



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



Ρήγματα στον αστικό ιστό της Θεσσαλονίκης και η σεισμική επικινδυνότητά τους

Διπλωματική εργασία

Αναστασιάδου Βασιλική, 5079

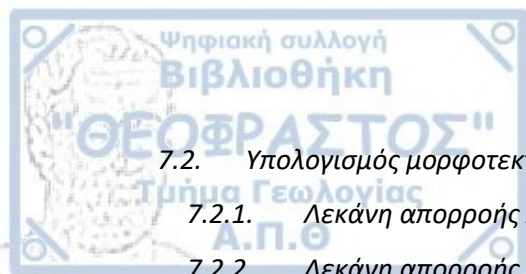
Επιβλέπων: Επίκ. Καθηγητής, Χατζηπέτρος Αλέξανδρος

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, 2018



Περιεχόμενα

Περιεχόμενα	1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
ABSTRACT.....	4
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
1. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	6
2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ.....	6
3. ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ.....	12
4. ΡΗΓΜΑΤΑ ΠΟΥ ΜΕΛΕΤΗΘΗΚΑΝ	16
4.1. Η περίπτωση της Περαιάς	18
5. ΧΩΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΣΕ ΛΕΚΑΝΕΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ.....	20
6. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΛΕΚΑΝΩΝ	21
6.1. Λεκάνη απορροής Ανθεμούντα	21
6.2. Λεκάνη απορροής Πολεοδομικού Συγκροτήματος Θεσσαλονίκης.....	22
6.2.1 Υπολεκάνες του πολεοδομικού συγκροτήματος Θεσσαλονίκης	22
6.3. Λεκάνη απορροής Δενδροποτάμου	25
6.4. Λεκάνη απορροής Δήμου Θερμαϊκού.....	25
6.5. Λεκάνη απορροής ρέματος Θέρμης	26
7. ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΜΟΡΦΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	27
7.1. Μορφοτεκτονικοί δείκτες.....	27
7.1.1. Υψομετρική καμπύλη και υψομετρικό ολοκλήρωμα (Hypsometric Curve and Hypsometric Integral, Strahler A.N. 1952, Παυλίδης, 2016)	27
7.1.2. Ασυμμετρία λεκάνης απορροής (AF) (Drainage Basin Asymmetry, Hare & Gardner, 1985, Keller & Pinter, 2002, Παυλίδης, 2016)	28
7.1.3. Δαντέλωση στους πρόποδες των βουνών (Smf) (Mountain Front Sinuosity, Keller & Pinter, 1996, Παυλίδης, 2016)	29
7.1.4. Μήκος ρέματος (κλάδος υδρογραφικού δικτύου-Δείκτης κλίσης του (SL)) (Stream Length-Gradient Index) Keller & Pinter, 2002, Παυλίδης, 2016)	30
7.1.5. Δείκτης εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας (T) (Transverse Topographic Symmetry, Keller & Pinter, 2002, Παυλίδης, 2016).	30
7.1.6. Λόγος πλάτους κοιλάδας προς ύψος (V) (Ratio of Valley-Floor Width to Valley Height, Keller & Pinter, 2002, Παυλίδης, 2016).....	31



7.2.	Υπολογισμός μορφοτεκτονικών δεικτών.....	32
7.2.1.	Λεκάνη απορροής Ανθεμούντα	32
7.2.2.	Λεκάνη απορροής πολεοδομικού συγκροτήματος Θεσσαλονίκης.....	36
7.2.3.	Λεκάνη απορροής Δενδροποτάμου.....	41
7.2.4.	Λεκάνη απορροής Θέρμης.....	46
7.3.	Συμπεράσματα από τον υπολογισμό των μορφοτεκτονικών δεικτών	49
8.	ΡΗΓΜΑΤΑ ΤΟΥ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΚΟΥ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑΤΟΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΥΤΟΥ	51
8.1.	Διαχωρισμός των ρηγμάτων με βάση την ενεργότητά τους	51
8.1.1.	Ενεργά ρήγματα.....	52
8.1.2.	Πιθανά ενεργά ρήγματα.....	65
8.1.3.	Ρήγματα άγνωστης ενεργότητας Πολεοδομικού Συγκροτήματος Θεσσαλονίκης....	71
9.	ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ	74
9.1.	Σεισμικότητα του ρήγματος του Ανθεμούντα	75
9.2.	Σεισμικότητα της Μυγδονίας λεκάνης	76
9.3.	Σεισμικότητα των περιοχών Αγχιάλου-Ν. Μεσημβρίας	77
9.4.	Σεισμικότητα της περιοχής Ασβεστοχωρίου	78
9.5.	Σεισμικότητα των ρηγμάτων του πολεοδομικού συγκροτήματος.....	79
9.6.	Σεισμικότητα κατά τους ιστορικούς χρόνους	80
10.	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	81
10.1	Υπολογισμός μέγιστου μεγέθους σεισμού και μέγιστης μετατόπισης για τα ενεργά ρήγματα	82
10.2	Υπολογισμός μέγιστου μεγέθους σεισμού και μέγιστης μετατόπισης για τα πιθανά ενεργά ρήγματα.....	87
11.	ΣΥΝΟΨΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	91
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	94



Ο ελληνικός χώρος αποτελεί μια από τις περιοχές με την υψηλότερη σεισμικότητα σε παγκόσμιο επίπεδο, λόγω της γεωτεκτονικής του θέσης, σε περιοχή όπου τα γεωτεκτονικά φαινόμενα που εξελίσσονται, επηρεάζουν και διαμορφώνουν τον γήινο φλοιό. Φυσικά η σεισμικότητα αυτή παρατηρείται και στον βόρειο ελληνικό χώρο κατά μήκος των ζωνών διάρρηξης (ρηξιγενής λεκάνη Μυγδονίας, τάφρος του βορείου Αιγαίου κ.α.), όπου και έχουν σημειωθεί τα επίκεντρα καταστροφικών σεισμών με κυριότερο αυτόν της 20^{ης} Ιουνίου 1978 ($M_S = 6.5$ VIII +, Στίβος, Papazachos et al., 1979a, b), ένα σεισμικό φαινόμενο ιδιαίτερης σημασίας για τη χώρα, καθώς αποτέλεσε τον πρώτο μεγάλο σεισμό που έπληξε ένα μεγάλο σύγχρονο αστικό κέντρο, όπως είναι η πόλη της Θεσσαλονίκης. Όπως γίνεται αντιληπτό, η καταγραφή και μελέτη όλων των ρηγμάτων που παρουσιάζουν σεισμική επικινδυνότητα και δύναται να πλήξουν το αστικό περιβάλλον της Θεσσαλονίκης και των γύρω περιοχών, κρίνεται τουλάχιστον ενδιαφέρουσα αν όχι και επιτακτική.

ABSTRACT

The Hellenic area, due to its distinctive geotectonic position, represents one of the most seismically active regions. This seismic regime applies to Northern Greece as well, localized in main active fault zones (Mygdonia basin, North Aegean Trough etc.), where the epicenters of destructive earthquakes can be detected, such as the June 1978 earthquake ($M_S = 6.5$ VIII +, Stivos, Papazachos et al., 1979a, b) which turned out to be one of the most devastating occurrences for the city of Thessaloniki. As a result, it is crucial that all the seismic faults, that could possibly pose a threat to the city of Thessaloniki, as well as surrounding regions, be taken into consideration and further investigation.



Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στην μελέτη των ρηγμάτων στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης, με μεγαλύτερη έμφαση στα ρήγματα εντός του πολεοδομικού της συγκροτήματος, αλλά και αυτών τα οποία βρίσκονται σε απόσταση τέτοια ώστε θα μπορούσαν να επηρεάσουν τον αστικό ιστό σε περίπτωση ενεργοποίησής τους. Μελετήθηκαν η γεωλογία της περιοχής, το τεκτονικό καθεστώς που επικρατεί σήμερα, οι διάφορες λεκάνες απορροής στις οποίες έχει χωριστεί η περιοχή, όπως επίσης και οι μορφοτεκτονικοί δείκτες που βοηθούν στη μελέτη και κατηγοριοποίηση των ρηγμάτων. Στη συνέχεια, μελετήθηκαν τα ρήγματα, νεοτεκτονικά ρήγματα αλλά και παλαιότερες δομές, η σεισμικότητα της ευρύτερης περιοχής και των σημαντικότερων ρηγμάτων, ενώ εκτιμήθηκε και η σεισμική επικινδυνότητα, από εμπειρικές σχέσεις με βάση τις οποίες μπορεί να γίνει υπολογισμός του μέγιστου μεγέθους σεισμού που θα μπορούσαν να προκαλέσουν τα σεισμικά ρήγματα. Ορισμένα ρήγματα κρίθηκαν περισσότερο σημαντικά από κάποια άλλα, όσον αφορά την επικινδυνότητά τους και τις καταστροφές που θα μπορούσαν να προκαλέσουν στον αστικό ιστό της Θεσσαλονίκης και για το λόγο αυτό αναλύονται εκτενέστερα.

1. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

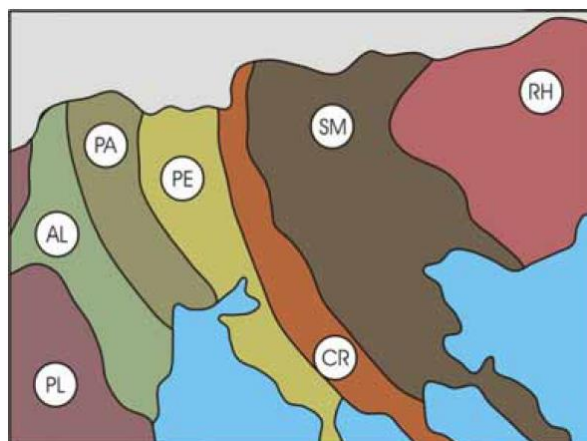
Η περιοχή οριοθετείται βόρεια και βορειοανατολικά, από τις κοινότητες Ευκαρπίας και Ασβεστοχωρίου, μέχρι και το νότιο όριο της Μυγδονίας λεκάνης, νότια των λιμνών Κορώνειας και Βόλβης. Στα νότια και τα νοτιοανατολικά, από την λεκάνη του Ανθεμούντα ποταμού μέχρι και τον οικισμό του Γαλαρινού, στα δυτικά από τους οικισμούς Καλοχωρίου και Νέας Μεσημβρίας, ενώ γίνεται αναφορά και σε ρηξιγενείς δομές μέσα στον Θερμαϊκό κόλπο.

2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

Η περιοχή ανήκει γεωλογικά σε δύο κυρίως γεωτεκτονικές ζώνες (Σχ. 2.1):

Σερβομακεδονική μάζα

Εκτείνεται με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και βρίσκεται μεταξύ της μάζας της Ροδόπης και της Περιροδοπικής. Η Σερβομακεδονική, πιθανόν αποτέλεσε στο παρελθόν, τμήμα της ηπειρωτικής πλάκας της Λαυρασίας. Από τις δύο ενότητες που αποτελούν τη Σερβομακεδονική, μόνο η ενότητα Βερτίσκου συναντάται στην περιοχή μελέτης και χαρακτηρίζεται από γνεύσιους, μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους και ενστρώσεις μαρμάρων, ενώ στους ανώτερους ορίζοντες συναντάμε πετρώματα ωκεάνιας προέλευσης (μεταγάββρους, μεταδιαβάσες και αμφιβολίτες). Συχνά επίσης παρεμβάλλονται με τεκτονικές επαφές μέσα στα άλλα πετρώματα και σερπεντινικά σώματα, μέρη ενός οφειολιθικού συμπλέγματος (Μουντράκης, 2010).



Σχήμα 2.1 Σκαρίφημα της γεωτεκτονικής δομής της Κεντρικής Μακεδονίας. PL: Πελαγονική ζώνη, AL: Υποζώνη Αλμωπίας, PA: Υποζώνη Πάικου, PE: Υποζώνη Παιονίας (οι AL, PA και PE συνιστούν τη ζώνη Αξιού). CR: Περιροδοπική ζώνη, SM: Σερβομακεδονική μάζα, RH: Μάζα Ροδόπης (Παυλίδης et al., 2010).

Περιοδοπική ζώνη

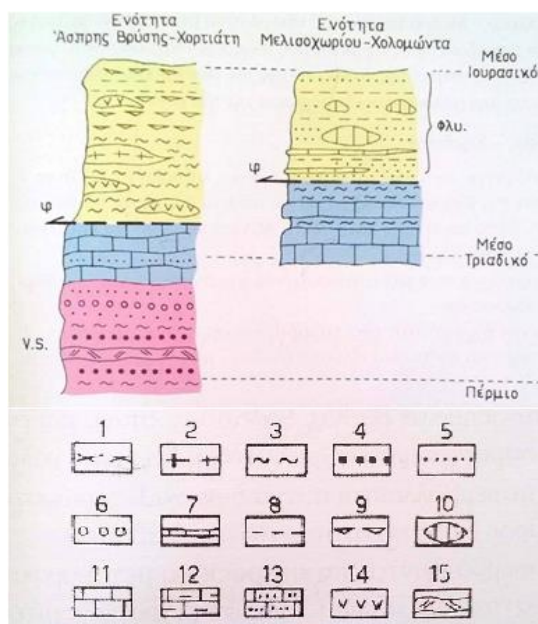
Η ζώνη αυτή ανήκει στις Εσωτερικές Ελληνίδες οροσειρές και εκτείνεται επίσης με την ίδια διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ. Ανατολικά αυτής βρίσκεται η Σερβομακεδονική μάζα και δυτικά η ζώνη Αξιού (Σχ. 2.1). Η ζώνη αυτή από γεωτεκτονική άποψη, αποτελούσε το ηπειρωτικό περιθώριο της Σερβομακεδονικής μάζας προς την ωκεάνια περιοχή της ζώνης Αξιού. Από τις τρεις ενότητες από τις οποίες αποτελείται, στην περιοχή εμφανίζονται μόνο οι δύο:

Ενότητα Άσπρης Βρύσης-Χορτιάτη

Τα ανώτερα τμήματά της χαρακτηρίζονται από ιζήματα βαθιάς θάλασσας (κερατόλιθοι, αργιλοί σχιστόλιθοι, γραφικοί φυλλίτες, μάργες και χαλαζιακοί σχιστόλιθοι) στα οποία παρεμβάλλονται οφειολιθικά σώματα (γάββροι, διορίτες, σερπεντινίτες, διαβάσεις) (Σχ. 2.2). Τμήμα της ενότητας αυτής είναι και η Μαγματική σειρά Χορτιάτη με ηλικία Μ.-Α. Ιουρασικό (160-170 My), αποτελούμενη από διορίτες, γρανοδιορίτες και γρανίτες μεταμορφωμένους στην πρασινοσχιστολιθική φάση (Κ. Κρητιδικό). Τα μεταμορφωμένα αυτά πετρώματα, αποτελούν σήμερα τους πράσινους επιγνεύσιους της Θεσσαλονίκης.

Ενότητα Μελισσοχωρίου-Χολομώντα

Τα κατώτερα τμήματά της χαρακτηρίζονται από μάρμαρα και ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους μέσα στα οποία υπάρχουν παρεμβολές από γραφικούς φυλλίτες και σερικιτικούς σχιστόλιθους. Οι υπερκείμενοι ορίζοντες μεταβαίνουν σε καθαρά φυλλιτική σύσταση, ενώ στα ανώτερα τμήματα διακρίνεται ο χαρακτηριστικός «Φλύσχος Σβούλας» (Κ.-Μ. Ιουρασικό), με τουρβιδιτικές εναλλαγές μετά-ιζημάτων (Σχ. 2.2).



Σχήμα 2.2 Λιθοστρωματογραφικές στήλες των ενότητων

Άσπρης Βρύσης-Χορτιάτη και Μελισσοχωρίου-Χολομώντα. 1. Κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο Σερβομακεδονικής, 2. πράσινοι γνεύσιοι Θεσσαλονίκης και άλλα πετρώματα της «Μαγματικής Σειράς Χορτιάτη», 3. σχιστόλιθοι και φυλλίτες, 4. πυροκλαστικά υλικά, 5. μεταψαμμίτες και χαλαζίτες, 6. μετά-κροκαλοπαγή, 7. ασβεστιτικοί σχιστόλιθοι, 8. αργιλοί σχιστόλιθοι και μάργες, 9. κερατόλιθοι, 10. ολισθόλιθοι Τριαδικών μαρμάρων, 11. ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι, μάρμαρα, 12. μαργαίκοι ασβεστόλιθοι, 13. ψαμμιτικοί ασβεστόλιθοι, 14. οφειολιθικά πετρώματα, 15. ηφαιστειακά υλικά, Φ: τεκτονική επαφή, V.S.: ηφαιστειοϊζηματογενής σειρά, Φλ: φλύσχος (Μουντράκης, 2010).

Τέλος, σε ορισμένες περιοχές, όπως στο νότιο τμήμα της λεκάνης του Ανθεμούντα και το Δήμο Θερμαϊκού, εμφανίζεται και η υποζώνη Παιονίας, τμήμα της ζώνης Αξιού, με ιζήματα βαθειάς θάλασσας και χαρακτηριστική λεπιοειδή τεκτονική. Στην περιοχή μελέτης έχουμε μόνο μια μικρή συμμετοχή από ασβεστόλιθους της ζώνης αυτής.

Το υπόβαθρο καλύπτεται από αποθέσεις ηλικίας Νεογενούς και Τεταρτογενούς. Από τις Νεογενείς αποθέσεις οι χαρακτηριστικότερες είναι η Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά και η σειρά των Ερυθρών Αργίλων, με ηλικία Ανώτερο Μειόκαινο-Κατώτερο Πλειόκαινο, ενώ οι Τεταρτογενείς αποθέσεις συνίστανται από Πλειστοκαινικές σειρές αναβαθμίδων, ποταμοχειμάρειες και λιμναίες αποθέσεις, παράκτιες αποθέσεις, τις ιστορικές αποθέσεις του αρχαιολογικού στρώματος, όπως επίσης και κώνους κορημάτων και πλευρικά ριπία. Στη συνέχεια δίνονται αναλυτικότερα οι λιθολογικοί σχηματισμοί που εμφανίζονται στην περιοχή μελέτης:

Υπόβαθρο

Από τη Σερβομακεδονική μάζα συναντάται η ενότητα Βερτίσκου, βόρεια των Δήμων Ευκαρπίας και Πεύκων και των κοινοτήτων Ασβεστοχωρίου και Εξοχής. Από την ενότητα Άσπρης Βρύσης-Χορτιάτη της Περιοδοπικής ζώνης, υπάρχει εμφάνιση σχιστολίθων που διατρέχονται από φλέβες χαλαζία, στις περιοχές Ευκαρπίας, Ασβεστοχωρίου και Εξοχής. Νοτιότερα αυτών συναντώνται ασβεστόλιθοι με υπολείμματα τρηματοφόρων, ενώ βόρεια του πολεοδομικού συγκροτήματος Θεσσαλονίκης εμφανίζεται η Ομάδα της Σβούλας της ενότητας Μελισσοχωρίου-Χολομώντα.

Ιζηματογενείς σχηματισμοί

Η Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά (Α. Μειόκαινο-Κ. Πλειστόκαινο) χαρακτηρίζεται από ψαμμίτες σε μορφή στρωμάτων και φακών και διασταυρούμενη στρώση. Επιπλέον, διακρίνεται η παρουσία μικροκροκαλοπαγών, όπως και αμμωδών στρώσεων με ηφαιστειακά υλικά που έχουν προέλευση από τα ηφαιστειακά κέντρα του Βόρα της Αλμωπίας (Σαπουντζής, 1969, Συρίδης, 1990) (Σχ. 2.3).



Σχήμα 2.3 Λεπτομέρεια στρώσεων της Ψαμμιτομαργαϊκής σειράς από πυρήνες γεωτρήσεων. Στρώση χαρακτηριστικής τεφροϊδούς ηφαιστειακής χονδρόκοκκης άμμου από γεωτρήσεις στην Άνω Περαία (Ζερμπούλου, 2010).

Η σειρά αυτή χαρακτηρίζει ένα ποταμολιμναίο και αβαθές περιβάλλον απόθεσης. Εμφανίζεται βόρεια του πολεοδομικού συγκροτήματος, αλλά και εντός αυτού στις περιοχές Νεάπολης, Συκεών, Καλαμαριάς, Τούμπας, Χαριλάου, Δελφών μέχρι τη Θέρμη και στον Δήμο Θερμαϊκού. Μέσω των γεωτρήσεων που έγιναν κατά την κατασκευή του Μετρό Θεσσαλονίκης, προέκυψαν στοιχεία για την παρουσία ενός στρώματος αργιλικής σύστασης, πρασινότεφρου χρώματος στην περιοχή της Νέας Ελβετίας, το οποίο επιπλέον χαρακτηρίζεται από την παρουσία θαλάσσιων απολιθωμάτων και στρώσεων ξυλινών. Συνεπώς, στην Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά διακρίνονται δύο σχηματισμοί (Συρίδης, 1990), ο Σχηματισμός Γωνιάς, στον οποίο περιέχονται τα ηφαιστειακά υλικά που αναφέρθηκαν προηγουμένως και ο Σχηματισμός Τριλόφου, με υλικά της ίδιας σύστασης όπως αυτά του αργιλικού στρώματος στην περιοχή Νέας Ελβετίας. Η Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά υπέρκειται της σειράς των Ερυθρών Αργίλων με μια σύμφωνη στρωματογραφική επαφή (Σχ. 2.4).



Σχήμα 2.4 Πυρήνες από γεώτρηση του Μετρό Θεσσαλονίκης στην περιοχή του Παπάφειου όπου φαίνεται η ομαλή μετάβαση από την σειρά των Ερυθρών Αργίλων στην Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά (σύμφωνη στρωματογραφική επαφή)(Ζερβοπούλου, 2010).

Η σειρά των Ερυθρών Αργίλων (Α. Μειόκαινο-Κ. Πλειστόκαινο) αποτελείται από καστανέρυθρες αργίλους στις οποίες παρεμβάλλονται φακοί κροκαλών και άμμων μέχρι και φακοί κροκαλοπαγών και λατυποπαγών (Σχ. 2.5). Χαρακτηρίζει ένα έντονα οξειδωτικό, χερσαίο περιβάλλον απόθεσης. Συναντάται βόρεια του πολεοδομικού συγκροτήματος αλλά και εντός αυτού, κάτω από το αρχαιολογικό στρώμα, στην περιοχή του Κέντρου, στην Άνω Τούμπα, Τριανδρία και Πυλαία και συνεχίζει ανατολικά μέχρι τις περιοχές Πανοράματος και Θέρμης. Εμφανίζει μαζώδη δομή και αποτελεί τον Σχηματισμό Τρίγλιας (Συρίδης, 1990) (Σχ. 2.6).

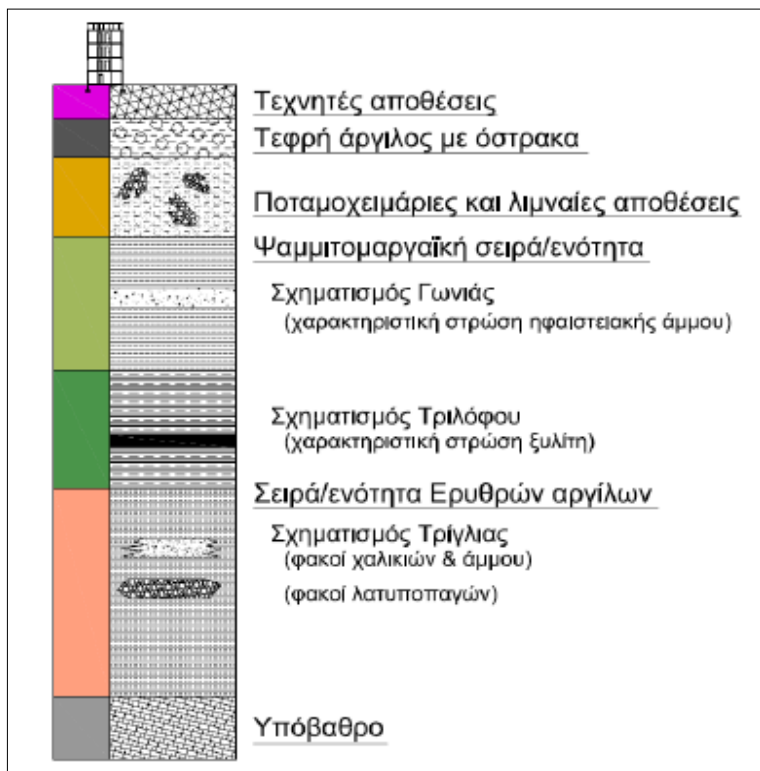


Σχήμα 2.5 Τεχνητό πρανές στην περιοχή της περιφερειακής οδού Θεσσαλονίκης, όπου φαίνεται η διαστρωμάτωση της σειράς των Ερυθρών Αργίλων και οι εναλλαγές αργίλων και φακοειδών οριζόντων με χάλυκες και λατύπες (Ζερβοπούλου, 2010).

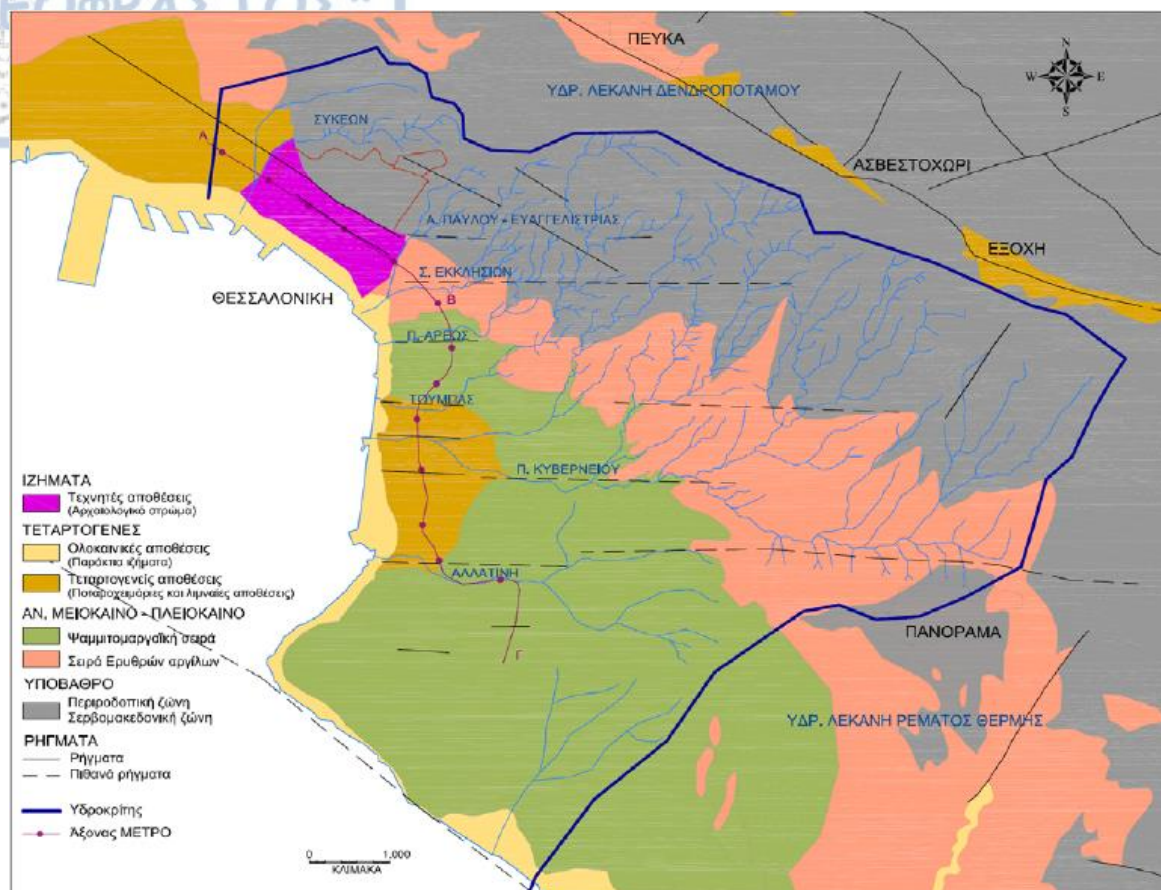
Στα ιζήματα του Τεταρτογενούς συγκαταλέγονται τα ιζήματα Πλειστοκαινικής ηλικίας (κατώτερο και το ανώτερο σύστημα αναβαθμίδων) και τα ριπίδια προσχώσεων γενικότερης ηλικίας Τεταρτογενούς, ενώ συγκεκριμένα τα ιζήματα με Ολοκαινική ηλικία συνίστανται από τις αποθέσεις στις κοίτες ποταμών και χειμάρρων, τις προσχώσεις των κοιλάδων, τις Ολοκαινικές αποθέσεις, τις παράκτιες άμμους και τις λιμναίες και ποταμοχειμάρριες προσχώσεις.

Τμήμα των Ολοκαινικών αποθέσεων αποτελούν και οι **ιστορικές αποθέσεις του αρχαιολογικού στρώματος** που εντοπίζονται κυρίως εντός των Βυζαντινών Τειχών, στην περιοχή του Κέντρου, νότια της Εγνατίας οδού. Οι ιστορικές αποθέσεις είναι υλικά προερχόμενα από καταστροφές οικιστικών τμημάτων κατά τη Ρωμαϊκή και Βυζαντινή περίοδο αλλά και την περίοδο της Τουρκοκρατίας. Τέλος, στην περιοχή της Νέας Παραλίας εμφανίζεται ένας ορίζοντας χαλαρών Τεταρτογενών ιζημάτων (black clay), τεφρού χρώματος, λεπτομερής και με παρουσία οργανικών.

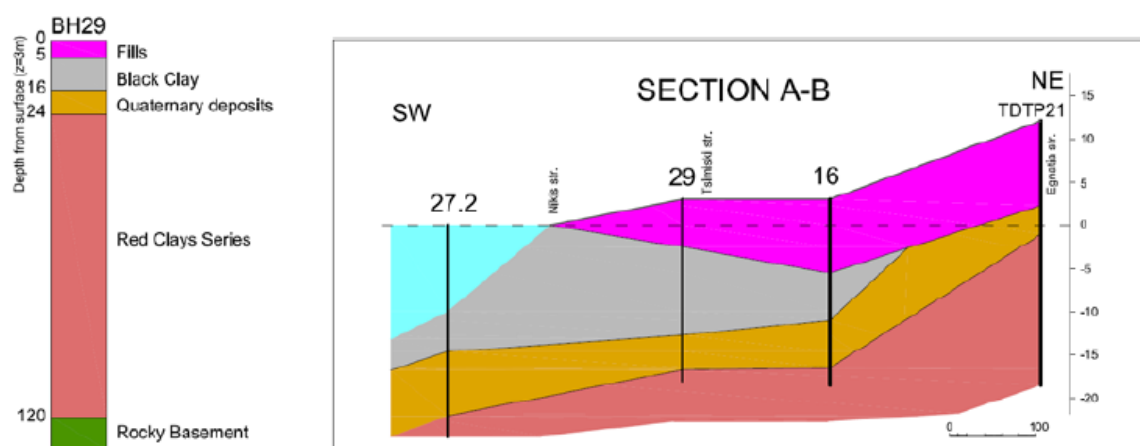
Στα παρακάτω σχήματα (Σχ. 2.6, Σχ. 2.7 και Σχ. 2.8) , δίνονται συνοπτικός γεωλογικός χάρτης και γεωλογικές τομές του πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης, ώστε να γίνει καλύτερη κατανόηση των σχηματισμών που αναφέρθηκαν και της διάταξής τους στο χώρο.



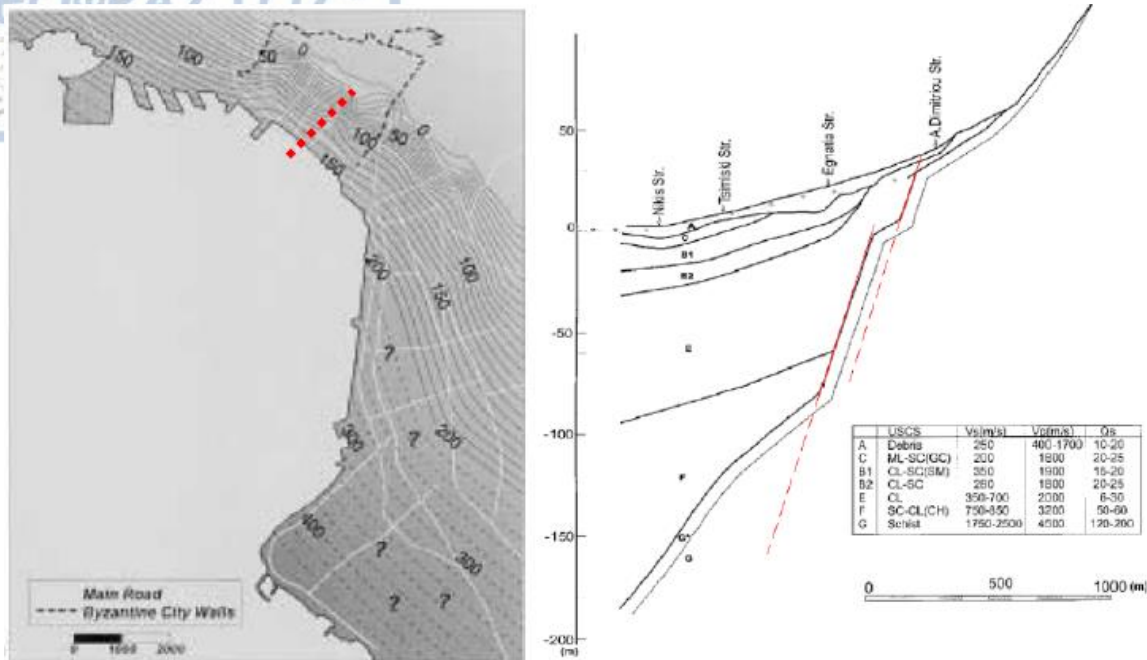
Σχήμα 2.6 Σκαρίφημα στρωματογραφικής στήλης του πολεοδομικού συγκροτήματος Θεσσαλονίκης και σύγκριση των σχηματισμών των σειρών Ερυθρών Αργίλων και Ψαμμιτομαργαϊκής με τους σχηματισμούς κατά Συρίδη 1990 (Ζερβοπούλου, 2010).



Σχήμα 2.7 Συνοπτικός γεωλογικός χάρτης της υδρολογικής λεκάνης της Θεσσαλονίκης, όπου διακρίνονται το υπόβαθρο και οι σχηματισμοί που το καλύπτουν (Ζερβοπούλου, 2010).



Σχήμα 2.8 Σχηματική γεωλογική τομή της πόλης της Θεσσαλονίκης και στρωματογραφική στήλη των σχηματισμών που βρίσκονται στο πολεοδομικό συγκρότημα (Zervoulou & Pavlides, 2016). Παρατηρούμε ότι το υπόβαθρο σε αυτή την περιοχή βρίσκεται σε βάθος μεγαλύτερο των 20 m.



Σχήμα 2.9 Χάρτης υποβάθρου πολεοδομικού συγκροτήματος Θεσσαλονίκης και γεωτεχνική τομή κάθετη στην πόλη. Φαίνεται η μεγάλη διακύμανση του βάθους του υποβάθρου (Αποστολίδης, 2002, Anastasiadis et al. 2001). Με κόκκινο χρώμα διακρίνονται τα ρήγματα της οδού Αγ. Δημητρίου και το ρήγμα της οδού Εγνατίας, το οποίο δεν είναι διακριτό στην επιφάνεια.

Γίνεται αντιληπτό (Σχ. 2.9) ότι το βάθος στο οποίο εντοπίζεται το υπόβαθρο παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις, από την επιφάνεια του εδάφους βορειότερα της οδού Αγ. Δημητρίου, έως και βαθύτερα από 500 m στην περιοχή της Καλαμαριάς. Η διακύμανση αυτή του βάθους του υποβάθρου, οφείλεται στις παλαιότερες ρηξιγενείς δομές που μπορούν να εντοπιστούν μέσα στην πόλη (ρήγματα των οδών Αγ. Δημητρίου και Εγνατίας) και έχουν δώσει σε αυτή, την αμφιθεατρική μορφή της. Τα ρήγματα αυτά αναφέρονται αναλυτικότερα στο αντίστοιχο κεφάλαιο.

3. ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

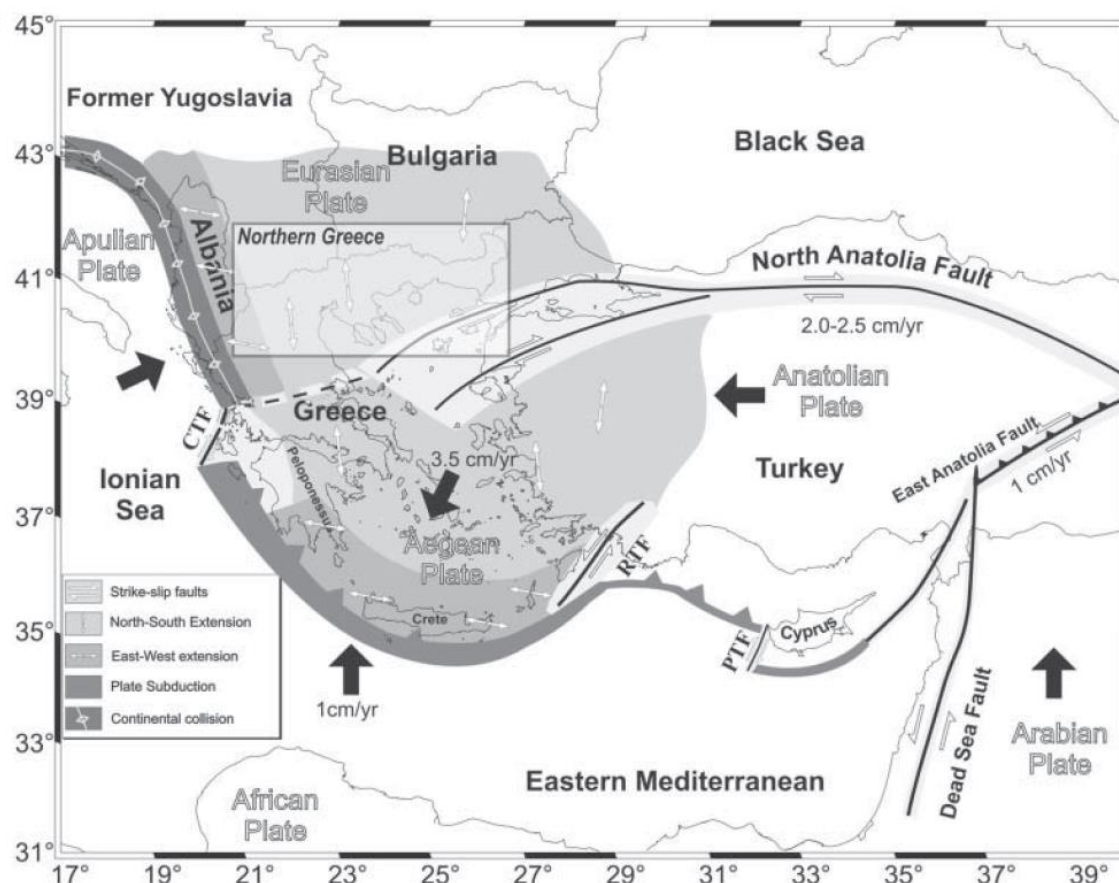
Η νεοτεκτονική περίοδος για τον ελληνικό χώρο τοποθετείται χρονικά περίπου στο Μέσο Μειόκαινο (~10 My) αμέσως μετά την λήξη της Αλπικής περιόδου. Η νεοτεκτονική αυτή περίοδος συνδέεται με μια σειρά νέων τεκτονικών γεγονότων τα οποία διαμόρφωσαν τον ελληνικό χερσαίο και θαλάσσιο χώρο και έδωσαν τη σημερινή του μορφή.

