

ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΚΗ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΩΝ ΜΗΤΡΟΠΟΛΕΩΝ ΚΑΙ ΑΥΞΗΣΗ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ: ΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Σωτήρης Βαλκανιώτης,* Άννα Ζερβοπούλου,* Αθανάσιος Γκανάς,**
Σπύρος Παυλίδης*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια αύξηση των ζημιών από φυσικές καταστροφές και ιδιαίτερα σεισμούς, η οποία συσχετίζεται με την αλματώδη πολεοδομική επέκταση των μεγάλων αστικών περιοχών και μητροπόλεων. Στην παρούσα εργασία εξετάζεται το παραπάνω φαινόμενο μέσω των παραδειγμάτων της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης, των δύο μεγαλύτερων αστικών κέντρων της Ελλάδας. Πολυάριθμα ενεργά και πιθανώς ενεργά ρήγματα διασχίζουν πυκνοδομημένες περιοχές και συνοικίες, οι οποίες μέχρι πρωτίστως αποτελούσαν χέρσες και αγροτικές εκτάσεις, με αποτέλεσμα να αυξάνονται οι πιθανές πηγές που θέτουν σε αυξημένη σεισμική διακινδύνευση τις πόλεις αυτές. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ο σεισμός της 7ης Σεπτεμβρίου 1999 στην Πάρνηθα, ο οποίος αν και μεσαίου μεγέθους ($M=5,9$), αποτέλεσε τη μεγαλύτερη σε κόστος φυσική καταστροφή της Ελλάδας κατά τον 20ό αιώνα.

Urban Expansion and Seismic Hazard Increase: The Examples of Athens and Thessaloniki

Sotiris Valkaniotis, Anna Zervopoulou, Athanassios Ganas, Spyros Pavlides

ABSTRACT

The recent worldwide expansion of large urban areas and cities has led to an unprecedented increase of damage due to natural disasters and, more specific, earthquakes. In this paper we discuss this phenomenon with the examples of Greece's two largest urban areas, Athens and Thessaloniki, and the numerous active and possible active faults crossing heavily populated, recently urbanised areas. The September 7, 1999, $M 5.9$ earthquake at Parnitha (Athens), Greece's costliest natural disaster during the 20th century, ruptured a less-known fault in the SW suburbs of Athens.

* Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

** Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών.

Εισαγωγή

Οι σεισμοί είναι από τις κυριότερες φυσικές καταστροφές, με μεγάλες συνέπειες σε ζημιές: καταρρεύσεις των ανθρώπινων κατασκευών και απώλειες ανθρώπινων ζώων. Ενδεικτικός είναι ο απολογισμός σε ανθρώπινα θύματα από σεισμούς και τα συνοδά τους φαινόμενα τη δεκαετία 1995-2005: Kobe (Ιαπωνία) 1995, 5.500 νεκροί· Kocaeli-Izmit (Τουρκία) 1999, περισσότεροι από 17.000 νεκροί· Ταϊβάν 1999, Πακιστάν 2005, περισσότεροι από 80.000 νεκροί· και, φυσικά, μια από τις μεγαλύτερες φυσικές καταστροφές, συνέπεια ενός ισχυρότατου σεισμού, το θαλάσσιο σεισμικό κύμα (tsunami) του Ινδικού Ωκεανού που στις 26 Δεκεμβρίου 2004 έπληξε παράκτιες πυκνοκατοικημένες περιοχές με περισσότερα από 200.000 ανθρώπινα θύματα (Papadopoulos et al. 2006).

Μια άλλη σημαντική διάσταση του σεισμικού προβλήματος είναι όταν επίκεντρα ισχυρών ή μέτριων και μικρών ακόμη σε μέγεθος σεισμών βρίσκονται πολύ κοντά σε μεγαλουπόλεις. Τελευταίο χαρακτηριστικό παράδειγμα από τον ελληνικό χώρο αποτελεί ο σεισμός της Αθήνας του 1999 ($M = 5,9$). Ένα σχετικά μετρίου μεγέθους σεισμικό γεγονός έπληξε τη μητρόπολη της Αθήνας και κυρίως τα δυτικά και βόρεια προάστιά της, με ζωτικής σημασίας κατασκευές και οικονομικές δραστηριότητες, καταρρίπτοντας το μύθο της «άσειστης» Αθήνας (Papanikolaou et al. 1999, Λεκίδης & Καρακώστας 2001, Papadopoulos et al. 2002, Pomonis 2002). Είχαν προηγηθεί οι σεισμοί του 1978 της Θεσσαλονίκης ($M = 6,5$) και των Αλκονίδων του 1981 ($M = 6,7, 6,5$ και $6,2$), που επίσης έπληξαν τα δύο μεγαλύτερα αστικά συγκροτήματα της χώρας, Αθήνα και Θεσσαλονίκη.

Η ανάπτυξη των πολεοδομικών συγκροτημάτων τις τελευταίες δεκαετίες καθ' ύψος και οριζόντια και κυρίως η ανάπτυξη βιομηχανικών μονάδων, μεγάλων τεχνικών έργων που συνδέονται με αυτά (διυλιστήρια, αγωγοί φυσικού αερίου, γέφυρες, πολυώροφα κτήρια) αυξάνουν την τρωτότητα των κοινωνιών (Alexander 1993, Λέκκας 2000). Όσο περισσότερο πολύπλοκη τεχνολογικά η κοινωνία μας, τόσο περισσότερο αυξάνει ο κίνδυνος και τα καταστροφικά αποτελέσματα των σεισμών και γενικά των φυσικών και τεχνολογικών καταστροφών. Έτσι, αν και είναι μεγάλοι οι κίνδυνοι από αυτό καθαυτό το σεισμικό γεγονός, οι δευτερογενείς συνέπειες εξαιτίας τους, δηλαδή τα τεχνολογικά ατυχήματα, συνεχώς αυξάνουν. Οι εικόνες από τα φλεγόμενα διυλιστήρια της Νικομήδειας (Izmit), τα μεγαλύτερα της Τουρκίας, μετά το σεισμό της 17ης Αυγούστου 1999 είναι χαρακτηριστικές.

Η νέα αυτή κατάσταση έχει θέσει διεθνώς ως πρώτη προτεραιότητα τη μελέτη των πιθανών σεισμικών πηγών, δηλαδή των γεωλογικών ρηγμάτων πλησίον ή μέσα στις οικιστικές περιοχές και των γεωλογικών συνθηκών θεμελίωσης (Parliamentary Commissioner for the Environment 2001, South California Earthquake Council 2004). Τα μικρά ρήγματα πλησίον των αστικών περιοχών σήμερα απέκτησαν μια ξεχωριστή σημασία, γιατί, σε περίπτωση ενεργοποίησής τους, ακόμη και οι μικροί σεισμοί με τους οποίους συνδέονται γίνονται ιδιαίτερα επικίνδυνοι (Καλαμάτα 1986, Αθήνα 1999). Σε αυτές τις περιπτώσεις οι τοπικές (γεωλογικές) συνθήκες κοντά στο ρήγμα είναι ιδιαίτερα σημαντικές. Ο παράγοντας «έδαφος» παίζει επίσης σημαντικότερο ρόλο στην αντισεισμική προστασία της κατασκευής, αλλά τις περισσότερες φορές αυτός ο παράγοντας μας είναι άγνωστος. Το εντυπωσιακό στοιχείο του σεισμού της Αθήνας ήταν ότι προήλθε από ένα άγνωστο ως νεοτεκτονικό ρήγμα, της νότιας Πάρνηθας-Φυ-

