



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ANNA Σ. ΖΕΡΒΟΠΟΥΛΟΥ
Dr. - M.Sc. ΓΕΩΛΟΓΟΣ



**ΑΣΤΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ
ΚΑΙ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ
ΔΟΜΗ ΣΤΟ
ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΚΟ
ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ**

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ
ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ
ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ
ΜΕ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ
ΔΕΔΟΜΕΝΑ**

ΜΕΤΑΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2021



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ANNA Σ. ΖΕΡΒΟΠΟΥΛΟΥ
ANNA S. ZERVOPOULOU
Dr. - M.Sc. ΓΕΩΛΟΓΟΣ

**ΑΣΤΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΣΤΟ
ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΚΟ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΜΕ
ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ**

***URBAN AND STRUCTURAL GEOLOGY IN THE
METROPOLITAN AREA OF THESSALONIKI –
SEISMIC HAZARD ASSESSMENT USING
GEOLOGICAL DATA***

ΜΕΤΑΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ
POST-DOC RESEARCH

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2021

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος

Εισαγωγή - Η ιστορία της Αστικής Γεωλογίας μέχρι σήμερα

Αστική γεωλογία Θεσσαλονίκης

Γεωτρήσεις

Γεωλογικές ενότητες

1. Τεχνικές επιχώσεις – Ανθρωπογενές στρώμα – Αρχαιολογικό

2. Τεφρή / Μελανή Άργιλος

3. Παράκτιες άμμοι

4. Τεταρτογενείς αποθέσεις

4.1. Ποταμοχειμάριες

4.2. Λιμνοθαλάσσιες - Δελταϊκές

4.3. Ερυθροστρώματα

5. Ψαμμιτομαργαϊκή Ενότητα

5.1. Σχηματισμός Γωνιάς

5.2. Σχηματισμός Τριλόφου

6. Ενότητα Ερυθρών Αργίλων

7. Βραχώδες υπόβαθρο

Λατομεία

Αστική Υδρογεωλογία

Υδρογεωλογικές ιδιότητες του υπεδάφους της Θεσσαλονίκης

Αστική Υδρολογία

Χείμαρροι ιστορικού κέντρου Θεσσαλονίκης

Χείμαρροι Δυτικής Θεσσαλονίκης

Χείμαρροι Ανατολικής Θεσσαλονίκης

Αστική Τεκτονική

Τεκτονικό πλαίσιο

Επιφάνειες ολίσθησης– Slickensides

Συσχετισμός μετατόπισης και μήκους ρήγματος

ΡΗΓΜΑΤΑ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Ρήγμα Αγ. Δημητρίου – Ρήγμα Εγνατίας

Ρήγματα Πεδίου Άρεως

Ρήγματα Κυβερνείου

Ρήγμα Πυλαίας – Πανοράματος

Ρήγματα Καλαμαριάς

Ρήγματα Ακτογραμμής

Ρήγμα Καλαμαριάς

Ρήγματα περιοχής Νέας Ελβετίας

Ρήγματα περιοχής Βότση

Σύνδεση ρηγμάτων Καλαμαριάς

Ρήγμα Κρήνης

Ρήγματα Νότιου Πανοράματος

Πολεοδομική εξέλιξη Θεσσαλονίκης με γεωλογικά κριτήρια

Αστικά γεωτεχνικά προβλήματα που σχετίζονται με ενεργά ρήγματα

Ρευστοποίηση

Καθιζήσεις

Μετατοπίσεις εδαφών

Κατολισθήσεις - Ευστάθεια πρανών

“Αστική γεωλογία και Τεκτονική δομή στο Πολεοδομικό Συγκρότημα Θεσσαλονίκης”

Εκτίμηση μεγέθους και ζώνης επιρροής ρήγματος	113
Monitoring - Βάση Δεδομένων	119
Συμπεράσματα	121
Περίληψη	122
Abstract	123
Βιβλιογραφία	124

Πρόλογος

Στόχος της έρευνας αυτής ήταν η μελέτη της Αστικής Γεωλογίας της πόλης της Θεσσαλονίκης γενικότερα και ειδικότερα οι μελέτες του γεωλογικού και γεωτεχνικού υποβάθρου θεμελίωσης της πόλης, της αστικής υδρολογίας και υδρογεωλογίας και τέλος της αστικής τεκτονικής. Η ανάλυση και έρευνα των παραπάνω παραγόντων καταλήγει στην μελέτη των κινδύνων της πόλης από προβλήματα που σχετίζονται με την γεωλογία και την ενεργό τεκτονική.

Στις πόλεις ζει περίπου το 50% του πληθυσμού της γης, καταλαμβάνοντας μεγάλες εκτάσεις γης, κάποιες αναφέρονται και ως supercities. Τα γεωλογικά προβλήματα που εμφανίζονται στις αστικές περιοχές είναι περισσότερο επικίνδυνα απ’ ότι σε μη κατοικημένα περιβάλλοντα, απαιτούν τεράστιο κόστος αποκαταστάσεων ενώ μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές απώλειες ανθρωπίνων ζωών. Σημαντικότερο όλων των φυσικών προβλημάτων είναι οι σεισμοί. Για την μελέτη της σεισμικής επικινδυνότητας ενός δομημένου περιβάλλοντος πρωταρχικό ρόλο παίζει η μελέτη της αστικής γεωλογίας. Η αστική γεωλογία είναι μία ολιστική και πολυπαραγοντική έρευνα στην οποία εμπλέκονται οι περισσότεροι κλάδοι της γεωλογίας.

Στην συγκεκριμένη έρευνα μελετήθηκε η αστική περιοχή της Θεσσαλονίκης με αδιάλειπτη κατοίκηση περισσότερα από 2.300 χρόνια. Χαρτογραφήθηκε αρχικά η γεωλογία του αστικού περιβάλλοντος, η επιφανειακή υδρολογία και η υδρογεωλογία, ενώ ακολούθησε η μελέτη της τεκτονικής και νεοτεκτονικής. Τα δεδομένα που αντλήθηκαν χρησιμοποιήθηκαν αφενός ιστορικά, για μία προσέγγιση της επέκτασης της πόλης από την ίδρυσή της μέχρι σήμερα με βάση γεωλογικά στοιχεία, αλλά και για την επισήμανση γεωτεχνικών και σεισμικών κινδύνων που μπορούν να προκύψουν.

Ευχαριστίες

Ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στον καθηγητή μου Σπύρο Παυλίδη, ομότιμο Καθηγητή Τμήματος Γεωλογίας, για την υποστήριξή του και βοήθειά του όλα αυτά τα χρόνια και τον Αλέξη Χατζηπέτρο, Αναπλ. Καθηγητή Γεωλογίας, για την επιστημονική του βοήθεια και την παροχή στοιχείων και μελετών. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Γεώργιο Συρίδη, καθηγητή τμήματος Γεωλογίας, για την αναγνώριση των απολιθωμάτων που εντοπίστηκαν, τον Μ. Πάτσιο M.Sc. γεωλόγο για τις φωτογραφίες του και τους Μιχάλη Φουμέλη και Αντώνιο Μουρατίδη, Επ. Καθηγητές τμ. Γεωλογίας για την έρευνα της τεκτονικής παραμόρφωσης των ρηγμάτων. Πολύτιμη

Λεπτομέρεια πίνακα ζωγραφικής
Σωτ. Ζερβόπουλος, “360 1780”, 2003

“Αστική γεωλογία και Τεκτονική δομή στο Πολεοδομικό Συγκρότημα Θεσσαλονίκης”

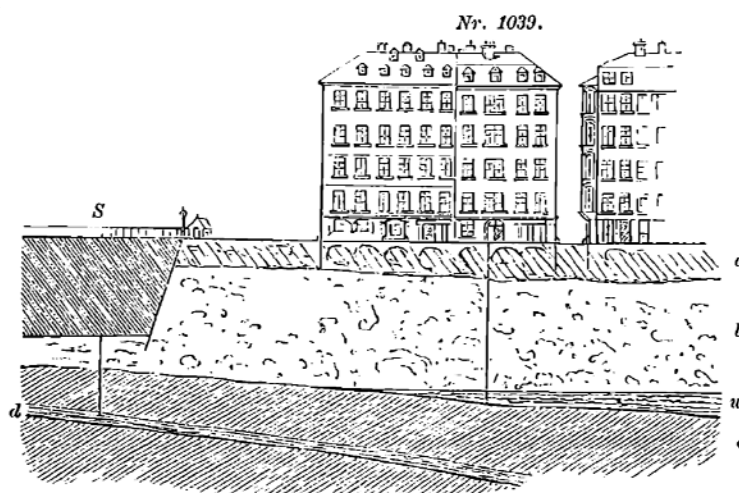


ήταν και η βοήθεια του γεωλόγου φίλου Κωστελίδη Νίκου, στους χάρτες υποβάθρου. Πολλά ευχαριστώ στους συναδέλφους γεωλόγους, μηχανικούς και αρχαιολόγους που δουλέψαμε μαζί τόσα χρόνια για να παράγουμε όλα αυτά τα πολύτιμα δεδομένα.

Επίσης ευχαριστώ την οικογένειά μου για την υπομονή της στην συνεχή μου ενασχόληση με την Θεσσαλονίκη.

Εισαγωγή - Η ιστορία της Αστικής Γεωλογίας μέχρι σήμερα

Ο όρος της αστικής γεωλογίας είναι σχετικά σύγχρονος όπως και η αλματώδης ανάπτυξη των αστικών περιοχών μετά το 1900. Αν και δεν αναφέρεται ως αστική γεωλογία ήδη από το 1862 γίνεται προσπάθεια για καταγραφεί γεωλογικά το αστικό περιβάλλον της Βιέννης (Σχ.1), με αναφορές στην γεωλογία, τα υπόγεια, τα πηγαία και επιφανειακά νερά (Δούναβης). Το έναυσμα εκείνη την εποχή για την μελέτη της γεωλογίας και της υδρογεωλογίας της αστικής περιοχής της Βιέννης ήταν η επιδημία της χολέρας το 1855 (Suess, 1862). Παρόμοιες προσπάθειες καταγραφής των υδάτων έγιναν και στο Ηνωμένο Βασίλειο της Αγγλίας εκείνη την εποχή λόγω και πάλι της επιδημίας της χολέρας (Cullshaw and Price 2011).



Σχ.1 Γεωλογική τομή υπεδάφους στην οδό Karntnerstrasse 1039 στη Βιέννη – Αυστρία (Suess, 1862)

Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα μόνο το 10% του παγκόσμιου πληθυσμού ζούσε σε αστικές περιοχές, για τον λόγο αυτό δεν τέθηκε η ανάγκη για εκτεταμένη μελέτη αστικών περιοχών από την πλευρά της γεωλογίας. Η εμφάνιση του όρου της αστικής γεωλογίας έγινε το 1920 στην Γερμανία με την δημιουργία εδαφολογικών χαρτών για την υποστήριξη του σχεδιασμού ανάπτυξης των πόλεων. Στα τέλη του 1930 στην Γερμανία δημιουργήθηκαν λεπτομερείς χάρτες σε κλίμακες 1:10.000 και 1:5.000 με θέμα τις χρήσεις γης στις περιοχές που επιλέχθηκαν για οικιστική ανάπτυξη (Hoyningen-Huene 1931, Stremme 1932, McCall 1996).

Μετά το τέλος του Β' Παγκοσμίου πολέμου ξεκίνησε ουσιαστικά και η ανάπτυξη του όρου της αστικής γεωλογίας, ιδιαίτερα στην Ευρώπη και την Βόρεια Αμερική. Συστηματικά προγράμματα γεωλογικών χαρτογραφήσεων αστικών περιοχών έγιναν στην Γερμανία, Ολλανδία και Τσεχοσλοβακία. Στην τελευταία δημιουργήθηκε λεπτομερής χάρτης κλίμακας 1:5.000 των συνθηκών υποβάθρου θεμελίωσης στην πόλη της Πράγας (McCall 1996). Ακόμη και σήμερα η γεωλογική εταιρία της Τσεχίας διαθέτει ένα τεράστιο αρχείο δεδομένων από μελέτες, γεωτρήσεις και χάρτες σχετικούς με γεωλογικές έρευνες (Geofond archive). Πρόκειται για ένα αρχείο 220.000 στοιχείων ανοιχτό και προσβάσιμο από ιδιώτες και οργανισμούς. Οι νέες μελέτες που γίνονται είτε ιδιωτικά είτε κρατικά πρέπει να προστίθενται σε αυτό το αρχείο (<http://www.geology.cz/extranet-eng/services/archives/geofond-archive>). Κάτι αντίστοιχο συμβαίνει και στην Ολλανδία όπου προωθούνται τα ελεύθερα δεδομένα των γεωλογικών ερευνών στο ευρύ κοινό (<https://www.nlog.nl/en/boreholes>). Επίσης στην πολιτεία της Καλιφόρνιας υπάρχει οργανωμένη

και ενημερωμένη πολύ πυκνή βάση δεδομένων γεωτρήσεων και εμπλουτισμένη ιδιαίτερα με στοιχεία σχετικά με ρευστοποιήσιμα εδάφη (<https://www.conservation.ca.gov/cgs/maps-data/borehole-database>).

Στο τέλος του 1960 η αστική γεωλογία παίρνει μεγάλη ώθηση ειδικά στην Αμερική και ειδικότερα στην πόλη του Λος Άντζελες αλλά και τον Καναδά. Το 2000 περίπου το 50% του πληθυσμού της γης (7 δισεκατομμύρια άνθρωποι) ζούνε σε πόλεις, ενώ οι έξι από αυτές έχουν περισσότερο από 5 εκατομμύρια κατοίκους η κάθε μία (McCall et al 1996, Bathrellos 2007). Επίσης 20 πόλεις χαρακτηρίζονται ως supercities (Τόκυο, Βομβάη, Πόλη Μεξικού κ.α.). Μόνο το Τόκυο αριθμεί 35 εκατομμύρια κατοίκους (Ο.Η.Ε.). Η παγκόσμια αύξηση του πληθυσμού οδηγεί μεγάλους αριθμούς ανθρώπων να μετακομίζουν - μεταναστεύουν στις μεγαλουπόλεις για ανεύρεση καλύτερων συνθηκών εργασίας και ζωής.

Ενώ το περιβάλλον διαμορφώνεται από φυσικές συνθήκες, στο αστικό περιβάλλον ο άνθρωπος συμπεριφέρεται ως δημιουργός του τοπίου και του περιβάλλοντος, το οποίο χαρακτηρίζεται ως “cityscape” (Coates 1976). Το 2030 αναμένεται το ποσοστό ανθρώπων που ζούνε σε πόλεις να φτάσει στο 60% σε παγκόσμιο επίπεδο και το 70% στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής (Wilson et al 2016). Αναφερόμενοι στα ελληνικά δεδομένα περισσότερο από το 45% του πληθυσμού κατοικεί σε δύο μητροπολιτικές περιοχές, την Αθήνα και την Θεσσαλονίκη, σύμφωνα με δεδομένα της Ελληνικής Στατιστικής Υπηρεσίας 2011.

Η απότομη και μεγάλη αύξηση κατοίκων σε συγκεκριμένες περιοχές δεν γίνεται χωρίς συνέπειες στο περιβάλλον και την ζωή των κατοίκων. Το 1996 περίπου 3,5 δισεκατομμύρια ανθρώπων ζούσαν σε λιγότερο από το 1% της γης. Το αποτέλεσμα του υπερπληθυσμού αυτού είναι να διαταράσσεται η ισορροπία μεταξύ ζωνών κατοίκησης και φυσικού περιβάλλοντος. Αυξάνονται τοπικά οι ανάγκες σε νερό και τροφή, ενώ αυξάνεται και ο όγκος των απορριμμάτων και αποβλήτων. Τα κτήρια γίνονται ψηλότερα και οι υπόγειες κατασκευές επεκτείνονται (Σχ.2). Μεγάλα φορτία εδράζονται στο υπόβαθρο του αστικού περιβάλλοντος και μεγάλοι όγκοι γεωϋλικών μετακινούνται. Παράλληλα πολλές πόλεις επεκτείνονται κατά μήκος ακτών με την ανάπτυξή τους να εξαρτάται επίσης και από την παγκόσμια κλιματική αλλαγή με την ανύψωση των υδάτων (Hatheway 2005).

Ως αποτέλεσμα της επέκτασης των μεγαλουπόλεων είναι να εμφανίζονται διάφορα προβλήματα όπως πλημμύρες, καθιζήσεις, ρύπανση υπογείων υδάτων και εδαφών, διάβρωση ακτών, τροποποιήσεις ποταμών, κατολισθήσεις, καταπτώσεις και επεκτάσεις εδαφών, όπως και περιβαλλοντικά προβλήματα ρύπανσης αέρα και αλλαγής μικροκλίματος (McCall et al 1996, Davies 2015). Τα προβλήματα αυτά για τις αστικές περιοχές είναι περισσότερο επικίνδυνα απ’ ό,τι σε μη κατοικημένα περιβάλλοντα. Απαιτούν τεράστιο κόστος αποκαταστάσεων, ενώ θα μπορούσαν να προκαλέσουν και απώλειες ανθρώπινων ζωών. Βλέπουμε λοιπόν ότι τα περισσότερα προβλήματα που επηρεάζουν την ανάπτυξη των πόλεων σχετίζονται με γεωλογικές και γεωτεχνικές συνθήκες που προϋπήρχαν στην περιοχή (Loukili et al 2018, McCall et al. 1996) ή που δημιουργούνται από την ανεξέλεγκτη κατοίκηση και δόμηση. Μία λεπτομερής γεωλογική μελέτη μιας περιοχής, ακόμη και σε ήδη υπάρχοντα αστικά κέντρα, θα μπορούσε να οδηγήσει σε αποφυγή μελλοντικών εκπλήξεων. Αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα περισσότερο ασφαλείς πόλεις και μείωση του κόστους αποκατάστασης. Οι βασικές και κρίσιμες γεωλογικές παράμετροι που εξετάζονται είναι το έδαφος, το νερό, η τεκτονική και οι γεωλογικές ασυνέχειες γενικότερα.



Σχ.2 Σχηματική αναπαράσταση της ανάπτυξης μιας πόλης τόσο υπέργεια όσο και υπόγεια με την δημιουργία δρόμων, πάρκινγκ, τούνελ συγκοινωνιών, δικτύων ΟΚΩ, κτηρίων κ.α. (Rotterdam 2035, COST Action TU1206 Sub-Urban)

Ο όρος της αστικής γεωλογίας περιλαμβάνει πολλές επιμέρους ειδικότητες των γεωεπιστημών ξεκινώντας από την κλασική γεωλογία, ακολουθεί η στρωματογραφία, η τεκτονική, η τεχνική γεωλογία, η γεωχημεία, η γεωμορφολογία και η υδρογεωλογία έως την γεωφυσική και την περιβαλλοντική γεωλογία. Παράλληλα απαιτούνται γνώσεις των φυσικών κινδύνων που μία πόλη μπορεί να αντιμετωπίσει.

Για την αποφυγή των επιπτώσεων της άναρχης ανάπτυξης πόλεων σήμερα εκπονούνται οργανωμένα σχέδια επεκτάσεων με πληθώρα μελετών διαφορετικών ειδικοτήτων. Οι μελέτες αυτές βασίζονται σε μία ολοκληρωμένη γεωλογική μελέτη (γεωλογία, τεκτονική, γεωμορφολογία, σεισμολογία, υδρογεωλογία και τεχνική γεωλογία). Το 1973 εκπονήθηκε το Master Plan για την Καλιφόρνια και υπήρξε τεύχος Αστικής γεωλογίας το οποίο ασχολήθηκε με διάφορα γεωλογικά προβλήματα όπως φαίνονται στον πίνακα. Αποτελεί την πρώτη ολοκληρωμένη μελέτη για τις γεωλογικές συνθήκες ενός αστικού περιβάλλοντος. Στην μελέτη αυτή έγινε εκτίμηση των οικονομικών απωλειών από το 1970 έως το 2000 που θα μπορούσαν υπάρξουν χωρίς να ληφθούν μέτρα για συγκεκριμένα γεωλογικά προβλήματα που εντοπίστηκαν. Ο βασικός στόχος της μελέτης ήταν η ελαχιστοποίηση της απώλειας ανθρώπινων ζωών και της καταστροφής περιουσιών. Ενώ σημαντικό ποσοστό καταλαμβάνει και η ελαχιστοποίηση των απωλειών φυσικών πόρων λόγω αστικοποίησης (Alfors J. et al 1973). Τα προβλήματα αυτά καταγράφηκαν, αναλύθηκαν και τελικά προτάθηκαν λύσεις στην ίδια μελέτη.

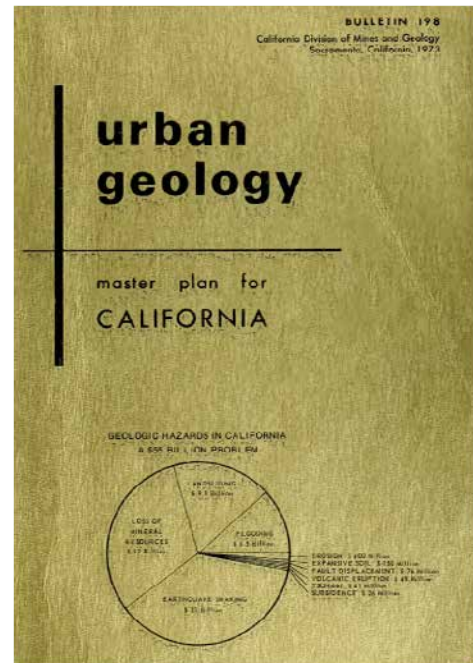
Η τελευταία οργανωμένη έρευνα του υπεδάφους στις αστικές περιοχές έγινε από το Ευρωπαϊκό Δίκτυο Γεωλογικών Ερευνών, Πόλεων και Επιστημόνων, μέσω του προγράμματος COST (European Cooperation in Science and Technology) και ονομάστηκε Sub-Urban (<http://sub-urban.squarespace.com>). Ασχολείται με την μελέτη και την διαχείριση του εδάφους κάτω από τις πόλεις που συμμετέχουν στο πρόγραμμα. Πρόκειται για κάποιες ευρωπαϊκές πρωτεύουσες. Το πρόγραμμα αυτό δημιουργήθηκε από την ανάγκη να μελετηθεί και να ερευνηθεί το υπέδαφος κάτω από τις πόλεις μια και αποτελεί το φυσικό τους περιβάλλον. Εξάλλου με τα σημερινά δεδομένα οι πόλεις δεν αναπτύσσονται μόνο επιφανειακά αλλά και υπόγεια. Η έλλειψη χώρου στην επιφάνεια έχει κάνει επιτακτική την ανάγκη για επέκταση των πόλεων υπόγεια, με την δημιουργία πάρκινγκ, αυτοκινητοδρόμων, σιδηροδρόμων αλλά και υπόγειας αγοράς που συνοδεύει τα έργα αυτά. Ο κάτω από την επιφάνεια χώρος θα χρησιμοποιείται για να αποφορτίζει τις πυκνοδομημένες πόλεις. Έτσι τα δίκτυα Ο.Κ.Ω. (οργανισμών κοινής ωφελείας) βρίσκονται στο

ρηχό υπέδαφος μαζί με τις υπόγειες διαβάσεις, ενώ βαθύτερα βρίσκουμε τα δίκτυα συγκοινωνιών (αυτοκινητόδρομοι, μετρό). Σε μεγάλα βάθη μπορούμε να συναντήσουμε καταφύγια, αποθήκες και πάρκινγκ. Ενώ ακόμη βαθύτερα κατασκευάζονται θησαυροφυλάκια, πυρηνικά καταφύγια ή χώροι απόθεσης επικίνδυνων αποβλήτων (Van der Meulen et al 2016). Όσο περισσότερο κατασκευάζονται υπόγεια έργα τόσο περισσότερος χώρος απελευθερώνεται επιφανειακά για την καλύτερευση της ποιότητας ζωής.

Γεωλογικά προβλήματα	Κόστος σε \$	Ποσοστό
Σεισμοί	21.000.000.000	37,95
Απώλεια Φυσικών Πόρων	17.000.000.000	30,72
Κατολισθήσεις	9.900.000.000	17,89
Πλημμύρες	6.500.000.000	11,75
Διάβρωση	600.000.000	1,08
Επέκταση εδαφών	150.000.000	0,27
Μετατόπιση ρηγμάτων	76.000.000	0,14
Ηφαιστειακές εκρήξεις	49.000.000	0,09
Τσουνάμι	41.000.000	0,07
Καθιζήσεις	26.000.000	0,05

(Alfors J. et al 1973)

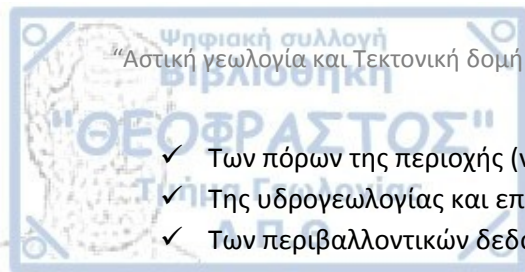
Πίνακας όπου φαίνεται η καταγραφή των προβλημάτων που αντιμετώπιζε η πολιτεία της Καλιφόρνιας το 1973. Υπολογίστηκε το κόστος σε περίπτωση αστοχίας και το ποσοστό που καταλαμβάνει κάθε πρόβλημα στον συνολικό προϋπολογισμό. Εξώφυλλο του Master Plan για την πολιτεία της Καλιφόρνιας.



Το υπέδαφος των πόλεων κρύβει επίσης πολλούς πρωτογενείς πόρους, οι οποίοι είναι πολύτιμοι για την ανάπτυξη των πόλεων. Τέτοιοι πόροι είναι το νερό και τα κατασκευαστικά υλικά πάνω στα οποία θεμελιώνονται οι πόλεις. Από τα αρχαία χρόνια για την εγκαθίδρυση μια πόλης ήταν απαραίτητο να βρίσκονται κοντά της πηγή νερού και υλικά για την ανέγερση των κτισμάτων. Σήμερα το υπέδαφος των πόλεων με μακρά ιστορία αποτελεί ένα είδος ιστορικού αρχείου. Στο υπέδαφος αυτό συνυπάρχουν πολλά στρώματα με ιστορία αιώνων. Σε κάθε εκσκαφή σε ιστορικές πόλεις εμφανίζονται τα βαθύτερα εποχικά στρώματα της ιστορίας της.

Η μελέτη της αστικής γεωλογίας αποτελεί μια ολιστική μελέτη μιας περιοχής και εμπλέκονται διάφοροι κλάδοι της γεωλογίας. Αποτελεί δηλαδή μία πολυπαραγοντική μελέτη. Τα βήματα τα οποία χρειάζονται για την ολοκληρωμένη μελέτη σύμφωνα με διάλεξη του Hans Cloos το 2010 (Cullshaw and Price 2011) περιλαμβάνουν μελέτες όπως:

- ✓ Της ιστορίας της περιοχής
- ✓ Του τοπογραφικού υποβάθρου
- ✓ Του γεωλογικού υποβάθρου και της στρωματογραφίας γενικότερα
- ✓ Των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών, ιδιαίτερα των επιφανειακών στρωμάτων θεμελίωσης
- ✓ Του τεκτονικού υποβάθρου και της ενεργού τεκτονικής της περιοχής
- ✓ Της σεισμικότητας



- ✓ Των πόρων της περιοχής (νερό, ενέργεια, γεωθερμία, κοιτάσματα)
- ✓ Της υδρογεωλογίας και επιφανειακής υδρολογίας
- ✓ Των περιβαλλοντικών δεδομένων (ρύπανση, διαχείριση απορριμμάτων κ.α.)

Η συγκέντρωση όλων αυτών των στοιχείων και η διαχείριση των δεδομένων οδηγεί στην δημιουργία θεματικών χαρτών. Κάποιοι από αυτούς τους χάρτες επισημαίνουν περιοχές επιδεκτικές σε κινδύνους όπως πλημμύρες, κατολισθήσεις κ.α. Με την βοήθεια των χαρτών αυτών μπορεί να γίνει και η επιλογή των περιοχών για συγκεκριμένες ανάγκες λειτουργίας μίας πόλης. Όλα αυτά είναι ιδιαίτερα χρήσιμα στην περίπτωση επέκτασης μιας πόλης ή δημιουργίας μίας νέας. Στη περίπτωση όμως της πόλης η οποία ήδη λειτουργεί βοηθάει στην ελαχιστοποίηση των καταστροφών από πιθανές αιτίες όπως σεισμοί, κατολισθήσεις και πλημμύρες, με ενεργοποίηση μηχανισμών πρόληψης.

Παράλληλα η σωστή και ολοκληρωμένη μελέτη του υποβάθρου ενός αστικού περιβάλλοντος και η δημιουργία θεματικών χαρτών 2D και 3D βοηθάει στην έγκαιρη εύρεση και αντιμετώπιση προβλημάτων, όπως είναι οι καθιζήσεις και τα καλυμμένα πιθανά ενεργά ρήγματα, ενώ δίνει την ώθηση για την υπόγεια επέκταση της πόλης που προωθείται τις τελευταίες δεκαετίες.

Στην συγκεκριμένη έρευνα θα μελετηθεί η αστική περιοχή της Θεσσαλονίκης. Η πόλη της Θεσσαλονίκης ιδρύθηκε το 315π.Χ. και έκτοτε με αδιάλειπτη κατοίκηση φτάνει μέχρι και σήμερα. Αποτελεί την δεύτερη μεγαλύτερη πόλη της Ελλάδας με τον πληθυσμό της μητροπολιτικής περιοχής να αγγίζει το 1 εκατομμύριο. Για την πόλη της Θεσσαλονίκης μελετήθηκε αρχικά η γεωλογία του αστικού περιβάλλοντος, η επιφανειακή υδρολογία και η υδρογεωλογία. Ακολούθησε η μελέτη της τεκτονικής και νεοτεκτονικής. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιήθηκαν και για μία προσέγγιση της επέκτασης της πόλης από την ίδρυσή της μέχρι σήμερα με βάση γεωλογικά στοιχεία.

Αστική γεωλογία Θεσσαλονίκης

Γεωτρήσεις

Η αστική γεωλογία χρησιμοποιεί πολύ την μελέτη γεωτρήσεων, καθώς είναι από τους λίγους τρόπους να καταγράψει την γεωλογία ενός δομημένου περιβάλλοντος. Σε συνδυασμό με την μελέτη της γεωλογίας σε ανοιχτές εκσκαφές και τα ορατά φαινόμενα μέσα στον αστικό ιστό συνθέτουν μια σχετικά πλήρη εικόνα της γεωλογίας κάτω από το επίπεδο θεμελίωσης της πόλης. Όταν αυτή η πόλη έχει συνεχή δόμηση για πολλούς αιώνες, όπως η Θεσσαλονίκη, που κατοικείται για περισσότερο από 2.300 χρόνια, τότε οι δυσκολίες μεγαλώνουν.

Γεωτρήσεις μελετήθηκαν και στην διδακτορική μου διατριβή η οποία τελείωσε το 2010. Μέσα στα χρόνια που ακολούθησαν οι γεωτρήσεις αυτές εμπλουτίστηκαν και από άλλα έργα τα οποία έγιναν στην πόλη και συμπληρώθηκαν. Σε αυτή την εργασία γίνεται μία επανεκτίμηση των γεωτρήσεων που είχαν χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με νέες καθώς και εκσκαφές που πραγματοποιήθηκαν.

Η κατασκευή του Μετρό Θεσσαλονίκης έδωσε πάρα πολλά στοιχεία για την μελέτη της γεωλογίας της πόλης της Θεσσαλονίκης. Λόγω της ανάπτυξης του άξονά του κατά μήκος της ακτογραμμής σε απόσταση περίπου 12km έδωσε πολύτιμα στοιχεία για την γεωλογία της πόλης, σε συνδυασμό και με τις ανοιχτές εκσκαφές που πραγματοποιήθηκαν. Η εργασία αυτή εμπλουτίστηκε από στοιχεία τα οποία αντλήθηκαν από την κατασκευή γεωτρήσεων και σταθμών και τα οποία δεν υπήρχαν κατά την συγγραφή της διδακτορικής διατριβής.

Έτσι λοιπόν συγκεντρώθηκαν και αξιολογήθηκαν περισσότερες από 1000 γεωτρήσεις μέσα στο πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης. Αφορούν το κομμάτι της πόλης από την περιοχή του λιμανιού μέχρι και την περιοχή της Μίκρας. Περιλαμβάνουν δηλαδή του δήμους Θεσσαλονίκης, Καλαμαριάς, Πυλαίας, Αμπελοκήπων, Μενεμένης και Νεάπολης – Συκεών. Δόθηκε έμφαση στο παραλιακό μέτωπο της πόλης και την περιοχή της Καλαμαριάς.

Οι γεωτρήσεις αυτές αφορούσαν έργα δημόσια και ιδιωτικά, μεγάλα και μικρότερα και για διάφορους σκοπούς όπως μελέτες υδρολογικές, υδρογεωλογικές και κυρίως γεωτεχνικές. Οι γεωτρήσεις αυτές συγκεντρώθηκαν από Ιδιωτικές Εταιρίες Εδαφοτεχνικών Μελετών, και εταιρίες του δημοσίου όπως: Αττικό Μετρό Α.Ε., Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ., Κ.Ε.Δ.Ε., Ι.Τ.Σ.Α.Κ., Ι.Γ.Μ.Ε., Διεύθυνση Υδάτων, Γεωλογικό Τμήμα Α.Π.Θ., Δήμους και Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας.

Για την καλύτερη αξιολόγηση των γεωτρήσεων έπρεπε να γίνει μία ομαδοποίηση των γεωλογικών περιγραφών. Οι γεωλογικές περιγραφές διέφεραν ανάλογα με την χρήση της γεώτρησης. Οι περιγραφές σχηματισμών των υδρογεωτρήσεων βοηθάνε κυρίως για τον διαχωρισμό του υποβάθρου ενώ από γεωτεχνικές περιγραφές μπορεί να λείπουν στοιχεία χρώματος των σχηματισμών. Τα πιο πλήρη δεδομένα σχετικά με τις περιγραφές γεωτρήσεων ήταν αυτά του μετρό Θεσσαλονίκης. Τις γεωτρήσεις αυτές έχω επιβλέψει η ίδια από τον σχεδιασμό του γεωτρητικού προγράμματος έως την εγκατάσταση γεωτεχνικών οργάνων παρακολούθησης του εδάφους και την εισαγωγή τους στην βάση δεδομένων του έργου. Για τον λόγο αυτό η εμπειρία αυτή ήταν η βάση για την κατάταξη και αξιολόγηση των γεωτρήσεων ως προς την γεωλογική πληροφορία.

Μετά την ομαδοποίηση των γεωλογικών περιγραφών σε ενότητες για την περαιτέρω αξιοποίησή τους εισάχθηκαν σε βάση δεδομένων με πεδία το πραγματικό τους υψόμετρο και τα βάθη των ενοποιημένων γεωλογικών ενότητων.

A/A	Θέση	Γεώτρηση	Υψόμετρο z	Θάλασσα	Τεφρή άργιλος	Τεχνητές επιχώσεις	Τεταρτογενείς αποθέσεις	Ψαμμιτο- μαργαίική ενότητα	Ερυθρές άργιλοι	Βραχώδεις υπόβαθρο	Τελικό βάθος γεώτρησης
			(m)	Βάθος από την επιφάνεια (m)							
1	ΔΕΗ Αγ. Δημητρίου	Γ1	22	-	-	3				10	10
	ΔΕΗ Αγ. Δημητρίου	Γ2	22			2,8				11	11

Τμήμα πίνακα εισαγωγής στην βάση δεδομένων των ομαδοποιημένων γεωλογικών σχηματισμών της πόλης της Θεσσαλονίκης.

Τα στοιχεία εκείνα που ελήφθησαν υπόψη για την κατάταξη σε γεωλογικές ενότητες είναι τα εξής:

Περιγραφή σχηματισμού: Όπως το είδος του σχηματισμού άργιλος ή άμμος ή συνδυασμός αυτών ανάλογα με το υλικό που υπερισχύει. Όπως για παράδειγμα αργιλώδης ΑΜΜΟΣ, όπου η άργιλος προσδιορίζεται ως δεύτερο σε αναλογία υλικό στο στρώμα της άμμου.

Δομή: Κατά την περιγραφή γίνεται αναφορά στο πάχος των στρώσεων των ιζηματογενών σχηματισμών που αναφέρονται.

Χρώμα: Πρόκειται για πολύ σημαντικό στοιχείο μια και για την πόλη της Θεσσαλονίκης κύριες γεωλογικές ενότητες διαχωρίζονται με βάση το χρώμα, για παράδειγμα ελαιοπράσινο ή κυανό και ερυθρό.

Μέγεθος κόκκων και χαλίκων: Δίνει στοιχεία για την προέλευση και την γένεση του ιζηματογενούς σχηματισμού. Σημαντικό στην προέλευση του σχηματισμού είναι επίσης το μέγεθος και το σχήμα των χαλίκων. Για παράδειγμα μεγάλο μέγεθος χαλίκων έως κροκάλες (στρογγυλεμένες) και λατύπες (γωνιώδεις) παραπέμπουν σε ένα περιβάλλον απόθεσης ποταμοχειμάρια.

