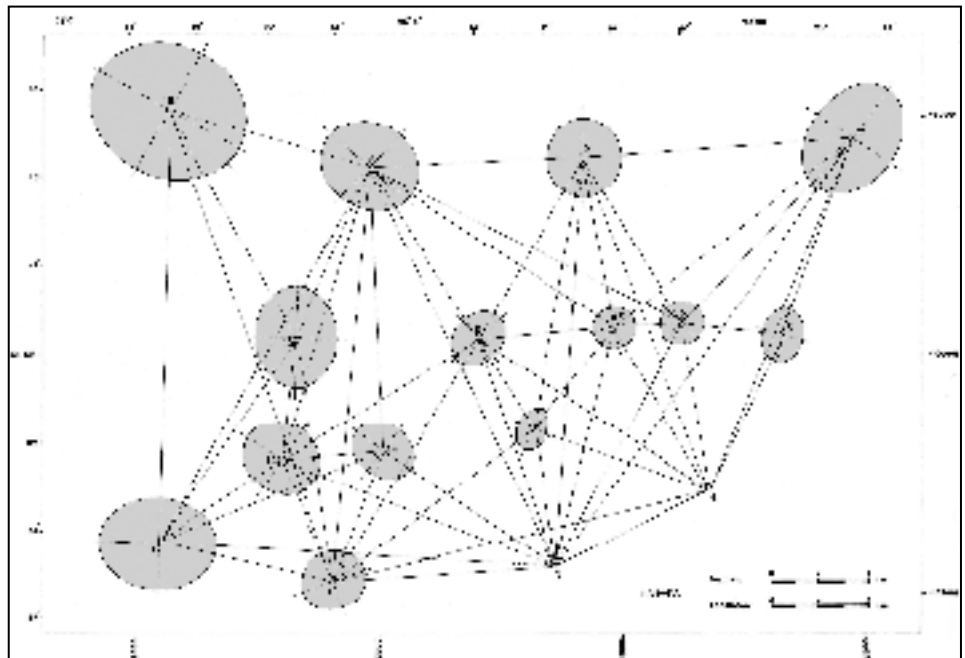
διατύπωση - πρόβλεψή του.

Το Δίκτυο Βόλβης καλύπτει ένα μικρό τμήμα της σερβομακεδονικής ζώνης. Εντούτοις η υποδοχή του στο χώρο της διεθνούς επιστημονικής κοινότητας ήταν πολύ καλή. Απόδειξη γι' αυτό αποτελούν τα θετικά σχόλια που διατυπώθηκαν στο Workshop on earthquake processes and premonitory phenomena (Trieste, 5-10 May 1980) που έγινε σχετική ανακοίνωση από τον υπογραφόμενο, καθώς και η διατύπωση προτάσεων για ανταλλαγή στοιχείων και εμπειρίας από επιστήμονες άλλων χωρών.

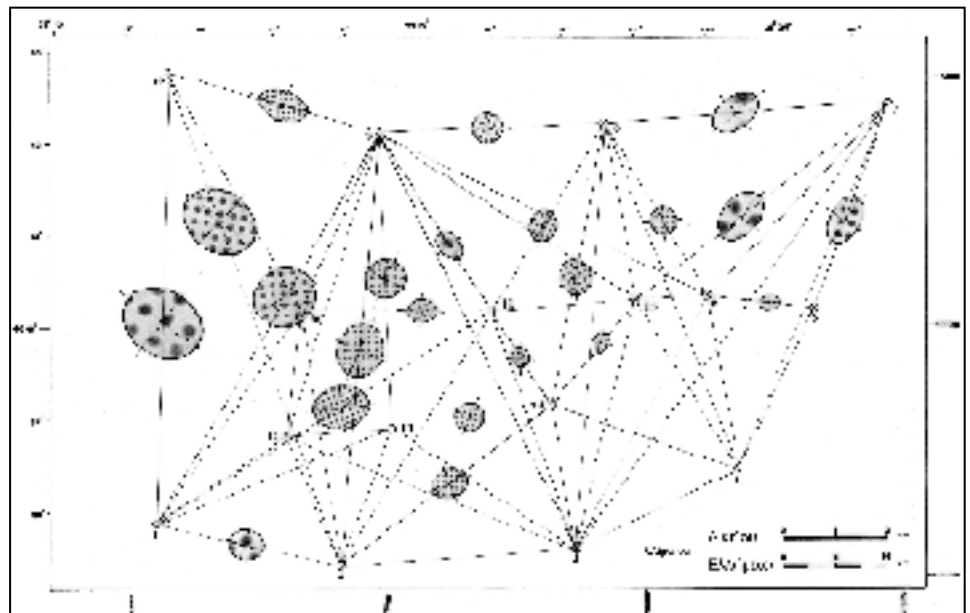
Σε μια χώρα σαν την Ελλάδα, που έχει το βαρύ

«προνόμιο» να επιβαρύνεται με τη μεγαλύτερη σεισμικότητα από όλες τις χώρες της Ευρώπης, θα ήταν σκόπιμο το δίκτυο αυτό να επεκταθεί και να καλύψει ολόκληρο το γεωλογικό ρήγμα από το Κιλκίς μέχρι την Ιερισσό. Άλλωστε, η ραγδαία εξέλιξη των τοπογραφικών οργάνων και κυρίως η γενικευμένη πλέον δυνατότητα χρήσης του GPS σε προσδιορισμούς σημείων τοπογραφικού ενδιαφέροντος, διευκολύνει τη συστηματική παρακολούθηση του δικτύου και μειώνει το κόστος. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι πρόκειται για ένα αξιόπιστο δίκτυο που επιτρέπει την αξιοποίησή του στην έρευνα για πρόγνωση των σεισμών.

**Διάγραμμα 2:**  
Οι ελλείψεις σφαλμάτων των ελεγχόμενων σημείων του Δικτύου Βόλβης.



**Διάγραμμα 3:**  
Οι σχετικές ελλείψεις σφαλμάτων μεταξύ των ελεγχόμενων σημείων του Δικτύου Βόλβης.



# Μελέτη της μεταβολής γεωδαιτικών και γεωφυσικών παραμέτρων σε σχέση με τη σεισμικότητα στον ευρύτερο χώρο της περιοχής της Θεσσαλονίκης

του **Δ. Ν. Αραμπέλου,**

*καθηγητή του Τμήματος Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών Α.Π.Θ.,*

του **Γ. Αστεριάδη,**

*καθηγητή του Τμήματος Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών Α.Π.Θ.,*

του **Μ. Κονταδάκη,**

*καθηγητή του Τμήματος Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών Α.Π.Θ.,*

και του **Σ. Δ. Σπαταλά,**

*αναπληρωτή καθηγητή του Τμήματος Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών Α.Π.Θ.*

*Στο πλαίσιο των πρωτοβουλιών του Τμήματος Αγρονόμων και Τοπογράφων  
Μηχανικών του Α.Π.Θ., σχετικά με τη σεισμική δραστηριότητα στην ευρύτερη  
περιοχή της Θεσσαλονίκης.*

## Εισαγωγή

Είναι γενικά αποδεκτό και επιστημονικά τεκμηριωμένο από πολλούς ερευνητές ότι ένας αριθμός φυσικών παραμέτρων παρουσιάζουν μια ασυνήθη συμπεριφορά κατά την περίοδο της προετοιμασίας ενός σεισμού, καθώς και κατά τη διάρκεια του ίδιου του σεισμού. Η κατανόηση του τρόπου, με τον οποίο η συμπεριφορά αυτή συνδέεται με την τεκτονική δραστηριότητα μέσω της σύζευξης λιθόσφαιρας - ατμόσφαιρας - ιονόσφαιρας είναι από μόνη της ένα ενδιαφέρον αντικείμενο έρευνας. Από το άλλο μέρος, λόγω των επιπτώσεων ενός ισχυρού σεισμού τόσο στη ζωή, όσο και στην οικονομία η μελέτη τέτοιων φαινομένων με σκοπό να ερευνηθεί κάθε σημαντική πληροφορία, η οποία συνδέει τα φαινόμενα αυτά με καταστροφικά συμβάντα και να χρησιμοποιηθεί για την πρόληψη των συνεπειών τους καθίσταται επιτακτική ανάγκη.

Ο ισχυρός σεισμός του Στίβου της 20ης Ιουνίου 1978, με τα γνωστά καταστροφικά αποτελέσματα για τη Θεσσαλονίκη και την ευρύτερη περιοχή, ήταν η αιτία, ώστε να ξεκινήσουν πολλές ερευνητικές προσπάθειες σχετικά με τη δυνατότητα σύνδεσης των φαινομένων που προαναφέρθηκαν με τη σεισμική δραστηριότητα της περιοχής.

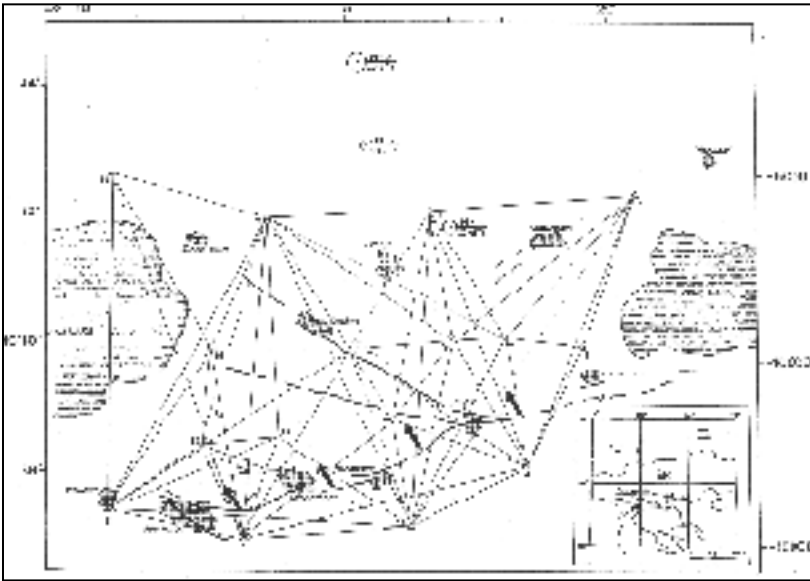
Έτσι, εκτός από την καθαρά σεισμολογική έρευνα, πλήθος άλλων ερευνητικών προσπαθειών με σκοπό την ανάλυση γεωδαιτικών και γεωφυσικών παρατηρήσεων, οι οποίες συνδέονται με φαινόμενα σχετικά με τη γένεση των σεισμών ξεκίνησαν και συνεχίζονται μέχρι σήμερα. Μεταξύ αυτών οι διαχρονικές μη - παλιρροϊκές μεταβολές του πεδίου βαρύτητας, οι μετα-

βολές της στάθμης και της θερμοκρασίας των υπογείων νερών, οι μεταβολές των παραμέτρων της ατμοσφαιρικής παλίνρροιας και οι μεταβολές του συνολικού ηλεκτρονικού περιεχομένου κατά την κάθετη διεύθυνση (Total Vertical Electronic Content - TVEC), ερευνώνται ως φαινόμενα, τα οποία συνδέονται με τη σεισμική δραστηριότητα στην περιοχή της Θεσσαλονίκης και σε άλλες σεισμικές περιοχές του ελληνικού χώρου.

Στα επόμενα περιγράφονται περιληπτικά οι δραστηριότητες ερευνητικών ομάδων του Τμήματος Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Α.Π.Θ., στις οποίες μετέχουν οι συγγραφείς. Σ' αυτές δεν συμπεριλαμβάνονται φυσικά όλες οι σχετικές δραστηριότητες άλλων ομάδων ή μελών του τμήματος. Οι δραστηριότητες αυτές είχαν ως αφετηρία το σεισμό της 20ης Ιουνίου 1978 και οι περισσότερες συνεχίζονται μέχρι σήμερα. Λεπτομέρειες σχετικά με τα ερευνητικά προγράμματα, στο πλαίσιο των οποίων έγιναν ή συνεχίζουν να γίνονται οι μελέτες που περιγράφονται στο κείμενο αναφέρονται στο παράρτημα.

## Μελέτη των γεωδαιτικών παραμέτρων

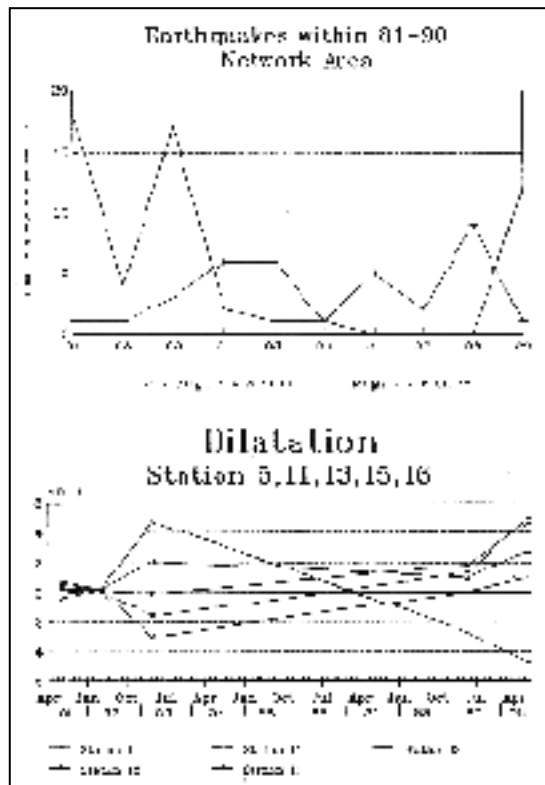
Αμέσως μετά τον μεγάλο σεισμό, μεγέθους  $M = 6.5$ , που έπληξε την περιοχή της λίμνης Βόλβη στις 20 Ιουνίου του 1978, ο Τομέας Γεωδαισίας και Τοπογραφίας της Πολυτεχνικής Σχολής του Α.Π.Θ. εγκατέστησε ένα τριγωνομετρικό δίκτυο 16 σημείων υψηλής ακρίβειας, στο πλαίσιο ενός προγράμματος διαχρονικής παρακολούθησης και μελέτης των επιφανειακών παραμορφώσεων της περιοχής Λαγκαδά - Βόλβης. Το



**Σχήμα 1:**  
Το τριγωνομετρικό δίκτυο 16 σημείων, τα ίχνη των επιφανειακών ρηγμάτων της περιοχής και τα επίκεντρα των κυρίων σεισμικών δονήσεων του Ιουνίου, 1978 (Vlahos, 1980).

δίκτυο αυτό, το οποίο καλύπτει μία έκταση 200 km<sup>2</sup> και παρουσιάζεται στο σχήμα 1 (Vlahos, D., 1980) παρακολουθείται συνεχώς από τότε μέχρι σήμερα και θα εξακολουθησει να μετράται και στο μέλλον.

Έκτοτε ένα μεγάλο πλήθος αναλύσεων των μετρήσεων του δικτύου έχει συντελεσθεί και τα αποτελέσματά τους έχουν δημοσιευθεί σε διεθνή επιστημονικά περιοδικά ή έχουν παρουσιασθεί σε διεθνή συνέδρια, πολλά δε από αυτά παρουσιάζονται σε αυτό το τεύχος.



**Σχήμα 2:**

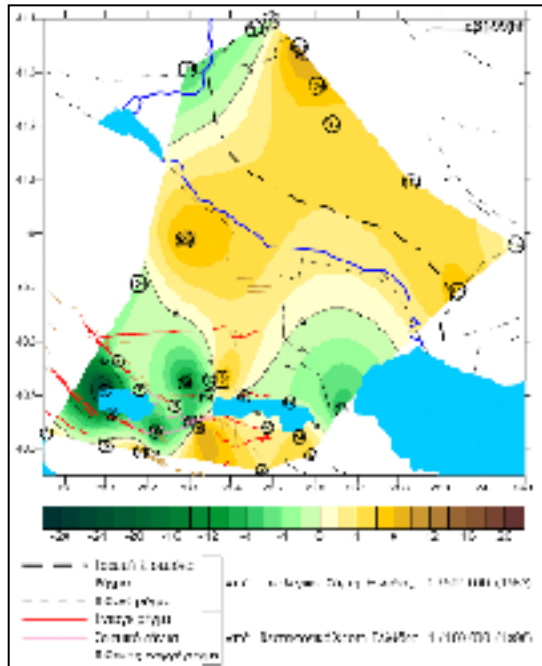
(α) Η συχνότητα των μικροσεισμών από τον Ιανουάριο του 1981 έως τον Δεκέμβριο του 1990 στην περιοχή Λαγκαδά - Βόλβη (άνω) και (β) Η διάταση στους κεντρικούς σταθμούς του δικτύου κατά τις εποχές των μετρήσεων (κάτω).

Εδώ παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα σχετικών αναλύσεων των μετρήσεων του δικτύου για την δεκαετία 1979-1990 με σκοπό τον προσδιορισμό των μικρομετακινήσεων των σημείων του δικτύου, τον προσδιορισμό του πεδίου ταχυτήτων των μικρομετακινήσεων και των προσδιορισμό της επιφανειακής παραμόρφωσης της περιοχής που καλύπτεται από το δίκτυο κατά την ενδεκαετία αυτή, η οποία αντιπαραβάλλεται με τη μικροσεισμική δραστηριότητα στην ίδια περιοχή. Κατά την ενδεκαετία αυτή η περιοχή των λιμνών Κορώνειας και Βόλβης παρουσίασε ασθενή μικροσεισμική δραστηριότητα με σχετικές εξάρσεις το 1981, το 1983 και το 1990 και ελάχιστα το 1982 και 1987,88 (βλέπε σχήμα 2α). Όλοι οι μικροσεισμοί ήταν επιφανειακοί με εστιακό βάθος μέχρι 15 km. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτών των αναλύσεων:

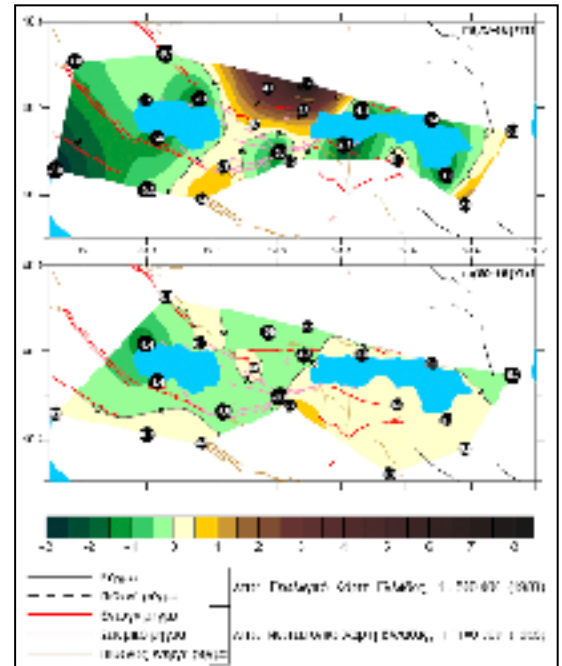
- το πεδίο ταχυτήτων στην περιοχή κατά την περίοδο αυτή παρουσιάζει μια αριστερόστροφη κίνηση με ταχύτητα μερικών εκατοστών ανά έτος, η οποία αυξάνεται από το μέσον προς τα άκρα της περιοχής σε συμφωνία με τα αποτελέσματα των σεισμικών και γεωλογικών μελετών και υποδεικνύει μια διάταση κατά τη διεύθυνση βορρά - νότου (Papazachos et al. 1986), και
- το πεδίο παραμορφώσεων της περιοχής υποδεικνύει μια ελαφρά ομογενή επιμήκυνση 2.4 μstr κατά τη διεύθυνση βορράς - νότου η οποία εμφανίζεται κατά το έτος της ελαχίστης μικροσεισμικότητας στην περιοχή (1982). Κατά τη διάρκεια όμως της δεκαετίας το πεδίο παραμορφώσεως υφίσταται μικρομεταβολές που συσχετίζονται με την τοπική μικροσεισμικότητα (βλέπε σχήμα 2β).