λής, μέσα στο πλαίσιο του μύθου της ασφαλούς σεισμικά πρωτεύουσας (Pavlidis et al. 2002, Papadopoulos et al. 2002). Το σημαντικότερο όμως πρόβλημα είναι αν ήταν δυνατή η αναγνώριση εκ των προτέρων αυτού του ρήγματος ως ενεργού. Η απάντηση είναι καταφατική. Η παγκόσμια και ελληνική εμπειρία, η εξειδικευμένη επιστημονική γνώση των τελευταίων χρόνων μάς επιτρέπουν να χαρτογραφούμε τα ενεργά ρήγματα και να εκτιμούμε ποσοτικά τη δυναμικότητά τους και το ρόλο τους στη σεισμική δράση, ώστε σε συνδυασμό με τις εδαφικές συνθήκες θεμελίωσης να παίρνονται σοβαρά υπόψη στον καθορισμό μιας πιθανής σεισμικής διέγερσης και κατ' επέκταση στην αντισεισμική προστασία των κατασκευών. Άλλωστε αυτό προβλέπεται από τον ισχύοντα αντισεισμικό κανονισμό (ΕΑΚ-2000) της χώρας για περιπτώσεις μεγάλων τεχνικών έργων: «Σε περιπτώσεις στις οποίες συντρέχουν ειδικοί λόγοι δόμησης στην άμεση γειτονία σεισμοτεκτονικών ρηγμάτων που θεωρούνται σεισμικά ενεργά, η δόμηση επιτρέπεται μόνον ύστερα από ειδική σεισμική-γεωλογική-γεωτεχνική-στατική μελέτη».

Οι σεισμοί είναι ιδιαίτερα πολύπλοκα φυσικά καταστροφικά φαινόμενα με σοβαρότατες ψυχολογικές, κοινωνικές, οικονομικές και πολιτικές επιπτώσεις. Πέραν των διαφόρων εδαφικών παραμορφώσεων που προκαλούν (επιφανειακές διαρρήξεις, ρευστοποιήσεις εδαφών, κατολισθήσεις κ.ά.), πλήττουν κυρίως τις ανθρώπινες κατασκευές. Σήμερα, με την επέκταση του δομημένου περιβάλλοντος πολλές φορές σε επικίνδυνα εδάφη ή πιο κοντά σε σεισμικές πηγές (ενεργά ρήγματα), τα σεισμικά προβλήματα μεγεθύνονται. Οι κατασκευές (οικοδομές, γέφυρες, νοσοκομεία, σχολεία κ.ά.) που είναι εκτεθειμένες στη σεισμική διακινδύνευση είναι περισσότερες, ιδιαίτερα στις μητροπόλεις (California Division of Mines and Geology 1999, Parliamentary Commissioner for the Environment 2001, Institute of Geological & Nuclear Sciences 2003, Earthquake Engineering Research Institute 2005). Οι συνέπειες από επακόλουθες των σεισμικών τεχνολογικές καταστροφές αυξάνουν και γίνονται καταστροφικότερες. Όσο γίνεται τεχνολογικά πιο πολύπλοκη η κοινωνία μας, τόσο η σεισμική διακινδύνευση μεγαλώνει (ή ο σεισμικός κίνδυνος αυξάνει). Το πρόβλημα γίνεται όλο και περισσότερο πολύπλοκο, καθώς σχετίζεται με τη δομή, την οργάνωση και το πολιτιστικό επίπεδο της κοινωνίας των μεγαλουπόλεων και αποτελεί θέμα γεωγραφικής-πολεοδομικής και κοινωνιολογικής μελέτης. Κοινωνίες όμως που δημιουργούν συνθήκες αυξημένης τρωτότητας, δεν αντιλαμβάνονται τη νέα πολυπλοκότητα και δεν μπορούν να αφομοιώσουν τα νέα επιστημονικά δεδομένα, θα παραμένουν σε κατάσταση αυξημένου σεισμικού κινδύνου, και οι επερχόμενες καταστροφές θα μεγιστοποιούνται.

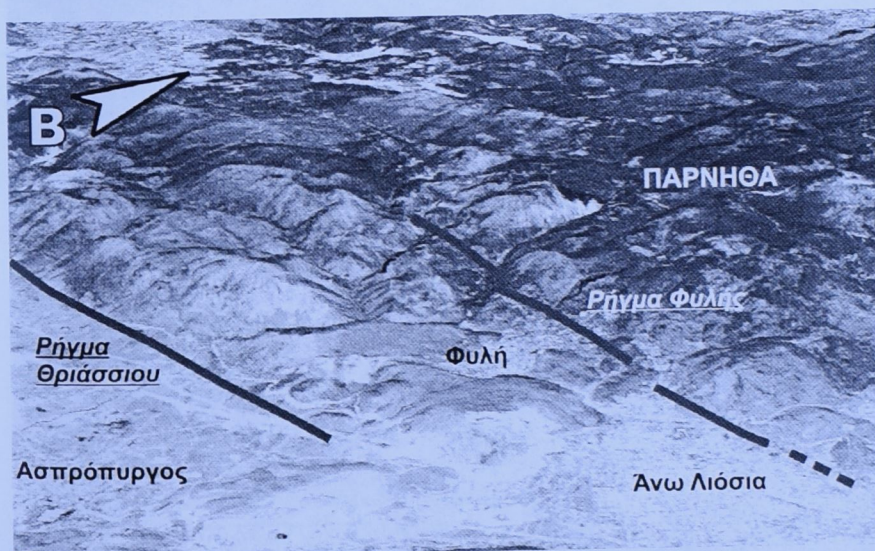
Η κοινωνία μας, αφού ζούμε σε μια ιδιαίτερα σεισμογενή χώρα, θα πρέπει γρήγορα να αφομοιώνει και να αξιοποιεί την επιστημονική γνώση σε θέματα γεωλογίας των σεισμών, σεισμικών και αντισεισμικών κατασκευών και να αναπτύσσει έξυπνα και αποτελεσματικά μέτρα αντιμετώπισης του σεισμικού κινδύνου και ελαχιστοποίησης της καταστροφής. Το επίπεδο οργάνωσης μιας κοινωνίας (υψηλό ή χαμηλό) εκτιμάται από το βαθμό αντιμετώπισης μιας καταστροφής.

Μια μικρή αλλά ουσιαστική και βασική διάσταση αυτού του προβλήματος, που αποτελεί ταυτόχρονα το πρώτο βήμα προς τη λύση του προβλήματος, προσαθεί να θίξει η εργασία αυτή, παρουσιάζοντας συνοπτικά δύο παραδείγματα γεωλογικής-σεισμοτεκτονικής έρευνας για τον προσδιορισμό ενεργών ή πιθανά ενεργών ρηγμάτων (δυνητικών σεισμικών πηγών) στα δύο μεγαλύτερα αστικά κέντρα της χώρας μας, Αθήνα και Θεσσαλονίκη. Σήμερα υπάρχουν εξειδικευμένες μέθοδοι, γεωλογικές, γεωφυσικές, γεωδαιτικές (Λέκκας 2000, Keller &

Pinter 2002, Παυλίδης 2003), που συμβάλλουν με ικανοποιητική ακρίβεια στη χαρτογράφηση και εκτίμηση της σεισμικής δυναμικότητας των ρηγμάτων.

Η περίπτωση της Αθήνας

Στις 7/9/1999 ένας ισχυρός σεισμός μεγέθους $M = 5,9$ έπληξε το πολεοδομικό συγκρότημα της Αθήνας. Οι σοβαρές ζημιές και οι ανθρώπινες απώλειες που προκλήθηκαν αποτέλεσαν έκπληξη λόγω του μέσου μεγέθους του σεισμού (Λεκίδης & Καρακώστας 2001, Bouckovalas & Kourretzis 2001, Romonis 2002). Ο σεισμός, όπως διαπιστώθηκε από μεταγενέστερες έρευνες (Pavlidis et al. 1999, Ganas et al. 2000, Pavlidis et al. 2002), προκλήθηκε από ενεργοποίηση του εως τότε μη αναγνωρισμένου ως ενεργού ρήγματος της Φυλής (Εικ. 1, 2), στην Πάρνηθα.