Αντοχή: Σημαντικό στοιχείο για την κατάταξη των ιζηματογενών σχηματισμών παίζει και η αντοχή τους. Η κατάταξή τους σε κλίμακα γίνεται ξεχωριστά για τα αργιλικά εδάφη και ξεχωριστά για τα αμμώδη. Για παράδειγμα οι νεογενείς σχηματισμοί εμφανίζονται πολύ στιφροί και πολύ πυκνοί.

Αντοχή λεπτόκοκκων εδαφών	Αντοχή αδρόκοκκων εδαφών
Πολύ μαλακό	Πολύ χαλαρό
Μαλακό	Χαλαρό
Σταθερό	Μέτρια πυκνό
Στιφρό	Πυκνό
Πολύ στιφρό	Πολύ πυκνό
Σκληρό	

Πίνακας κατάταξης εδαφών σε σχέση με την αντοχή τους κατά FIELD DESCRIPTION OF SOILS-BS5930:2015

Πρότυπη δοκιμή διείσδυσης (SPT): Η επί τόπου δοκιμή πρότυπης διείσδυσης SPT (Standard Penetration Test) που λαμβάνει χώρα κατά την διάτρηση δίνει πολύ σημαντικές πληροφορίες για την κατάταξη των σχηματισμών (εδαφικών). Είναι πολύ σημαντικό στοιχείο ιδιαίτερα όταν δεν υπάρχει πλήρης περιγραφή για την κατάταξη των εδαφών σε γεωλογικές ενότητες. Οι πολύ λίγοι σε αριθμό κτύποι δηλώνουν τα μαλακά εδάφη ενώ οι πολλοί σε αριθμό κτύποι >50 ή η άρνηση διείσδυσης, δηλώνουν τον πολύ σκληρό εδαφικό σχηματισμό ή την παρουσία κροκάλων και τεμαχών ή και δομικών στοιχείων.

Αντοχή σχηματισμού	SPT - N
Πολύ χαλαρός	0 - 4
Χαλαρός	5 - 10
Μέτριος	11 - 30
Πυκνός	31 - 50
Πολύ πυκνός	> 50

Πίνακας χαρακτηρισμού εδαφών σε σχέση με τις κρούσεις SPT κατά FIELD DESCRIPTION OF SOILS-BS5930:2015

Ανάλογα με τον αριθμό των κρούσεων (κτύπων N) γίνεται και η αξιολόγηση των εδαφών σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα που δημοσιεύτηκε στην διδακτορική μου διατριβή. Ο πίνακας αυτός προήλθε από την μελέτη και των συσχετισμό των γεωτρήσεων που διατρήθηκαν στο Μετρό Θεσσαλονίκης.

ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ	ΔΟΚΙΜΕΣ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ (SPT)
	Αριθμός κτύπων N
Τεχνητές επιχώσεις	5 – 50 (άρνηση)
Τεταρτογενείς -ποταμολιμναίες αποθέσεις	4 - 40
Τεταρτογενείς -ποταμοχειμάρειες αποθέσεις	12 – 50 (άρνηση)
Ενότητα Ερυθρών Αργίλων	Άρνηση
Ψαμμιτομαργαϊκή Ενότητα	20 – 50 (άρνηση)

Οξειδία μαγγανίου (Mn): Η παρουσία οξειδίων μαγγανίου αποτελεί ένα χαρακτηριστικό γνώρισμα για τον χαρακτηρισμό των νεογενών αποθέσεων των ερυθρών αργίλων. Το χαρακτηριστικό αυτό διαχωρίζει τις νεογενείς αποθέσεις από τις νεότερες τεταρτογενείς ίδιου χρώματος.

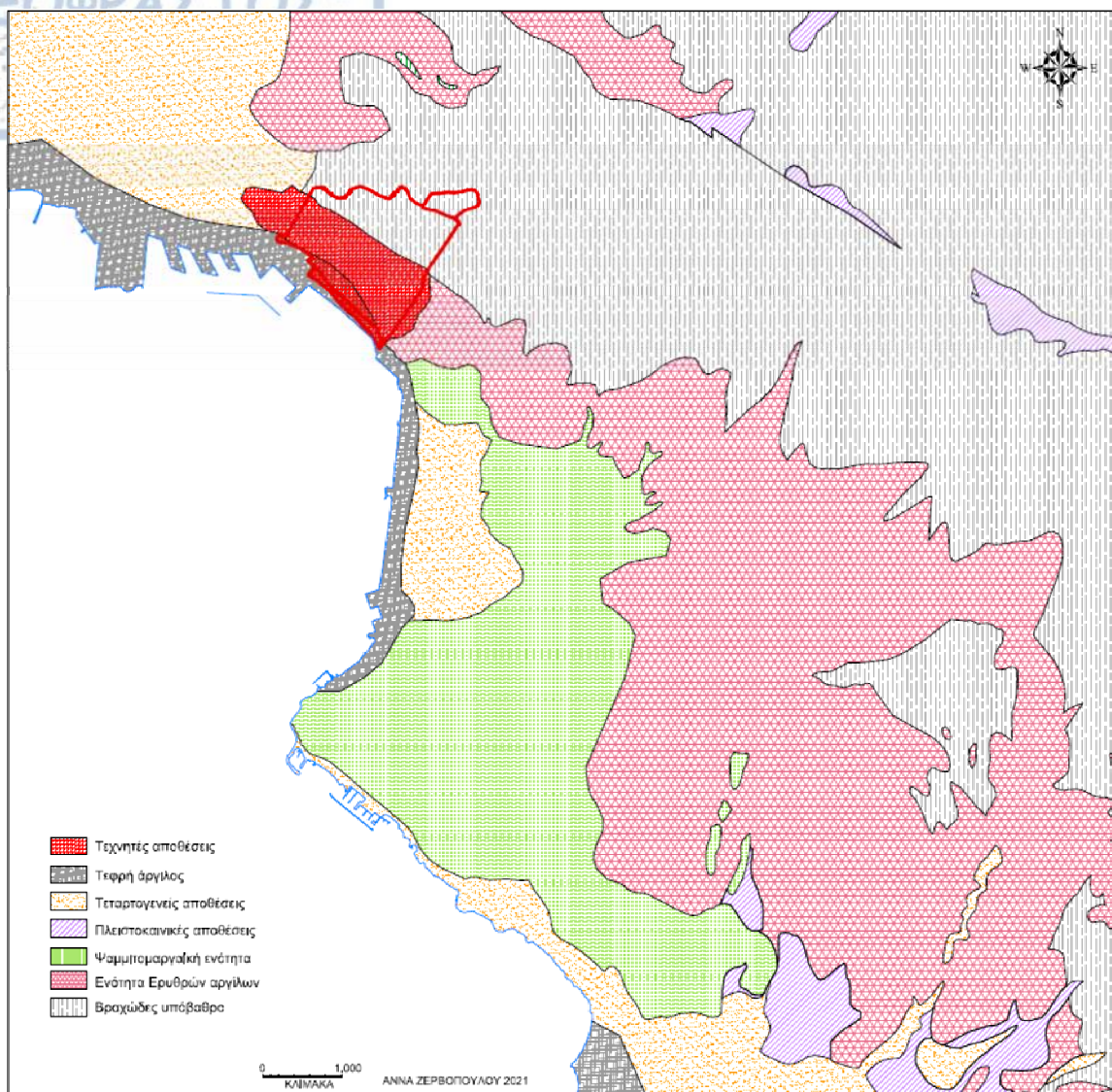
Επιφάνειες διαγένεσης: Πρόκειται για μικρές λείες επιφάνειες στην δομή των αργίλων στην ενότητα των ερυθρών αργίλων. Αποτελεί χαρακτηριστικό διάκρισής τους από τα ίδιου χρώματος τεταρτογενή ιζήματα. Διαφέρουν από τις τεκτονικές επιφάνειες ολίσθησης ως προς το μέγεθος και την δομή της επιφάνειάς τους.

Γεωλογικές ενότητες

Γεωλογικά η πόλη της Θεσσαλονίκης ανήκει στην Περιοδοπική ζώνη και την Ενότητα Άσπρης Βρύσης – Χορτιάτη. Οι σχηματισμοί που κυριαρχούν στην πόλη είναι οι νεογενείς αποθέσεις οι οποίες επικάθονται στο βραχώδες υπόβαθρο της πόλης. Επιφανειακά όμως κυριαρχεί ο κοινός σχηματισμός όλων των αστικών περιβαλλόντων και αυτός δεν είναι άλλος από τις ανθρωπογενείς αποθέσεις.

Οι γεωλογικές ενότητες που ομαδοποιήθηκαν για την πόλη της Θεσσαλονίκης είναι 7 (Σχ.3) και θα τις εξετάσουμε αναλυτικά παρακάτω ξεκινώντας από την πιο πρόσφατη.

ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ	ΤΟΜΗ
1. Τεχνικές επιχώσεις – Ανθρωπογενές στρώμα – Αρχαιολογικό στρώμα (man made – historical – archaeological – fill)	Τεχνητές αποθέσεις Τεφρή άργιλος με όστρακα Ποταμοχειμάρειες και λιμναίες αποθέσεις Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά/ενότητα Σχηματισμός Γωνιάς (χαρακτηριστική στρώση ηφαιστειακής άμμου) Σχηματισμός Τριλόφου (χαρακτηριστική στρώση ξυλίνη) Σειρά/ενότητα Ερυθρών αργίλων Σχηματισμός Τρίγλιας (φακοί χαλικιών & άμμου) (φακοί λατυποπαγών) Υπόβαθρο
2. Παράκτιες άμμοι	
3. Τεφρή / Μελανή Άργιλος (Black Clay)	
4. Τεταρτογενείς αποθέσεις	
4.1. Ποταμοχειμάρειες	
4.2. Λιμνοθαλάσσιες - Δελταϊκές	
4.3. Ερυθροστρώματα	
5. Ψαμμιτομαργαϊκή ενότητα (Sand-Marl Series)	
6. Ενότητα Ερυθρών Αργίλων (Red Clay Series)	
7. Βραχώδες υπόβαθρο(Rocky Basement)	



Σχ.3 Συνθετικός γεωλογικός χάρτης της πόλης της Θεσσαλονίκης.

1. Τεχνικές επιχώσεις – Ανθρωπογενές στρώμα – Αρχαιολογικό στρώμα (man made – historical – archaeological – fill)

Πρόκειται για ιστορικές έως σύγχρονες αποθέσεις, οι οποίες προσδιορίζονται από την παρέμβαση του ανθρώπου στην απόθεσή τους. Πρόκειται για αδιαβάθμητες αποθέσεις με ποικίλα εδαφοτεχνικά χαρακτηριστικά.

Στο στρώμα αυτό περιλαμβάνονται:

α) οι επιφανειακές αποθέσεις σε ένα αστικό περιβάλλον που είναι η ασφαλτός, τα πεζοδρόμια και οι βάσεις έδρασης αυτών.

β) οι διαταραγμένες αποθέσεις βαθύτερα οι οποίες προήλθαν από εκσκαφές για θεμελιώσεις κτηρίων και εγκαταστάσεις δικτύων οργανισμών κοινής ωφέλειας Ο.Κ.Ω. (Ηλεκτρισμός, Οδοφωτισμός, Φυσικό Αέριο, Τηλεφωνία, Νερό, Αποχέτευση). Πρόκειται για στρώμα πάχους από 0,5 μέτρο έως και 2,5 μέτρα βάθος (Αποχέτευση), ανάλογα με το δίκτυο (Σχ.4,5). Οι κεντρικοί αγωγοί αποχέτευσης όπως της Θεσσαλονίκης εντοπίζονται σε μεγαλύτερο βάθος 8-10 μέτρα. Επιφανειακά βρίσκουμε δίκτυα οδοφωτισμού ενώ βαθύτερα βρίσκονται τα δίκτυα νερού και αποχέτευσης. Οι αποθέσεις αυτές αποτελούν ένα μίγμα από εδαφικά υλικά τα οποία προϋπήρχαν στην θέση εκσκαφής μαζί με υλικά πλήρωσης κενών κι εκσκαφών όπως άμμοι και χαλίκια 3Α

(αμμοχάλικο πλήρωσης). Στις θέσεις αυτές βρίσκουμε και κατασκευές προστασίας των δικτύων αυτών. Όπως για παράδειγμα χρωματιστά πλέγματα (φυσικό αέριο) και τσιμεντένιες κατασκευές κάλυψης (ΔΕΗ).



Σχ.4 Εξσκαφή όπου εντοπίστηκαν διάφορα δίκτυα Ο.Κ.Ω. σε πολλά διαφορετικά επίπεδα (Οδοφωτισμός, ΔΕΗ, ΕΥΑΘ).

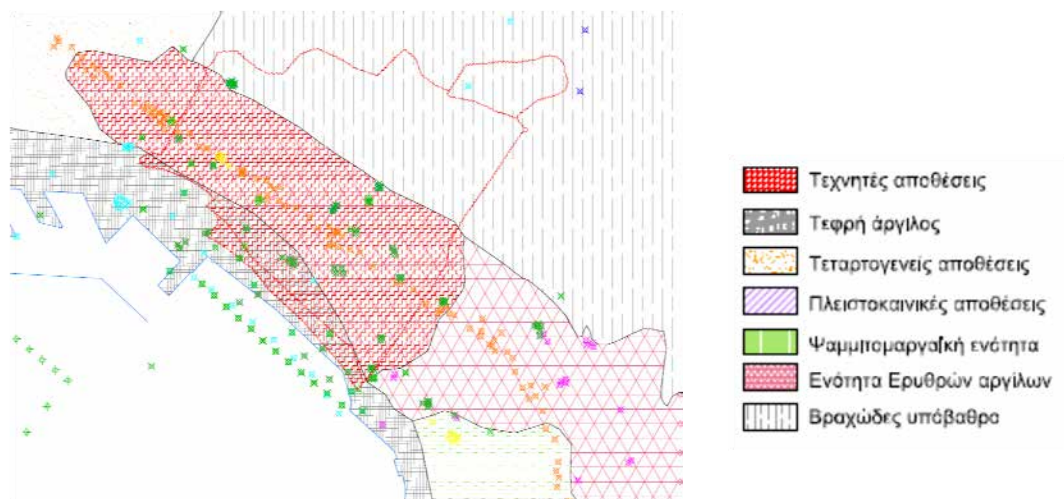


Σχ.5 Αγωγός αποχέτευσης κατά την εξσκαφή του σταθμού Αγ. Σοφίας του Μετρό Θεσσαλονίκης (ametro.gr).

Στις αποθέσεις αυτές ανήκουν και οι γ) ιστορικές αποθέσεις ή αρχαιολογικό στρώμα. Πρόκειται για αποθέσεις των ιστορικών χρόνων κατοίκησης της περιοχής (Σχ.6). Για την πόλη της Θεσσαλονίκης χρονολογούνται από τις αρχές του 4^{ου} αιώνα (Βελένη et al 2018). Συνεχίζουν στα Ελληνιστικά χρόνια, τα ρωμαϊκά, βυζαντινά και οθωμανικά (τουρκοκρατία) αλλά φτάνουν και μέχρι τα νεότερα χρόνια. Προέρχονται από φυσικές ή τεχνητές καταστροφές οικιστικών τμημάτων (Ρόζος et al, 2000) παλαιότερων εποχών.

Λόγω ενοποίησης διάφορων πολισμάτων κατά την εποχή του Κάσσανδρου 315-316π.Χ. οπότε και ιδρύθηκε η πόλη της Θεσσαλονίκης, ιστορικές αποθέσεις μπορούν να βρεθούν και σε άλλες περιοχές εκτός του ιστορικού κέντρου εντός των Τειχών. Σύμφωνα με ανασκαφές για την κατασκευή του Μετρό Θεσσαλονίκης και την Βελένη et al 2018, πολιίσματα έχουν βρεθεί και στην περιοχή της Πυλαίας, Φλέμινγκ αλλά και στο ακρωτήριο Μικρό Έμβολο - Καραμπουρνάκι όπου διενεργούνται ανασκαφές από το ΑΠΘ και που χρονολογούνται από το 1.000π.Χ. (Τιβέριος et al 2002, 1994, Ρωμαίος, 1940).

Για το ιστορικό κέντρο της Θεσσαλονίκης οι ιστορικές αποθέσεις αποτελούν έναν σημαντικό σχηματισμό (Σχ.7) με πάχος έως και 15 μέτρα (περιοχή Βενιζέλου και Τσιμισκή). Το μεγαλύτερο πάχος των ιζημάτων αυτών όμως συναντάται εντός των ιστορικών τειχών και μεταξύ του παραλιακού μετώπου και της οδού Αγίου Δημητρίου.



Σχ.6 Ανάπτυξη του ιστορικού στρώματος (κόκκινο χρώμα) στο ιστορικό κέντρο της Θεσσαλονίκης.

Στον γεωλογικό χάρτη έχει επιλεγεί να εμφανίζεται ως γεωλογικό στρώμα πάνω από τις αποθέσεις των ερυθρών αργίλων, της τεφρής αργίλου και των τεταρτογενών αποθέσεων, στην περιοχή του ιστορικού κέντρου της πόλης, λόγω του σημαντικού πάχους του. Το όριο του εκτείνεται από την οδό Αγίου Δημητρίου όπου είναι και η επαφή με το βραχώδες υπόβαθρο της πόλης μέχρι και το βυζαντινό παραθαλάσσιο τείχος. Από το βυζαντινό παραθαλάσσιο τείχος μέχρι το σημερινό όριο της ακτογραμμής / προκυμαίας εκτείνονται οι διαταραγμένες αποθέσεις νεότερων χρόνων με τα υλικά κατεδάφισης του παραθαλάσσιου τείχους και την δημιουργία της νέας προκυμαίας το 1870 μέχρι το 1880 ή το 1906 (τελευταία ανύψωση εδάφους) οπότε και πήρε την σημερινή της μορφή (Βλαχόπουλος. 2019).

Πρόκειται για ετερογενή σχηματισμό που αποτελείται από υλικά κατασκευών όπως τοιχία διάφορων παχών σε οικήματα και δημόσια κτήρια και υλικά κατεδαφίσεων διάφορων εποχών. Στο στρώμα αυτό εντοπίζονται και ιστορικές οδοί όπως η Εγνατία οδός και οι κάθετοι (cardo) και παράλληλοι άξονες (decumano) της πόλης από την ίδρυσή της (Βελένη et al 2018). Μέσα στον σχηματισμό αυτό εκτός από την αργιλώδη άμμο έως αμμώδη άργιλο που υπάρχει ως συνδετικό υλικό αποσάθρωσης βρίσκονται επίσης τούβλα, κονιάματα, κεραμικά, κεραμίδια και ξύλα με τεμάχια κατασκευαστικών υλικών (ασβεστόλιθου, μαρμάρου και πρασινοσχιστολίθου). Στο στρώμα αυτό συναντάμε κυρίως εκτός των τειχών της πόλης και τα κοιμητήρια διάφορων εποχών (ανατολικό νεκροταφείο πόλης και δυτική νεκρόπολη). Στις θέσεις αυτές μέσα στον σχηματισμό βρίσκονται εκτός από οστά, εδώλια, κοσμήματα και αγγεία πήλινα και γυάλινα (Βελένη et al 2018).



Σχ.7 Φωτογραφία του 1920 όπου φαίνεται βυθισμένη η Βυζαντινή εκκλησία Παναγία Χαλκίων μέσα στα πρόσφατα ιζήματα (περιοχή Αριστοτέλους) (Δημόσια Ομάδα, Παλιές φωτογραφίες της Θεσσαλονίκης: <https://www.facebook.com/groups/oldthessaloniki>).

Παράλληλα μέσα σε αυτά τα υλικά βρίσκονται και τμήματα από οστά, όστρακα, είδη καθημερινής χρήσης (τμήματα αγγείων και αγαλμάτων) καθώς και οργανικά υλικά ως υπολείμματα τροφών και ίχνη καύσης. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα στρώματα καύσης, υπολειμμάτων πυρκαγιών (1890, 1917), που υπάρχουν ως ορίζοντες μέσα στο στρώμα αυτό (Σχ.8). Όπως επίσης και τα στρώματα από υπολείμματα οστράκων (όστρεα) γαστερόποδων και δίθυρων τα οποία χρησιμοποιούνται από εργαστήρια της εποχής για την βαφή υφασμάτων (Βελένη et al 2018). Διάφορες καταστροφές σε κατασκευές και μνημεία της εποχής του 5^{ου} αιώνα έδειξαν και τον σεισμό του 620μ.Χ.



Τομή αρχαιολογικού στρώματος



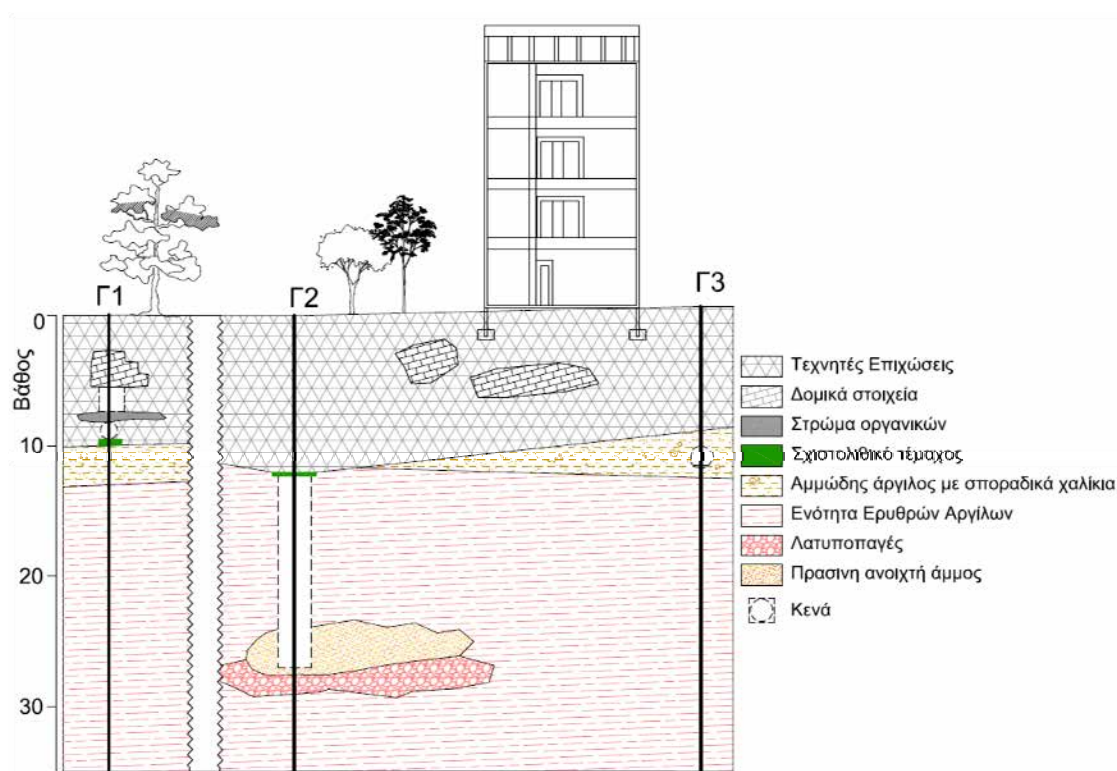
Αρχαιολογικό δάπεδο σε
προεκσκαφή γεώτρησης



Στρώμα καύσης (οριζόντιο)

Σχ.8 Εδαφικά στρώματα σε διάφορες τομές εδάφους

Στον σχηματισμό αυτό βρίσκονται τα επάλληλα ιστορικά στρώματα της Θεσσαλονίκης. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα κενά τα οποία έχουν διαπιστωθεί σε δειγματοληπτικές γεωτρήσεις στην περιοχή της Αριστοτέλους και σε άλλες θέσεις. Μπορεί να είναι κενά μέσα σε δομικά στοιχεία, αλλά και πηγάδια, στοές ή αποχετεύσεις και παλιοί αγωγοί υδροδότησης.



Σχ.9 Σχέδιο όπου φαίνεται η τομή εδάφους σε περιοχή του ιστορικού κέντρου της πόλης της Θεσσαλονίκης. Το κενό εντοπίστηκε στην γεώτρηση Γ2 σε βάθος από 12 έως 27 μέτρα. Χαρακτηρίστηκε ως πηγάδι.

Ήδη από τα αρχαία χρόνια για την υδροδότηση ιδιωτικών κατοικιών αλλά και για την υποδομή της πόλης χρησιμοποιούνταν πηγάδια (Καϊάφα Α., 2008). Οι πλούσιες υδροφορίες της πόλης ευνοούσαν την χρήση τους. Σε δειγματοληπτικές γεωτρήσεις είναι εξαιρετικά σπάνιο να τύχει και να διατηρηθεί κάποιο πηγάδι, όμως στην περιοχή της Αριστοτέλους τυχαία εντοπίστηκε σε γεώτρηση μία τέτοια κατασκευή (γεώτρηση Γ2). Λόγω της πυκνής διάτρησης της περιοχής με γεωτρήσεις ανά 3 μέτρα, κατέστη δυνατό να υπολογιστούν οι διαστάσεις του με μεγάλη προσέγγιση. Πρόκειται για πηγάδι βάθους 15 μέτρων (12,00-27,00 από την επιφάνεια του εδάφους) σκαμμένο μέσα στην νεογενή ενότητα των ερυθρών αργίλων το οποίο τελείωνε σε στρώμα ανοιχτής πράσινης άμμου υψηλής υδροφορίας. Το πλάτος του και πιθανά η διάμετρός του ήταν μεταξύ 2 και 2,5 μέτρα. Στην

επιφάνεια του (σημερινό βάθος 12m) ήταν κλεισμένο με γνευσιακό λίθο πάχους 30 εκατοστών. Πάνω από αυτό τον λίθο άρχιζαν οι αποθέσεις των ιστορικών χρόνων με ίχνη παλαιότερης δόμησης.

Παράλληλα με τα δίκτυα ύδρευσης της πόλης, κατά τα αρχαία χρόνια, αναπτύσσονταν και οι αγωγοί αποχέτευσης. Σύμφωνα με την Καϊάφα Α., 2008 από ανασκαφές έχει βρεθεί ότι οι αγωγοί αυτοί ήταν κανάλια λιθόκτιστα και οι διαστάσεις τους κυμαίνονταν εσωτερικά σε πλάτος 0.60-1.40m και σε ύψος 1.20-1.80m. Σήμερα πρόκειται για κενούς ως επί τω πλείστον αγωγούς που διατρέχουν το ιστορικό υπόβαθρο της πόλης. Τέτοια κενά τμήματα έχουν βρεθεί κατά την διάτρηση γεωτρήσεων και οι διαστάσεις ύψους τους συμφωνούν με τις αρχαιολογικές ανασκαφές και την βιβλιογραφία. Στην περιοχή της Αριστοτέλους και στο ύψος της Εγνατίας οδού (Σχ.9) εντοπίστηκαν παρόμοια κενά σε 2 γεωτρήσεις ύψους 1,20 και 1,50 μέτρων και σε βάθη 8 και 10 μέτρων αντίστοιχα (γεωτρήσεις Γ1 και Γ3). Πρόκειται για αγωγούς ή στοές με πιθανή διεύθυνση προς την θάλασσα (BA-ND) μια και δεν έχει βρεθεί η συνέχειά τους κατά μήκος της Εγνατίας οδού. Στο δάπεδο των αγωγών / στοών εντοπίστηκε ιστορικό στρώμα, πάχους 20-40 εκατοστών, τεφρού χρώματος αμμώδους αργίλου με ίχνη οργανικών υλικών, ξύλα, όστρακα (κοχύλια), ίχνη καύσης, κεραμικών, γυαλιών και πλίνθων.

2. Τεφρή / Μελανή Άργιλος (Black Clay)

Πρόκειται για χαρακτηριστικό σχηματισμό για το πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης. Εκτείνεται παράλληλα στην ακτογραμμή και το θαλάσσιο μέτωπο της πόλης. Το πάχος της και η έκτασή της μεταβάλλεται κατά μήκος της ακτογραμμής (Vounalidis et al. 2005). Δίνει πολλές πληροφορίες σχετικά με την πορεία εξέλιξης της ακτογραμμής στον χρόνο. Το ίχνος του στρώματος εισέρχεται στην σημερινή ακτογραμμή για αρκετά μέτρα και οικοδομικά τετράγωνα, ανάλογα με την περιοχή. Επιφανειακά ο σχηματισμός καλύπτεται από τις σύγχρονες παράκτιες άμμους και τις τεχνικές επιχώσεις και κατασκευές (παλαιά και νέα παραλία Θεσσαλονίκης).

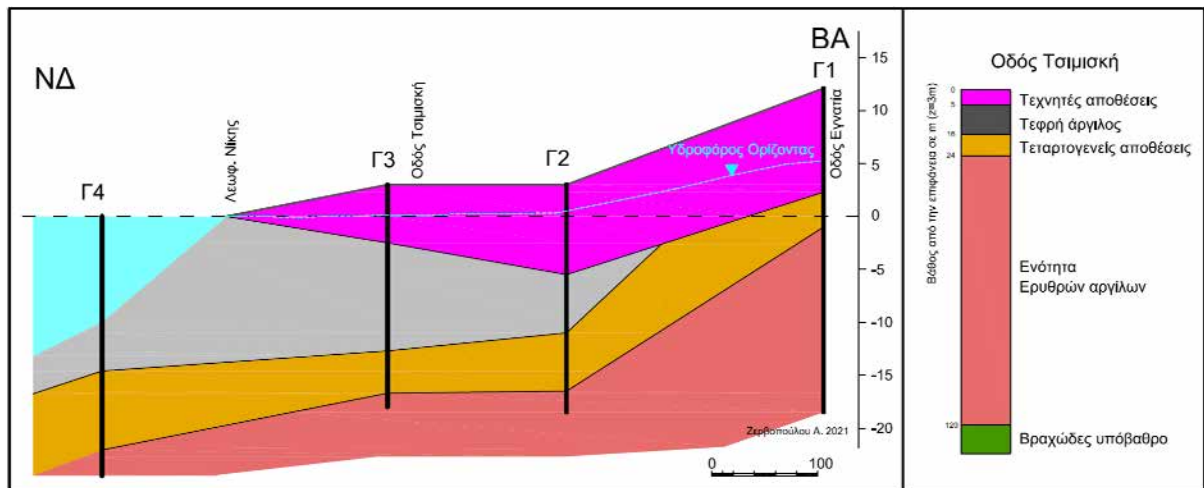
Ως σχηματισμός είναι τεταρτογενούς ηλικίας σύμφωνα με το ΙΓΜΕ και τον Τεχνικογεωλογικό χάρτη Θεσσαλονίκης 1998. Συνίσταται από τεφρή ή μελανή, ιλυώδη έως ελαφρά αμμώδη (λεπτόκοκκη) άργιλο έως και καθαρή ιλύ, εξαιρετικά μαλακή. Οι επιτόπου γεωτεχνικές δοκιμές (SPT) που έγιναν στον σχηματισμό αυτό δίνουν μηδενικές κρούσεις $N=0$. Ο σχηματισμός αυτός περιέχει σποραδικά χαλίκια, θαλάσσια κοχύλια και οστά ζώων. Παράλληλα πρόκειται για σχηματισμό κορεσμένο με νερό (Σχ.10). Σύμφωνα με γεωτρήσεις του ΚΕΔΕ του 1962 για την επέκταση της παλιάς παραλίας Θεσσαλονίκης χαρακτηρίζεται ως «αμμοιλός μετ' οστράκων ή ιλός μετ' οστράκων».



Σχ.10 Δείγματα από γεώτρηση στην περιοχή της οδού Τσιμισκή όπου φαίνεται η στρώση της τεφρής αργίλου σε βάθη έως 11,80 μέτρα (Φωτ. Μ. Πάτσιος)

Το μέγιστο πάχος όπως υπολογίστηκε από τις τομές γεωτρήσεων φτάνει και τα 20 μέτρα στην θέση του ξενοδοχείου «Μακεδονία Παλλάς» και στην περιοχή του Ποσειδωνίου. Σε γεωτρήσεις για την κατασκευή της εναέριας πεζογέφυρας της λεωφόρου Αλεξάνδρου το 1969 περίπου, κάτω από τις τεχνητές επιχωματώσεις βάθους 2,5 μέτρων συναντήθηκε η τεφρή άργιλος μέχρι το βάθος των 8 μέτρων από την επιφάνεια (Σχ.11).

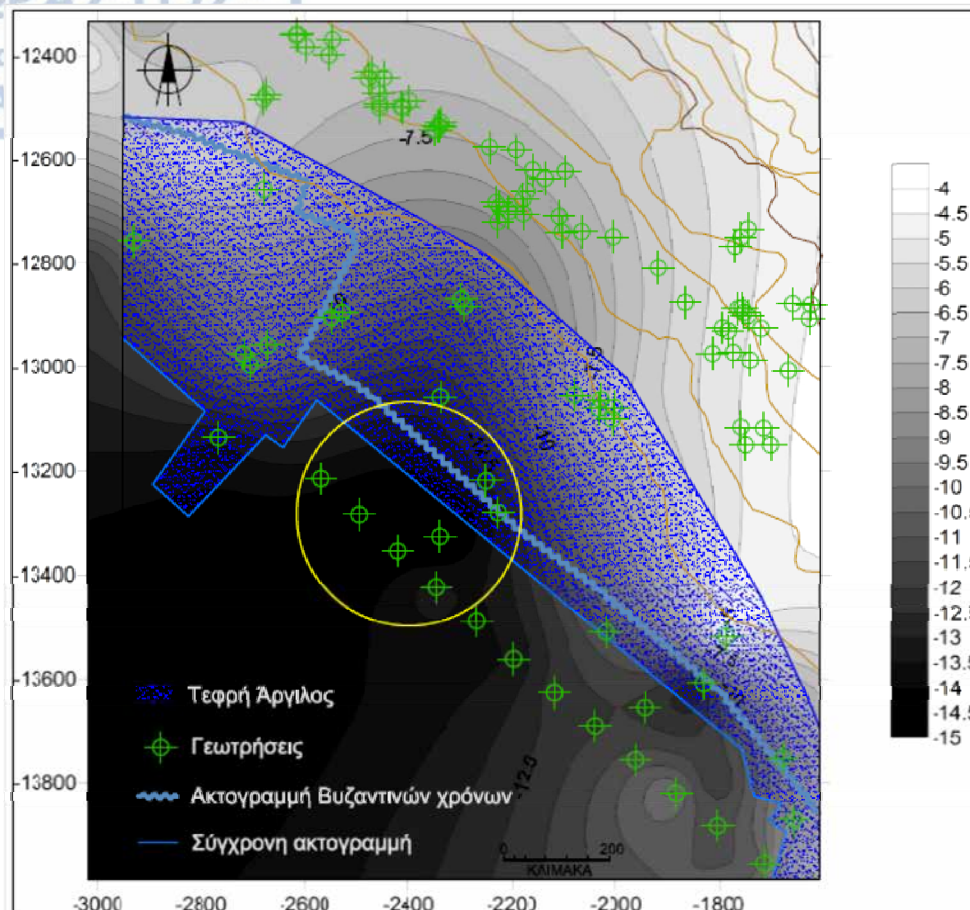
Η μέγιστη οριζόντια απόσταση στην οποία εισέρχεται το στρώμα μέσα στον οικιστικό ιστό από την σημερινή ακτογραμμή, είναι στα 500 μέτρα περίπου στην περιοχή της οδού Μαρτίου και στο ιστορικό κέντρο, στην περιοχή της Πλατείας Ελευθερίας.



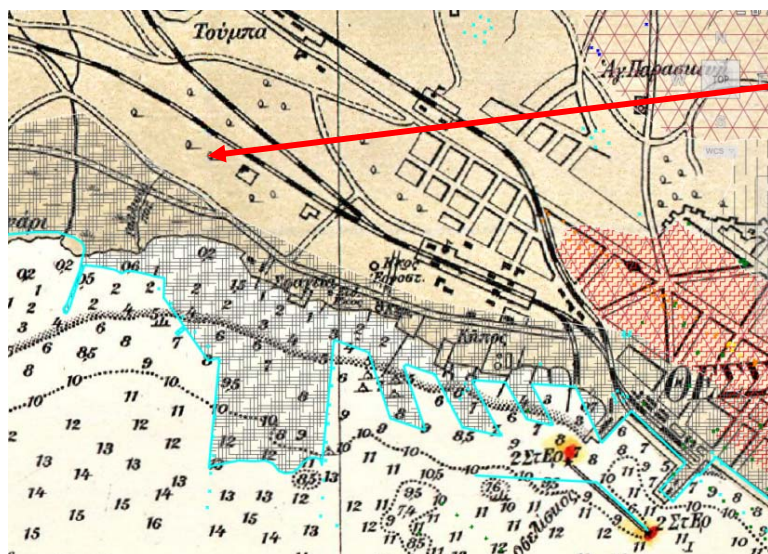
Σχ.11 Σχέδιο τομής εδάφους κατά μήκος της οδού Αριστοτέλους και κατακόρυφη τομή εδάφους στην οδό Τσιμισκή. Τα στοιχεία προέρχονται συνδυασμένα από γεωτρήσεις και γεωφυσικές διασκοπήσεις.