Οι κυριότερες παραμορφώσεις που συμβαίνουν σήμερα στον ηπειρωτικό ελληνικό χώρο αλλά και στο χώρο του Αιγαίου και τον έχουν διαμορφώσει έως σήμερα αλλά και συνεχίζουν να

τον διαμορφώνουν, προέρχονται από τρεις σημαντικές γεωτεκτονικές διεργασίες (McKenzie, 1978, Taymaz et al., 1991, Papazachos, 1999) (Σχ. 3.1):

- Τη σημερινή ζώνη υποβύθισης της Αφρικανικής πλάκας κάτω από την μικροπλάκα του Αιγαίου (Ελληνική ζώνη υποβύθισης) στα νότια της Κρήτης και της Πελοποννήσου, με αξιοσημείωτη εφελκυστική παραμόρφωση με διεύθυνση κάθετη στη ζώνη υποβύθισης (B-N),
- Την ηπειρωτική σύγκρουση, της Αδριατικής μικροπλάκας με την πλάκα της Ευρασίας στα δυτικά, ένα καθεστώς που ξεκίνησε κατά τη διάρκεια της αλπικής περιόδου με τη σύγκρουση μικροπλακών που προηγήθηκαν της Αδριατικής και συνεχίζεται έως σήμερα και
- Την αριστερόστροφη περιστροφή της μικροπλάκας της βόρειας Ανατολίας προς τον χώρο του Αιγαίου.

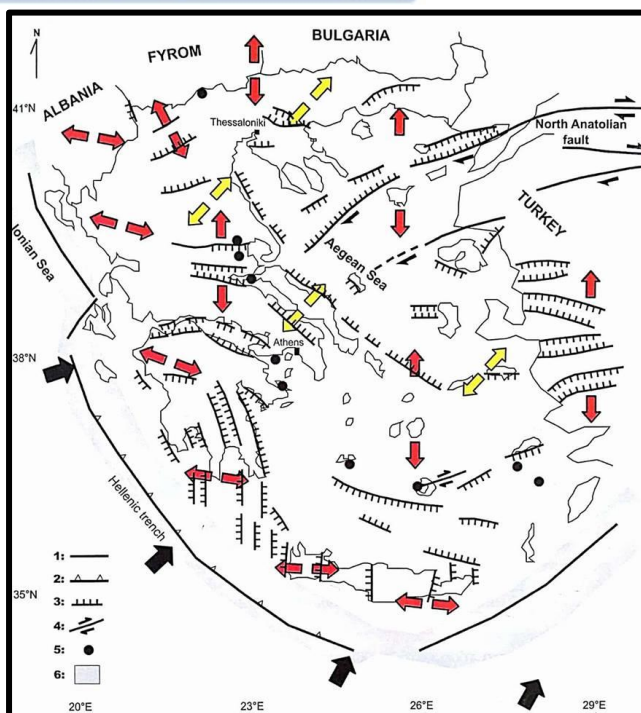
Οι παραπάνω διεργασίες και κυρίως η δράση του έντονου εφελκυστικού πεδίου, το οποίο εξακολουθεί να υφίσταται από το Μειόκαινο μέχρι σήμερα, έχουν δημιουργήσει στο χώρο των ζωνών Σερβομακεδονικής, Περιοδοπικής και Αξιού, μεγάλα τεκτονικά βυθίσματα και λεκάνες (Μυγδονίας, Ζαγκλιβερίου, Ανθεμούντα κ.α.), από το σχηματισμό κανονικών ρηγμάτων τα οποία είτε βρίσκονται στα περιθώρια και οριοθετούν τις λεκάνες αυτές, ή βρίσκονται στο κέντρο τους. Τα κανονικά αυτά ρήγματα χαρακτηρίζονται συνήθως από μια μικρή συνιστώσα οριζόντιας μετατόπισης, με αποτέλεσμα να θεωρούνται πλαγιοκανονικά. Εκτός των νεοσχηματισθέντων ρηγμάτων, έχουμε και την επαναδραστηριοποίηση πολλών παλαιότερων τεκτονικών γραμμών, τόσο μέσα στα ιζήματα όσο και στα πετρώματα του υποβάθρου, οι οποίες και επαναλειτουργούν ως κανονικά ή πλαγιοκανονικά ρήγματα (Μουντράκης et al. 1995, 1993).



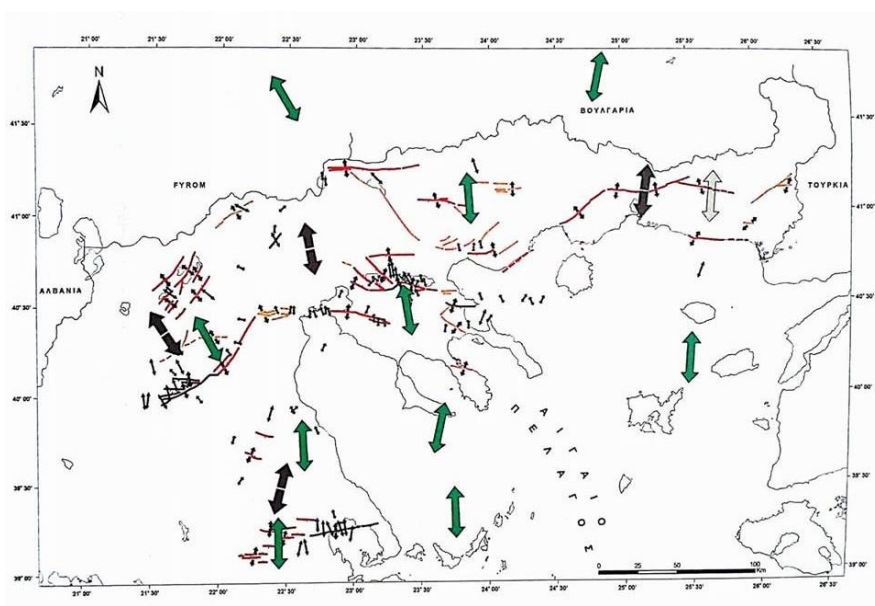
Σχήμα 3.1 Σχηματικός χάρτης που απεικονίζει τη θέση της βόρειας Ελλάδας και κατά συνέπεια της περιοχής μελέτης, σε σχέση με το ευρύτερο γεωτεκτονικό καθεστώς της ανατολικής Μεσογείου (τροποποιημένο από Papazachos & Papazachou, 2003).

Η διεύθυνση των εφελκυστικών τάσεων με την πάροδο του χρόνου δεν παραμένει σταθερή, αλλά μεταβάλλεται από το Μειόκαινο έως σήμερα και κατά συνέπεια δημιουργούνται ρήγματα με διαφορετικές διευθύνσεις (παρατάξεις). Αρχικά, η διεύθυνση του εφελκυσμού κατά το Μειόκαινο ήταν ΔΒΔ-ΑΝΑ με αποτέλεσμα τη δημιουργία ρηγμάτων κανονικών, διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ, με αριστερόστροφη συνιστώσα. Στη συνέχεια οι εφελκυστικές τάσεις παίρνουν Α-Δ διεύθυνση σχηματίζοντας κανονικά ρήγματα παράταξης Β-Ν. Ο ρόλος των ρηγμάτων αυτών δεν είναι εξακριβωμένος αν και εμφανίζονται επανενεργοποιημένα ως οριζόντιας μετατόπισης (Pavlidis et al. 1998). Κατά το Πλειόκαινο-Κάτω Πλειστόκαινο δημιουργούνται κανονικά ρήγματα ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης, κάθετης στο τότε υφιστάμενο πεδίο των τάσεων (ΒΑ-ΝΔ). Τέλος, από το Μέσο Πλειστόκαινο έως σήμερα το εντατικό πεδίο είναι προσανατολισμένο στον άξονα Β-Ν, με μικρές αποκλίσεις στο διάστημα αυτό και τα ρήγματα που δημιουργούνται είναι ρήγματα Α-Δ. Στα παρακάτω σχήματα φαίνονται οι διευθύνσεις του εφελκυστικού πεδίου, με το παλαιότερο καθεστώς του Μειοκαίνου-Πλειοκαίνου αλλά και το νεότερο ενεργό. Γίνεται φανερό ότι για το

σύνολο του Ελληνικού χώρου, με εξαίρεση τις περιοχές πλησίον της ζώνης υποβύθισης, ο άξονας της μέγιστης έκτασης (σ_3) σήμερα, έχει διεύθυνση Β-Ν.



Σχήμα 3.2 Κύρια χαρακτηριστικά της ενεργού τεκτονικής του Ελληνικού τόξου και του ευρύτερου Αιγαίου χώρου. Τα κίτρινα βέλη δείχνουν τη διεύθυνση του εφελκυστικού πεδίου στο Ανώτερο Μειόκαινο-Πλειόκαινο και τα κόκκινα βέλη τη διεύθυνση του ενεργού εφελκυσμού. 1: Όρια λιθοσφαιρικών πλακών, 2: Ζώνη ανάστροφων ρηγμάτων, 3: Τα σπουδαιότερα κανονικά ρήγματα, 4: Ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης, 5: Ηφαίστεια Πλειο-Τεταρτογενούς, 6: Ζώνη συμπίεσης. Τα μαύρα βέλη δείχνουν τη διεύθυνση κίνησης της Αφρικανικής πλάκας και τη διεύθυνση των συμπίεστικών τάσεων (Mountrakis, 2005).



Σχήμα 3.3 Χάρτης με τα μεγάλα ενεργά ρήγματα του βόρειου ελληνικού χώρου και τις διευθύνσεις των εφελκυστικών τάσεων που υπολογίστηκαν από σεισμολογικά δεδομένα (πράσινα βέλη) και από τεκτονικές μετρήσεις (μαύρα βέλη) (Mountrakis et al., 2006).

Τα περισσότερα ρήγματα της περιοχής ανήκουν στο σύστημα ΒΔ-ΝΑ και ΒΑ-ΝΔ. Στο αρχικό στάδιο οι παραμορφώσεις γίνονταν σε προϋπάρχοντα ρήγματα ΒΔ-ΝΑ ή ΒΒΑ-ΝΝΔ διεύθυνσης, κανονικά ή οριζόντιας μετατόπισης. Στο δεύτερο στάδιο μια νέα ομάδα από ρήγματα κανονικά Α-Δ αναπτύχθηκαν πάνω από το προηγούμενο δίκτυο (Μουντράκης et al. 1993, Pavlides et al.

1988, Tranos & Mountrakis 1998, Hatzfeld et al. 1986, Mercier et al. 1989, Voidomatis P. et al. 1990, Goldsworthy et al. 2002, Tranos et al. 2003).

Όπως γίνεται φανερό, τα ενεργά ρήγματα τα οποία δύναται να δράσουν σήμερα είναι αυτά που έχουν διεύθυνση Α-Δ, είναι δηλαδή προσανατολισμένα κάθετα στο σύγχρονο πεδίο των τάσεων. Η παράταξη των ρηγμάτων αυτών παρουσιάζει γεωμετρικά μια διακύμανση από ΔΒΔ-ΑΝΑ έως ΑΒΑ-ΔΝΔ η οποία οφείλεται στο ότι αποτελούν συνενώσεις ή ενοποιήσεις προϋπαρχόντων ρηξιγενών γραμμών σε αυτές τις διευθύνσεις, που τείνουν να προσανατολιστούν εγκάρσια ως προς το σύγχρονο εντατικό πεδίο (Βαμβακάρης, 2004). Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι τα ρήγματα αυτά παρόλο που εμφανίζονται με γενική διεύθυνση Α-Δ, λειτουργούν ως πλαγιοκανονικά, με αριστερόστροφη ή δεξιόστροφη συνιστώσα. Σε οποιαδήποτε περίπτωση, είναι σύμφωνα με το σύγχρονο πεδίο τάσεων, δηλαδή εμφανίζουν την μέγιστη έκταση στον άξονα Β-Ν, παρουσιάζοντας όπως μεγάλη διακύμανση.

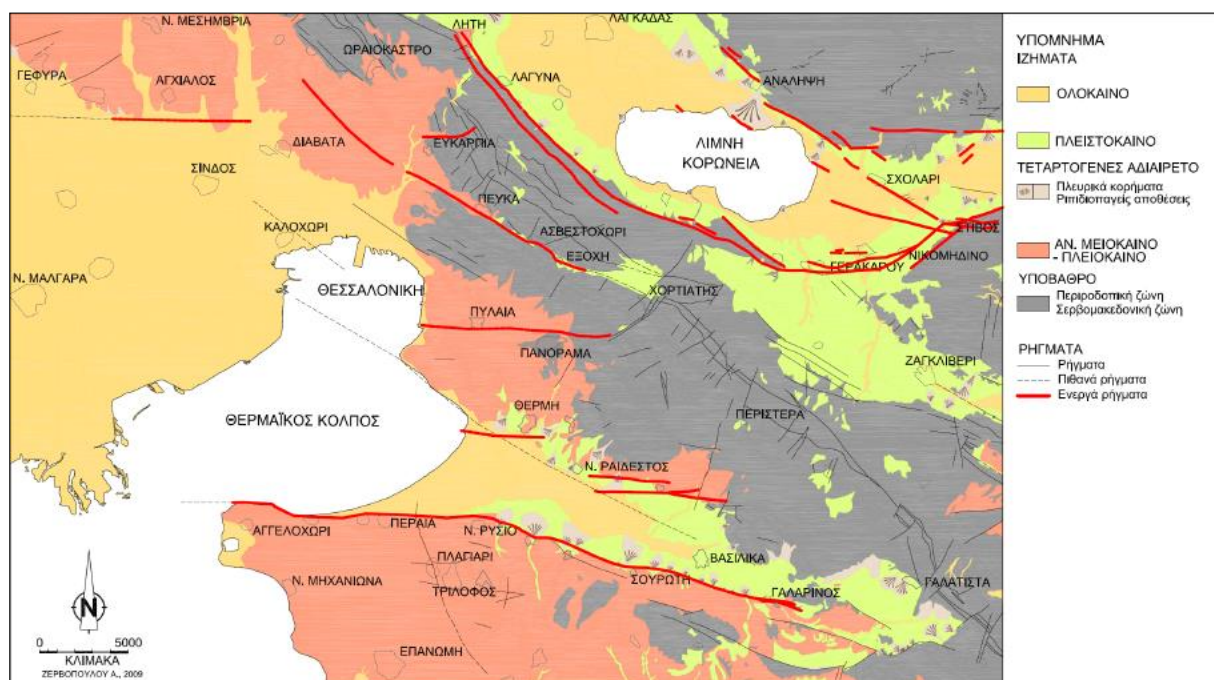
4. ΡΗΓΜΑΤΑ ΠΟΥ ΜΕΛΕΤΗΘΗΚΑΝ

Τα ρήγματα που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία, είναι ρήγματα τα οποία βρίσκονται εντός του πολεοδομικού συγκροτήματος Θεσσαλονίκης αλλά και κοντά σε αυτό, όπως επίσης και ρήγματα τα οποία βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή και θα μπορούσαν σε μια πιθανή ενεργοποίησή τους, να επηρεάσουν το πολεοδομικό συγκρότημα. Τα ρήγματα αυτά μπορούν να καταστούν επικίνδυνα είτε λόγω της κατευθυντικότητάς τους, είτε λόγω του μεγάλου μήκους του ίχνους τους στην επιφάνεια, συνάρτηση του οποίου είναι το μέγεθος σεισμού που μπορεί να δώσει το σεισμικό ρήγμα. Άλλα φαινόμενα που μπορούν να προκληθούν εξαιτίας των ρηγμάτων, είναι καθιζήσεις και ρευστοποιήσεις εδαφών, που θα μπορούσαν να προκαλέσουν σημαντικές καταστροφές σε ένα δομημένο και πυκνοκατοικημένο περιβάλλον και τέλος, ρωγμές ασεισμικής ολίσθησης όπως αυτές που παρατηρήθηκαν στην περιοχή της Περαιάς το χειμώνα του 2005.

Τα ρήγματα που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία απεικονίζονται στα Σχήματα 4.1 και 4.2 και είναι τα εξής:

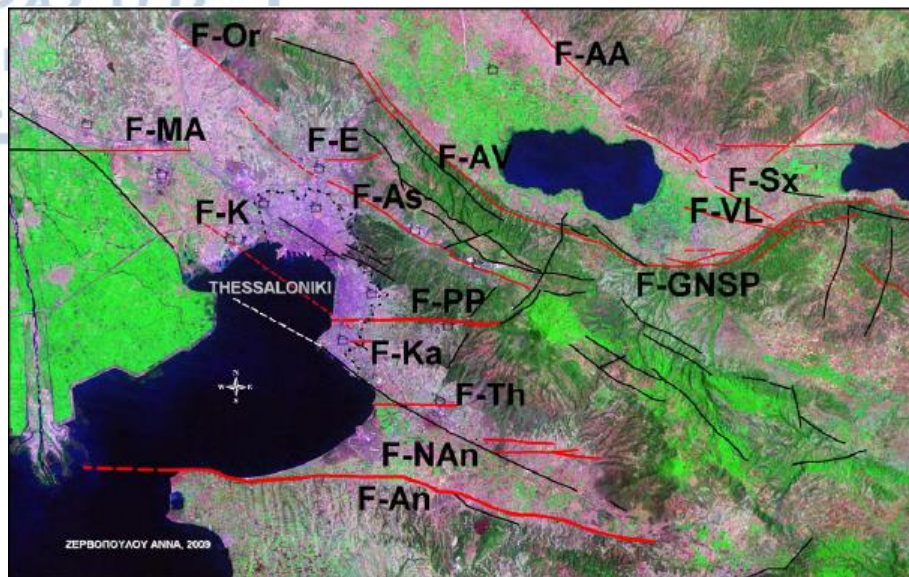
- i. Ανθεμόντα
- ii. Γερακαρούς-Νικομηδινού-Στίβου-Περιστερώνα
- iii. Πυλαίας-Πανοράματος
- iv. Αγχιάλου-Ν. Μεσημβρίας
- v. Θέρμης-Αεροδρομίου

- vi. Βόρειου Ανθεμούντα
- vii. Ασβεστοχωρίου
- viii. Ευκαρπίας
- ix. Καλοχωρίου
- x. Αγ. Δημητρίου
- xi. Πεδίου Άρεως
- xii. Κυβερνείου
- xiii. Νέας Ελβετίας
- xiv. Καλαμαριάς



Σχήμα 4.1 Συνοπτικός γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης. Διακρίνονται τα σημαντικότερα από τα ρήγματα που μελετήθηκαν (Ζερβοπούλου, 2010).

Ορισμένα από τα ρήγματα που μελετήθηκαν, έχουν έντονο μορφοανάγλυφο και γίνονται εύκολα αντιληπτά από δορυφορικές εικόνες (π.χ. ρήγμα Ανθεμούντα). Τα περισσότερα όμως, δεν μπορούν να εντοπιστούν εύκολα μόνο με υπαίθρια παρατήρηση κυρίως εξαιτίας ανθρωπογενών αλλά και άλλων παραγόντων, αφού οι επιφάνειές τους έχουν καταστραφεί είτε λόγω της διάβρωσης από φυσικές συνθήκες, ή λόγω ομαλοποίησης των πρανών για δόμηση πάνω σε αυτά.



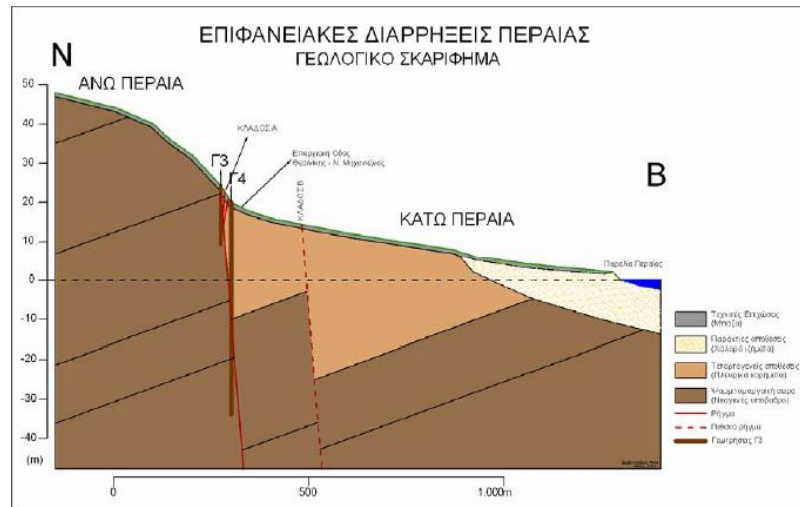
Σχήμα 4.2 Ρήγματα της περιοχής Θεσσαλονίκης. Στην παρούσα εργασία μελετώνται τα παρακάτω ρήγματα που απεικονίζονται στον χάρτη: F-Th Θέρμης, F-An Ανθεμούντα, F-PP Πυλαίας-Πανοράματος, F-As Ασβεστοχωρίου, F-E Ευκαρπίας, F-Nan Βόρειου Ανθεμούντα, F-K Καλοχωρίου, F-GNSP Γερακαρούς-Νικομηδινού-Στίβου-Περιστερώνα, F-Ka Καλαμαριάς (Ζερβοπούλου, 2010).

4.1. Η περίπτωση της Περαιάς

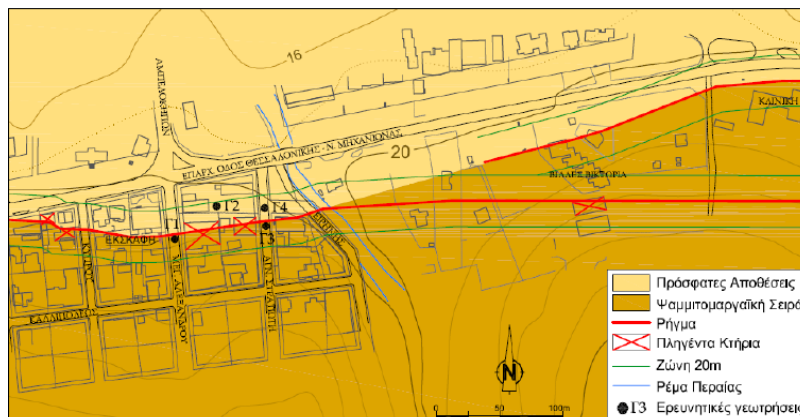
Κατά τα έτη 2005-2006 στην περιοχή του Δήμου Περαιάς και πιο συγκεκριμένα στην Άνω Περαιά, παρατηρήθηκαν σε κατοικίες, κτίρια αλλά και στην επιφάνεια του οδικού δικτύου, ρωγμές, οι οποίες εμφανίζονται μεταξύ της παραθαλάσσιας και της λοφώδους περιοχής. Το όριο αυτό, όπως διαπιστώθηκε αργότερα, αποτελεί επίσης όριο μεταξύ δύο διαφορετικών σχηματισμών, συγκεκριμένα μεταξύ της Ψαμμιτομαργαϊκής σειράς του Νεογενούς και των Τεταρτογενών αποθέσεων (Σχ. 4.3). Το ίχνος των ρωγμών αυτών φαίνεται σε όλες τις περιπτώσεις να διασχίζει τα οικήματα, ενώ εκτείνεται σε μήκος ~1 km (Σχ. 4.4). Οι μεγαλύτερες μετατοπίσεις εντοπίζονται στις οδούς Μεγάλου Αλεξάνδρου και Αγνώστου Στρατιώτη, όπου στην τελευταία όπως και σε άλλες οδούς της περιοχής (Κύπρου, Μήδειας), ορισμένες κατοικίες κρίθηκαν επικίνδυνες για κατοίκηση ή και κατεδαφιστές (Σχ. 4.5, 4.6 και Σχ. 4.7).

Οι ρωγμές αυτές θεωρήθηκε πως προκλήθηκαν από ασεισμική ολίσθηση του ρήγματος του Ανθεμούντα κατά τη διάρκεια μιας ενεργοποίησής του και κατά συνέπεια συνδέονται με το ρήγμα αυτό, το ίχνος του οποίου διασχίζει την περιοχή της Περαιάς. Σύμφωνα με μια άλλη εκδοχή, οι ρωγμές οφείλονται στην υπεράντληση του υδροφορέα από τις υδρογεωτρήσεις που χρησιμοποιούνται για την υδροδότηση της Περαιάς. Στοιχεία από διάφορες μελέτες που

έγιναν στην περιοχή για τη διερεύνηση των ρωγμών (Zervoroulou et al., 2007), δείχνουν ότι πιθανότερο οι ρωγμές να οφείλονται σε συνδυασμό των δύο παραγόντων, ενεργοποίησης του ρήγματος του Ανθεμούντα και υπεράντλησης.



Σχήμα 4.3 Γεωλογική τομή του ρήγματος στην Περαιά με υπερυψωμένη κλίμακα x10 στον άξονα γ (Ζερβοπούλου, 2010).



Σχήμα 4.4 Χάρτης περιοχής Περαιάς με τις θέσεις των γεωτρήσεων που πραγματοποιήθηκαν για την ακριβή χαρτογράφηση του τμήματος του ρήγματος Ανθεμούντα εντός του οικισμού της Περαιάς (Ζερβοπούλου, 2010).



Σχήμα 4.5 Κτίριο στην οδού Αγνώστου Στρατιώτη, διακρίνονται οι ρωγμές στην τοιχοποιία (Ζερβοπούλου, 2010).



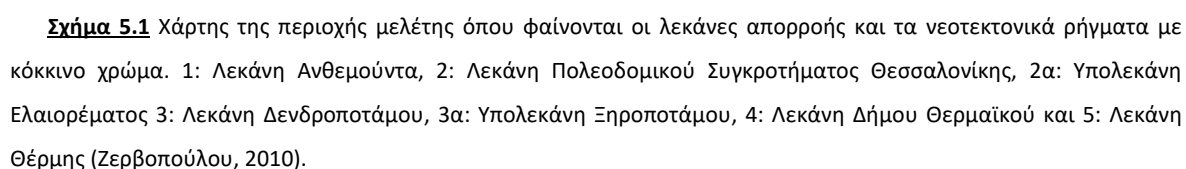
Σχήμα 4.6 Ρωγμές στο οδόστρωμα, το πεζοδρόμιο και σε περίφραξη στην οδό Μεγάλου Αλεξάνδρου (Ζερβοπούλου, 2010).



Σχήμα 4.7 Κτίριο στην οδό Κύπρου, με ρωγμή κατά μήκος του κτιρίου και ανύψωση του δαπέδου κατά 10 cm (Ζερβοπούλου, 2010).

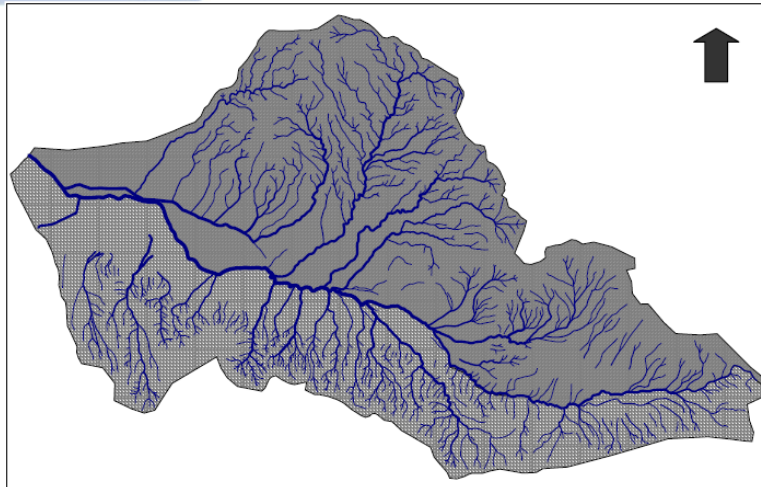
5. ΧΩΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΣΕ ΛΕΚΑΝΕΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

Για την ευκολότερη μελέτη των ρηγμάτων και την χρήση των μορφοτεκτονικών δεικτών, ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα για την ενεργότητά τους και να διερευνηθούν άλλα στοιχεία, η περιοχή έχει διαχωριστεί σε επιμέρους λεκάνες απορροής, με βάση το υδρογραφικό δίκτυο. Συγκεκριμένα, η περιοχή χωρίστηκε σε πέντε (5) λεκάνες. Αυτές είναι: Η λεκάνη του Ανθεμούντα (1), η λεκάνη των ρεμάτων του Πολεοδομικού συγκροτήματος Θεσσαλονίκης (2), που περιλαμβάνει και μια μικρότερη υπολεκάνη που ονομάζεται υπολεκάνη του Ελαιορέματος (2α), η λεκάνη του Δενδροποτάμου (3), η οποία επίσης περιλαμβάνει και την μικρότερη υπολεκάνη του Ξηροποτάμου (3α), η λεκάνη του Δήμου Θερμαϊκού (4) και τέλος η λεκάνη του ρέματος



6.1. Λεκάνη απορροής Ανθεμούντα

έκταση του βόρειου τμήματος. Οι παρατηρήσεις αυτές είναι πολύ σημαντικές για τον χαρακτηρισμό της περιοχής ως τεκτονικά ενεργής.



Σχήμα 6.1 Η λεκάνη απορροής του Ανθεμούντα, όπου διακρίνονται το βόρειο και το νότιο τμήμα της με την ασύμμετρη ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου (Ζερβοπούλου, 2010).

6.2. Λεκάνη απορροής Πολεοδομικού Συγκροτήματος Θεσσαλονίκης

Η λεκάνη αυτή έχει συνολική έκταση 66 km² και αποτελείται από υπολεκάνες με μικρότερη έκταση, που έχουν χωριστεί με βάση τα ρέματα ή τους χειμάρρους που τις διαπερνούν. Οι υπολεκάνες αυτές έχουν γενική διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ έως και Α-Δ.

6.2.1 Υπολεκάνες του πολεοδομικού συγκροτήματος Θεσσαλονίκης

Τα ρέματα και οι χειμάρροι που διασχίζουν το πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης, λόγω της πυκνής δόμησης, σε πολλές περιπτώσεις δεν είναι ορατά στην επιφάνεια. Παρόλα αυτά τα παρακάτω ρέματα, τα περισσότερα από τα οποία έχουν υπόγεια ροή, είναι γνωστό ότι διατρέχουν το πολεοδομικό συγκρότημα.

Αρχικά, δυτικά των οχυρωματικών Τειχών βρίσκεται το �έμα **Συκεών** (ή Παναγίας Φανερωμένης), με γενική διεύθυνση Α-Δ έως ΒΑ-ΝΔ που στην μεγαλύτερη έκτασή του ρέει πάνω στο γεωλογικό υπόβαθρο. Ανατολικά των οχυρωματικών Τειχών συναντάται το �έμα **Αγ. Παύλου-Ευαγγελίστριας** με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ. Στο ύψος της Διεθνούς Εκθέσεως ενώνεται με το

ρέμα Σαράντα Εκκλησιών, το οποίο αναφέρεται παρακάτω. Όπως και το ρέμα Συκεών, στο μεγαλύτερο μέρος του ρέει στο υπόβαθρο.

Εντός των Τειχών κατέστη δύσκολο να εντοπιστούν ρέματα λόγω της συνεχούς δόμησης ήδη από το 315 π.Χ. Παρόλα αυτά αναφέρεται το ρέμα στην οδό **Αντιγονιδών** το οποίο εντοπίστηκε από τις γεωτρήσεις του Μετρό Θεσσαλονίκης.

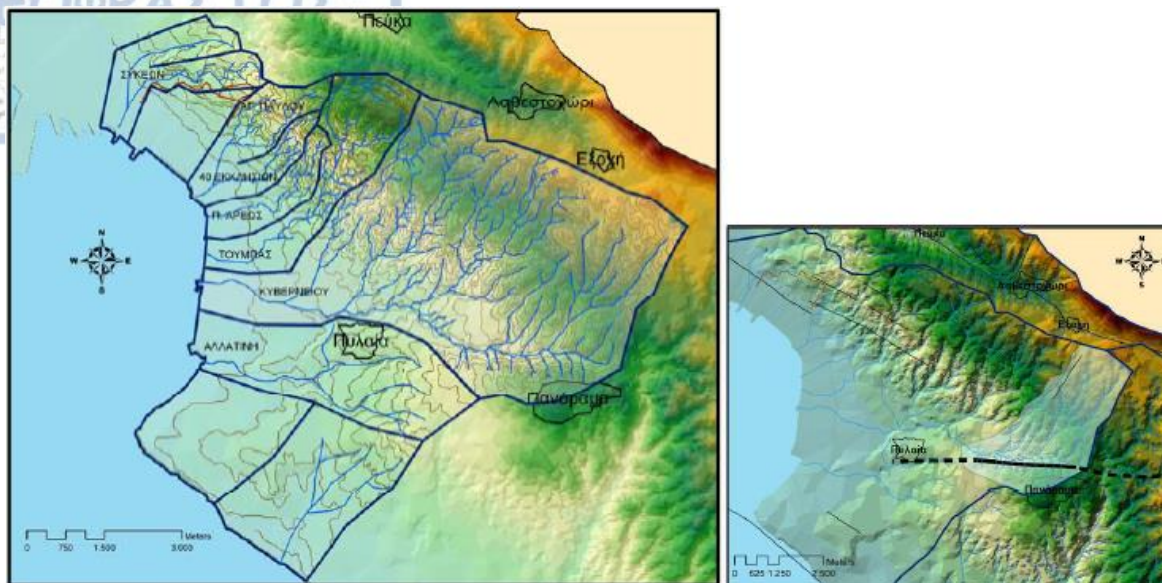
Ανατολικότερα των Τειχών και προς το νότο μέχρι και την περιοχή της Καλαμαριάς, αναφέρονται τα παρακάτω ρέματα που είναι παράλληλα μεταξύ τους με γενική διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ έως Α-Δ. Το ρέμα **Σαράντα Εκκλησιών** που τελικά ενώνεται με το ρέμα Αγ. Παύλου, το ρέμα **Πεδίου Άρεως** (ή Λύτρα), της **Τούμπας** (ή Κωνσταντινίδη), το ρέμα **Κυβερνείου** (ή Μεγάλο Ρέμα), που αποτελεί το μεγαλύτερο ρέμα του πολεοδομικού συγκροτήματος. Είναι 5^{ης} τάξης κατά Strahler με μορφή δενδριτική ή παράλληλων κλάδων. Μέρος του ρέματος αυτού είναι και το Ελαιόρεμα το οποίο διασχίζει την ομώνυμη υπολεκάνη Ελαιορέματος από την οποία περνά το ρήγμα Πυλαίας-Πανοράματος. Τέλος, το ρέμα **Αλλατίνη** (ή Ντεπώ), 3^{ης} τάξης κατά Strahler και μορφή παράλληλων κλάδων.

Συμπερασματικά τα ρέματα που συναντώνται στο πολεοδομικό συγκρότημα Θεσσαλονίκης αναφέρονται στον Πίνακα 6.1:

Πίνακας 6.1 Ρέματα του Πολεοδομικού Συγκροτήματος Θεσσαλονίκης.

1. Ρέμα Συκεών (Παναγίας Φανερωμένης)	5. Ρέμα Πεδίου Άρεως (Λύτρα)
2. Ρέμα Αγ. Παύλου-Ευαγγελίστριας	6. Ρέμα Τούμπας (Κωνσταντινίδη)
3. Ρέμα Αντιγονιδών	7. Ρέμα Κυβερνείου (Μεγάλο Ρέμα)
4. Ρέμα Σαράντα Εκκλησιών	8. Ρέμα Αλλατίνη (Ντεπώ)

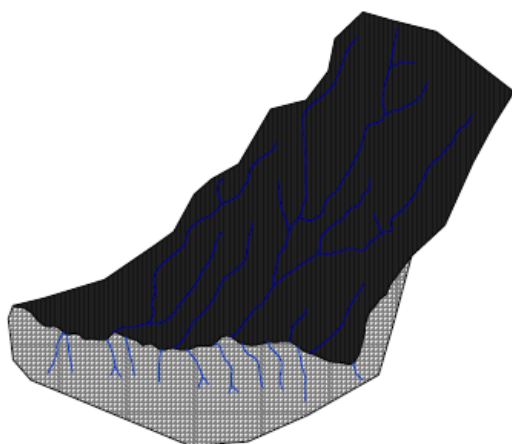
Με βάση τα ρέματα αυτά ορίζονται και οι λεκάνες του πολεοδομικού συγκροτήματος όπως φαίνονται στο παρακάτω σχήμα (Σχ. 6.2).



Σχήμα 6.2 Λεκάνη απορροής Πολεοδομικού Συγκροτήματος Θεσσαλονίκης και υπολεκάνη Ελαιορέματος, όπου φαίνεται το ρήγμα Πυλαίας-Πανοράματος (Ζερβοπούλου, 2010).