### Διαχρονικές μετρήσεις της βαρύτητας

Για τη μελέτη των διαχρονικών μη - παλιροσφικτών μεταβολών της βαρύτητας, εγκαταστάθηκαν δύο βαρυμετρικά δίκτυα: Το πρώτο το 1979, στην περιοχή της Μυγδονίας, το οποίο με 26 σταθμούς καλύπτει την ευρύτερη περιοχή των λιμνών Κορώνειας και Βόλβης και το δεύτερο το 1981 με 15 σταθμούς, στην περιοχή του Στρυμόνα, εκατέρωθεν του ελληνικού τμήματος του γνωστού ρήγματος της Κρέσνας. Τα δύο δίκτυα ενοποιήθηκαν στη συνέχεια. Οι διαχρονικές παρατηρήσεις, οι οποίες καλύπτουν περίοδο περίπου 20 ετών, κατέληξαν στην εκπόνηση μιας διδακτορικής διατριβής (Γούναρης 2003) και σημαντικού αριθμού ερευνητικών άρθρων. Οι διαχρονικές μεταβολές της βαρύτητας ερμηνεύονται ως καθ' ύψος μεταβολές των σταθμών παρατήρησης (σχήμα 3). Από τα σημαντικά συμπεράσματα της έρευνας αυτής είναι η ταχύτητα αποκατάστασης των καθ' ύψος παραμορφώσεων της λιθόσφαιρας στην περιοχή των σταθμών (σχήμα 4) και η επιβεβαίωση της υποψίας των γεωλόγων, ότι το σεισμικό ρήγμα Περιστερώνια - Στίβου - Γερακαρούς του σεισμού του Στίβου του 1978 συνεχίζεται δυτικά στη ζώνη ρηγμάτωσης "Γερακαρούς - Θεσσαλονίκη".



**Σχήμα 3:** Οι διαχρονικές καθ' ύψος μεταβολές (cm), που αντιστοιχούν στις μεταβολές της βαρύτητας του ενοποιημένου δικτύου Μυγδονίας - Στρυμόνα με βάση τη σχέση ελεύθερου αέρα, στην περιοχή του δικτύου της Μυγδονίας (Γούναρης, 2003).

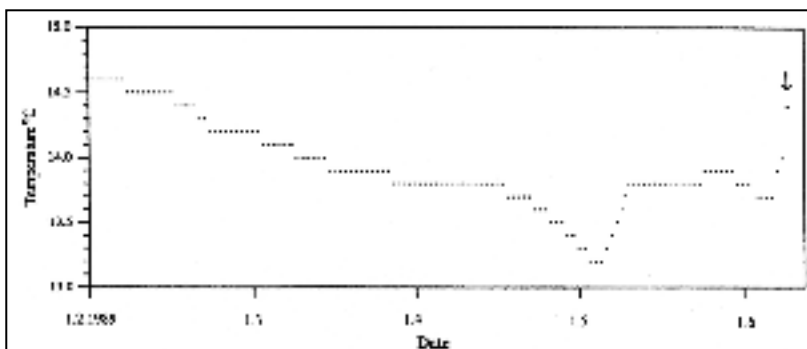


**Σχήμα 4:** Οι ταχύτητες (στους κύκλους) των διαχρονικών καθ' ύψος μεταβολών (cm/a), που αντιστοιχούν στις μεταβολές της βαρύτητας με βάση τη σχέση ελεύθερου αέρα, στην περιοχή του δικτύου της Μυγδονίας (1979-1980 και 1980-1999) (Γούναρης, 2003).

### Συνεχής καταγραφή της στάθμης και της θερμοκρασίας των υπογείων νερών σε αβαθή πηγάδια

Η συσχέτιση της μεταβολής της στάθμης και της θερμοκρασίας των υπόγειων νερών με τη σεισμική δραστηριότητα της περιοχής των λιμνών Κορώνειας και Βόλβης μελετήθηκε στο πλαίσιο ενός προγράμματος, το οποίο υποστηρίχθηκε από τη Νομαρχία Θεσσαλονίκης. Για το σκοπό αυτό το 1983 εγκαταστάθηκε ένα δίκτυο μέτρησης της στάθμης και θερμοκρασίας των υπόγειων νερών, αποτελούμενο από 4 αβαθή πηγάδια, στην Άσσηρο, στη Λητή, στη Νυμφόπετρα και στο Μελισσουργό, το οποίο λειτουργήσε μέχρι το 1993. Η στάθμη και η θερμοκρασία των νερών σε αβαθή πηγάδια, σύμφωνα με τη διεθνή βι-

**Σχήμα 5:** Χρονοσειρά ημερήσιων μετρήσεων της θερμοκρασίας στο σταθμό της Νυμφόπετρας, από 1 Φεβρουαρίου έως 7 Ιουνίου 1989. Η τελευταία μέτρηση, η οποία σημαδεύεται με το βέλος, αντιστοιχεί σε σεισμό της 7ης Ιουνίου.



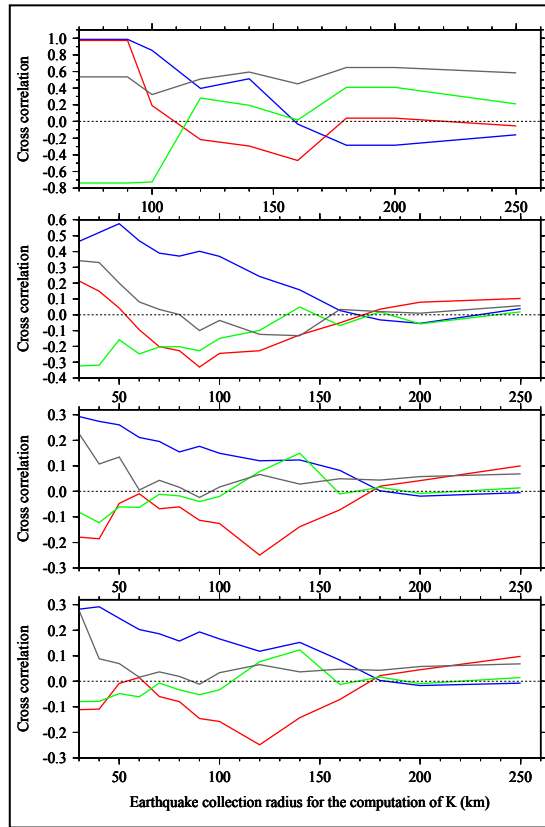
βλιογραφία, επηρεάζεται περισσότερο από τη σεισμικότητα στην εγγύς περιοχή του σταθμού, ενώ το αντίθετο συμβαίνει με τα πηγάδια μεγάλου βάθους, γεγονός το οποίο αποτέλεσε κριτήριο για τη συγκριμένη επιλογή.

Από την ανάλυση των παρατηρήσεων προέκυψαν σημαντικά συμπεράσματα σχετικά με τη συσχέτιση των μεταβολών της στάθμης και της θερμοκρασίας των υπογείων νερών με σεισμικά συμβάντα. Το πρακτικό αποτέλεσμα της μελέτης ήταν να προταθεί μια γραφική μέθοδος αναγνώρισης μιας μέτρησης της στάθμης ή της θερμοκρασίας ως σχετιζόμενης με κάποιο σεισμό μεγέθους  $M > 3$  στο χρονικό διάστημα από 1 έως 7 ημέρες πριν ή μετά την εκδήλωσή του (Arabelos et al., 2001). Φυσικά πρακτική αξία έχει η περίπτωση κατά την οποία η σχετική μεταβολή συμβαίνει πριν από την εκδήλωση του σεισμού. Από το άλλο μέρος, το πλεονέκτημα της μεθόδου έναντι άλλων είναι ότι η μέτρηση η ενδεικτική ενός επερχόμενου σεισμού αναγνωρίζεται από την ανάλυση των προηγούμενων μετρήσεων της χρονοσειράς. Ως παράδειγμα, στο σχήμα 5 φαίνεται η χρονοσειρά ημερήσιων μετρήσεων της θερμοκρασίας στο σταθμό της Νυμφόπετρας, από 1 Φεβρουαρίου έως 7 Ιουνίου 1989. Η τελευταία μέτρηση, η οποία σημαδεύεται με το βέλος και αναγνωρίστηκε με τη βοήθεια των προηγούμενων μετρήσεων αντιστοιχεί σε σεισμό της 7ης Ιουνίου με επίκεντρο στην περιοχή του σταθμού.

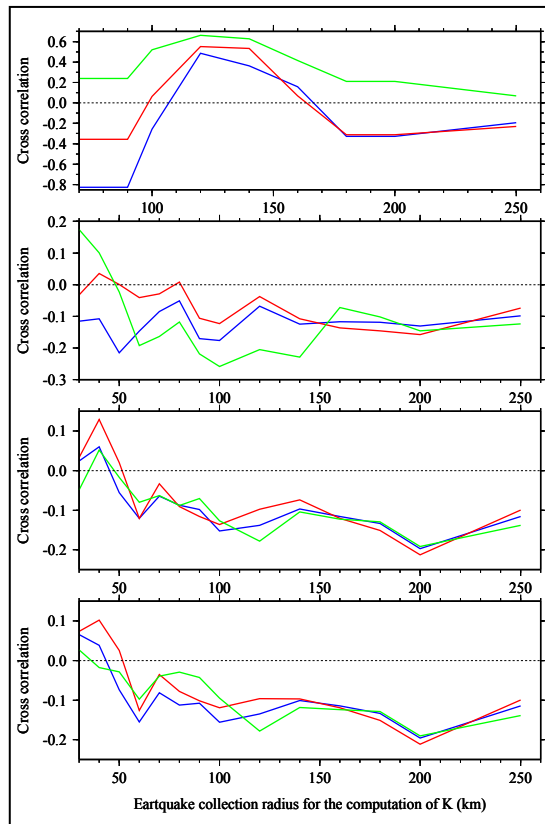


**Σχήμα 6α:**

Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ του εύρους των κυμάτων μακράς περιόδου και του δείκτη σεισμικότητας  $K$ . Με γαλάζιο χρώμα συμβολίζεται η συσχέτιση με τα κύματα  $Ssa$  (περίοδος μισού ηλιακού έτους), με κόκκινο η συσχέτιση με τα κύματα  $Mm$  (με περίοδο ενός σεληνιακού μήνα), με πράσινο η συσχέτιση με τα κύματα  $Mf$  (με περίοδο μισού σεληνιακού μήνα) και με γκριζο η συσχέτιση με τα κύματα  $Mtm$  (με περίοδο ενός τρίτου του σεληνιακού μήνα). Από το κάτω προς το επάνω σχήμα: Ο δείκτης σεισμικότητας έχει υπολογιστεί λαμβάνοντας υπόψη σεισμούς με  $M \geq 2$ ,  $M \geq 3$ ,  $M \geq 4$ ,  $M \geq 5$ , αντίστοιχα.

**Σχήμα 6β:**

Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ του εύρους των κυμάτων βραχείας περιόδου και του δείκτη σεισμικότητας  $K$ . Με γαλάζιο χρώμα συμβολίζεται η συσχέτιση με τα κύματα  $P1$  (με περίοδο 24h 3m 57s), με κόκκινο η συσχέτιση με τα κύματα  $K1$  (με περίοδο 23h 56m 4s), με πράσινο η συσχέτιση με τα κύματα  $S2$  (με περίοδο 12h 0m 0s). Από το κάτω προς το επάνω σχήμα: Ο δείκτης σεισμικότητας έχει υπολογιστεί λαμβάνοντας υπόψη σεισμούς με  $M \geq 2$ ,  $M \geq 3$ ,  $M \geq 4$ ,  $M \geq 5$ , αντίστοιχα.

**Μελέτη της μεταβολής των παραμέτρων της ατμοσφαιρικής παλιρροίας**

Η μελέτη της μεταβολής των παραμέτρων της ατμοσφαιρικής παλιρροίας σε σχέση με σεισμικά συμβάντα στην περιοχή της Θεσσαλονίκης είχε ως αφετηρία την ανάλυση μιας χρονοσειράς 44 ετών της μέσης ημερήσιας βαρομετρικής πίεσης από το μετεωρολογικό σταθμό του Τμήματος Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας του Α.Π.Θ. Στη συνάρτηση πυκνότητας του φάσματος της χρονοσειράς αυτής, από την οποία είχε αφαιρεθεί η επίδραση της θερμοκρασίας, παρατηρήθηκαν συχνότητες των 8 και 52.5 ημερών, οι οποίες δεν συμπίπτουν με τις παλιρροϊκές συχνότητες. Έτσι, σε μια πρώτη προσέγγιση, αναζητήθηκε η σχέση ανάμεσα στις εξάρσεις των παραμέτρων των παλιρροϊκών κυμάτων της βαρομετρικής πίεσης που προέκυψαν από την ανάλυση 184.080 διαθέσιμων ωριαίων μετρήσεων κατά το χρονικό διάστημα 1981-2001 και στους σεισμούς κατά την ίδια εποχή στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης. Παρατηρήθηκε σημαντική συσχέτιση των εξάρσεων του εύρους των παλιρροϊκών κυμάτων μακράς περιόδου με σεισμούς μεγέθους  $M \geq 5$ . Ταυτόχρονα, παρατηρήθηκαν περιπτώσεις εξάρσης του εύρους, οι οποίες δεν σχετίζονται με μεγάλους σεισμούς. Θα πρέπει να τονιστεί ότι κατά το διάστημα 1981-2001 δεν παρατηρήθηκαν πολλοί σεισμοί του παραπάνω μεγέθους στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

Προκειμένου να προκύψει μια ποσοτική εκτίμηση της συσχέτισης που περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο, αναζητήθηκε ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ του εύρους των παλιρροϊκών κυμάτων της βαρομετρικής παλιρροίας και ενός "δείκτη μέσης σεισμικότητας", ο οποίος υπολογίζεται με βάση το μέγεθος των σεισμών που συνέβησαν κατά το χρονικό διάστημα που είναι απαραίτητο να καλύπτει η σειρά των ωριαίων μετρήσεων, ώστε να προκύψει μια αξιόπιστη εκτίμηση των παραμέτρων της παλιρροίας. Η ελάχιστη διάρκεια για την ανάλυση αυτή είναι 3 μήνες, γεγονός το οποίο περιορίζει την ανάλυση της μεθόδου με την παρούσα διαδικασία εκτίμησης των παλιρροϊκών παραμέτρων.

Στα σχήματα 6α και 6β φαίνονται οι συντελεστές συσχέτισης ανάμεσα στο δείκτη σεισμικότητας και στο εύρος των κυμάτων μακράς και βραχείας περιόδου αντίστοιχα, με ισχυρό λόγο του σήματος προς το θόρυβο. Ο συντελεστής συσχέτισης δίνεται συναρτήσει της απόστασης του επίκεντρου των σεισμών που έχουν συμπεριληφθεί για τον υπολογισμό του δείκτη σεισμικότητας και για 4 διαφορετικές τιμές του δείκτη σεισμικότητας, ανάλογα με τα μεγέθη των σεισμών που έχουν συμπεριληφθεί για τον υπολογισμό του.

Από το σχήμα 6α προκύπτει ότι η συσχέτιση των εύρους των παλιρροϊκών κυμάτων μακράς περιόδου της βαρομετρικής πίεσης με το δείκτη σεισμικότητας είναι μεγάλη, όταν ο τελευταίος προκύπτει μόνον από σεισμούς μεγέθους  $M \geq 5$ , με επίκεντρα σε ακτι-

να από 0 μέχρι 100 km περίπου από το βαρομετρικό σταθμό. Σχετικά με τα κύματα βραχείας περιόδου (σχήμα 6β), υπολογίσιμες τιμές του συντελεστή συσχέτισης παρατηρούνται για τιμές του δείκτη σεισμικότητας που προέκυψαν από σεισμούς μεγέθους  $M \geq 5$  μόνο, με επίκεντρα σε ακτίνα από 100 μέχρι 150 km από το βαρομετρικό σταθμό.

Η μελέτη συνεχίζεται με στόχο την αύξηση της διακριτικής ικανότητας της μεθόδου.