Το στρώμα αυτό δίνει πληροφορίες για την εξέλιξη της ακτογραμμής και των Τειχών της πόλης της Θεσσαλονίκης από τα ιστορικά χρόνια. Αναφέρεται σε επόμενο κεφάλαιο η μεταφορά των Τειχών της πόλης από τα Ρωμαϊκά και τα Βυζαντινά χρόνια προς την θάλασσα με την τελική κατεδάφισή τους το 1870 και την επέκταση της οικιστικής ζώνης της πόλης προς την θάλασσα. Τα οικοδομικά τετράγωνα τα οποία επεκτάθηκαν προς την θάλασσα θεμελιώθηκαν πάνω στα υλικά κατεδάφισης των Βυζαντινών Τειχών και την τεφρή άργιλο.

Το στρώμα της τεφρής αργίλου το συναντάμε σε γεωτρήσεις από το λιμάνι της πόλης έως το ακρωτήριο Μικρό Έμβολο. Νοτιότερα την συναντάμε πάλι μετά την περιοχή της Μίκρας. Εκτείνεται παράλληλα στην ακτογραμμή όπως φαίνεται στον χάρτη. Στο διάστημα του Μικρού Εμβόλου και την περιοχή της Νέας Κρήνης έχουμε την εμφάνιση του νεογενούς υποβάθρου (ψαμμιτομαργαϊκή ενότητα) και των παράκτιων άμμων αντίστοιχα. Δυτικότερα εκτείνεται έξω από τα δυτικά Τείχη.



Σχ.12 Στον κίτρινο κύκλο το αυξημένο βάθος της τεφρής αργίλου στην περιοχή Αριστοτέλους (Zervonrouli & Pavlides 2016).



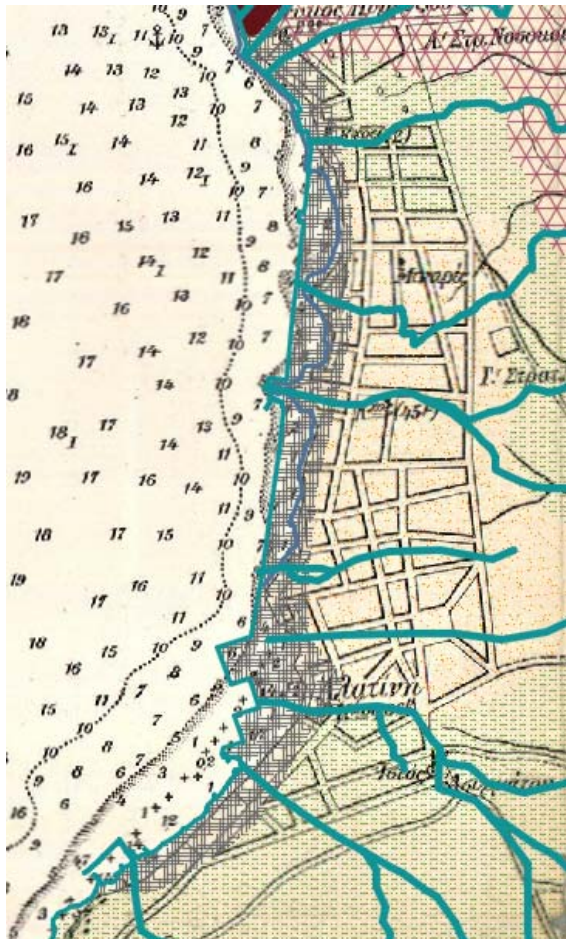
Σχ.13

Ελώδεις περιοχές δυτικά του ιστορικού κέντρου της πόλης.

(Ναυτικός χάρτης 1925 Ι.Σ. Σ. Δεμερτζή ψηφιακή χαρτοθήκη του Αρχείου Χαρτογραφικής Κληρονομιάς)

Σε Ναυτικό χάρτη του 1925 (Ι.Σ. Σ. Δεμερτζή ψηφιακή χαρτοθήκη του Αρχείου Χαρτογραφικής Κληρονομιάς) με γαλάζιο χρώμα είναι η σημερινή ακτογραμμή ενώ φαίνεται η επέκτασή της καθώς και η έκταση που καταλαμβάνει το στρώμα της τεφρής αργίλου (γκρι hatch) (Σχ.13). Ανατολικότερα βρίσκονται οι εκβολές του Γαλλικού ποταμού, με ελώδεις περιοχές οι οποίες χαρτογραφούνται ήδη από τότε. Στην περιοχή του λιμανιού εκβάλλουν διάφορα ρέματα μεταξύ των οποίων αυτό του Δενδροποτάμου.

Το όριο της τεφρής αργίλου στην κατοικημένη περιοχή της ανατολικής Θεσσαλονίκης βλέπουμε ότι συμπίπτει περίπου με το όριο της παλιάς ακτογραμμής (Σχ.12,14,15). Η επέκταση της ακτογραμμής και η επιχωμάτωση για την κατασκευή της νέας παραλίας ξεκίνησε το 1960. Κατά την επέκταση αυτή δημιουργήθηκαν και νέα οικοδομικά τετράγωνα. Οι οικοδομικές περιοχές αυτές είναι θεμελιωμένες πάνω στις επιχωματώσεις και στο στρώμα της τεφρής αργίλου. Από δειγματοληπτική γεώτρηση στην οδό Κριεζώτου οι επιχωματώσεις φτάνουν σε βάθος 7,5 από την επιφάνεια ενώ η τεφρή άργιλος σε βάθος 14 μέτρων (Hatzigogos et al, 1983).



Σχ.14 Ναυτικός χάρτης 1925 (Ι.Σ. Σ. Δεμερτζή ψηφιακή χαρτοθήκη του Αρχείου Χαρτογραφικής Κληρονομιάς) με γαλάζιο χρώμα είναι η σημερινή ακτογραμμή. Είναι ορατή η παλιά ακτογραμμή. Στρώμα τεφρής αργίλου (γκρι hatch).

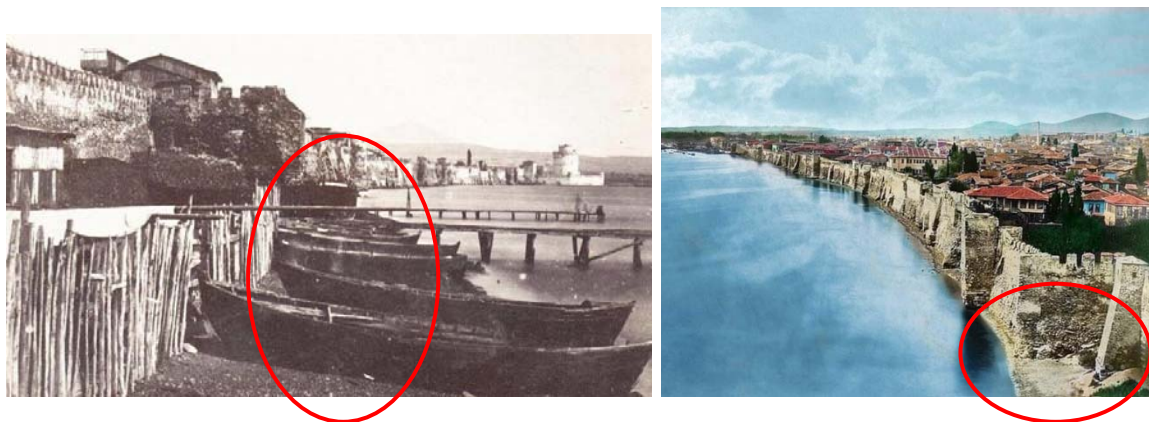


Σχ.15 Κατασκευή της επέκτασης της νέας παραλίας με επιχωματώσεις στις αρχές της δεκαετίας του 1960 (Δημόσια Ομάδα, Παλιές φωτογραφίες της Θεσσαλονίκης: <https://www.facebook.com/groups/oldthessaloniki>).

3. Παράκτιες άμμοι

Οι παράκτιες άμμοι πρόκειται για σχηματισμό αποτελούμενο από άμμο σε κύριο ποσοστό με χαλίκια ή κροκάλες και όστρακα, με περιορισμένη έκταση. Δίπλα σε ένα τόσο μεγάλο αστικό κέντρο ο παραλιακός σχηματισμός περιέχει επίσης και ανθρώπινα απορρίμματα (σκουπίδια) όπως και υπολείμματα κατεδαφίσεων. Πρόκειται για χαλαρό σχηματισμό μικρού πάχους (1-3m) σύμφωνα με τον Τεχνικογεωλογικό χάρτη της Θεσσαλονίκης (Ρόζος et al. 2000), με μεγάλο πορώδες και χαμηλή έως μηδενική συνοχή. Είναι ένας σύγχρονος ολοκαινικός σχηματισμός που εκτείνεται κατά μήκος της ακτογραμμής ή παραλίας (Σχ.16).

Εάν δεν υπήρχε το δομημένο περιβάλλον θα ήταν η παραλία που θα οριοθετούσε το παραλιακό μέτωπο της πόλης. Στην περίπτωση του αστικού περιβάλλοντος της Θεσσαλονίκης οι παράκτιες άμμοι διακόπτονται από την επιχωματωμένη τεχνητή παραλία της πόλης η οποία εκτείνεται από το λιμάνι έως και την περιοχή Καραμπουρνάκι (οδός Καθ. Ρωσσίδη).



Σχ.16 Σε παλιές φωτογραφίες (1860) πριν την κατεδάφιση των τειχών, φαίνονται σε κάποια σημεία (κόκκινοι κύκλοι) έξω από τα τείχη οι παράκτιες άμμοι (Δημόσια Ομάδα, Παλιές φωτογραφίες της Θεσσαλονίκης: <https://www.facebook.com/groups/oldthessaloniki>).

Οι παράκτιες άμμοι λοιπόν απαντώνται στο Καραμπουρνάκι, στην ακτογραμμή της Νέας Κρήνης μέχρι και νοτιότερα στο Αεροδρόμιο. Είναι ορατές σε παραλίες οργανωμένες όπως ήταν της Αρετσούς αλλά και άλλες όπως στην περιοχή της Καλαμαριάς (Ναυτικός όμιλος) (Σχ.17).



Ναυτικός Όμιλος Θεσσαλονίκης



Περιοχή Παλατάκι



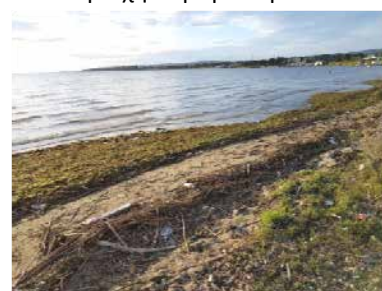
Περιοχή Καραμπουρνάκι



Περιοχή Νέα Κρήνη



Ναυτικός Όμιλος Θεσσαλονίκης



Περιοχή Πυλαίας - Florida

Σχ.17 Φωτογραφίες παράκτιων άμμων σε διάφορες περιοχές της Θεσσαλονίκης

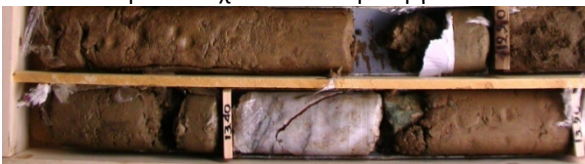
4. Τεταρτογενείς αποθέσεις

Οι τεταρτογενείς αποθέσεις μπορούν να διακριθούν επιμέρους ανάλογα με το ποσοστό των λεπτόκοκκων υλικών αλλά και ανάλογα με την περιοχή στην οποία συναντώνται, σε τρεις υποκατηγορίες. Τις ποταμοχειμάρειες αποθέσεις, τις λιμνοθαλάσσιες και τα ερυθροστρώματα.

4.1. Ποταμοχειμάρριες

Πρόκειται για τις αποθέσεις των ποταμών και χειμάρρων. Συνίστανται από καστανού χρώματος αργιλώδη άμμο με χαλίκια έως κροκάλες και τεμάχια μεγέθους ανάλογα με την δυναμικότητα του χειμάρρου. Στην περιοχή της Θεσσαλονίκης λόγω των πολλών χειμάρρων που συναντάμε στην δυτική και ανατολική Θεσσαλονίκη είναι ένας σχηματισμός με μεγάλη ανάπτυξη κατά μήκος αλλά και σε βάθος (Σχ.18).

Πρόκειται για αδρομερή υλικά χαλαρά έως και μέτρια πυκνά ή συνεκτικά ανάλογα με το ποσοστό των λεπτόκοκκων που συμμετέχουν. Περιέχουν χάλικες, ψηφίδες ποικίλων μεγεθών. Στην περιοχή της Θεσσαλονίκης οι χάλικες προέρχονται από την διάβρωση του υπόβαθρου της πόλης και είναι κυρίως πρασινοσχιστόλιθοι και χαλαζίτες.

Σχ.18 Πυρήνες δειγματοληπτικών γεωτρήσεων από την περιοχή του ΝΣΣ Θεσσαλονίκης	
	
Βάθος ~13m: Χάλικες με λίγη άμμο και άργιλο.	Βάθος ~18m: Αμμώδεις χάλικες και τεμάχια πρασινοσχιστολιθικά με άργιλο.
	
Βάθος ~15m: Αμμώδης άργιλος με χάλικες	Βάθος ~13m: Τέμαχος χαλαζία σε αμμώδη άργιλο
Πυρήνες δειγματοληπτικών γεωτρήσεων από την περιοχή της ανατολικής Θεσσαλονίκης	
	
Βάθος ~20m: Αμμώδης άργιλος με χάλικες	Βάθος ~26m: Αμμώδης άργιλος με χάλικες

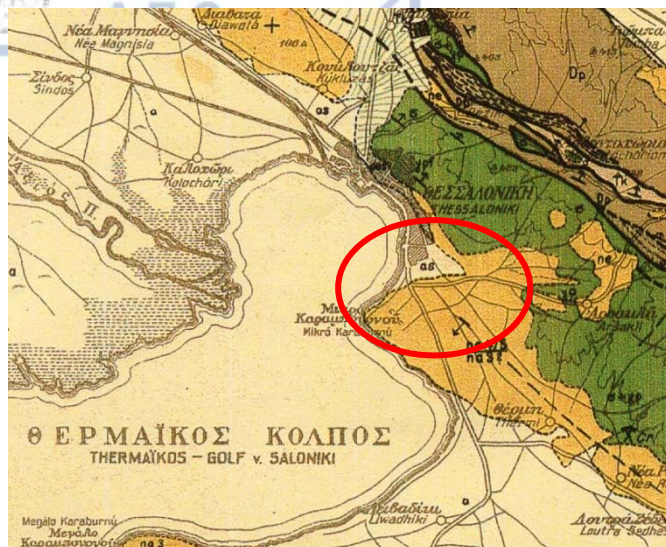
Ο σχηματισμός αυτός έχει αποτεθεί με την μορφή στρώσεων μικρής έκτασης ή και φακών. Από την παρουσία μεγάλων τεμαχίων ή λεπτόκοκκων υλικών σε μία περιοχή μπορούμε να διαπιστώσουμε την ροή των χειμάρρων και την εξέλιξή τους. Από τις παραπάνω γεωτρήσεις παρατηρούμε την ύπαρξη μεγαλύτερων τεμαχίων στην περιοχή της δυτικής Θεσσαλονίκης σε σύγκριση με την ανατολική όπου έχουμε μεγαλύτερο ποσοστό λεπτόκοκκου υλικού. Στην δυτική Θεσσαλονίκη έχουμε την παρουσία μεγάλων χειμάρρων όπως αυτών του Δενδροποτάμου. Η έκταση των ιζημάτων αυτών είναι μεγάλη και φτάνει μέχρι την Σταυρούπολη στην περιοχή μελέτης, όπως επίσης μεγάλο είναι και το πάχος τους.

4.2. Λιμνοθαλάσσιες - Δελταϊκές

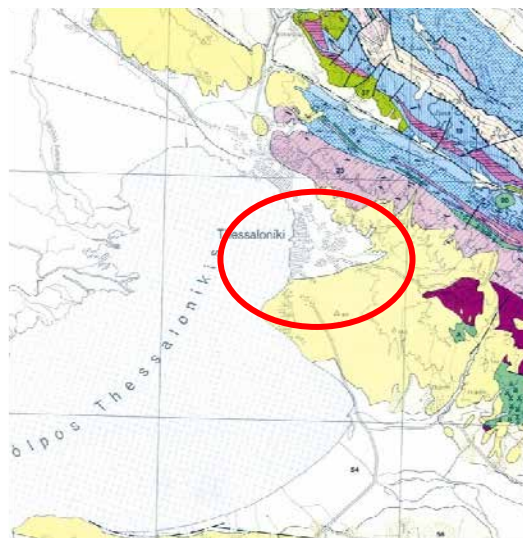
Πρόκειται επίσης για τεταρτογενείς αποθέσεις με την επικράτηση όμως των λεπτόκοκκων υλικών. Συνίσταται από καστανού χρώματος αμμώδη άργιλο και ιλύ με χαλίκια και ελάχιστες κροκάλες κατά θέσεις. Οι χάλικες προέρχονται από την διάβρωση του υπόβαθρου της πόλης και είναι κυρίως πρασινοσχιστόλιθοι και χαλαζίτες. Η άμμος εμφανίζεται λεπτόκοκκη έως μεσόκοκκη. Ο σχηματισμός δομείται από στρώσεις μικρού πάχους και φακούς. Εμφανίζει ταχείες πλευρικές μεταβολές στην λιθολογική σύσταση και την κοκκομετρία, τόσο στην οριζόντια όσο και στην κατακόρυφη ανάπτυξή του (Τεχνικογεωλογικός χάρτης – Ρόζος et al. 2000).

Πρόκειται για σταθερό σχηματισμό έως μαλακό σε κάποιες στρώσεις ιλύος κοντά στην επιφάνεια. Βαθύτερα γίνεται πιο σταθερός έως στιφρός σε στρώσεις καθαρής αργίλου. Τον σχηματισμό αυτό τον εντοπίζουμε σε γεωτρήσεις στην ανατολική (νότια) Θεσσαλονίκη κυρίως, όπου έχουμε και τις

εκβολές πολλών χειμάρρων. Το βάθος του στην ανατολική Θεσσαλονίκη ξεπερνάει τα 60 μέτρα όπως έχουν δείξει γεωτρήσεις στην περιοχή της οδού Μαρτίου και Σόλωνος (Σχ.20).



Osswald 1931



F. Kockel & H. Mollat 1976

Σχ.19 Και στους δύο χάρτες είναι ορατή η έκταση που καταλαμβάνουν οι αλλουβιακές αποθέσεις στην περιοχή της Μαρτίου. Το πάχος τους αυξάνεται όσο πλησιάζουμε προς το θαλάσσιο μέτωπο. Στην συγκεκριμένη έρευνα σχεδιάστηκε μικρότερη έκταση κατάληψης των τεταρτογενών αποθέσεων μια και το πάχος τους ανατολικότερα ήταν πολύ μικρό. Έτσι επιλέχθηκε η επικράτηση της ψαμμιτομαργαϊκής ενότητας.

Σύμφωνα με τους χάρτες του Osswald το 1931 και των Kockel & Mollat το 1976 (Σχ.19) είχαν επισημανθεί ήδη από τότε οι αλλουβιακές αποθέσεις στην περιοχή αυτή. Οι εκβολές των πέντε χειμάρρων αυτών που διέρχονταν από την ψαμμιτομαργαϊκή ενότητα δημιουργούσαν τις δελταϊκές και λιμνοθαλάσσιες αποθέσεις κατά μήκος της ακτογραμμής που υπήρχε την αντίστοιχη εποχή.

Σχ.20 Πυρήνες δειγματοληπτικών γεωτρήσεων από την περιοχή της ανατολικής Θεσσαλονίκης



Βάθος ~32m: Αμμώδης άργιλος.



Βάθος 24-26m: Αργιλώδης άμμος με χάλικες οι οποίοι εξαφανίζονται στο επόμενο μέτρο.



Βάθος ~22m: Αμμώδης άργιλος ή ιλύς έως αργιλώδης ή ιλυώδης άμμος



Βάθος ~28m: Αμμώδης άργιλος

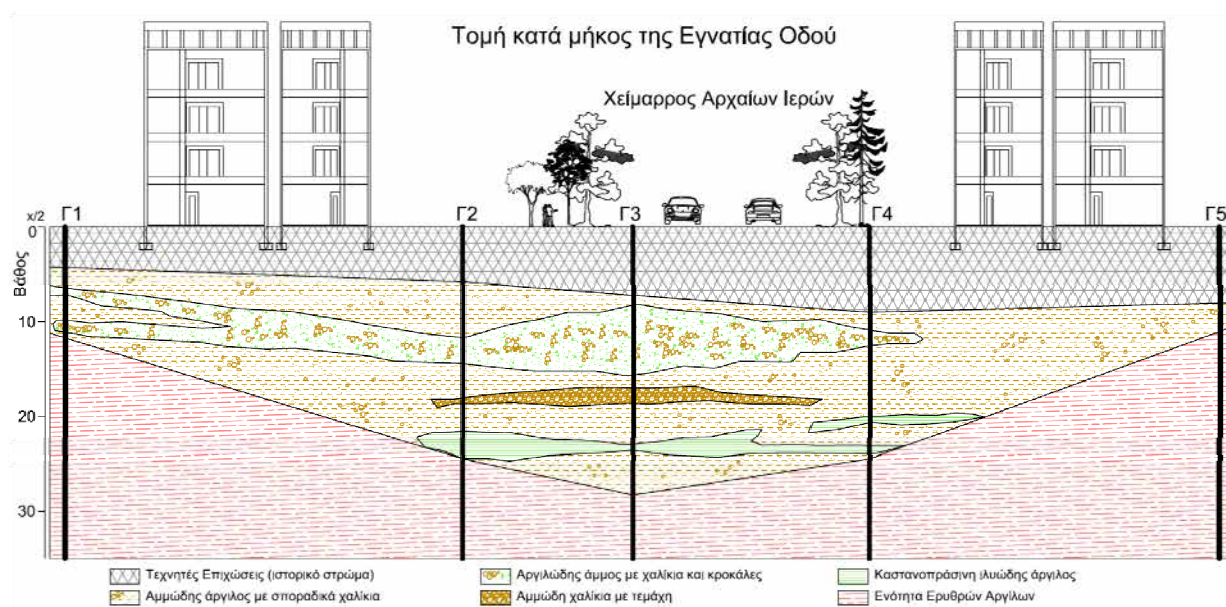
4.3. Ερυθροστρώματα

Πρόκειται για τεταρτογενείς χερσαίες διάβρωσης αποθέσεις. Δομούνται από στρώσεις με καστανή έως καστανέρυθρη αμμώδη άργιλο και στρώσεις με χαλικώδη άργιλο με άμμο. Δομείται ως συνεκτικός σχηματισμός, μέτρια πυκνός με ασβεστιτικά συγκρίματα (Σχ.21).



Ανάπτυξη τεταρτογενών αποθέσεων

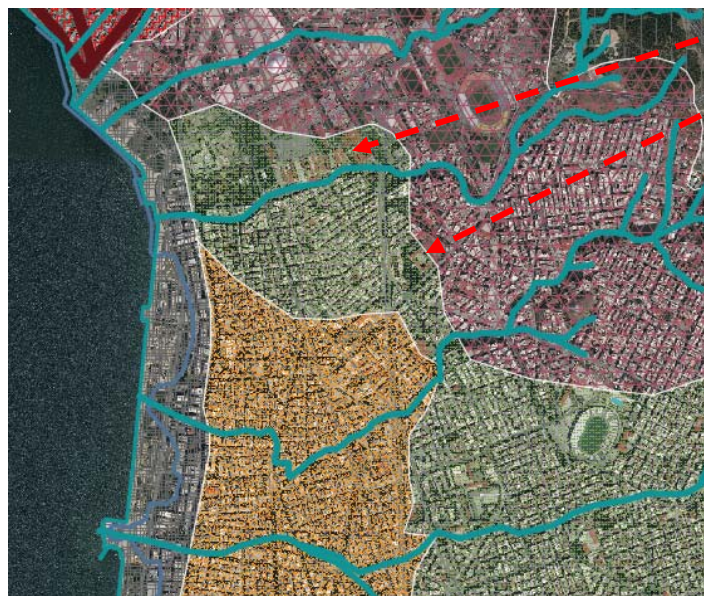
Οι σχηματισμοί των τεταρτογενών αποθέσεων εμφανίζονται με μικρά πάχη και επιφανειακά των νεογενών σχηματισμών ως προϊόν αποσάθρωσής τους. Στην περιοχή του ιστορικού κέντρου το πάχος του κυμαίνεται από 0 έως 1,5 μέτρο κάτω από το αρχαιολογικό στρώμα. Έχει χρώμα καστανέρυθρο με ασβεστιτικά συγκρίματα, ενώ συνίσταται από αμμώδη άργιλο με σποραδικά μικρά χαλίκια. Σημαντικό πάχος τεταρτογενών αποθέσεων βρέθηκε σε δειγματοληπτικές γεωτρήσεις στην περιοχή Κολόμβου όπου εντοπίστηκαν στρώσεις ποταμοχειμάρων ιζημάτων σε δειγματοληπτικές γεωτρήσεις. Υπήρχαν στρώσεις με χαλίκια και τεμάχια αλλά και στρώσεις καστανοπράσινης ιλύος. Η περιορισμένη σε πλάτος ανάπτυξη των αποθέσεων (<150 μέτρα) δηλώνουν την ύπαρξη ενός χειμάρρου, ο οποίος για την θέση αυτή είναι ο χείμαρρος των Αρχαίων Ιερών, που διέσχισε την περιοχή μέχρι το θαλάσσιο μέτωπο (Σχ.22).



Ο σχεδιασμός των ορίων των τεταρτογενών αποθέσεων στο υπέδαφος του αστικού ιστού της Θεσσαλονίκης σε σχέση με τις νεογενείς αποθέσεις υπήρξε δύσκολος και χρησιμοποιήθηκαν κάποιες παραδοχές. Οι τεταρτογενείς αποθέσεις στο μεγαλύτερο ποσοστό τους δεν είναι εμφανείς στην επιφάνεια αλλά βρίσκονται κάτω από τις τεχνητές επιχώσεις και την επικάλυψη του αστικού

περιβάλλοντος. Το πάχος τους μπορεί να ποικίλει από ένα μέτρο μέχρι και περισσότερο των 60 μέτρων (γεώτρηση πάρκου Πατρικίου – Κρήτης).

Στην δυτική Θεσσαλονίκη στην περιοχή του Νέου Σιδηροδρομικού Σταθμού (ΝΣΣ) το πάχος εμφανίζεται αυξανόμενο έξω από τα Τείχη της πόλης, όπου έχουμε και την παρουσία πολλών χειμάρρων μέχρι και ποταμών δυτικότερα. Έξω από τα τείχη ουσιαστικά έχουμε την «εξαφάνιση» του νεογενούς υποβάθρου που είναι η ενότητα των ερυθρών αργίλων στην περιοχή, και την επικράτηση των τεταρτογενών αποθέσεων.



Γ' Σώμα Στρατού

Παπάφειο Ορφανοτροφείο

Εμφάνιση ψαμμιτομαργαϊκής ενότητας.

Σχ.23 Γεωλογικός χάρτης τμήματος
Ανατολικής Θεσσαλονίκης.

Στην ανατολική Θεσσαλονίκη (νότια πλευρά της πόλης) οι τεταρτογενείς αποθέσεις συναντώνται κάτω από την τεφρή άργιλο κοντά στην ακτογραμμή και πάνω από τις νεογενείς αποθέσεις της ψαμμιτομαργαϊκής ενότητας (Σχ.23). Η ψαμμιτομαργαϊκή ενότητα εμφανίζεται μετά το ύψος του Γ' Σώματος Στρατού και των μουσείων (Βυζαντινού και Αρχαιολογικού) νοτιότερα και ουσιαστικά μετά από απόσταση 800 μέτρων αρχίζει να βυθίζεται κάτω από το στρώμα των τεταρτογενών αποθέσεων. Οι αποθέσεις αυτές αρχίζουν να εμφανίζονται με σημαντικό πάχος σε γεωτρήσεις στην οδό Κατσιμίδα στο ύψος του Παπαφείου, με πάχος ιζημάτων τα 10 μέτρα, ενώ νοτιότερα σταδιακά το πάχος τους αυξάνεται μέχρι την οδό Ορέστου. Μετά την οδό αυτή νοτιότερα διαπιστώνεται μία απότομη αύξηση του πάχους των προσχωσιγενών τεταρτογενών αποθέσεων μεγαλύτερη των 20 μέτρων. Ύστερα από 250 μέτρα και στην οδό Μ. Μπότσαρη το πάχος τους αυξάνεται περαιτέρω, και φτάνει τα 44 μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους. Από την οδό αυτή και μέχρι την οδό Βούλγαρη το νεογενές υπόβαθρο της ψαμμιτομαργαϊκής ενότητας δεν συναντάται σε δειγματοληπτικές γεωτρήσεις μέχρι και βάθους 60 μέτρων. Οι πτώσεις αυτές του νεογενούς υποβάθρου οφείλονται στην ύπαρξη ρηγμάτων τα οποία θα αναλυθούν σε ξεχωριστό κεφάλαιο.

Στο χάρτη επιλέχθηκε να σχεδιαστεί το όριο των τεταρτογενών αποθέσεων όταν το πάχος τους έφτασε τα 10 μέτρα στην οδό Κατσιμίδα. Πάχη μικρότερα των 10 μέτρων εμφανίζονται με τον συμβολισμό του αντίστοιχου υποβάθρου.

5. Ψαμμιτομαργαϊκή Ενότητα (Sand-Marl Series)

Η ψαμμιτομαργαϊκή ενότητα αποτελεί το νεογενές υπόβαθρο ενός μεγάλου μέρους της πόλης της Θεσσαλονίκης. Εκτείνεται κυρίως στο ανατολικό τμήμα της πόλης ή γεωγραφικά στο νότιο τμήμα της μέχρι την λεκάνη του Ανθεμούνα. Βρίσκεται σε επαφή με τις τεχνητές επιχώσεις ή με τα τεταρτογενή ιζήματα και με την επίσης νεογενή ενότητα των ερυθρών αργίλων βαθύτερα. Η

ενότητα αυτή εντοπίζεται με δειγματοληπτικές γεωτρήσεις, υπάρχουν όμως και πολλές επιφανειακές εμφανίσεις της στην περιοχή της Καλαμαριάς.

Πρόκειται για ιζήματα ηλικίας Αν. Μειόκαινο – Κατ. Πλειόκαινο σύμφωνα με χάρτες του ΙΓΜΕ, 1978 και βιβλιογραφία (Συρίδης, Kockel & Mollat, Μουντράκης et al, 1995). Πρόκειται για σχηματισμό με εναλλαγές συμπαγών ψαμμιτικών στρωμάτων και τοπικά μικροκροκαλοπαγή, με αργιλικά, μαργαϊκά και αμμώδη στρώματα. Τα χρώματά του ποικίλουν από ανοιχτοκάστανα και ελαιοπράσινα μέχρι και τεφροπράσινα ή τεφροκύανα έως ερυθροκάστανα, ανάλογα με την ηλικία των στρώματος. Εναλλάσσονται στρώσεις με ανοιχτοκάστανο έως υπόλευκο ψαμμίτη με στρώσεις αμμωδών αργίλων, ιλύων, άμμων και μαργών. Η παρουσία χαλίκων είναι πολύ σποραδική έως σε μεμονωμένα στρώματα. Οι εναλλαγές στρώσεων είναι πολύ πυκνές. Επίσης ορατή είναι η παρουσία οξειδώσεων μαγγανίου στις αργιλώδεις και μαργαϊκές στρώσεις. Εντοπίζονται επίσης κατά θέσεις και πολλά ασβεστιτικά συγκρίματα (Σχ.24).



Τομή εκσκαφής στην περιοχή Βότση όπου φαίνονται οι στρώσεις υπό κλίση της ψαμμιτομαργαϊκής ενότητας.



Μικρο-κροκαλοπαγές στην ψαμμιτομαργαϊκή ενότητα.



Λεπτές στρώσεις τεφρής ιλύος στην ψαμμιτομαργαϊκή ενότητα.

Σχ.24 Φωτογραφίες της ψαμμιτομαργαϊκής ενότητας



Εναλλαγές χρωμάτων καστανού και ελαιοπράσινου στην ψαμμιτομαργαϊκή ενότητα, περιοχή Νέας Ελβετίας (ametro.gr)



Επιφανειακή εμφάνιση της ψαμμιτομαργαϊκής ενότητας στην περιοχή της Καλαμαριάς (Ν.Ο.Θ.), όπου φαίνονται οι εναλλαγές ψαμμιτικών και μαργαϊκών στρώσεων.

Περιβάλλον απόθεσης

Η ψαμμιτομαργαϊκή ενότητα αντιπροσωπεύει ένα περιβάλλον απόθεσης αβαθές ποταμολιμναίο έως λιμνοθαλάσσιο με εναλλαγές, σε μορφή στρωμάτων και φακών. Πιο συγκεκριμένα η ύπαρξη πηλόλιθου δηλώνει απόθεση σε ήσυχα νερά (Κωστόπουλος 2005), ενώ η μάργα δηλώνει αβαθείς θάλασσες ή και λίμνες. Οι ψαμμίτες αντίστοιχα δηλώνουν απόθεση σε παράκτιο περιβάλλον.

Οι χρωματισμοί των αργίλων δηλώνουν επίσης το περιβάλλον απόθεσης. Στις στρώσεις όπου συναντάμε χρώμα κυανό έως τεφροπράσινο ή φαιό έχουμε ένα περιβάλλον απόθεσης λιμναίο ή βαθιάς θάλασσας. Ενώ αντίστοιχα το κίτρινο χρώμα δηλώνει τα αβαθή νερά.

Ο σχηματισμός εμφανίζεται ως λεπτοστρωματώδης με πυκνές στρώσεις εναλλαγών αργλικού και αμμώδους υλικού. Στον σχηματισμό αυτό έχουν εντοπιστεί και διασταυρωτές στρώσεις που οφείλονται στην δράση του νερού ή του ανέμου (Σχ.25).



Εναλλαγή πυκνών στρώσεων αργίλων και άμμου μικρού πάχους, με ασβεστιτικά συγκρίματα (Ζερβοπούλου, 2010).

Σχ.25 Φωτογραφίες όπου φαίνονται λεπτομέρειες στρώσεων ψαμμιτομαργαϊκής ενότητας



Διασταυρούμενες στρώσεις υπόλευκων λεπτόκοκκων άμμων σε πρανές εκσκαφής.

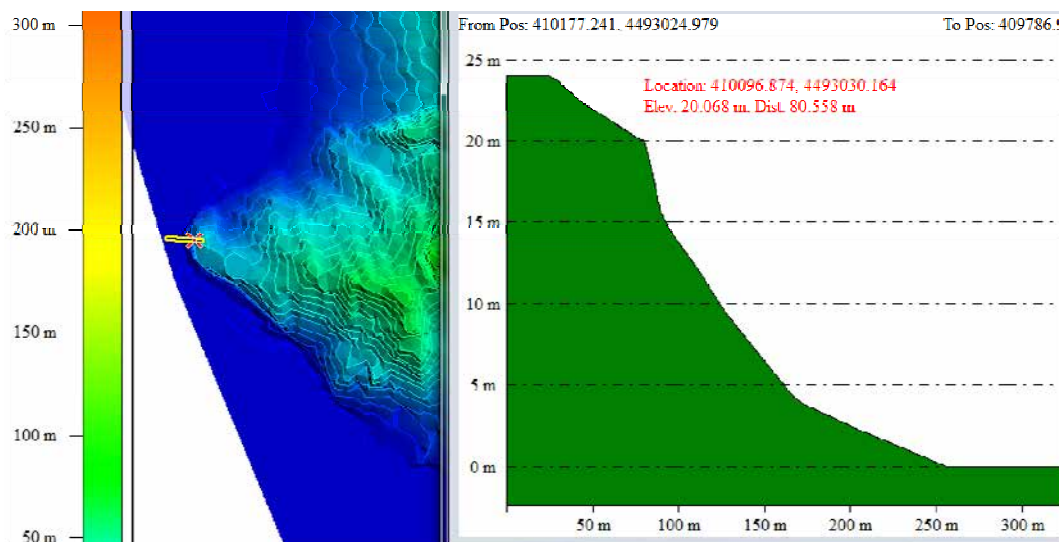


Διασταυρούμενες στρώσεις υπόλευκων λεπτόκοκκων άμμων με ενδιάμεση στρώση γκρι άμμων με ορατούς κονδύλους καστανού χρώματος αργιλικά και ασβεστιτικά συγκρίματα. Λεπτομέρεια σε πρανές εκσκαφής.

Γεωτεχνικά χαρακτηριστικά

Πρόκειται για ημισυνεκτικό σχηματισμό ή πολύ πυκνό όταν βλέπουμε άμμο. Στις στρώσεις του ψαμμίτη αναφέρεται ως ημίβραχος. Ο ψαμμίτης προέρχεται από την διαγένεση της άμμου. Όταν πρόκειται για άργιλο ο σχηματισμός εμφανίζεται από στιφρός έως σκληρός. Συναντάμε δηλαδή τους πηλόλιθους ή ιλύόλιθους και αργιλόλιθους, οι οποίοι προέρχονται από την διαγένεση της ιλύος και της αργίλου αντίστοιχα (Κωστόπουλος 2005). Στις επιτόπου δοκιμές που γίνονται κατά την δειγματοληπτική διάτρηση γεώτρησης οι δοκιμές πρότυπης διείδυσης SPT μετράνε κρούσεις δηλαδή την ευκολία διείδυσης στον σχηματισμό. Για την ψαμμιτομαργαϊκή ενότητα οι κρούσεις είναι της τάξης $20 < N < 50$ ή άρνηση διείδυσης. Πρόκειται δηλαδή για σχηματισμό πυκνό έως πολύ πυκνό (Teng 1962).