Υπολεκάνη του Ελαιορέματος

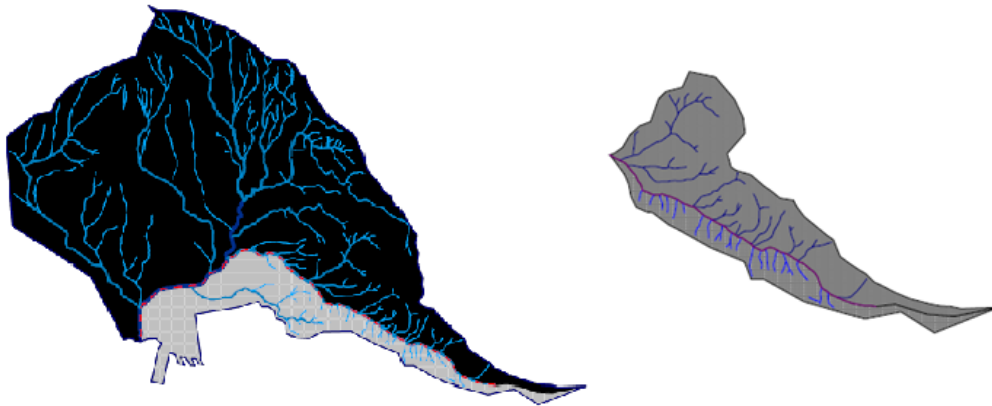
Περισσότερη έμφαση έχει δοθεί στην υπολεκάνη του Ελαιορέματος, λόγω του ότι κατά μήκος της διέρχεται το ρήγμα Πυλαίας-Πανοράματος. Πιο αναλυτικά, η υπολεκάνη είναι 3^{ης} τάξης και παρουσιάζει τα παρακάτω χαρακτηριστικά. Το βόρειο τμήμα της έχει πολύ μεγαλύτερη έκταση και μεγαλύτερα μήκη κλάδων υδρογραφικού δικτύου από ότι το νότιο. Επιπλέον, στο βόρειο τμήμα η ανάπτυξη του δικτύου είναι δενδριτική σε αντίθεση με το νότιο που εμφανίζει μορφή παράλληλων κλάδων.



Σχήμα 6.3 Η υπολεκάνη του Ελαιορέματος. Γίνεται εύκολα αντιληπτή η διαφορά στην έκταση και το μήκος των κλάδων του βόρειου τμήματος (μαύρο χρώμα) σε σχέση με το νότιο (γραμμοσκιασμένο) (Ζερβοπούλου, 2010).

6.3. Λεκάνη απορροής Δενδροποτάμου

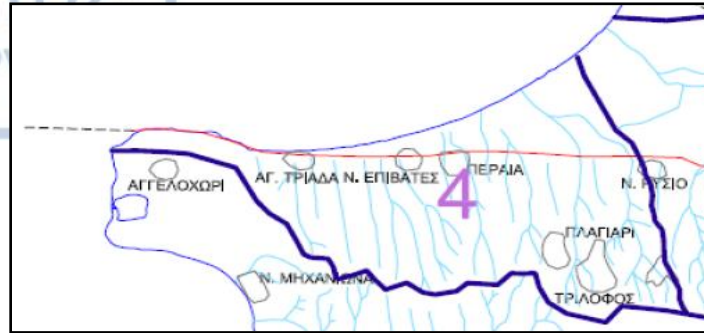
Έχει συνολική έκταση 175 km^2 . Αναπτύσσεται σε διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ στο ένα τμήμα της και Α-Δ στο άλλο. Στο εσωτερικό της λεκάνης αυτής διακρίνουμε και μια μικρότερη υπολεκάνη αυτήν του Ξηροποτάμου που παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον λόγω του ότι κατά μήκος της εμφανίζεται ίχνος του ρήγματος Ασβεστοχωρίου. Η υπολεκάνη του Ξηροποτάμου, είναι 4^{ης} τάξης κατά Strahler και όπως οι προηγούμενες, εμφανίζει επίσης μια άνιση ανάπτυξη με το μεγαλύτερης έκτασης βόρειο τμήμα να εμφανίζει δίκτυο δενδριτικής μορφής και το μικρότερης έκτασης νότιο, υδρογραφικό δίκτυο με μορφή παράλληλη.



Σχήμα 6.4 Λεκάνη απορροής Δενδροποτάμου (αριστερά) και υπολεκάνη του Ξηροποτάμου (δεξιά) (Ζερβοπούλου, 2010).

6.4. Λεκάνη απορροής Δήμου Θερμαϊκού

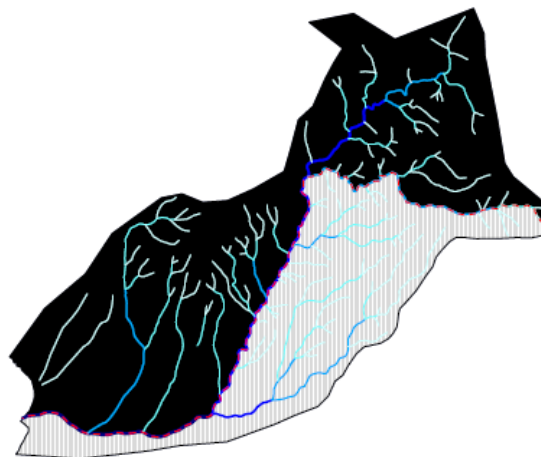
Έχει συνολική έκταση $54,5 \text{ km}^2$ και χωρίζεται επίσης σε μικρότερες υπολεκάνες με βάση τα ρέματα και τους χειμάρρους στην περιοχή από το Αγγελοχώρι μέχρι το Ν. Ρύσιο. Αυτές οι μικρότερες υπολεκάνες αναπτύσσονται σε μια διεύθυνση Β-Ν, με τους χειμάρρους να εμφανίζονται παράλληλοι μεταξύ τους και τους κλάδους του υδρογραφικού δικτύου να κυμαίνονται από 1^{ης} τάξης στην περιοχή του Αγγελοχωρίου έως και 4^{ης} στην περιοχή του Ν. Ρυσίου.



Σχήμα 6.5 Λεκάνη απορροής Δήμου Θεσσαλονίκης. Το ίχνος ορισμένων από τους κλάδους 1^{ης} τάξης φαίνεται να χάνεται καθώς προσεγγίζει το ίχνος του ρήγματος (Ζερβοπούλου, 2010).

6.5. Λεκάνη απορροής ρέματος Θέρμης

Η λεκάνη αυτή έχει έκταση 58,3 km² και γενική διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ αν και κατά μήκος του κύριου ρέματος εμφανίζεται κατά τόπους αλλαγή της διεύθυνσης ροής του από ΒΑ-ΝΔ σε Α-Δ. Αυτή η αλλαγή διεύθυνσης παρατηρείται βορειότερα, αλλά κυρίως στα νότια της λεκάνης, στην έξοδο του ρέματος προς τον Θεσσαλικό κόλπο, περιοχή από την οποία διέρχεται και το ίχνος του ρήγματος της Θέρμης.



Σχήμα 6.6 Λεκάνη απορροής του ρέματος της Θέρμης. Με κόκκινη διακεκομμένη γραμμή παρουσιάζεται το κύριο ρέμα της λεκάνης. Γίνεται αντιληπτή η στροφή του κύριου ρέματος από ΒΑ-ΝΔ προς Α-Δ διεύθυνση (Ζερβοπούλου, 2010).

7. ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΜΟΡΦΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

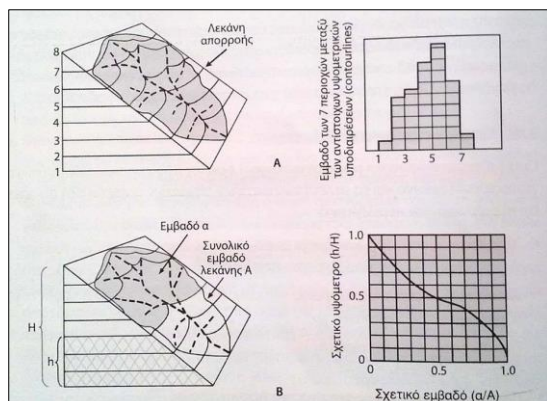
7.1. Μορφοτεκτονικοί δείκτες

Οι μορφοτεκτονικοί δείκτες αποτελούν ποσοτικές μετρήσεις της γεωμορφολογίας των περιοχών και χρησιμοποιούνται για να μελετηθούν και να συγκριθούν μεταξύ τους οι παράμετροι που χαρακτηρίζουν μια περιοχή όπως π.χ. η ενεργότητα (Keller & Pinter, 2002). Οι κυριότεροι μορφοτεκτονικοί δείκτες που χρησιμοποιούνται στη νεοτεκτονική έρευνα για την μελέτη των ενεργών ρηγμάτων, χρησιμοποιήθηκαν και στην παρούσα εργασία για τα υπό μελέτη ρήγματα και αναλύονται παρακάτω.

7.1.1. Υψομετρική καμπύλη και υψομετρικό ολοκλήρωμα (Hypsometric Curve and Hypsometric Integral, Strahler A.N. 1952, Παυλίδης, 2016)

Υψομετρική καμπύλη

Η καμπύλη αυτή εκφράζει την κατανομή των υψομέτρων σε μια περιοχή. Δημιουργείται με τον υπολογισμό των λόγων υψομέτρου h/H και εμβαδού a/A . Συγκεκριμένα, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 7.1, μια λεκάνη απορροής χωρίζεται σε 7 ίσα μέρη σε σχέση με το υψόμετρο h (όπου H η υψομετρική διαφορά). Το ολικό εμβαδό είναι το άθροισμα των επιμέρους τμημάτων της λεκάνης (A), ενώ το a είναι τα εμβαδό της λεκάνης που βρίσκεται πάνω από μια γραμμή υψομέτρου (h).



Σχήμα 7.1 Υψομετρική καμπύλη (τροποποιημένο από Keller & Pinter, 1996). Η καμπύλη είναι ανεξάρτητη από το μέγεθος της λεκάνης, το ανάγλυφο και την κλίμακα της χαρτογράφησης.

Το ολοκλήρωμα καθορίζει το σχήμα μιας λεκάνης απορροής. Υπολογίζεται είτε ως μαθηματική έκφραση, ή χρησιμοποιώντας τον παρακάτω τύπο:

$$\frac{\text{μέσο υψόμετρο} - \text{ελάχιστο υψόμετρο}}{\text{μέγιστο υψόμετρο} - \text{ελάχιστο υψόμετρο}}$$

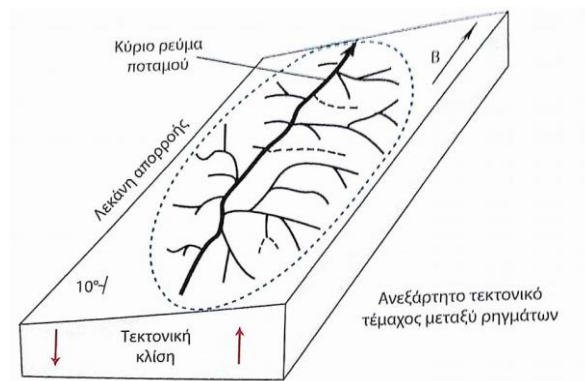
Όταν μια λεκάνη βρίσκεται στο στάδιο της τοπογραφικής νεότητας, τότε οι υψηλές τιμές του ολοκληρώματος δίνουν τοπογραφία υψηλή σε σχέση με τη μέση τιμή υψομέτρου μιας περιοχής. Τα στάδια ωριμότητας και γήρατος αντιπροσωπεύονται από μέσες έως και χαμηλές τιμές αντίστοιχα, που σχετίζονται με περισσότερο ομαλές περιοχές.

7.1.2. Ασυμμετρία λεκάνης απορροής (AF) (Drainage Basin Asymmetry, Hare & Gardner, 1985, Keller & Pinter, 2002, Παυλίδης, 2016)

Ο παράγοντας ασυμμετρίας (Asymmetry Factor AF) δείχνει την τεκτονική περιστροφή ή κλίση μιας λεκάνης απορροής (Σχ. 7.2) και υπολογίζεται από τον τύπο:

$$AF = 100(Ar/At)$$

Όπου: Ar , το εμβαδό της υπολεκάνης δεξιά (κοιτάζοντας προς τα κατάντη) του κύριου ποταμού και At , το ολικό εμβαδό της λεκάνης.



Σχήμα 7.2 Ασυμμετρία λεκάνης και κλίση τεκτονικού τεμάχους (τροποποιημένο από Keller & Pinter, 1996).

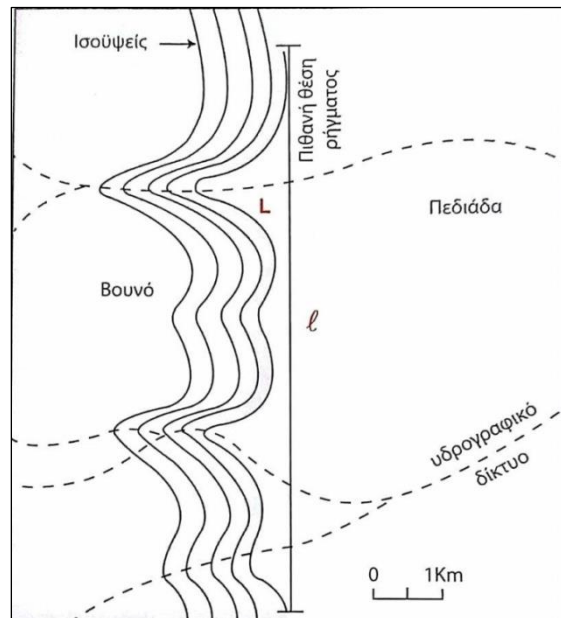
Όταν ισχύει ότι $AF = 50$, τότε το ποτάμιο σύστημα δημιουργείται και παραμένει στην ίδια θέση, όταν όμως οι τιμές του δείκτη είναι μεγαλύτερες από 50, τότε παρουσιάζεται περιστροφή προς τα αριστερά του κύριου ποταμού. Μπορούμε να εφαρμόσουμε τη μέθοδο αυτή μόνο με

την προϋπόθεση ότι οι λιθολογικοί παράγοντες της λεκάνης δεν μεταβάλλονται, αλλά μόνο η τεκτονική.

7.1.3. Δαντέλωση στους πρόποδες των βουνών (S_{mf}) (Mountain Front Sinuosity, Keller & Pinter, 1996, Παυλίδης, 2016)

Ο δείκτης αυτός είναι χαρακτηριστικός της ισορροπίας ανάμεσα στις δυνάμεις διάβρωσης και τις τεκτονικές δυνάμεις. Η δαντέλωση εκφράζεται με τη σχέση: $S = \frac{L}{l}$.

Όπου: L , το μήκος, ακολουθώντας τους πρόποδες του βουνού για συγκεκριμένες ισοϋψείς και l , το μήκος της ευθείας γραμμής στους πρόποδες (Σχ. 7.3).



Σχήμα 7.3 Δαντέλωση στους πρόποδες βουνών (τροποποιημένο από Keller & Pinter, 1996).

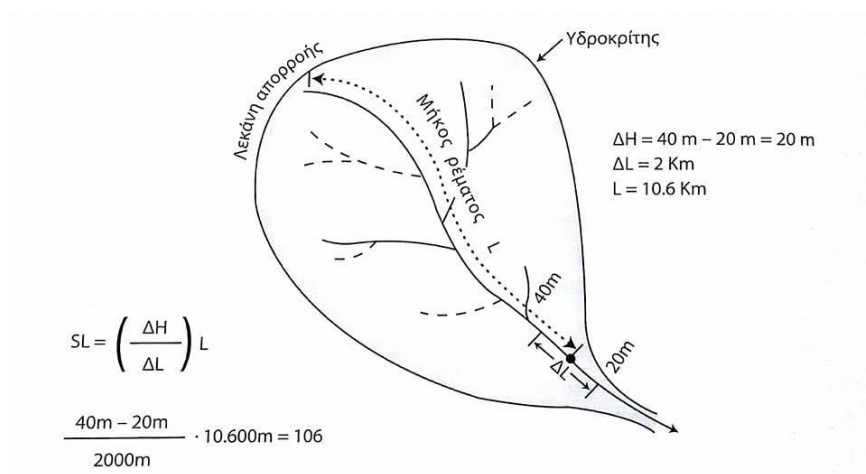
Η δαντέλωση αποτελεί ένα πολύ καλό κριτήριο για την αναγνώριση των ρηγμάτων. Οι χαμηλές τιμές του δείκτη S (1,0 – 1,6), εκφράζουν πρόποδες βουνών που έχουν πρόσφατα ανυψωθεί και δημιουργήθηκαν από ρήγματα με ενεργό δράση. Όταν η ανύψωση μειώνεται ή σταματά, τότε οι διαδικασίες διάβρωσης δημιουργούν μια λιγότερο ομαλή όψη και οι τιμές του δείκτη αυξάνονται, S (1,4 – 3,0). Για μη ενεργό δράση οι τιμές του S είναι από 1,8 μέχρι και μεγαλύτερες από 5.

7.1.4. Μήκος ρέματος (κλάδος υδρογραφικού δικτύου-Δείκτης κλίσης του (SL)) (Stream Length-Gradient Index) Keller & Pinter, 2002, Παυλίδης, 2016)

Ο δείκτης κλίσης SL εκφράζει το λόγο του μήκους ενός υδρογραφικού κλάδου, ως προς το μήκος του. Δίνεται με τη σχέση:

$$SL = \left(\frac{\Delta H}{\Delta L} \right) \cdot L$$

Όπου: ΔH , είναι η υψομετρική διαφορά, ΔL , το αντίστοιχο μήκος του ρέματος, $\frac{\Delta H}{\Delta L}$, είναι η κλίση του ρέματος και L , το συνολικό μήκος του ποταμού από το σημείο που μας ενδιαφέρει προς τα ανάντη (Σχ. 7.4).



Σχήμα 7.4 Παράδειγμα κλίσης (SL) υδρογραφικού κλάδου (τροποποιημένο από Keller & Pinter, 1996).

Σχετίζεται με τη δύναμη του ρέματος να διαβρώνει το υπόβαθρο και να μεταφέρει ιζήματα και είναι ευαίσθητος στις αλλαγές της κλίσης της κοίτης, που παραπέμπει σε πιθανή τεκτονική δράση, δηλαδή χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει πρόσφατη τεκτονική δραστηριότητα ανιχνεύοντας ανώμαλα υψηλές ή χαμηλές τιμές, σε ένα συγκεκριμένο τύπο πετρώματος.

7.1.5. Δείκτης εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας (T) (Transverse Topographic Symmetry, Keller & Pinter, 2002, Παυλίδης, 2016).

Χρησιμοποιείται για την αναγνώριση πρόσφατης τεκτονικής περιστροφής και κατά συνέπεια την πιθανή ύπαρξη ενεργών ρηγμάτων σε μια υδρολογική λεκάνη. Δίνεται από τη σχέση: $T = Da/Dd$.

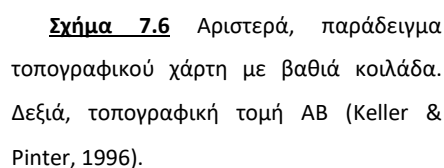
Όπου: Da , η απόσταση, από τη (μέση) γραμμή που χωρίζει τη λεκάνη σε δύο ίσα μέρη, έως την αντίστοιχη μέση γραμμή που χωρίζει σε ίσα μέρη τη ζώνη του ενεργού μαιανδρισμού



Ο λόγος αυτός εντοπίζει τα μεγάλα σε πλάτος φαράγγια σχήματος U, από αυτά με κατά βάθος διάβρωση σχήματος V. Εκφράζεται με τη σχέση:

$$V = \frac{2\Pi}{(h_1 - h_3) + (h_2 - h_3)}$$

Όπου: Π , το πλάτος της κοιλάδας, h_1, h_2 , τα υψόμετρα του αριστερού και δεξιού υδροκρίτη και h_3 , το υψόμετρο της κοιλάδας (μισγάγγεια).



Για υψηλές τιμές του λόγου, η κοιλάδα είναι σχήματος U ενώ όταν οι τιμές πλησιάζουν το μηδέν, τότε η κοιλάδα είναι σχήματος V, δηλαδή κοιλάδα με έντονη διάβρωση και περιοχή τεκτονικά ενεργή.

7.2. Υπολογισμός μορφοτεκτονικών δεικτών

Στη συνέχεια υπολογίζονται οι μορφοτεκτονικοί δείκτες που αναφέρθηκαν, για τις επιμέρους υδρολογικές λεκάνες στις οποίες έχει χωριστεί η περιοχή μελέτης, με σκοπό να εξαχθούν συμπεράσματα για την ενεργότητα των ρηγμάτων που διασχίζουν τις λεκάνες αυτές.

7.2.1. Λεκάνη απορροής Ανθεμόντα

Ασυμμετρία λεκάνης απορροής

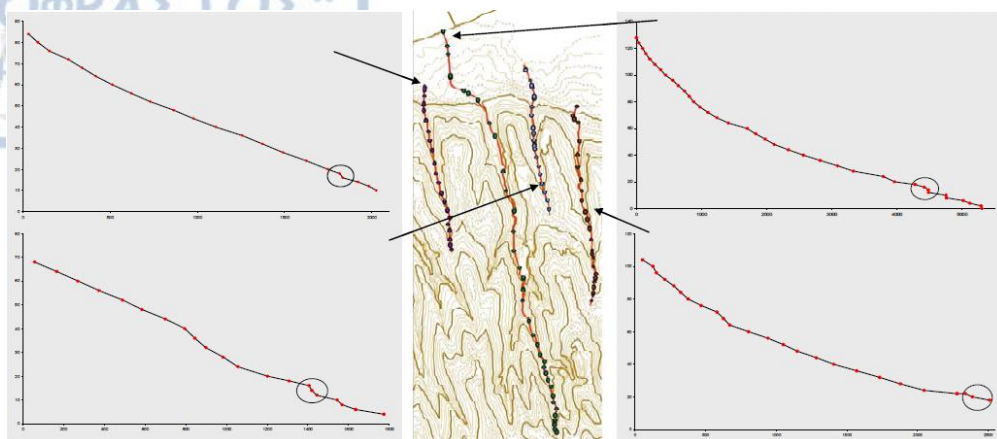
Η λεκάνη απορροής έχει συνολικό εμβαδό $E_A = 318,1 \text{ km}^2$, με το βόρειο τμήμα να καταλαμβάνει εμβαδό $E_B = 191,6 \text{ km}^2$, μεγαλύτερο από το νότιο ($E_N = 126,5 \text{ km}^2$) (Ζερβοπούλου, 2010). Για τον υπολογισμό του δείκτη ασυμμετρίας απαιτούνται οι τιμές του συνολικού εμβαδού της λεκάνης (E_A) και του εμβαδού της υπολεκάνης που βρίσκεται δεξιά του κύριου ποταμού όπως κοιτάζουμε προς τα κατάντη, δηλαδή του βόρειου τμήματος (E_B). Επομένως,

$$AF = 100 \cdot (191,6/318,1) = 60,2 \approx \mathbf{60} > 50$$

Η τιμή του δείκτη ασυμμετρίας είναι μεγαλύτερη του 50 και δείχνει περιστροφή (tilting) του ποταμού του Ανθεμόντα προς τα αριστερά (νότια).

Σημεία κάμψης ρέματος

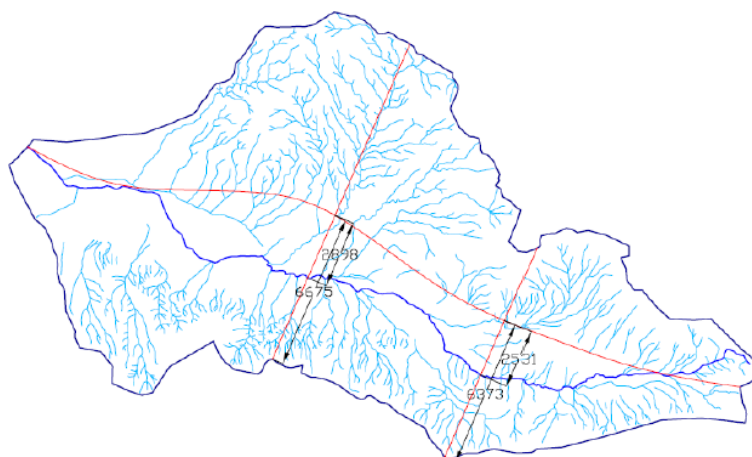
Για το ρήγμα του Ανθεμόντα και πιο συγκεκριμένα για το τμήμα που βρίσκεται στην περιοχή της Περαίας, παρατηρήθηκαν απότομες διαφοροποιήσεις σε υψόμετρα από 12 έως 18 μέτρα, κατά μήκος τεσσάρων διαδοχικών ρεμάτων, κάθετα στο ίχνος της επιφανειακής διάρρηξης. Κατά μήκος της ισοΰψους αυτής χαρτογραφήθηκε το ίχνος του ρήγματος (Ζερβοπούλου, 2010).



Σχήμα 7.7 Διαγράμματα υψομέτρου (x) και αποστάσεων (y) τομής ρέματος με την αντίστοιχη ισοϋψή (χάρτης ΓΥΣ 1:5.000), όπου στους κύκλους διακρίνονται τα σημεία κάμψης ρέματος (Ζερβοπούλου, 2010).

Δείκτης εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας

Για την λεκάνη του Ανθεμούντα υπολογίστηκε σε δύο χαρακτηριστικές θέσεις όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Σχ. 7.8).



Σχήμα 7.8 Δείκτης εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας για την λεκάνη του Ανθεμούντα. Η μπλε γραμμή δείχνει τον κύριο κλάδο του Ανθεμούντα ποταμού και η κόκκινη γραμμή τον υποθετικό άξονα της λεκάνης (Ζερβοπούλου, 2010).

Σύμφωνα με το σχήμα, για τη θέση Α, η απόσταση D_a είναι $D_a = 2898 \text{ m}$, και η απόσταση $D_d = 6675 \text{ m}$. Επομένως, ο δείκτης εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας για τη θέση Α είναι:

$$T_A = 2898 \text{ (m)} / 6675 \text{ (m)} = 0,43$$

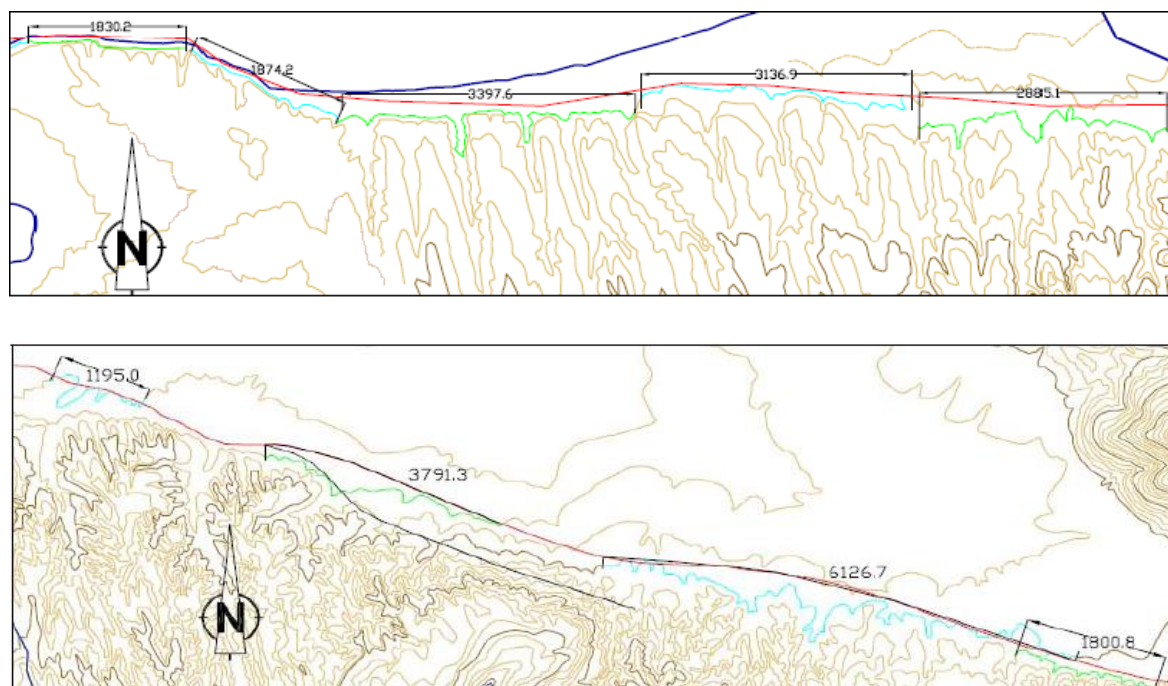
Για τη θέση Β, από το ίδιο σχήμα είναι: $D_a = 2531$ και $D_d = 6373$. Οπότε:

$$T_B = 2531 \text{ (m)} / 6373 \text{ (m)} = 0,40$$

Οι τιμές αυτές πλησιάζουν τη μονάδα και δηλώνουν ασυμμετρία για την λεκάνη απορροής.

Δαντέλωση στους πρόποδες βουνών

Μετρήθηκε για τις περιοχές του Δήμου Θερμαϊκού και της λεκάνης του Ανθεμούντα. Από το Σχήμα 7.9 προκύπτει ο Πίνακας 7.1.



Σχήμα 7.9 Μετρήσεις για τον υπολογισμό του δείκτη δαντέλωσης κατά μήκος του ρήγματος Ανθεμούντα. Πάνω: στην περιοχή Αγγελοχωρίου-Περαίας, κάτω: στην περιοχή Ν. Ρουσίου –Γαλαρινού (Ζερβοπούλου, 2010).

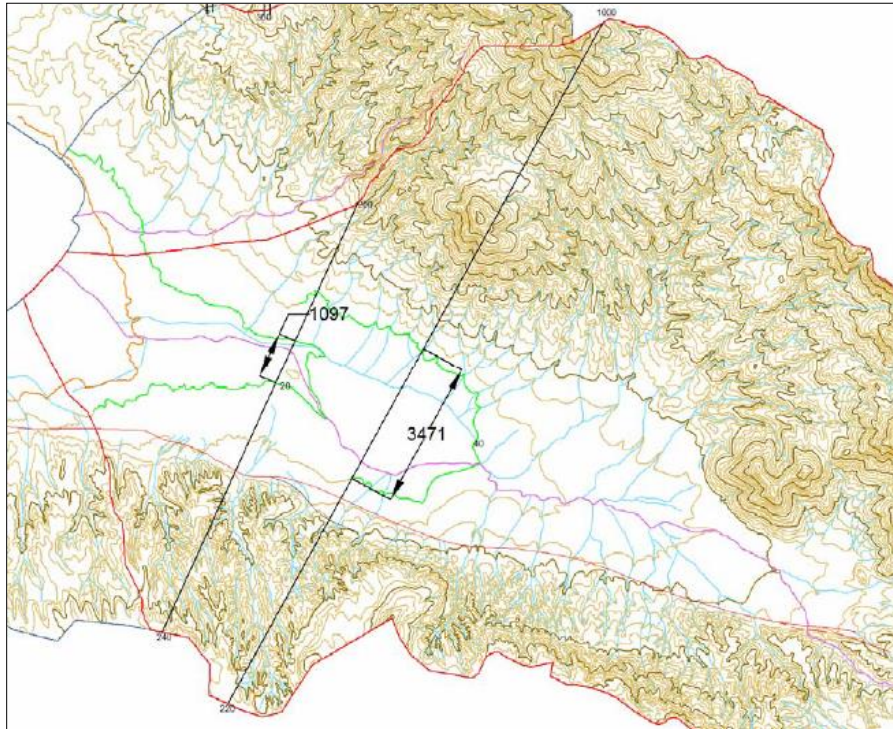
Πίνακας 7.1 Μετρήσεις και υπολογισμός του δείκτη δαντέλωσης για το ρήγμα του Ανθεμούντα (Ζερβοπούλου, 2010).

α/α	Ισοϋψείς	$L (m)$	$l(m)$	$S = L/l$
1	0	1.880,78	1.830,20	1,03
2	20	2.067,60	1.874,20	1,10
3	20	5.499,80	3.397,64	1,62
4	20	3.861,80	3.136,95	1,23
5	40	4.735,39	2.885,14	1,64
6	40	2.883,03	1.194,97	2,41
7	60	3.900,42	3.791,29	1,03
8	100	11.009,95	6.126,69	1,80
9	120	2.560,33	1.800,75	1,42

Οι μικρότερες τιμές του δείκτη δαντέλωσης (1,00-1,60) υπολογίζονται για την περιοχή από το Αγγελοχώρι έως το Ν. Ρύσιο, επομένως το ρήγμα εμφανίζεται περισσότερο ενεργό σε αυτή την περιοχή.

Λόγος πλάτους κοιλάδας προς ύψος

Με βάση τα στοιχεία από το Σχήμα 7.10, υπολογίζεται ο λόγος πλάτους κοιλάδας προς ύψος σε δύο χαρακτηριστικές θέσεις για την λεκάνη του Ανθεμούντα.



Σχήμα 7.10 Λόγος πλάτους κοιλάδας προς ύψος για τη λεκάνη του Ανθεμούντα (Ζερβοπούλου, 2010).

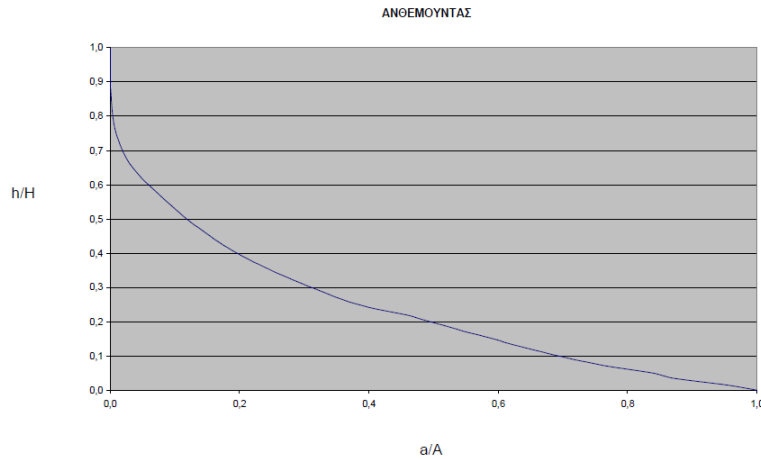
$$\text{Θέση Α: } V_A = \frac{2 \cdot 1097}{(200-20) + (240-20)} \approx 5,5$$

$$\text{Θέση Β: } V_B = \frac{2 \cdot 3471}{(1000-40) + (220-40)} \approx 6,1$$

Διαπιστώνεται ότι και στις δύο θέσεις οι τιμές είναι υψηλές, άρα δηλώνουν κοιλάδα σχήματος U.

Υψομετρική καμπύλη και υψομετρικό ολοκλήρωμα

Η υψομετρική καμπύλη για την λεκάνη του Ανθεμούντα φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Σχ. 7.11) και δηλώνει μια ομαλή περιοχή κοιλάδας στο στάδιο γήρατος (Ζερβοπούλου, 2010).



Σχήμα 7.11 Διάγραμμα υψομετρικής καμπύλης της λεκάνης του Ανθεμούντα (Ζερβοπούλου, 2010).

7.2.2. Λεκάνη απορροής πολεοδομικού συγκροτήματος Θεσσαλονίκης

Από τις διάφορες υπολεκάνες που συγκροτούν τη λεκάνη αυτή του πολεοδομικού συγκροτήματος, επιλέχθηκε η υπολεκάνη του Μεγάλου Ρέματος ως πιο κατάλληλη για την ανάλυση των μορφοτεκτονικών δεικτών και συγκεκριμένα το τμήμα της που αποτελεί την υπολεκάνη του Ελαιορέματος. Η επιλογή αυτή έγινε λόγω του ότι διαμέσου της υπολεκάνης αυτής διέρχεται τμήμα του ρήγματος Πυλαίας-Πανοράματος.

Ασυμμετρία λεκάνης απορροής

Η υπολεκάνη του Μεγάλου Ρέματος έχει συνολικό εμβαδό $28,7 \text{ km}^2$, ενώ το βόρειο τμήμα έχει πολύ μεγαλύτερη έκταση ($E_B = 24,2 \text{ km}^2$) από το νότιο ($E_N = 4,5 \text{ km}^2$). Σύμφωνα με αυτά υπολογίζουμε τον δείκτη ασυμμετρίας της υπολεκάνης του Μεγάλου Ρέματος:

$$AF = 100 \cdot (24,2/28,7) \approx 84 > 50$$

Η υπολεκάνη του Ελαιορέματος έχει συνολικό εμβαδό $9,9 \text{ km}^2$, με το βόρειο τμήμα της να καταλαμβάνει έκταση $E_B = 7,2 \text{ km}^2$ και το νότιο έκταση $E_N = 2,7 \text{ km}^2$, επίσης μικρότερη από το βόρειο. Ο δείκτης ασυμμετρίας για την υπολεκάνη του Ελαιορέματος είναι:

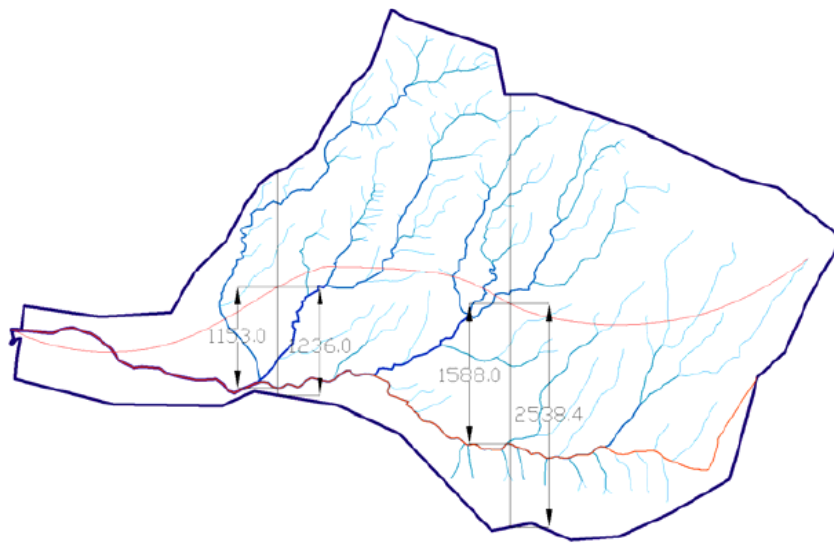
$$AF = 100 \cdot (7,2/9,9) \approx 73 > 50$$

Συνεπώς και οι δύο υπολεκάνες εμφανίζουν περιστροφή προς τα αριστερά (νότια) του κύριου ποταμού, η οποία πιθανόν οφείλεται στη δράση του ρήγματος Πυλαίας-Πανοράματος.