Εικόνα 1.

Τρισδιάστατη απεικόνιση με χρήση δορυφορικής εικόνας LANDSAT 7 και ψηφιακού μοντέλου αναγλύφου: το ρήγμα της Φυλής, που έδωσε το σεισμό της 7/9/1999, και το ρήγμα του Θριάσιου, στο νότιο τμήμα της Πάρνηθας

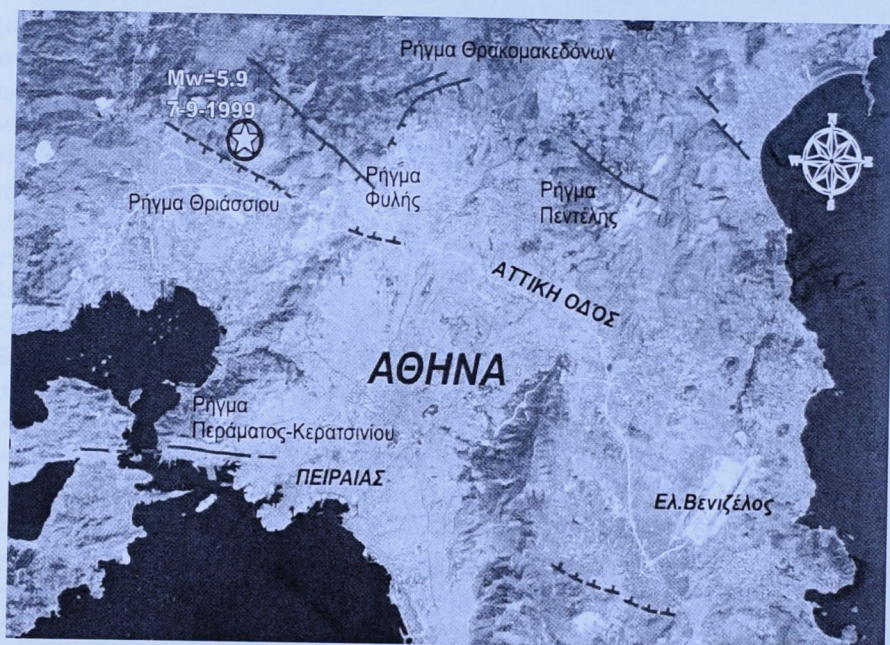


Εικόνα 2.

Αποψη προς ΒΑ του κύριου κλάδου του ρήγματος της Φυλής. Με βέλη σημειώνονται διαδοχικές παράλληλες ρηξιγενείς επιφάνειες. Οι πυλώνες της ΔΕΗ που διακρίνονται υπέστησαν σοβαρές ζημιές κατά το σεισμό της 7/9/1999

νηθα: η εγγύτητα του ρήγματος με τμήματα του πολεοδομικού συγκροτήματος (Φυλή, Άνω Λιόσια, Μενίδι, Θρακομακεδόνες) και η μέτρια έως χαμηλή κατασκευαστική ποιότητα των οικοδομών της Δυτικής Αθήνας συνέβαλαν στο μεγάλο εύρος των βλαβών.

Η έλλειψη σειсмоϊστορικών στοιχείων για καταστροφές στην πόλη και ο μύθος της ασφαλούς Αθήνας, η αδυναμία της πολιτείας να αφομοιώσει γρήγορα την καινούργια επιστημονική γνώση και κυρίως να την εφαρμόσει, ο αποπροσανατολισμός στη χώρα μας της έρευνας για τη λύση του σεισμικού προβλήματος στην αμφισβητούμενη και πρακτικά ανεφάρμοστη «πρόγνωση» και στις λανθασμένες προτεραιότητες για τη χαρτογράφηση των ενεργών ρηγμάτων στη χώρα μας μακριά από μεγάλα πολεοδομικά συγκροτήματα, οι ακατάλληλες κλίμακες νεοτεκτονικής χαρτογράφησης κ.ά. οδήγησαν στο να έχουμε ελλείψεις ειδικές γνώσεις για τη γεωλογία της ευρύτερης περιοχής του λεκανοπεδίου. Αποτέλεσμα ο «απρόβλεπτος» σεισμός της 7/9/1999 (Papadopoulos et al. 2002).

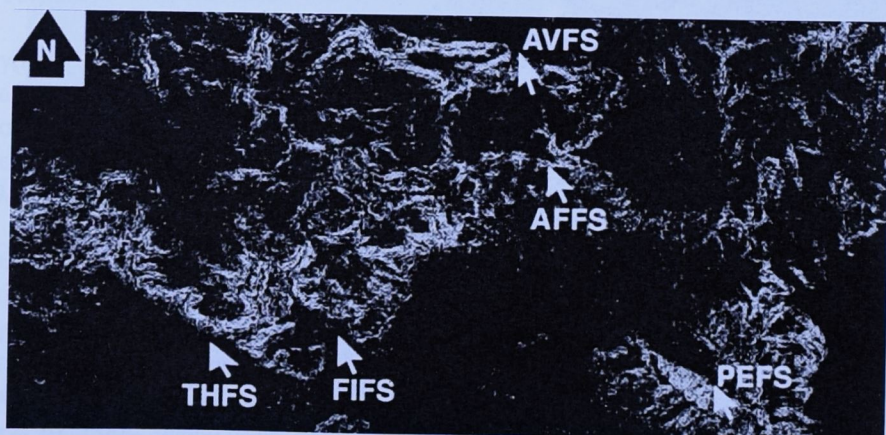


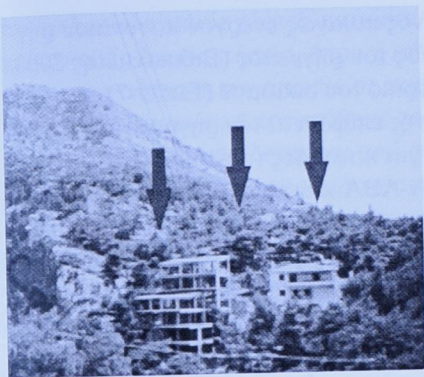
Εικόνα 3.

Δορυφορική εικόνα (LANDSAT 7 ETM+ - πανχρωματικό, λήψη 2000) του Λεκανοπεδίου της Αττικής, με τα κύρια ενεργά και πιθανώς ενεργά ρήγματα. Με αστέρι σε κύκλο σημειώνεται το επίκεντρο του σεισμού της 7/9/1999 (με βάση Βαλκανιώτης 2003, Ganas et al. 2004, 2005, και αδημοσίευστα στοιχεία)

Εικόνα 4.