Για τους λόγους αυτούς ο σχηματισμός έχει την ιδιότητα να διατηρεί κατακόρυφα πρανή ύψους μέχρι και 20 μέτρα στην περιοχή του Μικρού Εμβόλου (Σχ.26) ή και 50 μέτρα στην περιοχή του Μεγάλου Εμβόλου (Αγγελοχώρι).



Σχ.26 Τοπογραφική τομή στην περιοχή του Μικρού Εμβόλου (Παλατάκι) όπου φαίνεται το απότομο πρανές ύψους 20-25 μέτρα και η θέση τομής στο 3D μοντέλο εδάφους του 1945.

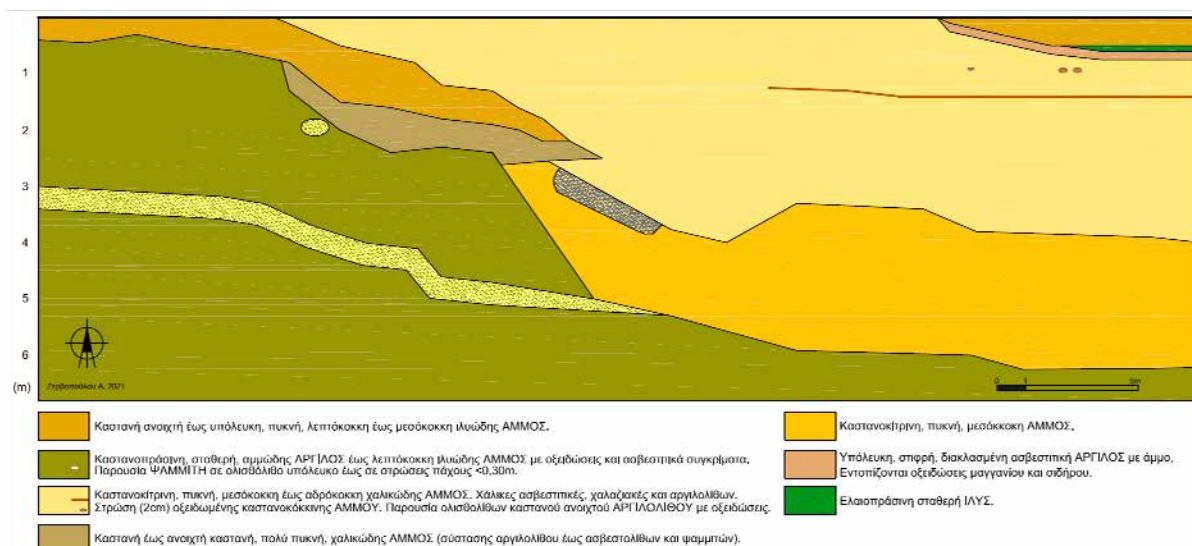
Σύμφωνα με τον Συρίδη 1990 την ψαμμιτομαργαϊκή ενότητα αποτελούν αντίστοιχα δύο επιμέρους σχηματισμοί. Ο σχηματισμός Γωνιάς στα ανώτερα στρώματα και ο σχηματισμός Τριλόφου στα κατώτερα.

5.1. Σχηματισμός Γωνιάς

Πρόκειται για το ανοιχτόχρωμο ανώτερο τμήμα της ψαμμιτομαργαϊκής ενότητας, ηλικίας Πλειοκαίνου (Ρουσίνιο). Συνίσταται από εναλλαγές αργίλων, μαργών, άμμων, κροκαλοπαγών και ψαμμιτών χρώματος υπόλευκου έως καστανού ανοιχτού (Σχ.27). Οι στρώσεις είναι με την μορφή φακών, με πλευρικές μεταβάσεις και αλλαγές στην λιθολογία (Συρίδης 1990). Οι στρώσεις εμφανίζονται μαζώδεις, παράλληλες και διασταυρούμενες. Παρατηρούνται εναλλαγές στρώσεων χονδρόκοκκων (άμμοι) και λεπτόκοκκων (άργιλοι, ιλύες και μάργες) που δηλώνουν περιοδικότητα στην τροφοδοσία υλικών (Σχ.28).



Σχ.27 Πρανές σε εκσκαφή στην ψαμμιτομαργαϊκή ενότητα και πιο συγκεκριμένα στον σχηματισμό Γωνιάς στην περιοχή Βότση. Είναι ορατές οι διασταυρούμενες στρώσεων των άμμων και των μαργών.



Σχ.28 Τομή εκσκαφής στην ανώτερη ψαμμιτομαργαϊκή ενότητα και τον σχηματισμό Γωνιάς.

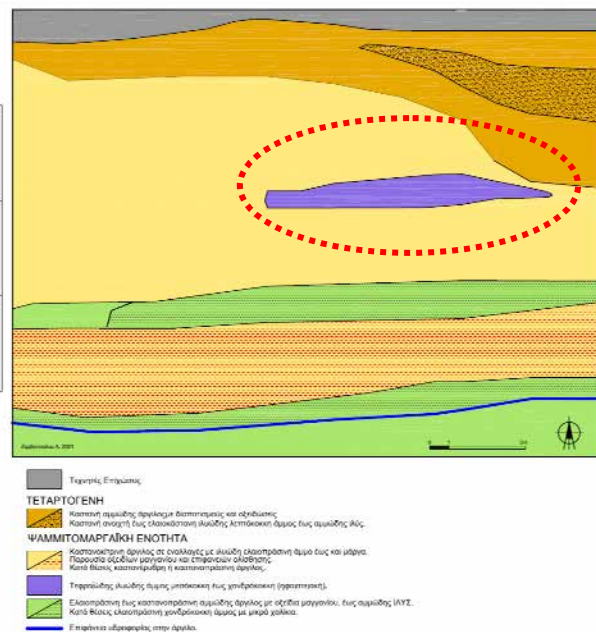
Χαρακτηριστικό του σχηματισμού αυτού είναι η ύπαρξη φακοειδών στρώσεων χονδρόκοκκης άμμου έως χαλικώδους άμμου με ηφαιστειακά υλικά, σε περιορισμένη έκταση. Το χρώμα της

στρώσης αυτής λόγω των ηφαιστειακών υλικών είναι τεφροϊώδες (τεφρό είναι το συνδετικό υλικό της αργίλου, ενώ τα ηφαιστειακά υλικά έχουν ιώδες χρώμα) (Σχ.29). Οι κροκάλες του στρώματος αυτού εμφανίζονται αποστρογγυλεμένες και με λειασμένη επιφάνεια από τις διεργασίες μεταφοράς (Συρίδης 1990). Από μελέτες του στρώματος (Ελευθεριάδης 1977, Σαπουντζής et al. 1980) βρέθηκε ότι πιθανότερα προέρχονται από τα ηφαιστειακά κέντρα της Αλμωπίας, ενώ η μεταφορά και απόθεσή τους έγινε κατά το Ρουσίνιο (Συρίδης 1990). Η άμμος αυτή αποτελείται από ψηφίδες χαλαζία, αστρίων, τεμάχια μεταμορφωμένων πετρωμάτων και ερυθρωπού χρώματος ηφαιστειακά κλάσματα. Με ποταμοχειμάρειες διεργασίες έχουν μεταφερθεί και αποτεθεί στην περιοχή αυτή.

Το χαρακτηριστικό αυτό στρώμα έχει βρεθεί σε δειγματοληπτικές γεωτρήσεις σε διάφορες περιοχές της Θεσσαλονίκης (περιοχή Παπαφείου, Νέας Ελβετίας, Καλαμαριάς). Το πάχος τους σε αυτές τις περιοχές κυμαίνεται από λίγα εκατοστά έως και 7 μέτρα, ενώ εμφανίζεται με τη μορφή αλληπάλληλων φακοειδών στρωμάτων σε διάφορα βάθη από την επιφάνεια (Σχ.30).



Σχ.29 Στρώση ηφαιστειακής χονδρόκοκκης άμμου σε πυρήνα δειγματοληπτικής γεώτρησης (Ζερβοπούλου 2010).



Σχ.30 Τομή εκσκαφής στην Πυλαία όπου χαρτογραφήθηκε φακός ηφαιστειακής άμμου μέσα στην ανώτερη ψαμμιτομαργαϊκή ενότητα (κόκκινος κύκλος).

Πρόκειται για περιβάλλον απόθεσης ποταμολιμναίο κατά το οποίο η απόθεση ανθρακικών ιζημάτων έγινε σε αβαθείς λίμνες με μεταβαλλόμενες συνθήκες ιζηματογένεσης (Συρίδης – 5^η εξελικτική φάση).

5.2. Σχηματισμός Τριλόφου

Πρόκειται για το σκουρόχρωμο κατώτερο τμήμα της ψαμμιτομαργαϊκής ενότητας, βαθύτερα από τον σχηματισμό Γωνιάς. Η ηλικία του είναι Ανώτερου Μειοκαίνου (Τουρόλιο – Πόντιο). Συνίσταται επίσης από εναλλαγές αργίλων, μαργών, άμμων και ψαμμιτών χρώματος τεφροπράσινου έως τεφρού και τεφροκύανου. Τα ιζήματά του σχηματισμού αυτού παρουσιάζουν καλύτερη οργάνωση και διαχωρισμό σε στρώματα. Ο σχηματισμός αυτός προήλθε από τις αποθέσεις σε λιμναίο περιβάλλον. Τα απολιθώματα δείχνουν υφάλμυρες συνθήκες (Συρίδης 1990) (Σχ.31).

Χαρακτηριστικό του σχηματισμού αυτού είναι η ύπαρξη πληθώρας απολιθωμάτων σε στρώσεις κυρίως τεφροπράσινης αργίλου. Πρόκειται για απολιθώματα ή αποτυπώματα αυτών στην άργιλο. Κυρίως συναντάμε τα Limnocardiidae, Congeriidae, Unionidae και Congeria sp. Πρόκειται για

απολιθώματα λιμναίου περιβάλλοντος. Ο σχηματισμός δημιουργήθηκε σε υφάλμυρο λιμναίο περιβάλλον με ήπιο ανάγλυφο και μη έντονα μεταβαλλόμενο κλίμα, όπου έγινε η απόθεση των απολιθωματοφόρων ιζημάτων (Συρίδης 1990, 4^η εξελικτική φάση).

Σχ.31 Απολιθώματα



Τεμάχια αργίλου με θραύσματα απολιθωμένων οστράκων. Διακρίνονται λίγα θραύσματα από Limnocardiiidae, Congeriidae, και ίχνη οστράκων και αποτυπώματα από μεγάλο μεγέθους λεπτοκέλυφα δίθυρα, πιθανότατα Unionidae.



Σκουρόχρωμη τεφρή άργιλος με ζεύγος θυρίδων Limnocardiiidae.



Σκουρόχρωμη τεφρή άργιλος με θυρίδες Limnocardiiidae.



Αποτυπώματα δίθυρων (Πιθανότατα Limnocardiiidae) σε αργιλικό ίζημα.



Τεφροπρασινωπή άργιλος περιέχει Congeria sp. Limnocardiiidae και πλήθος θραυσμάτων διθύρων.



Ασβεστο-ψαμμιτικό με λίγες διάσπαρτες μικρές κροκάλες. Πλήθος αποτυπωμάτων (κενοί χώροι) από θραύσματα διθύρων.

Αναγνώριση απολιθωμάτων από Συρίδης Γ. 2020

Χαρακτηριστικό επίσης του σχηματισμού είναι η παρουσία στρώσεων με οργανικά στοιχεία και παρουσία ξυλιτών. Βρίσκονται μέσα σε στρώματα τεφρής αργίλου. Οι στρώσεις αυτές εντοπίστηκαν σε πυρήνες δειγματοληπτικών γεωτρήσεων και ανοιχτές εκσκαφές (Σχ.32).



Σχ.32α Τομή εδάφους σε εκσκαφή όπου εντοπίζεται στρώση με οργανικά στοιχεία στον κατώτερο οριζοντα της ψαμμιτομαργακικής ενότητας. Περιοχή Βότση.



Λεπτομέρεια της παραπάνω στρώσης οργανικών.



Στρώση αργίλου με οργανικά στοιχεία έως ξυλitis στον κατώτερο ορίζοντα της ψαμμιτομαργαϊκής ενότητας. Δείγμα πυρηνοληψίας.

Σχ.32β Στρώσεις στην ψαμμιτομαργαϊκή ενότητα

Ανάπτυξη

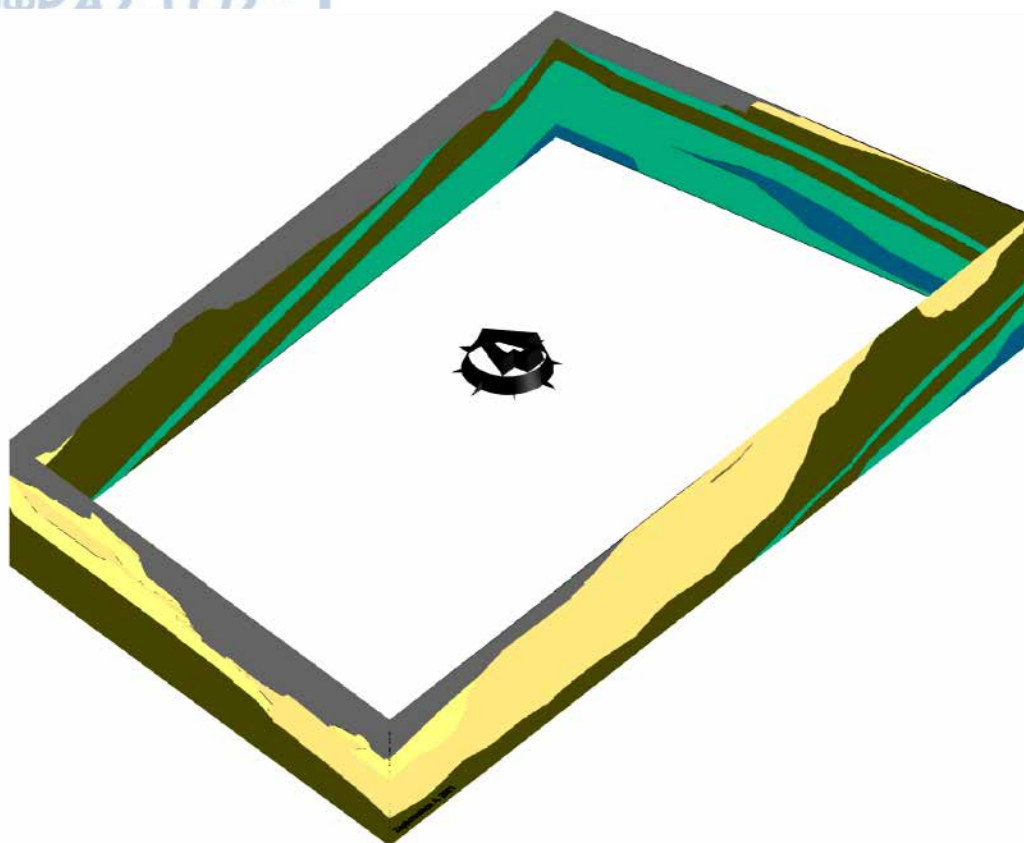
Η ψαμμιτομαργαϊκή ενότητα εμφανίζεται σε δειγματοληπτικές γεωτρήσεις από την περιοχή της οδού Γ' Σεπτεμβρίου και εκτείνεται μέχρι και τον Φοίνικα. Μέσα στον αστικό ιστό βρίσκεται κάτω από τις τεχνητές επιχώσεις ή τις τεταρτογενείς αποθέσεις στην περιοχή από Φλέμινγκ έως Μαρτίου. Μέσα στην πόλη έχει και επιφανειακή εμφάνιση στη περιοχή του Μικρού Εμβόλου, την Νέα Ελβετία (Αλλατίνη) και στην Καλαμαριά. Το όριο της έχει σχεδιαστεί με βάση γεωτρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί στην πόλη σε διάφορες περιοχές. Η ενότητα αυτή εκτείνεται και στον θαλάσσιο χώρο του Θερμαϊκού Κόλπου ανάντη της ενότητας Ερυθρών Αργίλων.

Το πάχος της ξεκινάει από λίγα μέτρα στην περιοχή της Γ' Σεπτεμβρίου ενώ ξεπερνάει τα 40 μέτρα στην περιοχή της Μαρτίου και τα 55 μέτρα στην περιοχή Βότση. Εμφανίζονται και οι δύο σχηματισμοί Τριλόφου και Γωνιάς της ενότητας. Στην βόρεια πλευρά της πόλης αναπτύσσεται κυρίως ο σχηματισμός Γωνιάς ενώ στην νότια περιοχή έχουμε κυρίως την εμφάνιση του σχηματισμού Τριλόφου με τις σκουρόχρωμες αργίλους.

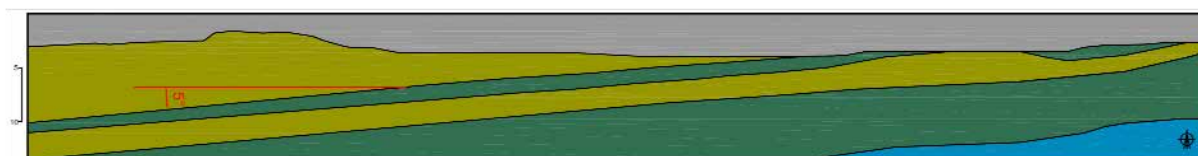
Τεκτονική

Τα στρώματα της ψαμμιτομαργαϊκής ενότητας εμφανίζονται με κλίσεις 3-5° προς ΝΔ (210/5) μέτρηση σε στρώση πρασινότεφρης αργίλου σε εκσκαφή στην περιοχή Βότση (Σχ.33). Βιβλιογραφικά έχουν μετρηθεί επίσης οι κλίσεις 3-5° προς ΝΝΑ ή ΝΑΑ σε πρηνή στην περιοχή Τριλόφου και νέας Γωνιάς (Συρίδης 1990).

Στην ψαμμιτομαργαϊκή ενότητα έχουν βρεθεί σε πολλές θέσεις επιφάνειες ολίσθησης σε δειγματοληπτικές γεωτρήσεις και εκσκαφές (Σχ.34). Ανάλογα με την περιοχή, αν δηλαδή βρίσκεται κοντά σε ρήγματα, οι επιφάνειες αυτές πληθαίνουν και μπορούν να παρατηρηθούν σε διαφορετικά βάθη στην ίδια θέση. Πολλές φορές παρατηρείται και ροή νερού σε αυτές. Εκτενέστερη αναφορά σε αυτά γίνεται σε παρακάτω κεφάλαιο.



Σχ.33 Τρισδιάστατη (3D) διογκωμένη απεικόνιση εκσκαφής στην περιοχή Βότση όπου εμφανίζονται και οι δύο σχηματισμοί ανώτερος και κατώτερος της Ψαμμιτομαργαϊκής ενότητας. Βλέπουμε τον σχηματισμό Τριλόφου με τα σκούρα χρώματα να βυθίζεται προς ΝΔ κάτω από τον σχηματισμό Γωνιάς με τα ανοιχτά χρώματα.



Λεπτομέρεια της παραπάνω 3D απεικόνισης εκσκαφής. Ακολουθεί το υπόμνημα των παραπάνω σχεδίων.

	Τεχνητές Επιχώσεις
	Καστανοκίτρινη, πυκνή, μεσόκοκκη έως αδρόκοκκη χαλικώδης ΑΜΜΟΣ.
	Καστανή έως καστανοπράσινη, σιφρή, αμμώδης ΑΡΓΙΛΟΣ.
	Καστανοπράσινη, σταθερή, αμμώδης ΙΛΥΣ / ΑΡΓΙΛΟΣ σε εναλλαγές με λεπτόκοκκη ιλυώδη ΑΜΜΟ, με οξειδώσεις και ασβεσπικά συγκρίματα. Παρουσία ΨΑΜΜΙΤΗ υπόλευκου σε στρώσεις.
	Πρασινότεφρη έως καστανότεφρη, πολύ σιφρή, ΑΡΓΙΛΟΣ έως ΑΡΓΙΛΟΛΙΘΟΣ, διακλασμένος με επιφάνειες ολίσθησης και απολιθώματα.
	Υπόλευκη, σιφρή, ασβεσπική ΑΡΓΙΛΟΣ με άμμο, οξειδώσεις Μαγγανίου, Σιδήρου και διακλάσεις.
	Ελαιοπράσινη, σταθερή, ΙΛΥΣ.
	Κυανοπράσινη, πολύ σιφρή, ΙΛΥΣ έως ΙΛΥΟΛΙΘΟΣ σε εναλλαγές με λεπτόκοκκη ιλυώδη ΑΜΜΟ.



Σχ.34 Επιφάνειες ολίσθησης σε εκσκαφή, σε πρασινότεφρη και καστανότεφρη άργιλο αντίστοιχα.

Η ψαμμιτομαργαϊκή ενότητα επικάθεται σύμφωνα πάνω στη ενότητα Ερυθρών Αργίλων με κλίση 234/7,5 σύμφωνα με στοιχεία γεωτρήσεων (σχηματισμός Τρίγλιας, Συρίδης 1990, Ζερβοπούλου, 2010) (Σχ.35).



Σχ.35 Φωτογραφία από κιβώτιο γεώτρησης όπου φαίνεται η ομαλή επαφή Ψαμμιτομαργαϊκής ενότητας και ενότητας Ερυθρών Αργίλων (Ζερβοπούλου, 2010).

6. Ενότητα Ερυθρών Αργίλων (Red Clay Series)

Η ενότητα των Ερυθρών αργίλων βρίσκεται βαθύτερα από την ψαμμιτομαργαϊκή ενότητα, όπου διαχωρίζονται από μία επιφάνεια διάβρωσης (Συρίδης) και σε επαφή με το βραχώδες υπόβαθρο της πόλης. Η ηλικία της είναι σύμφωνα με το ΙΓΜΕ Ανώτ. Μειόκαινο. Πιο συγκεκριμένα σύμφωνα με Συρίδη 1990 ο σχηματισμός έχει ηλικία Βαλλεζίου – Κατώτερου Τουρολίου σύμφωνα με τμήματα απολιθωμάτων θηλαστικών που βρέθηκαν. Στην διδακτορική διατριβή του Συρίδη ο σχηματισμός αυτός αναφέρεται ως σχηματισμός Τρίγλιας.

Η ενότητα αυτή έχει μαζώδη δομή και αποτελείται ως επί το πλείστον από καστανέρυθρες ή κεραμόχρωμες αμμώδεις αργίλους σε εναλλαγές με χαλικώδεις αργίλους έως χαλικώδεις άμμους. Το ποσοστό άμμου στις αργίλους διαφέρει ανάλογα με το στρώμα. Οι εναλλαγές εμφανίζονται με την μορφή στρώσεων ή φακών. Οι στρώσεις ή οι φακοί της χαλικώδους αργίλου έως αργιλωδών χαλίκων έχουν μικρότερα πάχη και περιορισμένη έκταση. Εκτός από το κύριο ερυθρό χρώμα ανάλογα με την περιοχή εμφάνισης συναντάμε και άλλα χρώματα όπως ελαιοπράσινα και κυανά με εμποτισμούς ερυθρών τμημάτων. Τα χρώματα αυτά εντοπίζονται κυρίως στα αργιλικά ή ιλυώδη στρώματα.

Η άμμος που εμφανίζεται είναι από χονδρόκοκκη έως λεπτόκοκκη (αργιλώδης άμμος) ή και ιλυώδης κατά θέσεις και έχει σύσταση χαλαζιακή και πρασινοσχιστολιθική. Η σύσταση των χαλίκων είναι προέλευσης του βραχώδους υποβάθρου της πόλης, είναι δηλαδή λατύπες ή κροκάλες πρασινοσχιστολιθικές, γνευσιακές ή χαλαζιακές, χρώματος ελαιοπράσινου ή λευκού. Το μέγεθός τους ποικίλει από χαλίκια έως λατύπες και τεμάχια. Κατά θέσεις έχουμε την έντονη διαγένεση των στρωμάτων αυτών και εμφανίζονται τελικά ως λατυποπαγή.

Χαρακτηριστικό της ενότητας αυτής είναι η παρουσία ασβεστιτικών συγκριμάτων και μαγγανιούχων οξειδώσεων. Η ενότητα προέρχεται από ερυθροστρώματα και εμφανίζεται να έχει υποστεί διαγένεση γι' αυτό και είναι ορατές μικρές επιφάνειες διαγένεσης στην δομή της. Οι μαγγανιούχες οξειδώσεις συχνά εμφανίζονται στις επιφάνειες αυτές (Σχ.36).



Τομή εκσκαφής στον σχηματισμό Ερυθρών Αργίλων στην Περιφερειακή οδό Θεσσαλονίκης. Διακρίνονται οι εναλλαγές χαλικιών και αργιλωδων οριζόντων.



Εκσκαφή στην περιοχή του πανεπιστημίου για θεμελίωση του κτηρίου ΕΕ όπου φαίνονται οι ελαιοπράσινοι εμποτισμοί στα βαθύτερα στρώματα.



Εκσκαφή όπου διακρίνονται τα τρία διαφορετικά χρώματα της ενότητας ερυθρών αργίλων που συνυπάρχουν (ερυθρό, ελαιοπράσινο και κυανό).



Λεπτομέρεια όπου διακρίνονται οι μαγγανιούχες οξειδώσεις και οι μικρές επιφάνειες διαγένεσης.



Λεπτομέρεια εκσκαφής στον σχηματισμό Ερυθρών Αργίλων (Περιφερειακή οδός) όπου διακρίνονται οι εναλλαγές οριζόντων.

Σχ.36 Τομές εκσκαφών στην ενότητα ερυθρών αργίλων

Περιβάλλον απόθεσης

Η ενότητα των Ερυθρών Αργίλων αντιπροσωπεύει ένα χερσαίο χαμηλού υψομέτρου περιβάλλον απόθεσης, έντονα οξειδωτικό. Σύμφωνα με Κωστόπουλο 2005 και Συρίδη 1990 δηλώνει ζεστό και υγρό χερσαίο περιβάλλον το οποίο εναλλάσσονταν (Tsirambides 2004). Τα αργιλικά ορυκτά είναι προϊόντα αποσάθρωσης του βραχώδους υποβάθρου της περιοχής (πρασινοσχιστόλιθος, γάββρος και γνεύσιος).

Η παρουσία φακών αλλά και στρωμάτων περιορισμένης έκτασης των χαλικωδών υλικών δηλώνουν την διέλευση ποταμών και χειμάρρων από την περιοχή. Είναι ορατή η χαμηλή διαβάθμιση των χαλίκων. Οι φακοί με τις κυανές αργίλους δηλώνουν πιθανόν την ύπαρξη στάσιμων νερών, ελών και λιμνών. Η απόθεση της ενότητας έγινε κατά την 3^η φάση χέρσευσης της περιοχής (Συρίδης 1990). Το χαμηλό υψόμετρο της περιοχής και το μεγάλο πάχος των ιζημάτων αυτών δηλώνουν ότι η περιοχή είχε για μεγάλο χρονικό διάστημα τεκτονική σταθερότητα (Tsirambides 2004).

Γεωτεχνικά χαρακτηριστικά

Πρόκειται για πολύ στιφρό σχηματισμό έως και σκληρό. Συχνά δίνει την εντύπωση ημίβραχου, αργιλόλιθου έως πηλόλιθου, αλλά και λατυποπαγούς στις θέσεις των χαλικωδών στρώσεων. Διατηρεί μεγάλα ύψη κατακόρυφων πρανών σε εκσκαφές και ορύγματα όπως φαίνεται και κατά μήκος της Περιφερειακής Οδού στην Θεσσαλονίκη (Σχ.37). Κατά τις εκσκαφές παρόλο που θεωρείται σε γενικές γραμμές στεγανός σχηματισμός λόγω της έντονης παρουσίας της αργίλου, έχει παρατηρηθεί ότι παρουσιάζει φαινόμενα αρτεσιανισμού, τα οποία θα αναλυθούν σε ξεχωριστό κεφάλαιο.

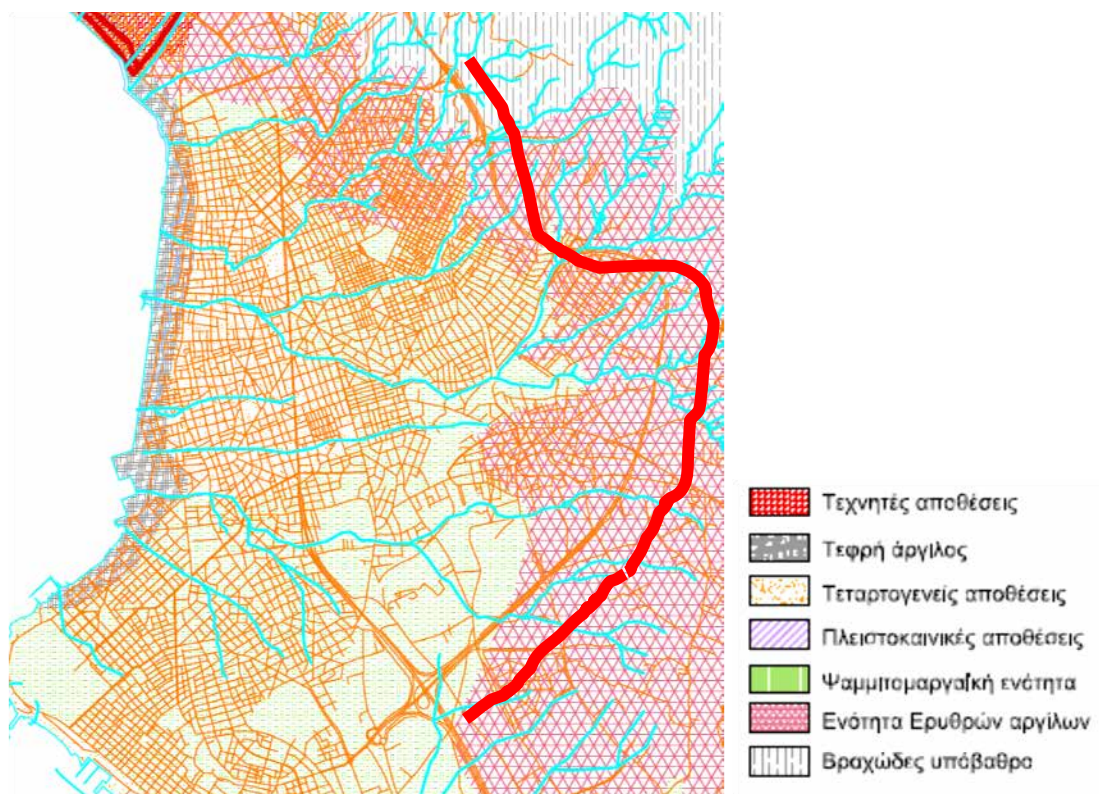


Σχ.37 Ορυγμα στην Περιφερειακή Οδό Θεσσαλονίκης, όπου φαίνεται οι εναλλαγές των στρώσεων μεταξύ στιφρής αμμώδους αργίλου, λατυποπαγών και χαλικωδών οριζόντων. Εντυπωσιακό είναι το ύψος των κατακόρυφων πρανών χωρίς ανάγκη αντιστήριξης.

Ανάπτυξη

Ο σχηματισμός των Ερυθρών Αργίλων αποτελεί το υπόβαθρο στην παλιά πόλη της Θεσσαλονίκης εντός των ιστορικών Τειχών αλλά και τον σχηματισμό που βρίσκεται σε επαφή με το βραχώδες υπόβαθρο της πόλης. Ο σχηματισμός αυτός εμφανίζεται επιφανειακά σε διάφορα πρανή στην βόρεια και ανατολική πλευρά της πόλης, ενώ έχει διατηρηθεί σε πολλές γεωτρήσεις μέσα στον αστικό ιστό.

Συναντάται είτε βαθύτερα από την ψαμμιτομαργαϊκή ενότητα είτε και αμέσως κάτω από τις τεχνητές επιχώσεις και το αρχαιολογικό στρώμα. Σε κάποιες περιοχές καλύπτεται από τεταρτογενείς αποθέσεις, όπως στις περιπτώσεις διάσχισης χειμάρρων. Πιο αναλυτικά για το πολεοδομικό συγκρότημα εμφανίζεται στην δυτική Θεσσαλονίκη έξω από τα Τείχη και διασχίζει την πόλη κατάντι της οδού Αγίου Δημητρίου όπου βρίσκεται η επαφή με το βραχώδες υπόβαθρο. Στην συνέχεια στην περιοχή της οδού Γ Σεπτεμβρίου βυθίζεται κάτω από την ψαμμιτομαργαϊκή ενότητα. Ανατολικότερα βρίσκεται στην Άνω Τούμπα, Τριανδρία και στις περιοχές Πυλαίας και Κωσταντινουπολίτικων αλλά και κατά μήκος της Περιφερειακής Οδού της πόλης από την γέφυρα Περαιβού και νοτιότερα (Σχ.38).



Σχ.38 Τμήμα του γεωλογικού χάρτη της πόλης της Θεσσαλονίκης όπου φαίνεται με κόκκινο χρώμα η Περιφερειακή Οδός, η οποία διέρχεται από την ενότητα των Ερυθρών Αργίλων.

7. Βραχώδες υπόβαθρο

Το βραχώδες υπόβαθρο της Θεσσαλονίκης ανήκει στην Περιοδοπική ζώνη, η οποία εκτείνεται με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ στη δυτική πλευρά της Σερβομακεδονικής ζώνης. Πιο συγκεκριμένα η πόλη της Θεσσαλονίκης ανήκει στην ενότητα Άσπρης Βρύσης – Χορτιάτη (Μουντράκης et al 1995). Οι ενότητα αυτή συνίσταται από ελαφρά μεταμορφωμένα ιζήματα Περμοτριάδικης ηλικίας.

Το υπόβαθρο της πόλης συνίσταται από τρία κυρίως πετρώματα, τα οποία γενικά είναι γνωστά ως οι πρασινογενέσιοι της Θεσσαλονίκης. Πιο συγκεκριμένα συναντάμε τους *γενέσιους*, *επιγενέσιους* και τους *πρασινοσχιστόλιθους*. Οι γενέσιοι είναι λευκοκρατικοί, αλβιτικοί ή σερικιτικοί. Οι επιγενέσιοι είναι ανοιχτοί καστανοί έως και πρασινωποί με καλή στρώση και πράσινα χλωριτικά στρώματα. Κατά τον Σαπουντζή (1969) οι επιγενέσιοι της Θεσσαλονίκης προέρχονται από μεταμόρφωση χαλαζιακών διοριτών. Και οι δύο έχουν γνευσιακό ή οφθαλμοειδή ιστό. Οι πρασινοσχιστόλιθοι της πόλης είναι τεφροπράσινοι έως καστανοί και λεπτόκοκκοι. Εμφανίζονται ως σερικιτικοί, χλωριτικοί, βιοτιτικοί, μοσχοβιτικοί, επιδοτιτικοί, ακτινολιθικοί και αλμανδινικοί σε συνδυασμούς (Ζερβοπούλου 2010). Στην μαγματική σειρά του Χορτιάτη συναντάμε επίσης γάββρο σε στρώματα. Τα πετρώματα αυτά εμφανίζονται έντονα αποσαθρωμένα και εξαλλοιωμένα (ουραλιτωμένα, σωσσυριτωμένα, μετατροπή σε ταλκικό σχιστόλιθο).

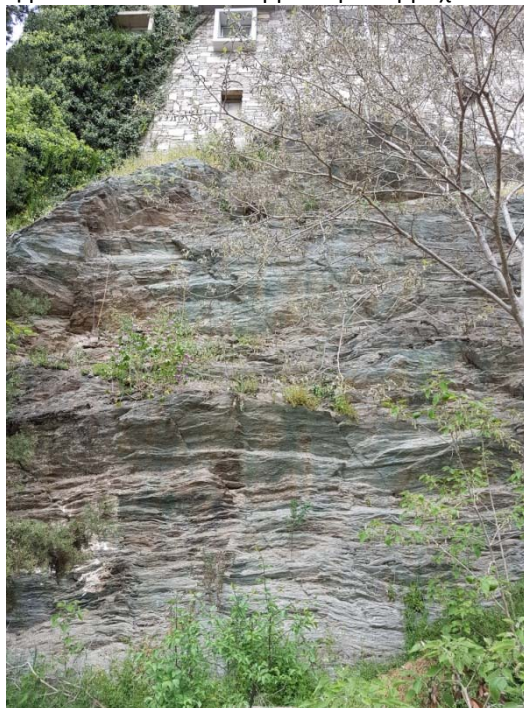
Σε δειγματοληπτική γεώτρηση βάθους 15 μέτρων, στην περιοχή Άνω Πόλης, οδός Ακροπόλεως διατρήθηκε βράχος από την επιφάνεια. Έτσι βρέθηκε γνεύσιος με λεπτές στρώσεις σερικιτικού σχιστόλιθου σε εναλλαγές με πηγματιτική – χαλαζιακή φλέβα και σερικιτικό σχιστόλιθος. Σε άλλες γεωτρήσεις μέσα στον αστικό ιστό το βραχώδες υπόβαθρο χαρακτηρίζεται στις περιγραφές ως μαρμαρυγιακός σχιστόλιθος, πρασινογνεύσιος, σχιστογνεύσιος με ασυνέχειες πληρωμένες με χαλαζία ή πρασινοσχιστόλιθος (Σχ.39).