### Μελέτη της μεταβολής του TVEC

Το TVEC υπεράνω ενός συγκεκριμένου τόπου υφίσταται μεταβολές διαφόρου αιτιολογίας, γενικής που επηρεάζει όλη ή μεγάλη έκταση της γης, όπως π.χ. η περιφορά και η περιστροφή της γης, οι γήινες παλίρροιες το γεωμαγνητικό πεδίο κ.τ.λ., ή τοπικής, όπως π.χ. έντονα μετεωρολογικά φαινόμενα, ατμοσφαιρικές και υπόγειες εκρήξεις σεισμική δραστηριότητα ηφαιστειακές εκρήξεις κ.τ.λ. Ένα μεγάλος όγκος επιστημονικής δουλειάς έχει επικεντρωθεί στη μελέτη των χαρακτηριστικών των ιονοσφαιρικών αυτών με-

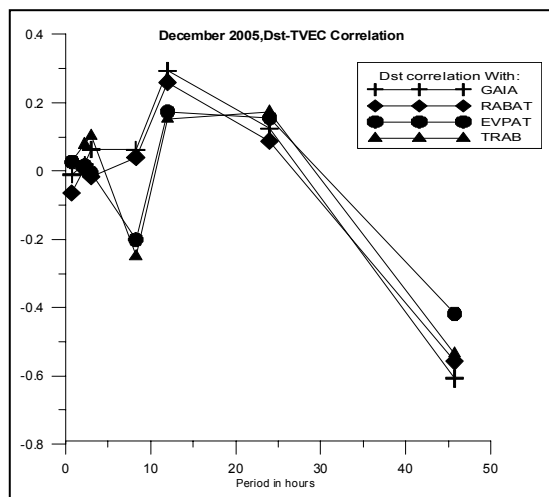
ταβολών (μήκος - κύματος, απόσβεση, ταχύτητα διάδοσης και τρόπος διάδοσης) σε σχέση με την αιτιολογία πρόκλησής των. Η εγκατάσταση του πρώτου μόνιμου σταθμού του «Παγκόσμιου Συστήματος Προσδιορισμού Θέσης» (Global Positioning System), το οποίο ως παραπροϊόν των γεωδαιτικών στοιχείων υπολογίζει και το TVEC στον τόπο του σταθμού, έδωσε την δυνατότητα της παρακολούθησης των ιονοσφαιρικών μεταβολών υπεράνω της Θεσσαλονίκης.

Οι πρώτες αναλύσεις έδειξαν ότι πράγματι υπάρχει συσχέτιση της σεισμικής δραστηριότητας στην περιοχή της Θεσσαλονίκης με την σεισμικότητα της περιοχής, όχι όμως κατά ένα απλό μονοσήμαντο τρόπο. Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη τουλάχιστον η μεταβολή του γεωμαγνητικού πεδίου για να υπάρξει μια πιο καθαρή συσχέτιση. Η ανάλυση των δεδομένων με την «μέθοδο των κυματιδίων» (wavelet analysis) έδειξε ότι οι χαμηλές συχνότητες των μεταβολών του γεωμαγνητικού πεδίου (μήκος κύματος  $> 3$  ωρών) συσχετίζονται με τις αντίστοιχες χαμηλές συχνότητες των μεταβολών του TVEC, γεγονός που πιθανότατα εξυπονοεί μία αιτιακή σχέση. Αντιθέτως, οι υψηλές συχνότητες των μεταβολών γεωμαγνητικού πεδίου και TVEC δεν παρουσιάζει τέτοια συσχέτιση, γεγονός που εξυπονοεί ότι οι μεταβολές του TVEC υψηλής συχνότητας (μήκος κύματος  $< 3$  ωρών) έχουν τοπική αιτιολογία, πιθανόν την τοπική σεισμική δραστηριότητα. Το γεγονός αυτό καταδεικνύεται από την ταυτόχρονη ανάλυση των TVEC ενός δικτύου σταθμών του Ευρωπαϊκού Συστήματος Αναφοράς (EUREF) που καλύπτει όλη την λεκάνη της Μεσογείου, τα αποτελέσματα της οποίας δίδονται συνοπτικά στα σχήματα 7 και 8. Οι σταθμοί GPS που επελέγησαν είναι οι: EVPA (Ευπατορία, Κριμαία), TRAB (Τραπεζούντα, Βορειοανατολική Τουρκία), AUT1 (Θεσσαλονίκη), TUC2 (Χανιά, Κρήτης), MATE (Ματέρα, Νοτιοανατολική Ιταλία), LAMP (Λαμπητούσα, Κεντρική Μεσόγειος), GAIA (Πόρτο, Πορτογαλίας), RAB (Ραμπάτ, Βορειοδυτική Αφρική).

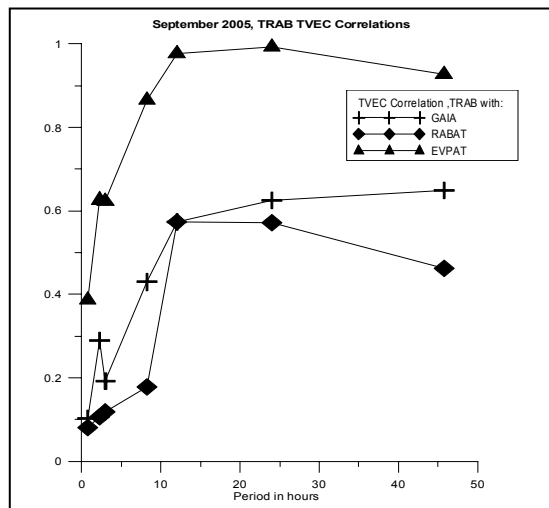
Στο σχήμα 7 φαίνεται η συσχέτιση των χαμηλών συχνοτήτων των μεταβολών του γεωμαγνητικού πεδίου με τις αντίστοιχες μεταβολές του TVEC για τους σταθμούς (EVPA, TRAB, GAI, RAB), ενώ στο σχήμα 8 φαίνεται μία παρόμοια συσχέτιση των TVEC των ίδιων σταθμών. Τέλος, οι υψηλές συχνότητες των μεταβολών του TVEC των πλησιεστέρων σταθμών σε επίκεντρα ισχυρών σεισμών παρουσιάζουν μία έξαρση κατά την διάρκεια ενός μηνός πριν από τον σεισμό.

Στο σχήμα 9 δίδονται τα στατιστικά χαρακτηριστικά (μέγιστο εύρος μεταβολής της συνιστώσας με περίοδο 1.5 ωρών, μέγιστο σήματος και τυπική απόκλιση) για την μεταβολή του TVEC υπεράνω των σταθμών του δικτύου, τις τελευταίες 15 ημέρες πριν από το σεισμό, μεγέθους 6.7R της 8ης Ιανουαρίου 2006 στην περιοχή των Κυθήρων. Από αυτό φαίνεται ότι οι μεταβολές του TVEC με αυτή την περίοδο υπεράνω του σταθμού TUC2 που απέχει μόλις 85 km από το επίκεντρο του σεισμού είναι σημαντικά ισχυρότερες από εκείνες των γειτονικών σταθμών.

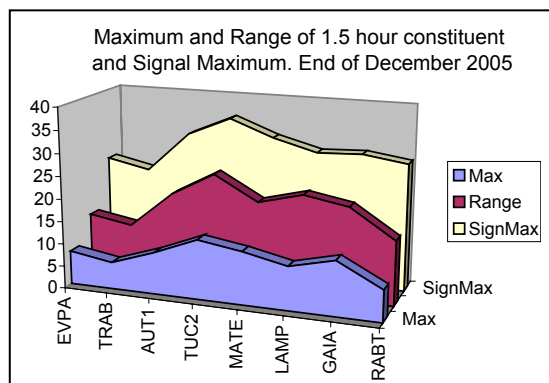
**Σχήμα 7:**  
Μεταβολή του συντελεστή συσχέτισης Dst - TVEC σε συνάρτηση με το μήκος κύματος των μεταβολών.



**Σχήμα 8:**  
Μεταβολή του συντελεστή συσχέτισης TVEC - TVEC υπεράνω διαφόρων σταθμών του δικτύου σε συνάρτηση με το μήκος κύματος των μεταβολών.



**Σχήμα 9:**  
Στατιστικά  
χαρακτηριστικά των  
μεταβολών του TVEC  
υπεράνω των σταθμών  
του δικτύου κατά το  
τελευταίο δεκαήμερο  
πριν την εκδήλωση  
του σεισμού 6.7R των  
Κυθέρων.



### Παράρτημα

Στο παράρτημα αναφέρονται τα ερευνητικά προγράμματα, στο πλαίσιο των οποίων έγιναν ή συνεχίζουν να γίνονται οι μελέτες που περιγράφονται στο κείμενο.

**I)** Μελέτη των διαχρονικών μεταβολών της βαρύτητας στην περιοχή της Μυγδονίας και του Στρυμώνα.

Πρόγραμμα του Τμήματος Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, από το 1979 μέχρι σήμερα, στο πλαίσιο του προγράμματος γεωδαιτικών και γεωφυσικών ερευνητικών πρωτοβουλιών του Τομέα Γεωδαισίας και Τοπογραφίας σχετικά με τη σεισμική δραστηριότητα στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

Ερευνητική ομάδα: Μαυρίδης Λ., Μπαντέλας Α., Αραμπέλος Δ., Γούναρης Α.

**II)** Μελέτη της μεταβολής της στάθμης και της θερμοκρασίας των υπογείων νερών, της βαρύτητας και της στάθμης της θάλασσας σε σχέση με τη σεισμική δραστηριότητα της περιοχής.

Ερευνητική ομάδα: Αστεριάδης Γ., Λιβιεράτος Ε., Σιούτας Γ., Κονταδάκης Μ., Αραμπέλος Δ., Σπαταλάς Σ.

#### Ερευνητικά προγράμματα:

1) Μελέτη των μεταβολών της στάθμης και της θερμοκρασίας των υπογείων νερών ως φαινομένων σχετιζόμενων με τη σεισμική δραστηριότητα στην ενεργά σεισμική περιοχή των Λιμνών Βόλβης και Λαγκαδά του Νομού Θεσσαλονίκης.

Πρόγραμμα χρηματοδοτούμενο από τη Νομαρχία Θεσσαλονίκης (Ιούλιος 1983 έως Οκτώβριο 1993).

2) Πρόγνωση σεισμών με βάση τη μελέτη των διαχρονικών μεταβολών της βαρύτητας της στάθμης και της θερμοκρασίας των υπογείων νερών και της στάθμης της θάλασσας, στην ενεργά σεισμική περιοχή της Θεσσαλίας στην Κεντρική Ελλάδα.

Πρόγραμμα χρηματοδοτούμενο από τον Ο.Α.Σ.Π. (Ιούλιος 1994 έως Φεβρουάριο 1997).

3) Μελέτη της συμπεριφοράς του στερεού φλοιού της γης σε περιοχές με έντονο γεωδυναμικό ενδιαφέρον (γεωδυναμικά ενεργές περιοχές) με γεωδαιτικές μεθόδους για την πρόληψη καταστροφικών συνεπειών για το περιβάλλον.

Πρόγραμμα με την υποστήριξη της Γ.Γ.Ε.Τ του Υ.Β.Ε.Τ. στο πλαίσιο του 4ου, 5ου και 6ου Πρωτοκόλλου Ε+Τ Συνεργασίας Ελλάδας - Λ.Δ. Κίνας.

(Σεπτέμβριος 1991 έως Δεκέμβριο 1996).

4) Μελέτη της επίδρασης των μη τεκτονικών παραγόντων (βροχοπτώση, ατμοσφαιρική πίεση, γήινες παλίρροιες) στη συμπεριφορά της στάθμης και της θερμοκρασίας των υπογείων νερών στην περιοχή της Κατερίνης του νομού Πιερίας και στην περιοχή της Γαλάτιστας του νομού Χαλκιδικής, σε σχέση με τη σεισμική δραστηριότητα της περιοχής.

Τομέας Γεωδαισίας και Τοπογραφίας Τ.Α.Τ.Μ. του Α.Π.Θ. (Σεπτέμβριος 1998 έως Οκτώβριος 2002).

Στην ερευνητική αυτή ενότητα έγιναν 39 δημοσιεύσεις σε έγκυρα διεθνή περιοδικά (Tectonophysics, Natural Hazards, Acta Geophysica Polonica, Geophysical Journal International, Seismology and Geology, Survey Review) καθώς και παρουσιάσεις σε διεθνή συνέδρια.

**III)** Ανάλυση κλασικών μετρήσεων και μετρήσεων GPS για την εύρεση και μελέτη των μικρομετακινήσεων του στερεού φλοιού της γης σε περιοχές με έντονο γεωδυναμικό ενδιαφέρον.

Ερευνητική ομάδα: Αστεριάδης Γ., Schwan Heiner, Αραμπέλος Δ., Κονταδάκης Μιχαήλ.

Ερευνητικό πρόγραμμα: Μελέτη των μικρομετακινήσεων του στερεού φλοιού της γης στην περιοχή των λιμνών Βόλβης και Λαγκαδά του Νομού Θεσσαλονίκης (σε συνεργασία με το Astronomisches Rechen-Institut του Πανεπιστημίου της Heidelberg Γερμανίας).

Τομέας Γεωδαισίας και Τοπογραφίας του Τμήματος Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Α.Π.Θ. (1986 έως σήμερα).

Στην ερευνητική αυτή ενότητα έγιναν 7 δημοσιεύσεις σε έγκυρα διεθνή περιοδικά (Geophysical Journal of the R.A.S., Bolletino di Geofisica Teorica ed Applicata, Survey Review).

**IV)** Οι μεταβολές των παραμέτρων της ατμοσφαιρικής παλίρροιας, ως πρόδρομα φαινόμενα σεισμών.

Ερευνητική ομάδα: Αραμπέλος Δ., Αστεριάδης Γ., Κονταδάκης Μ., Σπαταλάς Σ., Μπλούτσος Α., Σαχσαμάνογλου Χ.

Η ανάλυση της ατμοσφαιρικής παλίρροιας σε συνδυασμό με τις θεωρίες σχετικά με τη διάχυση ρευστών στην ανώτερη λιθόσφαιρα, στο στάδιο της προετοιμασίας σεισμικών συμβάντων, οδήγησε στην αναζήτηση της συσχέτισης των μεταβολών των παραμέτρων της ατμοσφαιρικής παλίρροιας με τη σεισμική ενέργεια.

Η έρευνα άρχισε το 1994 και συνεχίζεται μέχρι σήμερα, με τη δημοσίευση 11 άρθρων σε επιστημονικά περιοδικά (Journal of Geodynamics, Natural Hazards and Earth System Sciences), τμητικούς τόμους και πρακτικά διεθνών επιστημονικών συνεδρίων.

**V)** Μελέτη της μεταβολής του TVEC υπεράνω της Θεσσαλονίκης και γενικότερα υπεράνω της λεκάνης της Μεσογείου σε σχέση με την σεισμικότητα της περιοχής.

Ερευνητική ομάδα: Κονταδάκης Μ., Αραμπέλος Δ., Αστεριάδης Γ., Σπαταλάς Σ., Πικριδάς Χ.

Στο πλαίσιο της μελέτης αυτής έχουν παρουσιαστεί μέχρι σήμερα 6 ερευνητικές εργασίες σε διεθνή συνέδρια της EGU και της IASPEI.

Ο σεισμός της Θεσσαλονίκης (1978).  
Σταθμός για τη γεωλογική - τεκτονική έρευνα των ρηγμάτων.

## Τεκτονική μελέτη των σεισμικών ρηγμάτων των κυριότερων επιφανειακών σεισμών της Ελλάδας

του Δημοσθένη Μουντράκη,  
καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας Α.Π.Θ.

και του Σπυρίδωνος Παυλίδη,  
καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας Α.Π.Θ.

*Ο σεισμός της Θεσσαλονίκης το 1978 έδωσε το έναυσμα για συνδυασμένη εντατική γεωλογική - τεκτονική - σεισμολογική έρευνα των σεισμικών ρηγμάτων που προκάλεσαν όλους τους μετέπειτα επιφανειακούς σεισμούς στον ηπειρωτικό χώρο της Ελλάδας, καθώς και τη διερεύνηση της δυναμικότητας των σημαντικότερων πιθανών ενεργών ρηγμάτων.*

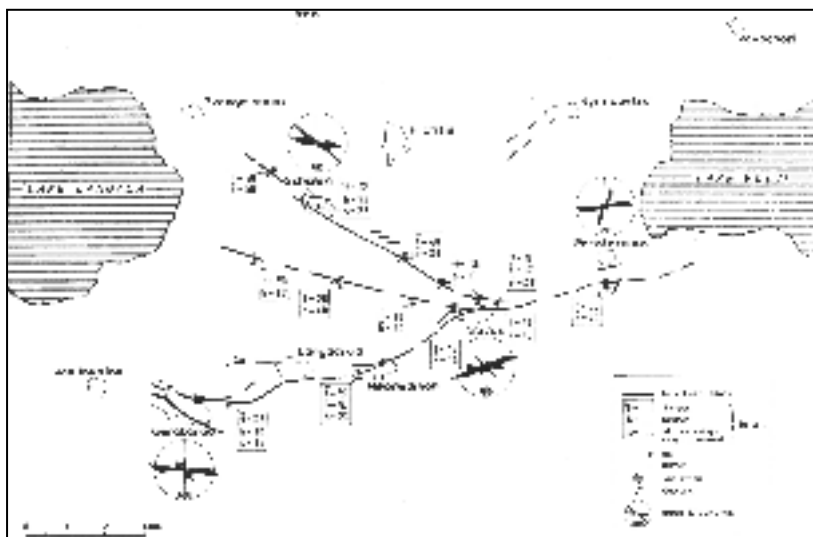
Ο σεισμός της Θεσσαλονίκης του 1978 αποτέλεσε ένα πολύ σημαντικό κοινωνικοοικονομικό γεγονός και ένα σημαντικό σταθμό στην εξέλιξη των σχετικών με τους σεισμούς επιστημών στον ελληνικό χώρο.

Η επικεντρική περιοχή του σεισμού ήταν η περιοχή της Μυγδονίας Λεκάνης, η οποία έκτοτε έγινε ένα φυσικό εργαστήριο μελέτης του σεισμικού φαινομένου

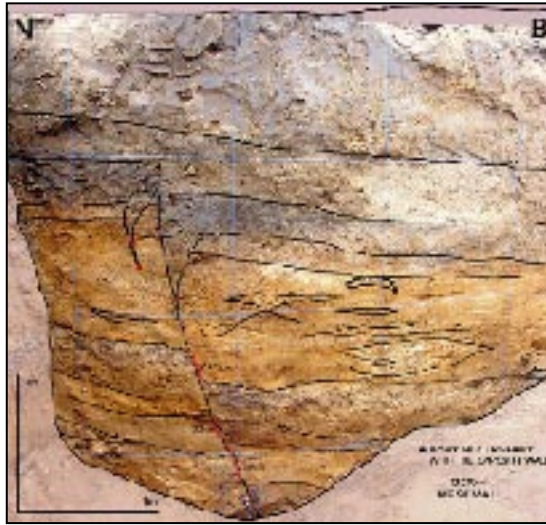
και ένα πρότυπο επιστημονικής προσέγγισης από γεωλογική, σεισμολογική και γεωφυσική άποψη, καθώς επίσης και από την πλευρά του γεωδαίτη - τοπογράφου, του εδαφομηχανικού και του πολιτικού μηχανικού γενικότερα.