Χάρτης μορφολογικών κλίσεων της Αττικής, κατασκευασμένος με βάση ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου. Οι περιοχές με σκούρο μαύρο χρώμα έχουν κλίσεις $<20^\circ$. Τα μορφολογικά προνή των κύριων ενεργών ρηγμάτων διακρίνονται ως γραμμικά στοιχεία μεγάλων κλίσεων (με ανοικτούς τόνους).
 AVFS: Ρηξιγενής ζώνη Αυλώνος,
 AFFS: Ρηξιγενής ζώνη Αφιδνών,
 FIFS: Ρήγμα Φυλής,
 PEFS: Ρήγμα Πεντέλης,
 THFS: Ρήγμα Θριάσιου
 (από Ganas et al. 2005)

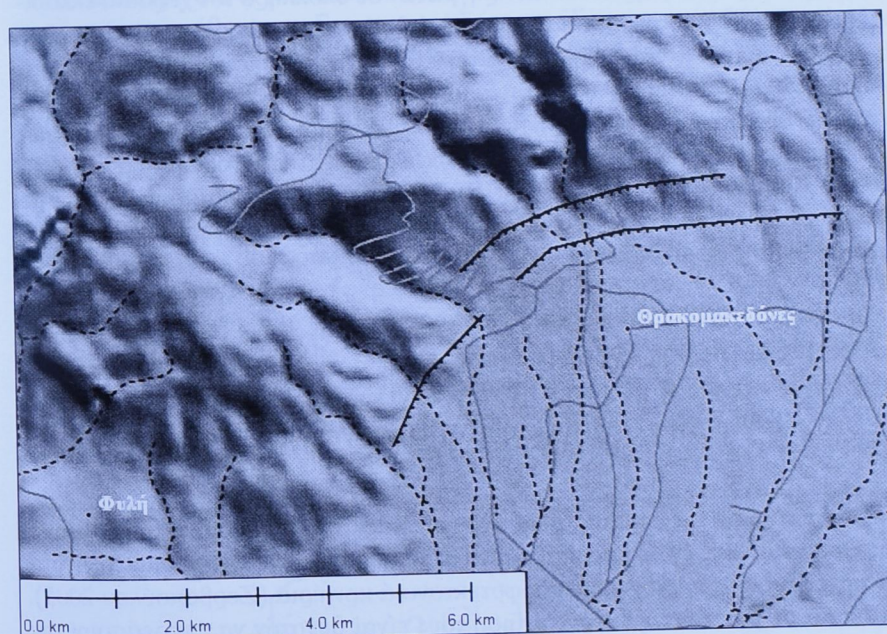


**Εικόνα 5.**

Το ίχνος του ρήγματος (με βέλη) στη συνοικία Πανόραμα Θρακομακεδόνων (άποψη προς Α) (Βαλκανιώτης 2003)

Εικόνα 6.

Δεξιά επάνω, επιφάνεια του ρήγματος Θρακομακεδόνων ($N70^\circ$) νότια του Καζίνο Πάργης (Βαλκανιώτης 2003)

**Εικόνα 7.**

Το ρήγμα των Θρακομακεδόνων (συνεχείς έντονα μαύρες γραμμές). Διακρίνονται επίσης το οδικό και το υδρογραφικό δίκτυο (Βαλκανιώτης 2003)

Η γιγάντωση του πολεοδομικού συγκροτήματος της Αθήνας το δεύτερο μισό του 20ού αιώνα είχε ως αποτέλεσμα αρκετά ενεργά ρήγματα (γνωστά και άγνωστα) να αποτελούν πλέον άμεσο κίνδυνο για τη σεισμική ασφάλεια της μητρόπολης, αυξάνοντας τη σεισμική επικινδυνότητα. Με αφορμή το σεισμό του 1999 ξεκίνησε μια ερευνητική προσπάθεια από το Τμήμα Γεωλογίας του ΑΠΘ, σε συνεργασία με το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του ΕΑΑ, για τον εντοπισμό και τη χαρτογράφηση ενεργών και πιθανά ενεργών ρηγμάτων (Εικ. 3) στην ευρύτερη περιοχή του Λεκανοπεδίου της Αττικής (Pavlidis et al. 2002, Ganas et al. 2004, 2005). Παρατηρήσεις και χαρτογράφηση υπαίθρου συνδυάστηκαν με γεωμορφολογικά και μορφοτεκτονικά στοιχεία για τη μελέτη των ρηγμάτων αυτών (Εικ. 4). Τα μέχρι τώρα αποτελέσματα δείχνουν ένα μεγάλο αριθμό ενεργών ρηγμάτων, μικρού ή μέσου μεγέθους, τόσο στο εσωτερικό του πολεοδομικού συγκροτήματος όσο και περιφερειακά αυτού. Παρά το σχετικά μικρό μέγεθός τους και το μικρό σεισμικό δυναμικό τους (πιθανό μέγεθος σεισμού έως $M=6,0-6,2$), η εγγύτητά τους με το οικοδομικό σύμπλεγμα οδηγεί στην κατακόρυφη αύξηση της σεισμικής επικινδυνότητας.

Λεπτομερής χαρτογράφηση υπαίθρου στην περιοχή της κοινότητας Θρα-

κομακεδόνων οδήγησε στον εντοπισμό ενός πιθανώς ενεργού κανονικού ρήγματος (Ρήγμα Θρακομακεδόνων). Το ίχνος του ρήγματος (Βαλκανιώτης 2003, Ganas et al. 2004) διέρχεται από το εσωτερικό του οικισμού (Εικ. 5-7), και αξίζει να αναφερθεί το γεγονός ότι η ρηξιγενής επιφάνεια του ρήγματος αποτελεί σε πολλές περιπτώσεις θέση θεμελίωσης για κατοικίες (συνοικισμός Πανόρμα Θρακομακεδόνων). Με διεύθυνση BA-ABA και κλίση προς NA-NNA, αποτελείται από δυο παράλληλα τμήματα (segments) με αλληλεπικάλυψη, με την παλαιότερη στο όριο με το υπόβαθρο και τη νεότερη νοτιότερα μέσα στα όρια του οικισμού. Το σεισμικό δυναμικό αυτού του ρήγματος θα μπορούσε να εκτιμηθεί ως πιθανό μέγεθος σεισμού $M = 5,0-5,2$ (Ganas et al. 2004), ενώ, αντίθετα, ο γεωμετρικός του προσανατολισμός και γενικά η πολύ μεγάλη περίοδος επαναδραστικοποίησης αυτών των ρηγμάτων σε ολόκληρο τον χερσαίο ελλαδικό χώρο δεν το καθιστούν ιδιαίτερα επικίνδυνο· σύμφωνα όμως πάντα με διεθνή κριτήρια (βλ. Εισαγωγή), θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στον αντισεισμικό σχεδιασμό, ιδιαίτερα για τα κτήρια μεγάλης σπουδαιότητας. Αντίστοιχα ρήγματα, αφού τεκμηριώνονται πρώτα με πολλές δοκιμασμένες και αποδεκτές μεθόδους και σε συνδυασμό με τη θέση τους ως προς το πολεοδομικό συγκρότημα της Αθήνας (βλ. ενδεικτικά Εικ. 3), θα πρέπει να συνεκτιμούνται μαζί με πολλούς άλλους παράγοντες στο πλαίσιο της σχεδίασης και της νέας ραгдаίας ανάπτυξης της μεγαλούπολης.

Η περίπτωση της Θεσσαλονίκης: μορφοτεκτονική και σεισμοτεκτονική μελέτη της ευρύτερης περιοχής για τη χαρτογράφηση των ενεργών ρηγμάτων

Για την εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας στο πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης έγινε προσπάθεια να μελετηθούν τα ενεργά σεισμικά ρήγματα της ευρύτερης περιοχής με μορφοτεκτονικά κριτήρια (Ζερβοπούλου 2005), τα οποία σε μια πιθανή ενεργοποίησή τους είναι δυνατόν να επηρεάσουν την πόλη. Το έναυσμα για την εργασία αυτή δόθηκε από το ερευνητικό πρόγραμμα SRM-LIFE (ΕΠΑΝ-ΓΓΕΤ) με θέμα την «Ανάπτυξη ολοκληρωμένης μεθοδολογίας εκτίμησης της σεισμικής τρωτότητας δικτύων κοινής ωφελείας, υποδομών, κτηρίων στρατηγικής σημασίας για τη διαχείριση του σεισμικού κινδύνου σε πολεοδομικά συγκροτήματα. Εφαρμογή στο πολεοδομικό συγκρότημα Θεσσαλονίκης» (επιστ. υπεύθυνος: καθ. Κ. Πιπλάκης). Αρχικά εντοπίστηκαν τα νεοτεκτονικά ρήγματα στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης τα οποία είναι ήδη χαρτογραφημένα σε δημοσιευμένες εργασίες (Μουντράκης κ.ά. 1996, Papazachos et al. 2000, Goldsworthy et al. 2002, Tranos et al. 2003, Paradisopoulou et al. 2004, Γεωλογικοί χάρτες ΙΓΜΕ).