Βραχώδες υπόβαθρο σε γεωτρήσεις του Μετρό Θεσσαλονίκης στην περιοχή Εγνατίας και Αγ. Σοφίας σε βάθος 42 μέτρα (Ζερβοπούλου 2010). Είναι ορατή η αποσάθρωση με τον έντονα κατακερματισμένο βράχο.



Βραχώδης επιφάνεια στην Άνω Πόλη



Μονή Βλατάδων – θέση παλιού λατομείου



Άνω Πόλη (Πηγματιτικές φλέβες σε πρασινογνεύσιο.



Στρώσεις και πτυχώσεις του
πρασινοσχιστόλιθου



Διακλάσεις στον πρασινοσχιστόλιθο (40 Εκκλησιές)



Φλέβα χαλαζίτη στην Ευαγγελίστρια

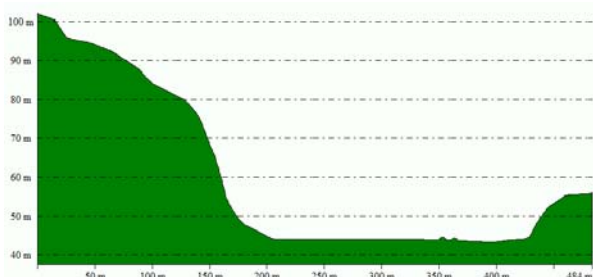
Σχ.39 Φωτογραφίες βραχώδους υποβάθρου σε διάφορες περιοχές της Θεσσαλονίκης

Ανάπτυξη

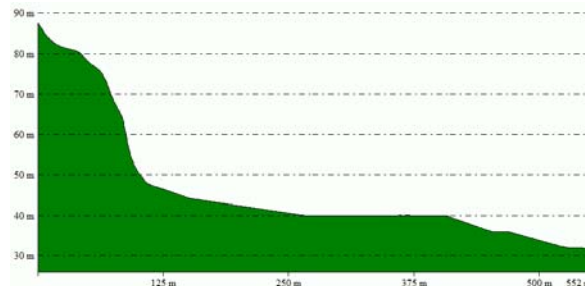
Το βραχώδες υπόβαθρο εμφανίζεται επιφανειακά μέσα στον αστικό ιστό στις περιοχές ανάντη της οδού Αγίου Δημητρίου και καταλαμβάνει την περιοχή της Άνω Πόλης. Το συναντάμε επιφανειακά στις Συκιές και τον Άγιο Παύλο όπως επίσης και στις 40 Εκκλησιές. Στην περιοχή της Ευαγγελίστριας όπου είναι ορατό το υπόβαθρο και αποτελούσε το κυριότερο παλιό λατομείο της πόλης. Ένα δεύτερο λατομείο υπήρχε κάτω από την Μονή Βλατάδων στην Άνω Πόλη. Κάτω από την οδό Αγίου Δημητρίου το υπόβαθρο βυθίζεται λόγω ρηγμάτων κάτω από τις νεογενείς αποθέσεις και πιο συγκεκριμένα κάτω από την ενότητα των ερυθρών αργίλων.

Το υπόβαθρο το βρίσκουμε πάλι σε δειγματοληπτικές γεωτρήσεις και υδρογεωτρήσεις σε διάφορες περιοχές της Θεσσαλονίκης και σε διάφορα βάθη. Στην περιοχή της Ροτόντας βρίσκεται στα 55 μέτρα, στην Αριστοτέλους στα 30 μέτρα, στην Αχειροποίητο στα 40 μέτρα. Στο πανεπιστήμιο Α.Π.Θ. ανάλογα με την σχολή βρίσκεται στην Οδοντιατρική, που είναι κοντά στην Αγ. Δημητρίου, στα 9 μέτρα, στην Θεολογική στα 90 μέτρα και στην Βιβλιοθήκη στα 60 μέτρα. Στο νοσοκομείο Λοιμωδών συναντάται στα 67 μέτρα ενώ δυτικά στην περιοχή των Αμπελοκήπων στα 12 μέτρα από την επιφάνεια.

Σχ.40 Τομές στο Λατομείο Ευαγγελίστριας



Τομή με διεύθυνση ΒΒΑ-ΝΝΔ όπου φαίνονται τα απότομα πρηνή και το επίπεδο εργασίας σε υψόμετρο 44 μέτρα (Ευαγγελίστρια).



Τομή με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ όπου φαίνονται τα απότομα πρηνή ύψους 33 μέτρων (Ευαγγελίστρια).

Από γεωφυσικές διασκοπήσεις που έγιναν στην πόλη της Θεσσαλονίκης βρέθηκε η ύπαρξη υποβάθρου με τιμές $V_s > 1000 \text{ m/sec}$ για αποσαθρωμένο βράχο και $V_s > 2000 \text{ m/sec}$ για υγρή βράχο. Στην περιοχή της Καλαμαριάς εκτιμήθηκε σε βάθος περίπου -240 μέτρων και στο όριο της Πυλαίας σε βάθος -220 μέτρων (Αποστολίδης 2002). Στην περιοχή του κέντρου της πόλης εκτιμήθηκε ότι το βραχώδες υπόβαθρο ($V_s = 1750 - 2500 \text{ m/sec}$) βρίσκεται σε βάθος -170 μέτρα στην παραλιακή οδό

Νίκης (Anastasiadis 2001). Παράλληλα μία άλλη εκτίμηση από Anastasiadis 2001 δίνει για την περιοχή της Καλαμαριάς βάθος βραχώδους υποβάθρου στα 400 μέτρα. Η ανάπτυξη του βραχώδους υποβάθρου ακολουθεί λοιπόν διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ σύμφωνα με την διεύθυνση ανάπτυξης και των γεωτεκτονικών ζωνών της περιοχής μελέτης.

Λατομεία

Ο πρασινοσχιστόλιθος της Θεσσαλονίκης χρησιμοποιήθηκε ήδη από τα αρχαία χρόνια ως δομικό υλικό. Είτε για την κατασκευή οικημάτων, είτε για την κατασκευή μικρών οδών και τεχνικών έργων όπως η επέκταση της παραλίας Θεσσαλονίκης (Σχ.41). Επίσης χρησιμοποιήθηκε για κατασκευή των Τειχών Θεσσαλονίκης. Στην πόλη υπήρχαν διάφορα λατομεία ή αλλιώς λιθορυχεία μικρά και μεγαλύτερα τα οποία χρησιμοποιούνταν ανά τους αιώνες. Μεγαλύτερα ήταν αυτά εκτός των τειχών της πόλης όπως το λατομείο της Ευαγγελίστριας και το λατομείο ή νταμάρι στα όρια Τριανδρίας (Θέατρο Γης). Εντός των τειχών υπήρχαν χώροι ή αλλιώς μικρά λατομεία σε διάφορες περιοχές στην Άνω Πόλη όπως κάτω από την Μονή Βλατάδων και στην Μονή Λατόμου (Ναός Όσιου Δαβίδ). Στο τελευταίο γίνεται αναφορά σε κείμενο του Ιγνάτιου «Διήγηση του Ιγνάτιου» τον 9^ο αιώνα ότι η προσωνυμία Σωτήρας Χριστός του λατόμου οφείλεται στα λατομεία πέτρας που υπήρχαν στην περιοχή.



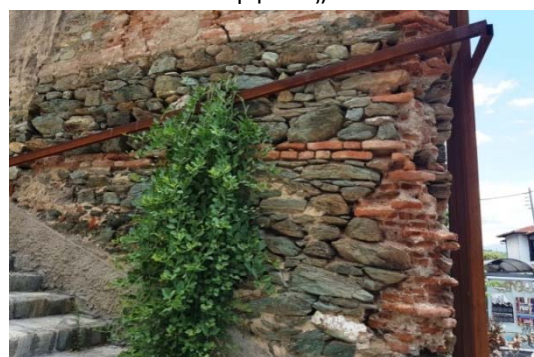
Τα βυζαντινά τείχη της Θεσσαλονίκης όπου χρησιμοποιούν ως δομικό υλικό τον πρασινοσχιστόλιθο Θεσσαλονίκης.



Διάστρωση τοπικής οδού με πρασινοσχιστόλιθο (Βυζαντινή εκκλησία Άνω Πόλης, Αγ. Νικόλαος Ορφανός)



Θεμελίωση τοιχείου με πρασινοσχιστόλιθο πάνω από την επιφανειακή εκδήλωση του βραχώδους υποβάθρου (Οδ. Ε. Ζωγράφου).



Δόμηση με πρασινοσχιστόλιθο σε κτίσμα της Άνω Πόλης.



Ο πρασινοσχιστόλιθος ως δομικό υλικό στην ρωμαϊκή Αρχαία Αγορά της Θεσσαλονίκης,



Ο πρασινοσχιστόλιθος ως δομικό υλικό στην Βυζαντινή Θεσσαλονίκη στον σταθμό Βενιζέλου (Μετρώντας την ιστορία της Θεσσαλονίκης 2018)

Σχ.41 Χρήση του βραχώδους υποβάθρου Θεσσαλονίκης ως δομικού στοιχείου

Λατομείο Ευαγγελίστριας

Είναι άγνωστο πότε ξεκίνησε η λειτουργία του αλλά λειτουργούσε μέχρι και στην διάρκεια της κατοχής στον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο. Είχε έκταση περίπου 100 στρέμματα ενώ φωτογραφίες της εποχής 1890-1901 δείχνουν την ύπαρξη σιδηροδρομικού δικτύου με βαγονέτα τα οποία μετέφεραν τα υλικά (τεμάχια πρασινοσχιστόλιθου). Τα υλικά χρησιμοποιήθηκαν για την επιχωμάτωση της παραλίας μπροστά από το Βασιλικό Θέατρο, την οικοδόμηση κτισμάτων της πόλης, για την κατασκευή του λιμένα και για άλλες εργασίες του γερμανικού στρατού επί κατοχής.

Η εκμετάλλευση του λατομείου άφησε ψηλά και απότομα πρανή έως και 40 μέτρων (ΙΓΜΕ, 1972) (Σχ.40), τα οποία εντάχθηκαν στον πολεοδομικό ιστό με την δημιουργία νέου οικισμού στον χώρο του παλιού εγκαταλελειμμένου λατομείου. Εντύπωση προκαλούν ακόμη και τα αρνητικά πρανή, λόγω αποσπάσεων βραχωδών τμημάτων, δημιουργώντας σπηλαιώσεις κατά θέσεις (ΙΓΜΕ, 1994). Στην περιοχή συναντάμε χλωριτικούς, σερικιτικούς και επιδοιτικούς σχιστόλιθους με φλέβες χαλαζιτών (Σχ.42).



3D τοπογραφική απεικόνιση από ισοϋψείς του 1945 όπου είναι ορατό στον κόκκινο κύκλο το «βύθισμα» του παλιού λατομείου της Ευαγγελίστριας



Τοπογραφικός χάρτης Θεσσαλονίκης του 1919 (Δήμος Θεσσαλονίκης) όπου φαίνεται η έκταση του λατομείου στην περιοχή της Ευαγγελίστριας (κίτρινο χρώμα).

Σχ.42 Λατομείο Ευαγγελίστριας



Φωτογραφία των εν ενεργεία λατομείων της Ευαγγελίστριας το 1890-1900 όπου φαίνεται η σιδηροδρομική γραμμή για την μεταφορά των υλικών από το λατομείο (Δημόσια Ομάδα, Παλιές φωτογραφίες της Θεσσαλονίκης: <https://www.facebook.com/groups/oldthessaloniki>).



Σύγχρονη φωτογραφία του πρανούς του παλιού λατομείου της Ευαγγελίστριας πίσω από τον ομώνυμο οικισμό.

Λατομείο Τριανδρίας (Θέατρο Γης)

Και το λατομείο της Τριανδρίας χρησιμοποιήθηκε για την επέκταση της παραλίας το 1938. Ιδιαίτερα χρήσιμο στις εργασίες λατόμευσης ήταν η ύπαρξη του παρακείμενου ρέματος Πεδίου Άρεως. Τμήμα του ρέματος χρησιμοποιήθηκε για την μεταφορά των υλικών, σύμφωνα με πηγές (σχ.43).



Σχ.43 Βραχώδη πρανή πρασινοσχιστολίθου βόρεια των 40 Εκκλησιών. Στη θέση του παλιού λατομείου λειτουργεί σήμερα το Θέατρο Γης.

Γεωτεχνικά χαρακτηριστικά

Το βραχώδες υπόβαθρο της Θεσσαλονίκης επιφανειακά εμφανίζεται έντονα καταπονημένος. Παρουσιάζει τεκτονικά συστήματα διαρρήξεων που μαζί με τις επιφάνειες στρώσης κατακερματίζουν τον βράχο. Οι ασυνέχειες εμφανίζονται αραιές έως μέσης πυκνότητας ανοιχτές στην επιφάνεια και κατά θέσεις πληρωμένες με χαλαζίτη. Οι ασυνέχειες που βρίσκονται στα βαθύτερα στρώματα κάτω από την ενότητα των Ερυθρών αργίλων εμφανίζονται πληρωμένες με αργιλικό υλικό.

Στις γεωτρήσεις όπου διατρήθηκε το βραχώδες υπόβαθρο μέχρι τα 5 μέτρα εντοπίστηκε ο αποσαθρωμένος μανδύας, ενώ βαθύτερα έκανε την εμφάνιση του ο έντονα κατακερματισμένος βράχος. Λόγω των ανοιχτών διακλάσεων και του αποσαθρωμένου μανδύα ο πρασινοσχιστόλιθος Θεσσαλονίκης παρουσιάζει υδροφορία με κυκλοφορία του υπόγειου νερού στις διακλάσεις.

Γενικά το βραχώδες υπόβαθρο επιφανειακά διατηρεί υψηλά σχεδόν κατακόρυφα ή και με αρνητική κλίση, τεχνητά πρηνή. Παρουσιάζονται μόνο τοπικά και σε περιορισμένη έκταση κάποιες αστοχίες με αποκολλήσεις και καταπτώσεις τεμαχών - ογκόλιθων. Παρουσιάζει έντονη σχιστότητα η οποία σε κάποιες θέσεις δίνει μία «φυλλώδη» δομή. Αυτό μπορεί να διευκολύνει ολισθήσεις αλλά και καταπτώσεις (Σχ.44).

Η καταπόνηση και ο κερματισμός του πρασινοσχιστόλιθου εντείνεται από την κυκλοφορία νερού στις διακλάσεις, με τις πιέσεις που ασκούνται αλλά και από τις ρίζες των φυτών πάνω στον βράχο.



Υδροφορία στην περιοχή της Ευαγγελίστριας στο τεχνητό αρνητικό πρηνές του λατομείου.



Μεταλλικό δίκτυο για τη αποφυγή καταπτώσεων μέσα στην κατοικημένη περιοχή

Σχ.44 Γεωτεχνικά προβλήματα μέσα στον αστικό ιστό του βραχώδους υποβάθρου Θεσσαλονίκης

Τεκτονική υποβάθρου

Σε διάφορες θέσεις εμφάνισης του βραχώδους υποβάθρου στην Άνω Πόλη και τις 40 Εκκλησιές έγιναν μετρήσεις και σχεδιάστηκαν 3 κύρια συστήματα διαρρήξεων, όπως φαίνεται και στα παρακάτω σχήματα (Σχ.45).

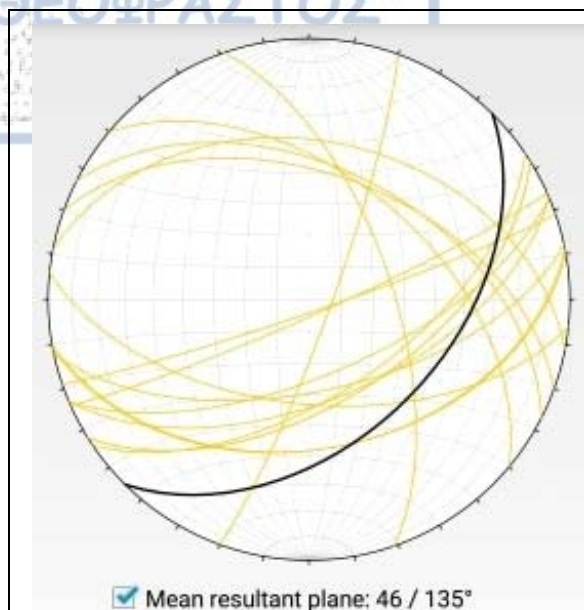
Τα στοιχεία τους (Διεύθυνση κλίσης / Γωνία κλίσης) είναι:

30/65

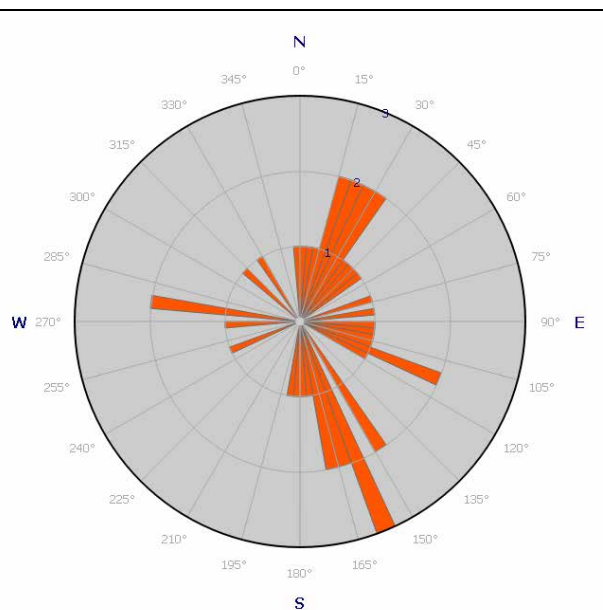
100/80

170/70

Η μεγαλύτερη πυκνότητα των διακλάσεων ανήκει στο πρώτο μέσο επίπεδο 30/65 και η μικρότερη στο επίπεδο 170/70. Από αυτά προκύπτει ότι η γενική διεύθυνση διακλάσεων ακολουθεί την παλαιότερη (Αλπική) τεκτονική διεύθυνση της περιοχής της Θεσσαλονίκης ΒΔ-ΝΑ.



Σχ.45α Επίπεδα διακλάσεων στον βραχώδη σχηματισμό της Θεσσαλονίκης.



Σχ.45β Ροδοδιάγραμμα διευθύνσεων κλίσεων των επιπέδων διακλάσεων στο βραχώδες υπόβαθρο της Θεσσαλονίκης

Αστική Υδρογεωλογία

Η αστικοποίηση και η αύξηση του πληθυσμού έχει επιδράσει και στους υδάτινους πόρους, στην υδρολογία και υδρογεωλογία μιας περιοχής. Πιο συγκεκριμένα η αύξηση έκτασης του αστικού περιβάλλοντος και η κάλυψη του επιφανειακού εδάφους με κτίσματα, τσιμέντο και ασφαλτο επιφέρει μείωση της ελεύθερης επιφάνειας ροής των υδάτων. Ως αποτέλεσμα είναι να επηρεάζεται η επιφανειακή απορροή, η οποία αυξάνεται ιδιαίτερα σε έντονες βροχοπτώσεις και επίσης η κατείσδυση με αποτέλεσμα την μείωσή της αντίστοιχα, μια και το νερό απορρέει επιφανειακά χωρίς να μπορεί να κατεισχύσει. Αυτό σε συνδυασμό με την κλιματική αλλαγή, συνεπάγεται φτωχοποίηση των υπόγειων διαθέσιμων υδάτων.

Παράλληλα η αστικοποίηση των περιοχών καταλαμβάνοντας μεγάλες εκτάσεις γης, επιφέρει την ρύπανση των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων. Οι επιφανειακές απορροές των υδάτων (χείμαρροι, ρέματα) εκτρέπονται, υπογειοποιούνται ή επιχωματώνονται και χτίζονται ανάλογα με τις ανάγκες του πληθυσμού. Το αποτέλεσμα είναι εκτός από την αλλαγή του επιφανειακού αναγλύφου να επηρεάζεται και η υπόγεια ροή των υδάτων και η στάθμη τους (επίπεδο ελεύθερης επιφάνειας).

Πιο αναλυτικά η αστικοποίηση των περιοχών οδηγεί σε κάλυψη του εδάφους και την δημιουργία ενός αδιαπέρατου στεγανού καλύμματος. Τα κτήρια με τις στέγες και τις ταράτσες, τα πεζοδρόμια, οι ασφάλτινοι δρόμοι, οι στρωμένες με πλάκες πλατείες δημιουργούν μεγάλης έκτασης στεγανές επιφάνειες. Τα εδάφη στην περιοχή συμπιέζονται και συμπαγοποιούνται με μείωση της διαπερατότητάς τους. Παράλληλα τα ρέματα που θα μπορούσαν να διασχίζουν τις περιοχές αυτές καλύπτονται επιφανειακά και υπογειοποιούνται, σταματώντας την φυσική τροφοδοσία τους. Εμφανίζεται δηλαδή το φαινόμενο της εξαφάνισης των ρεμάτων σύμφωνα με τους Bhaskar et al. 2015, φαινόμενο που μελετήθηκε για την πόλη της Washington (The lost Streams and springs of Washington D.C.).

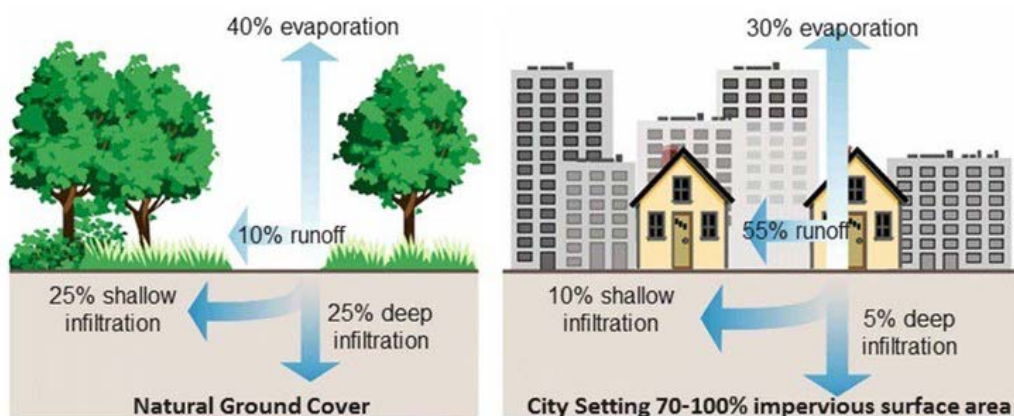
Η μεταβολή της επιφανειακής μορφολογίας με την κάλυψη των ρεμάτων και του εδάφους επιφέρει επίσης αλλαγές εκτός από τα επιφανειακά ύδατα, στα υπόγεια, στον αέρα και τελικά έχουμε την

μεταβολή του μικροκλίματος της περιοχής "heat island effect". Οι αλλαγές στην επιφανειακή απορροή, επηρεάζουν την κατείδυση των υδάτων και τελικά την ίδια την βροχόπτωση (Marsalek et al. 2006). Σε αυτό συμβάλει και η μεταβολή της φυσικής βλάστησης με την επιβολή της αστικής βλάστησης που εξυπηρετεί τις ανάγκες της ζωής στην πόλη.

Ως αποτέλεσμα των παραπάνω παρατηρούμε την μεταβολή του υδρολογικού κύκλου σε αστικά περιβάλλοντα. Εξαιτίας των εξαιρετικά χαμηλών ποσοστών διαπερατότητας και των υψηλών επιφανειακής απορροής, έχουμε αλλαγές και στην εξατμισιοδιαπνοή, την απορροή, την κατείδυση και γενικότερα στην δυναμική επαναφόρτισης του κύκλου του νερού (Wong et al. 2012).

Σύμφωνα με μελέτες που έγιναν συγκρίνοντας το φυσικό περιβάλλον με το δομημένο περιβάλλον και την υδρολογική του συμπεριφορά παρατηρήθηκε ότι η επιφανειακή απορροή των υδάτων αυξάνεται από 10% στο φυσικό έδαφος στο 55% στο δομημένο στεγανό έδαφος. Παράλληλα η κατείδυση μειώνεται κοντά στην επιφάνεια από 25% σε 10% και η κατείδυση σε βαθύτερα στρώματα από 25% σε μόλις 5% (Σχ.46). Η εξατμισιοδιαπνοή επίσης μειώνεται από 40% σε 30%. Παρατηρούμε δηλαδή μια μεγάλη αλλαγή στον υδρολογικό κύκλο του νερού σε αστικά περιβάλλοντα, με πρωταγωνιστή την εξαιρετικά αυξημένη επιφανειακή απορροή η οποία και προκαλεί τα περισσότερα προβλήματα στους κατοίκους των πόλεων (π.χ. πλημμύρες κτισμάτων, ατυχήματα στους δρόμους).

NATURAL vs. URBAN STORMWATER DRAINAGE



Σχ.46 Διακρίνεται ο διαφορετικός κύκλος νερού συγκρίνοντας ένα φυσικό περιβάλλον και ένα αστικό περιβάλλον (<https://www.nrcs.usda.gov>)

Παράλληλα η κίνηση των υπογείων υδάτων σε στρώματα κοντά στην επιφάνεια τους εδάφους το οποία έχουν υψηλότερη διαπερατότητα ως επί το πλείστον παρεμποδίζεται από κατασκευές. Οι κατασκευές αυτές είναι ουσιαστικά η υπόγεια πόλη που ακολουθεί τον επιφανειακό αστικό δομημένο ιστό. Τα θεμέλια των οικοδομών είναι σε βάθη από 3 μέτρα κάτω από την επιφάνεια έως συννηθέστερα στα 5 μέτρα αλλά σπανίως και βαθύτερα. Σε διάφορα βάθη συναντάμε τα συστήματα αγωγών και δικτύων ΟΚΩ ενώ επίσης κατασκευές όπως υπόγειοι χώροι στάθμευσης και σήραγγες Μετρό καταλαμβάνουν πολύ βαθύτερα στρώματα εμποδίζοντας την ελεύθερη κίνηση των υδάτων. Τα δομικά αυτά στοιχεία κατασκευάζονται με την βοήθεια εκσκαφών οι οποίες μετά γεμίζουν είτε με υλικά επιχώσεων (διαπερατά υλικά) ή με στεγανά υλικά (σκυρόδεμα). Οι υπόγειες αυτές κατασκευές δημιουργούν μία δευτερογενή διαπερατότητα (Wong et al 2012) και πορώδες το οποίο τροποποιεί την ροή των υπόγειων υδάτων. Τα στεγανά υλικά όπως το σκυρόδεμα δημιουργούν φράγματα στην κίνηση των υδάτων με άνοδο ή πτώση αντίστοιχα της επιφάνειας του νερού εκατέρωθεν του φραγμού. Ενώ τα υλικά επιχώσεων αυξάνουν την διαπερατότητα του υπεδάφους τοπικά. Παράλληλα κατασκευές όπως γεωτρήσεις, πηγάδια και ανοιχτά ορύγματα (shafts) επίσης τροποποιούν τις υπόγειες ροές των υδάτων σε μεγαλύτερα βάθη.

Υφαλμύρωση

Σε αστικές περιοχές οι οποίες βρίσκονται κατά μήκος ακτών είναι δυνατόν να παρατηρηθεί υφαλμύρωση των παράκτιων υδροφορέων. Λόγω της μειωμένης τροφοδοσίας υπόγειου νερού είναι δυνατόν να εισέλθει το θαλασσινό νερό.

Μείωση τροφοδοσίας υλικών αποσπάρσεων – μείωση ιζηματογένεσης

Σε αστικές περιοχές οι οποίες βρίσκονται κατά μήκος ακτών είναι δυνατόν να παρατηρηθεί μεταβολή και στην διαδικασία της ιζηματογένεσης. Η επιφανειακή απορροή σε αστικές περιοχές λόγω του στεγανού καλύμματος είναι δυνατόν να μειώσει την απόπλυση εδαφικού υλικού και κατ' επέκταση την παραγωγή υλικού ιζηματογένεσης.

Στην πόλη της Θεσσαλονίκης το φυσικό περιβάλλον έχει αρχίσει να τροποποιείται και να προσαρμόζεται στην αστική ζωή εδώ και περισσότερο από 2.000 χρόνια. Αυτό έλαβε χώρα με την κάλυψη του επιφανειακού στρώματος του εδάφους με κτήρια και δρόμους. Τα ρέματα εκτράπηκαν ή εκμεταλλεύτηκαν για τις ανάγκες των κατοίκων ενώ επίσης και το υπόγειο νερό της πόλης χρησιμοποιήθηκε με την διάνοιξη πολυάριθμων πηγαδιών για την υδροδότηση των κατοικιών.

Σήμερα η πόλη της Θεσσαλονίκης καταλαμβάνει μία έκταση περίπου 18,5 τετραγωνικών χιλιομέτρων ενώ οι ελεύθερες επιφάνειες είναι μόλις 1km² σύμφωνα με μετρήσεις που έγιναν (Κολυμάνης et al 2015). Οι ελεύθερες επιφάνειες σε μία πόλη δεν ισοδυναμούν πάντα και σε ελεύθερες από δομικά στοιχεία.

Η δομημένη επιφάνεια της πόλης είναι πολύ μεγάλη με ποσοστό 77%. Ένα ακόμη μεγάλο ποσοστό 19% καταλαμβάνουν οι ασφαλτοστρωμένοι δρόμοι ενώ μόνο το 4% είναι οι ελεύθεροι χώροι και από αυτούς ένα μεγάλο ποσοστό είναι καλυμμένοι με αδιαπέρατες πλάκες μια και τις περισσότερες φορές το έδαφος καλύπτεται από πλάκες τσιμέντου ή άλλες κατασκευές για αναψυχή (ΤΕΕ). Εκτός από τα κτήρια το έδαφος καλύπτεται από τους δρόμους, τα πεζοδρόμια και τους χώρους στάθμευσης αυτοκινήτων. Αυτό συνεπάγεται την αποτροπή κατείσδυσης των υδάτων των βροχοπτώσεων και την επιφανειακή τους απορροή.

Κατά την απορροή και την έκπλυση των δομημένων επιφανειών τα κατακρημνίσματα μεταφέρουν τους ρύπους της πόλης στις κατασκευές - αγωγούς παροχέτευσης ομβρίων με τελικό αποδέκτη την θάλασσα.

Στην Θεσσαλονίκη τα επιφανειακά ύδατα των χειμάρρων και ρεμάτων της πόλης έχουν εκτραπεί, με την κατασκευή της περιφερειακής τάφρου, εκτός του Πολεοδομικού Συγκροτήματος και όσα έχουν απομείνει μέσα στον αστικό ιστό έχουν υπογειοποιηθεί. Τα ύδατα δηλαδή των βροχοπτώσεων καταλήγουν στην θάλασσα μέσω τσιμεντένιων αγωγών χωρίς να καταφέρνουν να εμπλουτίσουν τους υπόγειους υδροφορείς της πόλης.

Υδρογεωλογικές ιδιότητες του υπεδάφους της Θεσσαλονίκης

Ανάλογα με τον γεωλογικό σχηματισμό γίνεται και η κίνηση των υπόγειων υδάτων στην πόλη της Θεσσαλονίκης. Παρακάτω θα δούμε τις στάθμες της ελεύθερης επιφάνειας του νερού όπως αυτή μετρήθηκε σε πιεζόμετρα που έχουν εγκατασταθεί σε γεωτρήσεις μέσα στον αστικό ιστό για διάφορα τεχνικά έργα. Όπου απουσιάζουν τα πιεζόμετρα, δεδομένα αντλήθηκαν από μετρήσεις στάθμης κατά την διάρκεια της διάρτησης, όπου αυτό ήταν εφικτό και μπορούσε να είναι αξιόπιστη η μέτρηση. Πρόκειται για μέσους όρους τιμών ύψους νερού και δεν λαμβάνεται υπόψη η εποχικότητα. Έγινε προσπάθεια να ομαδοποιηθούν οι μετρήσεις αυτές ανάλογα με τον γεωλογικό σχηματισμό, αλλά και ανάλογα με την περιοχή και την απόστασή της από την ακτογραμμή. Οι μετρήσεις που αναφέρονται παρακάτω αποτελούν μέτρηση από την επιφάνεια του εδάφους, ενώ στον χάρτη αναφέρονται οι στάθμες νερού σε απόλυτα υψόμετρα.

Στο αρχαιολογικό στρώμα και τις τεχνητές επιχώσεις που βρίσκονται επιφανειακά κάτω από το δομημένο περιβάλλον, λόγω της ανομοιογένειάς τους, παρουσιάζουν μεγάλη διαπερατότητα και ανομοιογενείς πορώδεις. Στο ιστορικό κέντρο της πόλης ο υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται μέσα στο ανθρωπογενές αυτό στρώμα. Το στρώμα αυτό βρίσκεται πάνω στο αδιαπέρατο στρώμα των ερυθρών αργίλων. Η ελεύθερη επιφάνεια του νερού εντοπίζεται, σύμφωνα με μετρήσεις της στάθμης ηρεμίας νερού σε πιεζόμετρα που έχουν τοποθετηθεί στο ύψος της Εγνατίας οδού (απόσταση από την ακτογραμμή 500 μέτρα περίπου) σε βάθος 5,5 μέτρων από την επιφάνεια. Στο ύψος του Αρχαιολογικού Μουσείου Θεσσαλονίκης το βάθος είναι στα 4 μέτρα και στην οδό Μητροπόλεως στα 2,5 μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους (απόσταση από την ακτογραμμή 150 μέτρα περίπου).

Νοτιότερα ο φρεάτιος υδροφόρος ορίζοντας εκτείνεται μέσα στο στρώμα της Τεφρής Αργίλου. Πρόκειται επίσης για πολύ διαπερατό σχηματισμό μια και έχει μεγάλο ποσοστό ιλύος και άμμου. Πρόκειται για κορεσμένο σχηματισμό και ο υδροφόρος ορίζοντας συναντάται σε βάθος 2 μέτρων από την επιφάνεια στο ύψος του Βασιλικού Θεάτρου Θεσσαλονίκης και του παράκτιου Ξενοδοχείου (Μακεδονία Παλλάς). Στην επέκταση της παραλίας τον συναντάμε σε βάθος μικρότερου του ενός μέτρου (0,9m). Στον ίδιο σχηματισμό στην δυτική περιοχή της πόλης στο ύψος των Δικαστηρίων ο υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται σε βάθος 2,5 μέτρων (απόσταση από την ακτογραμμή ~280 μέτρα) και ανατολικά στην περιοχή της Σοφούλη σε βάθος 0,8 μέτρων από την επιφάνεια (απόσταση από την ακτογραμμή ~70 μέτρα).

Οι τεταρτογενείς αποθέσεις μια και πρόκειται ως επί το πλείστον για σχηματισμό αμμόδη και χαλικώδη εντοπίζονται και οι μεγαλύτερες παροχές υδάτων. Ο υδροφόρος ορίζοντας εντοπίζεται σε βάθος 6,5 μέτρων από την επιφάνεια στην περιοχή Δελφών (απόσταση από την ακτογραμμή 700 μέτρα περίπου). Λόγω των χειμάρρων που διέρρεαν στην ευρύτερη περιοχή της Μαρτίου και Δελφών και των δελταϊκών αποθέσεων αυτών, ευνοείται η ανάπτυξη τοπικών υδροφορέων μεγάλης παροχής. Τα πάχη των αποθέσεων αυτών μπορεί να ξεπεράσουν και τα 60 μέτρα (Πάρκο Κρήτης – Πατρικίου). Οι σχηματισμοί αυτοί τροφοδοτούνται από τα ρέματα τα οποία διασχίζουν τις περιοχές ανατολικής και δυτικής Θεσσαλονίκης και πηγάζουν από τα ανάντη στο βραχώδες υπόβαθρο. Στην περιοχή του Φοίνικα ο υδροφόρος ορίζοντας εντοπίζεται στα 2 μέτρα κοντά στην ακτογραμμή ενώ στη Συνδίκια με Μακεδονίας στα 11 μέτρα (απόσταση από την ακτογραμμή ~900 μέτρα)

Υδρογεωτρήσεις που έγιναν στην περιοχή αυτή σε βάθη 50 μέτρων έδωσαν κρίσιμες παροχές της τάξης των $Q=140\text{m}^3/\text{h}$. Από μετρήσεις στην περιοχή σε διάφορα πιεζόμετρα αναφοράς κατά την διάρκεια δοκιμαστικών αντλήσεων υπολογίστηκαν υψηλοί συντελεστές υδροχωρητικότητας και διαπερατότητας. Οι παροχές υπολογίστηκαν μικρότερες σε ρηχότερες γεωτρήσεις (20 μέτρων) στην περιοχή του Νέου Σιδηροδρομικού Σταθμού $Q=40\text{m}^3/\text{h}$ σε ποταμοχειμάρειες αποθέσεις επίσης.