Το σπουδαιότερο δεδομένο από γεωλογικής πλευράς ήταν ότι ο σεισμός της Θεσσαλονίκης είχε σαφείς επιφανειακές διαρρήξεις και άλλες εδαφικές παραμορφώσεις, οι οποίες μελετήθηκαν με λεπτομέρεια, συνδυάστηκαν με τις ενόργανες σεισμολογικές καταγραφές και συνδέθηκαν με γνωστά ή άγνωστα προϋπάρχοντα νεοτεκτονικά ρήγματα. Έτσι κατανοήθηκε η σαφής σχέση σεισμικών διαρρήξεων και γεωλογικών ρηγμάτων, αλλά αναδύθηκε και η πολυπλοκότητα της σχέσης αυτής (γεωμετρικής, σεισμοτεκτονικής). Κατανοήθηκαν επίσης η διαδικασία διάρρηξης ενός συστήματος αβαθών σχετικά γεωλογικών ρηγμάτων, μέχρι 10 km, το σεισμογενετικό στρώμα του ανώτερου φλοιού και οι σεισμογενετικές εκφράσεις του μορφοαναγλυφου.

Με τις έρευνες αυτές προσδιορίστηκε και χαρτογραφήθηκε το κύριο σεισμογόνο ρήγμα που ταυτίζεται με γνωστό γεωλογικό ρήγμα παράταξης περίπου Α-Δ και μικρής γωνίας κλίσης προς βορρά που βυθίζεται κάτω από τα ιζήματα της Μυγδονίας λεκάνης και τη λίμνη Βόλβη και προβάλλει τα επίκεντρα στη βόρεια πλευρά της λεκάνης. Το ρήγμα αυτό τοποθετείται μεταξύ των χωριών Περιστερώννας, Στίβου, Νικομιδηνό και Γερακαρού (σχήμα 1). Από την τεκτονική δράση που προκάλεσε τον κύριο σεισμό προκλήθηκε και επαναδραστηριοποίηση του παλιότερου ΒΔ-ΝΑ



**Σχήμα 1:** Χάρτης της πλειόσειστης περιοχής του σεισμού της Θεσσαλονίκης (1978) στον οποίο αποτυπώνεται το κύριο σεισμογόνο ρήγμα παράταξης περίπου Α-Δ, το αριστερόστροφο πλαγιοκανονικό ρήγμα παράταξης ΒΔ-ΝΑ, καθώς και όλες οι εδαφικές διαρρήξεις που χαρτογραφήθηκαν μετά το σεισμό με όλα τα τεκτονικά-γεωμετρικά στοιχεία τους (Parazachos et al 1980).

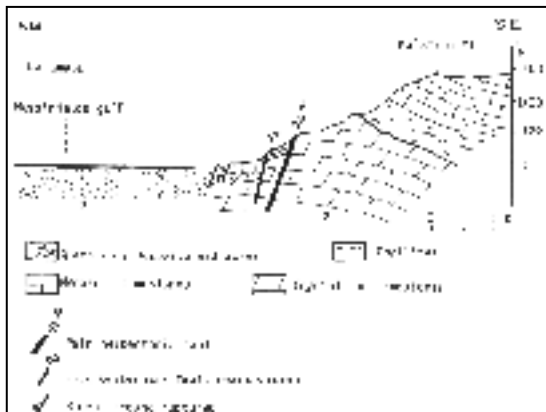


**Σχήμα 2:**  
Παλαιοσεισμολογική  
τομή στο ρήγμα της  
Γερακαρούς, όπου  
προσδιορίζεται το  
μέγιστο άλμα του  
σεισμικού ρήγματος  
(21cm) (Chatzipetros et  
al. 2005).

ρήγματος μεταξύ των χωριών Στίβος, Σχολάρι και Ευαγγελισμός ως αριστερόστροφου πλαγιοκανονικού ρήγματος, καθώς επίσης δευτερογενής δραστηριοποίηση άλλων μικρότερων ρηγμάτων της πλειόσειστης περιοχής που έδωσαν μικρότερες εδαφικές διαρρήξεις.

Από την τεκτονική μελέτη προέκυψαν και καινούργια προβλήματα που έδωσαν αφορμή για επόμενες, μελλοντικές έρευνες με νέες μεθόδους, γεγονός που έδωσε ώθηση στο να αναπτυχθούν νέοι σύγχρονοι γεωλογικοί κλάδοι, όπως της νεοτεκτονικής, μορφοτεκτονικής και παλαιοσεισμολογίας. Έδωσε επίσης αφορμή να κατασκευασθούν οι νεοτεκτονικοί χάρτες της Ελλάδας με την αποτύπωση των ενεργών ρηγμάτων με πρώτο χάρτη αυτόν της ευρύτερης περιοχής Μυγδονίας - Θεσσαλονίκης. Ακολούθησε μια σειρά ανάλογων νεοτεκτονικών χαρτών για διάφορες περιοχές της Ελλάδας που αναφέρονται στη συνέχεια στη βιβλιογραφία.

Επίσης η περιοχή του κύριου σειсмоγόνου ρήγματος στο νότιο περιθώριο της Μυγδονίας αποτέλεσε την πρώτη περίπτωση στην Ελλάδα όπου έγινε ανακαφή παλαιοσεισμολογικών τομών (4 τεχνητές και



**Σχήμα 3:**  
Σχηματική γεωλογική  
τομή του νεοτεκτονικού  
ρήγματος που  
προκάλεσε το σεισμό  
της Καλαμάτας  
(1986). Απεικονίζεται  
η μετανάστευση  
της τεκτονικής  
δράσης με τις νέες  
εδαφικές διαρρήξεις.  
(Parazachos et al  
1988).

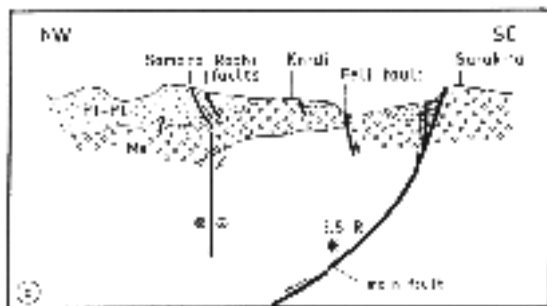
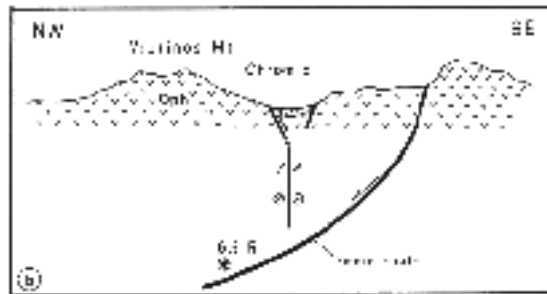
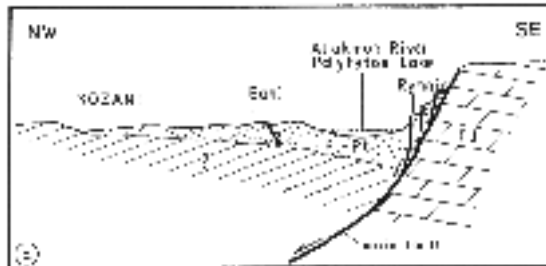
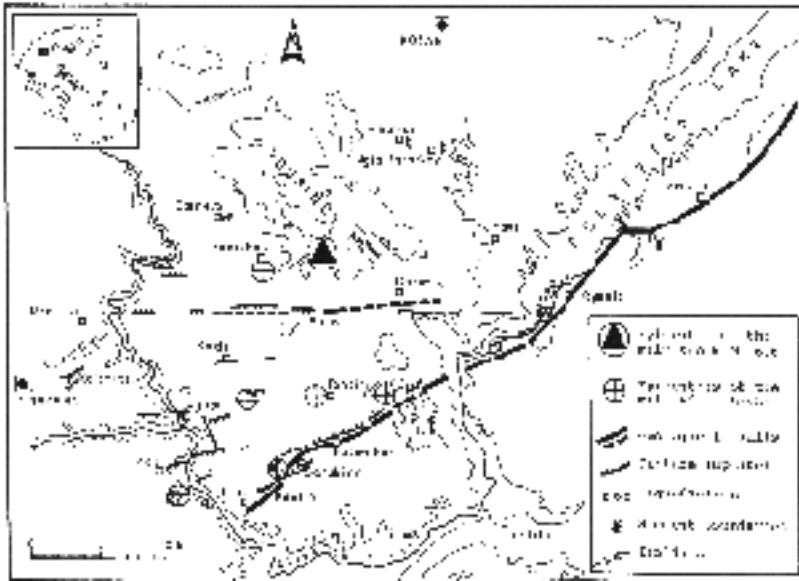
2 φυσικές) και εφαρμόστηκαν νέες ποσοτικές μέθοδοι μορφοτεκτονικής ανάλυσης όπως η ποσοτικοποίηση των παραμέτρων ύψους και μέγιστης γωνίας κλίσης των ρηξιγενών πρηνών για να διαπιστωθεί αν τα συγκεκριμένα ρήγματα έχουν δραστηριοποιηθεί στο πρόσφατο γεωλογικό παρελθόν (σχήμα 2).

Με βάση τις νέες έρευνες στη Μυγδονία, ο ρυθμός ολίσθησης που υπολογίστηκε από παλαιοσεισμολογικά δεδομένα ποικίλλει σημαντικά σε διάφορες θέσεις της λεκάνης. Αυτό οφείλεται στο χαρακτήρα της λεκάνης που είναι πολυρηγματωμένου τύπου (multifractured). Για μία ενδεχόμενη εκτίμηση του σεισμικού κινδύνου στην περιοχή θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ένας μέσος ρυθμός ολίσθησης για τα σεισμικά ρήγματα της τάξης των 0,7 mm/yr. Το μέγεθος των σεισμών που προκάλεσαν τις μετατοπίσεις που ανιχνεύθηκαν στις παλαιοσεισμολογικές τομές φαίνεται πως είναι της τάξης του σεισμού του 1978, δηλαδή μεγέθους 6,5, κρίνοντας από τη σύγκριση της μετατόπισης που προκάλεσε αυτός ο σεισμός με τις μετρηθείσες μετατοπίσεις ανά παλιό σεισμικό γεγονός. Το σύστημα ρηγμάτων της Μυγδονίας φαίνεται ότι συνδέεται με το αντίστοιχο της Ανατολικής Χαλκιδικής (ρήγματα Στρατωνίου και Γοματίου) μέσω «τυφλών» ρηξιγενών ζωνών, ρηγμάτων δηλαδή που δεν εκδηλώνονται στην επιφάνεια, και να επηρεάζεται από τις τεκτονικές κινήσεις των μεγάλων ρηγμάτων της θαλάσσιας τάφρου του Βορείου Αιγαίου.

Το έναυσμα που δόθηκε από το σεισμό της Θεσσαλονίκης το 1978 και η εμπειρία που αποκτήθηκε από τη μελέτη του οδήγησαν στη συνέχεια στην καλύτερη και πιο ολοκληρωμένη προσέγγιση όλων των σεισμών που εκδηλώθηκαν στο χερσαίο ελληνικό χώρο τα επόμενα χρόνια. Έτσι, συνδυασμένες γεωλογικές - σεισμολογικές μελέτες αντιμετώπισαν διεξοδικά τους επόμενους σεισμούς της Αγχιάλου Βόλου (1980), Αλκυονίδων (1981), Καλαμάτας (1986), Κοζάνης - Γρεβενών (1995), Πάρνηθας (2001), στους οποίους προσδιορίστηκε και χαρτογραφήθηκε το σειсмоγόνου ρήγμα, μελετήθηκε η γεωμετρία και η κινηματική του καθώς και η δευτερογενής δραστηριοποίηση άλλων μικρότερων ρηγμάτων των συγκεκριμένων σειсмоγόνων χώρων (σχήματα 3, 4, 5). Τέλος, η εμπειρία αυτή συνέβαλε στο να μελετηθούν με τις ίδιες μεθοδολογίες και άλλα ενεργά ρήγματα του ελληνικού χώρου που δεν συνδέονται άμεσα με σεισμούς.

Επίσης μεγάλη επίδραση είχε ο σεισμός του 1978 στην κατεύθυνση της βασικής έρευνας για την κατανόηση της νεοτεκτονικής συμπεριφοράς του ευρύτερου χώρου του Βορείου Αιγαίου (θαλάσσιος και ηπειρωτικός χώρος της Ελλάδας και των γύρω χωρών). Η τεκτονική δομή του Βορείου Αιγαίου επηρεάζεται τόσο από την προς τα δυτικά προέκταση του μεγάλου δεξιόστροφου ρήγματος της Βόρειας Ανατολίας που ελέγχει την κίνηση της Τουρκίας, όσο και από τον εφελκυσμό που οφείλεται στη χαλάρωση των τάσεων πίσω από το Ελληνικό τόξο, όπου η Αφρικανική πλάκα





**Σχήμα 4:** Χάρτης της πλειόσειστης περιοχής του σεισμού Κοζάνης-Γρεβενών (1995) στον οποίο αποτυπώνεται το κύριο σεισμογόνο ρήγμα παράταξης ΑΒΑ-ΔΝΔ, οι δευτερογενείς δραστηριοποιήσεις άλλων μικρότερων ρηγμάτων και όλες οι εδαφικές διαρρήξεις που χαρτογραφήθηκαν μετά το σεισμό. Οι σχηματικές γεωλογικές τομές αναπαριστούν τη δράση των ρηγμάτων κατά το σεισμό (Mountrakis et al 1998).

βυθίζεται κάτω από την Ευρασιατική.

Από την εμπειρία από το σεισμό της Θεσσαλονίκης και τους σεισμούς που ακολούθησαν στη χώρα μας, προέκυψε ένα νέο και πολύ ουσιαστικό συμπέρασμα. Τα ενεργά ρήγματα πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη στον αντισεισμικό σχεδιασμό, κι αν ακόμη τα υπάρχοντα σεισμολογικά στοιχεία δείχνουν σαφώς χαμηλότερους δείκτες και συντελεστές –όπως στην περίπτωση της Κοζάνης και των Γρεβενών (1995), της Αθήνας (1999)– και το διάστημα επαναδραστηριοποίησης τους είναι μεγαλύτερο από την αναμενόμενη ζωή των κατασκευών. Η διεθνής επιστημονική κοινότητα, μάλιστα, δέχεται σήμερα ότι είναι προτιμότερο και ασφαλέστερο να θεμελιώνουμε σωστά σε περιοχές που γνωρίζουμε την ύπαρξη, τη γεωμετρία και τη σεισμική ιστορία των ρηγμάτων, ενώ αντίθετα είναι περισσότερο επικίνδυνο να σχεδιάζουμε κατασκευές σε περιοχές με ελλιπή γεωλογική και εδαφομηχανική γνώση ή σε θέσεις που θεωρούνται «ασφαλείς» από σεισμοτεκτονική άποψη.

## Βιβλιογραφία

### 1) Εργασίες για το σεισμό της Θεσσαλονίκης 1978

Papazachos, B. C., D. Mountrakis, A. Psilovikos and G. Leventakis (1980). Surface fault traces and fault nplane solutions of the May-June 1978 major shocks in the Thessaloniki area, Greece, *Tectonophysics*, 53, 171-183.

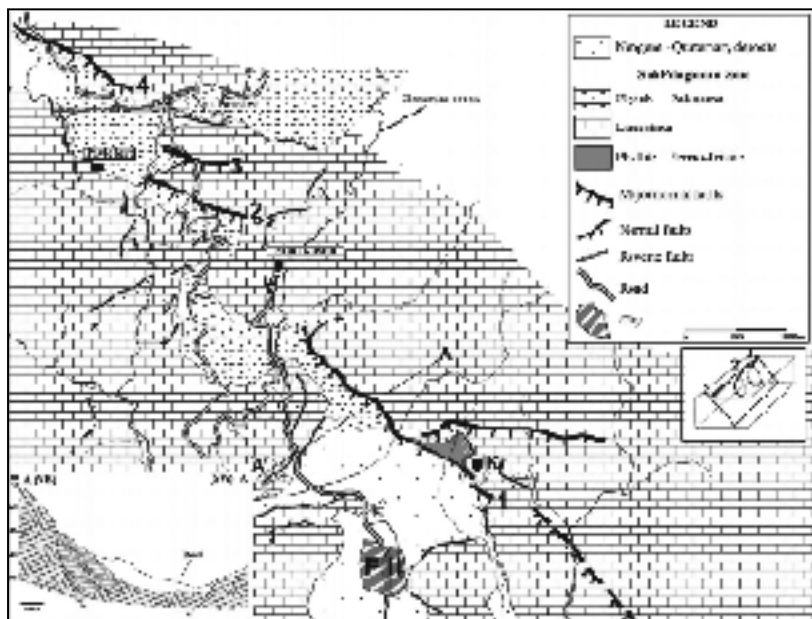
Papazachos, B. C., D. Mountrakis, A. Psilovikos and G. Leventakis (1979). Focal properties of the 1978 earthquakes in the Thessaloniki area. *Bulgar, Geophys. Journal*, 6, 72-80".

Mountrakis, D., A. Psilovikos and B. Papazachos (1983). The geotectonic regime of the 1978 Thessaloniki earthquake, in: *The Thessaloniki northern Greece, earthquake of June 20, 1978 and its seismic sequence*, Papazachos B. C and Carydis P.G., Eds., Technical Chamber of Greece, Section of central Macedonia, Thessaloniki, 11-27.

Mercier J. L, Mouyaris, N., Simeakis C., Rondoyanni T., Angelidhis C. (1979). Intraplate Tectonics. A quantitative study of the faults activated by the 1978 Thessaloniki earthquakes. *Nature*, 278, 45-48.

Mercier J. L, E. Carey, C. Simeakis, D. Foundoulis, N. Mouyaris, T. Roundoyannis and C. Angelidhis (1983). Etude des failles neotectoniques et seismiques de la region epicentrale des seismes (Mai-Juin 1978) de Thessalonique (Grece), in: *The Thessaloniki northern Greece, earthquake of June 20, 1978 and its seismic sequence*, Papazachos B. C and Carydis P.G., Eds., Technical Chamber of Greece, Section of central Macedonia, Thessaloniki.