Η πρώτη προσέγγιση χαρτογράφησης των ρηγμάτων έγινε με την ψηφιακή αποτύπωση του ανάγλυφου της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης (Πολεοδομικό συγκρότημα, λεκάνη Ανθεμούντα, περιοχή Περαίας-Αγγελοχωρίου και περιοχή Ασβεστοχωρίου και Πανοράματος), την ψηφιακή αποτύπωση και ποσοτική-ποιοτική ερμηνεία του υδρογραφικού δικτύου και, τέλος, την αξιολόγηση της γεωμορφολογικής έκφρασης των ρηγμάτων με βάση ποσοτικούς μορφοτεκτονικούς δείκτες.

Πιο αναλυτικά, ερευνήθηκε η γεωλογία της περιοχής, όπως αυτή εξάγε-

ται από γεωλογικούς χάρτες, επιτόπια χαρτογράφηση αλλά και γεωτρήσεις και γεωφυσικές διασκοπήσεις, όπου η σύγχρονη κάλυψη του αστικού περιβάλλοντος κάνει αδύνατη την απευθείας παρατήρηση και χαρτογράφηση των γεωλογικών σχηματισμών. Αποτυπώθηκε το υδρογραφικό δίκτυο, το οποίο στην περιοχή έρευνας επηρεάζεται και από ρήγματα, από τοπογραφικούς χάρτες, δορυφορικές εικόνες και αεροφωτογραφίες νεότερων αλλά και παλαιότερων εποχών. Για την αποτύπωση των ρεμάτων, κυρίως μέσα στο πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης όπως αυτό ήταν πριν τις ανθρωπογενείς επεμβάσεις, χρησιμοποιήθηκαν αεροφωτογραφίες του 1939 και του 1945, ιστορικά στοιχεία αλλά και τοπογραφικοί χάρτες του 1900 (Θανάσουλας 1983, Δημητριάδης 1983, Μπλιώνης 1996, Αποστολίδης 2002 κ.ά.).

Το ανάγλυφο, οι γεωλογικοί σχηματισμοί, το υδρογραφικό δίκτυο και τα ρήγματα τοποθετήθηκαν σε Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών GIS και σε ψηφιακά μοντέλα αναγλύφου (Digital Elevation Models – DEM). Η συστηματική έρευνα επικεντρώθηκε σε πρώτη φάση σε τρεις κύριες υδρολογικές λεκάνες: του Ανθεμούντα, του Δενδροποτάμου και των ρεμάτων του Πολεοδομικού Συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης. Τα ρήγματα που εντοπίστηκαν και μελετήθηκαν στις λεκάνες αυτές είναι της λεκάνης του Ανθεμούντα, του Ασβεστοχωρίου και της Πυλαίας-Πανοράματος αντίστοιχα.

Η μελέτη των μορφοτεκτονικών δεικτών συνίσταται σε ποσοτικές μετρήσεις της γεωμορφολογίας των περιοχών και χρησιμοποιείται για να μελετηθούν και να συγκριθούν μεταξύ τους οι παράμετροι που χαρακτηρίζουν μία περιοχή, όπως π.χ. η ενεργότητα (Keller & Pinter 2002). Οι δείκτες που εξετάζονται είναι η ασυμμετρία της λεκάνης απορροής (Δείκτης AF), η δαντέλωση στους πρόποδες των βουνών (Δείκτης S ή Smf) και ο παράγοντας εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας (Δείκτης Σ). Από τη μελέτη της μορφολογίας του γήινου αναγλύφου,

Εικόνα 8.

Υδρολογικές λεκάνες της περιοχής μελέτης, από τις οποίες μελετήθηκαν οι υδρολογικές λεκάνες 1 και 4 (ευρύτερη περιοχή Ανθεμούντα, περιλαμβάνονται τα ρέματα Δήμου Θεσσαλονίκης) και οι υπολεκάνες 2α (λεκάνη ρεμάτων Πολεοδομικού Συγκροτήματος Θεσσαλονίκης, υπολεκάνη Ελαιορέματος) και 3α (υδρολογική λεκάνη Δενδροποτάμου και υπολεκάνη Ξηροποτάμου), λόγω του συσχετισμού τους με ενεργά ρήγματα

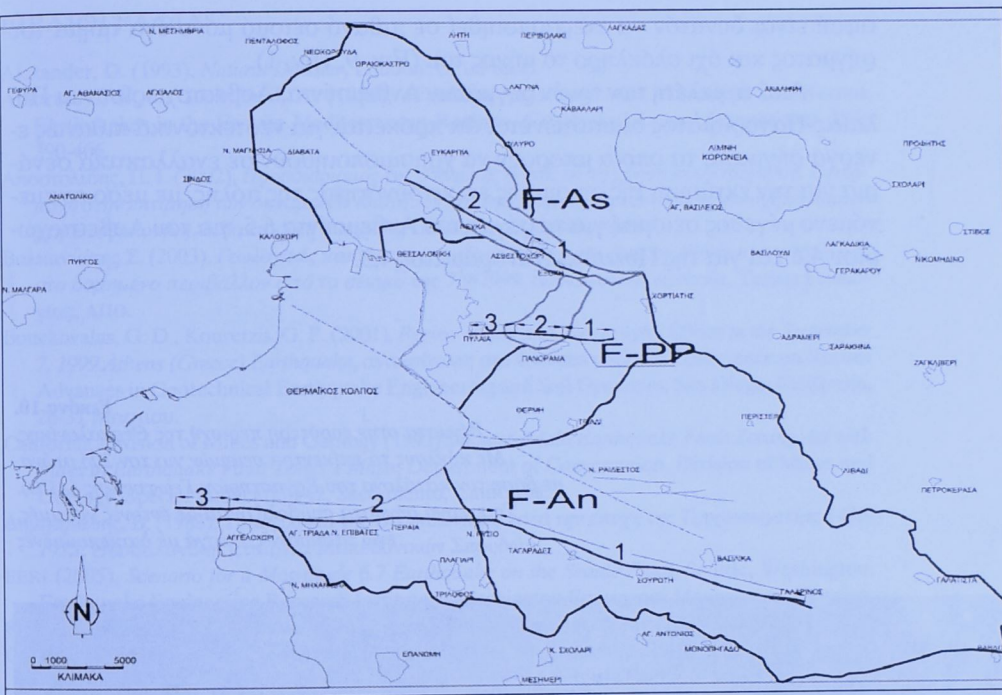


Οι μεγάλοι ιστορικοί σεισμοί που προξένησαν σημαντικές βλάβες στην πόλη της Θεσσαλονίκης είναι κυρίως τρεις, με πρώτο καταγεγραμμένο από ιστορικά στοιχεία το 1430 στη Θεσσαλονίκη, πιθανού μεγέθους $M = 6,0$, δεύτερο το σεισμό των Βασιλικών, με πιθανό μέγεθος $M = 6,2$, και τρίτο και σημαντικότερο το σεισμό του 1759, με επίκεντρο πολύ κοντά στην πόλη και μέγεθος $M = 6,5$. Για τους πιο πρόσφατους σεισμούς που προξένησαν βλάβες στην πόλη της Θεσσαλονίκης παρατηρούμε ότι υπάρχουν τρεις χρονικές περιόδους εξασοσης. Η πρώτη άρ-

Πίνακας 1.