Στο στρώμα της Ψαμμιτομαργαϊκής ενότητας ο υδροφόρος ορίζοντας μέσα στον σχηματισμό εντοπίζεται βαθύτερα, σε βάθη από 10 μέτρα (περιοχή Κατσιμίδα και Παπαναστασίου) έως και 40 από την επιφάνεια στην περιοχή Βότση, ανάλογα με την περιοχή και το υψόμετρο. Στην Καλαμαριά ο υδροφόρος ορίζοντας εντοπίζεται στα 8 μέτρα και στα 7 μέτρα στην περιοχή της Κρήνης (απόσταση από την ακτογραμμή ~650 μέτρα). Αντίστοιχα στο γήπεδο της Τούμπας είναι βαθύτερα από τα 20 μέτρα και στην περιοχή του Εμπορικού Κέντρου Cosmos στα 15 μέτρα. Σε υδρογεώτρηση στην περιοχή της Μίκρας με βάθος 245 μέτρα εντοπίστηκε ο υδροφόρος ορίζοντας στα 60 μέτρα από την επιφάνεια (απόσταση από την ακτογραμμή ~1.300 μέτρα).

Η ψαμμιτομαργαϊκή ενότητα θεωρείται ημιπερατός σχηματισμός λόγω της επικράτησης των αργιλικών και ψαμμιτικών σωμάτων. Παρόλα αυτά υδρογεώτρηση που έγινε στην θέση του σχηματισμού αυτού (περιοχή Αλλατίνη) σε βάθος έως 30 μέτρα έδωσε χαμηλή κρίσιμη παροχή μόλις $Q=3\text{m}^3/\text{h}$. Δοκιμαστικές αντλήσεις όμως που έγιναν στο σημείο εντόπισαν ότι πρόκειται για υπό πίεση υδροφορέα. Σε εκσκαφές παρατηρήθηκε ροή νερού από διακλάσεις και επιφάνειες

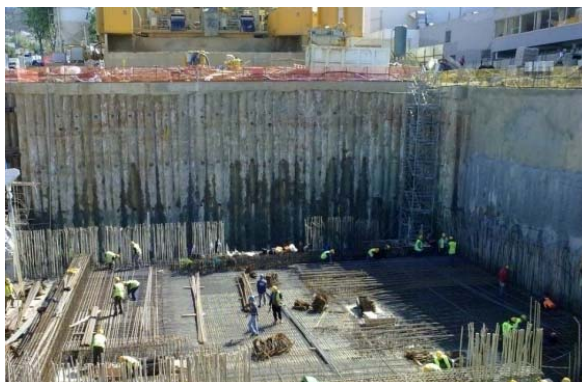
ολίσθησης (Σχ.47). Τα υδροφόρα στρώματα αναπτύσσονται σε στρώσεις άμμων και ιλύων και είναι περιορισμένης και μικρής δυναμικότητας.



Σχ. 47
Ροή υδάτων διαμέσου διακλάσεων και επιφανειών ολίσθησης στην ψαμμιτομαργαϊκή ενότητα.

Εξαιρετικό ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα υπόγεια ύδατα στην περιοχή του πανεπιστημίου Α.Π.Θ. και τον σχηματισμό των Ερυθρών Αργίλων. Πρόκειται για ημιπερατό σχηματισμό λόγω επικράτησης των αργιλικών οριζόντων, αλλά και λόγω της διαγένεσης. Παρόλα αυτά παρουσιάζει θύλακες νερού υπό πίεση και υδροφορία υπό πίεση στους χαλικώδεις φακούς και ορίζοντες. Ο υδροφόρος ορίζοντας στη ενότητα αυτή εντοπίζεται από τα 0 μέτρα από την επιφάνεια (αρτεσιανισμός) έως και τα 2,5 μέτρα από την επιφάνεια, ανάλογα με το υψόμετρο στην περιοχή του πανεπιστημίου. Ο αρτεσιανισμός είναι περιοδικός αλλά και μόνιμος σε κάποιες θέσεις.

Υδρογεώτρηση που έγινε στην περιοχή του Πανεπιστημίου σε βάθος 50 μέτρων έδωσε χαμηλή κρίσιμη παροχή μόλις $Q=3\text{m}^3/\text{h}$. Δοκιμαστικές αντλήσεις όμως που έγιναν στο σημείο εντόπισαν ότι πρόκειται για υπό πίεση υδροφορέα που εμφανίζει αρτεσιανισμό. Κατά την διάτρηση γεωτρήσεων αλλά και σε εκσκαφές παρατηρήθηκε ροή νερού. Υπήρξαν γεωτρήσεις με μόνιμη ροή και γεωτρήσεις με περιοδική ροή νερού (Σχ.49). Ροή νερού παρατηρείται σε μόνιμη βάση και σε υπόγεια κτηρίων του Πανεπιστημίου, τα οποία αντλούνται (Σχ.48).



Σχ.48 Ίχνη ροής υδάτων διαμέσου των οπών για την τοποθέτηση αγκυρίων, στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (ametro.gr)



Σχ.49 Υδροφορία γεώτρησης στην περιοχή του Παπαφείου

Τον σχηματισμό αυτό εκμεταλλευόταν οι κάτοικοι της πόλης της Θεσσαλονίκης από τα αρχαία χρόνια για την υδροδότηση των οικιών (Σχ.50). Αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο η ύπαρξη πολυάριθμων πηγαδιών στον αστικό ιστό της πόλης (Καϊάφα Α., 2008). Σε ένα από αυτά που είχαμε την τύχη να διατρήσουμε, εντοπίστηκε ο σχηματισμός στον οποίο βρισκόταν η υδροφορία στα 27

μέτρα από τη επιφάνεια. Πρόκειται για στρώμα ανοιχτής πράσινης άμμου υψηλής υδροφορίας μέσα στον σχηματισμό των ερυθρών αργίλων.



Σχ.50

Πηγάδι στην περιοχή της Μελενίκου όπου είναι ορατό μέχρι σήμερα (Tabya Cafe).

Το βραχώδες υπόβαθρο της Θεσσαλονίκης είναι βασικά αδιαπέραστος σχηματισμός όμως παρουσιάζει δευτερογενή υδροφορία περιορισμένης δυναμικότητας. Λόγω του τεκτονισμού της περιοχής αλλά και της αποσάθρωσης οι πρασινοσχιστόλιθοι της Θεσσαλονίκης εμφανίζουν πληθώρα διακλάσεων. Κάποιες από αυτές εμφανίζονται πληρωμένες με διαπερατά υλικά όπως άμμο και χαλίκια και άλλες με αργιλικά υλικά. Μέσα σε αυτές τις διακλάσεις και την ζώνη αποσάθρωσης γίνεται η κυκλοφορία των υδάτων. Στο βραχώδες πέτρωμα συναντάμε μέσα στον αστικό ιστό πηγές αλλά και επιφανειακές ροές υδάτων. Πρόκειται κυρίως για πηγές επαφής όπως για παράδειγμα όταν ο υδροφόρος ορίζοντας συναντάει αδιαπέρατα υλικά όπως είναι η ενότητα των Ερυθρών Αργίλων (Πηγή στην εκκλησία Αγίου Δημητρίου). Επίσης παρατηρούνται σε διάφορα σημεία της Άνω Πόλης πηγές σε διακλάσεις του πρασινοσχιστόλιθου.

Εντοπίστηκαν επίσης πηγές που δημιουργούν τοπικές συγκεντρώσεις νερών. Κάποιες από τις πηγές αυτές χρησιμοποιήθηκαν, λατρεύτηκαν ως αγιάσματα και διασώθηκαν μέχρι σήμερα. Αγίασμα Αγίου Παύλου και Αγίασμα Αγίας Ζώνης. Τα νερά που κυκλοφορούσαν στον βραχώδη σχηματισμό χρησιμοποιήθηκαν επίσης και από πολυάριθμα ιδιωτικά πηγάδια σε οικίες για την υδροδότησή τους στην περιοχή της Άνω Πόλης.

Ο υδροφόρος ορίζοντας εντοπίστηκε σε γεωτρήσεις που διατρήθηκαν στον βράχο σε βάθη 8,5 μέτρων στην περιοχή των 40 Εκκλησιών και σε βάθος 18,5 μέτρων βόρεια στην οδό Λαγκαδά.



Παλιό λατομείο
Ευαγγελίστριας.
Υποεκσκαφή με μόνιμη
ροή υδάτων.



Αγ. Δημήτριος - Αγίασμα



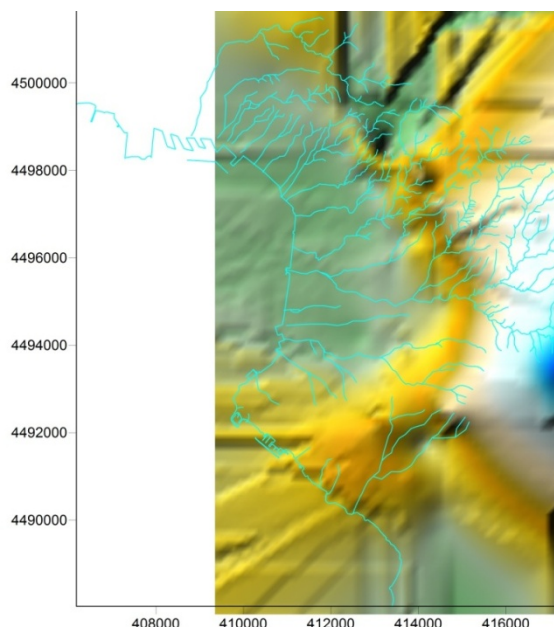
Πηγάδι στην περιοχή της
Άνω Πόλης (Αγ. Νικόλαος
Ορφανός)



Πηγή Αγ. Παύλου -
Αγίασμα

Σχ.51 Φωτογραφίες πηγών, πηγαδιών στο βραχώδες υπόβαθρο Θεσσαλονίκης

Παρακάτω παρουσιάζεται χάρτης της Θεσσαλονίκης όπου σχεδιάστηκε ο υδροφόρος ορίζοντας της πόλης (Σχ.52). Χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από γεωτρήσεις δειγματοληπτικές και στοιχεία από υδρογεωτρήσεις όπου αυτό ήταν εφικτό. Για την σχεδίαση του χάρτη δεν λήφθηκε υπόψη η εποχικότητα που παρουσιάζει ο υδροφόρος, αλλά μόνο η μέση τιμή μετρήσεων στάθμης νερού. Διακρίνεται η πτώση του υδροφόρου προς τα ανατολικά ακολουθώντας την γεωλογική γραμμή των τεταρτογενών αποθέσεων.



Σχ.52

Ισοπιεζομετρικός χάρτης της περιοχής της Θεσσαλονίκης. Με μπλε συμβολίζεται η ακτογραμμή και το υδρογραφικό δίκτυο της πόλης.

Αστική Υδρολογία

Ένα σημαντικό επακόλουθο της αστικοποίησης του περιβάλλοντος και των περιοχών είναι η τροποποίηση των υδάτινων ρευμάτων που την διατρέχουν. Αυτό αντανakλά επίσης και στα υπόγεια ύδατα της περιοχής όπως και στην τροποποίηση της ακτογραμμής όταν πρόκειται για παραθαλάσσια περιοχή. Η αστικοποίηση επηρεάζει κυρίως τους ρηχούς υδροφορείς λόγω της απομόνωσης της επιφανειακής απορροής από το υπόγειο σύστημα (υδροφόρος και επιβάλλει κανόνες όπως είναι η υπογειοποίηση των ρεμάτων και ο πλήρης έλεγχος αυτών μέσω υπόγειων οχετών. Βασικό μέλημα είναι η αποφυγή πλημμυρών εντός του αστικού ιστού. Η αστικοποίηση των περιοχών δηλαδή επιδρά στον υδρολογικό κύκλο. Αλλάζει την ποσότητα και την ποιότητα των διηθούμενων υδάτων στο υπέδαφος. Το νερό αποτρέπεται να διεισδύσει στους υπόγειους υδροφορείς εμπλουτίζοντάς τους αλλά ρέει επιφανειακά λόγω της τσιμεντοποίησης του περιβάλλοντος μέσα σε προκαθορισμένες διαδρομές προς την θάλασσα ή τα επιλεγμένα κανάλια. Η τσιμεντοποίηση του περιβάλλοντος περιλαμβάνει την στεγανότητα του αστικού ιστού με την δημιουργία κατασκευών, δρόμων και πεζοδρομίων. Το πραγματικό έδαφος καλύπτεται σε πολύ μεγάλο ποσοστό. Αποτέλεσμα αυτού είναι η αύξηση της επιφανειακής απορροής μέσα σε αστικές περιοχές και η μείωση της εξατμισιοδιαπνοής. Μεταβάλλεται η διήθηση με την αντικατάσταση των διαπερατών εδαφών με αδιαπέρατο τσιμέντο και άσφαλτο (McCall et al. 1996).

Στην περίπτωση της παραθαλάσσιας περιοχής, όπως είναι η Θεσσαλονίκη, η εμπόδιση της επιφανειακής ροής των υδάτων, μέσα στα υδατορέματα, έχει επίδραση και στην δημιουργία νέων εδαφών στις θέσεις εκβολής αυτών. Η ελεύθερη ροή των υδάτων και των φερτών υλικών τους τροφοδοτεί τις δελταϊκές αποθέσεις και ενισχύει την δημιουργία νέων εδαφών στις εκβολές τους

στη θάλασσα. Η εκτροπή τους μαζί με τον περιορισμό των φερτών υλικών αποτρέπει την δημιουργία νέων εδαφών, ενώ με την παράλληλη οριοθέτηση με κατασκευές της ακτογραμμής κρατάει σταθερή στον χρόνο την οριογραμμή της θάλασσας.

Λόγω της συνεχιζόμενης ανάπτυξης του αστικού περιβάλλοντος τα ρέματα τα οποία προϋπάρχουν στην περιοχή μεταβάλλονται. Έτσι μπορεί να ευθυγραμμίζονται για την δημιουργία νέων οικοδομικών τετραγώνων ή να εκτρέπονται και να μεταφέρονται σε διπλανές περιοχές που «βολεύουν» καλύτερα. Τέλος για την αποφυγή δυσάρεστων πλημμυρών μέσα στο αστικό περιβάλλον τα υδατορέματα αυτά υπογειοποιούνται και οριοθετούνται μέσα σε υπόγειους αγωγούς. Τα φερτά υλικά τους συγκεντρώνονται στους αγωγούς και απομακρύνονται από αυτούς, πριν καταλήξουν στο θαλάσσιο περιβάλλον.

Στην περιοχή της Θεσσαλονίκης αυτές οι επεμβάσεις ξεκίνησαν ήδη από την δημιουργία της πόλης. Σήμερα 2300 χρόνια μετά είναι πολύ δύσκολο να εντοπιστούν ποια ήταν τα αρχικά ρέματα ιδιαίτερα στην περιοχή εντός των Τειχών της πόλης. Κατά την συγγραφή της διδακτορικής μου διατριβής σχεδιάστηκαν τα ρέματα της ανατολικής κυρίως Θεσσαλονίκης όπου υπήρχαν αρκετά στοιχεία τότε για να βρεθεί η διαδρομή τους στον αστικό ιστό. Σήμερα με τα στοιχεία που συγκεντρώθηκαν τα επόμενα χρόνια και τις νέες μελέτες που έγιναν από διάφορους επιστήμονες υπάρχει η δυνατότητα και μίας προσέγγισης των ρεμάτων αυτών και μέσα στα τείχη, όπως και ένας επανασχεδιασμός των ρεμάτων έξω από αυτά.

Ο σχεδιασμός των υδατορεμάτων σε μία αστική περιοχή βοηθάει στην κατανόηση της μορφολογίας και της γεωλογίας μιας περιοχής πριν την αρχική δόμησή της. Δηλαδή μπορεί να σχεδιαστεί το παλαιοπεριβάλλον και η παλαιομορφολογία της περιοχής αλλά και το πώς αυτό συντέλεσε για την δημιουργία των πολισμάτων και τελικά την ίδρυση, την οικοδόμηση και επέκταση της πόλης της Θεσσαλονίκης. Παράλληλα από το υδρογραφικό δίκτυο και τις λεκάνες απορροής τους συνάγονται στοιχεία για τους σημαντικότερους μορφοτεκτονικούς δείκτες όπως την ασυμμετρία των λεκανών απορροής και τον παράγοντα εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας (Pinter 2002). Επίσης οι απότομες αλλαγές διεύθυνσης χειμάρρων και η άνιση ανάπτυξη των αναβαθμίδων τους πολλές φορές δηλώνουν την ύπαρξη νεοτεκτονικών δομών (Παυλίδης 2003).

Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για να αποτελέσουν την βάση της μελέτης είναι η ψηφιοποίηση των χαρτών της γεωγραφικής υπηρεσίας στρατού ΓΥΣ του έτους 1945. Ψηφιοποιήθηκαν όλες οι ισοϋψείς ανά 4 μέτρα αλλά σε κάποια σημεία, όπου υπήρχε πληροφορία, και ανά 2 μέτρα. Οι χάρτες αυτοί ήταν οι παλαιότεροι και πιο αξιόπιστοι χάρτες που μπόρεσαν να βρεθούν για να λειτουργήσουν ως υπόβαθρο της παρούσας εργασίας (Σχ.53). Οι ισοϋψείς αυτές αποτέλεσαν το υπόβαθρο για τα υπόλοιπα επίπεδα εργασίας όπως είναι οι γεωλογικοί σχηματισμοί και οι υδάτινες ροές. Όλα τα δεδομένα σχετικά με τις υδάτινες διαδρομές που χαρτογραφήθηκαν σε διάφορες εποχές, όπως θα δούμε παρακάτω, διορθώθηκαν με βάση αυτές τις ισοϋψείς της περιοχής. Πάνω σε αυτό το υπόβαθρο επικάθησε το σύγχρονο οδικό δίκτυο της πόλης αλλά και τα βιβλιογραφικά δεδομένα και οι διάφοροι παλιοί χάρτες και γκραβούρες που συγκεντρώθηκαν. Φυσικά όλα τα επίπεδα συγκρίθηκαν με το σήμερα, σε υπόβαθρο δορυφορικών εικόνων (Google Earth).

Από την μελέτη του τοπογραφικού δικτύου και των ισοϋψών μπορούμε να εξάγουμε διάφορα συμπεράσματα σχετικά με την μορφολογία και το μορφοανάγλυφο της περιοχής μελέτης. Η γενική εικόνα διεύθυνσης των ισοϋψών είναι στην περιοχή του κέντρου και την ανατολικής Θεσσαλονίκης, ΒΔ-ΝΑ και συμπίπτει με την διεύθυνση των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής Περμοτριάδικής ηλικίας. Δηλαδή με τους σχηματισμούς του υποβάθρου της πόλης. Στην περιοχή της Καλαμαριάς στο όριο με την ανατολική Θεσσαλονίκη παρατηρείται μία ανύψωση (έξαρμα) της μορφολογίας η οποία συμπίπτει με την εμφάνιση στην επιφάνεια του νεογενούς υποβάθρου της πόλης (ψαμμιτομαργακική ενότητα) όπως είδαμε αναλυτικά σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Το υδρογραφικό δίκτυο βλέπουμε ότι ακολουθεί και τέμνει τις ισοϋψείς καμπύλες με αποτέλεσμα να εμφανίζει γενικές διευθύνσεις στο κέντρο της πόλης ΒΑ-ΝΔ και Α-Δ στην ανατολική Θεσσαλονίκη αλλά και την δυτική έξω από τα Τείχη της πόλης. Στην περιοχή νότια της Καλαμαριάς αλλά και στην Θέρμη εμφανίζονται και γραμμές ρεμάτων με διευθύνσεις Β-Ν. Οι ροές των υδάτων στις ισοϋψείς των 40 και 60 μέτρων αλλά και ψηλότερα είναι σαφείς ενώ σε χαμηλότερο υψόμετρο μεταβλήθηκαν ανάλογα με την εκάστοτε δόμηση της εποχής. Στην περιοχή της ανατολικής Θεσσαλονίκης οι υδάτινες ροές μέσα στα τεταρτογενή ιζήματα παρουσιάζουν μαιανδρισμούς μέχρι τις εκβολές τους στην θάλασσα. Οι μαιανδρισμοί αυτοί λόγω της επιδεκτικότητας σε πλημμύρες γινόνταν προσπάθειες από τα πρώτα χρόνια κατοίκησης των περιοχών για περιορισμό και διευθέτησή τους. Για τον λόγο αυτό ανάλογα με την εποχή του χάρτη έχουν σχεδιαστεί υδάτινες ροές σε διαφορετικές θέσεις.



Σχ.53 Φύλλα χαρτών από την Θεσσαλονίκη χρονολογίας 1898-1899 όπου σχεδιάζονται οι υδάτινες ροές των χειμάρρων μέσα σε παλαιότερες κοίτες. Είναι ορατοί οι μαιανδρισμοί της κοίτης και των υδάτινων ροών (Εθνική Χαρτοθήκη 2005).

Οι εκβολές των χειμάρρων δημιουργούσαν αποθέσεις με την μορφή δέλτα. Οι εκτάσεις των δέλτα είναι ανάλογες με την δυναμικότητα των χειμάρρων και το συνολικό μήκος των κλάδων, δηλαδή των περιοχών που παροχετεύουν. Λόγω των εναλλαγών διαβρωσιγενών και αποθετικών ακτών σχηματίζονται παράκτιες αναβαθμίδες και χαμηλές ακτές οι οποίες εγκλωβίζουν πίσω τους λιμνοθάλασσες και έλη (Αλμπανάκης et al., 2005). Το φαινόμενο αυτό παρατηρήθηκε στην ευρύτερη περιοχή της Μαρτίου, νότια της οδού Δελφών.

Η υδρολογική λεκάνη του πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης αποτελείται από μικρότερης έκτασης υπολεκάνες που αντιπροσωπεύουν τους χείμαρρους ή ρέματα της Θεσσαλονίκης. Οι γενικές διευθύνσεις των υπολεκάνων είναι ΒΑ-ΝΔ έως Α-Δ (Ζερβοπούλου 2010).

Για την αποτύπωση των υδατορεμάτων εντός των Τειχών της Θεσσαλονίκης, αντλήθηκαν πληροφορίες εκτός από τις ισοϋψείς καμπύλες και τα στοιχεία γεωτρήσεων από την διατριβή της Ζερβοπούλου 2010 και από δύο ακόμη βιβλία. Την διδακτορική διατριβή της Γκαλά-Γεωργιά Ε. 2015 και του βιβλίου των Μπλιώνη & Τρεμόπουλου, 2017. Πολλές από τις ονομασίες των χειμάρρων ακολουθούν τις ονομασίες του δεύτερου βιβλίου. Ο σχεδιασμός των ρεμάτων στα βιβλία αυτά βασίστηκε σε ιστορικά στοιχεία, παλιές φωτογραφίες και αρχαιολογικά στοιχεία. Δηλαδή στοιχεία από ανασκαφές όπου βρίσκονται στρώματα φερτής επίχωσης μέσα σε αρχαιολογικά στρώματα, με ενδείξεις πλημμυρών κατά περιόδους της περιοχής. Μία σημαντική διαπίστωση είναι ότι οι κάθετοι δρόμοι ακολουθούσαν την πορεία των ρεμάτων ή γενικότερα την κατεύθυνση παράλληλα σε αυτά (Γκαλά, 2015). Αντίστοιχα οι οριζόντιοι οδικοί άξονες ακολουθούσαν την μορφολογία και διέρχονταν κατά μήκος (παράλληλα) των ισοϋψών καμπύλων.

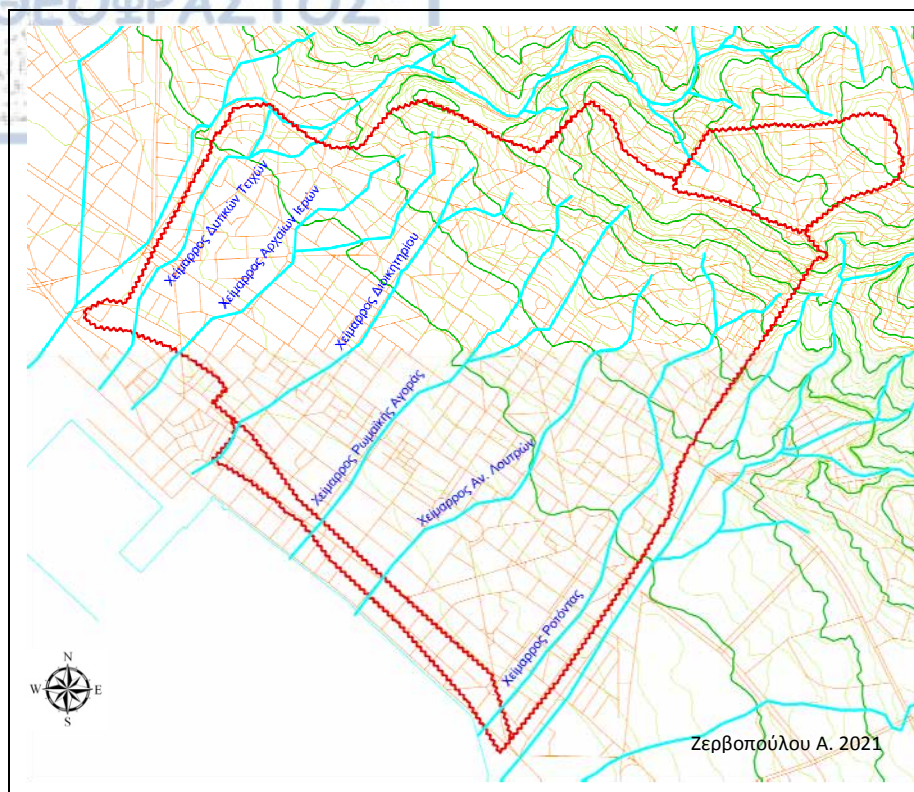
Τα ρέματα τα οποία τελικά σχεδιάστηκαν στην περιοχή εντός των τειχών της Θεσσαλονίκης είναι έξι σε αριθμό. Οι χείμαρροι αυτοί σχεδιάστηκαν με βάση τις ισοϋψείς καμπύλες και τα βιβλιογραφικά δεδομένα. Μια διαδρομή κατά μήκος της οδού Ολυμπιάδος κάνει έντονη την παρουσία των απότομων πρανών που υποδεικνύουν την ύπαρξη των διαδρομών υδάτων. Οι χείμαρροι ξεκινούσαν, πηγάζαν στο βραχώδες υπόβαθρο της πόλης. Στη συνέχεια κάτω από την σημερινή οδό Αγίου Δημητρίου, όπου με ρήγμα οριοθετείται το τέλος του βραχώδους υποβάθρου, λόγω αλλαγής της κλίσης της μορφολογίας οι κλάδοι αυτοί των ρεμάτων συνέκλιναν και τα ρέματα που βλέπουμε κάτω από την οδό Αγίου Δημητρίου είναι λιγότερα. Οι χείμαρροι αυτοί αρχικά κατέληγαν στην πρώτη ακτογραμμή που πιθανά ακολουθούσε την σημερινή ισοϋψή καμπύλη των 4 μέτρων κατά μήκος των σημερινών οδών Τσιμισκή ή Μητροπόλεως (όριο τεφρής αργίλου). Ο σχεδιασμός της πρώτης ακτογραμμής της πόλης έγινε με βάση τα δεδομένα γεωτρήσεων και οριοθετείται από το στρώμα της μαύρης αργίλου όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο για την γεωλογία της πόλης. Λόγω της κατοίκησης της πόλης από τα αρχαία χρόνια οι χείμαρροι αυτοί είχαν διευθετηθεί σε αγωγούς κάτω από οδικές αρτηρίες.

Οι χείμαρροι και τα ρέματα τα οποία επανασχεδιάστηκαν σε αυτή την έρευνα χωρίστηκαν σε τρεις τμήματα ανάλογα με την θέση τους ως προς το ιστορικό κέντρο της πόλης της Θεσσαλονίκης και είναι τα παρακάτω:

- ⊕ *Χείμαρροι ιστορικού κέντρου Θεσσαλονίκης*
 - ο χείμαρρος της Ροτόντας
 - ο χείμαρρος των Ανατολικών Λουτρών
 - ο χείμαρρος της Ρωμαϊκής Αγοράς
 - ο χείμαρρος Διοικητηρίου
 - ο χείμαρρος των Αρχαίων Ιερών
 - ο χείμαρρος των Δυτικών Τειχών
 - ⊕ *Χείμαρροι Δυτικής Θεσσαλονίκης*
 - ο ρέμα Ρήγα Φεραίου
 - ο χείμαρρος Συκεών ή Παναγίας Φανερωμένης
 - ο ρέμα Λοξός Λάκκος
 - ο Δενδροπόταμος
 - ⊕ *Χείμαρροι Ανατολικής Θεσσαλονίκης*
 - ο ρέμα Αγ. Παύλου – Ευαγγελίστριας
 - ο χείμαρρος Πεδίου Άρεως ή Λύτρα
 - ο ρέμα Τούμπας ή Κωνσταντινίδη
 - ο ρέμα Κυβερνείου ή Μεγάλο Ρέμα
 - ο χείμαρρος Αλλατίνη ή Ντεπώ
 - ο χείμαρρος Ρωσσίδη
 - ο χείμαρροι Μικρού Εμβόλου
 - ο χείμαρρος Νέας Κρήνης
 - ο χείμαρρος Ησιόδου
 - ο ρέμα του Φοίνικα
- Περιφερειακή Τάφρος Θεσσαλονίκης

Χείμαρροι ιστορικού κέντρου Θεσσαλονίκης

Πιο αναλυτικά τα ρέματα – χείμαρροι που συναντάμε στο **ιστορικό κέντρο της Θεσσαλονίκης** από τα ανατολικά προς τα δυτικά (Σχ.54) είναι οι παρακάτω.



Σχ.54

Χάρτης του ιστορικού κέντρου της Θεσσαλονίκης εντός των Τειχών όπου είναι σχεδιασμένοι οι χειμάρροι με βάση τις ισοψείς καμπύλες του 1945 και τα ιστορικά στοιχεία.

Από ανατολικά συναντάμε το ρέμα ή τον χειμάρρο της Ροτόντας. Ξεκινώντας βόρεια των οδών Αποστόλου Παύλου και κατά μήκος της οδού Ηροδότου, διερχόταν από την περιοχή της Ροτόντας και κατέληγε πιθανότατα στο πρώτο ελληνιστικό λιμάνι της Θεσσαλονίκης. Από ανασκαφές βρέθηκαν αγωγοί και κινστέρνες στην διαδρομή του χειμάρρου. Οι προσχώσεις του χειμάρρου αυτού πιθανά ευθύνονται και για την εγκατάλειψη του πρώτου αυτού λιμανιού το οποίο σταδιακά επιχωματώθηκε.

Ο δεύτερος χειμάρρος των Ανατολικών Λουτρών διερχόταν από την περιοχή της οδού Σωκράτους και την οδό της Αγίας Σοφίας. Κατέληγε στην Μητρόπολη Θεσσαλονίκης και πιθανά η εκβολή του να σχημάτιζε τον δυτικό βραχίονα του ελληνιστικού λιμανιού (Μπλιώνης & Τρεμόπουλος 2017).

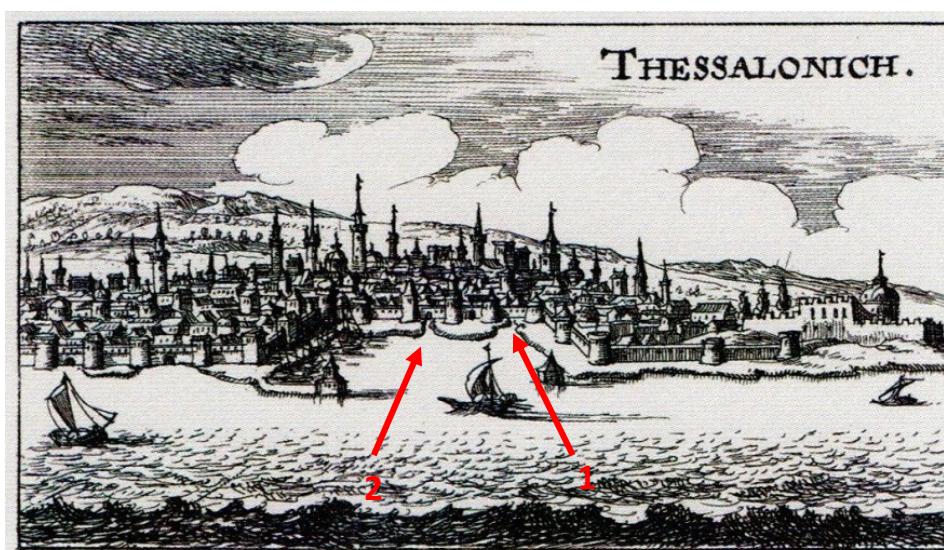
Ο τρίτος χειμάρρος της Ρωμαϊκής Αγοράς ξεκινούσε από την Τερψιθέα και διερχόταν τελικά από την Αριστοτέλους μέχρι την ακτογραμμή. Διάφορα αρχαιολογικά στοιχεία συνηγορούν για την ύπαρξη χειμάρρου στην περιοχή όπως είναι οι ρωμαϊκές θερμές και τα οθωμανικά Λουτρά Παράδεισος. Το ρεύμα αυτό του νερού έχει αναφερθεί και από τον Miller E., το 1864 περίπου ως ανοιχτό ρέμα (Γκαλά, 2015).

Ο τέταρτος χειμάρρος του Διοικητηρίου ξεκινάει από την οδό Πολιορκητού και διερχόμενος από το Διοικητήριο και την οδό Βενιζέλου καταλήγει στην δυτική άκρη του παραθαλάσσιου τείχους στον Πύργο Αποβάθρας, στην περιοχή της σημερινής πλατείας Ελευθερίας. Οι προσχώσεις του χειμάρρου δημιούργησαν την επέκταση γης πάνω στην οποία θεμελιώθηκε ο Πύργος της Αποβάθρας (Σχ.55). Επίσης αποτελούσαν την ανατολική οριοθέτηση του λιμανιού. Οι προσχώσεις ή εκβολές του χειμάρρου αναφέρονται ως χερσόνησος ανάμεσα σε δύο λιμάνια το 620-630μ.Χ (Εθν. Τράπεζα Ελλάδος 1995). Το λιμάνι του Μεγ. Κωνσταντίνου και το μικρό ρωμαϊκό λιμάνι ανατολικότερα, το οποίο επιχώθηκε κατά την κατασκευή του παράλιου βυζαντινού τείχους σύμφωνα με Μπακιρτζή 1975.



Σχ.55 Τοπ-χανέ (αλλιώς ως Πύργος της αποβάθρας) στα παραθαλάσσια τείχη της Θεσσαλονίκης - 1825
ακουαρέλα (Δημόσια Ομάδα, Παλιές φωτογραφίες της Θεσσαλονίκης:
<https://www.facebook.com/groups/oldthessaloniki>)

Ο πέμπτος κατά σειρά χείμαρρος των Αρχαίων Ιερών ξεκινούσε από την περιοχή της Αγίας Αικατερίνης με δύο κλάδους, οι οποίοι ενώνονταν στην περιοχή της πλατείας Αντιγονιδών. Στη συνέχεια κατέρχονταν από λένοντος Σοφού, όπου εντοπίστηκε η ύπαρξη ρέματος σε δειγματοληπτικές γεωτρήσεις και έφτανε μέχρι το λιμάνι του Αγίου Κωνσταντίνου στην σημερινή οδό Δωδεκανήσου. Η ύπαρξη του χειμάρρου ενισχύεται και με αρχαιολογικά ευρήματα. Ανασκαφές έχουν δείξει την ύπαρξη λουτρών ρωμαϊκής εποχής. Ο χείμαρρος αυτός μαζί με τον διπλανό του των δυτικών τειχών, πιθανά ευθύνεται για τις προσχώσεις στο βυζαντινό λιμάνι του Μ. Κωνσταντίνου (Σχ.56).

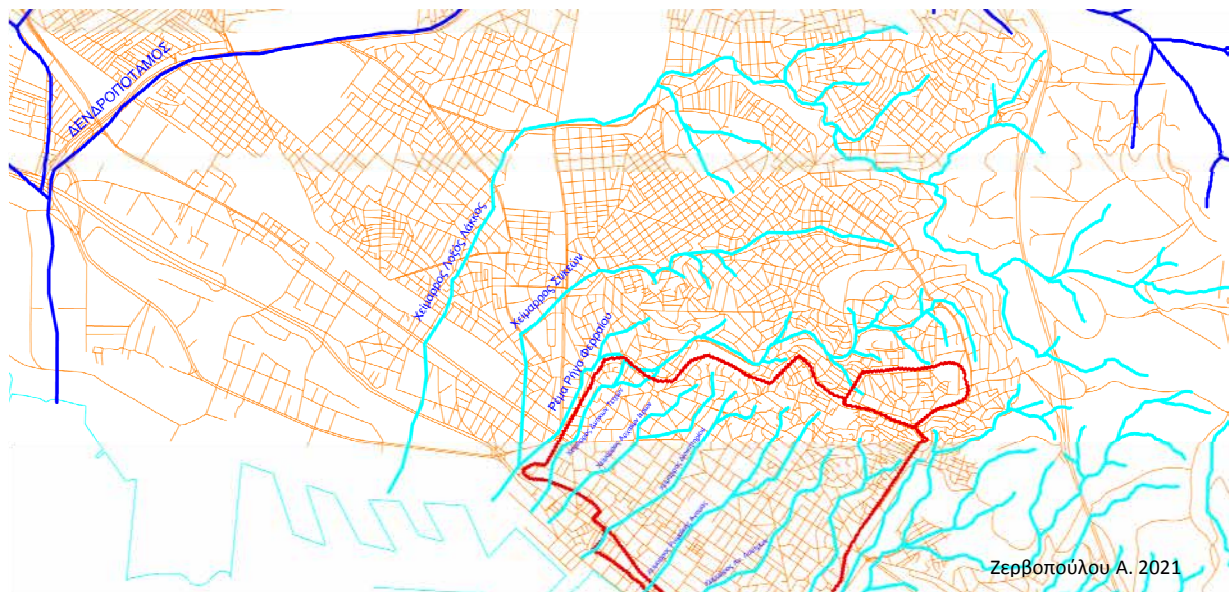


Σχ.56 Γκραβούρα του 1687 όπου φαίνεται το βυζαντινό λιμάνι του Μεγ. Κων/νου με τους δύο χείμαρρους (αρχαίων ιερών 1 και δυτικών τειχών 2). (Επαμεινώνδας, 2014).