Χατζηπέτρος, Α. Α. (1998). Παλαιοσεισμολογική - μορφοτεκτονική μελέτη και μηχανική συμπεριφορά των συστημάτων ενεργών διρρηξεων Μυγδονίας, Ανατολικής Χαλκιδικής, Κοζάνης - Γρεβενών, διδακτορική διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.



**Σχήμα 5:**  
Χαρτογράφηση των επιμέρους τμημάτων του ρήγματος της Φυλής στην Πάρνηθα (Αττική) μετά τον σεισμό του 1999 (Pavlidis et al 2002, Ganas et al 2004).

## 2) Νεοτεκτονικοί χάρτες με τα ενεργά ρήγματα που εκπονήθηκαν από το Τμήμα Γεωλογίας του Α.Π.Θ.

Μουντράκης Δ., Κίλιας Α., Παυλίδης Σ., Σωτηριάδης Α., Ψιλοβίκος Α., Αστάρης Θ., Βαβλιάκης Ε., Κουφός Γ., Δημόπουλος Γ., Σούλιος Γ., Χρηστάρας Β., Σκορδύλης Μ., Τρανός Μ., Σπυρόπουλος Ν., Πάτρας Δ., Συρίδης Γ., Λαμπρινός Ν. & Λάγγαλης Θ. (1996Α). Νεοτεκτονικός χάρτης της Ελλάδας, φύλλο Λαγκαδά, κλίμακας 1:100.000. Έκδοση Οργανισμού Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (Ο.Α.Σ.Π.) και του Ευρωπαϊκού Κέντρου Πρόληψης και Πρόγνωσης των Σεισμών (Ε.Κ.Π.Π.Σ.).

Μουντράκης Δ., Κίλιας Α., Παυλίδης Σ., Σωτηριάδης Α., Ψιλοβίκος Α., Αστάρης Θ., Βαβλιάκης Ε., Κουφός Γ., Δημόπουλος Γ., Σούλιος Γ., Χρηστάρας Β., Σκορδύλης Μ., Τρανός Μ., Σπυρόπουλος Ν., Πάτρας Δ., Συρίδης Γ., Λαμπρινός Ν. & Λάγγαλης Θ. (1996Β). Νεοτεκτονικός χάρτης της Ελλάδας, φύλλο Θεσσαλονίκη, κλίμακας 1:100.000. Έκδοση Οργανισμού Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (Ο.Α.Σ.Π.) και του Ευρωπαϊκού Κέντρου Πρόληψης και Πρόγνωσης των Σεισμών (Ε.Κ.Π.Π.Σ.).

Μουντράκης Δ., Κίλιας Α., Παυλίδης Σ., Βαβλιάκης Ε., Τρανός Μ., Ζούρος Ν., Σπυρόπουλος Ν., Χατζηπέτρος Α., Καρακώστας Β., Σκορδύλης Μ., Κωστόπουλος Δ., Γκουντρομίχου Χ., Θωμαΐδου Ε., (1999). Νεοτεκτονική χαρτογράφηση της Ελλάδας, κλίμακας 1:100.000, φύλλο Κοζάνη. Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας, 95 σελ.

Μουντράκης Δ., Κίλιας Α., Παυλίδης Σ., Τρανός Μ., Σπυρόπουλος Ν., Ζούρος Ν., Συρίδης Γ., Σκορδύλης Μ., Βαβλιάκης Ε., Θωμαΐδου Ε. (2003). Υπό έκδοση: Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας. Νεοτεκτονικός Χάρτης της Ελλάδας, Φύλλο «Ροδολίβος», κλίμακα 1:75.000.

Μουντράκης Δ., Κίλιας Α., Βαβλιάκης Ε., Ψιλοβίκος Α., Καρακαίσης Γ., Παπαζάχος Κ., Θωμαΐδου Ε., Σείτα-

νίδης Γ., (2003). Υπό έκδοση: Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας. Νεοτεκτονικός χάρτης της Ελλάδας, Φύλλο «Σάμος», κλίμακα 1:75.000.

## 3) Εργασίες για σεισμούς άλλων περιοχών της Ελλάδας

Papazachos B.C., Comninakis P.E., Mountrakis D.M., & Pavlides S.B. (1982). Preliminary results of an investigation of the February-March 1981 Alkionides gulf (Greece) earthquakes. Proc. Int. Symp. Hellenic Arc and Trench 1981, Athens, 2, 74-87.

Papazachos B.C., Panagiotopoulos D.G., Tsapanos T.M., Mountrakis D.M. & Dimopoulos G. (1983). A study of the 1980 summer seismic sequence in the Magnesia region of Central Greece. Geophys. J.R. Soc. 75, 155-168.

Papazachos B., Kiratzi A., Karakostas B., Panagiotopoulos D., Scordilis E. & Mountrakis D. (1988). Surface fault traces, fault plane solution and spatial distribution of the aftershocks of the September 13, 1986 Earthquake of Kalamata. Pageoph., 126, 55-68.

Chatzipetros A.A., Pavlides S.B. and Mountrakis D.M. (1998). Understanding the 13 May 1995 western Macedonia earthquake: a paleoseismological approach, Journal of Geodynamics, 26, 327-339.

Mountrakis D., Pavlides S., Zouros N., Astaras T. and Chatzipetros A. (1998). Seismic fault geometry and kinematics of the 13 May 1995 western Macedonia (Greece) earthquake, Journal of Geodynamics, 26, 175-199.

Pavlides, S.B., Ganas, A., Papadopoulos, G.A., (2002). The fault that caused the Athens September 1999 Ms=5.9 earthquake: field observations. Natural Hazards 27, 61-84.

Ganas, A., S.B. Pavlides, S. Sboras, S. Valkaniotis, S. Papaioannou, G.A. Alexandris, A. Plessaa, G.A. Papadopoulos (2004). "Active fault geometry and kinematics in Parnitha Mountain, Attica, Greece" J. Struct. Geol. 26 2103-2118.

## 4) Γενικές σεισμοτεκτονικές εργασίες

Chatzipetros A., Kokkalas S., Pavlides S. and Koukouvelas I. (2005). Paleoseismic data and their implication for active deformation in Greece, Journal of Geodynamics, 40, 170-188.

Pavlides, B.. A.A. Kiliias (1987). «Neotectonic and active faults along the Serbo Macedonian zone (SE Chalkidiki, northern Greece)», Annales Tectonicae, 1, 97 - 104.

Pavlides, S., D. Mountrakis, A. Kiliias, and M. Tranos (1990). «The role of strike - slip movements in the extensional area of northern aegean (Greece): a case of trans-tensional tectonics» από, Annales Tectonicae, 4, N2.

Pavlides S., Caputo R., Koukouvelas I., Kokkalas S. and Chatzipetros A. (2006). Paleoseismological investigations of Aegean-type active faults, In: Dilek Y. and Pavlides S. (eds): Postcollisional tectonics and magmatism in the Mediterranean region and Asia, Geological Society of America Special Paper, 409, 175-188.

# Το δίκτυο σειсмоγράφων του Α.Π.Θ. και ο σεισμός του 1978

του **Κωνσταντίνου Παπαζάχου**,  
αναπληρωτή καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας Α.Π.Θ.,

του **Μανώλη Σκορδύλη**,  
επίκουρου καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας Α.Π.Θ.,

και του **Παναγιώτη Χατζηδημητρίου**,  
καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας Α.Π.Θ.

*Ο ισχυρός σεισμός του 1978 ανάμεσα στις λίμνες Βόλβη και Λαγκαδά αποτέλεσε την αφορμή για τη δημιουργία του πρώτου σύγχρονου τηλεμετρικού δικτύου σειсмоγράφων στα Βαλκάνια. Το δίκτυο αυτό δημιουργήθηκε στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης με χρηματοδότηση της ελληνικής πολιτείας και μέσα σε δυο δεκαετίες εξελίχθηκε από ένα τοπικό δίκτυο 8 σταθμών σε ένα πανελλαδικό δίκτυο περίπου 70 σταθμών, τόσο του Α.Π.Θ. όσο και συνεργαζόμενων δικτύων. Η λειτουργία του δικτύου συνέβαλε αποφασιστικά τόσο στην κατανόηση των γεωδυναμικών διεργασιών στο χώρο του Αιγαίου, όσο και στην εφαρμοσμένη αντισεισμική έρευνα και πολιτική.*

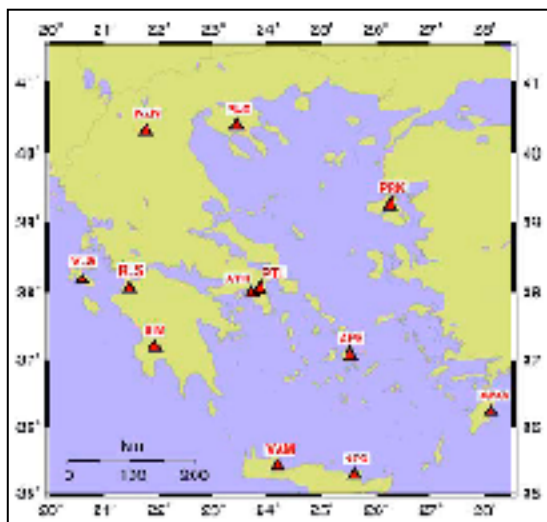
## Ο σεισμός του 1978 και η ίδρυση του σεισμολογικού δικτύου του Α.Π.Θ.

Στις 20 Ιουνίου του 1978 ένας ισχυρός σεισμός μεγέθους 6,5 με επίκεντρο την περιοχή της Μυγδονίας λεκάνης έπληξε την ευρύτερη περιοχή γύρω από τις λίμνες Λαγκαδά και Βόλβη, προκαλώντας σημαντικές επιπτώσεις στην πόλη της Θεσσαλονίκης. Εκείνη την εποχή η καταγραφή των σεισμών αλλά και η παρακολούθηση της μετασεισμικής δραστηριότητας γίνονταν αποκλειστικά από το δίκτυο του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών. Το δίκτυο αυτό εγκαταστάθηκε κατά το διάστημα 1964-1965 και αποτελούνταν από δώδεκα σεισμολογικούς

σταθμούς, μόνο δύο εκ των οποίων ήταν εγκατεστημένοι στη βόρεια Ελλάδα (σχήμα 1). Οι καταγραφές των σταθμών αυτών συλλέγονταν από τοπικούς παρατηρητές και αποστέλλονταν ταχυδρομικά (!) στο Γεωδυναμικό Ινστιτούτο Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, όπου γινόταν στη συνέχεια η επεξεργασία τους. Όπως είναι προφανές, η ελλιπής κάλυψη του ελληνικού χώρου από σεισμολογικούς σταθμούς, καθώς και η απουσία οποιασδήποτε μορφής τηλεμετρίας στο υπάρχον δίκτυο δεν επέτρεπε τη λεπτομερή και κυρίως τη παρακολούθηση μιας σεισμικής δραστηριότητας σε πραγματικό χρόνο.

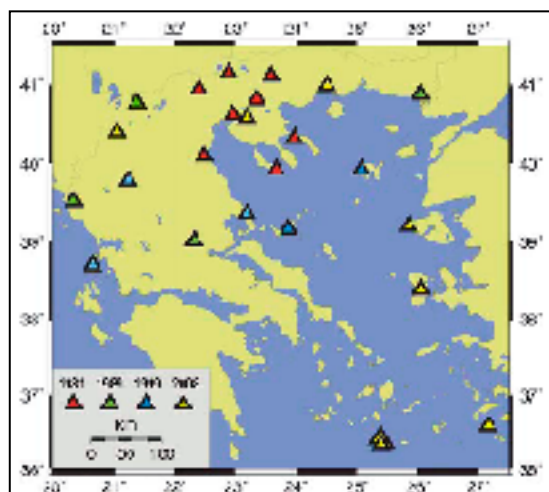
Το γεγονός ότι ο σεισμός της 20ης Ιουνίου 1978 ήταν ο πρώτος ισχυρός σεισμός που έπληξε ένα σύγχρονο αστικό κέντρο στην Ελλάδα, σε συνδυασμό με την πρόσφατη (τότε) εκλογή του Β. Παπαζάχου ως καθηγητή Γεωφυσικής του Α.Π.Θ. αποτέλεσαν τον καθοριστικό παράγοντα για τη λήψη της πολιτικής απόφασης από τον τότε πρωθυπουργό Κ. Καραμανλή για την άμεση εγκατάσταση ενός πυκνού τηλεμετρικού δικτύου σειсмоγράφων στην περιοχή της Βόρειας Ελλάδας, αφού η ύπαρξη και λειτουργία ενός τέτοιου δικτύου θα μπορούσε να εξασφαλίσει τη λεπτομερή καταγραφή και παρακολούθηση των σεισμοτεκτονικών διεργασιών του ευρύτερου βορειοελλαδικού χώρου. Η εγκατάσταση του δικτύου αυτού, στην αρχική του μορφή, ολοκληρώθηκε το 1980, ενώ η κανονική και πλήρης λειτουργία του άρχισε την 1η Ιανουαρίου 1981.

Στην αρχική του μορφή (σχήμα 2 - κόκκινα τρίγωνα), το δίκτυο απαρτιζόταν από έναν κεντρικό σταθμό (Θεσσαλονίκη) και επτά περιφερειακούς σταθ-



**Σχήμα 1.**

*Το δίκτυο σειсмоγράφων του ελληνικού χώρου μέχρι το 1981, έτος έναρξης λειτουργίας του δικτύου σειсмоγράφων του Εργαστηρίου Γεωφυσικής του Α.Π.Θ.*



**Σχήμα 2.**  
Χωρο-χρονική εξέλιξη του δικτύου σειсмоγράφων του Εργαστηρίου Γεωφυσικής του Α.Π.Θ.

μούς. Όλοι, οι σταθμοί ήταν εξοπλισμένοι με τρία σεισμομέτρα βραχείας περιόδου (~1 sec). Η μετάδοση του σήματος γινόταν μέσω αναλογικών τηλεφωνικών γραμμών που εξυπηρετούσαν αποκλειστικά τη μετάδοση σήματος. Η καταγραφή του σήματος γινόταν τόσο αναλογικά (τύμπανα καταγραφής, φωτογραφική ταινία) όσο και ψηφιακά σε κεντρικό υπολογιστή, όπου κατέληγαν τα σήματα μετά την ψηφιοποίησή τους από έναν 12bit A-D μετατροπέα 32 καναλιών. Αυτό ήταν, για ολόκληρο το Βαλκανικό χώρο, το πρώτο τηλεμετρικό σεισμολογικό δίκτυο με υποστήριξη ηλεκτρονικού υπολογιστή (Digital Equipment Corporation, PDP 11/34).

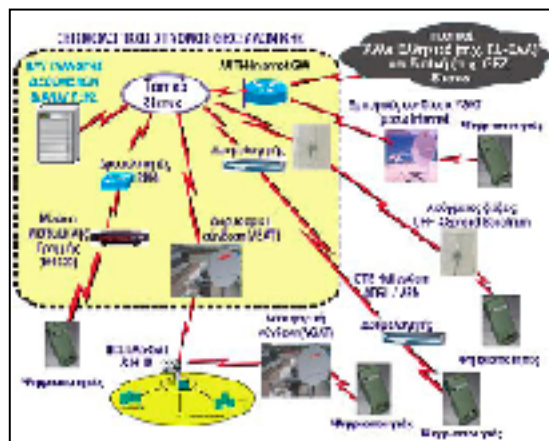
Μετά την εγκατάστασή του, το δίκτυο πέρασε από διάφορες φάσεις αναβάθμισης, πριν φθάσει στη σημερινή του μορφή (σχήμα 2). Οι βασικοί λόγοι που επέβαλαν την αναβάθμισή του ήταν η περιορισμένη, χωρικά, ανιχνευτική του ικανότητα, λόγω της αρχικής γεωγραφικής κατανομής των σταθμών του και η καταγραφή ψευδο-ψηφιακών σημάτων αφού η ψηφιοποίησή τους γινόταν στον κεντρικό σταθμό όπου έφθαναν μέσω αναλογικής μετάδοσης. Η πρώτη αναβάθμιση ολοκληρώθηκε το 1989 με την εγκατάστα-

ση τεσσάρων νέων σταθμών και την αντικατάσταση του υπολογιστικού συστήματος από πιο σύγχρονο (MicroVAX II DEC). Η αναβάθμιση αυτή πρόσφερε βελτιωμένη ανιχνευτική ικανότητα, διατηρήθηκε όμως το μειονέκτημα της καταγραφής ψευδο-ψηφιακών σημάτων. Η χωρική εξάπλωση του δικτύου συνεχίστηκε με δεύτερη αναβάθμιση το 1999 με την εγκατάσταση πέντε νέων σταθμών με ασύρματη μετάδοση (UHF), ενώ ο κεντρικός υπολογιστής αντικαταστάθηκε από νεώτερο και ισχυρότερο (VAX-3100 DEC).

Ακολούθησαν κατά το διάστημα 2003-2007 νέες διαδοχικές αναβαθμίσεις με τη βελτίωση της γεωγραφικής κάλυψης του δικτύου και κυρίως του τεχνικού εξοπλισμού, με αναβάθμιση του δικτύου σε ψηφιακό, με την σταδιακή προμήθεια ψηφιακών σειсмоγράφων και σεισμομέτρων ευρέος φάσματος. Σήμερα το δίκτυο αριθμεί συνολικά 25 σταθμούς, σχεδόν όλους ψηφιακούς με σεισμομέτρα τριών συνιστωσών και ευρέος φάσματος (100 sec – 50 Hz) (σχήμα 2). Πέντε από τους σταθμούς είναι εγκατεστημένοι στη Σαντορίνη προσφέροντας πολύτιμες πληροφορίες για τη σεισμική - ηφαιστειακή δραστηριότητα του πλέον ενεργού ηφαιστείου στο Ν. Αιγαίου. Έξι νέοι σταθμοί βρίσκονται αυτή τη στιγμή σε διαδικασία εγκατάστασης (Καβάλα, Νεστόριο και τέσσερις στη Νίσυρο), ανεβάζοντας το συνολικό αριθμό των σταθμών του δικτύου σε τριάντα έναν.