Ρηγμάτα της περιοχής Θεσσαλονίκης και θεωρητικά αναμενόμενα μεγέθη (επεξήγηση στο κείμενο) για την εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας της πόλης από κοντινές σεισμικές πηγές και για διάφορα εναλλακτικά σενάρια

Α/Α	ΡΗΓΜΑΤΑ	L/SRL	Mw						MD			AD	ΠΑΡΑΤΑΞΗ	ΚΛΙΣΗ
		ΜΗΚΟΣ	WC94	AJ98	PP03	PC04	P04	MAX M	MD WC94	MD PC04	P04	AD WC94		
		(km)	(R)	(R)	(R)	(R)	(R)	(R)	(m)	(m)	(m)	(m)		
	ΤΥΠΟΙ	L / SRL	Mw=4,86+1/32log(SRL)	Ms=5,13+1/14log(L)	logL=0,51+Mw-1,85	Ms=0,9log(SRL)+5,48	logL=0,50M-1,86		log(MD)=5,9+0,89*Mw	Ms=0,59log(MVD)+6,75	logu=0,72M-2,82	Log(AD)=4,45+0,63*Mw		
1	Ανθεμόντας	32	6,9	6,9	6,6	6,8	6,7	6,9	1,74	1,80	1,41	0,79	B90 (ΔΒΔ-ΑΝΑ)	50-70 Β
	Ανθεμόντας 1	17	6,5	6,5	6,0	6,6	6,2	6,5	0,77	0,38	0,72	0,44	B100-110	
	Ανθεμόντας 2	15	6,4	6,5	6,0	6,5	6,1	6,5	0,77	0,38	0,72	0,44	B90	
	Ανθεμόντας 3	3	5,5	5,7	4,6	5,9	4,7	5,7	0,15	0,02	0,19	0,14	B90	
	Ανθεμόντας 1-2	32	6,9	6,9	6,6	6,8	6,7	6,9	1,74	1,80	1,41	0,79	B90-110	
	Ανθεμόντας 2-3 (Ιστορικός Σεισμός) 1677	18	6,5	6,6	6,1	6,6	6,2	6,6	0,94	0,56	0,86	0,51	B90	
	Βασιλικά						6,2							
2	Πανόραμα - Πυλαία	6	5,9	6,0	5,2	6,2	5,3	6,0	0,28	0,05	0,32	0,21	B95-100 (Α-Δ)	60-70 Β
	Πανόραμα - Πυλαία 1	3	5,5	5,6	4,5	5,9	4,6	5,6	0,12	0,01	0,16	0,12		
	Πανόραμα - Πυλαία 2	3	5,4	5,6	4,5	5,9	4,6	5,6	0,12	0,01	0,16	0,12		
	Πανόραμα - Πυλαία 3	3	5,4	5,6	4,4	5,8	4,5	5,6	0,12	0,01	0,16	0,12		
	Πανόραμα - Πυλαία 1-2	6	5,9	6	5,2	6,2	5,3	6	0,28	0,05	0,32	0,21		
	Πανόραμα - Πυλαία 2-3	6	5,9	6	5,2	6,2	5,3	6	0,28	0,05	0,32	0,21		
3	Ασβεστοχώρι	10	6,2	6,3	5,6	6,4	5,7	6,3	0,51	0,17	0,52	0,33	B98-120 (ΑΝΑ-ΔΒΔ)	60-80 Β
	Ασβεστοχώρι 1	3	5,5	5,7	4,6	5,9	4,7	5,7	0,15	0,02	0,19	0,14		
	Ασβεστοχώρι 2	7	6	6,1	5,3	6,2	5,4	6,1	0,34	0,08	0,37	0,25		
	Mw= Μέγεθος ροπής								WC94= Wells & Coppersmith (1994)					
	LSRL= Μήκος ρήγματος								PC04= Pavlides & Caputo (2004)					
	MD= Μέγιστη μετατόπιση								AJ98= Ambraseys & Jackson (1998)					
	AD= Μέση μετατόπιση								PP03= Papazachos & Papazachou (2003)					
	MAX M= Πιθανό μέγεθος σύμφωνα με Ambraseys & Jackson								P04= Papazachos, Scordilis, Panagiotopoulos, Papazachos, Karakaisis (2004)					



γισε με έναν κύριο σεισμό $M = 6,6$ στην Άσσηρο το 1902, συνεχίστηκε στη Βουλγαρία με έναν κύριο σεισμό μεγέθους $M = 7,3$ στην Κρέσνα το 1904 και σταμάτησε με τη σεισμική ακολουθία της χερσονήσου του Αθω, με τον κύριο σεισμό της μεγέθους 7,5 το 1905, που είχε το επίκεντρό του στα ΝΑ παράλια της εν λόγω χερσονήσου. Η δεύτερη περίοδος σεισμικών ακολουθιών άρχισε από τη Νότια Γιουγκοσλαβία (FYROM), με μεγαλύτερο σεισμό μεγέθους $M = 6,6$ στο Βαλάντοβο (1931) και συνεχίστηκε με έναν κύριο σεισμό μεγέθους $M = 7,0$ στην Ιερισσό το 1932 και άλλους μικρότερους σεισμούς στην περιοχή των λιμνών Λαγκαδά και Βόλβης. Η τρίτη χρονική περίοδος ήταν εντοπισμένη στην περιοχή των λιμνών Λαγκαδά και Βόλβης, με έναν κύριο σεισμό μεγέθους $M = 6,5$ στον Στίβο τον Ιούνιο του 1978 (Papazachos & Carydis 1983, Παπαζάχος & Παπαζάχου 2003).

Τα τρία ρήγματα που μελετούνται στο πλαίσιο αυτής της εργασίας και βρίσκονται κοντά στο πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης θεωρήθηκαν κατ' αρχάς ενεργά και αντιπροσωπευτικά για την εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας της πόλης και για σενάριο σεισμικής δράσης από πηγή. Για κάθε ένα από τα τρία ρήγματα χρησιμοποιήθηκαν οι εμπειρικές σχέσεις των Wells & Coppersmith (1994), Ambraseys & Jackson (1998), Pavlides & Caputo (2004) και Papazachos & Papazachou (1997/2003), που συνδέουν το σεισμικό μέγεθος με τις διάφορες παραμέτρους μιας σεισμικής πηγής. Έτσι, υπολογίζονται οι μέσες τιμές (με τη μέγιστη και ελάχιστη απόκλιση) για το μέγιστο αναμενόμενο μέγεθος σεισμού M_{max} που μπορεί να συνδέεται με το ρήγμα, καθώς και τη μέγιστη κατακόρυφη μετατόπιση MVD (Maximum Vertical Displacement) με τη μέση μετατόπιση AD (Average Displacement). Για τους υπολογισμούς αυτούς τα ρήγματα χωρίστηκαν με βάση την παράταξή τους κυρίως, αλλά και την πιθανή επέκτασή τους στη θάλασσα (ρήγμα Ανθεμούντα), σε τμήματα (segments). Οι παραπάνω τιμές υπολογίζονται για το συνολικό μήκος του ρήγματος (ακραίο σενάριο), για κάθε τμήμα του ξεχωριστά και για συνδυασμό των τμημάτων του,

Εικόνα 9.