Η ρηξιγενής ζώνη στην περιοχή Πυλαίας-Πανοράματος εκτείνεται παράλληλα στην κοίτη των ρεμάτων και δεν τέμνει κάθετα κάποιο από αυτά. Κατά συνέπεια, ο δείκτης κάμψης ρέματος δεν μπορεί να δώσει αποτελέσματα για την ζώνη αυτή.

Δείκτης εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας

Με βάση τα δεδομένα που υπάρχουν στα παρακάτω σχήματα (Σχ. 7.12 και Σχ. 7.13), μπορούμε να υπολογίσουμε τον δείκτη αυτόν για τις υπολεκάνες του Μεγάλου Ρέματος και του Ελαιορέματος.



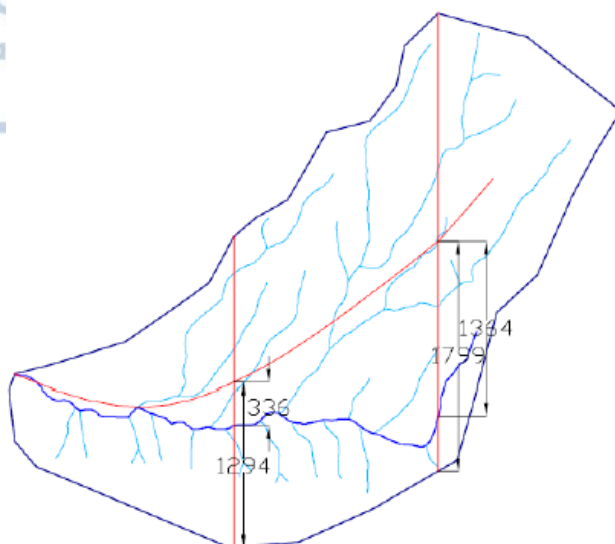
Σχήμα 7.12 Δείκτης εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας για την υπολεκάνη του Μεγάλου Ρέματος. Ο κύριος κλάδος των ρεμάτων απεικονίζεται με μπλε χρώμα και ο υποθετικός άξονας της λεκάνης με κόκκινο (Ζερβοπούλου, 2010).

Για την θέση Α, ο δείκτης έχει τιμή: $T_A = 1153 (m)/1236 (m) = 0,93$.

Για την θέση Β, ο δείκτης έχει τιμή: $T_B = 1588,0 (m)/2538,4 (m) = 0,63$.

Άρα για την υπολεκάνη του Μεγάλου Ρέματος ο δείκτης εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας εμφανίζει υψηλές τιμές που κυμαίνονται από 0,63 – 0,93 και πλησιάζουν τη μονάδα, δηλαδή δηλώνει υψηλή ασυμμετρία λεκάνης.

Για την υπολεκάνη του Ελαιορέματος έγινε μέτρηση του δείκτη σε δύο πάλι θέσεις όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Σχ. 7.13).



Σχήμα 7.13 Δείκτης εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας για την υπολεκάνη του Ελαιορέματος. Διακρίνονται οι δύο θέσεις όπου έγιναν οι μετρήσεις (Ζερβοπούλου, 2010).

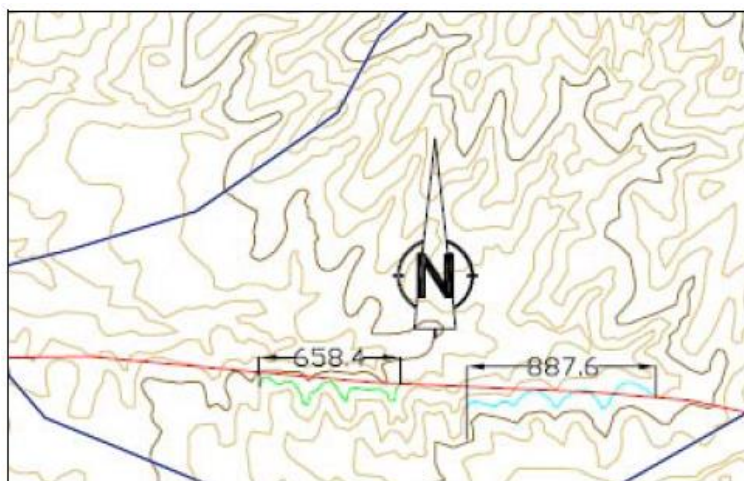
Για τη θέση Γ, ο δείκτης έχει τιμή: $T_G = 336 (m)/1294 (m) = 0,26$.

Για τη θέση Δ, ο δείκτης έχει τιμή: $T_D = 1364 (m)/1799 (m) = 0,76$.

Οι τιμές αυτές αποκλίνουν επίσης από το μηδέν που θεωρείται η ιδανική συμμετρία και πλησιάζουν τη μονάδα υποδηλώνοντας αυξημένη ασυμμετρία της υπολεκάνης του Ελαιορέματος.

Δαντέλωση στους πρόποδες βουνών

Ο δείκτης αυτός μετρήθηκε στην υπολεκάνη του Ελαιορέματος σε δύο θέσεις που επιλέχθηκαν κατά μήκος του ρήγματος Πυλαίας-Πανοράματος. Οι θέσεις αυτές φαίνονται στο Σχήμα 7.14:



Σχήμα 7.14 Μετρήσεις της δαντέλωσης κατά μήκος του ρήγματος Πυλαίας-Πανοράματος (Ζερβοπούλου, 2010).

Με βάση τα στοιχεία του Σχήματος 7.14 συντάσσεται ο Πίνακας 7.2 στον οποίο υπολογίζονται και οι τιμές του δείκτη δαντέλωσης για τις δύο θέσεις.

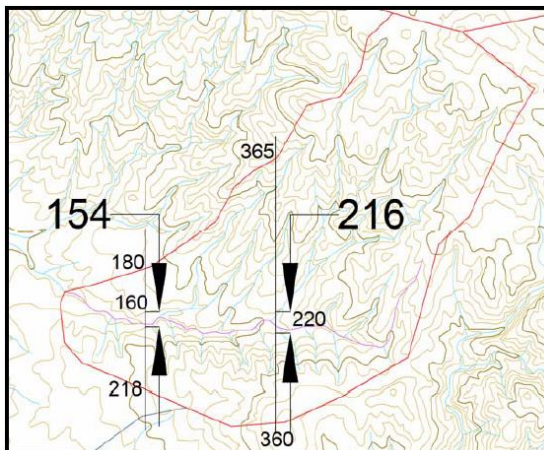
Πίνακας 7.2 Δείκτης δαντέλωσης στους πρόποδες βουνών για το ρήγμα Πυλαίας-Πανοράματος (Ζερβοπούλου, 2010).

α/α	Ισοϋψείς	L (m)	l (m)	$S = L/l$
1	220	1.020,63	658,40	1,55
2	280	1.132,78	887,60	1.28

Οι τιμές που υπολογίστηκαν είναι χαμηλές και μικρότερες του 1,6 γεγονός που δηλώνει την ενεργότητα των πρηνών.

Λόγος πλάτους κοιλάδας προς ύψος

Υπολογίστηκε σε δύο θέσεις για την υπολεκάνη του Ελαιορέματος με βάση το παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 7.15 Μετρήσεις για τον υπολογισμό του λόγου πλάτους προς ύψος για την υπολεκάνη του Ελαιορέματος (Ζερβοπούλου, 2010).

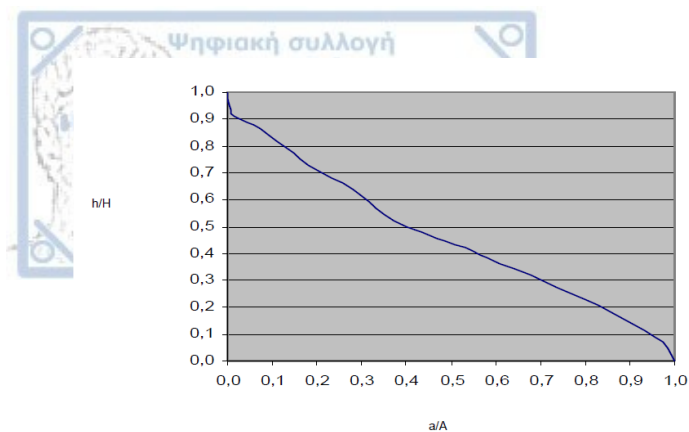
$$\text{Θέση A: } V_A = \frac{2 \cdot 154}{(180-160)+(218-160)} = 3,9$$

$$\text{Θέση B: } V_B = \frac{2 \cdot 216}{(365-220)+(360-220)} = 1,5$$

Οι τιμές αυτές είναι σχετικά χαμηλές και δηλώνουν κοιλάδα σχήματος V.

Υψομετρική καμπύλη και υψομετρικό ολοκλήρωμα

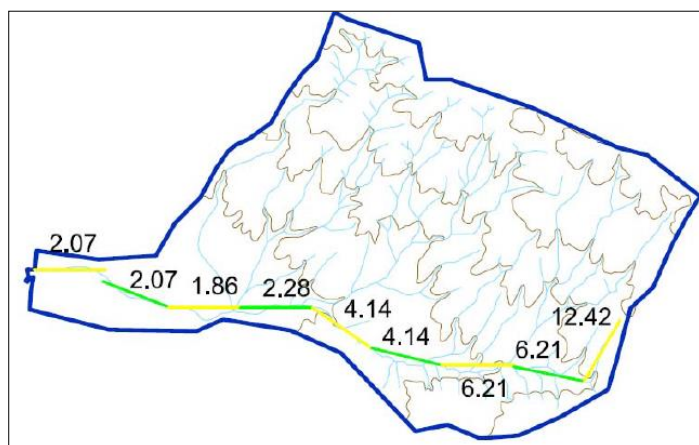
Η υψομετρική καμπύλη για την υπολεκάνη του Ελαιορέματος όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.16 δηλώνει μια περιοχή που βρίσκεται στο στάδιο νεότητας έως και ωριμότητας.



Σχήμα 7.16 Υψομετρική καμπύλη της υπολεκάνης του Ελαιορέματος (Ζερβοπούλου, 2010).

Μήκος ρέματος

Οι μετρήσεις αυτές έγιναν κατά μήκος του Μεγάλου Ρέματος (Σχ. 7.17) με σταθερό μήκος 1 km και σε υψόμετρο 0-400 m.



Σχήμα 7.17 Δείκτες του μήκους ρέματος στην υπολεκάνη του Μεγάλου Ρέματος. Διακρίνεται η απότομη αύξηση του στα ανάντη της λεκάνης (Ζερβοπούλου, 2010).

Ο παρακάτω πίνακας συγκεντρώνει τα αποτελέσματα από τον υπολογισμό του δείκτη μήκους ρέματος για το Μεγάλο Ρέμα Θεσσαλονίκης.

Πίνακας 7.3 Μετρήσεις του μήκους ρέματος για το Μεγάλο Ρέμα (Ζερβοπούλου, 2010).

<i>Υψόμετρο</i>	<i>Δείκτης Μήκους Ρέματος</i>
0 – 20	2.07
20 – 40	2.07
40 – 58	1.86
58 – 80	2.28
80 – 120	4.14
120 – 160	4.14
160 – 220	6.21
220 – 280	6.21
280 – 400	12.42

Παρατηρώντας τα παραπάνω δεδομένα, παρατηρούμε ότι ενώ ο δείκτης εμφανίζει μια ομαλή αύξηση από τα 0 μέχρι τα 300 μέτρα, στο σημείο εκείνο παρουσιάζει μια απότομη αύξηση που δηλώνει εντονότερη διάβρωση που πιθανόν οφείλεται στο ρήγμα Πυλαίας-Πανοράματος.

7.2.3. Λεκάνη απορροής Δενδροποτάμου

Μελετήθηκαν οι μορφοτεκτονικοί δείκτες για την λεκάνη του Δενδροποτάμου αλλά και για την υπολεκάνη του Ξηροποτάμου αφού κατά μήκος της διακρίνεται το ίχνος του ρήγματος Ασβεστοχωρίου.

Ασυμμετρία λεκάνης απορροής

Η συνολική έκταση της λεκάνης του Δενδροποτάμου είναι $140,38 \text{ km}^2$. Όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις το βόρειο τμήμα της εμφανίζεται μεγαλύτερο από το νότιο, με εμβαδό $E_B = 120 \text{ km}^2$. Το νότιο τμήμα έχει εμβαδό $E_N = 20 \text{ km}^2$. Ο δείκτης ασυμμετρίας λεκάνης απορροής είναι:

$$AF = 100 \cdot (120/140,38) \approx 85 > 50$$

Η υπολεκάνη του Ξηροποτάμου έχει συνολικό εμβαδό $E = 20,8 \text{ km}^2$. Το βόρειο τμήμα της καλύπτει έκταση $E_B = 15 \text{ km}^2$ και το νότιο $E_N = 5,6 \text{ km}^2$. Επομένως, ο δείκτης ασυμμετρίας είναι:

$$AF = 100 \cdot (15,0/20,8) \approx 72 > 50$$

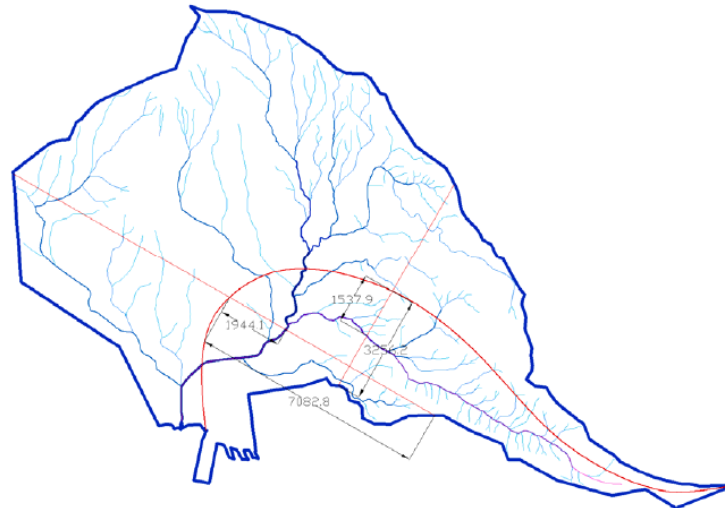
Με βάση τις τιμές που προκύπτουν από τον υπολογισμό του δείκτη ασυμμετρίας, συμπεραίνεται ότι τόσο η υπολεκάνη του Ξηρορέματος όσο και η ευρύτερη λεκάνη του Δενδροποτάμου, παρουσιάζουν μια περιστροφή προς τα κατάντη δηλαδή προς τα νότια.

Σημεία κάμψης ρέματος

Το ρήγμα Ασβεστοχωρίου εκτείνεται παράλληλα στην κοίτη των ρεμάτων και δεν τέμνει κάθετα κάποιο από αυτά. Κατά συνέπεια, ο δείκτης αυτός δεν μπορεί να δώσει αποτελέσματα για το ρήγμα Ασβεστοχωρίου.

Δείκτης εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας

Ο δείκτης αυτός υπολογίστηκε για την λεκάνη του Δενδροποτάμου και την υπολεκάνη του Ξηροποτάμου με βάση τις τιμές που δίνονται στα παρακάτω σχήματα (Σχ. 7.18 και Σχ. 7.19).



Σχήμα 7.18 Δείκτης εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας για την λεκάνη του Δενδροποτάμου. Ο κύριος κλάδος του Δενδροποτάμου συμβολίζεται με την μπλε γραμμή και ο υποθετικός άξονας της λεκάνης με την κόκκινη (Ζερβοπούλου, 2010).

$$\text{Θέση A: } T_A = (1944,1/7082,8) = 0,27$$

$$\text{Θέση B: } T_B = (1537,9/3256,2) = 0,47$$

Για την υπολεκάνη του Ξηροποτάμου με βάση το αντίστοιχο σχήμα (Σχ. 7.19) υπολογίζεται επίσης ο δείκτης εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας:



Σχήμα 7.19 Μετρήσεις για τον υπολογισμό του δείκτη εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας για την υπολεκάνη του Ξηροποτάμου (Ζερβοπούλου, 2010).

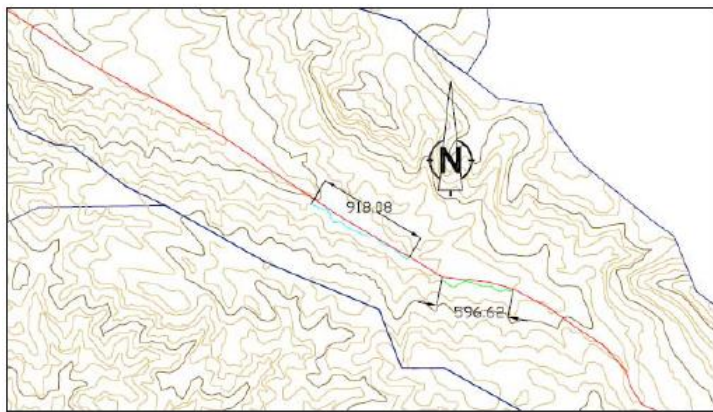
$$\text{Θέση Γ: } T_r = (1173/1775) = 0,66$$

$$\text{Θέση Δ: } T_d = (205/1183) = 0,17$$

Οι τιμές που υπολογίστηκαν και για τις δύο λεκάνες, αποκλίνουν από το μηδέν που είναι η τιμή για την απόλυτη συμμετρία και συνεπώς παρουσιάζουν τοπογραφική ασυμμετρία.

Δαντέλωση στους πρόποδες των βουνών

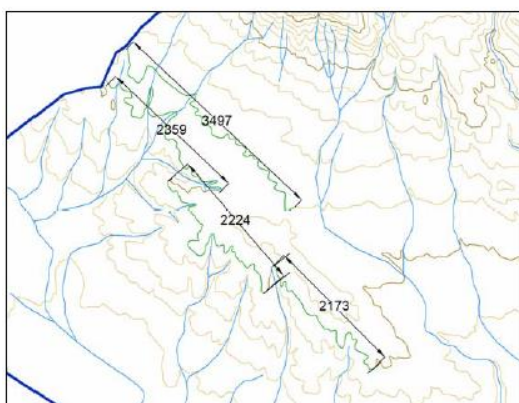
Ο δείκτης της δαντέλωσης μετρήθηκε παράλληλα στο ρήγμα Ασβεστοχωρίου, στην υπολεκάνη του Ξηροποτάμου και στην περιοχή της Ηλιούπολης όπου έχει βρεθεί πιθανή επέκταση του ρήγματος αυτού. Οι μετρήσεις αυτές διακρίνονται στα παρακάτω σχήματα (Σχ. 7.20 και Σχ. 7.21) από όπου προκύπτουν και οι Πίνακες 7.4 και 7.5.



Σχήμα 7.20 Μετρήσεις δαντέλωσης κατά μήκος του ρήγματος Ασβεστοχωρίου (Ζερβοπούλου, 2010).

Πίνακας 7.4 Υπολογισμός του δείκτη δαντέλωσης για το ρήγμα του Ασβεστοχωρίου στην υπολεκάνη του Ξηροποτάμου (Ζερβοπούλου, 2010)

α/α	Ισοϋψείς	$L(m)$	$l(m)$	$S = L/l$
1	360	659,41	596,62	1,11
2	320	996,06	918,08	1,08



Σχήμα 7.21 Μετρήσεις δαντέλωσης κατά μήκος της προέκτασης του ρήγματος Ασβεστοχωρίου στην περιοχή της Ηλιούπολης (Ζερβοπούλου, 2010).

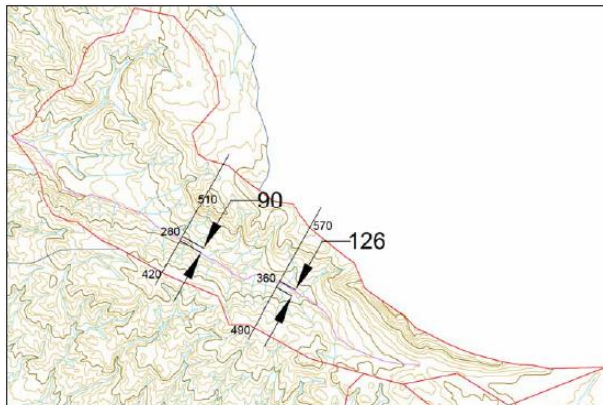
Πίνακας 7.5 Υπολογισμός του δείκτη δαντέλωσης για το ρήγμα του Ασβεστοχωρίου στην περιοχή της Ηλιούπολης (Ζερβοπούλου, 2010).

α/α	Ισοϋψείς	$L(m)$	$l(m)$	$S = (L/l)$
1	100	4698	2359	1,99
2	100	3963	2224	1,78
3	100	3150	2173	1,45
4	120	5129	3497	1,47

Οι τιμές που υπολογίστηκαν, δείχνουν ότι το ρήγμα του Ασβεστοχωρίου στην υπολεκάνη του Ξηροποτάμου παρουσιάζεται περισσότερο ενεργό, αφού οι δείκτες δαντέλωσης για την υπολεκάνη αυτή προσεγγίζουν τη μονάδα, ενώ αντίθετα στην προέκταση της Ηλιούπολης το ρήγμα εμφανίζεται λιγότερο ενεργό, με υψηλότερες τιμές του δείκτη δαντέλωσης.

Λόγος πλάτους κοιλάδας προς ύψος

Υπολογίστηκε για την υπολεκάνη του Ξηροποτάμου χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις του Σχήματος 7.22:



Σχήμα 7.22 Μετρήσεις για τον υπολογισμό του λόγου πλάτους προς ύψος για την υπολεκάνη του Ξηροποτάμου (Ζερβοπούλου, 2010).

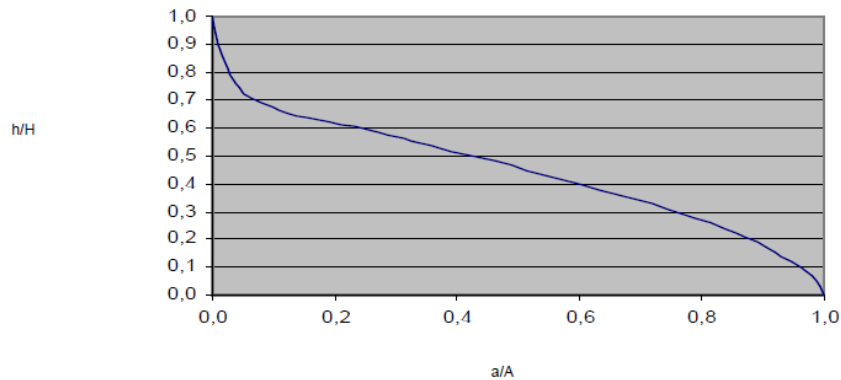
$$\text{Θέση A: } V_A = \frac{2 \cdot 90}{(510 - 280) + (420 - 280)} = 0,49$$

$$\text{Θέση B: } V_B = \frac{2 \cdot 126}{(570 - 360) + (490 - 360)} = 0,74$$

Για την υπολεκάνη του Ξηροποτάμου ο λόγος πλάτους προς ύψος έχει πολύ μικρές τιμές που δηλώνουν κοιλάδα σχήματος V.

Υψομετρική καμπύλη και υψομετρικό ολοκλήρωμα

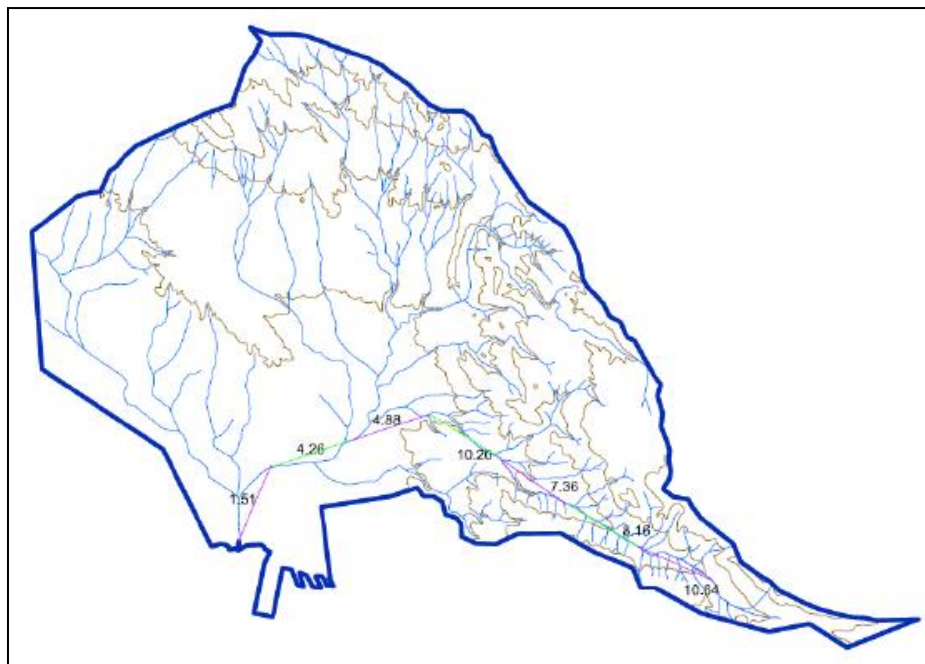
Η υψομετρική καμπύλη σχεδιάστηκε για την υπολεκάνη του Ξηροποτάμου και δηλώνει περιοχή στο στάδιο νεότητας έως και ωριμότητας (Ζερβοπούλου, 2010).



Σχήμα 7.23 Υψομετρική καμπύλη για την υπολεκάνη του Ξηροποτάμου (Ζερβοπούλου, 2010).

Μήκος ρέματος

Για τον υπολογισμό του δείκτη αυτού έγιναν μετρήσεις κατά μήκος του κύριου ρέματος του Δενδροποτάμου, με αρχή το υψόμετρο των 0 μέτρων μέχρι τα 530 μέτρα με σταθερό μήκος 2.000 μέτρων.



Σχήμα 7.24 Μετρήσεις για τον υπολογισμό του μήκους ρέματος στην υδρολογική λεκάνη του Δενδροποτάμου (Ζερβοπούλου, 2010).

Από τις μετρήσεις του Σχήματος 7.24 συντάσσεται ο Πίνακας 7.6 στον οποίο υπολογίζονται και οι τιμές του δείκτη μήκους ρέματος.

Πίνακας 7.6 Μετρήσεις και υπολογισμός του δείκτη μήκους ρέματος (Ζερβοπούλου, 2010).

<i>Υψόμετρο</i>	<i>Δείκτης Μήκους Ρέματος</i>
0 – 17	1.51
17 – 65	4.26
65 – 120	4.88
120 – 235	10.20
235 – 318	7.36
318 – 410	8.16
410 – 530	10.64

Από τον Πίνακα 7.6 συμπεραίνεται μεγαλύτερη αύξηση του δείκτη στις ισοϋψείς 200 – 400, όπου έχουμε και την μεγαλύτερη διάβρωση πιθανόν λόγω της εμφάνισης του ρήγματος του Ασβεστοχωρίου.

7.2.4. Λεκάνη απορροής Θέρμης

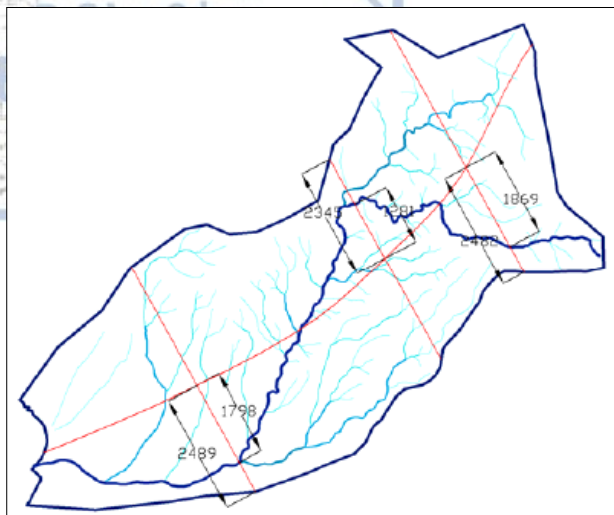
Ασυμμετρία λεκάνης απορροής

Για τη λεκάνη του ρέματος της Θέρμης έχουμε συνολικό εμβαδό $58,3 \text{ km}^2$, με το βόρειο τμήμα να καταλαμβάνει έκταση $E_B = 38,8 \text{ km}^2$ και το νότιο μικρότερη έκταση, $E_N = 19,5 \text{ km}^2$. Η υδρολογική λεκάνη της Θέρμης παρουσιάζει περιστροφή προς τα αριστερά του κύριου ρέματος (νότια), σύμφωνα με τον δείκτη ασυμμετρίας:

$$AF = 100 \cdot (38,8/58,3) \approx 67 > 50$$

Δείκτης εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας

Για την λεκάνη της Θέρμης υπολογίστηκε σε τρεις θέσεις που φαίνονται στο Σχήμα 7.25:



Σχήμα 7.25 Δείκτης εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας για την λεκάνη της Θέρμης. Με την μπλε γραμμή συμβολίζεται ο κύριος κλάδος του ρέματος Θέρμης και με την κόκκινη γραμμή ο υποθετικός άξονας της λεκάνης (Ζερβοπούλου, 2010).

Θέση Α: $T_A = 1798/2489 = 0,72$

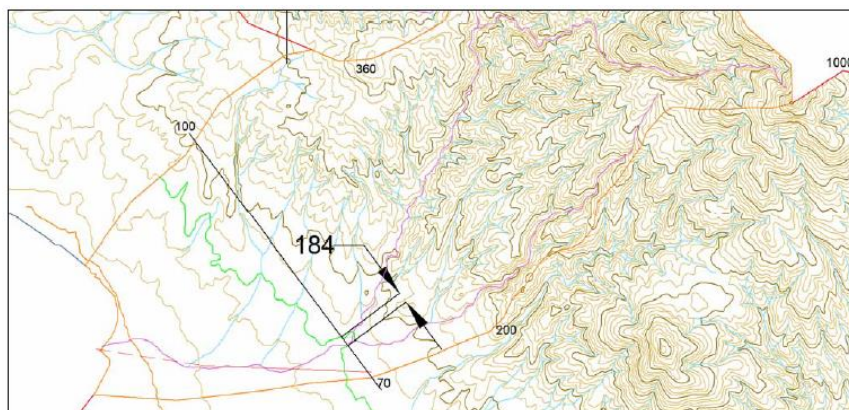
Θέση Β: $T_B = 1281/2345 = 0,55$

Θέση Γ: $T_\Gamma = 1869/2482 = 0,75$

Και για τις τρεις θέσεις ο δείκτης εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας προσεγγίζει τη μονάδα και για το λόγο αυτό δηλώνει ασυμμετρία της υδρολογικής λεκάνης της Θέρμης.

Λόγος πλάτους κοιλάδας προς ύψος

Μετρήθηκε κοντά στην έξοδο του ρέματος προς τον Θερμαϊκό κόλπο, στην πεδινή περιοχή της λεκάνης (Σχ. 7.26).



Σχήμα 7.26 Λόγος πλάτους κοιλάδας για την λεκάνη της Θέρμης (Ζερβοπούλου, 2010).

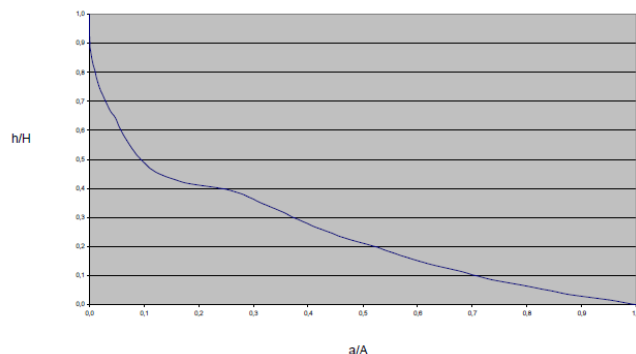
Ο υπολογισμός το λόγου δίνει την τιμή:

$$V = \frac{2 \cdot 184}{(100 - 60) + (70 - 60)} = 7,4$$

Η τιμή αυτή του λόγου είναι αρκετά υψηλή και δηλώνει κοιλάδα σχήματος U.

Υψομετρική καμπύλη και υψομετρικό ολοκλήρωμα

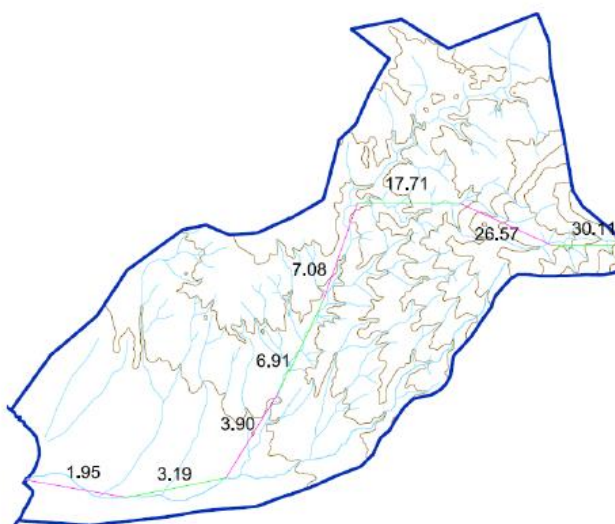
Για την λεκάνη της Θέρμης δηλώνει μια περιοχή που βρίσκεται στο στάδιο ωριμότητας έως και γήρατος (Σχ. 7.27).



Σχήμα 7.27 Διάγραμμα υψομετρικής καμπύλης για τη λεκάνη της Θέρμης (Ζερβοπούλου, 2010).

Μήκος ρέματος

Για τις μετρήσεις έχει επιλεχθεί το ρέμα της Θέρμης, οι οποίες έγιναν με σταθερό μήκος 2.000 μέτρων από το υψόμετρο των 0 μέτρων μέχρι και τα 1.100 μέτρα (Ζερβοπούλου, 2010) (Σχ. 7.28). Από τις μετρήσεις προκύπτει ο παρακάτω πίνακας (Πίνακας 7.7).



Σχήμα 7.28 Δείκτης μήκους του ρέματος της Θέρμης (Ζερβοπούλου, 2010).

Πίνακας 7.7 Υπολογισμός του δείκτη μήκους του ρέματος της Θέρμης (Ζερβοπούλου, 2010).

<i>Υψόμετρο</i>	<i>Δείκτης Μήκους Ρέματος</i>
0 – 22	1.95
22 – 58	3.19

58 – 102	3.90
102 – 180	6.91
180 – 260	7.08
260 – 460	17.71
460 – 760	26.57
760 – 1100	30.11

Από τις τιμές του δείκτη παρατηρούμε ότι υπάρχει μια ομαλή αύξηση μέχρι περίπου το υψόμετρο των 300 μέτρων, μετά από το οποίο παρουσιάζεται απότομη αύξηση του δείκτη που υποδηλώνει εντονότερη διάβρωση που πιθανόν οφείλεται στο ρήγμα Πυλαίας-Πανοράματος.

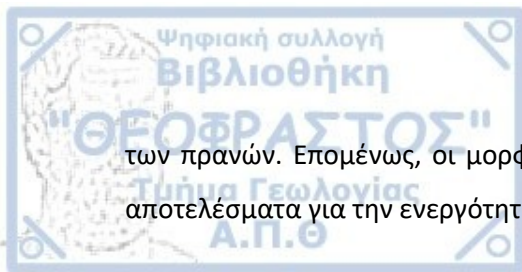
7.3. Συμπεράσματα από τον υπολογισμό των μορφοτεκτονικών δεικτών

Λεκάνη απορροής Ανθεμούντα

Από τη μελέτη της λεκάνης του Ανθεμούντα προκύπτει ότι το ρήγμα του Ανθεμούντα παρουσιάζει ενεργότητα. Συγκεκριμένα, η λεκάνη του Ανθεμούντα παρουσιάζει ασυμμετρία όπως προκύπτει από τους δείκτες ασυμμετρίας λεκάνης απορροής ($AF = 60$) και εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας ($T = 0,40 - 0,43$). Ο δείκτης δαντέλωσης στους πρόποδες βουνών παρουσιάζει μια μέση τιμή 1.5, με τις μικρότερες τιμές να προσεγγίζουν κατά πολύ τη μονάδα (1.03) και χαρακτηρίζει μια περιοχή με αυξημένη ενεργότητα, ιδιαίτερα στις περιοχές Αγγελοχωρίου-Ν. Ρυσίου. Επιπλέον στοιχεία για την αυξημένη ενεργότητα αυτής της περιοχής δίνει και ο δείκτης των σημείων κάμψης ρέματος που παρουσιάζει απότομα αυξημένες τιμές στην περιοχή της Περαιάς.

Λεκάνη απορροής πολεοδομικού συγκροτήματος Θεσσαλονίκης

Για την υπολεκάνη του Μεγάλου Ρέματος η οποία εξετάστηκε, οι δείκτες δείχνουν αυξημένη ασυμμετρία με $AF = 84 > 50$ και $T = 0,63 - 0,93$, που προσεγγίζει τη μονάδα. Επιπλέον, ο δείκτης μήκους ρέματος δείχνει απότομη αύξηση στα ~ 300 μέτρα υψόμετρο, που πιθανόν οφείλεται στο ρήγμα Πυλαίας-Πανοράματος. Για την υπολεκάνη του Ελαιορέματος οι δείκτες ασυμμετρίας και εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας έχουν τιμές που χαρακτηρίζουν επίσης μια υπολεκάνη με αυξημένη ασυμμετρία ($AF = 73$) και ($T = 0,26 - 0,76$). Τέλος, ο δείκτης δαντέλωσης στους πρόποδες βουνών παίρνοντας μικρές τιμές, δηλώνει αυξημένη ενεργότητα



των πρηνών. Επομένως, οι μορφοτεκτονικοί δείκτες δίνουν και για τις δύο υπολεκάνες θετικά αποτελέσματα για την ενεργότητα του ρήγματος Πυλαίας-Πανοράματος.