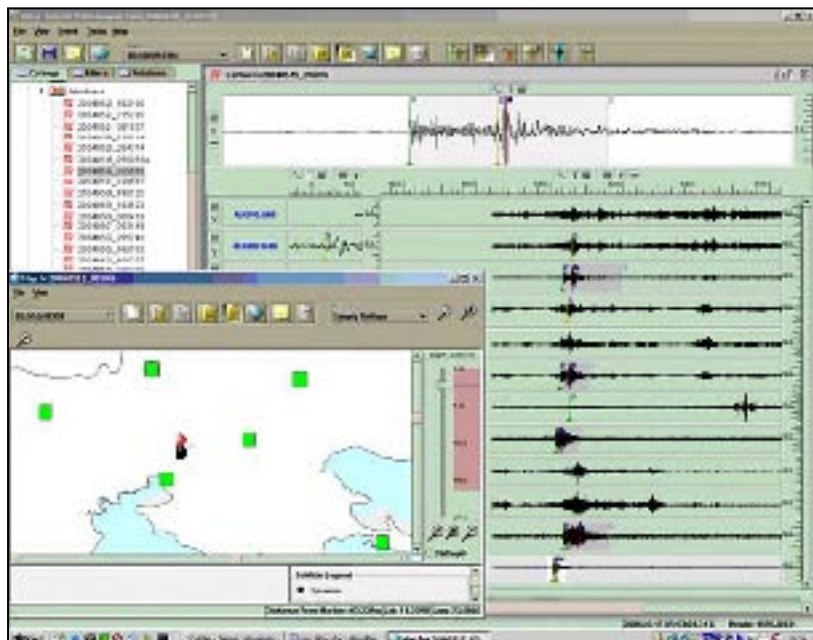
Σήμερα, όλοι οι περιφερειακοί σταθμοί μεταδίδουν τα δεδομένα τους στον κεντρικό σεισμολογικό σταθμό της Θεσσαλονίκης σε πραγματικό χρόνο (real-time) με διάφορες μεθόδους επικοινωνίας (σχήμα 3), οι οποίες περιλαμβάνουν τηλεφωνικές ψηφιακές συνδέσεις (HellasCom, ADSL/VPN και γραμμές 1020), ιδιόκτητες δορυφορικές συνδέσεις μέσω HellasSat/O.T.E., ασύρματες ψηφιακές συνδέσεις τύπου Spread Spectrum και UHF, κ.τ.λ. Η πολυπλοκότητα των τύπων σύνδεσης των περιφερειακών σεισμολογικών σταθμών δεν οφείλεται μόνο στις διαθέσιμες υποδομές σε κάθε θέση αλλά και στην ανάγκη ύπαρξης διαφορετικών ή και πολλαπλών δρομολογήσεων των δεδομένων, αφού είναι γνωστό ότι σε περίπτωση ισχυρού σεισμού έχουμε σημαντικές επιπτώσεις και στις τηλεπικοινωνίες (βλέπε και σχετικό άρθρο "Όταν ο Εγκέλαδος ρυθμίζει τις τηλεπικοινωνίες", Πολυμήχανο, τεύχος 20).

Τα ψηφιακά δεδομένα που συλλέγονται στον κεντρικό Σεισμολογικό Σταθμό του Α.Π.Θ. αναλύονται σε καθημερινή βάση και προωθούνται στους αρμόδιους φορείς, τα διεθνή σεισμολογικά κέντρα και το Διαδίκτυο. Η χρήση του νέου ψηφιακού συστήματος λήψης και ανάλυσης δεδομένων τα τελευταία 5 χρόνια έχει βοηθήσει πολύ στη συστηματική βελτίωση του χρόνου και της ακρίβειας προσδιορισμού των εστιακών παραμέτρων των σεισμών. Ένα δείγμα της καθημερινής ανάλυσης παρουσιάζεται στο σχήμα (4), όπου φαίνονται οι καταγραφές και το επίκεντρο ενός μικρού σεισμού, κοντά στην πόλη της Θεσσαλονίκης.



**Σχήμα 3.**  
Σχηματική δομή της τηλεπικοινωνιακής υποδομής του Σεισμολογικού Σταθμού Α.Π.Θ.





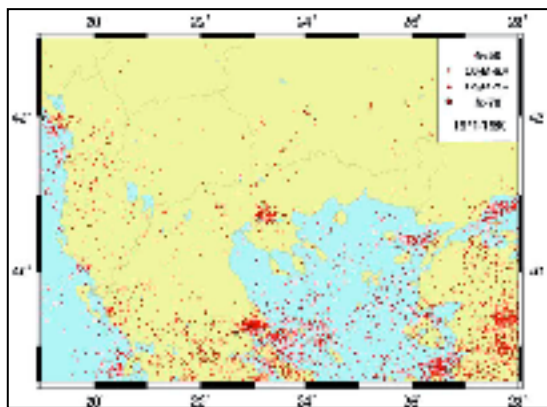
**Σχήμα 4.**  
Καταγραφές και  
ανάλυση epicέντρου  
από το σεισμολογικό  
δίκτυο του Α.Π.Θ.

#### Η συμβολή του σεισμολογικού δικτύου του Α.Π.Θ. στην εφαρμοσμένη αντισεισμική έρευνα και πολιτική

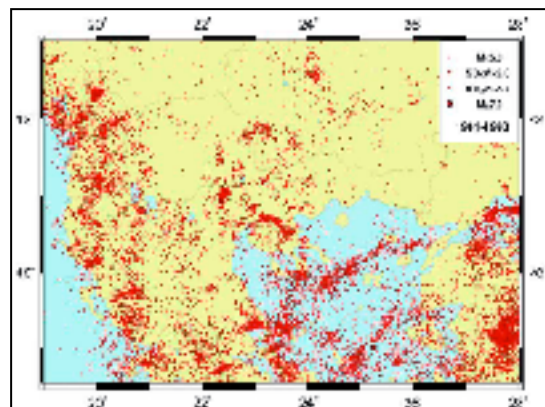
Η συμβολή του δικτύου στην παρακολούθηση της σεισμικής δράσης στον ευρύτερο ελλαδικό χώρο και ιδιαίτερα στην περιοχή της Βόρειας Ελλάδας υπήρξε καθοριστική. Στο χάρτη του σχήματος 5 φαίνονται τα epicέντρα των σεισμών που έγιναν στον ευρύτερο βορειοελλαδικό χώρο κατά το χρονικό διάστημα 1971-1980 και καταγράφηκαν από τους σειсмоγράφους του δικτύου σειсмоγράφων του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών. Στο χάρτη του σχήματος 6 παρουσιάζονται τα epicέντρα των σεισμών του ίδιου χώρου που έγιναν κατά

το αντίστοιχο χρονικό διάστημα 1981-1990, όταν πλέον λειτουργούσε το δίκτυο σειсмоγράφων του Εργαστηρίου Γεωφυσικής του Α.Π.Θ. (Ε.Γ.-Α.Π.Θ.) και είχαν μεσολαβήσει ανάλογες αναβαθμίσεις στο δίκτυο του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών. Η τεράστια διαφορά στον αριθμό των καταγεγραμμένων σεισμών στα δύο αντίστοιχες διάρκειες χρονικά διαστήματα δείχνει την ουσιαστική συμβολή του σεισμολογικού δικτύου του Εργαστηρίου Γεωφυσικής Α.Π.Θ. στην καλύτερη παρακολούθηση της σεισμικής δραστηριότητας του ευρύτερου χώρου του Αιγαίου. Το γεγονός αυτό έχει σημαντικές επιπτώσεις τόσο στην καλύτερη μελέτη του σεισμοτεκτονικού καθεστώτος του Αιγαίου και στην αντισεισμική πολιτική (βελτιωμένος σχεδιασμός δράσεων αντισεισμικού κανονισμού, κ.τ.λ.) όσο και στην εγκυρότερη και ταχύτερη ενημέρωση της πολιτείας σε περιπτώσεις σεισμικών εξάρσεων.

Ένα σημαντικό στοιχείο που δείχνει τις πρακτικές επιπτώσεις από την εγκατάσταση νέων σεισμολογικών σταθμών στην Ελλάδα από το Εργαστήριο Γεωφυσικής Α.Π.Θ. παρουσιάζεται στο σχήμα 7, όπου εμφανίζεται η μεταβολή του συσσωρευτικού αριθμού σεισμολογικών σταθμών στην Ελλάδα σε συνάρτηση με το χρόνο. Στο ίδιο διάγραμμα με μπλε χρώμα παριστάνεται το συσσωρευτικό πλήθος των σεισμών που καταγράφηκαν από τα δίκτυα σειсмоγράφων στον ευρύτερο ελλαδικό χώρο με μέγεθος  $M \geq 3.5$ . Αν και τα δεδομένα (καταγεγραμμένοι σεισμοί) αφορούν το σύνολο των σεισμολογικών δικτύων, είναι χαρακτηριστική η εντυπωσιακή αύξηση του ρυθμού καταγραφής σεισμών στις αντίστοιχες, χρονικά, επεκτάσεις του σεισμολογικού δικτύου του Εργαστηρίου Γεωφυσικής Α.Π.Θ. Αφού η μέση σιμικότητα του ελληνικού χώρου παραμένει σταθερή, ο υπερτριπλάσιος ρυθμός καταγραφής σεισμών με  $M \geq 3.5$  κατά την τελευταία πενταετία αναδεικνύ-



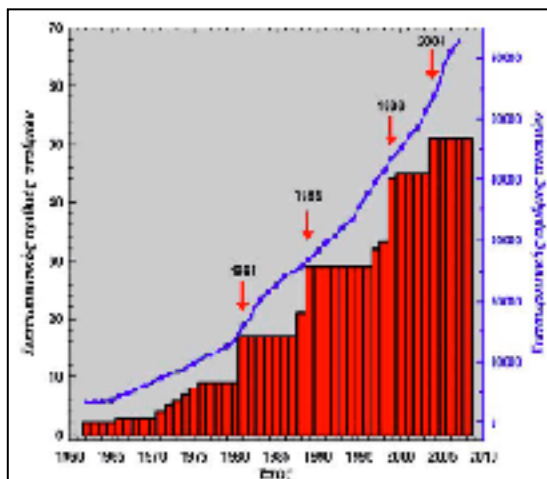
**Σχήμα 5:** Χάρτης epicέντρων των σεισμών του ευρύτερου βορειοελλαδικού χώρου κατά το διάστημα 1971-1980, όπως καταγράφηκαν από το δίκτυο σειсмоγράφων του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (Γ.Ι.-Ε.Α.Α.).



**Σχήμα 6:** Χάρτης epicέντρων των σεισμών του ευρύτερου βορειοελλαδικού χώρου κατά το χρονικό διάστημα 1981-1990, όπως καταγράφηκαν από τα δίκτυα σειсмоγράφων του Εργαστηρίου Γεωφυσικής του Α.Π.Θ. και του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών.



**Σχήμα 7:**  
Διάγραμμα  
συσσωρευτικού  
αριθμού των σταθμών  
των ελληνικών  
σειсмоγραφικών  
δικτύων (κόκκινο  
χρώμα) και του αριθμού  
των καταγεγραμμένων  
από τα δίκτυα αυτά  
σεισμών με  $M \geq 3.5$ , σε  
συνάρτηση με το χρόνο  
(μπλε χρώμα).



κία). Στο σχήμα 8 παρουσιάζεται η κατάσταση του εικονικού (virtual) δικτύου του Εργαστηρίου Γεωφυσικής Α.Π.Θ., όπου φαίνονται τόσο οι δικοί του σταθμοί (31 στο τέλος του 2008, μπλε τρίγωνα), όσο και οι σταθμοί άλλων δικτύων, τα σήματα των οποίων καταγράφονται σήμερα στον κεντρικό Σεισμολογικό Σταθμό (39, κόκκινα τρίγωνα). Ακόμη τουλάχιστον 26 σταθμοί (κίτρινα τρίγωνα) άλλων ελληνικών δικτύων αναμένεται να συνδεθούν με το δίκτυο του Εργαστηρίου Γεωφυσικής Α.Π.Θ. μέχρι το τέλος του 2008, ανεβάζοντας το συνολικό αριθμό των σταθμών σε σχεδόν 100. Ο αριθμός αυτός είναι περισσότερο από 8 φορές μεγαλύτερος από το δίκτυο των σταθμών που υπήρχαν πριν τη γένεση του σεισμού της Θεσσαλονίκης το 1978 (σχήμα 1), δείχνοντας τη καταλυτική επίδραση αυτού του γεγονότος στην ανάπτυξη των σεισμολογικών δικτύων στη Θεσσαλονίκη αλλά και γενικότερα στην Ελλάδα και στα Βαλκάνια.

Η κύρια διάχυση των πληροφοριών του Σεισμολογικού Σταθμού του Εργαστηρίου Γεωφυσικής Α.Π.Θ. προς την ελληνική κοινωνία γίνεται κυρίως μέσω διαδικτύου, από την ιστοσελίδα του Εργαστηρίου Γεωφυσικής Α.Π.Θ. και του Σεισμολογικού Σταθμού (<http://seismology.geo.auth.gr>).

Ένα παράδειγμα παρουσιάζεται στο σχήμα 9, όπου ενδεικτικά παρουσιάζονται οι δυνατότητες δημιουργίας χαρτών σεισμικότητας και παρακολούθησης της σεισμικής δραστηριότητας σε σχεδόν πραγματικό χρόνο. Σε κάθε περίπτωση ο χρήστης έχει δυνατότητα να αποθηκεύσει τους καταλόγους για προσωπική χρήση (π.χ. μελέτες σεισμικότητας και σεισμικής επικινδυνότητας, κ.τ.λ.).

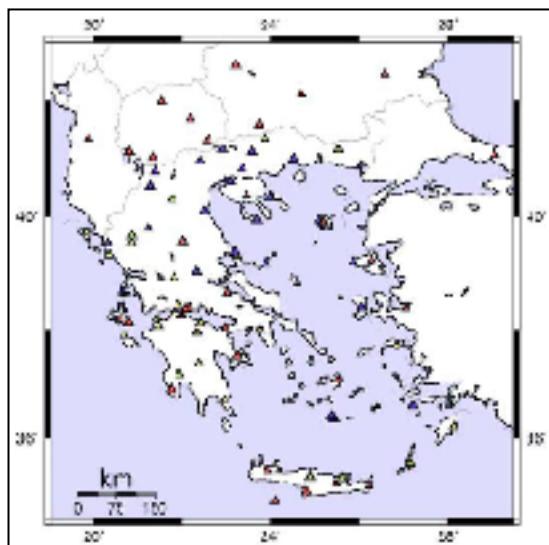
Πέρα από τις παραπάνω πληροφορίες, καθώς και πληροφορίες που αφορούν το δίκτυο (όργανα, προσωπικό, κλπ.), η ιστοσελίδα του Σεισμολογικού Σταθμού παρέχει και άλλα στοιχεία όπως π.χ. μηχανισμούς γένεσης των ισχυρότερων σεισμών οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν από σεισμολόγους και μηχανικούς σε προσομοιώσεις της ισχυρής σεισμικής κίνησης ή και να δώσουν κρίσιμες πληροφορίες για την εξέλιξη μίας σεισμικής ακολουθίας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η περίπτωση του πρόσφατου σεισμού των Κυθήρων (2006), ο οποίος, αν και δεν είχε σημαντικό εστιακό βάθος, κατηγοριοποιήθηκε ως σεισμός ενδιάμεσου βάθους, μόλις αναλύθηκε ο μηχανισμός γένεσής του, επιτρέποντας την ενημέρωση της πολιτείας για το ότι η μετασεισμική ακολουθία του σεισμού θα ήταν εξαιρετικά περιορισμένη, φαινόμενο τυπικό για τους σεισμούς ενδιάμεσου βάθους. Παράλληλα, μέσω της ιστοσελίδας του Σεισμολογικού Σταθμού θα παρέχονται στο μέλλον και πρόσθετα στοιχεία, όπως για παράδειγμα χάρτες αναμενόμενης σεισμικής κίνησης (shake maps) μετά τη γένεση ισχυρών σεισμών. Επίσης, ο Σεισμολογικός Σταθμός θα επεκτείνει και τους τρόπους ενημέρωσης των πολιτών με την εισαγωγή συστήματος ειδοποίησης

ει τη βελτιστοποίηση της καταγραφής σημαντικού αριθμού σεισμών μετά τη δημιουργία και αναβάθμιση του δικτύου σειсмоγράφων του Εργαστηρίου Γεωφυσικής Α.Π.Θ.

### Η διασύνδεση του σεισμολογικού δικτύου με άλλα διεθνή δίκτυα και οι μελλοντικές προοπτικές ανάπτυξής του

Εξαιρετικής σημασίας για το Σεισμολογικό Σταθμό του Α.Π.Θ. αποτέλεσε η διασύνδεσή του με τα γειτονικά ελληνικά και βαλκανικά δίκτυα. Έτσι το σεισμολογικό δίκτυο του Εργαστηρίου Γεωφυσικής Α.Π.Θ. είναι το πρώτο δίκτυο στον ελληνικό χώρο, το οποίο αντάλλαξε δεδομένα σε πραγματικό χρόνο με τους άλλους ελληνικούς φορείς (πρώτα με το Πανεπιστήμιο Πατρών και αργότερα με το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών και το Πανεπιστήμιο Αθηνών) αλλά και το μόνο δίκτυο το οποίο ανταλλάσσει δεδομένα με όλες τις γειτονικές Βαλκανικές χώρες (Αλβανία, FYROM, Βουλγαρία και Τουρ-

**Σχήμα 8:**  
Σεισμολογικό  
δίκτυο Εργαστηρίου  
Γεωφυσικής Α.Π.Θ.  
και εικονικό δίκτυο  
συνδεδεμένων  
σεισμολογικών  
σταθμών.