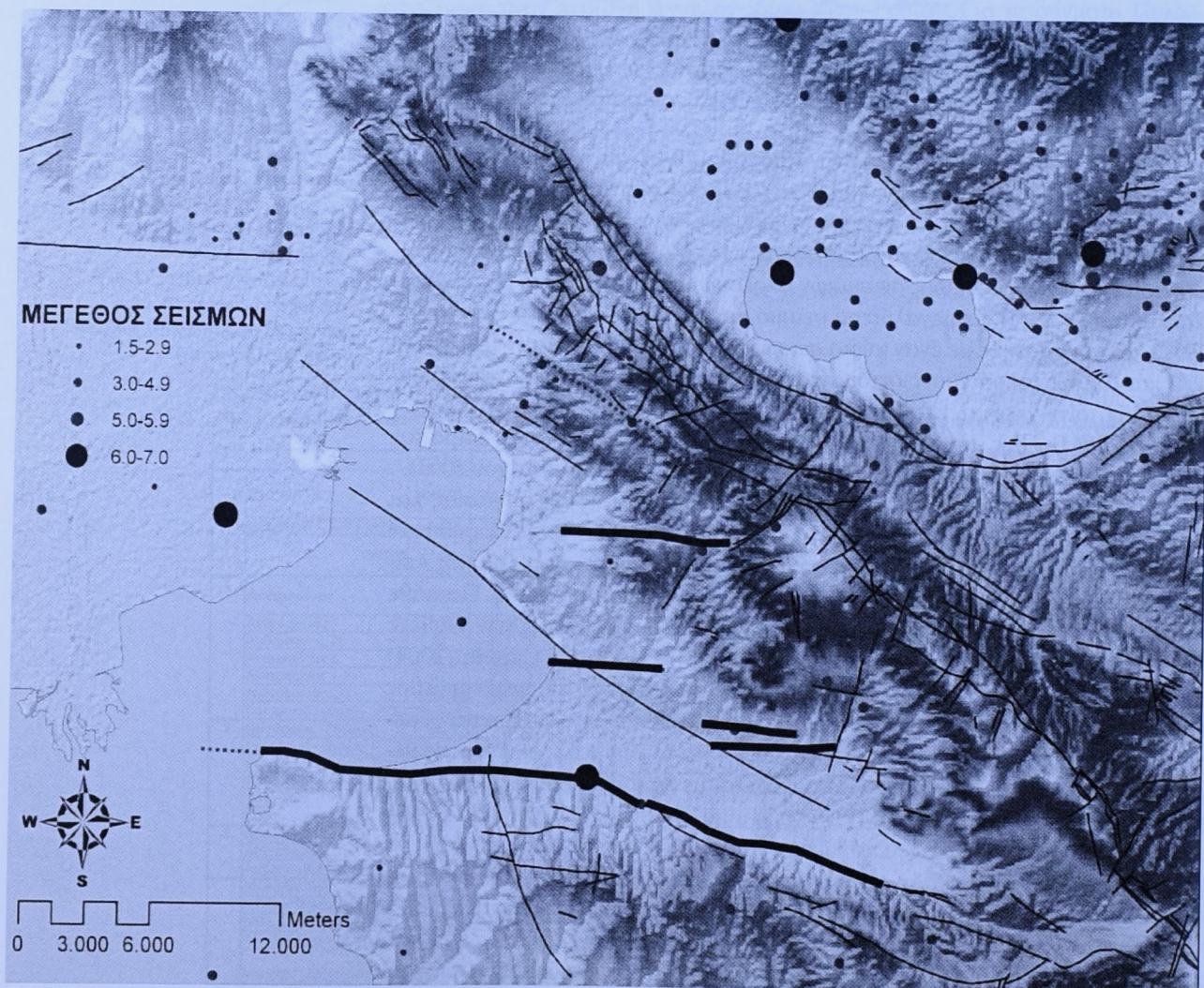
Τα τρία ενδεικτικά και αντιπροσωπευτικά ρήγματα πλησίον της Θεσσαλονίκης: Ανθεμούντα (F-An), Πυλαίας-Πανοράματος (F-PP) και Ασβεστοχωρίου (F-As), χωρισμένα σε επιμέρους τμήματα (behavioral segments)

αφού είναι δυνατόν να ενεργοποιηθεί σε πιθανό σεισμό μόνο ένα τμήμα του ρήγματος και όχι ολόκληρο το μήκος του (Εικ. 9, Πίν. 1).

Από τη μελέτη των τριών ρηγμάτων Ανθεμούντα, Ασβεστοχωρίου και Πυλαίας-Πανοράματος διαπιστώνεται ότι πρόκειται για νεοτεκτονικά πιθανώς ενεργά ρήγματα, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εναλλακτικά σενάρια για την εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας της πόλης, με μέσο αναμενόμενο μέγεθος σεισμού για το ρήγμα του Ανθεμούντα 6,5, για του Ασβεστοχωρίου 4,6 και για της Πυλαίας-Πανοράματος 4,5.

Εικόνα 10.

Ρήγματα στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης. Με κύκλους τα επίκεντρα σεισμών για τον 20ό αιώνα, με βάση τον κατάλογο του Εργαστηρίου Γεωφυσικής (ΑΠΘ). Τα ενεργά ρήγματα συμβολίζονται με έντονες γραμμές, ενώ τα πιθανώς ενεργά με διακεκομμένες.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Alexander, D. (1993), *Natural Disaster*, London: UCL Press.
- Ambraseys, N. N., Jackson, J. A. (1998), «Faulting Associated with Historical and Recent Earthquakes in the Eastern Mediterranean Region», *Geophysical Journal International*, 133: 390-406.
- Αποστολίδης, Π. Ι. (2002), *Προσδιορισμός της εδαφικής δομής με τη χρήση μικροθορύβου. Εφαρμογή στην εκτίμηση των δυναμικών ιδιοτήτων και της γεωμετρίας των εδαφικών σχηματισμών στη Θεσσαλονίκη*, διδακτορική διατριβή, Πολυτεχνική Σχολή, ΑΠΘ.
- Βαλκανιώτης Σ. (2003), *Γεωλογικές και νεοτεκτονικές συνθήκες στη Δυτική Αθήνα και επιπτώσεις στο δομημένο περιβάλλον από το σεισμό της 7/9/1999*, διπλωματική εργασία, Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ.
- Bouckovalas, G. D., Koutretzis, G. P. (2001), *Review of Soil and Topography Effects in the September 7, 1999 Athens (Greece) Earthquake*, ανακοίνωση στο 4th International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, San Diego, California, 26-31 Μαρτίου.
- California Division of Mines and Geology (1999), *Alquist-Priolo Earthquake Fault Zoning Act with Index to Earthquake Fault Zones 1 Maps*, Department of Conservation, Division of Mines and Geology, Special Publication 42, Sacramento, California.
- Δημητριάδης, Β. (1983), *Τοπογραφία της Θεσσαλονίκης κατά την εποχή της Τουρκοκρατίας 1430-1912*, Θεσσαλονίκη: Εταιρεία Μακεδονικών Σπουδών.
- EERI (2005), *Scenario for a Magnitude 6.7 Earthquake on the Seattle Fault*, Seattle, Washington: Earthquake Engineering Research Institute & Washington Emergency Management Division.
- Θανάσση, Κ. (1983), *Γεωφυσική μελέτη περιοχής Ανθεμούντα (Γεωηλεκτρικά)*, ΙΓΜΕ.
- Ganas, A., Papadopoulos, G., Pavlides, S. (2000), «The 7th September 1999 Athens Unexpected Earthquake: 3D Visualization and Field Evidence of the Seismic Fault», *Annales Géologiques des Pays Helléniques*, 38(Fasc. B): 113-129.
- Ganas, A., Pavlides, S., Sboras, S., Valkaniotis, S., Papaioannou, S., Alexandris, A., Plessa, A., Papadopoulos, G. A. (2004), «Active Fault Geometry and Kinematics in Parnitha Mountain, Attica, Greece», *Journal of Structural Geology*, 26: 2103-2118.
- Ganas, A., Pavlides, S., Karastathis, V. (2005), «DEM-Based Morphometry of Range-Front Escarpments in Attica, Central Greece, and Its Relation to Fault Slip Rates», *Geomorphology*, 65: 301-319.
- Goldsworthy, M., Jackson, J., Haines, J. (2002), «The Continuity of Active Fault Systems in Greece», *Geophysical Journal International*, 148: 596-618.
- ΙΓΜΕ (χ.χ.), *Γεωλογικός Χάρτης της Ελλάδος σε κλίμακα 1:50.000*, Φύλλα «Θεσσαλονίκη», «Θέρμη», «Επανομή», «Ζαγγλιβερί», «Πολύγυρος», «Βασιλικά».
- Institute of Geological & Nuclear Sciences (2003), *Planning for Development of Land on or Close to Active Faults: An Interim Guideline to Assist Resource Management Planners in New Zealand*, Wellington: Ministry for the Environment.
- Keller, A. E., Pinter, N. (2002), *Active Tectonics: Earthquakes, Uplift and Landscape*, Prentice Hall, β' έκδ.
- Λεβεντάκης, Γ. Α. Ν. (2003), *Μικροζωνική μελέτη της πόλης της Θεσσαλονίκης*, διδακτορική διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ.
- Λεκίδης, Β., Καρακώστας, Χ. (2001), «Ο σεισμός της Αθήνας της 7/9/99: σεισμολογικά στοιχεία και επιπτώσεις στο δομημένο περιβάλλον», *Πρακτικά 4ου Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωτεχνικής & Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής*, Αθήνα, σ. 143-152.
- Λέκκας, Ε. (2000), *Φυσικές και τεχνολογικές καταστροφές*, β' έκδ., Αθήνα.
- Lekkas E. (2001), «The Athens Earthquake (7 September 1999): Intensity Distributions and Controlling Factors», *Engineering Geology*, 59: 297-311.
- Massimo, Vitti (1990), *Το πολεοδομικό σχέδιο της Αρχαίας Θεσσαλονίκης και η εξέλιξη του*, διδακτορική διατριβή, Ρώμη / Θεσσαλονίκη.
- 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., Σπυρδούπουλος Μ., Πάτρας Δ., Συρίδης Γ., Λαμπρινός Ν., Λαγγάλη Θ. (1996), *Νεοτεκτονικός Χάρτης της Ελλάδας, κλίμακας 1:100.000*, Φύλλα: «Θεσσαλονίκη», «Λαγκαδάς», ΟΑΣΠ.
- Μπλιώνης, Γ. (1996), *Τα ρέματα της Θεσσαλονίκης*, Σύνδ. ΟΤΑ Μειζ. Θεσ/νίκης / Οικ. Κίν. Θεσ/νίκης.
- Παπαζάχου, Β., και Παπαζάχος, Κ. (2003), *Οι σεισμοί της Ελλάδας*, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη.
- Παυλίδης, Σ. Β. (2003), *Γεωλογία των σεισμών. Εισαγωγή στη νεοτεκτονική, μορφοτεκτονική και παλαιοσεισμολογία*, Θεσσαλονίκη: University Studio Press.