Λεκάνη απορροής Δενδροποτάμου

Η λεκάνη του Δενδροποτάμου εμφανίζει ασυμμετρία, σύμφωνα με τους δείκτες ($AF = 85$) και ($T = 0,27 - 0,47$), ενώ ο δείκτης μήκους ρέματος εμφανίζει απότομη αύξηση στα 200 – 400 μέτρα υψόμετρο, λόγω αυξημένης διάβρωσης που πιθανόν οφείλεται στο ρήγμα Ασβεστοχωρίου. Η υπολεκάνη του Ξηροποτάμου εμφανίζει επίσης ασυμμετρία ($AF = 72$) και ($T = 0,17 - 0,66$), αλλά και ο δείκτης δαντέλωσης δηλώνει αυξημένη ενεργότητα του ρήγματος του Ασβεστοχωρίου στην υπολεκάνη αυτή. Στην προέκταση του ρήγματος στην Ηλιούπολη, ο δείκτης δαντέλωσης χαρακτηρίζει αυτό το τμήμα ως λιγότερο ενεργό. Κατά συνέπεια και το ρήγμα του Ασβεστοχωρίου φαίνεται να έχει στοιχεία ενεργότητας, σύμφωνα πάντα με τα αποτελέσματα των μορφοτεκτονικών δεικτών.

Λεκάνη απορροής Θέρμης

Εμφανίζει επίσης ασυμμετρία, σύμφωνα με τον δείκτη ασυμμετρίας λεκάνης απορροής ($AF = 67$) και τον δείκτη εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας ($T = 0,55 - 0,75$). Ο δείκτης του μήκους ρέματος εμφανίζει απότομη αύξηση σε υψόμετρο 300 μέτρα, συμβάλλοντας περαιτέρω στον χαρακτηρισμό του ρήγματος Πυλαίας-Πανοράματος ως ενεργού.

8. ΡΗΓΜΑΤΑ ΤΟΥ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΚΟΥ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑΤΟΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΥΤΟΥ

Στην ενότητα αυτή εξετάζονται αναλυτικά τα κυριότερα ρήγματα του πολεοδομικού συγκροτήματος και της ευρύτερης περιοχής της πόλης της Θεσσαλονίκης, γίνεται ο διαχωρισμός τους σε ενεργά, πιθανά ενεργά και ρήγματα άγνωστης ενεργότητας του πολεοδομικού συγκροτήματος και αναλύονται τα κυριότερα χαρακτηριστικά τους.

8.1. Διαχωρισμός των ρηγμάτων με βάση την ενεργότητά τους

Ο διαχωρισμός αυτός έγινε με βάση διάφορα κριτήρια και χαρακτηριστικά των ρηγμάτων, όπως οι μορφοτεκτονικοί δείκτες, ο προσανατολισμός των ρηγμάτων, οι σχηματισμοί που τα ρήγματα επηρεάζουν, η παρουσία ή όχι πηγών και διάφορων αποθέσεων κατά μήκος τους, τα φαινόμενα γεωθερμίας που πιθανόν εμφανίζονται στην ευρύτερη περιοχή του ρήγματος κ.α. Στη συνέχεια δίνεται ο Πίνακας 8.1 στον οποίο γίνεται ο διαχωρισμός των ρηγμάτων που έχουν μελετηθεί στην παρούσα εργασία και στο Σχήμα 8.1 δίνεται ο χάρτης της περιοχής με σημειωμένα τα ρήγματα αυτά.

Πίνακας 8.1 Διαχωρισμός των υπό μελέτη ρηγμάτων με βάση την ενεργότητά τους (Ζερβοπούλου, 2010).

Ενεργά Ρήγματα	Πιθανά Ενεργά Ρήγματα	Ρήγματα άγνωστης ενεργότητας Π.Σ.Θ.
▪ Ανθεμούντα ▪ Γερακαρούς-Νικομηδινού-Στίβου-Περιστερώνα ▪ Πυλαίας-Πανοράματος ▪ Αγχιάλου-N. Μεσημβρίας	▪ Θέρμης-Αεροδρομίου ▪ Ρήγματα Βόρειου Ανθεμούντα ▪ Ασβεστοχωρίου ▪ Ευκαρπίας ▪ Καλοχωρίου	▪ Αγ. Δημητρίου ▪ Πεδίου Άρεως ▪ Κυβερνείου ▪ Νέας Ελβετίας ▪ Καλαμαριάς



Σχήμα 8.1 Ρήγματα της περιοχής της Θεσσαλονίκης. (**Ενεργά Ρήγματα:** F-An: Ανθεμούντα, F-GNSP: Γερακαρούς-Νικομηδινού-Στίβου-Περιστερώνα, F-PP: Πυλαίας-Πανοράματος, F-MA: Αγχιάλου-N. Μεσημβρίας, **Πιθανά Ενεργά Ρήγματα:** F-Th: Θέρμης-Αεροδρομίου, F-NAn: Βόρειου Ανθεμούντα, F-As: Ασβεστοχωρίου, F-E: Ευκαρπίας, F-K: Καλοχωρίου, **Ρήγματα άγνωστης ενεργότητας πολεοδομικού συγκροτήματος:** F-Ka: Καλαμαριάς) (Ζερβοπούλου, 2010).

8.1.1. Ενεργά ρήγματα

Στη συνέχεια αναλύονται τα ενεργά ρήγματα που αναφέρθηκαν και δίνονται τα κυριότερα χαρακτηριστικά τους.

❖ Ρήγμα Ανθεμούντα (F-An)

Βρίσκεται νότια και νοτιοανατολικά του πολεοδομικού συγκροτήματος Θεσσαλονίκης και η απόστασή του από αυτό είναι περίπου 14 km. Έχει γενική διεύθυνση είναι Α-Δ και συνολικό μήκος 32 km.

Το ρήγμα του Ανθεμούντα παρουσιάζει ορισμένα χαρακτηριστικά που το κατατάσσουν στα ενεργά ρήγματα. Αυτά είναι: η διεύθυνση του ρήγματος και κυρίως του δεύτερου τμήματός του με παράταξη $B90^\circ$, που είναι προσανατολισμένη στο σύγχρονο εντατικό πεδίο, το έντονο μορφοανάγλυφο ορατό και μέσω δορυφορικών εικόνων, ιδιαίτερα στην περιοχή του Μεγάλου

Εμβόλου, όπου σχηματίζονται λόγω της τεκτονικής ανύψωσης αναβαθμίδες μεγάλου ύψους με κάθετα πρηνή (Σχ. 8.2). Στην περιοχή του Δήμου Θερμαϊκού και στο κατώτερο τέμαχος του ρήγματος, είναι εμφανής η παρουσία μικρορηγμάτων. Το ρήγμα επηρεάζει τις πρόσφατες αποθέσεις, ενώ κατά μήκος του διακρίνεται και η παρουσία πηγών (πηγές Σουρωτής και Αγ. Παρασκευής). Συνδέεται με τις ρωγμές ασεισμικής ολίσθησης στην περιοχή της Περαίας, όπως και με μικροσεισμικότητα κατά το έτος 1988, ενώ υπάρχει πιθανότητα σύνδεσής του και με ιστορικούς σεισμούς που έλαβαν χώρα στην ευρύτερη περιοχή. Τέλος, λαμβάνοντας υπόψη και τα αποτελέσματα των μορφοτεκτονικών δεικτών, φαίνεται πως και η λεκάνη του Ανθεμούντα παρουσιάζει χαρακτηριστικά που δείχνουν την ενεργότητα του ρήγματος (άνιση ανάπτυξη λεκάνης και υδρογραφικού δικτύου, δείκτες ασυμμετρίας, σημεία κάμψης ρέματος, δείκτης δαντέλωσης).

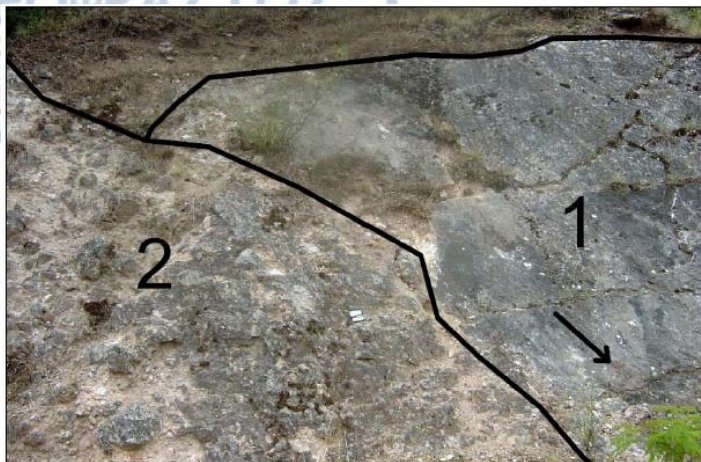


Σχήμα 8.2 Κάθετα πρηνή στην περιοχή του Μεγάλου Εμβόλου, Δήμος Θερμαϊκού (Πηγή: visit-thermaikos.com)

Το ίχνος του ρήγματος του Ανθεμούντα ξεκινά από την θαλάσσια περιοχή βόρεια του Αγγελοχωρίου στον Θερμαϊκό κόλπο και συνεχίζει μέχρι και μετά τον οικισμό του Γαλαρινού στα ανατολικά. Πιθανόν η προέκταση του ρήγματος στον Θερμαϊκό κόλπο δυτικότερα, να ενώνεται με τη ρηξιγενή ζώνη της βόρειας Πιερίας, δημιουργώντας με αυτό τον τρόπο μια ρηξιγενή ζώνη με σημαντικά μεγαλύτερο μήκος.

Το ρήγμα χαρακτηρίζεται ως κανονικό, μεταπίπτει προς βορρά με μέση κλίση στην επιφάνεια 70° , μέχρι και 50° σε βάθος 20 km και οριοθετεί τις Τεταρτογενείς αποθέσεις της λεκάνης του Ανθεμούντα στα βόρεια, με τις Νεογενείς αποθέσεις στα νότια της λεκάνης.

Εξαιτίας της διάβρωσης σε συνδυασμό με τους ανθρωπογενείς παράγοντες, το ρήγμα του Ανθεμούντα δεν έχει επιφανειακή εμφάνιση παρά μόνο σε μια θέση στον οικισμό του Γαλαρινού (Σχ. 8.3 και Σχ. 8.4) και σε Τεταρτογενείς αποθέσεις στον οικισμό των Ταγαράδων (Σχ. 8.5).

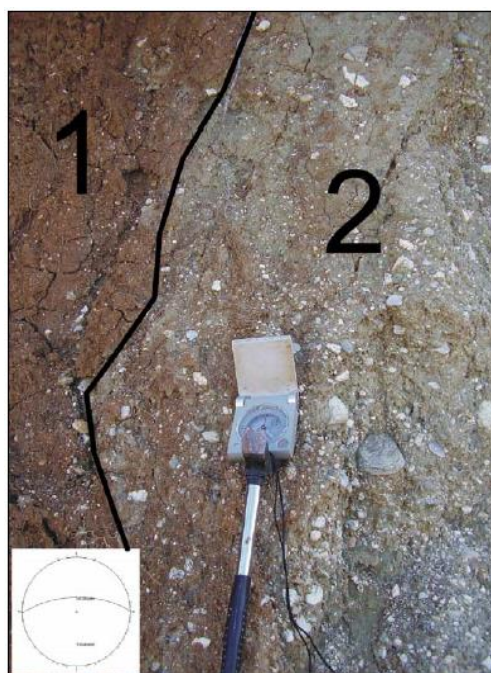


Σχήμα 8.3 Εμφάνιση του ρήγματος του Ανθεμούντα στον οικισμό του Γαλαρινού. 1. Η ρηξιγενής επιφάνεια μέσα στα οφειολιθικά πετρώματα και 2. Τεκτονικό λατυποπαγές που σχηματίστηκε κατά τη δημιουργία του ρήγματος (Ζερβοπούλου, 2010).



Σχήμα 8.4 Επιφάνεια του ρήγματος του Ανθεμούντα στην περιοχή του Γαλαρινού μέσα στους οφειόλιθους (Ζερβοπούλου, 2010). Διακρίνεται η γραμμωση ολίσθησης κατά μήκος της οποίας μετρήθηκε η γωνία pitch.

Σχήμα 8.5 Επιφάνεια του ρήγματος του Ανθεμούντα μέσα στα ιζήματα στην περιοχή των Ταγαράδων. 1. Ερυθρές άργιλοι (Νεογενές), 2. Πρόσφατα πλευρικά κορήματα (Ζερβοπούλου, 2010).

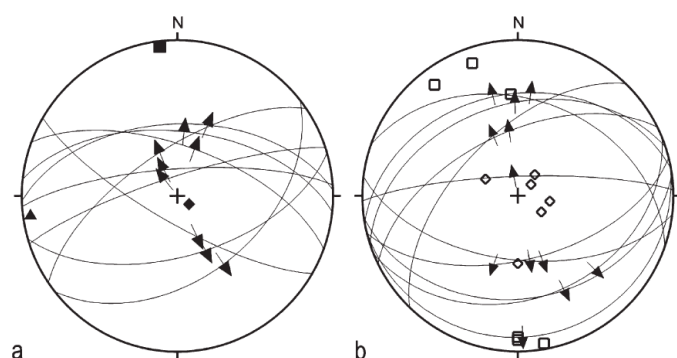


Έπειτα από μέτρηση της επιφάνειας του ρήγματος στον οικισμό του Γαλαρινού (Ζερβοπούλου, 2010), προκύπτει πως αυτό έχει στοιχεία $003^\circ/60^\circ$ CLAR ή $093^\circ/60^\circ$ B, ενώ έγινε και υπολογισμός της γωνίας *pitch* με στοιχεία 50° ΔΒΔ. Όπως προκύπτει από την τιμή αυτή, το ρήγμα διαθέτει επιπλέον μια αριστερόστροφη συνιστώσα με αποτέλεσμα να χαρακτηρίζεται πλαγκιοκανονικό.

Επιπλέον δεδομένα που εξήχθησαν από την μελέτη της κινηματικής του ρήγματος του Ανθεμούντα, δηλώνουν ένα εκτατικό καθεστώς με τον άξονα σ_3 της μέγιστης έκτασης να έχει διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ. Τα δεδομένα αυτά είναι σύμφωνα με τη διεύθυνση των αξόνων, όπως αυτοί καθορίστηκαν με βάση τη μελέτη μικροσεισμών κατά μήκος της ρηξιγενούς ζώνης.

Ένας σημαντικός αριθμός σεισμών μικρού μεγέθους που έχουν καταγραφεί κατά μήκος της ζώνης αυτής, δηλώνουν γεωμετρία και κινηματική παρόμοια με την αυτήν της τελευταίας κίνησης του ρήγματος του Ανθεμούντα (Σχ. 8.6). Το γεγονός αυτό συνηγορεί στην άποψη ότι το ρήγμα του Ανθεμούντα θα πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη στην εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας της πόλης της Θεσσαλονίκης, αν και σύμφωνα με τη βάση δεδομένων του σεισμολογικού δικτύου, κατά μήκος του ρήγματος αυτού, δεν υπάρχει αξιοσημείωτη σεισμική δραστηριότητα.

Εξαίρεση ίσως αποτελεί ο σεισμός του 1759 με μέγεθος $M \sim 6.5$ ο οποίος φαίνεται πως κατέστρεψε ένα μεγάλο τμήμα της Θεσσαλονίκης (Papazachos & Papazachou, 2003), και πιθανόν οφείλεται σε δραστηριοποίηση του τμήματος που βρίσκεται μέσα στον Θερμαϊκό κόλπο. Σε κάθε περίπτωση οι πληροφορίες είναι περιορισμένες και η αβεβαιότητα για τη δραστηριοποίηση του τμήματος αυτού μεγάλη. Το συνολικό άλμα του γεωλογικού ρήγματος κατά την διάρκεια του Τεταρτογενούς με βάση ιζηματολογικές ενδείξεις στην ηπειρωτική κοιλάδα, υπολογίζεται στα 200 m (Μουντράκης et al. 1997).



Σχήμα 8.6 α) Στερεογραφική προβολή από δεδομένα της τελευταίας κίνησης της ρηξιγενούς ζώνης του Ανθεμούντα και υπολογισμός των αξόνων $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ με το πρόγραμμα Duyster (1999). σ_1 (◆) = $126^\circ - 82^\circ$, σ_2 (▲) = $263^\circ - 05^\circ$ και σ_3 (■) = $353^\circ - 04^\circ$, β) Στερεογραφική

προβολή από δεδομένα των μικροσεισμών που έλαβαν χώρα κατά μήκος του δυτικού τμήματος του ρήγματος του Ανθεμούντα (Mountrakis et al., 2006). Διακρίνεται στα δύο σχήματα α) και β) η παρόμοια γεωμετρία και κινηματική.

Ανάλογα με την παράταξη του ρήγματος, το είδος των σχηματισμών που αυτό διαπερνά και την υποθετική του επέκταση στον Θερμαϊκό κόλπο, το ρήγμα του Ανθεμούντα χωρίζεται σε τρία επιμέρους τμήματα. Το πρώτο τμήμα εκτείνεται από τον οικισμό του Γαλαρινού ως το Ν. Ρύσιο, το δεύτερο τμήμα εκτείνεται από το Ν. Ρύσιο μέχρι το Αγγελοχώρι και το τρίτο τμήμα αποτελεί την υποθετική προέκταση στην θαλάσσια περιοχή του Θερμαϊκού κόλπου (Σχ. 8.7). Στη συνέχεια, το δεύτερο τμήμα (Ν. Ρύσιο-Αγγελοχώρι) χωρίζεται επιπλέον σε τρία υποτμήματα τα οποία αναλύονται παρακάτω.



Σχήμα 8.7 Τμηματοποίηση του ρήγματος του Ανθεμούντα (Ζερβοπούλου, 2010).

1^ο τμήμα: Γαλαρινός-Ν. Ρύσιο

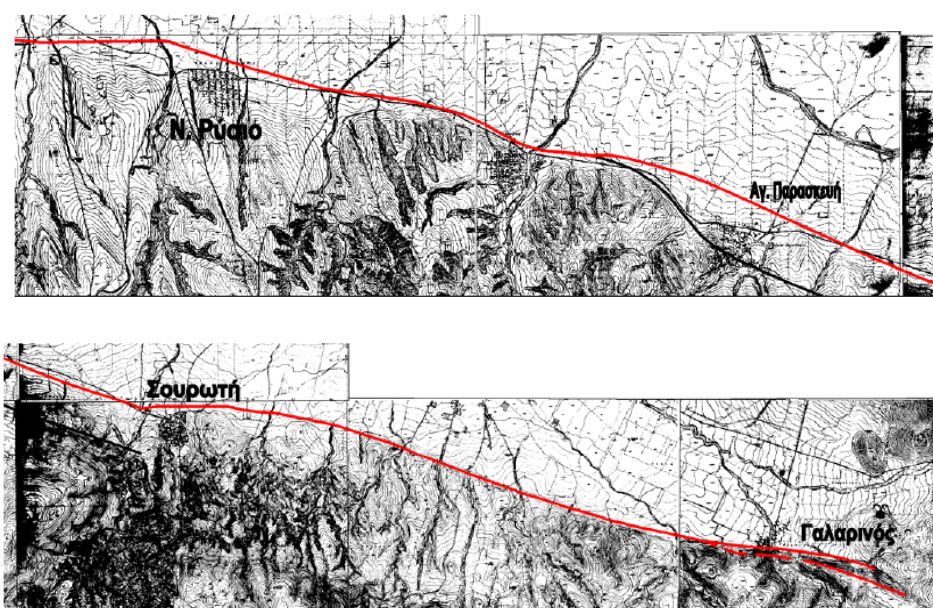
Το τμήμα αυτό έχει διεύθυνση $B100^{\circ}-110^{\circ}$ και μήκος περίπου 17 km. Ο κύριος λόγος διάκρισής του από το δεύτερο τμήμα είναι η αλλαγή διεύθυνσης σε αυτό (από $B100^{\circ}-110^{\circ}$ σε $B90^{\circ}$). Αποτελεί όριο, βόρεια του οποίου βρίσκονται τα Πλειστοκαινικά και Ολοκαινικά ιζήματα της λεκάνης του Ανθεμούντα, και νότια τα Νεογενή ιζήματα και το υπόβαθρο της περιοχής. Στο τμήμα αυτό του ρήγματος εμφανίζονται οι τραβερτινικές αποθέσεις δυτικότερα στην περιοχή της Αγ. Παρασκευής (Σχ. 8.8) και οι πηγές της Σουρωτής (Σχ. 8.9). Η διεύθυνση των πηγών και των τραβερτινικών αποθέσεων είναι περίπου παράλληλη με την διεύθυνση του τμήματος αυτού (ΔΒΔ-ΑΝΑ) του ρήγματος. Επιπλέον, το τμήμα αυτό παρουσιάζει έντονη μορφολογία και ρέματα με έντονη χαραδρωτική διάβρωση όπως φαίνεται στο Σχήμα 8.10.



Σχήμα 8.8 Τραβερτινικές αποθέσεις στην περιοχή της Αγ. Παρασκευής (Ζερβοπούλου, 2010).



Σχήμα 8.9 Γεωλογική τομή που δείχνει την εικόνα του ρήγματος του Ανθεμούντα στην περιοχή της Σουρωτής. 1: Πλειστοκαινικές αποθέσεις, 2: Νεογενείς αποθέσεις, 3: Ασβεστόλιθοι του Ιουρασικού (ζώνη Παιονίας), 4: Ρήγμα κανονικό (Μουντράκης et al. 1995).



Σχήμα 8.10 Χαρτογράφηση του πρώτου τμήματος (Γαλαρινός-Ν. Ρύσιο) του ρήγματος του Ανθεμούντα σε χάρτες ΓΥΣ (κλίμακα 1:5.000, 1980) όπου διακρίνεται η απότομη αλλαγή της μορφολογίας εκατέρωθεν του ρήγματος (Ζερβοπούλου, 2010).

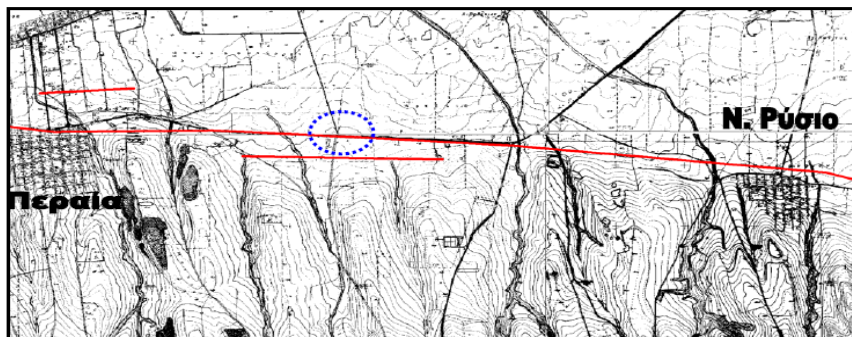


Σχήμα 8.11 Άποψη του ρήγματος και της κοιλάδας του Ανθεμούντα από την περιοχή της Σουρωτής προς το Ν. Ρύσιο (Ζερβοπούλου, 2010).

Το τμήμα αυτό έχει μήκος περίπου 15 km και διεύθυνση Α-Δ (παράταξη Β90°). Εμφανής είναι και εδώ η απότομη μορφολογία του άνω τεμάχους του ρήγματος, με μεγάλα ύψη πρανών και κάθετες κλίσεις. Ενδεικτικά αναφέρεται για την περιοχή του Αγγελοχωρίου ότι το ύψος των πρανών της Ψαμμιτομαργαϊκής σειράς φτάνει τα 50 m, ενώ η κλίση τους υπερβαίνει τις 55°. Αντίθετα, το κάτω τέμαχος εμφανίζεται ιδιαίτερα ομαλό μέχρι την παράκτια ζώνη, ενώ στην περιοχή του Αγγελοχωρίου εμφανίζεται με 0-2 m πλάτους ακτής. Το δεύτερο αυτό τμήμα του ρήγματος του Ανθεμούντα υποδιαιρείται περαιτέρω σε τρία υποτμήματα με βάση τη θέση τους και τις ιδιαίτερες συνθήκες της εκάστοτε περιοχής. Η διαίρεση αυτή αποσκοπεί στην ευκολότερη μελέτη του ρήγματος. Τα υποτμήματα στα οποία χωρίζεται το δεύτερο τμήμα του ρήγματος Ανθεμούντα είναι τα παρακάτω:

i. Υποτμήμα Ν. Ρυσίου-Περαίας

Διασχίζει την Εθνική Οδό Θεσσαλονίκης-Ν. Μουδανιών. Εμφανίζει έντονη μορφολογία, όμως το ίχνος του δεν είναι ορατό, αφενός λόγω του ότι βρίσκεται μέσα σε ιζήματα και αφετέρου λόγω της έντονης δόμησης κατά μήκος του. Για το λόγο αυτό δεν μπορούν να γίνουν μετρήσεις της επιφάνειάς του.



Σχήμα 8.12 Τμήμα χαρτών ΓΥΣ (1:5.000) όπου διακρίνεται το πρώτο υποτμήμα Ν. Ρυσίου-Περαίας (Ζερβοπούλου, 2010).

ii. Υποτμήμα Περαίας-Αγ. Τριάδας.

Το υποτμήμα αυτό με μήκος περίπου 5,5 km, εκτείνεται στον Δήμο Θερμαϊκού, μια περιοχή έντονης δόμησης, που παράλληλα αποτελεί σήμερα την περιοχή επέκτασης της πόλης της Θεσσαλονίκης. Κατά συνέπεια, η μελέτη του υποτμήματος αυτού είναι πολύ σημαντική. Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, στην περιοχή της Περαίας, είχαμε και την εμφάνιση των ρωγμών σε σεισμικής ολίσθησης κατά τα έτη 2005-2006, οι

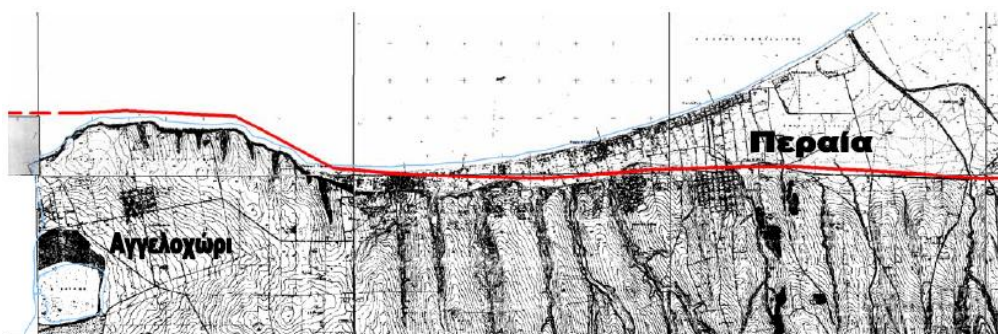
οποίες συνδέονται με το τμήμα αυτό του ρήγματος και πιθανόν με μια δραστηριοποίησή του.



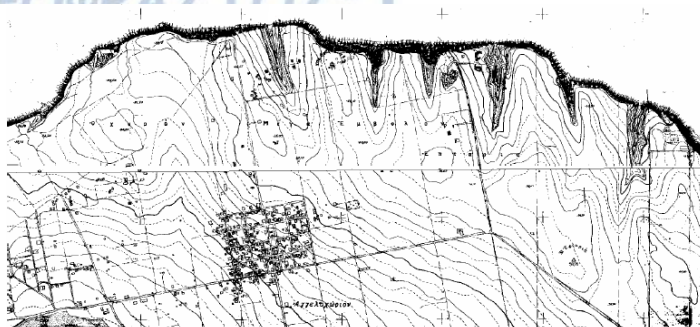
Σχήμα 8.13 Τμήμα χαρτών ΓΥΣ (1:5.000) όπου διακρίνεται το δεύτερο υποτμήμα Περαίας-Αγ. Τριάδας (Ζερβοπούλου, 2010).

iii. Υποτμήμα Αγγελοχωρίου

Εντοπίζεται μέσα στον θαλάσσιο χώρο του Θερμαϊκού κόλπου, παράλληλα στις ακτές του Αγγελοχωρίου. Στο υποτμήμα αυτό παρατηρείται τοπικά αλλαγή της διεύθυνσης του από Α-Δ σε ΒΔ-ΝΑ και έπειτα το ρήγμα συνεχίζει στην αρχική του διεύθυνση στην περιοχή του Αγγελοχωρίου (Σχ. 8.14), όμως πάλι μέσα στο θαλάσσιο χώρο και σε απόσταση περίπου 200 m από την ακτή. Η περιοχή αυτή εμφανίζεται ως η πλέον ενεργή με κάθετα πρηνή μεγάλου ύψους, έντονη μορφολογία σχήματος V των ρεμάτων 1^{ης} τάξης που καταλήγουν στην ακτή και υδρογραφικό δίκτυο στο στάδιο νεότητας (Σχ. 8.15).



Σχήμα 8.14 Τμήμα χαρτών ΓΥΣ (1:5.000) με το υποτμήμα του Αγγελοχωρίου του ρήγματος Ανθεμούνα, όπου διακρίνεται και η αλλαγή της διεύθυνσης του ρήγματος από Α-Δ σε ΒΔ-ΝΑ και έπειτα πάλι στην αρχική του διεύθυνση μέσα στο θαλάσσιο χώρο του Θερμαϊκού κόλπου (Ζερβοπούλου, 2010).



Σχήμα 8.15 Τμήμα χάρτη ΓΥΣ της περιοχής Αγγελοχωρίου, όπου διακρίνονται οι απότομες κλίσεις των πρανών με έντονο μαύρο χρώμα (Ζερβοπούλου, 2010).

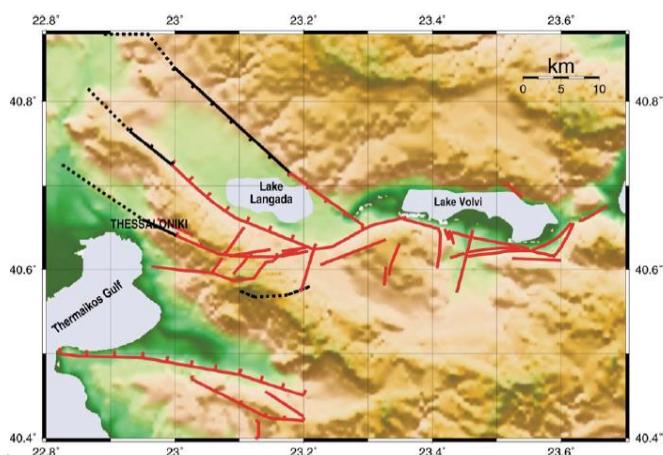
3^ο τμήμα: Αγγελοχώρι-Θερμαϊκός κόλπος

Αποτελεί ένα υποθετικό τμήμα στον θαλάσσιο χώρο του Θερμαϊκού κόλπου με πιθανό μήκος 3 km και διεύθυνση Α-Δ (παράταξη Β90°). Επειδή το ρήγμα εκτείνεται υποθαλάσσια, η μελέτη του μπορεί να γίνει με τη διενέργεια γεωφυσικών διασκοπήσεων.

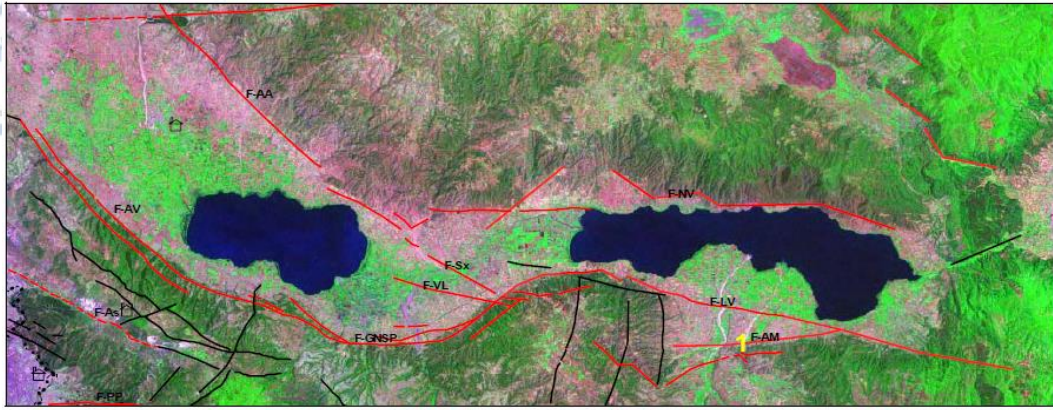
❖ **Ρήγμα Γερακαρούς-Νικομηδινού-Στίβου-Περιστερώννα (F-GNSP)**

Το τεκτονικό βύθισμα της Μυγδονίας

Η λεκάνη της Μυγδονίας αποτελεί ένα επίμηκες τεκτονικό βύθισμα διεύθυνσης Α-Δ έως ΒΔ-ΝΑ. Στο εσωτερικό της λεκάνης αυτής εντοπίζονται σήμερα οι λίμνες Βόλβης και Λαγκαδά, υπολείμματα της μεγαλύτερης Μυγδονίας λίμνης η οποία λειτούργησε στη διάρκεια του Πλειοκαίνου. Ο σχηματισμός της λεκάνης αυτής οφείλεται στη δράση εφελκυστικών τάσεων κυρίως κατά την περίοδο του Τεταρτογενούς, οι οποίες δημιούργησαν τα περιφερειακά ρήγματα τα οποία οριοθετούν τη λεκάνη και θεωρούνται σεισμικά ενεργά (Σχ. 8.16 και Σχ. 8.17). Πιο συγκεκριμένα, υπαίθριες μελέτες και σεισμοτεκτονικές μετρήσεις συνηγορούν στην άποψη ότι η λεκάνη της Μυγδονίας αποτελεί μια στενή διερρηγμένη ενεργή ζώνη στο εσωτερικό της Σερβομακεδονικής μάζας, που σχετίζεται με μια έντονη σεισμική δραστηριότητα ειδικά στο παρόντα αιώνα (Βαμβακάρης, 2004).



Σχήμα 8.16 Μορφολογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής της Μυγδονίας λεκάνης όπου απεικονίζονται τα σημαντικότερα ρήγματα. Με κόκκινες γραμμές εμφανίζονται τα κύρια ρήγματα, με μαύρες συνεχείς γραμμές οι προεκτάσεις των κύριων ρηγμάτων και με μαύρες διακεκομμένες γραμμές, οι πιθανές προεκτάσεις αυτών (Τρανός 1998, Tranos et al. 2003).



Σχήμα 8.17 Δορυφορική εικόνα των ρηγμάτων της Μυγδονίας λεκάνης. Με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται τα ενεργά ρήγματα (Ζερβοπούλου, 2010).

Το ρήγμα Γερακαρούς-Νικομηδινού-Στίβου-Περιστερώννα

Ένα από τα ρήγματα που εντάσσεται στην ομάδα των ρηξιγενών δομών της Μυγδονίας λεκάνης, είναι το ρήγμα Γερακαρούς-Νικομηδινού-Στίβου-Περιστερώννα. Το ρήγμα αυτό, εντοπίζεται ανατολικά της πόλης της Θεσσαλονίκης σε απόσταση περίπου 28 km, ενώ αν και η απόσταση από το πολεοδομικό συγκρότημα είναι σχετικά μεγάλη, μελετάται στην εργασία αυτή κυρίως λόγω της σύνδεσής του με τον καταστροφικό σεισμό που έπληξε την πόλη της Θεσσαλονίκης τον Ιούνιο του 1978.

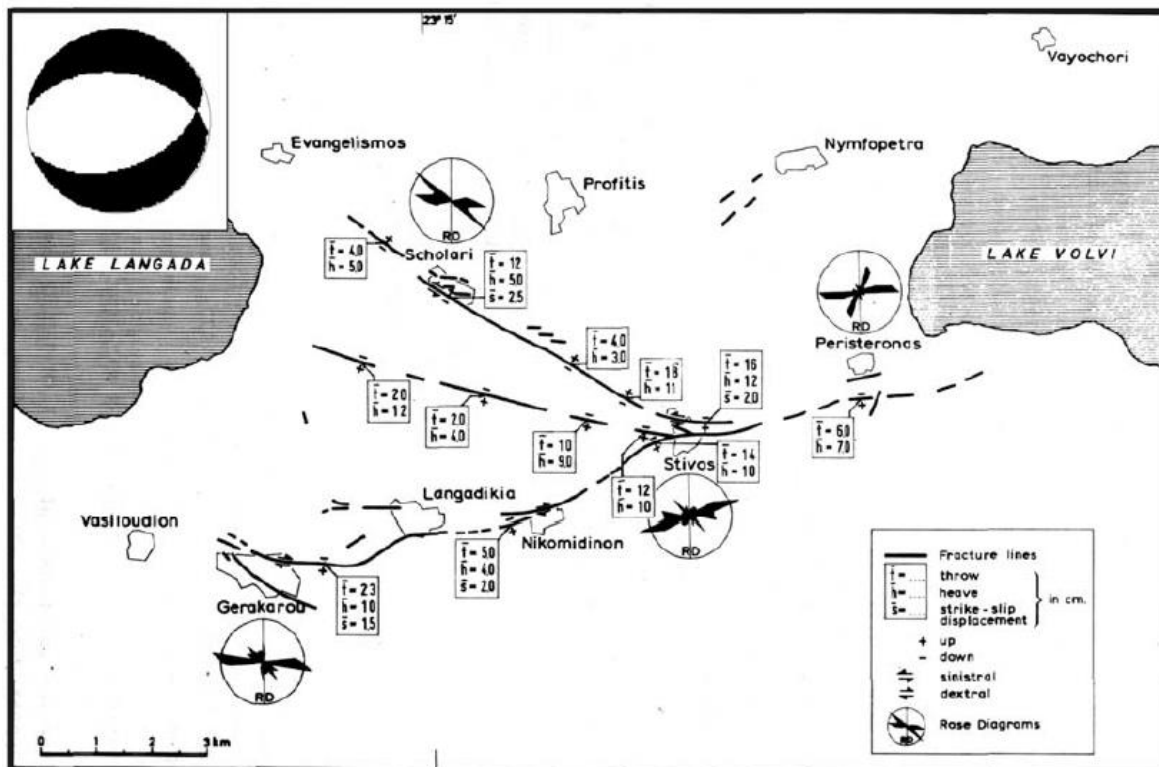
Χαρακτηρίζεται ως κανονικό ρήγμα με ορατό μήκος 12 km, παράταξη $B70^{\circ}-80^{\circ}$ (περίπου Α-Δ) αν και κατά θέσεις παίρνει διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ και ΑΒΑ-ΔΝΔ. Η κλίση του είναι 70° προς βορρά, όμως μειώνεται στις 35° σε βάθος περίπου 10 km. Η γεωμετρία αυτή που εμφανίζει, με την μείωση της γωνίας κλίσης με το βάθος, χαρακτηρίζεται ως λιστρική (listric fault), ενώ παράλληλα εμφανίζει και μια κλιμακωτή γεωμετρία ως προς το κέντρο της λεκάνης.