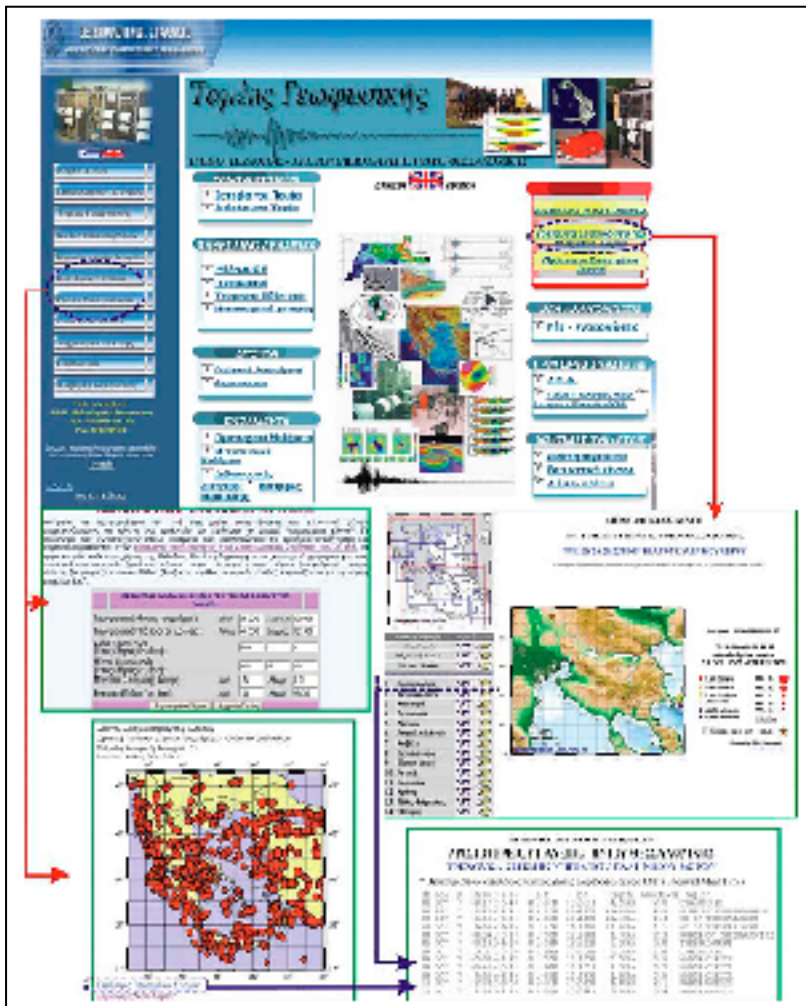
μέσω μηνυμάτων (SMS), αρχικά προς ενδιαφερόμενους φορείς και αργότερα προς κάθε ενδιαφερόμενο πολίτη.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το δίκτυο του Εργαστηρίου Γεωφυσικής Α.Π.Θ. συμμετέχει στη διαδικασία υλοποίησης του Ενιαίου Εθνικού Δικτύου Σεισμογράφων (Ε.Ε.Δ.Σ.), η οποία θα ολοκληρωθεί στα τέλη του 2008. Βασικός σκοπός του Ε.Ε.Δ.Σ. είναι η διασύνδεση των σεισμολογικών δικτύων του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, του Εργαστηρίου Γεωφυσικής Α.Π.Θ., του Εργαστηρίου Σεισμολογίας του Πανεπιστημίου Αθηνών και του Εργαστηρίου Σεισμολογίας του Πανεπιστημίου Πατρών. Αυτό θα επιτευχθεί με την ανταλλαγή των ψηφιακών σεισμολογικών δεδομένων των παραπάνω σεισμολογικών δικτύων σε πραγματικό χρόνο. Αυτή η ανταλλαγή θα υλοποιηθεί σε επίπεδο διακομιστών των κεντρικών σταθμών κάθε δικτύου ενώ ο κάθε φορέας θα είναι υπεύθυνος για την καλή λειτουργία του δι-

κτύου του σεισμολογικού δικτύου. Με κατάλληλο λογισμικό, το οποίο θα εγκατασταθεί μέσα στο 2008 θα είναι δυνατή τόσο η μετατροπή των σεισμολογικών δεδομένων κάθε δικτύου σε ενιαία μορφή και πρωτόκολλο επικοινωνίας, όσο και η λήψη και επεξεργασία - αποστολή σε πραγματικό χρόνο των σεισμολογικών δεδομένων από και προς κάθε κεντρικό σταθμό των συμμετεχόντων δικτύων.

Τα πολλαπλά οφέλη από την παραπάνω διαδικασία είναι προφανή, όπως π.χ. η εγκυρότερη, ταχύτερη και ενιαία ενημέρωση της πολιτείας και του κοινού για την εξέλιξη μιας σεισμικής δραστηριότητας, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις σεισμικής έξαρσης. Σε κάθε περίπτωση το σεισμολογικό δίκτυο του Εργαστηρίου Γεωφυσικής Α.Π.Θ. διατηρεί το σημαντικό του ρόλο, αφού κατοχυρώνεται και επίσημα μαζί με το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών ως ένας από τους δύο κύριους φορείς ανάλυσης της σεισμικότητας σε πραγματικό χρόνο και ενημέρωσης της ελληνικής πολιτείας.

Η παραπάνω περιγραφή της εξέλιξης του Σεισμολογικού Δικτύου του Εργαστηρίου Γεωφυσικής Α.Π.Θ. δεν πρέπει να δημιουργήσει την εντύπωση ότι αυτή ήταν ομαλή για τα περίπου 28 χρόνια λειτουργίας του. Η ύπαρξη και ανάπτυξη του δικτύου δεν θα ήταν δυνατή χωρίς την έστω και σποραδική και συχνά μόνο «μετασεισμική» ενίσχυσή του από τον Ο.Α.Σ.Π., τη Γ.Γ.Ε.Τ. αλλά και πολλούς περιφερειακούς φορείς της πολιτείας (νομαρχίες, δήμους, κ.τ.λ.). Η λειτουργία του δικτύου βασίζεται σχεδόν αποκλειστικά στη συνεχή υποστήριξη του Α.Π.Θ., το οποίο καλύπτει τα λειτουργικά του έξοδα (ιδιαίτερα αυτά των τηλεπικοινωνιών), καθώς και τις έκτακτες ενισχύσεις του, ιδίως από τις τελευταίες προϋπολογιστικές αρχές του Α.Π.Θ. Όμως θα πρέπει να επισημανθεί ότι η καρδιά του δικτύου δεν είναι κυρίως οι τεχνικές υποδομές, αλλά το προσωπικό και οι συνεργάτες του Τομέα Γεωφυσικής (μέλη Δ.Ε.Π., μόνιμοι σεισμολόγοι, μεταπτυχιακοί φοιτητές, σεισμολόγοι του Ι.Τ.Σ.Α.Κ., κ.τ.λ.), οι οποίοι επί σειρά ετών προσέφεραν και προσφέρουν αμισθί εθελοντικές υπηρεσίες ανάλυσης της καθημερινής σεισμικής δραστηριότητας και 24ωρης ανταπόκρισης σε περίπτωση σεισμικής έξαρσης. Τέλος, δεν θα μπορούσε να μην αναφερθεί ο καταλυτικός ρόλος της επιστημονικής προσωπικότητας του ιδρυτή του δικτύου, ομότιμου καθηγητή Β. Παπαζάχου, ο οποίος δημιούργησε όχι μόνο ένα σύγχρονο σεισμολογικό δίκτυο, αλλά και ένα ερευνητικό φυτώριο περισσότερων από 60 μελών Δ.Ε.Π., μόνιμων σεισμολόγων, τεχνικών, διοικητικών υπαλλήλων και μεταπτυχιακών φοιτητών. Τα δεδομένα αυτά, καθώς και η ιστορία του Σεισμολογικού Δικτύου του Εργαστηρίου Γεωφυσικής Α.Π.Θ. αποτελούν τα εχέγγυα της συνεχούς και απρόσκοπτης αναβάθμισής του και της βελτίωσης των υπηρεσιών που παρέχει στην ελληνική κοινωνία.



**Σχήμα 9:** Ιστοσελίδα Σεισμολογικού Σταθμού Εργαστηρίου Γεωφυσικής Α.Π.Θ. και ενδεικτική παρουσίαση δημιουργίας χαρτών και καταλόγων σεισμικότητας.

## Αποτέλεσμα έρευνας τριών δεκαετιών στο Α.Π.Θ.

# Μεσοπρόθεσμη πρόγνωση των σεισμών

του **Βασιλείου Κ. Παπαζάχου**,  
ομότιμου καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας Α.Π.Θ.

και του **Γεωργίου Φ. Καρακαϊση**,  
καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας Α.Π.Θ.

*Ουσιαστική αναβάθμιση της αντισεισμικής πολιτικής και πραγματική αντισεισμική προστασία θα προέλθει από την έγκαιρη λήψη προσεισμικών μέτρων (έλεγχος τρωτότητας των κατασκευών, άρση επικινδυνοτήτων, κ.τ.λ.). Η λήψη τέτοιων μέτρων είναι σήμερα δυνατή, διότι η γνώση της χωροχρονικής εξέλιξης της σεισμικής δράσης παρέχει τη δυνατότητα εστίασης των μέτρων αυτών σε συγκεκριμένες περιοχές, ώστε αυτά να είναι οικονομικώς εφικτά και περισσότερο αποτελεσματικά.*

Ο καταστρεπτικός σεισμός της Θεσσαλονίκης στις 20 Ιουνίου 1978 επιτάχυνε την ερευνητική προσπάθεια του Εργαστηρίου Γεωφυσικής του Α.Π.Θ. για πρόγνωση των σεισμών και οδήγησε στην ανάπτυξη και δημοσίευση σε κορυφαία διεθνή περιοδικά δύο μοντέλων μεταβαλλόμενης χρονικά σεισμικότητας. Η συνδυασμένη εφαρμογή των μοντέλων αυτών παρέχει, πολύ πιθανώς, τη δυνατότητα μεσοπρόθεσμης πρόγνωσης των ισχυρών σεισμών ( $M \geq 6,3$ ) με αβεβαιότητες  $\pm 2,5$  έτη στο χρόνο,  $\pm 0,4$  στο μέγεθος και  $\leq 120$  km στο επίκεντρο με υψηλή (~80%) πιθανότητα. Η δυνατότητα αυτή προκύπτει από την αναδρομική εφαρμογή των μοντέλων σε μεγάλα δείγματα παγκόσμιων δεδομένων παρατήρησης αλλά και από την επιστημονικώς έγκυρη και επιτυχή πρόγνωση του πρόσφατου (8 Ιανουαρίου 2006) μεγάλου σεισμού ( $M = 6,8$ ) των Κυθρών.

## Κοινωνική αναγκαιότητα η μεσοπρόθεσμη πρόγνωση

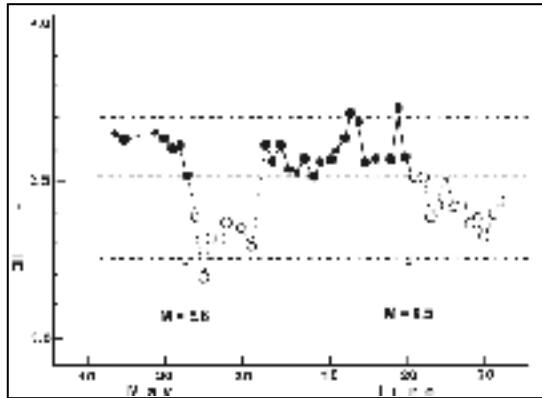
Η αντισεισμική προστασία της χώρας μας, καθώς και πολλών άλλων χωρών, βασίζεται στον αντισεισμικό κανονισμό και σε σχέδια μετασεισμικών μέτρων, δηλαδή μέτρων τα οποία υλοποιούνται μετά τη γένεση των βλαβερών σεισμών (επισκευή οικοδομών, μέριμνα για τους σεισμόπληκτους, κ.τ.λ.). Δεν υπάρχει θεσμοθετημένη διαδικασία λήψης **προσεισμικών μέτρων**, δηλαδή μέτρων τα οποία να σχεδιάζονται και να υλοποιούνται **πριν** από τη γένεση ισχυρών σεισμών (ενίσχυση «ασθενών» τεχνικών κατασκευών, κ.τ.λ.). Ο σοβαρότερος λόγος γι' αυτό είναι το γεγονός ότι μόνο η χωρική κατανομή της μέσης σεισμικότητας ήταν γνωστή παλαιότερα, όταν έγιναν οι πρώτοι αντισεισμικοί κανονισμοί, ενώ η χρονική κατανομή των ισχυρών σεισμών εθεωρείτο τυχαία (κατανομή Poisson χωρίς μνήμη). Έτσι, ο αντισεισμικός μας κανονισμός βασίζεται σε

τρεις ζώνες που χωρίζεται η Ελλάδα, σε κάθε μία από τις οποίες η σεισμικότητα θεωρείται σταθερή, δηλαδή ανεξάρτητη του χρόνου (η πιθανότητα γένεσης ενός σεισμού πριν γίνει θεωρείται ίση με την πιθανότητα γένεσής του αφού γίνει!).

Είναι, όμως, βέβαιο ότι η σεισμικότητα μεταβάλλεται και χρονικά. Έγιναν π.χ. τρεις καταστρεπτικοί σεισμοί στη Θεσσαλονίκη κατά τον εικοστό αιώνα (1902, 1932, 1978) και κανένας κατά το δέκατο ένατο αιώνα. Η παραγνώριση από τον αντισεισμικό μας κανονισμό της χρονικής μεταβολής της σεισμικότητας έχει τραγικές κοινωνικές συνέπειες. Έτσι, κατά τον τελευταίο μισό αιώνα (χρονική διάρκεια, για την οποία πραγματοποιούνται συνήθως εκτιμήσεις στους αντισεισμικούς κανονισμούς) δεν έγινε καταστρεπτικός σεισμός στα Ιόνια νησιά, τα οποία εντάσσει ο κανονισμός στη ζώνη μέγιστης επικινδυνότητας. Όμως, κατά την ίδια χρονική περίοδο έγιναν καταστρεπτικοί σεισμοί με πολλά θύματα σε περιοχές (Κοζάνη 1995, Αθήνα 1999, και αλλού), τις οποίες ο κανονισμός εντάσσει στη ζώνη ελάχιστης επικινδυνότητας. Πρέπει, συνεπώς, να θεσμοθετηθούν πρόσθετα προσεισμικά μέτρα, των οποίων η εφαρμογή είναι αποτελεσματική και οικονομικώς εφικτή, μόνον όταν είναι εστιασμένα χωρικά και χρονικά σύμφωνα με προβλέψεις μοντέλων της χωροχρονικώς μεταβαλλόμενης σεισμικότητας. Δηλαδή υπάρχει αδήριτη κοινωνική ανάγκη επιστημονικά έγκυρης μεσοπρόθεσμης πρόγνωσης των ισχυρών σεισμών.

## Αδύνατη η βραχυπρόθεσμη πρόγνωση προς το παρόν

Η πρώτη μας προσπάθεια στράφηκε στη μελέτη της φυσικής διαδικασίας που προηγείται του μεγάλου σεισμού της Θεσσαλονίκης το 1978, με ενδιαφέροντα αποτελέσματα. Διαπιστώσαμε συγκεκριμέ-



**Σχήμα 1:** Μεταβολή του μέσου μεγέθους της σεισμικής ακολουθίας του σεισμού της Θεσσαλονίκης. Οι μικροί μαύροι κύκλοι παριστάνουν τους προσεισμούς και οι άσπροι τους μετασεισμούς του ισχυρού σεισμού που έγινε στις 23 Μαΐου με  $M = 5,8$  και του κύριου σεισμού της 20ης Ιουνίου με  $M = 6,5$ . Μέχρι τις 30.5.1978 η σεισμική δράση περιοριζόταν στο ανατολικό μέρος του ρήγματος (Βόλβη), αλλά την 1.6.1978 μετανάστευσε στο δυτικό (Λαγκαδάς), όπου απέκτησε προσεισμικές ιδιότητες (μαύροι κύκλοι) τις οποίες διατήρησε μέχρι τη γένεση εκεί του κύριου σεισμού στις 20.6.1978 (*Nature*, 296, 232-235, 1981).

να ότι, ενώ η σεισμική δράση περιοριζόταν αρχικά (8.5.1978-30.5.1978) στο ανατολικό μέρος του ρήγματος, την 1η Ιουνίου 1978 μετανάστευσε προς το δυτικό του μέρος (προς τη Θεσσαλονίκη) όπου απέκτησε σαφώς προσεισμικές ιδιότητες. Απέκτησε δηλαδή ιδιότητες όμοιες με τις ιδιότητες των προσεισμών του ισχυρού σεισμού ( $M = 5,8$ ) που έγινε στις 23 Μαΐου 1978 στο ανατολικό μέρος του ρήγματος. Τις προσεισμικές της ιδιότητες διατήρησε η σεισμική δράση στο δυτικό μέρος του ρήγματος επί είκοσι μέρες, δηλαδή μέχρι τη γένεση εκεί του μεγάλου σεισμού στις 20 Ιουνίου (σχήμα 1).

Όμως, το ενδιαφέρον αυτό αποτέλεσμα της μελέτης μας που δημοσιεύθηκε σε μεγάλο διεθνές περιοδικό (*Nature*, 296, 232-235, 1981) δεν θεωρήθηκε σοβαρός λόγος για τη συνέχιση της έρευνάς μας στο θέμα της βραχυπρόθεσμης πρόγνωσης (αβεβαιότητα της τάξης μερικών ημερών), διότι λίγων ισχυρών σεισμών οι προσεισμοί έχουν αναγνωρίσιμες προγνωστικές ιδιότητες, όπως ήταν η προσεισμική ακολουθία του σεισμού της Θεσσαλονίκης που αποτελεί μια τέτοια εξαίρεση. Εξάλλου, όλες οι εντατικές και πολυδάπανες ερευνητικές προσπάθειες που έγιναν διεθνώς κατά τον τελευταίο μισό αιώνα για βραχυπρόθεσμη πρόγνωση των ισχυρών σεισμών απέτυχαν παταγώδως. Δόθηκε μάλιστα και πειστική ερμηνεία αυτής της αποτυχίας με βάση τη θεωρία του χάους. Δείχθηκε, συγκεκριμένα, ότι οι παράμετροι ενός επερχόμενου σεισμού (χρόνος γένεσης, μέγεθος) είναι εξαιρετικά ευαίσθητες σε μεταβολές της προσεισμικής φυσικής διαδικασίας στο ρήγμα του σεισμού (προσεισμική ολισθηση, κ.τ.λ). Γι' αυτό, για τη βραχυπρόθεσμη πρό-

γνωση ενός επερχόμενου σεισμού, απαιτείται ακριβής γνώση αυτής της φυσικής διαδικασίας, αλλά τέτοια γνώση είναι αδύνατη προς το παρόν.

### Πρόδρομη σεισμικότητα δικτύου ρηγμάτων

Πολυετής διεθνής ερευνητική προσπάθεια οδήγησε στο συμπέρασμα ότι οι παράμετροι ενός επερχόμενου ισχυρού σεισμού εξαρτώνται όχι μόνον από τη φυσική διαδικασία που προηγείται του σεισμού στο ρήγμα του αλλά και από την προσεισμική δράση που παρατηρείται σε δίκτυο γειτονικών ρηγμάτων. Στο πλαίσιο των νέων αυτών ιδεών αναπτύχθηκαν κατά την τελευταία εικοσαετία στο Εργαστήριο Γεωφυσικής του Α.Π.Θ. δύο μοντέλα χρονικώς μεταβαλλόμενης σεισμικότητας, δηλαδή δύο μοντέλα μεσοπρόθεσμης πρόγνωσης των ισχυρών σεισμών (αβεβαιότητα στο χρόνο της τάξης λίγων ετών).