- Papadopoulos, G. A., Ganas, A., Pavlides, S. (2002), «The Problem of Seismic Potential Assessment: Case Study of the Unexpected Earthquake of 7 September 1999 in Athens, Greece», *Earth Planets Space*, 54: 9-18.
- Papadopoulos, G. A., Caputo, R., McAdoo, B., Pavlides, S., Karastathis, V., Fokaefs, A., Orfanogiannaki, K., Valkaniotis, S. (2006), «The Large Tsunami of 26 December 2004: Field Observations and Eyewitness Accounts from Sri Lanka, Maldives Is. and Thailand», *Earth Planets Space*, 58: 233-241.
- Papanikolaou, D., Lekkas, E., Sideris, Ch., Foundoulis, I., Danamos, G., Kranis, Ch., Lozios, L. (1999), «Geology and Tectonics of Western Attica in Relation to the 7-9-99 Earthquake», *Newsletter of the European Centre on Prevention and Forecasting of Earthquakes*, 3: 30-34, Athens.
- Papazachos, C., Soupios, P., Savaidis, A., Roumelioti, Z. (2000), «Identification of Small-Scale Active Faults near Metropolitan Areas: An Example from the Asvestochori Fault near Thessaloniki», ανακοίνωση, XXVII General Assembly of the European Seismological Commission (ESC), 10-15 Σεπτεμβρίου.
- Paradisopoulou, P. M., Karakostas, V. G., Papadimitriou, E. E., Tranos, M. D., Papazachos, C. B., Karakaisis, G. F. (2004), «Microearthquake Study of the Broader Thessaloniki Area», *Proceedings*, 5th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology, Thessaloniki, τόμ. 2, σ. 623-626.
- Parliamentary Commissioner for the Environment (2001), *Building on the Edge: The Use and Development of Land on or Close to Fault Lines*, Office of the Parliamentary Commissioner for the Environment, New Zealand.
- Pavlides, S. B., Papadopoulos, G. A., Ganas, A. (1999), «The 7th September 1999 Unexpected Earthquake of Athens: Preliminary Results on the Seismotectonic Environment», *Programme-Abstracts-Reports*, 1st Conference on the Advances in Natural Hazards Mitigation: Experiences from Europe and Japan, Αθήνα, 3-4 Νοεμβρίου, σ. 80-85.
- 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.
- Pavlides, S. B., Caputo, R. (2004), «Magnitude vs. Fault's Surface Parameters: Quantitative Relationships from the Aegean Region», *Tectonophysics*, 380: 159-188.
- Pomonis, A. (2002), «The Mount Parnitha (Athens) Earthquake of September 7, 1999: A Disaster Management Perspective», *Natural Hazards*, 27(1-2): 171-199.
- Ρόζος, Δ., Αποστολίδης, Ε., Χρηστάρας, Β. (2000), *Τεχνικογεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής της πόλης της Θεσσαλονίκης*, εισήγηση στην ημερίδα «Θωράκιση της Θεσσαλονίκης από φυσικές καταστροφές», Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ, 24 Φεβρουαρίου.
- Ρόζος, Δ., Χατζηνάκος, Ι., Αποστολίδης, Ε. (1998), *Τεχνικογεωλογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής πόλης Θεσσαλονίκης*, κλίμακας 1:25.000, ΠΓΜΕ.
- Στεφανίδης, Π. (2000), *Η αντιπλημμυρική προστασία του πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης*, εισήγηση στην ημερίδα «Θωράκιση της Θεσσαλονίκης από φυσικές καταστροφές», Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ, 24 Φεβρουαρίου.
- SCEC (2004), *Making Roots In Earthquake Country*, ειδική έκδοση, California Department of Conservation & Western Division of United States Geologic Survey, San Francisco.
- ΤΕΕ - Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας (1994), Ημερίδα «Τα ρέματα του πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης», Θεσσαλονίκη, 15 Δεκεμβρίου.
- Tranos, M. D., Papadimitriou, E. E., Kiliass A. A. (2003), «Thessaloniki-Gerakarou Fault Zone (TGFZ): The Western Extension of the 1978 Thessaloniki Earthquake Fault (Northern Greece) and Seismic Hazard Assessment», *Journal of Structural Geology*, 25: 2109-2123.
- Vouvalidis, K. G., Syrides, G. E., Albanakis, K. S. (2005), «Holocene Morphology of the Thessaloniki Bay: Impact of Sea Level Rise», *Z. Geomorph. N.F.*, Suppl., 137: 147-158.
- Wells, D. L., Coppersmith, K. J. (1994), «New Empirical Relationships Among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area and Surface Displacement», *Bulletin of Seismological Society of America*, 84: 974-1002.