Αποτελεί το όριο μεταξύ των σχηματισμών του υποβάθρου με τις Νεογενείς και Τεταρτογενείς αποθέσεις αλλά και μεταξύ των δύο τελευταίων (Μουντράκης et al. 1995). Το συνολικό γεωλογικό άλμα του ρήγματος κατά το Τεταρτογενές, με βάση ιζηματολογικές ενδείξεις, είναι 250 m. Συγκεκριμένα, ο ρυθμός ολίσθησης κυμαίνεται μεταξύ 0.06-0.7 mm/yr κατά τη διάρκεια Άνω Πλειστόκαινου-Ολόκαινου (Chatzipetros, 1998).

Το ρήγμα είναι ευδιάκριτο σε δορυφορικές εικόνες και αεροφωτογραφίες, ενώ είναι ορατό και σε πολλές θέσεις στο πεδίο, αν και οι κατοπτρικές επιφάνειές του δεν είναι πολλές, εξαιτίας της διάβρωσης των ιζημάτων στα οποία εμφανίζεται. Εκτός από τον κύριο κλάδο του ρήγματος

εμφανίζονται και δύο ακόμα κλάδοι παρόμοιας γεωμετρίας με τον κύριο, μέσα σε Πλειστοκαινικά ιζήματα.

Με τη σεισμική δράση του 1978 δημιουργήθηκαν επιφανειακά ίχνη του ρήγματος σε μήκος 15-18 km περίπου (Papazachos et al. 1979a, b). Το μέγιστο επιφανειακό άλμα ήταν 23 cm στο χωριό Γερακαρού και 14 cm στο χωριό Στίβος (Σχ. 8.18).



Σχήμα 8.18 Το σεισμικό ρήγμα Γερακαρούς-Νικομηδινού-Στίβου-Περιστερώννα και οι σεισμικές διαρρήξεις που προκλήθηκαν με το σεισμό της Θεσσαλονίκης το 1978 (Papazachos et al. 1979a). Πάνω αριστερά διακρίνεται ο μηχανισμός γένεσης του σεισμού της 20^{ης} Ιουνίου 1978 (Soufleris & Stewart, 1981).

❖ Ρήγμα Πυλαίας-Πανοράματος (F-PP)

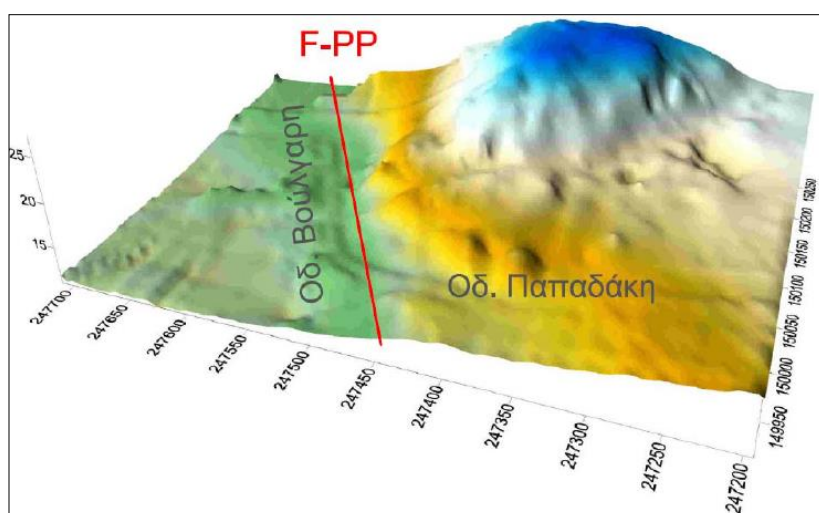
Το ρήγμα Πυλαίας-Πανοράματος είναι ένα ιδιαίτερης σημασίας νεοτεκτονικό ρήγμα που διασχίζει τον αστικό ιστό της Θεσσαλονίκης, με σημαντικό μήκος και συγκαταλέγεται στα ενεργά ρήγματα για τους παρακάτω λόγους: Έχει διεύθυνση Α-Δ, προσανατολισμένη στο σύγχρονο εντατικό πεδίο, οριοθετεί διαφορετικής ηλικίας σχηματισμούς, χαρακτηρίζεται από έντονη μορφολογία με απότομα πρηνή στην περιοχή του Πανοράματος, όπως και στο ύψωμα της οδού Βούλγαρη εντός του πολεοδομικού συγκροτήματος, επηρεάζει το υδρογραφικό δίκτυο

Χωρίζεται σε 4 τμήματα κυρίως λόγω μεταβολής των γεωλογικών συνθηκών (Σχ. 8.20). Το πρώτο τμήμα (1), με παράταξη Β100°, εμφανίζεται μέσα στο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο. Το δεύτερο τμήμα (2) εμφανίζεται κατά μήκος του Πανοράματος, παράλληλα στο υδρογραφικό δίκτυο, έχει διεύθυνση Α-Δ και οριοθετεί την σειρά των Ερυθρών Αργίλων με το υπόβαθρο. Το τρίτο τμήμα (3) διασχίζει την σειρά των Ερυθρών Αργίλων νότια της Πυλαίας, προς την πόλη της Θεσσαλονίκης. Τέλος, το τέταρτο τμήμα (0) είναι η επέκταση του ρήγματος μέσα στο πολεοδομικό συγκρότημα που εντοπίστηκε από τις γεωτρήσεις του Μετρό Θεσσαλονίκης. Το τμήμα αυτό οριοθετεί την Ψαμμιτομαργαϊκή Σειρά με τις Τεταρτογενείς αποθέσεις.



Σχήμα 8.20 Το ρήγμα Πυλαίας-Πανοράματος και τα διάφορα τμήματα (segments) στα οποία αυτό έχει χωριστεί (Ζερβοπούλου, 2010).

Το ρήγμα εμφανίζει έντονη μορφολογία και απότομα πρανή σε όλο το μήκος του, εκτός από την οικιστική περιοχή, μετά την οδό Βούλγαρη, όπου δεν έχει επιφανειακή εμφάνιση λόγω έντονης δόμησης. Παρόλα αυτά είναι ορατή η ανύψωση της περιοχής νότια της οδού Βούλγαρη και η μεταβολή της σε λοφώδη περιοχή (Σχ. 8.21 και Σχ. 8.22).



Σχήμα 8.21 Συμβολή των οδών Βούλγαρη και Παπαδάκη όπου διακρίνεται η έντονη μορφολογία και η ταπείνωση της περιοχής βόρεια (αριστερά) του ρήγματος (Ζερβοπούλου, 2010).



Σχήμα 8.22 Απότομο πρανές στην οδό Δ. Γλυνού (Ζερβοπούλου, 2010).

❖ **Ρήγμα Αγχιάλου-N. Μεσημβρίας (F-MA)**

Βρίσκεται νότια της Αγχιάλου, 17 km βόρεια και βορειοανατολικά του κέντρου της Θεσσαλονίκης. Είναι κανονικό ρήγμα, διεύθυνσης Α-Δ (παράταξη B80°), με κλίση 50°-80° νότια και μήκος περίπου 8 km. Βρίσκεται στο όριο των Μειοκαινικών και Ολοκαινικών αποθέσεων και πιθανά επεκτείνεται στις Ολοκαινικές αποθέσεις του ποταμού Αξιού στα δυτικά. Το ίχνος του δεν είναι ορατό στην επιφάνεια, ούτε σε δορυφορικές εικόνες και αεροφωτογραφίες λόγω της αυξημένης οικιστικής και γεωργικής ανάπτυξης.

Χαρακτηρίζεται ως ενεργό ρήγμα αφού έχει διεύθυνση προσανατολισμένη στο σύγχρονο πεδίο των τάσεων, επηρεάζει σύγχρονα ιζήματα και παρουσιάζει σεισμικότητα, με τον σεισμό της Ν. Μεσημβρίας ($M_w=5.7$, Οκτώβριος 2003), να συνδέεται πιθανά με το εν λόγω ρήγμα, ενώ ταυτόχρονα στην περιοχή συνεχίζει να παρατηρείται μικροσεισμικότητα, με τον σεισμό της Σίνδου ($M_i=3.4$, Οκτώβριος 2009) και έκτοτε μικρότερα μεγέθη ($M_i=2.0-2.6$).

8.1.2. Πιθανά ενεργά ρήγματα

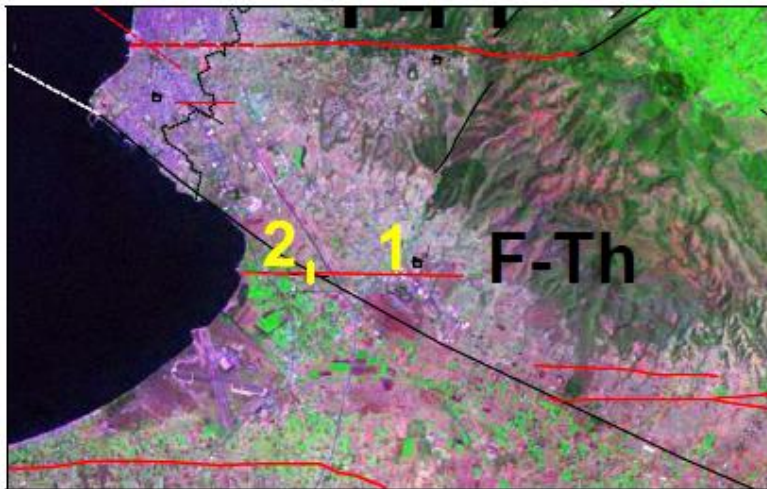
Στη συνέχεια αναλύονται τα ρήγματα της ευρύτερης περιοχής του πολεοδομικού συγκροτήματος Θεσσαλονίκης που χαρακτηρίζονται ως πιθανά ενεργά και δίνονται τα κυριότερα χαρακτηριστικά τους.

❖ **Ρήγμα Θέρμης-Αεροδρομίου (F-Th)**

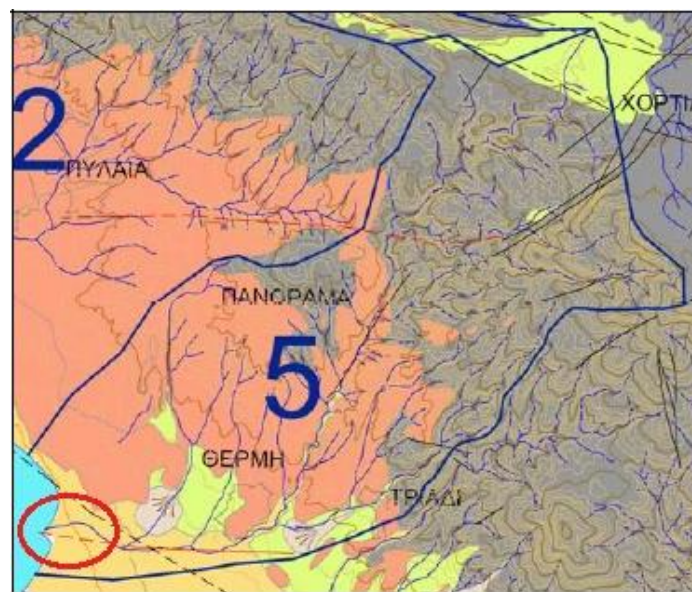
Το ρήγμα της Θέρμης με διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ (παράταξη B115°) και κλίση 70°-80° προς νότο, βρίσκεται 10 km νότια της πόλης της Θεσσαλονίκης. Χαρακτηρίζεται πιθανά ενεργό διότι βρίσκεται προσανατολισμένο, αν και όχι απόλυτα, στο σύγχρονο πεδίο των τάσεων, βρίσκεται στο όριο των Νεογενών με τους Τεταρτογενείς σχηματισμούς της λεκάνης του Ανθεμούντα, ενώ παρουσιάζει μετατόπιση και μέσα στα σύγχρονα ιζήματα. Επιπλέον, το δεύτερο τμήμα του επηρεάζει εμφανώς την ακτογραμμή και τέλος, επηρεάζει το υδρογραφικό δίκτυο το οποίο παρουσιάζει μεταβολή κατά μήκος του ρήγματος.

Χωρίζεται σε δύο τμήματα (Σχ. 8.23) από τα οποία το πρώτο αποτελεί όριο μεταξύ Νεογενών και Τεταρτογενών σχηματισμών, ενώ το δεύτερο διασχίζει σε όλο το μήκος του πρόσφατες επιχώσεις. Η ανίχνευση του δεύτερου τμήματος έγινε μέσω της μεθόδου της σεισμικής ανάκλασης στην περιοχή του Αεροδρομίου (Δημητρόπουλος Κ., 1999). Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως το τμήμα αυτό, στο δυτικό όριό του, φαίνεται πως επηρεάζει την ακτογραμμή

δημιουργώντας μια χερσαία προεξοχή μέσα στη θαλάσσια περιοχή του Θερμαϊκού κόλπου (Σχ. 8.24).



Σχήμα 8.23 Το ρήγμα Θέρμης-Αεροδρομίου και τα δύο τμήματα στα οποία αυτό χωρίζεται (Ζερβοπούλου, 2010).



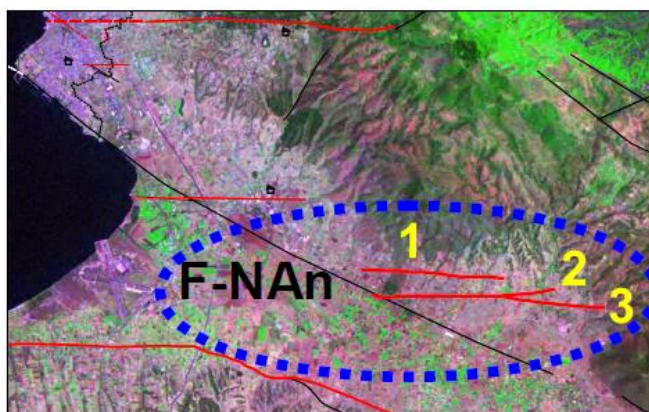
Σχήμα 8.24 Τμήμα γεωλογικού χάρτη όπου διακρίνεται το ρήγμα της Θέρμης. Στο κάτω αριστερό τμήμα του σχήματος φαίνεται η μετατόπιση της ακτογραμμής εξαιτίας του ρήγματος (Ζερβοπούλου, 2010).

❖ Ρήγματα Βόρειου Ανθεμούντα (F-NAn)

Η ρηξιγενής ζώνη του Βόρειου Ανθεμούντα, βρίσκεται νότια και νοτιοανατολικά της πόλης της Θεσσαλονίκης σε απόσταση 7 έως και 20 km. Τα ρήγματα που αποτελούν τη ζώνη αυτή χωρίζονται σε δύο ομάδες (Σχ. 8.25):

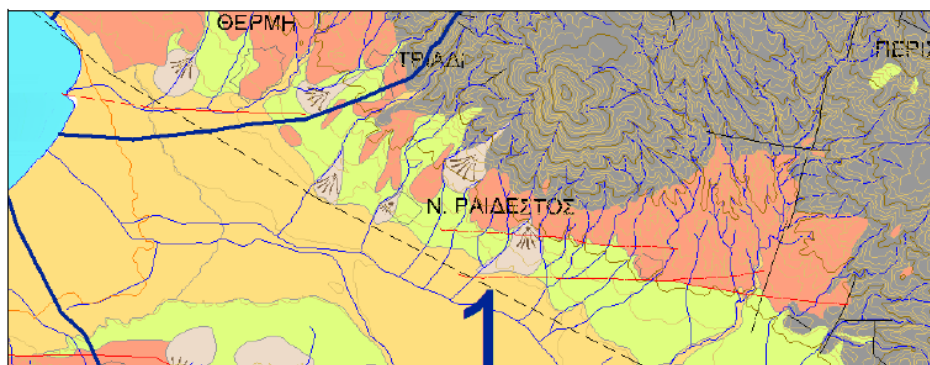
α) Στο βόρειο όριο της λεκάνης του Ανθεμούντα, διακρίνεται μια ενιαία γραμμή ρήγματος διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ, συνολικού μήκους 20 km, με πιθανή επέκταση επιπλέον 8 km στο θαλάσσιο χώρο του Θερμαϊκού, ακολουθώντας την ίδια διεύθυνση. Παρόλο το μεγάλο μήκος της, θεωρείται πως ανήκει στις παλιές δομές, κυρίως λόγω της διεύθυνσής της που δεν συμπίπτει με το σύγχρονο πεδίο των τάσεων.

β) Η δεύτερη ομάδα ρηγμάτων αποτελείται από τρία σχεδόν παράλληλα μεταξύ τους ρήγματα, διεύθυνσης Α-Δ (παρατάξεις $B90^{\circ}$ - 110°) που κλίνουν προς τα νότια και από τα οποία το πρώτο έχει μήκος 5 km, το δεύτερο 6 km και το τρίτο 3 km.



Σχήμα 8.25 Τα ρήγματα του Βόρειου Ανθεμούντα. Με μαύρη γραμμή απεικονίζεται το ρήγμα ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης άγνωστης ενεργότητας, βόρειο όριο της λεκάνης του Ανθεμούντα και με κόκκινο χρώμα τα τρία πιθανά ενεργά ρήγματα (Ζερβοπούλου, 2010).

Τα ρήγματα της δεύτερης ομάδας θεωρούνται πιθανά ενεργά γιατί έχουν προσανατολισμό που συμφωνεί με το σύγχρονο πεδίο των τάσεων και βρίσκονται σε επαφή με πρόσφατα ιζήματα και αλλουβιακά ριπίδια (κατά μήκος του πρώτου και δεύτερου ρήγματος υπάρχει εμφάνιση αλλουβιακών ριπιδίων, Σχ. 8.26).



Σχήμα 8.26 Τμήμα γεωλογικού χάρτη όπου διακρίνονται τα ρήγματα Βόρειου Ανθεμούντα και οι σχηματισμοί που αυτά οριοθετούν (Ζερβοπούλου, 2010).

❖ **Ρήγμα Ασβεστοχωρίου (F-As)**

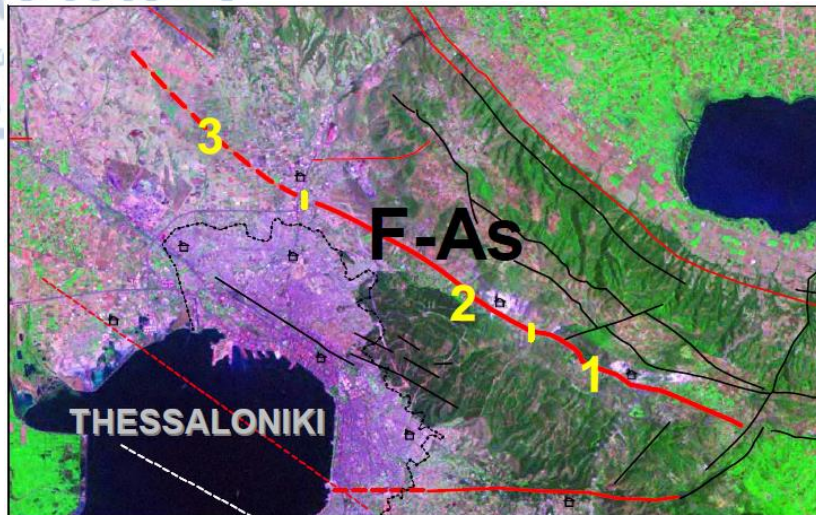
Το ίχνος του εντοπίζεται βόρεια και βορειοανατολικά της πόλης της Θεσσαλονίκης σε απόσταση περίπου 6 km, κατά μήκος της κοιλάδας του Ασβεστοχωρίου. Έχει γενική διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ (παράταξη $B98^{\circ}-120^{\circ}$), μετάπτωση προς τα ΒΑ και γωνία κλίσης $55^{\circ}-80^{\circ}$. Είναι κανονικό ρήγμα, με χαρακτηριστική αριστερόστροφη συνιστώσα κίνησης, σύμφωνη με την κινηματική των ρηγμάτων της ίδιας διεύθυνσης στην περιοχή.

Επηρεάζει κυρίως τους φυλλίτες και τους ασβεστόλιθους της Περιοδοπικής ζώνης αλλά εμφανίζεται και στα Μειοκαινικά και Πλειστοκαινικά ιζήματα. Παράλληλα στο ρήγμα δημιουργείται μια κοιλάδα με βάθος 70 m (Tranos et al., 2003), που δημιουργεί έντονο μορφοανάγλυφο με αποτέλεσμα την εύκολη διάκριση του ρήγματος σε δορυφορικές εικόνες.

Το ρήγμα αναφέρεται ως πιθανά ενεργό αφού η διεύθυνσή του συμπίπτει με το παλαιότερο Πλειοκαινικό εντατικό πεδίο και όχι το σύγχρονο, από την άλλη πλευρά όμως επηρεάζει άμεσα το μορφοανάγλυφο όπως επίσης και το υδρογραφικό δίκτυο, αφού κατά μήκος του ρέει ο Ξηροπόταμος. Επιπλέον, υπάρχουν στοιχεία για την επαναδραστηριοποίηση του ρήγματος κατά τον μεγάλο σεισμό του 1978, όμως δεν συνδέεται με κανέναν μεγάλο ιστορικό σεισμό, παρά μόνο με μικροσεισμούς που συμβαίνουν στην ευρύτερη περιοχή.

Κατά τους σεισμολόγους, το ρήγμα θεωρείται ενεργό λόγω του ότι διασχίζει σύγχρονα ιζήματα, αλλά κυρίως εξαιτίας της πιθανής επαναδραστηριοποίησής του κατά τον σεισμό του 1978, όπου σε μια θέση του ρήγματος στην περιοχή της Πολίχνης και μέσα σε Τεταρτογενείς αποθέσεις, δημιουργήθηκε κατά τον σεισμό μια ρωγμή πλάτους 1-2 cm και παρατηρήθηκε μετατόπιση 10 cm.

Το ίχνος του ρήγματος εκτείνεται με μια ιδιαίτερα ευθύγραμμη ανάπτυξη σε μήκος 10 km, υπάρχουν όμως πληροφορίες και για περαιτέρω ανάπτυξη άλλων 7 km στις Πλειοκαινικές-Τεταρτογενείς αποθέσεις νότια της Ευκαρπίας και στην περιοχή της Ηλιούπολης. Λόγω αλλαγής της διεύθυνσής του και της λιθολογίας, χωρίζεται σε τρία τμήματα (Σχ. 8.27), από τα οποία το πρώτο (1), μήκους 3 km, εκτείνεται από τον Χορτιάτη μέχρι και το Ασβεστοχώρι, το δεύτερο (2), μήκους 7 km, φτάνει μέχρι την περιοχή της Ηλιούπολης, ενώ το τρίτο τμήμα (3), με πιθανό μήκος άλλα 7 km, αποτελεί την πιθανή προέκταση του ρήγματος προς τα δυτικά, στην πεδιάδα της Θεσσαλονίκης στην περιοχή της Ηλιούπολης.



Σχήμα 8.27 Το ρήγμα του Ασβεστοχωρίου και τα τρία τμήματα στα οποία αυτό χωρίζεται (Ζερβοπούλου, 2010).

Κατά μήκος του τρίτου τμήματος του ρήγματος Ασβεστοχωρίου και παράλληλα στην επέκταση αυτή, που οριοθετεί την Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά και αυτή των Ερυθρών Αργίλων, παρατηρήθηκαν φαινόμενα σεισμικής ολίσθησης, τα οποία όμως πιθανόν να οφείλονται σε φαινόμενα υπεραντλήσεων, παρά σε μια δραστηριοποίηση του ρήγματος. Επιπλέον, στην περιοχή των Πεύκων κάθετα στο ίχνος του ρήγματος, παρατηρήθηκαν προβλήματα κατολισθήσεων σε πρόσφατα ποταμοχειμάρια ιζήματα, ενώ παράλληλα στο ρέμα, στο οποίο παρατηρείται στροφή του κατά 90° , βρέθηκε επιφάνεια ρήγματος με στοιχεία $090^\circ/80^\circ$ B.

❖ Ρήγμα Ευκαρπίας (F-E)

Βρίσκεται στην περιοχή της Ευκαρπίας βόρεια της Θεσσαλονίκης σε απόσταση 6 km από το κέντρο της πόλης. Χωρίζεται σε δύο τμήματα (Σχ. 8.28), από τα οποία το πρώτο (1) έχει διεύθυνση Α-Δ (παράταξη $B90^\circ$), μετάπτωση προς βορρά, μήκος 2,5 km και βρίσκεται στο όριο του υποβάθρου και των πρόσφατων ιζημάτων κλάδου του Δενδροποτάμου. Το δεύτερο τμήμα (2) μήκους 1,2 km, διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ (παράταξη $B55^\circ$), με μετάπτωση προς τα βόρεια, διασχίζει εξολοκλήρου σχηματισμούς του υποβάθρου και για το λόγο αυτό, μαζί με το γεγονός ότι η διεύθυνσή του δεν συμπίπτει με το σύγχρονο εντατικό πεδίο, συγκαταλέγεται στις παλιές δομές άγνωστης ενεργότητας. Αντίθετα, το πρώτο τμήμα θεωρείται πιθανά ενεργό, αφού η διεύθυνση του προσανατολίζεται σύμφωνα με το σύγχρονο πεδίο των τάσεων, το τμήμα αυτό επηρεάζει το μορφοανάγλυφο όπως και το υδρογραφικό δίκτυο, όμως δεν υπάρχει σύνδεση του ρήγματος αυτού με κανέναν μεγάλο ιστορικό ή σύγχρονο σεισμό.



Σχήμα 8.28 Το ρήγμα της Ευκαρπίας και τα τμήματα στα οποία διακρίνεται, αποτυπωμένο σε χάρτη του Google Earth (Ζερβοπούλου, 2010).

❖ Ρήγμα Καλοχωρίου (F-K)

Βρίσκεται δυτικά της Θεσσαλονίκης σε απόσταση περίπου 7 km από το κέντρο της πόλης. Ο εντοπισμός του έγινε έπειτα από διενέργεια γεωφυσικών διασκοπήσεων στην πεδιάδα της Θεσσαλονίκης, στα όρια των προσχώσεων του Αξιού ποταμού με τα Νεογενή ιζήματα (Μουντράκης et al., 1995). Χαρακτηρίζεται ως κανονικό ρήγμα με διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ (παράταξη B110°), μετάπτωση προς τα ΝΝΑ και συνολικό μήκος που υπολογίζεται περίπου στα 6 km.

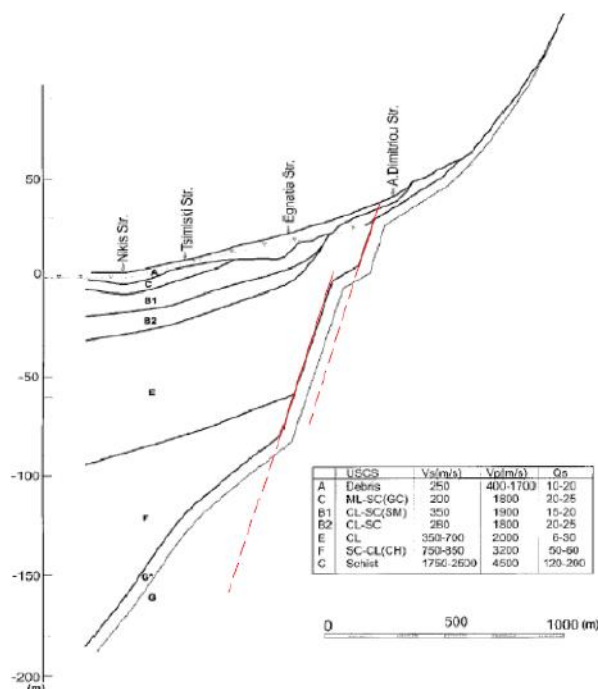
Το ρήγμα δεν είναι ορατό σε δορυφορικές εικόνες, ενώ προς το παρόν δεν υπάρχουν περισσότερα στοιχεία για αυτό, όμως θεωρείται πιθανά ενεργό γιατί αφενός έχει διεύθυνση σύμφωνη με το σύγχρονο πεδίο των τάσεων και αφετέρου γιατί διασχίζει σύγχρονα ιζήματα.

8.1.3. Ρήγματα άγνωστης ενεργότητας Πολεοδομικού Συγκροτήματος Θεσσαλονίκης

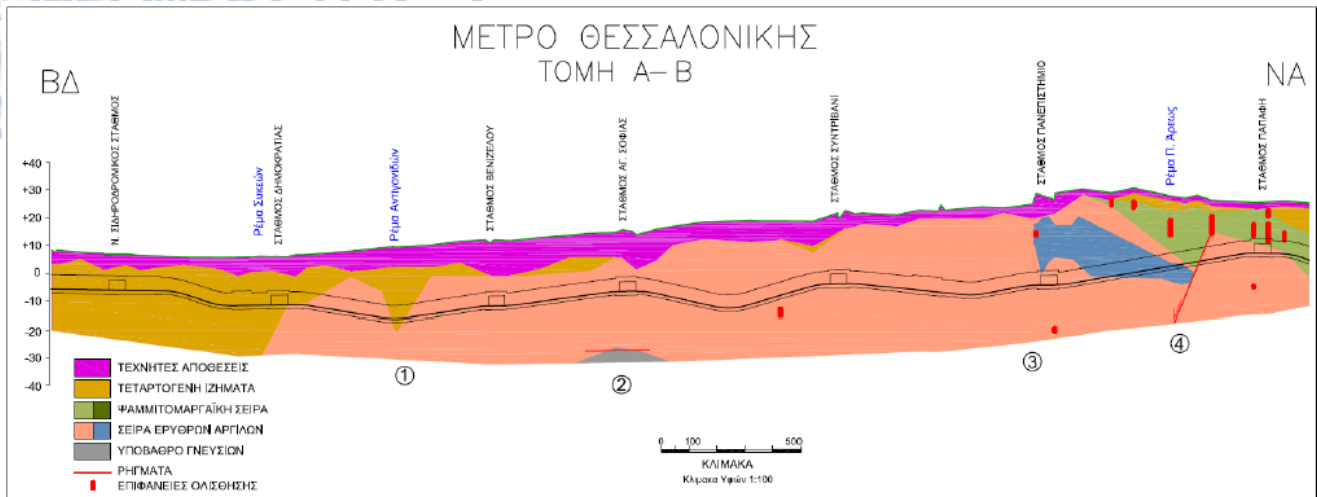
Στη συνέχεια γίνεται περιληπτική αναφορά των ρηγμάτων που βρίσκονται στον αστικό ιστό της Θεσσαλονίκης, χαρακτηρίζονται όμως ως δομές άγνωστης ενεργότητας και κατά συνέπεια δεν λαμβάνονται υπόψη στην εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας.

❖ Ρήγμα Αγ. Δημητρίου (F-AD),(F-Eg)

Τα ρήγματα των οδών Αγ. Δημητρίου και Εγνατίας, με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και κλίση προς τα ΝΔ, αποτελούν αλπικές-μεταλπικές ρηξιγενείς δομές που ανήκουν γεωμετρικά στην ομάδα των παλιών τεκτονικών δομών και χαρακτηρίζονται ως κανονικά ρήγματα (Σχ. 8.29). Η ρηξιγενής δομή επί της οδού Αγ. Δημητρίου, εμφανίζεται ως απότομο πρανές που οριοθετεί το υπόβαθρο με τις ιστορικές ιζηματογενείς αποθέσεις. Παράλληλα στη δομή αυτή αλλά νοτιότερα, εντοπίζεται μέσω καταγραφών μικροθορύβου και γεωτρήσεων του Μετρό, η ρηξιγενής δομή της Εγνατίας οδού χωρίς επιφανειακή εμφάνιση (Σχ. 8.30, Τομή Α-Β, ②). Εκτός από τις δύο αυτές δομές, υπάρχει πιθανότητα ύπαρξης και άλλων, παράλληλων με αυτές, νοτιότερα μέσα στον Θερμαϊκό κόλπο.



Σχήμα 8.29 Γεωτεχνική τομή κάθετα στην πόλη με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ που προήλθε από την καταγραφή μικροθορύβου και από δειγματοληπτικές γεωτρήσεις. Με κόκκινες γραμμές διακρίνονται τα ρήγματα των οδών Αγ. Δημητρίου και Εγνατίας (Αποστολίδης, Π., 2002, Anastasiadis et al., 2001).



Σχήμα 8.30 Γεωλογική τομή Α-Β του άξονα του Μετρό Θεσσαλονίκης, όπου με κόκκινες γραμμές διακρίνονται τα ρήγματα που συναντήθηκαν (Ζερβοπούλου, 2010).

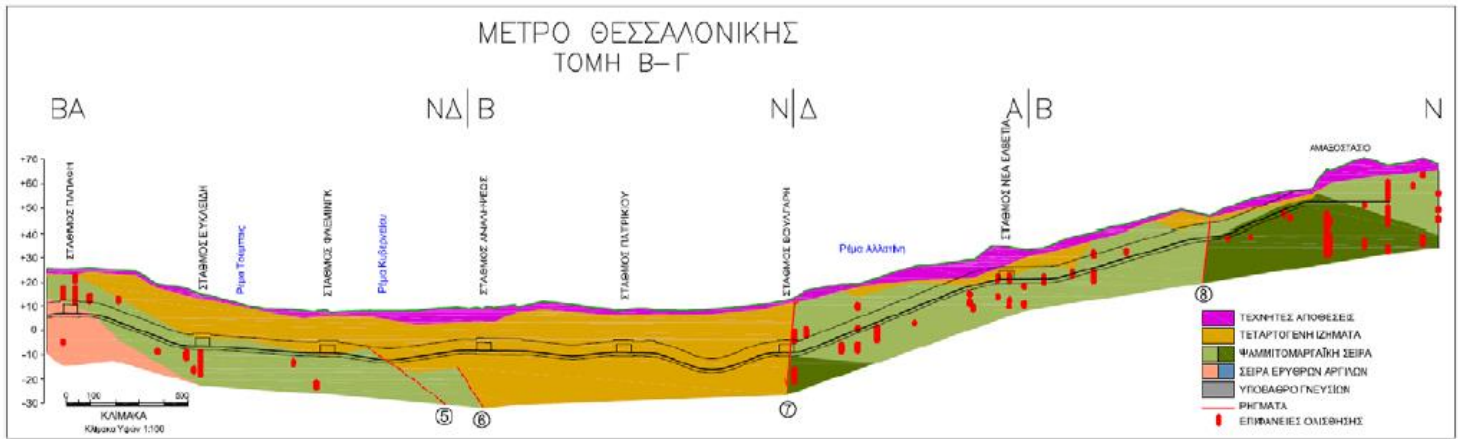
❖ Ρήγμα Πεδίου Άρεως (F-PA)

Διασχίζει τις Νεογενείς αποθέσεις με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ και κλίση προς βορρά, οριοθετώντας τη Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά και τη σειρά των Ερυθρών Αργίλων (Σχ. 8.30, Τομή Α-Β, ④). Εντοπίστηκε από τις γεωτρήσεις του Μετρό Θεσσαλονίκης και στις γεωλογικές τομές εμφανίζεται με ανάστροφη συνιστώσα κίνησης. Για το ρήγμα αυτό δεν υπάρχουν πολλές πληροφορίες και χρειάζεται περαιτέρω μελέτη ώστε να γίνει σαφής χαρακτηρισμός του.

❖ Ρήγματα ρέματος Κυβερνείου (F-Ky)

Το ρήγμα του Κυβερνείου εκτείνεται παράλληλα με το ρέμα του Κυβερνείου, στο όριο της Ψαμμιτομαργαϊκής σειράς και των Τεταρτογενών αποθέσεων, με διεύθυνση περίπου Α-Δ και μετάπτωση προς τα νότια. Εντοπίστηκε από γεωτρήσεις του Μετρό Θεσσαλονίκης στην περιοχή των οδών Ορέστου και Δελφών. (Σχ. 8.31, Τομή Β-Γ, ⑤ και ⑥).

Νοτιότερα από τον πρώτο κλάδο του ρήματος υπάρχει και δεύτερος κλάδος (Σχ. 8.31, Τομή Β-Γ, ⑥), παράλληλος με το κύριο ρέμα, το οποίο όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο της μορφοτεκτονικής, είναι μετατοπισμένο από τη μέση γραμμή της λεκάνης απορροής. Ο κλάδος αυτός έχει πιθανό μήκος 5 km και παρουσιάζει κατακόρυφο άλμα μεγαλύτερο από 20 m. Παρόλα αυτά χαρακτηρίζεται ως δομή μικρής επικινδυνότητας.



Σχήμα 8.31 Γεωλογική τομή Β-Γ του άξονα του Μετρό Θεσσαλονίκης, όπου με κόκκινες γραμμές διακρίνονται τα ρήγματα τα οποία συναντήθηκαν (Ζερβοπούλου, 2010).