Το πρώτο (χρονικά) μοντέλο, γνωστό ως «Regional Time and Magnitude Predictable Model» (*Bull. Seismol. Soc. America*, 79, 77-84, 1989, *Pure and Applied Geophysics*, 149, 173-217, 1997), βασίζεται στην ιδέα ότι ο χρόνος και το μέγεθος ενός επερχόμενου ισχυρού κύριου σεισμού σε μια περιοχή καθορίζεται από το χρόνο γένεσης και το μέγεθος του προηγούμενου ισχυρού κύριου σεισμού στην ίδια περιοχή. Για την ανάπτυξη του μοντέλου χρησιμοποιήθηκαν παρατηρήσεις που αφορούν τις μεγαλύτερες ζώνες διάρρηξης της Γης (Περιεργητική ζώνη, Μεσογειακή - Μελανησιακή ζώνη). Η σημερινή εξελιγμένη μορφή του μοντέλου παρέχει τη δυνατότητα πρόγνωσης και των τριών παραμέτρων (χρόνου, χώρου, μεγέθους) ενός επερχόμενου ισχυρού σεισμού. Την ερευνητική ομάδα που ανέπτυξε αυτό το μοντέλο αποτέλεσαν, εκτός από τους συντάκτες του παρόντος άρθρου, οι Ε. Παπαδημητρίου, Δ. Παναγιωτόπουλος και Χ. Παπαϊωάννου.

Το δεύτερο μοντέλο, γνωστό ως «Decelerating-Accelerating Strain Model» (*Ann. Geofis.*, 144, 461-474, 2001, *Tectonophysics*, 423, 83-96, 2006), βασίζεται στην πρόδρομη επιβραδυνόμενη - επιταχυνόμενη σεισμική παραμόρφωση του φλοιού της Γης που παρατηρήσαμε σε διάφορα σεισμοτεκτονικά περιβάλλοντα (Μεσόγειος, Κεντρική Ασία, Ιαπωνία, Καλιφόρνια, Ν. Αμερική) και σε θεωρητικές αρχές της «δυναμικής του κρίσιμου σημείου» και της «σώρευσης τάσεων». Με το μοντέλο αυτό παρέχεται επίσης η δυνατότητα πρόγνωσης και των τριών παραμέτρων ενός επερχόμενου ισχυρού κύριου σεισμού. Την ερευνητική ομάδα που ανέπτυξε αυτό το μοντέλο αποτελούν, εκτός από τους συντάκτες του παρόντος άρθρου, οι Ε. Σκορδύλης, Κ. Παπαζάχος, Δ. Παναγιωτόπουλος, Χ. Παπαϊωάννου και Α. Σαββαϊδής.

Αναπτύχθηκε, έτσι, μέθοδος (και αντίστοιχος αλγόριθμος) που βασίζεται στη συνδυασμένη εφαρμογή των δύο μοντέλων για τη μεσοπρόθεσμη πρόγνωση των ισχυρών κύριων σεισμών ( $M \geq 6,3$ ). Η εφαρμογή της μεθόδου αυτής για την «εκ των υστέρων πρόγνωση

ση» 46 κύριων ισχυρών σεισμών ( $M \geq 6,4$ ), οι οποίοι έγιναν παγκοσμίως και σε διάφορα σεισμοτεκτονικά περιβάλλοντα, οδήγησε στο συμπέρασμα ότι οι αβεβαιότητες (σφάλματα) της μεθόδου είναι  $\pm 2,5$  έτη στο χρόνο γένεσης ενός επερχόμενου ισχυρού σεισμού,  $\pm 0,4$  στο μέγεθος και  $\leq 120$  km στο επίκεντρό του με πιθανότητα  $\sim 80\%$ , ενώ η πιθανότητα τυχαίας γένεσης των σεισμών αυτών (όπως υποθέτουν οι αντισεισμικοί κανονισμοί) στα ίδια παράθυρα χρόνου, χώρου και μεγέθους βρέθηκε σ' όλες τις περιπτώσεις μικρότερη του 10%.

### Αξιοπιστία της μεθόδου

Ο αποτελεσματικότερος τρόπος ελέγχου της αξιοπιστίας μιας μεθόδου πρόγνωσης είναι η δοκιμή εφαρμογής της για την πρόγνωση μελλοντικών σεισμών (forward tests). Η αρχική μορφή της μεθόδου δοκιμάστηκε κατά την περίοδο 2001-2005 κυρίως στον ελληνικό χώρο με ενθαρρυντικά αποτελέσματα, αφού:

- σε όλες τις περιοχές του χώρου αυτού, όπου εκδηλώθηκαν ισχυροί κύριοι σεισμοί, είχε αναγνωρισθεί με τον αλγόριθμο προσεισμική δράση και
- δεν υπήρξε περιοχή όπου αναγνωρίστηκε με τον αλγόριθμο προσεισμική δράση και δεν έγινε ισχυ-

ρός σεισμός. Η πρώτη αυτή δοκιμή είχε μερική επιτυχία και συνέβαλε στη βελτίωση της μεθόδου. Η περίοδος δοκιμής της ανεπτυγμένης μορφής της μεθόδου είναι το διάστημα 2006-2012 και αφορά τον ελληνικό χώρο και άλλες περιοχές της Γης. Ο πρώτος τέτοιος σεισμός έγινε στα Κύθηρα στις 8.1.2006 και προβλέφθηκε με τη μέθοδο, όπως προκύπτει από σειρά γραπτών κειμένων.

Το 2002 δημοσιεύθηκε σε διεθνές περιοδικό (*Bull. Seismol. Soc. America*, 92, 570-580, 2002) εργασία μας, όπου, με βάση την επιταχυνόμενη σεισμικότητα μέχρι τον Ιούλιο του 2000, προβλεπόταν ισχυρός σεισμός στο νοτιοδυτικό μέρος του ελληνικού τόξου (περιοχή Κυθήρων) κατά τα επόμενα έτη. Οριζόνταν μάλιστα και οι περιοχές που αναμενόταν να πληγούν από το μεγάλο σεισμό (Cythera, south Peloponnese, western Crete, western Cyclades). Στις 17 Δεκεμβρίου 2002 παραδώσαμε στον Οργανισμό Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (Ο.Α.Σ.Π.) έκθεση, στην οποία περιλαμβάνονταν πρόγνωση με βάση την επιταχυνόμενη σεισμικότητα μέχρι τον Ιούλιο του 2002, αναμενόμενου σεισμού με το ακόλουθο επίκεντρο  $E$ , χρόνο γένεσης  $t_c$ , μέγεθος  $M$ , και εστιακό βάθος  $h$ :

$$E^*(\varphi = 36,5^\circ N, \lambda = 22,7^\circ E), t_c^* = 2006,4, M^* = 6,9, h < 100 \text{ km}$$

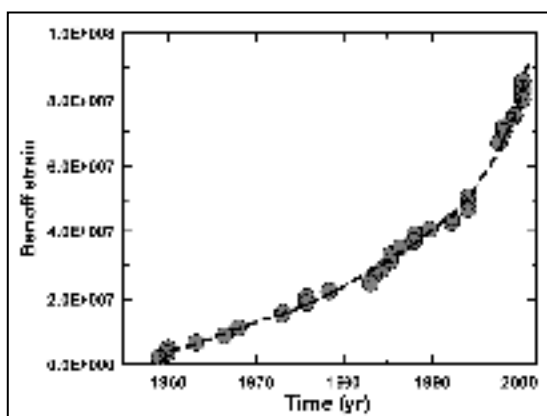
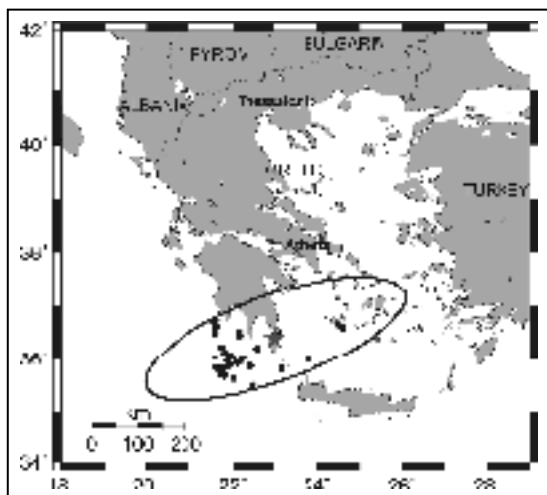
και προβλεπόμενες αβεβαιότητες:  $\leq 120$  km στο επίκεντρο,  $\pm 2,0$  έτη στο χρόνο,  $\pm 0,5$  στο μέγεθος. Η γένεση του σεισμού των Κυθήρων με παραμέτρους:

$$E(\varphi = 36,2^\circ N, \lambda = 23,4^\circ E), t_c = 8.1.2006, M = 6,8, h = 65 \text{ km}$$

με βλάβες στα Κύθηρα, νοτιοανατολική Πελοπόννησο και δυτική Κρήτη επαλήθευσε την πρόγνωση.

Το Ινστιτούτο Τεχνικής Σεισμολογίας και Αντισεισμικών Κατασκευών (Ι.Τ.Σ.Α.Κ.) ενημερώθηκε επίσης εγκαίρως και με δύο αποφάσεις του διοικητικού του συμβουλίου (οι οποίες γράφτηκαν στα πρακτικά) εγκατέστησε προσεισμικώς στην ευρύτερη περιοχή των Κυθήρων πρόσθετους επιταχυνσιογράφους. Η πράξη αυτή είχε εξαιρετική επιστημονική σημασία, διότι είναι ο μόνος μεγάλος σεισμός ( $M > 6,5$ ) ενδιαμέσου βάθους στη χώρα μας, για τον οποίο διαθέτουμε τώρα καταγραφές της ισχυρής του εδαφικής κίνησης (επιταχυνσιογράμματα).

Η μέθοδος έχει βασισθεί σε δεδομένα επιφανειακών σεισμών, δηλαδή σεισμών των οποίων το εστιακό τους βάθος είναι μέχρι 60 km. Ο σεισμός των Κυθήρων (8.1.2006,  $M = 6,8$ ) με εστιακό βάθος περίπου 65 km είχε πρόδρομα φαινόμενα, στα οποία βασίζεται η μέθοδος και γι' αυτό προβλέφθηκε, όπως έχουμε ήδη αναφέρει. Αντίθετα, ο πρόσφατος σεισμός του Λεωνιδίου (6.1.2008,  $M = 6,2$ ) με εστιακό βάθος περίπου 85 km δεν είχε τέτοια πρόδρομα φαινόμενα και γι' αυτό δεν προβλέφθηκε. Φαίνεται ότι το κρίσιμο βάθος είναι της τάξης των 70 km περίπου. Μπορεί, όμως, η



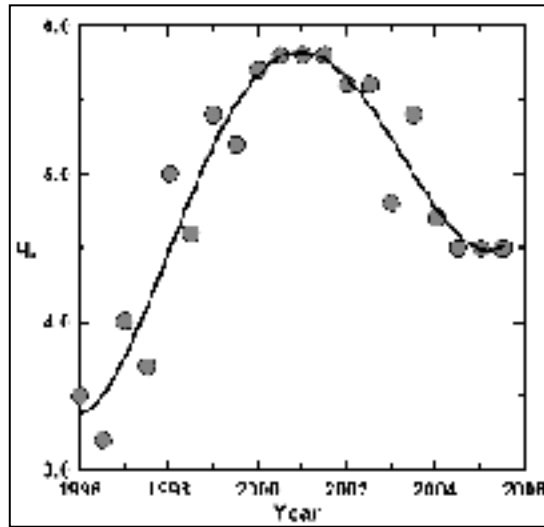
**Σχήμα 2:**

Άνω: Η κρίσιμη ελλειπτική περιοχή, όπου έγιναν οι επιταχυνόμενοι σεισμοί (μικροί μαύροι κύκλοι) που προηγήθηκαν, και το αναμενόμενο, τότε, επίκεντρο (άστρο) του κύριου σεισμού που έγινε στα Κύθηρα στις 8.1.2006.

Κάτω: Χρονική μεταβολή της προσεισμικής παραμόρφωσης (*Bull. Seismol. Soc. Am.*, 92, 570-580, 2002).



**Σχήμα 3:**  
Μεταβολή του δείκτη ποιότητας,  $q_a$ , της επιταχυνόμενης σεισμικής παραμόρφωσης πριν από το σεισμό των Κυθήρων (Bull. Seismol. Soc. Am., 97, 347-352, 2007).



μη αναγνώριση πρόδρομης σεισμικότητας να οφείλεται και στο σχετικά μικρό του μέγεθος αφού η μέθοδος ισχύει για  $M \geq 6,3$ .

### Εφαρμοσιμότητα της μεθόδου

Η εφαρμοσιμότητα μιας νέας επιστημονικής μεθόδου για τη λύση ενός κοινωνικού προβλήματος κρίνεται σε σχέση με το αποτέλεσμα της ήδη εφαρμοζόμενης για το σκοπό αυτό μεθόδου. Έτσι, ο χάρτης σεισμικών ζωνών που χρησιμοποιείται στον αντισεισμικό κανονισμό βασίζεται σε μέθοδο που υποθέτει αμετάβλητη με το χρόνο τη σεισμικότητα μιας περιοχής, ενώ η προτεινόμενη μέθοδος θεωρεί χωροχρονική μεταβολή της σεισμικότητας, η οποία εκφράζει καλύτερα τη φυσική πραγματικότητα. Υπάρχουν όμως και διάφορες αιτιάσεις για την εφαρμοσιμότητα της μεθόδου, όπως είναι το ότι για τη λήψη τέτοιων μέτρων ο χρόνος πρόγνωσης είναι λίγος και ο χώρος πρόγνωσης είναι μεγάλος, ότι η γνωστοποίηση επερχόμενου ισχυρού σεισμού θα προκαλέσει κοινωνικά προβλήματα και ότι η απόδοση τέτοιων μέτρων απαιτεί ένα καλά οργανωμένο κράτος.

Το σχήμα 3 παριστάνει τη χρονική μεταβολή πριν

από το σεισμό των Κυθήρων ενός «δείκτη ποιότητας»,  $q_a$ , ο οποίος πρέπει να έχει τιμή μεγαλύτερη του 3,0 για να αναγνωρισθεί η πρόδρομη επιταχυνόμενη σεισμικότητα. Παρατηρούμε ότι η σεισμικότητα αυτή ήταν αναγνωρίσιμη από το 1996. Παρόμοιες κλίμακας σχέσεις ισχύουν και για άλλες περιοχές. Δηλαδή η έλευση ενός σεισμού σε μία περιοχή γίνεται αντιληπτή μία περίπου δεκαετία πριν τη γένεσή του, που σημαίνει ότι ο χρόνος είναι υπερεπαρκής για τη λήψη πρόσθετων αντισεισμικών μέτρων.

Η αβεβαιότητα στο επίκεντρο ( $\leq 120$  km) είναι της τάξης των διαστάσεων 3-4 νομών της Ελλάδας, που είναι η διάσταση της περιοχής που συνήθως πλήττει ένας ισχυρός σεισμός στη χώρα μας και στην οποία εστιάζονται σήμερα τα μετασεισμικά μέτρα. Η εφαρμογή της μεθόδου απαιτεί λήψη προσεισμικών μέτρων στην ίδια σχεδόν περιοχή παρόμοια των οποίων θα εφαρμοσθούν, πολύ πιθανώς, αργότερα (μετασεισμικώς).

Η μέχρι τώρα εμπειρία έχει δείξει ότι ανακοινώσεις βραχυπρόθεσμων προγνώσεων έχουν δημιουργήσει κοινωνικά προβλήματα (ψυχολογικά, κ.τ.λ.). Ανακοινώσεις μεσοπρόθεσμων ή μακροπρόθεσμων προγνώσεων έχουν γίνει κατ' επανάληψη στο παρελθόν (συνήθως ανεπιτυχείς). Δεν υπάρχει όμως ευρέως γνωστή περίπτωση σημαντικών αρνητικών επιπτώσεων. Εξάλλου οι χάρτες σεισμικότητας των αντισεισμικών κανονισμών περιλαμβάνουν ζώνες όπου αναμένονται ισχυροί σεισμοί και αυτό το γνωρίζουν οι κάτοικοί τους. Το γεγονός αυτό δεν έχει δημιουργήσει κανένα γνωστό σοβαρό πρόβλημα στους κατοίκους. Παρ' όλα αυτά η νέα αυτή γνώση απαιτεί κατάλληλη διαχείριση.

Οι σεισμικές καταστροφές αποτελούν υπαρκτό πρόβλημα πρώτου μεγέθους για τη χώρα μας και απαιτείται καλά οργανωμένη αντισεισμική πολιτική, ούτως ή άλλως. Έχουν γίνει σημαντικά βήματα για την αντισεισμική μας προστασία, αλλά αυτά δεν είναι επαρκή. Ουσιαστική αναβάθμιση της αντισεισμικής προστασίας σημαίνει αξιοποίηση της υπαρκτής γνώσης που αφορά τη χωροχρονική μεταβολή της σεισμικότητας και αυτό απαιτεί πρόσθετα γενναία βήματα.

**Ηλεκτρονική σελιδοποίηση:**

- «**thema**», Κ. Κωτούλας, Κερασούντος 46, 55131 Καλαμαριά, τηλ. 2310 421405

**Σχεδιασμός εξωφύλλου:**

- «**γραφές**», Α. Αφουξενίδης, Π. Μελά 29, 54622 Θεσσαλονίκη, τηλ. 2310 285860

**Εκτύπωση:**

- «**Χρωμοτύπ Α.Ε.**», 17ης Νοέμβρη 73, Βιοτεχνικό Πάρκο Πυλαίας, τηλ. 2310 951620

**Στις δαπάνες εκτύπωσης συνεισέφεραν:**

- **Αττικό Μετρό Α.Ε.**
- **ΓΕΚ Α.Ε.**
- **Εγνατία Οδός Α.Ε.**
- **Ε.Ν. Μάνος Ε.Π.Ε.**
- **Ανδρέας Γαλανός Α.Ε.**