Ο τελευταίος είναι ο χείμαρρος των Δυτικών Τειχών μέσα στην τειχισμένη πόλη της Θεσσαλονίκης. Ο χείμαρρος αυτός διέρχονταν κοντά στα δυτικά τείχη και κατέληγε στην θάλασσα δίπλα στο Φρούριο του Βαρδαρίου στην περιοχή των δικαστηρίων. Μαζί με τον χείμαρρο των αρχαίων ιερών πιθανά ευθύνεται για τις προσχώσεις μέσα στο βυζαντινό λιμάνι και την μετέπειτα εγκατάλειψή του. Η αρχή του χειμάρρου αυτού διχάζει. Κατά μία εκδοχή πηγάζει βόρεια του ναού των Αγίων Αποστόλων και συνεχίζει παράλληλα στα τείχη. Ο χείμαρρος αυτός εντοπίστηκε σε ανασκαφές ενώ ήταν ορατός στην οδό Διός και Αγίου Δημητρίου (Γκαλά, 2015). Κατά μία άλλη εκδοχή μπορεί ο

χειμάρρος αυτός να αποτελούσε κλάδο του μεγαλύτερου ρέματος που διέρχεται έξω από τα Τείχη και πηγάζει από την περιοχή των Συκεών βόρεια του Επταπυργίου. Το ρέμα αυτό διέρχεται παράλληλα έξω από τα βόρεια τείχη της πόλης και καταλήγει έξω από το φρούριο του Βαρδαρίου. Στην περιοχή του Βαρδαρίου έχει εντοπιστεί η ύπαρξη χειμάρρου έξω από τα τείχη σε δειγματοληπτικές γεωτρήσεις (Ζερβοπούλου, 2010). Υπάρχει πιθανότητα να ισχύει η δεύτερη περίπτωση του ρέματος που πηγάζει από τις Συκιές και να έγινε εκτροπή του εκτός των τειχών κατά την επέκταση των τειχών και της πόλης, ήδη από τα βυζαντινά χρόνια.

Χείμαρροι Δυτικής Θεσσαλονίκης



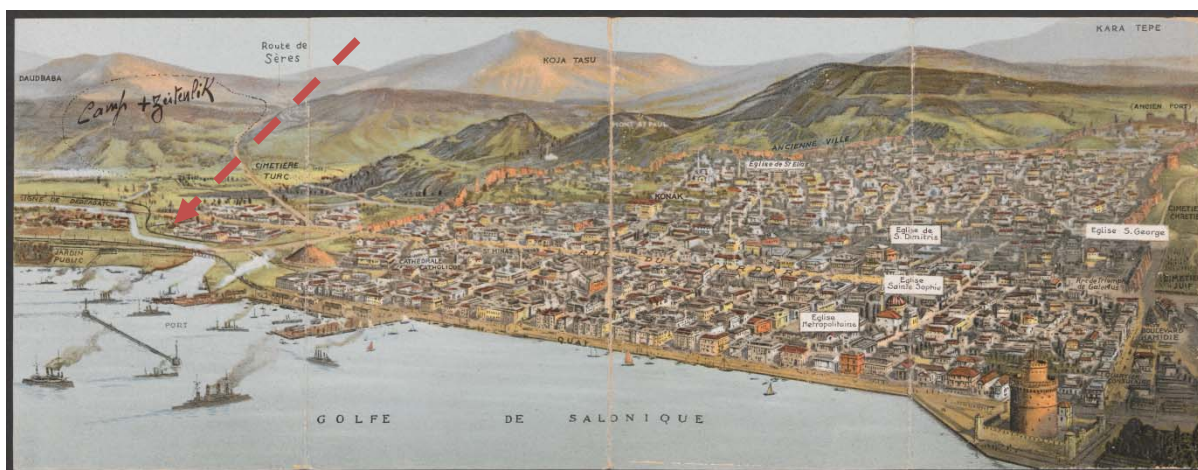
Σχ.57 Χάρτης της δυτικής πλευράς της Θεσσαλονίκης εκτός των Τειχών όπου είναι σχεδιασμένοι οι χείμαρροι με βάση τις ισούψείς καμπύλες του 1945 και τα ιστορικά στοιχεία.

Δυτικά έξω από τα τείχη της Θεσσαλονίκης (Σχ.57) συναντάμε το ρέμα Ρήγα Φεραίου το οποίο πηγάζει από τις Συκιές βόρεια του Επταπυργίου και μετά ακολουθώντας τα τείχη με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και ΒΒΑ-ΝΝΔ καταλήγει έξω από τα τείχη στο ύψος των σημερινών δικαστηρίων (Σχ.58). Στο ύψος αυτό ενώνεται με δεύτερο κλάδο τον χειμάρρο Συκεών ή Παναγίας Φανερωμένης, ο οποίος πηγάζει βόρεια του δημοτικού Άλσους Συκεών και μετά ακολουθεί την οδό Ρήγα Φεραίου. Παλαιότερα πριν τις προσχώσεις των ρεμάτων έξω από τα τείχη της πόλης πιθανά να ήταν δύο ξεχωριστοί χείμαρροι. Αργότερα μπορεί να διευθετήθηκαν για να καταλήγουν σε ένα σημείο, λόγω της επέκτασης των χρήσεων της πόλης έξω από τα τείχη.



Σχ.58 Επιχρωματισμένη φωτογραφία του 1918 όπου είναι ορατά τα πρηνή του ρέματος Ρήγα Φερραίου στα βόρεια και δυτικά τείχη της πόλης (Δημόσια Ομάδα, Παλιές φωτογραφίες της Θεσσαλονίκης: <https://www.facebook.com/groups/oldthessaloniki>).

Δυτικότερα ένα ακόμη ρέμα ο Λοξός Λάκκος διέρχεται παράλληλα στο προηγούμενο. Το ρέμα αυτό πηγάζει από την περιοχή του Κέδρινου Λόφου και πιο συγκεκριμένα από τις περιοχές Κρυονερίου και Μετεώρων. Στη συνέχεια ακολουθώντας την οδό Δαβάκη διέρχεται από τον Δήμο Αμπελοκήπων και καταλήγει στην προβλήτα 3 του λιμένα Θεσσαλονίκης (Σχ.59,60,61). Η γενική διεύθυνση του ρέματος είναι ΒΔ-ΝΑ με τμήματα Α-Δ και Β-Ν. Εμφανίζεται παράλληλο προς τον Ξηροπόταμο (παραπόταμος του Δενδροποτάμου) στον άνω ρου και παράλληλο προς τον Δενδροπόταμο και το ρέμα Ρ. Φερραίου στις εκβολές του. Τα ρέματα αυτά συνέβαλαν με τις προσχώσεις των φερτών υλικών τους στην επιχωμάτωση της περιοχής του νέου λιμανιού Θεσσαλονίκης (περιοχές Λαχανόκηποι και Σφαγεία). Στην εκβολή του ρέματος αυτού δημιουργήθηκε ο Εθνικός Κήπος Μπερ Τσινάρ (Μπεχτσινάρ).

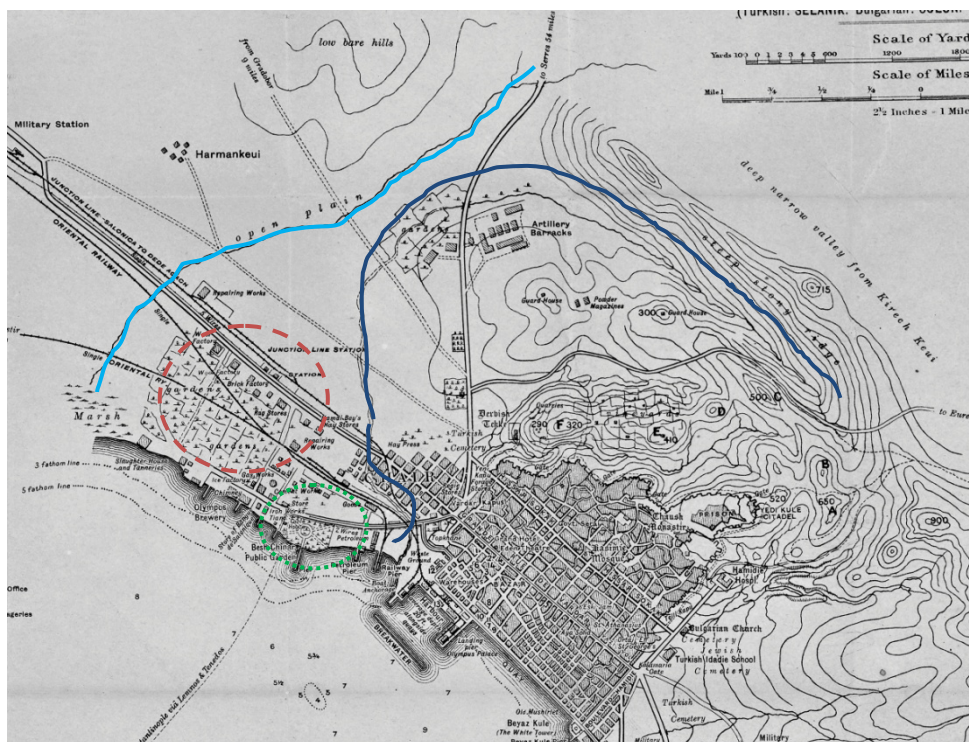


Σχ.59 Γκραβούρα εποχής όπου φαίνεται το ρέμα Λοξός Λάκκος (Δημόσια Ομάδα, Παλιές φωτογραφίες της Θεσσαλονίκης: <https://www.facebook.com/groups/oldthessaloniki>).



Σχ.60

Τμήμα χάρτη του 1829 όπου φαίνεται το δέλτα στις εκβολές του Λοξού Λάκκου και η ελώδης περιοχή που περιλαμβάνει και τις εκβολές του ρέματος Ρ. Φεραίου. (ιδιωτική συλλογή του Σ. Δεμερτζή, τα ψηφιακά τους αντίγραφα βρίσκονται στην ψηφιακή χαρτοθήκη του Αρχείου Χαρτογραφικής Κληρονομιάς)



Σχ.61 Τμήμα χάρτη (ιδιωτική συλλογή του Σ. Δεμερτζή, τα ψηφιακά τους αντίγραφα βρίσκονται στην ψηφιακή χαρτοθήκη του Αρχείου Χαρτογραφικής Κληρονομιάς) του 1909. Φαίνεται ο σχεδιασμός των ρεμάτων Δενδροποτάμου και Λοξού Λάκκου πριν τις εργασίες εκτροπής του στον Δενδροπόταμο. Με τον κόκκινο κύκλο οι περιοχές ελών και με τον πράσινο ο Κήπος Μπεχτινάρ.

Στο ύψος της λεωφόρου 28^{ης} Οκτωβρίου υπάρχει εκτροπή του εν λόγω ρέματος και σύνδεσή του με τον Δενδροπόταμο. Η εκτροπή αναφέρεται και ως ρέμα Πολίχνης. Σε χάρτες του 1909 διακρίνονται τα δύο ρέματα να ρέουν παράλληλα, ενώ στον αεροφωτοχάρτη του 1939 δεν διακρίνεται η

εκτροπή. Το ρέμα αυτό έχει υποστεί πολλές εκτροπές ανάλογα με την χρήση των εκβολών του στη θάλασσα. Σύμφωνα με τους χάρτες αλλά και τα ιστορικά στοιχεία η περιοχή στις εκβολές των ρεμάτων Λοξός Λάκκος και Ρ. Φεραίου είχαν δημιουργηθεί έλη (Μπάρα) και λίμνες. Κατά την δόμηση της περιοχής παρουσιάστηκαν φαινόμενα ελονοσίας (Μπλιώνης & Τρεμόπουλος, 2017) κατά το 1897 (συνοικισμός Χιρς Βαρδαρίου) και έτσι κατά την εξυγίανση της περιοχής έγιναν εγκιβωτισμοί και εκτροπές των χειμάρρων.

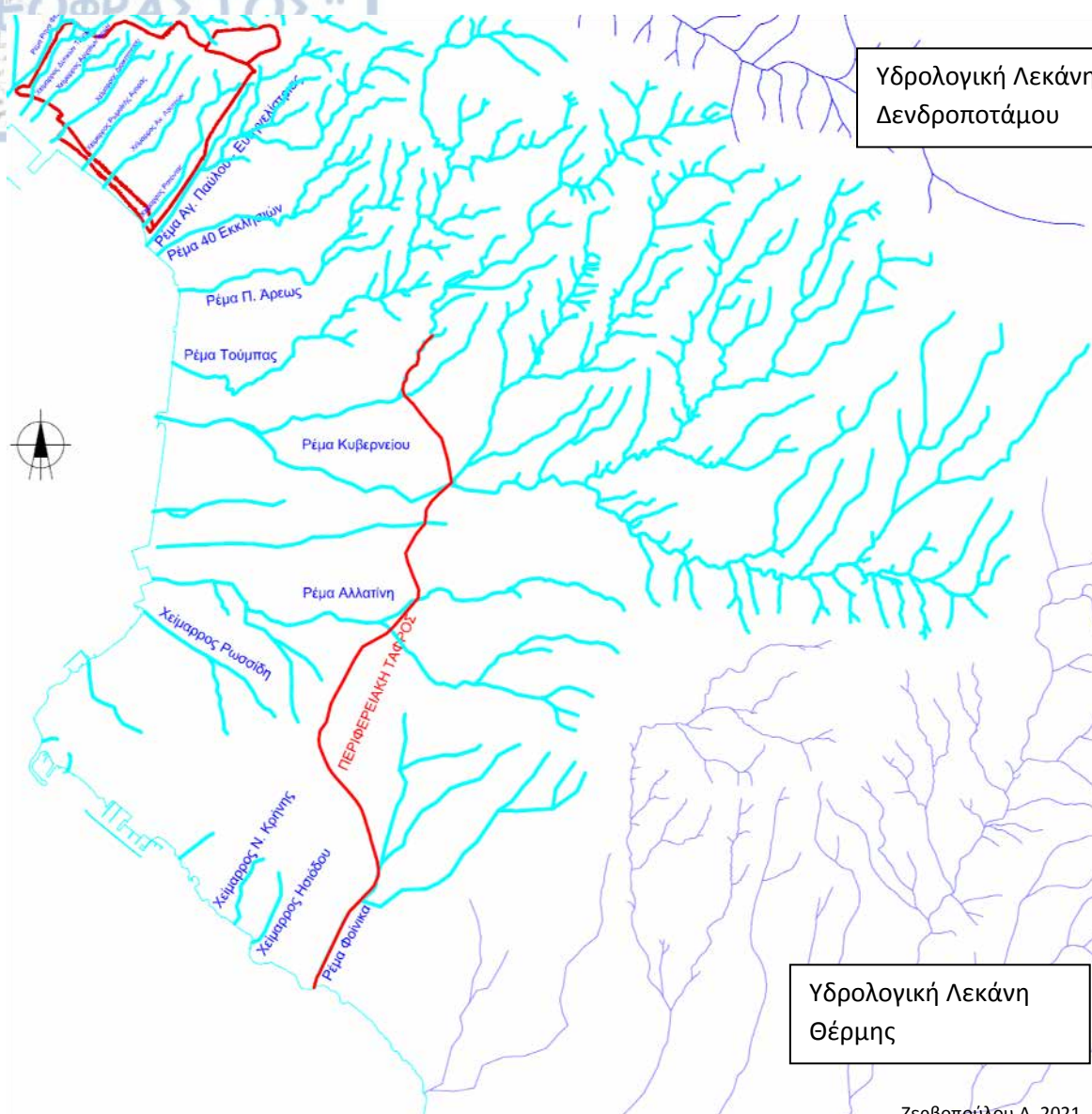
Ακόμη δυτικότερα από την πόλη της Θεσσαλονίκης (Σχ.62) συναντάμε τον χείμαρρο του Δενδροποτάμου. Πρόκειται για τον μεγαλύτερο χείμαρρο - ποταμό της βόρειας περιοχής της Θεσσαλονίκης με έκταση λεκάνης 140km^2 . Στην πόλη της Θεσσαλονίκης διέρχεται από τους δυτικούς δήμους της πόλης και των οικισμών βόρεια και τελικά εκβάλλει στην περιοχή μετά την 6^η προβλήτα του λιμανιού στην περιοχή των Λαχανόκηπων. Παλιότερα σύμφωνα με τον Ναυτικό χάρτη του 1925 η περιοχή λεγόταν Μπιζινάρι. Με τεχνικά έργα και διευθετήσεις (Τρεμόπουλος & Μπλιώνης 2017) δέχεται και τα νερά των χειμάρρων Λοξού Λάκκου και Ρήγα Φερραίου.



Σχ.62 Δορυφορική εικόνα όπου απεικονίζεται ο Λιμένας Θεσσαλονίκης (ΟΛΘ) και οι εκβολές του Δενδροποτάμου μετά την μεγαλύτερη προβλήτα 6.

Χείμαρροι Ανατολικής Θεσσαλονίκης

Από δυτικά προς ανατολικά στην ανατολική πλευρά της πόλης έξω από τα βυζαντινά τείχη συναντάμε διάφορους χείμαρρους (Σχ.63). Οι χείμαρροι αυτοί έχουν μελετηθεί και στην διδακτορική μου διατριβή, αλλά θα επανασχεδιαστούν με νέα βιβλιογραφικά δεδομένα και τοπογραφικά σχέδια. Επίσης με την εφαρμογή του ισοϋψών καμπύλων μπορούν να αποτυπωθούν και μικρότερες ροές νερών. Η γενική διεύθυνση των ρεμάτων αυτών είναι Α-Δ με ανάπτυξη κυρίως στο νεογενές και τεταρτογενές υπόβαθρο της πόλης. Οι κλάδοι που αναπτύσσονται μέσα στο βραχώδες υπόβαθρο εμφανίζουν διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ. Τα στοιχεία που υπάρχουν για τον σχεδιασμό των χειμάρρων αυτών είναι περισσότερα από τα στοιχεία που βρέθηκαν στο ιστορικό κέντρο της πόλης. Η περιοχή αυτή αναπτύχθηκε κυρίως μετά το 1900 οπότε πολλοί τοπογραφικοί χάρτες απεικόνιζαν τις υδάτινες διαδρομές. Παράλληλα υπάρχουν και φωτογραφίες εποχής όπου μπορούν να διακριθούν τα ρέματα ή οι εκβολές τους στο θαλάσσιο μέτωπο. Τα ρέματα που διακρίνονται και μελετήθηκαν είναι 10 αλλά υπάρχουν και άλλα μικρότερα.



Σχ.63 Ρέματα ανατολικής Θεσσαλονίκης

Ζερβοπούλου Α. 2021

Τα ρέματα ή χείμαρροι αυτοί από βορά προς νότο είναι:

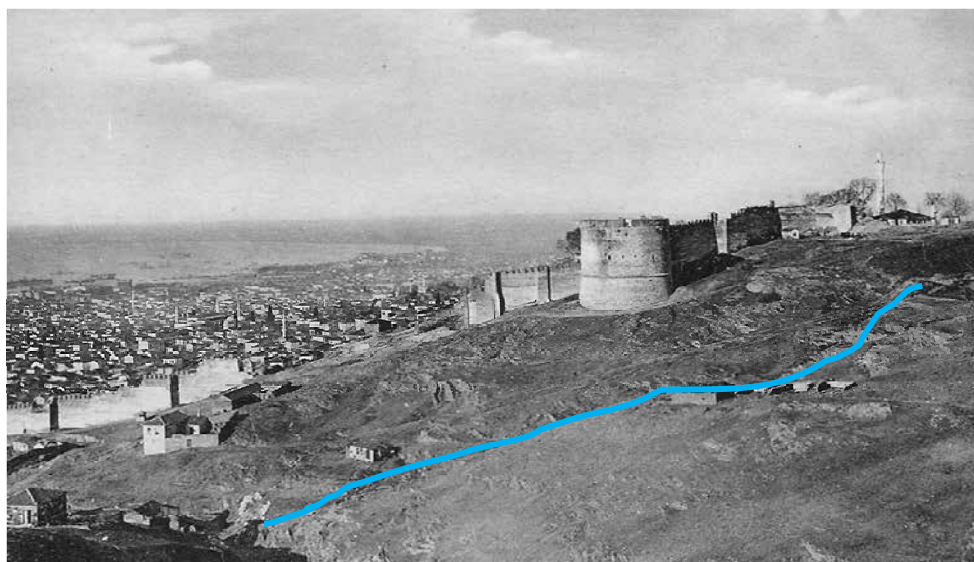
Ανατολικά των Τειχών διέρχεται το ρέμα Αγ. Παύλου – Ευαγγελίστριας. Πηγάζει από την περιοχή του Άγιου Παύλου, όπου υπάρχει και ομώνυμη πηγή και μετά από παράλληλη στα τείχη διαδρομή χυνόταν στην περιοχή του Λευκού Πύργου. Ο τελικός του κλάδος προς την θάλασσα έχει επιχωματωθεί ήδη από το 1920, όπως φαίνεται σε παλαιότερους χάρτες (Χεκίμογλου 2001). Ο χείμαρρος αυτός στην ορεινή του ανάπτυξη είχε 3 κύριους κλάδους με τον μεγαλύτερο να πηγάζει βόρεια της περιφερειακής οδού (Σχ.64,65,66,67). Οι κλάδοι αυτοί ενώνονταν στο λατομείο της Ευαγγελίστριας, στην ομώνυμη συνοικία.



Σχ.64 Περιοχή Ευαγγελίστριας όπου φαίνεται ακόμη και σήμερα η κοίτη του ρέματος προς Άγιο Παύλο.



Σχ.65 Λιθογραφία του 1847 περίπου όπου δείχνει το ρέμα Αγ. Παύλου που διέρχεται κάτω από το γεφυράκι στην περιοχή του Λευκού Πύργου (Δημόσια Ομάδα, Παλιές φωτογραφίες της Θεσσαλονίκης:
<https://www.facebook.com/groups/oldthessaloniki>)



Σχ.66 Φωτογραφία του 1916 σε καρτ-ποσταλ όπου φαίνεται η περιοχή έξω από τα βυζαντινά τείχη (περιοχή Πύργου Τριγωνίου) και η παρουσία του ρέματος Αγ. Παύλου που διέρχεται (Αρχείο Κέντρου Ιστορίας Θεσσαλονίκης).



Σχ.67

Τμήμα χάρτη του 1850 όπου φαίνεται το ρέμα Αγ. Παύλου να διέρχεται παράλληλα στα τείχη και να εκβάλλει δίπλα στον λευκό Πύργο. Παράλληλα ανατολικότερα διέρχεται το ρέμα Ευαγγελίστριας.

Ανατολικότερα και παράλληλα στο προηγούμενο ρέμα διέρχεται ο χείμαρρος Σαράντα Εκκλησιών. Πρόκειται για ρέμα που πηγάζει από την περιοχή των 40 Εκκλησιών με δύο κλάδους και διέρχεται ανάμεσα από τα γήπεδα του Ηρακλή όπου οι κλάδοι ενώνονται πριν καταλήξει στην θάλασσα περιοχή του Βασιλικού Θεάτρου. Το ρέμα αυτό διέρχεται και σήμερα κάτω από τα θεμέλια κτηρίων του Πανεπιστημίου Α.Π.Θ.. Η ύπαρξη του ρέματος έχει χαρτογραφηθεί και από αρχαιολογικές ανασκαφές στην περιοχή.

Ο χείμαρρος Πεδίου Άρεως ή Λύτρα είναι ο τρίτος σε σειρά χείμαρρος ανατολικά των τειχών. Ο κύριος κλάδος του εκβάλλει βόρεια της περιφερειακής οδού. Διέρχεται νότια του Καυτατζογλείου και τελικά εκβάλλει από την οδό Λύτρα στη θάλασσα. Το ρέμα αυτό το συναντάμε ακόμη και σήμερα επί της οδού Δοϊράνης όπου πρόσφατα έγινε διευθέτησή του (Σχ.68,69).



Σχ.68α Φωτογραφία όπου φαίνεται η διέλευση του ρέματος κάτω από την σημερινή οδό Καυτατζόγλου και Στρ. Ν. Ζέρβα πριν τα έργα εγκιβωτισμού του.
(Δημόσια Ομάδα, Παλιές φωτογραφίες της Θεσσαλονίκης:
<https://www.facebook.com/groups/oldthessaloniki>).



Σχ.68β Σημερινή εικόνα του ρέματος πεδίου Άρεως στο πάρκο της οδού Δοϊράνης. Διακρίνονται στο βάθος τα σαρζανέτια για την στήριξη των πρανών του.



Σχ.69 Επιχρωματισμένη φωτογραφία σε καρτ-ποσταλ όπου φαίνεται η εκβολή με την απόθεση υλικών, του ρέματος Πεδίου Άρεως στην θάλασσα. Πρόκειται για φυσική αποβάθρα ψαράδων και λουόμενων (Δημόσια Ομάδα, Παλιές φωτογραφίες της Θεσσαλονίκης: <https://www.facebook.com/groups/oldthessaloniki>).

Ο επόμενος χείμαρρος είναι της Τούμπας ή Κωνσταντινίδη. Πρόκειται για χείμαρρο μήκους 7,5km που πηγάζει από την περιοχή του Φιλιππείου στον Κέδρινο λόφο. Διέρχεται από τον φυσικό λόφο

της Τούμπας, το Ιπποκράτειο και εκβάλλει στην Σχολή Τυφλών (σχ.70). Ακόμη και σήμερα είναι ορατός όταν διασχίζει κάθετα την οδό Παπάφη στο ύψος του παλιού εργοστασίου Υφανέτ.

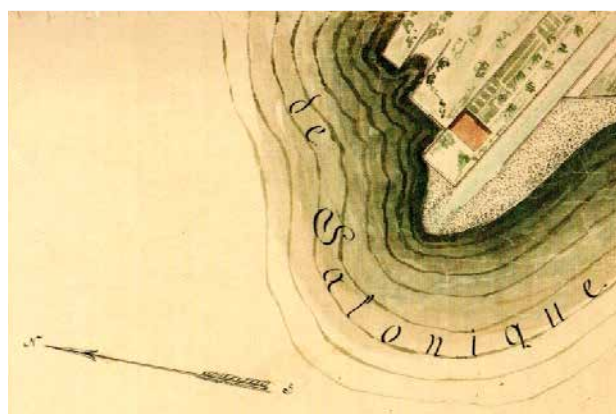


Σχ.70 Αεροφωτογραφία εποχής όπου φαίνονται οι εκβολές των ρεμάτων στη θάλασσα. 1=Τούμπας
2=Κυβερνείου (Δημόσια Ομάδα, Παλιές φωτογραφίες της Θεσσαλονίκης:
<https://www.facebook.com/groups/oldthessaloniki>)

Το μεγαλύτερο ρέμα της Θεσσαλονίκης είναι του Κυβερνείου ή Μεγάλο Ρέμα. Ο χείμαρρος αυτός πηγάζει από τον Κέδρινο λόφο, νότια της Εξοχής. Κλάδος του που ονομάζεται Ελαιόρεμα, διέρχεται από την περιοχή του Πανοράματος και της Πυλαίας. Ένα ακόμη κλάδος του βορειότερα είναι γνωστός με το όνομα ρέμα Σταγειρίτης. Μέσα στην κατοικημένη περιοχή διέρχεται από τα Κωσταντινοπολίτικα ενώ οι δύο κλάδοι του με το Ελαιόρεμα ενώνονται στο ύψος της οδού Σταγειρίτη με την περιφερειακή τάφρο της Θεσσαλονίκης (σχ.71). Στη συνέχεια μέσω άλλων οδών εξέβαλλε παλαιότερα στο ύψος της Μ. Μπότσαρη στην περιοχή του Ιστιοπλοϊκού Ομίλου Θεσσαλονίκης, όπου υπάρχει ακόμη και σήμερα η επέκταση της ξηράς στην θάλασσα (σχ.72).



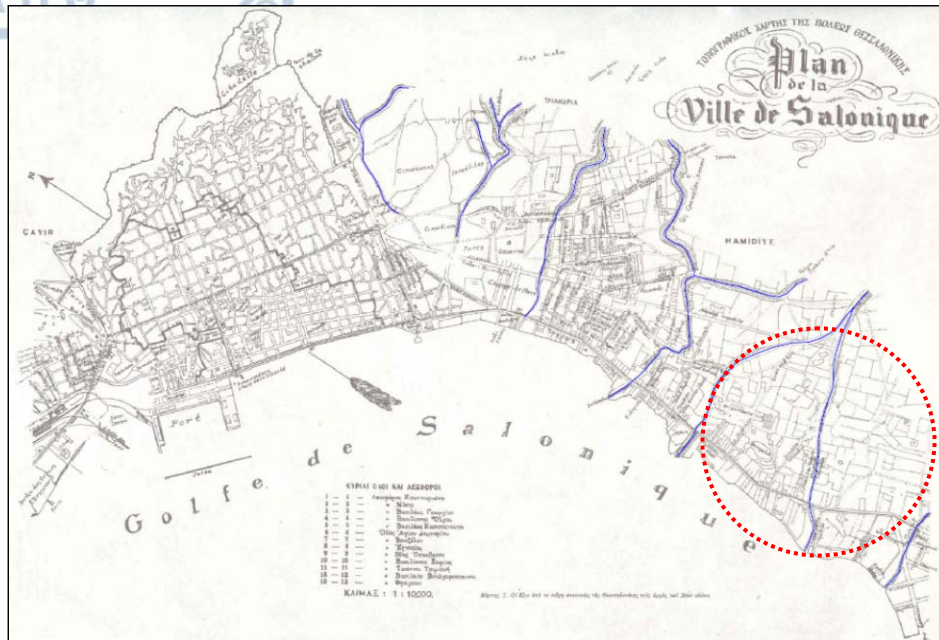
Σχ.71 Κοντά στις εκβολές του Μεγάλου ρέματος επί της οδού Κοσμά Αιτωλού, 1964 (Δημόσια Ομάδα, Παλιές φωτογραφίες της Θεσσαλονίκης:
<https://www.facebook.com/groups/oldthessaloniki>)



Σχ.72 Φύλλο χάρτη του 1898 όπου χαρτογραφήθηκε η εκβολή του ρέματος Κυβερνείου στην θάλασσα (Εθνική Χαρτοθήκη 2005).

Δίπλα στο Μεγάλο Ρέμα υπήρχε ένας μικρός χείμαρρος παράλληλος στον προηγούμενο. Σε χάρτες εμφανίζονται οι δύο αυτοί χείμαρροι να ενώνονται. Θα μπορούσε να πρόκειται για επέμβαση διευθέτησης των σημαντικών ποσοτήτων νερού που θα έρεαν στο Μεγάλο ρέμα ύστερα από

έντονες βροχοπτώσεις. Σύμφωνα με τις ισοϋψείς καμπύλες υπάρχουν ίχνη υδάτινης ροής παράλληλης στο μεγάλο ρέμα.



Σχ.73 Τοπογραφικός χάρτης Θεσσαλονίκης του 1914 όπου απεικονίζεται η ένωση των δύο χειμάρρων (Δήμος Θεσσαλονίκης).

Επίσης παράλληλα σε αυτόν τον χείμαρρο υπήρχε και άλλος ένας με έναν μόνο κλάδο και μήκος μόλις 3km. Ο κλάδος αυτός ξεκινούσε από την νότια Πυλαία και αφού διερχόταν από το γήπεδο του Άρη κατέληγε στην θαλάσσια περιοχή στο ύψος του σημερινού Μεγάρου Μουσικής (Σχ.74).

Στην θαλάσσια αυτή περιοχή είχαμε τις εκβολές 3 χειμάρρων με τρίτο τον χείμαρρο Αλλατίνη.

Το επόμενο ρέμα ανατολικότερα είναι ο χείμαρρος Αλλατίνη ή Ντεπώ. Πρόκειται για αρκετά μεγάλο ρέμα που πηγάζει από την περιοχή Πουρνάρι βόρεια των κοιμητηρίων της Θεσσαλονίκης. Οι δύο κλάδοι του με τοπικά ονόματα Κυψέλης ο νότιος κλάδος που διέρχεται από τον οικισμό Κυψέλης και Χαλίλ Ντερέ ο βόρειος κλάδος στα όρια της Πυλαίας, ενώνονται στο ύψος των Πυλαιώτικων και μετά ακολουθούν το ορατό μέχρι και σήμερα ρέμα της Ψελλού στην Νέα Ελβετία (Σχ.74). Ένας ακόμη κλάδος του ξεκινάει νοτιότερα στο ύψος της Κηφισιάς (Μοσχονησίων) και τελικά μέσω του κεντρικού κλάδου εκβάλουν μέσω του ορατού και σήμερα ρέματος στην οδό Νεστ. Τύπα στο ύψος του παλιού αλευρόμυλου Αλλατίνη.

Μετά από αυτόν τον χείμαρρο ακολουθεί μικρότερος με το όνομα χείμαρρος Ρωσσίδη και ανάπτυξη ΝΑ προς ΒΔ. Ο χείμαρρος αυτός πηγάζει από την περιοχή της Καλαμαριάς στην περιοχή Βυζάντιο και στη συνέχεια διερχόμενος από την Νομαρχία και την οδό Καθ. Ρωσσίδη, εκβάλλει στην περιοχή του ομίλου Θαλασσίων Αθλημάτων.

Οι ισοϋψείς δείχνουν ακόμη μία μικρή ροή νερού στην περιοχή βόρεια του στρατοπέδου Κόδρα περίπου κατά μήκος της οδού Α. Παπάγου. Ο χείμαρρος αυτός χυνόταν στην περιοχή του Ναυτικού Ομίλου Θεσσαλονίκης.

Από την νότια πλευρά του Μικρού Εμβόλου έχει καταγραφεί η παρουσία 2 μικρών χειμάρρων εκατέρωθεν ενός εξάρματος. Οι χείμαρροι αυτοί χαρτογραφήθηκαν από αρχαιολογικές εργασίες στην περιοχή. Πιθανά να πρόκειται για τεχνητές κατασκευές αποστράγγισης ήδη από τα αρχαία χρόνια.



Σχ.74

Σύγχρονη αεροφωτογραφία του ρέματος Αλλατίνη που διέρχεται από την επέκταση της οδού Ψελλού στην Νέα Ελβετία (ametro.gr). Με γαλάζιο χρώμα το ίχνος του ρέματος σήμερα.



Σχ.75 Αεροφωτογραφία όπου είναι ορατοί οι δύο μικροί χειμάρροι (Δημόσια Ομάδα, Παλιές φωτογραφίες της Θεσσαλονίκης: <https://www.facebook.com/groups/oldthessaloniki>)



Τοπογραφικό σχέδιο ανασκαφών όπου χαρτογραφήθηκαν οι χειμάρροι (Service archéologique de l'armée d'Orient, 1916-1919)

Μετά τους χειμάρρους του στρατοπέδου Κόδρα έχουν χαρτογραφηθεί και άλλοι μικρότεροι χειμάρροι ανατολικότερα, που δεν ξεπερνούν τα 800 μέτρα σε μήκος (Σχ.75). Οι χειμάρροι αυτοί εκβάλλουν στην θαλάσσια περιοχή της Κρήνης μέσα από οχετούς. Βορειότερα είναι ο μικρότερος χειμάρρος που καταλήγει στο Πάρκο Ιωάννου Κρίνου στην περιοχή του Χαμόδρακα. Ακολουθεί ο χειμάρρος Νέας Κρήνης που πηγάζει από το Άλσος Νέας Κρήνης και καταλήγει στο Πάρκο Νέας Κρήνης στην περιοχή Μαϊάμι (Σχ.76). Νοτιότερα συναντάμε τον χειμάρρο Ησιόδου που πηγάζει κοντά στο Άλσος Νέας Κρήνης και ακολουθώντας την οδό Ησιόδου καταλήγει στην θαλάσσια περιοχή της Μίκρας στο Γήπεδο Νέας Κρήνης (Σχ.77).