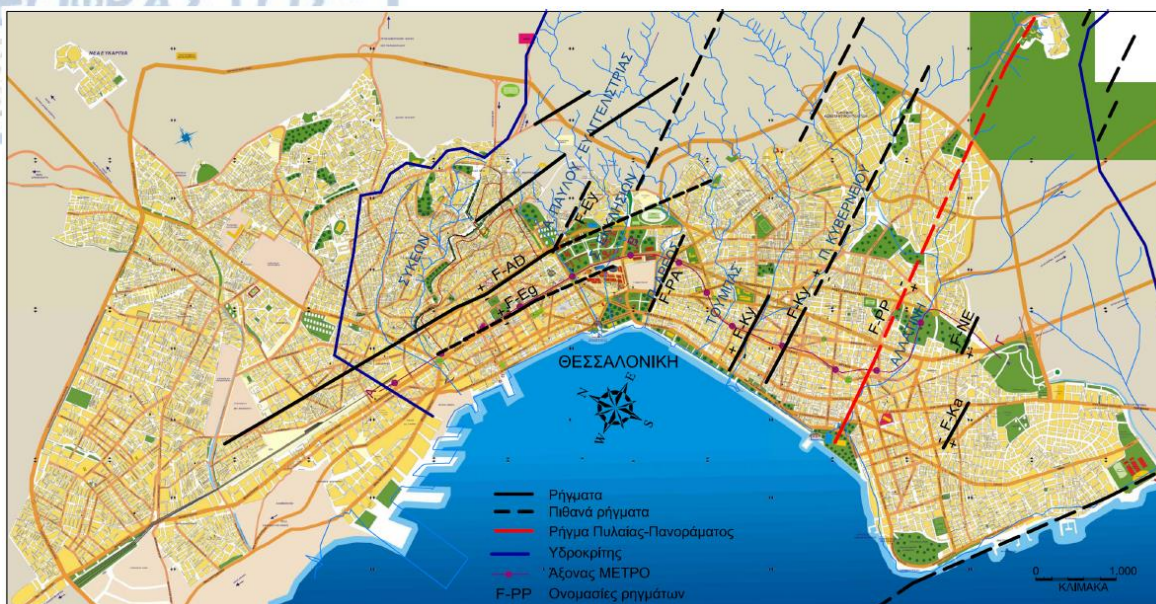
❖ Ρήγμα Ν. Ελβετίας (F-NE)

Όπως και τα προηγούμενα, εντοπίστηκε από γεωτρήσεις του Μετρό Θεσσαλονίκης, σε αποθέσεις της Ψαμμιτομαργαϊκής σειράς, με διεύθυνση Α-Δ περίπου και κλίση προς βορρά (Σχ. 8.31, Τομή Β-Γ, ⑧). Νότια του ρήγματος, εμφανίζεται σχηματισμός με στρώσεις ξυλιτών και αργλικές στρώσεις με παρουσία θαλάσσιων απολιθωμάτων, χαρακτηριστικός του Σχηματισμού Τριλόφου.

❖ Ρήγμα Καλαμαριάς (F-Ka)

Ο εντοπισμός του έγινε έπειτα από εκσκαφή για την ανέγερση οικοδομής, στην διασταύρωση των οδών Παπαδιαμάντη και Καλαβρύτων στην περιοχή της Καλαμαριάς. Το ρήγμα έχει διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ (παράταξη $B100^{\circ}-110^{\circ}$) και κλίση προς βορρά, με συνολικό μήκος που υπολογίστηκε περίπου στο 1 km, ενώ παρουσιάζει και μετατόπιση της τάξης του 1,5 m. Τα αποτελέσματα των ραδιοχρονολογήσεων που έγιναν, δείχνουν πως το ρήγμα είχε την τελευταία δραστηριοποίησή του πριν από περίπου 2.000 χρόνια.

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται ο χάρτης του πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης όπου διακρίνονται τα περισσότερα από τα ρήγματα που διασχίζουν τον αστικό ιστό (Σχ. 8.32).



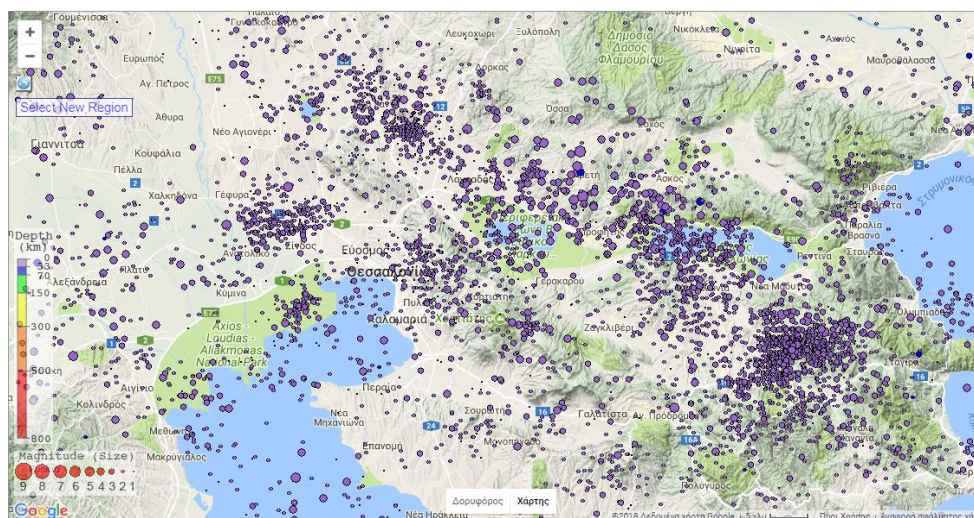
Σχήμα 8.32 Χάρτης του πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης στον οποίο παρουσιάζονται τα ρήγματα που αναφέρθηκαν. Με διαφορετικές γραμμές διακρίνονται τα ρήγματα ανάλογα με την ενεργότητά τους και την πιθανή προέκτασή τους (Ζερβοπούλου, 2010).

9. ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ

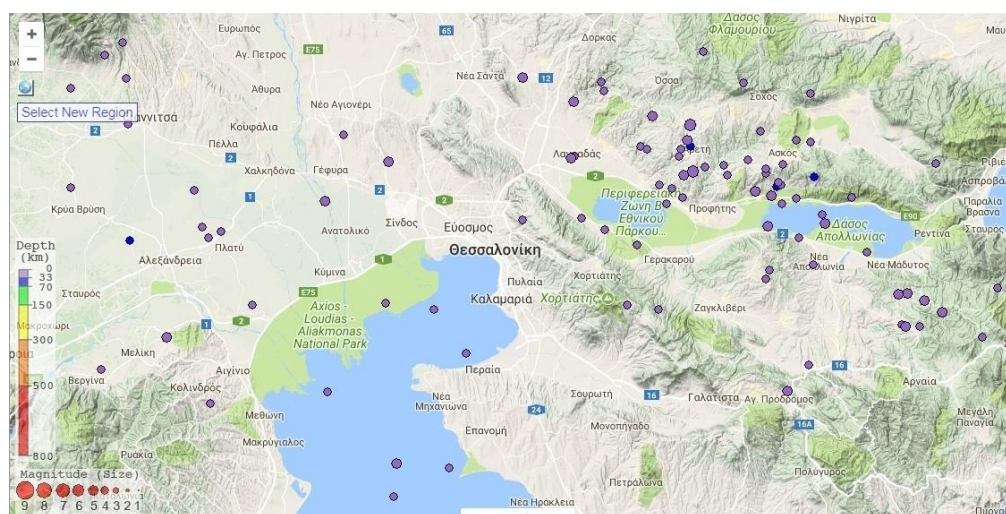
Η πόλη της Θεσσαλονίκης αλλά και γενικότερα η ευρύτερη περιοχή μελέτης, ανήκει γεωλογικά στις ζώνες Περιοδοπική και Σερβομακεδονική, όπως αναφέρθηκε στο αντίστοιχο κεφάλαιο. Από τις δύο αυτές γεωτεκτονικές ζώνες, η Σερβομακεδονική είναι αυτή η οποία εμφανίζει την υψηλότερη σεισμικότητα και χαρακτηρίζεται ως η περισσότερο ενεργή ζώνη του βόρειου ελλαδικού χώρου, όπου έχουν σημειωθεί σεισμικά γεγονότα μεγέθους μέχρι και $M_w=7.6$. Αυτή η υψηλή σεισμική δράση σχετίζεται με τεκτονικά βυθίσματα, όπως αυτό της Μυγδονίας, τα οποία σχηματίστηκαν ως αποτέλεσμα του εφελκυστικού πεδίου που δρα στην περιοχή από το Νεογενές μέχρι και σήμερα.

Όπως γίνεται αντιληπτό, το γεγονός ότι η πόλη της Θεσσαλονίκης βρίσκεται πλησίον της ζώνης αυτής, αποτελεί ένα ζήτημα κοινωνικό και παράλληλα οικονομικό. Πιο συγκεκριμένα, σημαντικό μέρος της σεισμικής δραστηριότητας λαμβάνει χώρα στη λεκάνη της Μυγδονίας, όπου εντοπίζεται και το επίκεντρο του καταστροφικού σεισμού του Ιουνίου 1978, που ήταν το πρώτο σημαντικό γεγονός με αξιοσημείωτες επιπτώσεις σε ένα σύγχρονο αστικό κέντρο, όπως η πόλη της Θεσσαλονίκης (Parazachos et al., 1979, Pavlides and Kiliass, 1987, Pavlides et al., 1988, Hatzidimitriou et al., 1991). Στα Σχήματα 9.1 και 9.2 διακρίνονται τα επίκεντρα σεισμών που σημειώθηκαν στον κεντρικό βορειοελλαδικό χώρο (Σερβομακεδονική μάζα) αλλά και στην

ευρύτερη περιοχή μελέτης. Ειδικότερα, στο Σχήμα 9.1 διακρίνεται το μεγάλο πλήθος σεισμικών επίκεντρων που καταγράφηκαν τις τελευταίες δεκαετίες, χαρακτηριστικό της αυξημένης ενεργότητας της περιοχής.



Σχήμα 9.1 Επίκεντρα σεισμών διαφόρων μεγεθών και εστιακού βάθους μέχρι 70 km, κατά μήκος της Σερβομακεδονικής μάζας και της ευρύτερης περιοχής μελέτης, όπως σημειώθηκαν από τις αρχές της δεκαετίας του 1970 μέχρι τις αρχές του 2018 (Πηγή: IRIS Earthquake Browser, www.ds.iris.edu).



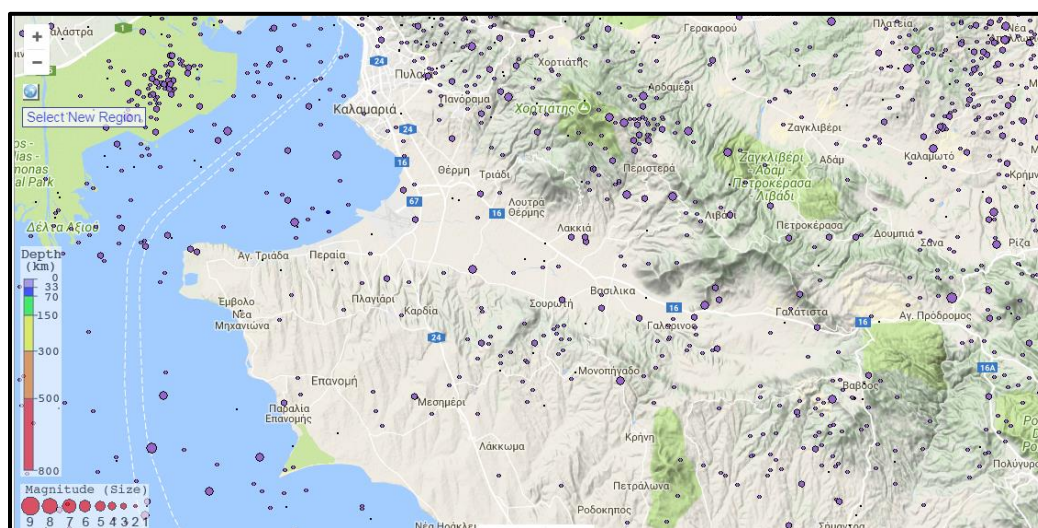
Σχήμα 9.2 Χάρτης της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης με τα επίκεντρα των σεισμών μεγέθους $M \geq 4.0$ που σημειώθηκαν από τις αρχές του 1970 μέχρι τις αρχές του 2018 (Πηγή: IRIS Earthquake Browser, www.ds.iris.edu).

9.1. Σεισμικότητα του ρήγματος του Ανθεμούντα

Το ρήγμα του Ανθεμούντα φαίνεται πως παρουσιάζει μικροσεισμικότητα κατά μήκος του, όπως προκύπτει από μικροσεισμικές δονήσεις που σημειώθηκαν στην περιοχή το φθινόπωρο του 1988, αλλά και πιο πρόσφατα, κατά τα έτη 2004 και 2006 με μεγέθη $M=1.7-2.2$ (Κατάλογοι Σεισμών του ΑΠΘ). Πιο συγκεκριμένα, η μικροσεισμικότητα κατά τα έτη 2004 και 2006

παρατηρήθηκε στο υποτμήμα του ρήγματος στην περιοχή της Περαίας, όπου εντοπίστηκαν και τα φαινόμενα ασεισμικής ολίσθησης που έχουν ήδη αναφερθεί.

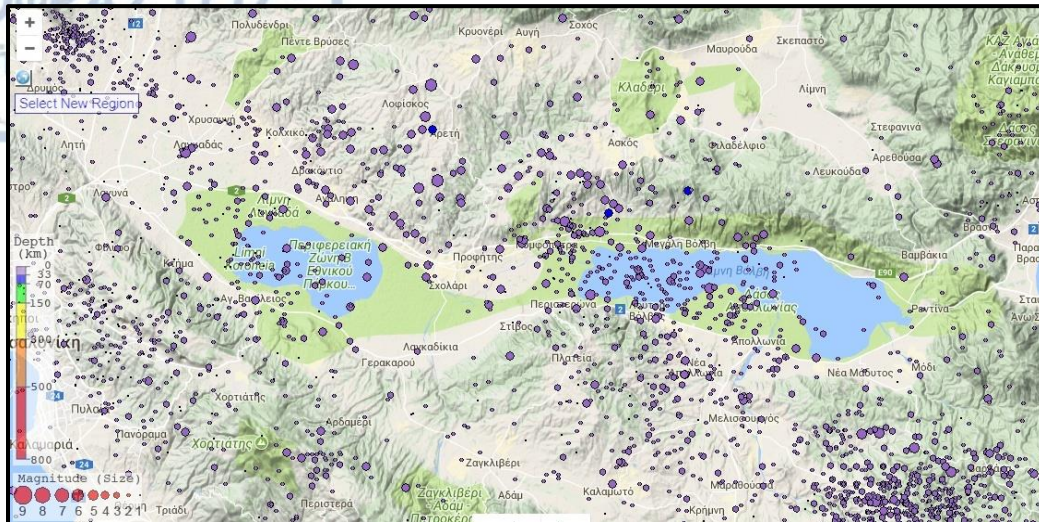
Επιπλέον, το ρήγμα του Ανθεμούντα δύναται να συνδέεται και με ιστορικούς σεισμούς, όπως ο σεισμός των Βασιλικών του 1677, με μέγεθος $M \approx 6.2$, ο οποίος κατέστρεψε τον οικισμό των Βασιλικών αλλά και τα γύρω χωριά. Σύμφωνα με μελέτες (Παπαζάχος και Παπαζάχου, 2003), το επίκεντρο του σεισμού αυτού βρίσκεται στα Βασιλικά στην περιοχή του Ανθεμούντα, όμως δεν υπάρχουν περαιτέρω στοιχεία για να γίνει ο ακριβής συσχετισμός του με το ρήγμα αυτό. Ο δεύτερος ιστορικός σεισμός που θα μπορούσε να οφείλεται στο ρήγμα του Ανθεμούντα, αν και δεν υπάρχουν στοιχεία για να υποστηρίξουν την άποψη αυτή, είναι ο σεισμός του 1759 που κατέστρεψε μεγάλο τμήμα της πόλης της Θεσσαλονίκης.



Σχήμα 9.3 Επίκεντρα σεισμών (1970-2018) κατά μήκος της λεκάνης του Ανθεμούντα που πιθανόν συνδέονται με τα ρήγματα Ανθεμούντα και Βόρειου Ανθεμούντα (Πηγή: IRIS Earthquake Browser, www.ds.iris.edu).

9.2. Σεισμικότητα της Μυγδονίας λεκάνης

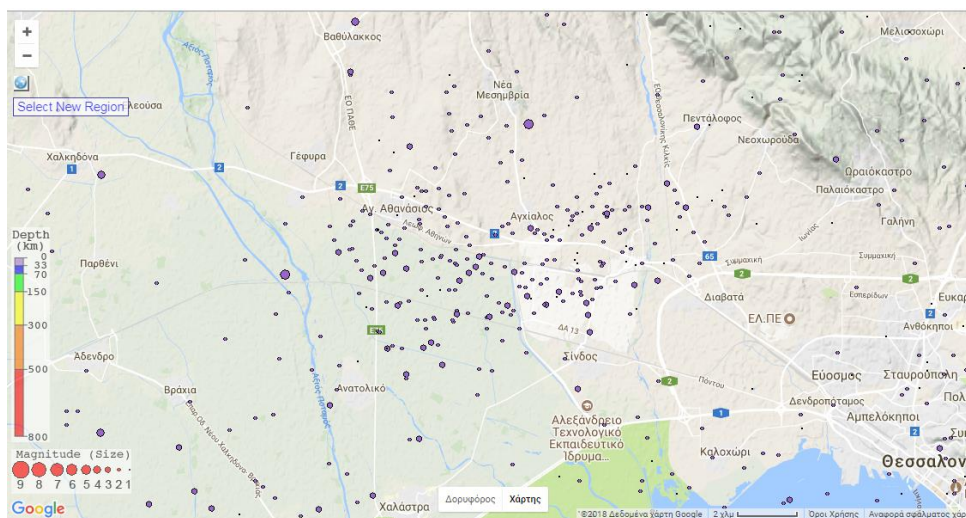
Όπως είναι γνωστό, η Μυγδονία λεκάνη αποτελεί μια από τις περισσότερο σεισμογενείς περιοχές του Ελληνικού χώρου, με τα επίκεντρα των σεισμών να εμφανίζονται διάσπαρτα σε ολόκληρη την περιοχή της λεκάνης. Από την περιοχή αυτή ξεκίνησε η σεισμική ακολουθία που εκδηλώθηκε στην περιοχή των λιμνών Λαγκαδά και Βόλβης και προκάλεσε τον μεγάλο σεισμό του Στίβου τον Ιούνιο του 1978. Τα επίκεντρα των σεισμών των τελευταίων δεκαετιών στην περιοχή της Μυγδονίας, για σεισμούς διαφόρων μεγεθών φαίνονται στο Σχήμα 9.4:



Σχήμα 9.4 Επίκεντρα σεισμών που έχουν σημειωθεί τις τελευταίες δεκαετίες (1970-2018) στην περιοχή της Μυγδονίας λεκάνης. Αξιοσημείωτο είναι το μεγάλο πλήθος των επικέντρων, συνώνυμο της μεγάλης σεισμικότητας της περιοχής αυτής (Πηγή: IRIS Earthquake Browser, www.ds.iris.edu).

9.3. Σεισμικότητα των περιοχών Αγχιάλου-Ν. Μεσημβρίας

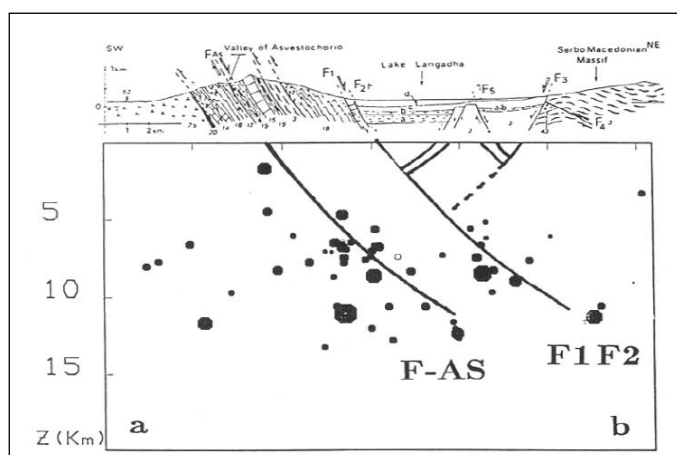
Στην περιοχή αυτή, όπως γίνεται φανερό από το Σχήμα 9.5, υπάρχει μια συγκέντρωση επικέντρων σεισμών που πιθανόν οφείλονται στο ρήγμα Αγχιάλου-Ν. Μεσημβρίας. Είναι γνωστό ότι το ρήγμα παρουσιάζει σεισμικότητα, αφού πιθανόν σε αυτό οφείλεται ο σεισμός της Ν. Μεσημβρίας (Οκτώβριος 2003, $M_w=5.7$), ενώ παράλληλα χαρακτηρίζεται και από μικροσεισμικότητα με τον σεισμό της Σίνδου (Οκτώβριος 2009, $M_L=3.4$) και έκτοτε μικρότερα μεγέθη της τάξεως $M_L=2.0-2.6$.



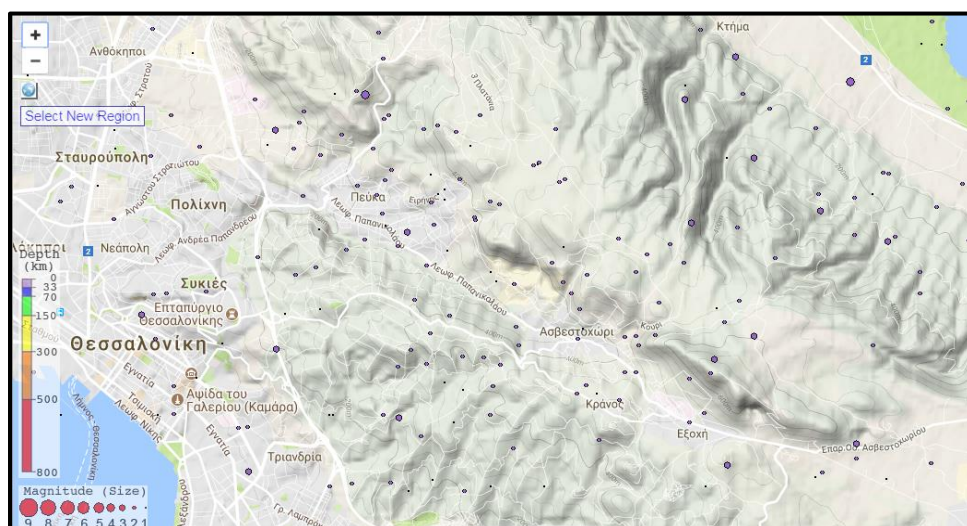
Σχήμα 9.5 Επίκεντρα σεισμών (1970-2018) στην ευρύτερη περιοχή Αγχιάλου-Ν. Μεσημβρίας (Πηγή: IRIS Earthquake Browser, www.ds.iris.edu).

9.4. Σεισμικότητα της περιοχής Ασβεστοχωρίου

Το ρήγμα του Ασβεστοχωρίου, φαίνεται πως επαναδραστηριοποιήθηκε κατά τον σεισμό του 1978 στον Στίβο (Hatzidimitriou et al., 1991; Papazachos et al., 2000), δίνοντας ρωγμή με πλάτος 1-2 cm, και μετάπτωση 10 cm στις Τεταρτογενείς αποθέσεις της περιοχής του Δήμου Πολίχνης (Mountrakis et al., 1995). Επιπλέον, το ρήγμα συνδέεται με φαινόμενα μικροσεισμικότητας ($M=3.5-4.0$), όπως και με την σεισμική ακολουθία του Ιουνίου 1999 με μέγιστο μέγεθος $M=3.7$ (Papazachos et al., 2000). Για όλους τους παραπάνω λόγους, το ρήγμα του Ασβεστοχωρίου θεωρείται από τους σεισμολόγους ως ενεργό ρήγμα.



Σχήμα 9.6 Γεωλογική τομή (ΝΔ-ΒΑ) και κατά βάθος τομή με τα εστιακά βάθη σεισμών για το ρήγμα του Ασβεστοχωρίου (F-AS) (Mercier et al., 1983, Hatzidimitriou, 1991).

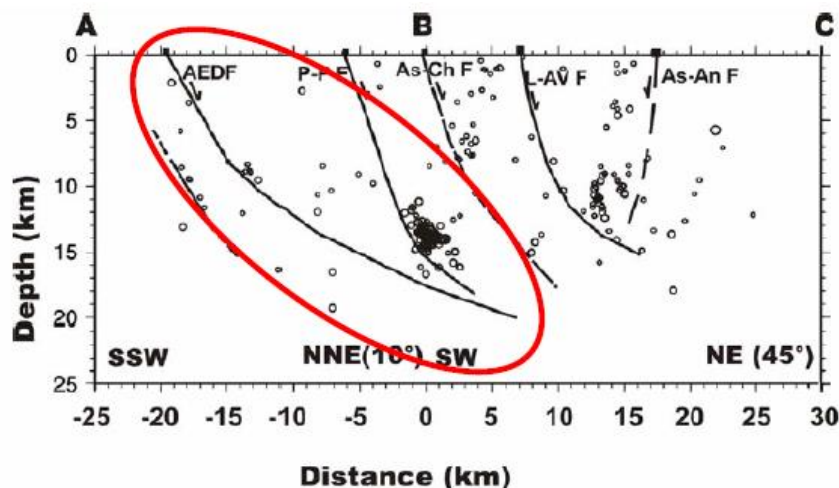


Σχήμα 9.7 Επίκεντρα σεισμών (1970-2018) που έχουν σημειωθεί κατά μήκος του ρήγματος Ασβεστοχωρίου (Πηγή: IRIS Earthquake Browser, www.ds.iris.edu).

9.5. Σεισμικότητα των ρηγμάτων του πολεοδομικού συγκροτήματος

Για το πολεοδομικό συγκρότημα Θεσσαλονίκης αναφέρονται τρεις ιστορικοί σεισμοί με επίκεντρα που τοποθετούνται στην ευρύτερη περιοχή του πολεοδομικού συγκροτήματος. Ο σεισμός του 667 μ. Χ. μεγέθους 6.6, ο σεισμός του 700 μ. Χ. με μέγεθος επίσης 6.6, και ο σεισμός του 1759 που αναφέρθηκε προηγουμένως για την περιοχή του Ανθεμούντα και αναφέρεται και για το πολεοδομικό συγκρότημα, αφού δεν είναι γνωστό με βεβαιότητα το ρήγμα με το οποίο αυτός συνδέεται.

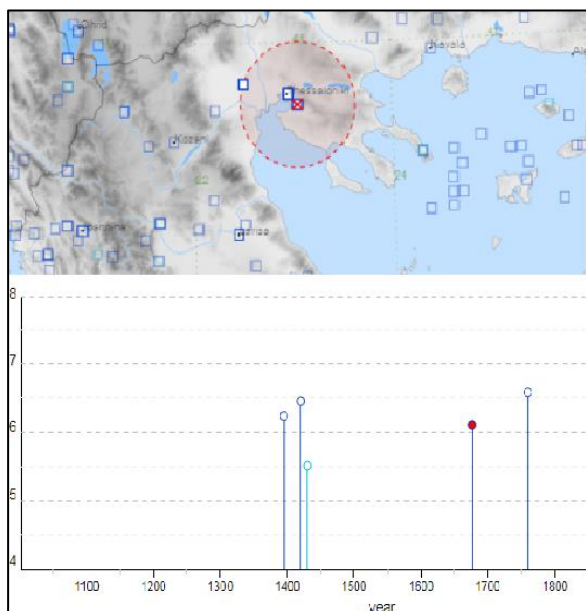
Αν και τα ρήγματα που έδωσαν τους σεισμούς αυτούς δεν είναι γνωστά, εκτιμάται ότι διατρέχουν τον αστικό ιστό της Θεσσαλονίκης. Επιπροσθέτως, με βάση το δίκτυο σειсмоγράφων του ΑΠΘ, με το οποίο πλέον μπορούμε να έχουμε ακριβή στοιχεία, έχει γίνει καταγραφή 2.538 σεισμών εντός του πολεοδομικού συγκροτήματος αλλά και στην ευρύτερη περιοχή αυτού (Παραδεισοπούλου, 2003). Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η χαρτογράφηση αυτή των επικέντρων, αποκαλύπτει μια συγκέντρωση επικέντρων κατά μήκος του ρήγματος Πυλαίας-Πανοράματος, με μεγέθη σεισμών >4.5 , ενώ περαιτέρω σεισμολογικές έρευνες που έχουν γίνει στην περιοχή (Galanis et al., 2004, Paradisopoulou et al., 2004, 2006), δείχνουν τουλάχιστον μια σεισμική ακολουθία (Οκτώβριος 2001) που συνδέεται με το ρήγμα αυτό (Σχ. 9.8).



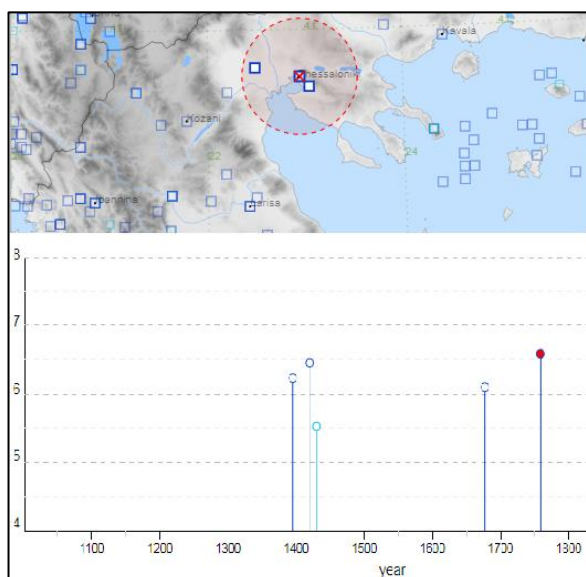
Σχήμα 9.8 Κατά βάθος τομή, διεύθυνσης BBA-NNΔ (AB) και BA-NΔ (BC) με την κατανομή των επικέντρων των σεισμών. AEDF: Ρήγμα Ανθεμούντα, P-P F: Ρήγμα Πυλαίας-Πανοράματος. Διακρίνεται η αυξημένη συγκέντρωση των επικέντρων στο ρήγμα Πυλαίας-Πανοράματος (Paradisopoulou et al., 2004).

9.6. Σεισμικότητα κατά τους ιστορικούς χρόνους

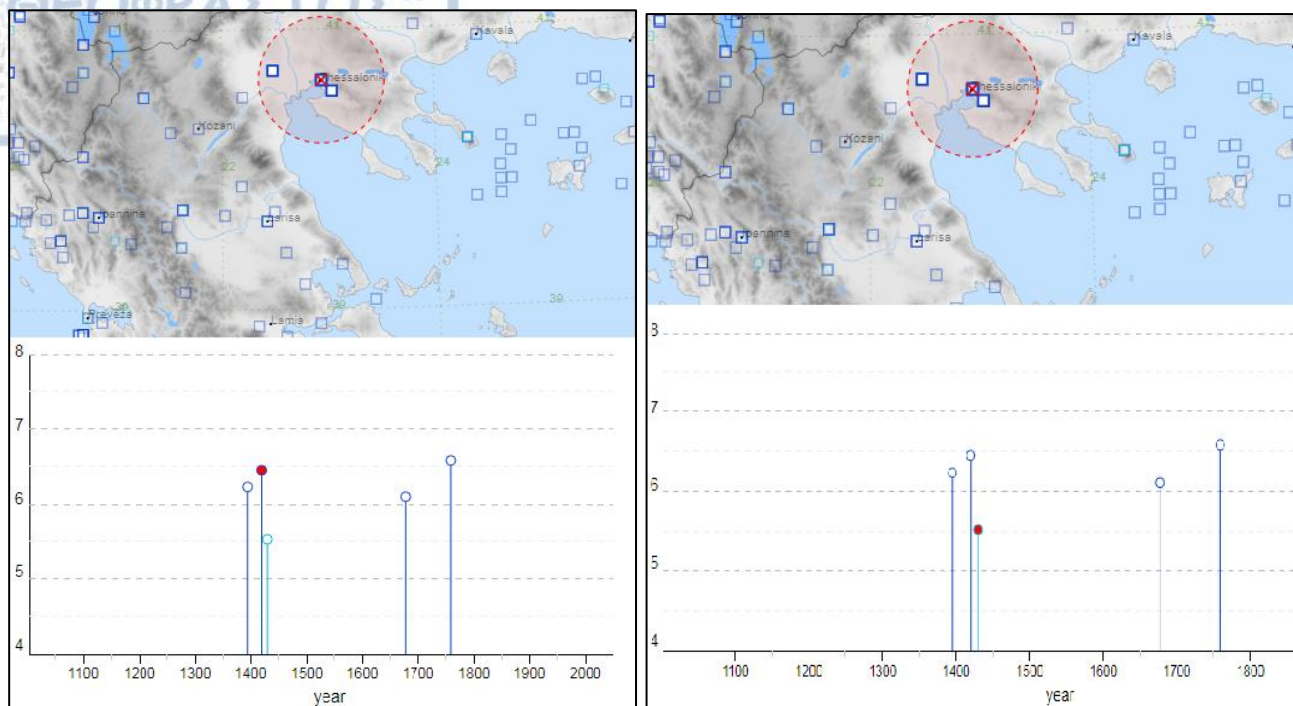
Στο Ευρωπαϊκό αρχείο δεδομένων ιστορικών σεισμών (European Archive of Historical Earthquake Data-AHEAD), έκτος των ιστορικών σεισμών που ήδη αναφέρθηκαν, όπως ο σεισμός των Βασιλικών το 1677 με $M_W=6.0$ (Σχ. 9.9) και αυτός του Ιουνίου 1759 με $M_W=6.5$ (Σχ. 9.10), υπάρχουν επιπλέον δεδομένα και από άλλους σεισμούς που έλαβαν χώρα στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης. Αυτοί είναι ο σεισμός του Ιουλίου 1420 με μέγεθος $M_W=6.5$ (Σχ. 9.11) και ο σεισμός του Μαρτίου 1430 με μέγεθος $M_W=5.5$ (Σχ. 9.12). Αν και τα επίκεντρα των σεισμών αυτών είναι σχετικά καθορισμένα, δεν υπάρχουν αρκετά στοιχεία για τον σαφή συσχετισμό τους με κάποιο από τα υπό μελέτη ρήγματα.



Σχήμα 9.9 Διάγραμμα όπου σημειώνεται με κόκκινο ο σεισμός των Βασιλικών σε συνάρτηση με το μέγεθός του και το επίκεντρο του σεισμού σημειωμένο στο χάρτη (τοποθεσίες και M_W από SHEEC 1000-1899, Stucchi et al., 2012, European Archive of Historical Earthquake Data, www.emidius.eu).



Σχήμα 9.10 Διάγραμμα όπου φαίνεται ο σεισμός του 1759 με κόκκινο χρώμα σε συνάρτηση με το μέγεθος και το επίκεντρο του σεισμού στο χάρτη (τοποθεσίες και M_W από SHEEC 1000-1899, Stucchi et al., 2012, European Archive of Historical Earthquake Data, www.emidius.eu).



Σχήμα 9.11 Διαγράμματα όπου σημειώνονται με κόκκινο ο σεισμός του 1420 (αριστερά) και ο σεισμός του 1430 (δεξιά) σε συνάρτηση με το μέγεθός τους και πάνω τα επίκεντρα σημειωμένα στο χάρτη (τοποθεσίες και M_w από SHEEC 1000-1899, Stucchi et al., 2012, European Archive of Historical Earthquake Data, www.emidius.eu).

10. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Η εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας για το πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης γίνεται μέσω εμπειρικών σχέσεων, με βάση τις οποίες υπολογίζεται το πιθανό μέγιστο μέγεθος σεισμού που μπορεί να προκαλέσει ένα σεισμικό ρήγμα, λαμβάνοντας υπόψη το επιφανειακό μήκος L ή SRL (Surface Rupture Length) του ρήγματος σε χιλιόμετρα. Στη συνέχεια, με βάση το μέγιστο μέγεθος σεισμού που υπολογίστηκε, μπορεί να βρεθεί η μέγιστη μετατόπιση MD (Maximum Displacement) και η μέγιστη κατακόρυφη μετατόπιση MVD (Maximum Vertical Displacement) που δημιουργείται κατά τη διάρκεια ενεργοποίησης ενός ρήγματος.

Διάφοροι ερευνητές έχουν προτείνει εμπειρικές σχέσεις που συνδέουν το μήκος του ρήγματος με το μέγιστο μέγεθος σεισμού που μπορεί αυτό να προκαλέσει. Οι σχέσεις αυτές έχουν προκύψει από παγκόσμια δεδομένα αλλά και δεδομένα από τον ελληνικό χώρο και είναι οι εξής:

- i. **Wells and Coppersmith (1994)**, με σεισμικά δεδομένα από τον παγκόσμιο χώρο. Για τον υπολογισμό του μέγιστου μεγέθους σεισμού (M_W) προκύπτει ο τύπος:

$$M_W = 4.86 + 1.32 \log(SRL)$$

Ενώ για τον υπολογισμό της μέγιστης μετατόπισης (MD) δίνεται ο τύπος:

$$\log(MD) = -5.9 + 0.89 \cdot M_W$$

- ii. **Ambraseys and Jackson (1998)**, με σεισμικά δεδομένα από τον Ελληνικό χώρο και την ευρύτερη Ανατολική Μεσόγειο, προκύπτει ο τύπος:

$$M_S = 5.13 + 1.14 \log(L)$$

- iii. **Pavlidis and Caputo (2004)**, με δεδομένα από τον ευρύτερο Ελληνικό χώρο, όπου η μέση τιμή του μέγιστου αναμενόμενου μεγέθους σεισμού δίνεται από τον τύπο:

$$M_S = 0.90 \log(SRL) + 5.48$$

Η μέγιστη κατακόρυφη μετατόπιση (MVD) υπολογίζεται από τον τύπο:

$$M_S = 0.59 \log(MVD) + 6.75$$

- iv. **Papazachos et al. (2004)**, από παγκόσμια δεδομένα. Το μέγιστο μέγεθος σεισμού δίνεται από τον τύπο:

$$\log(L) = 0.50M - 1.86$$

Η μέγιστη μετατόπιση (MD) δίνεται από τον τύπο:

$$\log(MD) = 0.72M - 2.82$$

Για τις παραπάνω σχέσεις επισημαίνεται: M_W = Μέγεθος ροπής, M_S = Επιφανειακό μέγεθος, L/SRL = Μήκος ρήγματος (σε km), MD = Μέγιστη μετατόπιση (σε cm), MVD = Μέγιστη κατακόρυφη μετατόπιση (σε cm).

10.1 Υπολογισμός μέγιστου μεγέθους σεισμού και μέγιστης μετατόπισης για τα ενεργά ρήγματα

Λόγω του ότι είναι σύνηθες να ενεργοποιείται μόνο ένα τμήμα του σεισμικού ρήγματος ή κάποιος συνδυασμός των επιμέρους τμημάτων του και σπανιότερα ολόκληρο το μήκος του, το

μέγιστο μέγεθος σεισμού και η μέγιστη μετατόπιση για κάθε ρήγμα, υπολογίζεται για όλες τις περιπτώσεις, δηλαδή ενεργοποίησης ολόκληρου του μήκους του ρήγματος, τμήματός του ή συνδυασμού των τμημάτων του.

❖ Ρήγμα Ανθεμούντα

Το ρήγμα του Ανθεμούντα έχει συνολικό μήκος (L/SRL) 32 km και χωρίζεται σε 3 υποτμήματα από τα οποία το πρώτο έχει μήκος (L_1) 17 km, το δεύτερο μήκος (L_2) 15 km, ενώ το τρίτο αποτελεί την υποθετική προέκτασή του στον Θερμαϊκό κόλπο με πιθανό μήκος 3 km. Έπειτα από υπολογισμούς προκύπτουν οι Πίνακες 10.1 και 10.2 που συγκεντρώνουν όλα τα αποτελέσματα για τα πιθανά μέγιστα μεγέθη σεισμών και τις πιθανές μέγιστες μετατοπίσεις αντίστοιχα, που μπορεί να δώσει το ρήγμα του Ανθεμούντα για ενεργοποίηση όλου του μήκους του ή των επιμέρους τμημάτων του.

Πίνακας 10.1 Εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας για το ρήγμα του Ανθεμούντα

	Μήκος (km)	M_w (Wells & Coppersmith, 1994)	M_s (Ambraseys & Jackson, 1998)	M_s (Pavlides & Caputo, 2004)	M (Papazachos et al., 2004)
L/SRL	32	6.8	6.8	6.8	6.7
L_1	17	6.5	6.5	6.6	6.2
L_2	15	6.4	6.5	6.5	6.1
L_3	3	5.5	5.7	5.9	4.7
L_2+L_3	18	6.5	6.6	6.6	6.2

Πίνακας 10.2 Πιθανές μέγιστες μετατοπίσεις για το ρήγμα του Ανθεμούντα

Μήκος (km)	M_w (Wells & Coppersmith, 1994)	MD (m) (Wells & Coppersmith, 1994)	M_s (Pavlides & Caputo, 2004)	MVD (m) (Pavlides & Caputo, 2004)
32	6.8	142 cm	6.8	122 cm
17	6.5	77 cm	6.6	56 cm
15	6.4	63 cm	6.5	38 cm
3	5.5	10 cm	5.9	4 cm
18	6.5	77 cm	6.6	56 cm

Με βάση τα αποτελέσματα του Πίνακα 10.1 προκύπτει ότι το μέγιστο μέγεθος σεισμού που μπορεί να δώσει το ρήγμα του Ανθεμούντα είναι $M=6.8$ για πιθανή ενεργοποίηση όλου του μήκους του. Η πιθανή μέγιστη μετατόπιση είναι $MD=142$ cm.

❖ Ρήγμα Γερακαρούς-Νικομηδινού-Στίβου-Περιστερώννα

Το ρήγμα αυτό έχει συνολικό μήκος περίπου 12 km και με βάση το μήκος αυτό υπολογίζεται το πιθανό μέγιστο μέγεθος σεισμού και στη συνέχεια, οι μέγιστες μετατοπίσεις που μπορεί να δώσει. Τα αποτελέσματα φαίνονται στους Πίνακες 10.3 και 10.4.

Πίνακας 10.3 Εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας για το ρήγμα Γερακαρούς-Νικομηδινού-Στίβου-Περιστερώννα.

	Μήκος (km)	M_w (Wells & Coppersmith, 1994)	M_s (Ambraseys & Jackson, 1998)	M_s (Pavlidis & Caputo, 2004)	M (Papazachos et al., 2004)
L/SRL	12	6.3	6.4	6.5	5.9

Πίνακας 10.4 Πιθανές μέγιστες μετατοπίσεις για το ρήγμα Γερακαρούς-Νικομηδινού-Στίβου-Περιστερώννα.

Μήκος (km)	M_w (Wells & Coppersmith, 1994)	MD (m) (Wells & Coppersmith, 1994)	M_s (Pavlidis & Caputo, 2004)	MVD (m) (Pavlidis & Caputo, 2004)
12	6.3	51 cm	6.5	38 cm

Όπως προκύπτει από τους παραπάνω πίνακες, το ρήγμα Γερακαρούς-Νικομηδινού-Στίβου-Περιστερώννα μπορεί να δώσει πιθανό μέγιστο μέγεθος σεισμού $M_s=6.5$, αποτέλεσμα που συμφωνεί απόλυτα με τα πραγματικά δεδομένα του σεισμού της 20^{ης} Ιουνίου 1978. Η πιθανή μέγιστη μετατόπιση για το ρήγμα αυτό με βάση τους τύπους, υπολογίζεται στα 51 cm για ενεργοποίηση όλου του μήκους του, ενώ το μέγιστο επιφανειακό άλμα του ρήγματος κατά τον σεισμό του 1978, υπολογίστηκε στα 23 cm.

❖ **Ρήγμα Πυλαίας-Πανοράματος**

Το ρήγμα Πυλαίας-Πανοράματος έχει συνολικό μήκος 9 km και χωρίζεται σε 4 τμήματα, όπου το πρώτο τμήμα (L_0) έχει μήκος 2.5 km, το δεύτερο (L_3) μήκος 3 km, το τρίτο (L_2) μήκος 2 km και το τέταρτο (L_1) μήκος 1.5 km. Τα αποτελέσματα φαίνονται στους Πίνακες 10.5 και 10.6.

Πίνακας 10.5 Εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας για το ρήγμα Πυλαίας-Πανοράματος.

	Μήκος (km)	M_w (Wells & Coppersmith, 1994)	M_s (Ambraseys & Jackson, 1998)	M_s (Pavlidis & Caputo, 2004)	M (Papazachos et al., 2004)
L/SRL	9	6.1	6.2	6.3	5.6
L_0	2.5	5.4	5.6	5.8	4.5
L_3	3	5.5	5.7	5.9	4.7
L_2	2	5.3	5.5	5.8	4.3
L_1	1.5	5.1	5.3	5.6	4.1
L_0+L_3	5.5	5.8	6.0	6.1	5.2
L_3+L_2	5	5.8	5.9	6.1	5.1
L_2+L_1	3.5	5.6	5.8	6.0	4.8
$L_0+L_3+L_2$	7.5	6.0	6.1	6.3	5.5
$L_3+L_2+L_1$	6.5	5.9	6.1	6.2	5.3

Πίνακας 10.6 Πιθανές μέγιστες μετατοπίσεις για το ρήγμα Πυλαίας-Πανοράματος.

Μήκος (km)	M_w (Wells & Coppersmith, 1994)	MD (m) (Wells & Coppersmith, 1994)	M_s (Pavlidis & Caputo, 2004)	MVD (m) (Pavlidis & Caputo, 2004)
9	6.1	34 cm	6.3	17 cm
2.5	5.4	8 cm	5.8	2 cm
3	5.5	10 cm	5.9	4 cm
2	5.3	7 cm	5.8	2 cm
1.5	5.1	4 cm	5.6	1 cm

5.5	5.8	18 cm	6.1	8 cm
5	5.8	18 cm	6.1	8 cm
3.5	5.6	12 cm	6.0	5 cm
7.5	6.0	28 cm	6.3	17 cm
6.5	5.9	22 cm	6.2	12 cm

Για το ρήγμα Πυλαίας-Πανοράματος το πιθανό μέγιστο μέγεθος σεισμού με βάση τους τύπους προκύπτει $M_s=6.3$, για ενεργοποίηση όλου του μήκους του ρήγματος ή για ενεργοποίηση των τριών (τμήματα 0, 3 και 2) από τα τέσσερα τμήματα στα οποία χωρίζεται. Η πιθανή μέγιστη μετατόπιση με βάση τους τύπους είναι 34 cm.

❖ Ρήγμα Αγχιάλου-N. Μεσημβρίας

Το ρήγμα αυτό έχει συνολικό μήκος 8 km και με βάση αυτό υπολογίζονται τα πιθανά μέγιστα μεγέθη σεισμού και οι αντίστοιχες μέγιστες μετατοπίσεις που μπορεί αυτό να προκαλέσει.

Πίνακας 10.7 Εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας για το ρήγμα Αγχιάλου-N. Μεσημβρίας.

	Μήκος (km)	M_w (Wells & Coppersmith, 1994)	M_s (Ambraseys & Jackson, 1998)	M_s (Pavlidis & Caputo, 2004)	M (Papazachos et al., 2004)
L/SRL	8	6.1	6.2	6.3	5.5

Πίνακας 10.8 Πιθανές μέγιστες μετατοπίσεις για το ρήγμα Αγχιάλου-N. Μεσημβρίας.

Μήκος (km)	M_w (Wells & Coppersmith, 1994)	MD (m) (Wells & Coppersmith, 1994)	M_s (Pavlidis & Caputo, 2004)	MVD (m) (Pavlidis & Caputo, 2004)
8	6.1	34 cm	6.3	17 cm

Επομένως, για το ρήγμα Αγκιάλου-Ν. Μεσημβρίας αναμένεται πιθανό μέγιστο μέγεθος σεισμού $M_s=6.3$ και πιθανή μέγιστη μετατόπιση $MD=34$ cm.

10.2 Υπολογισμός μέγιστου μεγέθους σεισμού και μέγιστης μετατόπισης για τα πιθανά ενεργά ρήγματα

❖ Ρήγμα Θέρμης-Αεροδρομίου

Το ρήγμα της Θέρμης έχει συνολικό μήκος περίπου 6 km και χωρίζεται σε δύο τμήματα από τα οποία το πρώτο έχει μήκος (L_1) 2 km και το δεύτερο μήκος (L_2) 4 km. Για τις τιμές αυτές προκύπτουν οι Πίνακες 10.9 και 10.10.

Πίνακας 10.9 Εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας για το ρήγμα Θέρμης-Αεροδρομίου.

	Μήκος (km)	M_w (Wells & Coppersmith, 1994)	M_s (Ambraseys & Jackson, 1998)	M_s (Pavlides & Caputo, 2004)	M (Papazachos et al., 2004)
L/SRL	6	5.9	6.0	6.2	5.3
L₁	2	5.3	5.5	5.8	4.3
L₂	4	5.7	5.8	6.0	4.9

Πίνακας 10.10 Πιθανές μέγιστες μετατοπίσεις για το ρήγμα Θέρμης-Αεροδρομίου.

Μήκος (km)	M_w (Wells & Coppersmith, 1994)	MD (m) (Wells & Coppersmith, 1994)	M_s (Pavlides & Caputo, 2004)	MVD(m) (Pavlides & Caputo, 2004)
6	5.9	22 cm	6.2	12 cm
2	5.3	7 cm	5.8	2 cm
4	5.7	15 cm	6.0	5 cm

Το πιθανό μέγιστο μέγεθος σεισμού για το ρήγμα Θέρμης-Αεροδρομίου με βάση τους πίνακες είναι $M_s=6.2$ και η πιθανή μέγιστη μετατόπιση $MD=22$ cm.

❖ Ρήγματα Βόρειου Ανθεμούντα

Η ομάδα των ρηγμάτων του Βόρειου Ανθεμούντα αποτελείται από τρία σχεδόν παράλληλα ρήγματα από τα οποία το πρώτο έχει μήκος (L_1) 5 km, το δεύτερο μήκος (L_2) 6 km και το τρίτο μήκος (L_3) 3 km. Οι Πίνακες 10.11 και 10.12 περιέχουν τα αποτελέσματα για αυτές τις τιμές, όπως και για συνδυασμό των επιμέρους τμημάτων.

Πίνακας 10.11 Εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας για τα ρήγματα Βόρειου Ανθεμούντα.

	Μήκος (km)	M_w (Wells & Coppersmith, 1994)	M_s (Ambraseys & Jackson, 1998)	M_s (Pavlides & Caputo, 2004)	M (Papazachos et al., 2004)
L_1	5	5.8	5.9	6.1	5.1
L_2	6	5.9	6.0	6.2	5.3
L_3	3	5.5	5.7	5.9	4.7
$L_1+L_2+L_3$	14	6.4	6.4	6.5	6.0
L_1+L_2	11	6.2	6.3	6.4	5.8
L_2+L_3	9	6.1	6.2	6.3	5.6

Πίνακας 10.12 Πιθανές μέγιστες μετατοπίσεις για τα ρήγματα Βόρειου Ανθεμούντα.

Μήκος (km)	M_w (Wells & Coppersmith, 1994)	MD (m) (Wells & Coppersmith, 1994)	M_s (Pavlides & Caputo, 2004)	MVD (m) (Pavlides & Caputo, 2004)
5	5.8	18 cm	6.1	8 cm
6	5.9	22 cm	6.2	12 cm
3	5.5	10 cm	5.9	4 cm
14	6.4	63 cm	6.5	38 cm
11	6.2	41 cm	6.4	26 cm
9	6.1	34 cm	6.3	17 cm

Για τα ρήγματα Βόρειου Ανθεμόντα, το πιθανό μέγιστο μέγεθος σεισμού αναμένεται να είναι $M_s=6.5$ για ενεργοποίηση και των τριών ρηγμάτων, ενώ η μέγιστη μετατόπιση υπολογίζεται στα 63 cm.

❖ Ρήγμα Ασβεστοχωρίου

Το ρήγμα του Ασβεστοχωρίου με συνολικό μήκος 10 km, χωρίζεται σε δύο υποτμήματα με το πρώτο να έχει μήκος (L_1) 3 km και το δεύτερο, μήκος (L_2) 7 km. Στην εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας λαμβάνεται υπόψη και η υποθετική προέκταση του ρήγματος προς τα δυτικά στις Πλειοκαινικές-Τεταρτογενείς με επιπλέον μήκος (L_3) άλλα 7 km.

Πίνακας 10.13 Εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας για το ρήγμα Ασβεστοχωρίου.

	Μήκος (km)	M_w (Wells & Coppersmith, 1994)	M_s (Ambraseys & Jackson, 1998)	M_s (Pavlidis & Caputo, 2004)	M (Papazachos et al., 2004)
L/SRL	10	6.2	6.3	6.4	5.7
L_1	3	5.5	5.7	5.9	4.7
L_2	7	6.0	6.1	6.2	5.4
L_3	7	6.0	6.1	6.2	5.4
$L_1+L_2+L_3$	17	6.5	6.5	6.6	6.2
L_2+L_3	14	6.4	6.4	6.5	6.0

Πίνακας 10.14 Πιθανές μέγιστες μετατοπίσεις για το ρήγμα Ασβεστοχωρίου.

Μήκος (km)	M_w (Wells & Coppersmith, 1994)	MD (m) (Wells & Coppersmith, 1994)	M_s (Pavlidis & Caputo, 2004)	MVD (m) (Pavlidis & Caputo, 2004)
10	6.2	41 cm	6.4	26 cm
3	5.5	10 cm	5.9	4 cm
7	6.0	28 cm	6.2	12 cm
7	6.0	28 cm	6.2	12 cm
17	6.5	77 cm	6.6	56 cm
14	6.4	63 cm	6.5	38 cm

Επομένως, το πιθανό μέγιστο αναμενόμενο μέγεθος σεισμού για το ρήγμα Ασβεστοχωρίου είναι $M_s=6.6$, για ενεργοποίηση όλου του μήκους του ρήγματος συμπεριλαμβανομένης και της υποθετικής επέκτασής του στις Πλειοκαινικές-Τεταρτογενείς αποθέσεις προς τα δυτικά. Η πιθανή μέγιστη αναμενόμενη μετατόπιση είναι $MD=77$ cm.

❖ Ρήγμα Ευκαρπίας

Το ρήγμα της Ευκαρπίας έχει συνολικό μήκος περίπου 4 km και χωρίζεται σε δύο τμήματα με μήκη (L_1) 2.5 km και (L_2) 1.2 km. Το δεύτερο τμήμα συμπεριλαμβάνεται στις παλιές δομές άγνωστης ενεργότητας και για το λόγο αυτό δεν λαμβάνεται υπόψη στην εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας.

Πίνακας 10.15 Εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας για το ρήγμα της Ευκαρπίας.

	Μήκος (km)	M_w (Wells & Coppersmith, 1994)	M_s (Ambraseys & Jackson, 1998)	M_s (Pavlides & Caputo, 2004)	M (Papazachos et al., 2004)
L/SRL	2.5	5.4	5.6	5.8	4.5

Πίνακας 10.16 Πιθανές μέγιστες μετατοπίσεις για το ρήγμα Ευκαρπίας.

Μήκος (km)	M_w (Wells & Coppersmith, 1994)	MD (m) (Wells & Coppersmith, 1994)	M_s (Pavlides & Caputo, 2004)	MVD (m) (Pavlides & Caputo, 2004)
2.5	5.4	8 cm	5.8	2 cm

Το μέγιστο μέγεθος σεισμού που αναμένεται από το ρήγμα Ευκαρπίας είναι $M_s=5.8$ και η μέγιστη μετατόπιση $MD=8$ cm.

❖ Ρήγμα Καλοχωρίου

Το συνολικό μήκος του ρήγματος Καλοχωρίου είναι περίπου 6 km και με βάση αυτό προκύπτει ο Πίνακας 10.17.

Πίνακας 10.17 Εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας για το ρήγμα Καλοχωρίου.

	Μήκος (km)	M_w (Wells & Coppersmith, 1994)	M_s (Ambraseys & Jackson, 1998)	M_s (Pavlides & Caputo, 2004)	M (Papazachos et al., 2004)
L/SRL	6	5.9	6.0	6.2	5.3

Πίνακας 10.18 Πιθανές μέγιστες μετατοπίσεις για το ρήγμα Καλοχωρίου.

Μήκος (km)	M_w (Wells & Coppersmith, 1994)	MD (m) (Wells & Coppersmith, 1994)	M_s (Pavlides & Caputo, 2004)	MVD (m) (Pavlides & Caputo, 2004)
6	5.9	22 cm	6.2	12 cm

Το μέγιστο αναμενόμενο μέγεθος σεισμού για το ρήγμα Καλοχωρίου είναι $M_s=6.2$ και η μέγιστη μετατόπιση $MD=22$ cm.

11. ΣΥΝΟΨΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία έγινε μελέτη των νεοτεκτονικών ρηγμάτων της ευρύτερης περιοχής της πόλης της Θεσσαλονίκης, με σκοπό να ερευνηθεί η σεισμική επικινδυνότητα που παρουσιάζουν τα ρήγματα αυτά. Σε πρώτο στάδιο εξετάστηκε η γεωλογία, με την περιγραφή των πετρωμάτων και των σχηματισμών που συναντώνται στην περιοχή.

Στη συνέχεια, έγινε αναφορά στην τεκτονική και τις διάφορες τεκτονικές τάσεις που διαμόρφωσαν τον βόρειο ελληνικό χώρο στο παρελθόν και πώς αυτές τον επηρεάζουν σήμερα, καθώς και την άμεση σχέση τους με τις ρηξιγενείς δομές που μελετήθηκαν.

Έπειτα, έγινε ο χωρισμός της περιοχής σε λεκάνες απορροής με απώτερο σκοπό την μετέπειτα επεξεργασία των διάφορων χαρακτηριστικών των λεκανών αυτών. Από την επεξεργασία αυτή προέκυψαν πληροφορίες για την τεκτονική ενεργότητα διάφορων περιοχών, μέσω των ποσοτικών μετρήσεων ορισμένων μορφοτεκτονικών δεικτών.

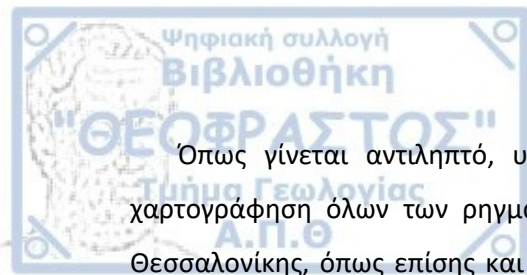
Στη συνέχεια τα ρήγματα διαχωρίστηκαν ανάλογα με την ενεργότητά τους σε ενεργά ρήγματα, πιθανά ενεργά ρήγματα και ρήγματα άγνωστης ενεργότητας και αναφέρθηκαν πληροφορίες για το καθένα από αυτά.

Τέλος, αναλύθηκε η σεισμικότητα της περιοχής αλλά και η σεισμικότητα για κάθε ένα από τα σημαντικότερα ρήγματα και έγινε εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας με τη βοήθεια εμπειρικών σχέσεων, όπου υπολογίστηκε το πιθανό μέγιστο μέγεθος σεισμού που μπορεί να προκαλέσει το κάθε ρήγμα, όπως επίσης και η πιθανή μέγιστη μετατόπιση που είναι δυνατό να προκληθεί κατά τη διάρκεια του σεισμού.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, προκύπτει ότι από τα ρήγματα που μελετήθηκαν, περισσότερο σημαντικά όσον αφορά τη σεισμική επικινδυνότητά τους, κρίθηκαν τα ρήγματα Ανθεμούντα και Πυλαίας-Πανοράματος. Τα ρήγματα αυτά σε πιθανή ενεργοποίησή τους, θα μπορούσαν να πλήξουν τον αστικό ιστό της Θεσσαλονίκης αλλά και τις περιοχές πλησίον αυτού, προκαλώντας καταστροφές σε κοινωνικό και οικονομικό επίπεδο.

Το ρήγμα του Ανθεμούντα κρίνεται ιδιαίτερα επικίνδυνο λόγω του μεγάλου μήκους του (32 km), του ότι διασχίζει περιοχές της σημερινής επέκτασης της πόλης της Θεσσαλονίκης (Δήμος Θερμαϊκού, Ν. Ρύσιο, Ταγαράδες), της κοντινής απόστασής του από το πολεοδομικό συγκρότημα, της κατευθυντικότητάς του προς αυτό, αλλά και λόγω του ότι πιθανώς συνδέεται με τον καταστρεπτικό σεισμό των Βασιλικών το 1677 με πιθανό μέγεθος $M_w=6.2$. Το ρήγμα εμφανίζει αυξημένη ενεργότητα στην περιοχή του Δήμου Θερμαϊκού, όπου και εντοπίστηκαν οι ρωγμώσεις ασεισμικής ολίσθησης στην περιοχή της Περαιάς. Για το ρήγμα του Ανθεμούντα, το πιθανό μέγιστο μέγεθος σεισμού με βάση τους εμπειρικούς τύπους προκύπτει $M_w= 6.8$ με πιθανή μέγιστη μετατόπιση $MD=142$ cm.

Το ρήγμα Πυλαίας-Πανοράματος κρίνεται εξίσου επικίνδυνο, λόγω του ότι διασχίζει πυκνοκατοικημένες περιοχές του αστικού ιστού, όπως επίσης και τον άξονα του υπό κατασκευή Μετρό Θεσσαλονίκης, εμφανίζει μικροσεισμικότητα, έχει σχετικά μεγάλο μήκος (12 km), ενώ υπάρχει πιθανότητα να συνδέεται και με τον σεισμό του 1759 μεγέθους $M_w=6.5$. Το ρήγμα αυτό θεωρείται περισσότερο ενεργό στο τμήμα που βρίσκεται εντός του πολεοδομικού συγκροτήματος, αφού στα ανάντη του ρήματος εμφανίζεται έντονη ανύψωση. Σύμφωνα με τις εμπειρικές σχέσεις, το ρήγμα Πυλαίας-Πανοράματος μπορεί να δώσει σεισμό με πιθανό μέγιστο μέγεθος $M_w= 6.3$ για ενεργοποίηση όλου του μήκους του ρήματος, ή για ενεργοποίηση των τριών από τα τέσσερα τμήματα στα οποία χωρίζεται και πιθανή μέγιστη μετατόπιση $MD=34$ cm.



Όπως γίνεται αντιληπτό, υπάρχει ανάγκη για σαφέστερη και περισσότερο λεπτομερή χαρτογράφηση όλων των ρηγμάτων που πιθανόν καθίστανται επικίνδυνα για την πόλη της Θεσσαλονίκης, όπως επίσης και περαιτέρω αξιολόγηση της σεισμικής επικινδυνότητάς τους. Η πόλη της Θεσσαλονίκης αποτελεί μια μητροπολιτική περιοχή, ένα σύγχρονο αστικό περιβάλλον και κατά συνέπεια θα πρέπει να ληφθούν όλα τα απαραίτητα μέτρα ώστε να περιοριστεί κατά το δυνατόν ο σεισμικός κίνδυνος από την εκδήλωση ενός σεισμικού γεγονότος.



- **Ambraseys N. N., Jackson J. A. (1998):** *Faulting associated with historical and recent earthquakes in the Eastern Mediterranean region*, Geophys. J. Int., 133, 390-406
- **Anastasiadis An., Raptakis D., Pitilakis K. (2001):** *Thessaloniki's Detailed Microzoning: Subsurface Structure as Basis for Site Response Analysis*, Pure and Applied Geophysics, 158, 2597-2633
- **Chatzipetros A. A., Pavlides S. B. (1998):** *A quantitative morphotectonic approach to the study of active faults; Mygdonia basin, northern Greece*, Bulletin of the Geological Society of Greece, 32, 1, 155-164
- **Duyster J. D. (1999):** StereoNett version 2.4, <http://homepage.Ruhr-uni-bochum.de/Johannes.P.Duyster/Stereo/Stereo1.htm>
- **Galanis O. C., Papazachos C. B., Hatzidimitriou P.M., Scordilis E.M. (2004):** *Application of 3-D velocity models and ray tracing in double difference earthquake location algorithms: application to the Mygdonia basin (Northern Greece)*, Bulletin of the Geological Society of Greece, 36 (3), 1396-1405
- **Goldsworthy M., Jackson J., Haines J. (2002):** *The continuity of active fault systems in Greece*, Geophys. J. Int. 148, pp. 596-618
- **Hare P. W., Gardner T. W. (1985):** *Geomorphic indicators of vertical neotectonism along converging plate margins*, Tectonic geomorphology: Proceedings 15th Annual Binghamton Geomorphology Symposium, Boston: Allen & Unwin, pp. 75-104
- **Hatzfeld D., Christodoulou A. A., Scordilis E. M., Panagiotopoulos D., Hatzidimitriou P. M. (1986):** *A Microearthquake study of the Mygdonian graben (Northern Greece)*, Earth and Planetary Science letters, 81379-396
- **Hatzidimitriou P. M., Hatzfeld D., Scordilis E. M., Papadimitriou E. E., Christodoulou A. A. (1991):** *Seismotectonic evidence of an active normal fault beneath Thessaloniki (Greece)*, TERRAMOTAE, 648-654
- **Keller A. E., Pinter N. (1996):** *ACTIVE TECTONICS, Earthquakes, Uplift and Landscape*. Prentice Hall (ISBN 0-02-304601-5) N. Jersey, pp. 377. (Sec. Edit. 2002)
- **Kiratzí A., Roumelíoti Z., Benetatos Ch., Theodulidis N., Savvaidis A., Panou A., Tziavos I. N., Savvaidis P., Hatzigogos Th., Koutoupes S. and Karantonis G. (2004):** *SEISIMPACT-THES: A SCENARIO EARTHQUAKE AFFECTING THE BUILT ENVIRONMENT OF THE PREFECTURE OF THESSALONIKI*, Bulletin of the Geological Society of Greece, vol. XXXVI

- **McKenzie D. P. (1978):** *Active Tectonics of the Alpine-Himalayan belt: The Aegean Sea and surrounding regions*, Geophys. J. R. astron. Soc. London, 55, 217-254
- **Mercier J. L., Carey-Gailhardis E., Mouyaris N., Simeakis K., Roundouyannis Th., Anghelidhis Ch. (1989):** *Structural analysis of recent and active fault and regional state of stress in the epicentral area of the 1978 Thessaloniki earthquakes (Northern Greece)*, Tectonics, Vol. 2, n. 6, 577-600
- **Mercier J. L., Sorel D., Vergely P., Simeakis K. (1989):** *Extensional tectonic regimes in the Aegean basins during the Cenozoic*, Basin research, Vol. 2, Iss. 1, pp. 49-71
- **Mountrakis D. (2005):** *Tertiary and Quaternary tectonics in Aegean area*. In Fytikas and Vougioukalakis eds. The South Aegean Active Volcanic arc., Elsevier, 1-10
- **Mountrakis D., Tranos M., Papazachos C., Thomaidou E., Karagianni E., Vamvakaris D. (2006):** *Neotectonic and seismological data concerning major active faults, and the stress regimes of Northern Greece*, Geological Society of London, Special Publications
- **Papazachos B. C., Mountrakis D., Psilovikos A., Leventakis G. (1979b):** *Focal properties of the 1978 earthquakes in the Thessaloniki area*, Bulgarian Geophys. J., 6, 72-80
- **Papazachos B., Mountrakis D., Psilovikos A., Leventakis G. (1979a):** *Surface fault traces and fault plane solutions of May-June 1978 major shokes in the Thessaloniki area, Greece*, Tectonophysics 53, 171-183
- **Papazachos B., Papazachou C. (2003):** *The Earthquakes of Greece*, Ziti, Thessaloniki
- **Papazachos B., Scordilis E., Panagiotopoulos D., Papazachos C., Karakaisis G. (2004):** *Global relations between seismic fault parameters and moment magnitude of earthquakes*, 10^ο Συνέδριο της ΕΓΕ, Θεσσαλονίκη, σελ. 539
- **Papazachos C. B. (1999):** *Seismological and GPS evidence for the Aegean-Anatolia interaction*, Geophys. Res. Lett., 26, 2653-2656
- **Papazachos C. B., Vamvakaris D. A., Vargemezis G. N. and Aidona E. V. (2001):** *A study of the active tectonics and deformation in the Mygdonia Basin (N. Greece) using seismological and neotectonic data*, Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXIV/1, 303-309
- **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*, XXVII, General Assembly of the European Seismological Commission (ESC) 10
- **Paradisopoulou P. M., Karakostas V. G., Papadimitriou E. E., Tranos M. D., Papazachos C. B., Karakaisis G. F. (2006):** *Microearthquake study of the broader Thessaloniki area (Northern Greece)*, Ann. Geoph., 49(4/5), 1081-1093

- **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*, 5th Int. Symp. On Eastern Mediterranean Geology, Vol. 2, pp. 623-626, Thessaloniki
- **Pavlidis S. B., Caputo R. (2004):** *Magnitude versus fault's surface parameters: quantitative relationships from the Aegean region*, Tectonophysics, 380, pp. 159-188
- **Pavlidis S. B., Kilias A. (1987):** *Neotectonic and active faults along the Serbomacedonian zone (SE Chalkidiki, northern Greece)*, Annales Tectonic, Vol. I-n. 2: 97-104
- **Pavlidis S. B., Kondopoulou D. P., Kilias A. A., Westphal M. (1988):** *Complex rotational deformations in the Serbo-Macedonian massif (north Greece): structural and paleomagnetic evidence*, Tectonophysics, 145, pp. 329-335
- **Soufleris Ch., Stewart G. (1981):** *A source study of the Thessaloniki (N. Greece) 1978 earthquake sequence*, Geophys. J. R. Astr. Soc., 67, 343-358
- **Strahler A. (1952):** *Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography*, Geol. Soc. Amer. Bull., 63, pp. 1117-42
- **Stucchi et al. (2012):** *The SHARE European Earthquake Catalogue (SHEEC) 1000-1899*, Journal of Seismology, doi: 10.1007/s10950-012-9335-2
- **Taymaz T., Jackson J., McKenzie D. (1991):** *Active Tectonics of the North and Central Aegean Sea*, Geophysical Journal International, 106, 433-490
- **Tranos M. D., Mountrakis D. M. (1998):** *Neotectonic joints of Northern Greece, Their significance on the understanding of the active deformation*, Δελτίο ΕΓΕ, Τομ. XXXII/1, 209-219, 8^ο Διεθνές Συνέδριο
- **Tranos M. D., Papadimitriou E. E., Kilias 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, pp. 2109-2123
- **Voidomatis P. S., Pavlidis S. B., Papadopoulos G. A. (1990):** *Active deformation and seismic potential in the Serbomacedonian zone, northern Greece*, Tectonophysics, 179, pp. 1-9
- **Wells D. L., Coppersmith K. J. (1994):** *New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area and Surface Displacement*, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 84, No. 4, 974-1002
- **Zervopoulou A., Chatzipetros A., Tsiokos L., Syrides G., Pavlidis S. (2007):** *Non-seismic surface faulting : The Peraia fault case study (Thessaloniki, N. Greece)*, 4th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Paper No. 1610
- **Zervopoulou A., Pavlidis S. (2016):** *Geological mapping in urban areas. A case study from the inner city of Thessaloniki, Greece*, Bulletin of the Geological Society of Greece, vol. L

- **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, Διδ. Διατρ. ΑΠΘ, Πολυτεχνική Σχολή
- **Ασάρας Θ. Α. (1980):** Ποσοτική γεωμορφολογική μελέτη τμήματος των Δ. πλευρών του όρους Βερτίσκου (Κ. Μακεδονία), Διδ. Διατρ. ΑΠΘ
- **Βαλκανιώτης Σ., Ζερβοπούλου Α., Γκανάς Α., Παυλίδης Σ. (2005):** Πολεοδομική επέκταση των Μητροπόλεων και αύξηση της Σεισμικής Επικινδυνότητας: Τα παραδείγματα της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης, Επιστημονικό Συνέδριο «Γεωγραφία της Μητρόπολης: Όψεις του φαινομένου στον ελληνικό χώρο»
- **Βαμβακάρης Δ. Α. (2004):** Συμβολή στη σεισμοτεκτονική μελέτη της ευρύτερης περιοχής της Μυγδονίας λεκάνης, Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Τμήματος Γεωλογίας
- **Γ.Υ.Σ. (1980):** Φύλλα Χαρτών, Κλίμακα 1:5.000, Πολεοδομικό Συγκρότημα Θεσσαλονίκης
- **Δημητρόπουλος Κ. (1999):** Η χρησιμότητα των σεισμικών ανάκλασης στον καθορισμό των τοπικών συνθηκών-Μικροζωνικές, Διημερίδα Αντιμετώπισης Σεισμικών Καταστροφών-Επιστημονική προσέγγιση, Κοινωνική διάσταση, Θεσσαλονίκη
- **Ζερβοπούλου Α. Σ. (2010):** Νεοτεκτονικά ρήγματα της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης σε σχέση με τα εδάφη θεμελίωσης, Διδακτορική διατριβή ΑΠΘ, Τμήμα Γεωλογίας
- **Ζερβοπούλου Α., Παυλίδης Σ. (2005):** Μορφοτεκτονική μελέτη της ευρύτερης περιοχής Θεσ/νίκης για τη χαρτογράφηση νεοτεκτονικών ρηγμάτων, Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας τομ. XXXVIII
- **Ζερβοπούλου Α., Παυλίδης Σ. (2008):** Νεοτεκτονικά ρήγματα πολεοδομικού συγκροτήματος Θεσσαλονίκης, 3^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας, Άρθρο 1865
- **Μουντράκης Δ. Μ. (2010):** Γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας, University Studio Press
- **Μουντράκης Δ., Κίλιας Α., Παυλίδης Σ., Κουφός Γ., Σπυρόπουλος Ν., Τρανός Μ., Παπαζάχος Κ., Ζούρος Ν., Φασουλάς Χ. (1995):** Χάρτης ενεργών ρηγμάτων του Ελληνικού χώρου, περιοχή Μακεδονίας, Κλίμακα 1:300.000, Συνοδευτικό επεξηγηματικό τεύχος, Επιστημονικός Υπεύθυνος Καθηγ. Δημ. Μουντράκης, Θεσσαλονίκη
- **Μουντράκης Δ., Κίλιας Α., Παυλίδης Σ., Σωτηριάδης Σ., Ψιλοβίκος Α., Ασάρας Θ., Βαβλιάκης Ε., Κουφός Γ., Δημόπουλος Γ., Σούλιος Γ., Χρηστάρας Β., Σκορδύλης Μ., Τρανός Μ., Σπυρόπουλος Μ., Πάτρας Δ., Συρίδης Γ., Λαμπρινός Ν., Λαγγάλη Θ. (1997) :** Νεοτεκτονικός χάρτης της Ελλάδας, Κλίμακα 1:100.000, Επεξηγηματικά τεύχη

- **Μουντράκης Δ., Συρίδης Γ., Πολυμενάκος Λ., Παυλίδης Σ. (1993):** *Η νεοτεκτονική δομή του ανατολικού περιθωρίου του βυθίσματος Αξιού-Θερμαϊκού στην περιοχή Δυτικής Χαλκιδικής (Κ. Μακεδονία)*, Bull. Geol. Soc. Greece, Vol. XXVIII/1, pp. 379-395
- **Παπαζάχος Κ., Παπαζάχος Β. (2008):** *Εισαγωγή στη Γεωφυσική*, Εκδόσεις Ζήτη
- **Παραδεισοπούλου Π. (2003):** *Μικροσεισμική μελέτη της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης*, Διατριβή Ειδίκευσης ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη
- **Παυλίδης Σ. Β. (2016):** *Γεωλογία των σεισμών: Εισαγωγή στη Νεοτεκτονική, Μορφοτεκτονική και Παλαιοσεισμολογία*, 2^η έκδοση, University Studio Press
- **Παυλίδης Σ., Τσάπανος Θ., Κοραβός Γ., Μιχαηλίδου Α., Χατζηπέτρος Α. (2010):** *Ειδική σεισμοτεκτονική μελέτη των ρηγμάτων της ευρύτερης περιοχής των μεταλλείων Κασσάνδρας*, Μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων μεταλλευτικών-μεταλλουργικών εγκαταστάσεων της εταιρείας Ελληνικός Χρυσός στη Χαλκιδική
- **Σαπουντζής Η. (1969):** *Πετρογραφία και γεωλογική τοποθέτηση των πράσινων γνεύσεων της Θεσσαλονίκης*, Διδ. Διατρ. ΑΠΘ
- **Συρίδης Γ. Ε. (1990):** *Λιθοστρωματογραφική, βιοστρωματογραφική και παλαιογεωγραφική μελέτη των Νεογενών-Τεταρτογενών ιζηματογενών σχηματισμών της χερσονήσου Χαλκιδικής*, Διδ. Διατρ. ΑΠΘ
- **Τρανός Μ. Δ. (1998):** *Συμβολή στη μελέτη της νεοτεκτονικής παραμόρφωσης στο χώρο του Βορείου Αιγαίου και της Κεντρικής Μακεδονίας*, Διδακτ. Διατρ. ΑΠΘ

Πηγές από το διαδίκτυο:

- www.iris.edu (IRIS Earthquake Browser)
- www.visit-thermaikos.com
- www.emidius.eu (European Archive of Historical Earthquake Data)