Στην νότια πλευρά του Μικρού Εμβόλου και την περιοχή της Καλαμαριάς συναντάμε έναν ακόμη χειμάρρο, το ρέμα του Φοίνικα. Ο χειμάρρος αυτός πηγάζει από την περιοχή βόρεια των κοιμητηρίων Θεσσαλονίκης και καταλήγει στην περιοχή του Φοίνικα. Τμήμα της κοίτης του χρησιμοποιήθηκε κατά την κατασκευή της Περιφερειακής Τάφρου Θεσσαλονίκης. Ο χειμάρρος αυτός τελικά εκβάλλει ως Περιφερειακή Τάφρος στην περιοχή της Μίκρας.



Σχ.76 Εκβολή του ρέματος Ν. Κρήνης στην περιοχή της Κρήνης (Νοσοκομείο Παναγία).



Σχ.77 Εκβολή του ρέματος Ησιόδου στην περιοχή της Μίκρας (ΑΕΝ Κρήνης)

Η κατασκευή της Περιφερειακής τάφρου Θεσσαλονίκης έγινε μεταξύ 1955-1958, συγκέντρωσε τα νερά του άνω ρου των χειμάρρων Τούμπας, Κυβερνείου, Αλλατίνη και τα διοχέτευσε στην θαλάσσια περιοχή της Μίκρας μέσω του χειμάρρου του Φοίνικα. Οι χείμαρροι που διοχετεύτηκαν σε αυτήν ήταν όλοι εκτός από τους πρώτους 3 της ανατολικής Θεσσαλονίκης (Αγ. Παύλου – Ευαγγελίστριας, 40 Εκκλησιών και Λύτρα). Πριν την κατασκευή της τάφρου στην ανατολική Θεσσαλονίκη παρουσιαζόταν πολύ συχνά προβλήματα λόγω πλημμύρων ιδιαίτερα ύστερα από έντονες βροχοπτώσεις (Σωτηριάδης 1992). Η διευθέτηση αυτή των χειμάρρων και η εκτροπή των υδάτων τους έξω από τον αστικό ιστό έδωσε ώθηση στην πολεοδομική ανάπτυξη της πόλης. Οι χείμαρροι κατόπιν της περιφερειακής τάφρου μετατράπηκαν σε οδικό δίκτυο ή ακόμη και σε οικόπεδα (Σχ.78).



Σχ.78α Περιφερειακή τάφρος στην περιοχή του Φοίνικα.



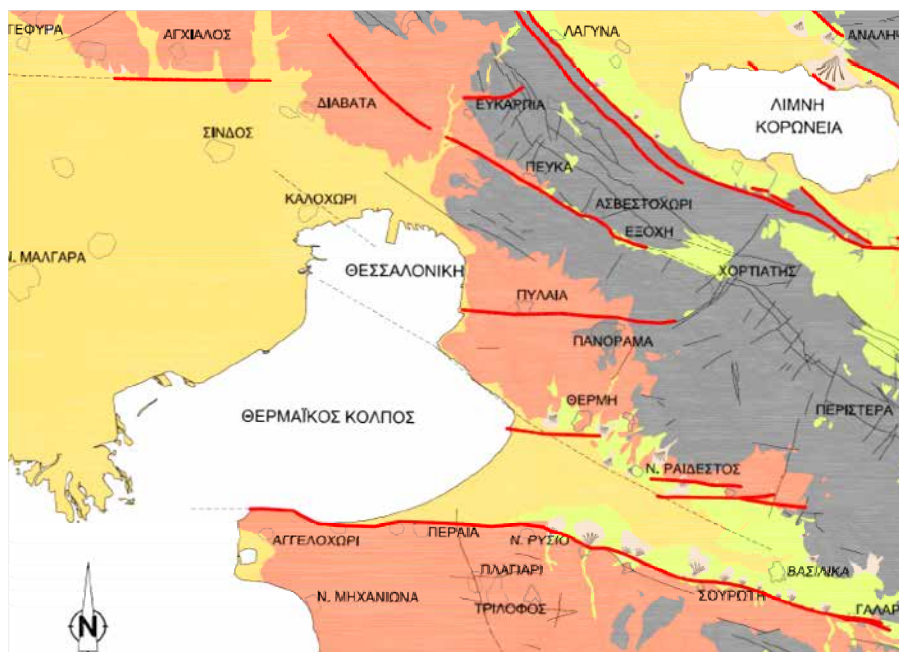
Σχ.78β Εκβολές της περιφερειακής τάφρου στον Θερμαϊκό Κόλπο στην Μίκρα.

Στον Βόρειο Ελλαδικό χώρο παρατηρείται ένα εκτεταμένο εφελκυστικό πεδίο με την δημιουργία ρηγμάτων κανονικών και πλαγιοκανονικών που εντοπίζονται κυρίως στις Νεογενείς και Τεταρτογενείς ιζηματογενείς λεκάνες. Εξαιτίας του εφελκυσμού αυτού δραστηριοποιούνται και πάλι παλαιότερες τεκτονικές δομές τόσο μέσα στα ιζήματα όσο και μέσα στα πετρώματα του υποβάθρου. Τα ρήγματα αυτά λειτουργούν και πάλι ως κανονικά ή πλαγιοκανονικά (Μουντράκης et al 1995).

Η διαμόρφωση του αναγλύφου της περιοχής της Θεσσαλονίκης έχει συντελεστεί κυρίως από το εφελκυστικό πεδίο του Πλειόκαινου – Κατώτερου Πλειστόκαινου με τάσεις ΒΑ-ΝΔ. Τα ρήγματα που προέκυψαν είναι διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ και αποτελούν την κύρια ανάπτυξη του βραχώδους υποβάθρου στα βορειοανατολικά της πόλης. Παράλληλα εντοπίζονται και παλιότερα ρήγματα με διευθύνσεις ΒΑ-ΝΔ που υποδεικνύουν τον εφελκυσμό του Μειοκαίνου με τάσεις ΔΒΔ-ΑΝΑ. Ένα ακόμη σύστημα ρηγμάτων που μπορούν να διακριθούν στην περιοχή της Θεσσαλονίκης, έχουν διευθύνσεις Β-Ν και ο ρόλος τους δεν είναι επαρκώς μελετημένος.

Οι δομές και τα ρήγματα που παραπέμπουν στο νεοτεκτονικό πεδίο σήμερα εμφανίζονται από το Μέσο Πλειστόκαινο μέχρι σήμερα. Έχουν διευθύνσεις Α-Δ και προέρχονται από τις εφελκυστικές τάσεις Β-Ν. Όμως κατά την ενεργοποίηση αυτού του πεδίου τάσεων είναι δυνατόν να παρουσιαστούν και επαναδραστηριοποιήσεις των παλαιότερων ρηγμάτων.

Τα περισσότερα ανενεργά – παλιά ρήγματα της περιοχής ανήκουν στο σύστημα ΒΔ-ΝΑ και ΒΑ-ΝΔ. Στο αρχικό στάδιο οι παραμορφώσεις γίνονται σε προϋπάρχοντα ρήγματα ΒΔ-ΝΑ ή ΒΒΑ-ΝΝΔ κανονικά ή οριζόντιας μετατόπισης. Στο δεύτερο στάδιο μία νέα ομάδα από ρήγματα κανονικά Α-Δ αναπτύχθηκαν πάνω από το προηγούμενο δίκτυο (Voidomatis P. et al., 1990, Ζερβοπούλου, 2011).



Σχ.79 Τεκτονικός χάρτης περιοχής Θεσσαλονίκης (Ζερβοπούλου 2010)

Τα ρήγματα της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης σε σχέση με το αστικό περιβάλλον έχω ξεκινήσει να τα μελετώ από το 2004 (Σχ.79) με πλήθος δημοσιεύσεων (Παυλίδης et al. 2004, Ζερβοπούλου & Παυλίδης 2005, Βαλκανιώτης et al. 2005, Ζερβοπούλου et al. 2007, Ζερβοπούλου & Παυλίδης 2008, Chatzipetros et al. 2010, Ζερβοπούλου, 2010, Ζερβοπούλου et al. 2014, Ζερβοπούλου & Pavlides 2016, Ζερβοπούλου 2018).

Παρακάτω στο κεφάλαιο θα αναπτυχθούν τα κύρια ρήγματα που εντοπίστηκαν και καταγράφηκαν στο Πολεοδομικό Συγκρότημα της Θεσσαλονίκης. Τα ρήγματα αυτά εντοπίστηκαν από εκσκαφές, γεωτρήσεις και μορφολογικές παρατηρήσεις του αναγλύφου.

Σημαντικό ρόλο στον χαρακτηρισμό των ρηγμάτων έπαιξαν οι επιφάνειες ολίσθησης που εντοπίστηκαν σε διάφορες περιοχές της πόλης (Reiter 1990, Kramer 1996). Η λεπτομερής καταγραφή τους έδωσε σημαντικά στοιχεία για γειτνιάζοντα ρήγματα. Παράλληλα τέθηκε το ερώτημα, κατά την χαρτογράφηση των ρηγμάτων αυτών, για τον συσχετισμό της μετατόπισης που καταγράφεται σημειακά και του μήκους που μπορεί αυτό να έχει σε ένα καλυμμένο οικιστικό περιβάλλον.

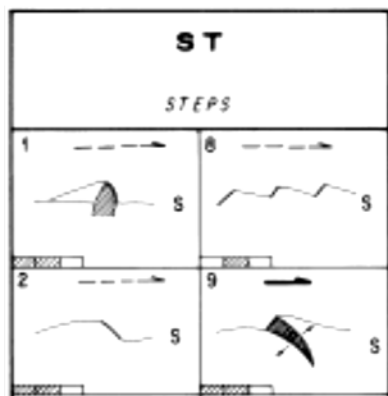
Επιφάνειες ολίσθησης – Slickensides

Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στις επιφάνειες ολίσθησης ή Slickensides οι οποίες εμφανίζονται πολύ συχνά σε γεωλογικούς σχηματισμούς της Θεσσαλονίκης. Οι επιφάνειες αυτές εντοπίζονται σε αργιλικές στρώσεις των νεογενών σχηματισμών όπως στις ερυθρές αργίλους και στην ψαμμιτομαργαϊκή ενότητα.

Πρόκειται για επιφάνειες ολίσθησης οι οποίες είναι στιλπνές και λείες με αυλακώσεις. Παρουσιάζουν σαπωνοειδή υφή και οξειδώσεις σιδηρο-μαγγανίου πάνω στην επιφάνειά τους (John et al. 1969). Οι επιφάνειες αυτές δημιουργούνται στα επίπεδα διάτμησης και παράλληλα με αυτά (Meechan 2006) και λαμβάνονται υπόψη κατά τον σχεδιασμό τεχνικών έργων μια και αποτελούν πιθανές επιφάνειες ολισθήσεων. Σχεδόν όλες οι πολύ στιφρές άργιλοι έως αργιλόλιθοι παρουσιάζονται με επιφάνειες διακλάσεων και ολισθήσεων σε μικρή ή μεγαλύτερη έκταση (Steiakakis 2013). Οι επιφάνειες ολίσθησης γενικά κατατάσσονται σε 11 ομάδες και 61 είδη ανάλογα με τα μορφολογικά και τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά (Doblas 1997). Αποτελούν δείκτες κινηματικής και η μελέτη τους μπορεί να δώσει τα τεκτονικά χαρακτηριστικά μιας περιοχής.

Στην περιοχή της Θεσσαλονίκης εντοπίστηκαν επιφάνειες ολίσθησης σε εκσκαφές και σε δειγματοληπτικές γεωτρήσεις. Ολοκληρωμένες μετρήσεις διεύθυνσης και κλίσης μπορούσαν να γίνουν μόνο στις εκσκαφές ενώ στις γεωτρήσεις λόγω απουσίας προσανατολισμού της διάτμησης μπορούσε να καταγραφεί μόνο η συχνότητα και η γωνία κλίσης τους. Εντοπίστηκαν και καταγράφηκαν μόνο σε στιφρές αργίλους στην ψαμμιτομαργαϊκή ενότητα κυρίως και την ενότητα των ερυθρών αργίλων λιγότερο. Αυτό οφείλεται γιατί στην ενότητα Ερυθρών Αργίλων οι άργιλοι είναι περισσότερο αμμώδεις με αποτέλεσμα να μην μπορούν να σχηματιστούν. Στην ψαμμιτομαργαϊκή ενότητα οι άργιλοι εμφανίζονται πιο καθαρές σε ό,τι αφορά την περιεκτικότητά τους άμμο. Η πυκνότητά τους αυξανόταν σε περιοχές όπου εντοπίστηκαν και ρήγματα. Στον αστικό ιστό εντοπίστηκαν δηλαδή από την οδό Γ' Σεπτεμβρίου μέχρι την περιοχή Βότση όπου εμφανίζεται κυρίως η ψαμμιτομαργαϊκή ενότητα. Στην ενότητα των ερυθρών αργίλων καταγράφηκαν πολύ λίγες μεμονωμένες περιπτώσεις, που δεν μπόρεσαν να συσχετιστούν με ρήγματα της περιοχής.

Οι επιφάνειες ολίσθησης που εντοπίστηκαν μπορούν να κατηγοριοποιηθούν στην ομάδα βαθμίδες (steps) σύμφωνα με τον πίνακα κατάταξης του Doblas 1997 και τις υποκατηγορίες 2 και 8 (Σχ.80). Πρόκειται δηλαδή για επιφάνειες με λεία σαπωνοειδή υφή που εμφανίζουν κυρίως κυματοειδή μορφή (σχέδιο 2) ή μικρές αναβαθμίδες (σχέδιο 8) σπανιότερα. Πρόκειται για επιφάνειες που συνδέονται με κανονικά ρήγματα (Doblas 1997) και εμφανίζονται παράλληλα στην διεύθυνση της κίνησης.



Σχ.80

Κατάταξη των επιφανειών ολίσθησης ως δεικτών κίνησης (Doblas 1997).

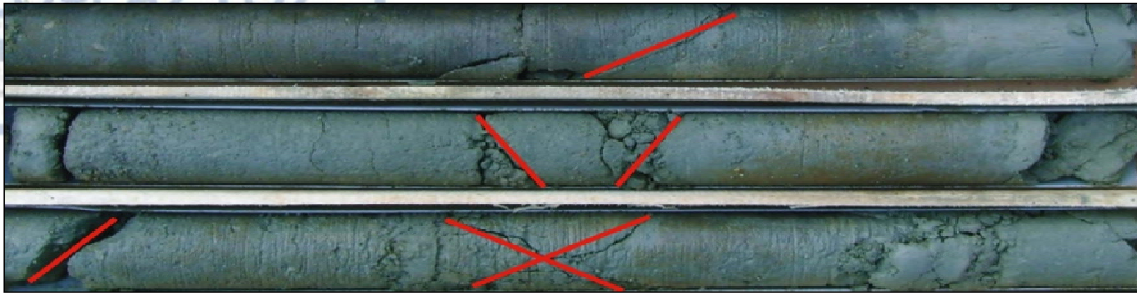
Στις εκσκαφές όπου οι επιφάνειες ολίσθησης μπόρεσαν να μελετηθούν εκτενέστερα παρατηρήθηκε σε κάποιες από αυτές υδροφορία. Παράλληλα στην επιφάνειά τους παρατηρήθηκαν οξειδώσεις λόγω της κυκλοφορίας υδάτων σε αυτές. Εντοπίστηκε επίσης επιφάνεια ολίσθησης, η οποία θα μπορούσε να χαρακτηριστεί επίσης και ως διάκλαση λόγω του μεγάλου μήκους της αλλά και λόγω των υλικών πλήρωσης που βρέθηκαν.

Ύστερα από μελέτη των επιφανειών ολίσθησης που καταγράφηκαν σε δειγματοληπτικές γεωτρήσεις (Σχ.81) και σε μη προσανατολισμένα δείγματα στην πόλη της Θεσσαλονίκης μπορούμε να τις ομαδοποιήσουμε ανά περιοχή.

Πίνακας Επιφανειών Ολίσθησης ανά περιοχή στην ψαμμιτομαργαϊκή ενότητα

	Θέση - Περιοχή	Βάθος από την επιφάνεια (m)	Διεύθυνση	Κλίση	Πυκνότητα
1	Παπάφη - Φλέμινγκ	5,00 έως 33,00		30 ⁰ -45 ⁰	10cm κατά θέσεις
2	Βούλγαρη - Αλλατίνη	10,00 έως 35,00		40 ⁰ -70 ⁰	10 - 20cm κατά θέσεις
3	Βότση - Καλαμαριά	6,00 έως 45,00		20 ⁰ -85 ⁰	50cm κατά θέσεις
4	Κατσιμίδα	7,00	A-Δ	60 ⁰	

Οι επιφάνειες ολίσθησης (Σχ.82) καταγράφονται σε διάφορα βάθη μόνο σε πολύ σφιχτούς αργιλικούς οριζόντες μεμονωμένα ή σε πυκνότητα ανά 10 ή ανά 20 εκατοστά. Υπάρχει καταγραφή για πολλαπλές παράλληλες επιφάνειες ολίσθησης σε ένα μήκος των 50 εκατοστών. Τις περισσότερες φορές αναφέρονται οξειδώσεις μαγγανίου στη επιφάνειά τους. Έχουν καταγραφεί σε διάφορα βάθη κοντά στην επιφάνεια στα 5 μέτρα αλλά και πολύ βαθύτερα από τα 55 μέτρα.



Σχ.81 Κιβώτιο με πυρήνες δειγματοληπτικής γεώτρησης ενός μέτρου σε μήκος. Με κόκκινο σημειώνονται οι επιφάνειες ολίσθησης (ψαμμιτομαργαϊκή ενότητα), περιοχή Βούλγαρη (Ζερβοπούλου, 2010). Διακρίνεται η πυκνότητά τους ανά μέτρο.



Σχ.82α Επιφάνειες Ολίσθησης

Επιφάνειες ολίσθησης (κόκκινο χρώμα) σε πρανές στην ψαμμιτομαργαϊκή ενότητα και τα στρώματα αργίλου. Στο ανώτερο στρώμα της λεπτόκοκκης άμμου οι επιφάνειες αυτές δεν αναπτύσσονται. Περιοχή Καλαμαριάς.



Σχ.82β Επιφάνειες ολίσθησης σε πυρήνες γεώτρησης και σε βάθη 17 και 26 μέτρων αντίστοιχα. Καταγράφηκαν σε στιφρές αργιλικές στρώσεις στην περιοχή Ντεπώ.

Το μόνο γεωμετρικό χαρακτηριστικό που μπορεί να υπολογιστεί σε δειγματοληπτική γεώτρηση είναι οι γωνίες κλίσεις τους. Έχουν μετρηθεί γωνίες από 20 μοίρες έως και 85 μοίρες (σχεδόν κατακόρυφες), ενώ οι πλειονότητά τους έχει κλίση 45 μοίρες. Κάποιες από αυτές εμφανίζονται τεμνόμενες με διάφορες διευθύνσεις ή συζυγείς. Συχνή ήταν επίσης η καταγραφή ζωνών με πυκνές επιφάνειες ανά 10 εκατοστά που δημιουργούσαν μία ζώνη κατακερματισμού.

Παρατηρήθηκε ότι κοντά σε ρήγματα και ρηξιγενείς ζώνες οι επιφάνειες ολίσθησης αύξαναν σε πυκνότητα και βάθος που εντοπίζονταν (Σχ.84). Εντύπωση έκανε η μεγάλου μεγέθους επιφάνεια ολίσθησης η οποία καταγράφηκε σε εκσκαφή στην περιοχή Κατσιμίδα (Σχ.83). Το ορατό μήκος της στην εκσκαφή ήταν 14 μέτρα ενώ επεκτεινόταν και πέρα από αυτή. Εντοπίστηκε σε βάθος 6 μέτρων από την επιφάνεια ενώ το ορατό ύψος της ήταν 5 μέτρα. Βρέθηκε μέσα στην ψαμμιτομαργαϊκή ενότητα σε αργιλική στρώση, ενώ η επιφάνειά της εμφάνισε σαπωνοειδή υφή και οξειδώσεις μαγγανίου. Η επιφάνεια είχε διεύθυνση Α-Δ και κλίση προς Β (356/55). Η κλίση της κυμαινόταν από 40° έως 65°. Στην μία πλευρά της επιφάνειας καταγράφηκε η παρουσία παλαιο-εδάφους με την μορφή τεφρής χαλικώδους άμμου με άργιλο. Το παλαιο-έδαφος βρισκόταν σε αργιλοαμμώδες υλικό πλήρωσης, ελαιοπράσινο έως καστανό, της επιφάνειας ολίσθησης.



Επιφάνεια ολίσθησης μήκους 14 μέτρων σε εκσκαφή (βάθος 7 μέτρων από την επιφάνεια) σε αργιλικό στρώμα της ψαμμιτομαργαϊκής ενότητας.



Λεπτομέρεια όπου διακρίνονται οξειδώσεις μαγγανίου πάνω στην επιφάνεια ολίσθησης.



Σε κάθετη τομή σε πρηνές εκσκαφής διακρίνεται η παρουσία παλαιοεδάφους (τεφρό χρώμα) σε υλικό πλήρωσης ελαιοπράσινο έως καστανό της επιφάνειας ολίσθησης

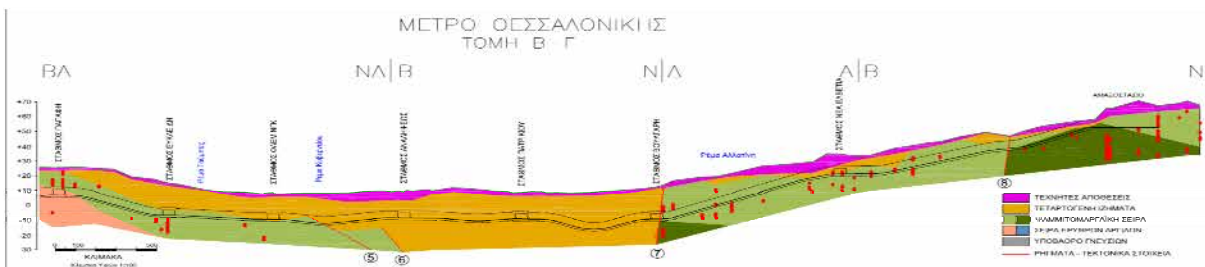


Λεπτομέρεια του παλαιοεδάφους (τεφρή χαλικώδης άμμος) με παρουσία οργανικών υλικών.

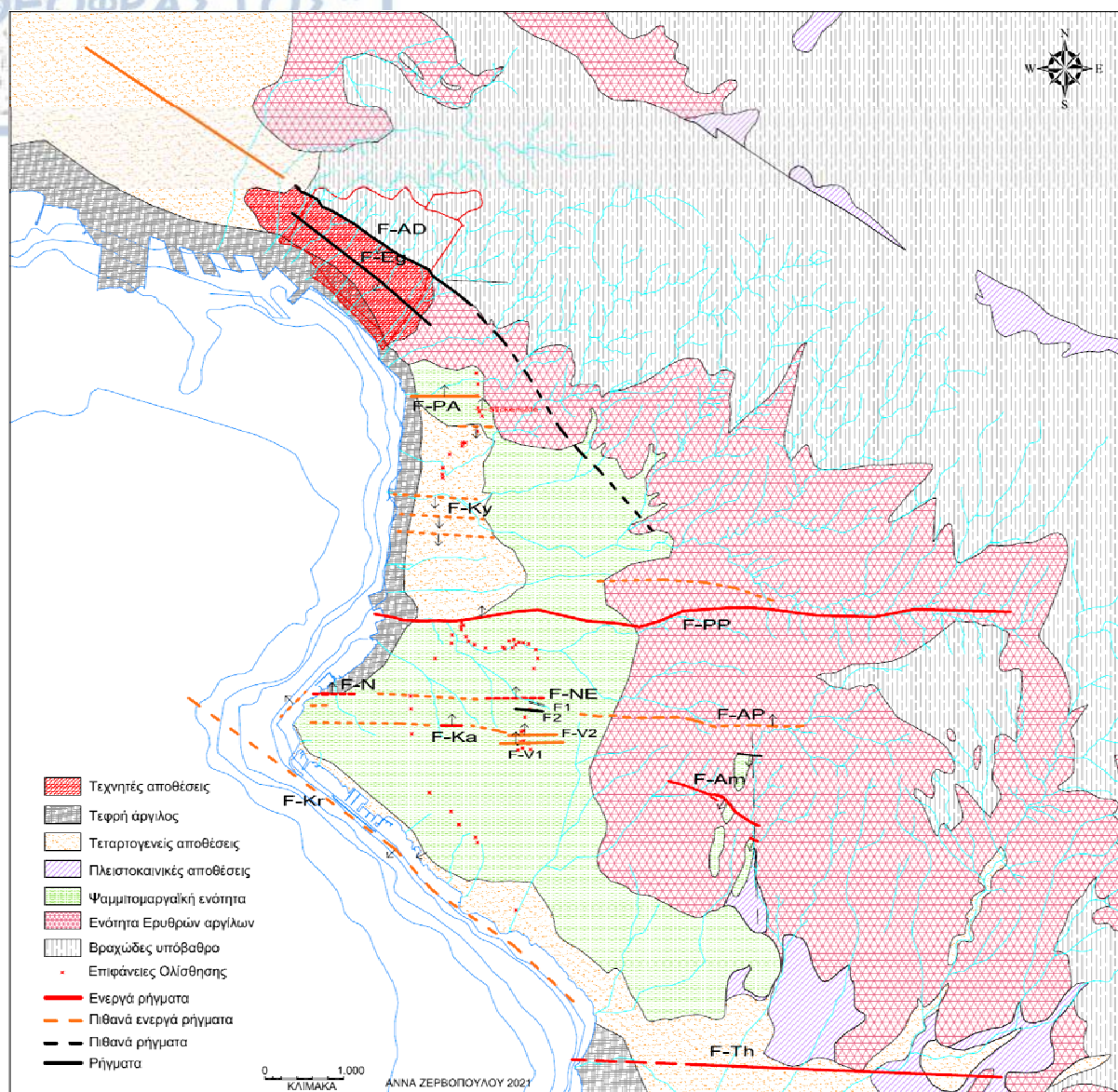
Σχ.83 Επιφάνεια ολίσθησης μεγάλου μήκους σε εκσκαφή



Κατά την μεταφορά των σημείων που εμφανίστηκαν επιφάνειες ολίσθησης σε γεωλογικό χάρτη της πόλης οι επιφάνειες ολίσθησης φαίνεται να σχετίζονται με ρήγματα τα οποία έχουν σχεδιαστεί. Η μεγαλύτερη πυκνότητα επιφανειών ολίσθησης σχετίζεται με το ρήγμα Πυλαίας – Πανοράματος, ενώ αρκετά πυκνές ήταν οι επιφάνειες και σε ρήγματα της Καλαμαριάς. Στην περιοχή αυτή εντοπίστηκαν και οι μεγαλύτερες γωνίες κλίσεις, στις 85° . Μικρότερη πυκνότητα καταγράφηκε στα ρήγματα Πεδίου Άρεως και Κυβερνείου (Σχ.85,86).



Σχ.85 Γεωλογική τομή του άξονα του Μετρό Θεσσαλονίκης, όπου με κόκκινο χρώμα σχεδιάστηκαν οι θέσεις των επιφανειών ολίσθησης (Ζερβοπούλου, 2010).



Σχ.86 Χάρτης ρηγμάτων και θέσεις επιφανειών ολίσθησης που καταγράφηκαν σε δειγματοληπτικές γεωτρήσεις.

Συσχετισμός μετατόπισης και μήκους ρήγματος

Σε μία αστική δομημένη περιοχή είναι πολύ δύσκολη η χαρτογράφηση μίας τεκτονικής γραμμής λαμβάνοντας υπόψη μορφολογικά στοιχεία, ιδιαίτερα όταν πρόκειται για μικρής δυναμικότητας ρήγμα. Στην περίπτωση εντοπισμού ρήγματος με την βοήθεια δειγματοληπτικών γεωτρήσεων τα στοιχεία που μπορούν να καταγραφούν είναι μόνο η μετατόπιση σχηματισμών εκατέρωθεν της επιφάνειας του ρήγματος και μόνο στην περίπτωση που η διάταξη των γεωτρήσεων το επιτρέπει. Επίσης κατά την καταγραφή και μελέτη ενός ρήγματος σε μία εκσκαφή και πάλι τα στοιχεία που μπορούν να μετρηθούν είναι η κατακόρυφη μετατόπιση, με περισσότερη ακρίβεια βέβαια.

Έτσι προκύπτει το ζήτημα, να είναι εφικτό με την καταγραφή της κατακόρυφης μετατόπισης D εκατέρωθεν των πλευρών ενός ρήγματος να μπορεί να υπολογιστεί και το πιθανό μήκος της επιφανειακής διάρρηξης L του ρήγματος. Αυτό που δυσκολεύει ακόμη περισσότερο είναι το ότι η κατακόρυφη μετατόπιση στο ίδιο το ρήγμα κυμαίνεται ανάλογα με την γεωμετρία του. Δηλαδή η

μετατόπιση είναι μηδενική στα άκρα του κανονικού ρήγματος ενώ αγγίζει το μέγιστο ύψος στο κέντρο του κατά την διάρρηξη (Kim and Sanderson 2005). Επίσης η μετατόπιση D ενός ρήγματος εξαρτάται από παράγοντες όπως: το γεωλογικό υλικό, τον τύπο και το μέγεθος – μήκος του ρήγματος, το σεισμικό γεγονός, την επαναδραστικοποίηση υπάρχοντος ρήγματος και την τμηματοποίηση του ρήγματος σε μικρότερα.

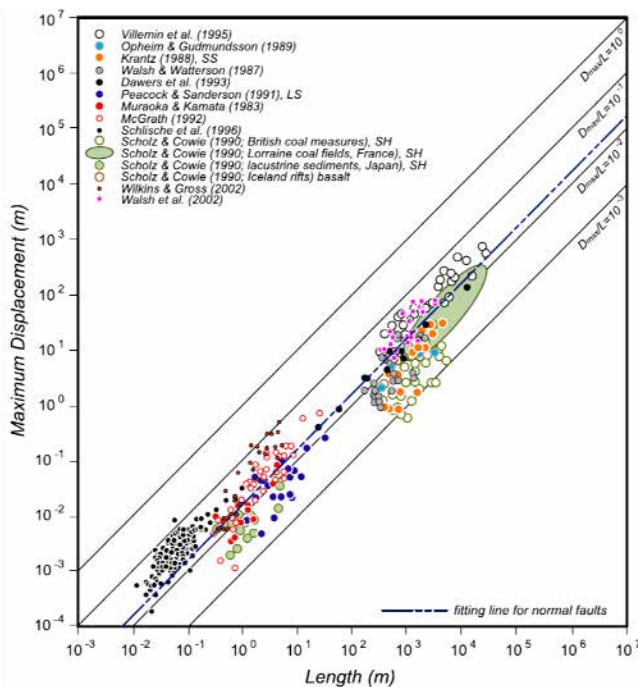
Το 1994 οι Wells & Coppersmith αναφέρθηκαν στον συσχετισμό της επιφανειακής διάρρηξης SRL με την μέγιστη μετατόπιση MD που προκαλείται ανά σεισμικό γεγονός. Επίσης έγινε προσπάθεια από τους Cowie & Scholz (1992) και ακολούθησαν οι Kim and Sanderson (2005), Schultz et al. (2008), Torabi & Berg (2011) και άλλοι.

Ο τύπος που επικρατεί γενικότερα για την συσχέτιση μεταξύ της μέγιστης μετατόπισης D και του μήκους ενός ρήγματος L είναι ο ακόλουθος:

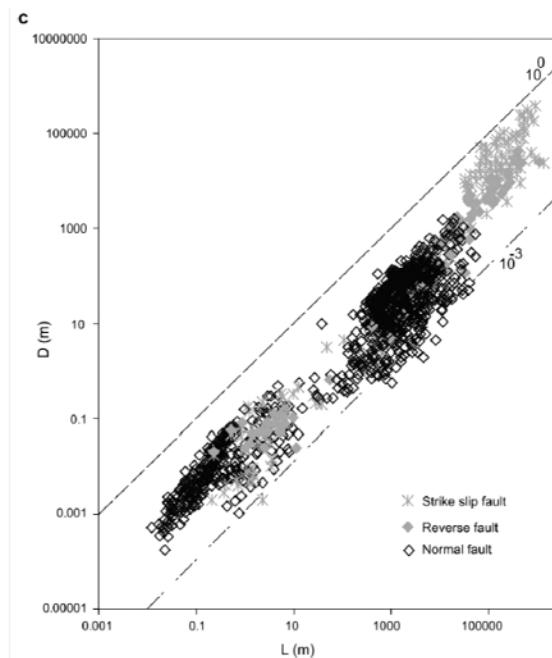
$$D = \gamma L^n$$

Όπου το γ εξαρτάται από το γεωλογικό υλικό και το n είναι μία τιμή που κυμαίνεται μεταξύ 1 και 2 (Torabi & Berg 2011).

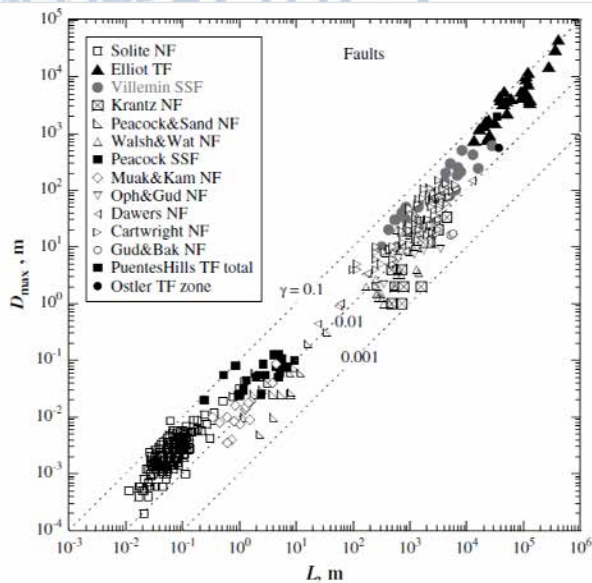
Με βάση τον τύπο αυτό και λαμβάνοντας δεδομένα από διάφορους γεωλογικούς σχηματισμούς, τύπους και μήκη ρηγμάτων έχουν εξαχθεί διάφορα log-log διαγράμματα, στα οποία υπολογίζεται η συσχέτιση των δύο τιμών μέγιστης μετατόπισης και μήκους ρήγματος. Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα αυτά.



Διάγραμμα μέγιστων μετατοπίσεων (MD) και μήκους ρηγμάτων (L) από μετρήσεις σε κανονικά ρήγματα και γεωλογικούς σχηματισμούς: SS=ψαμμίτης, LS=ασβεστόλιθος, SH=σχιστόλιθος (Kim and Sanderson 2005)

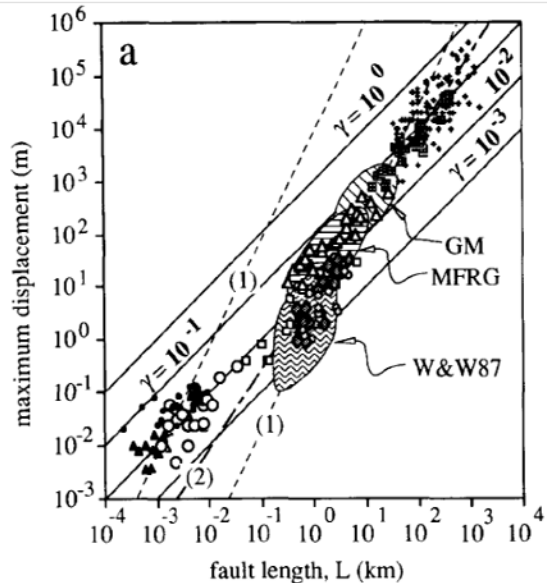


Διάγραμμα μετατοπίσεων (D) και μήκους ρηγμάτων (L) από μετρήσεις σε ρήγματα μικρού και μέσου μεγέθους (Torabi & Berg 2011)



Διάγραμμα μετατοπίσεων (D_{max}) και μήκους ρηγμάτων (L).

NF= κανονικά ρήγματα, SSF= ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης, TF= ανάστροφα ρήγματα (Schultz et al. 2008)



Διάγραμμα μετατοπίσεων (D_{max}) και μήκους ρηγμάτων (L) σε διάφορες περιοχές και από διάφορες μελέτες (Cowie & Scholz 1992)

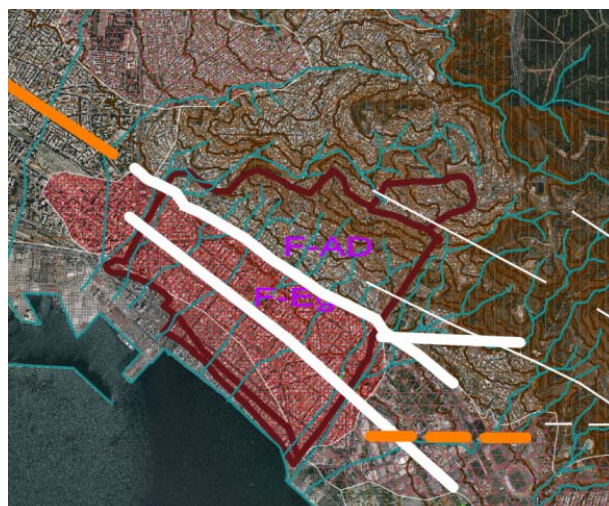
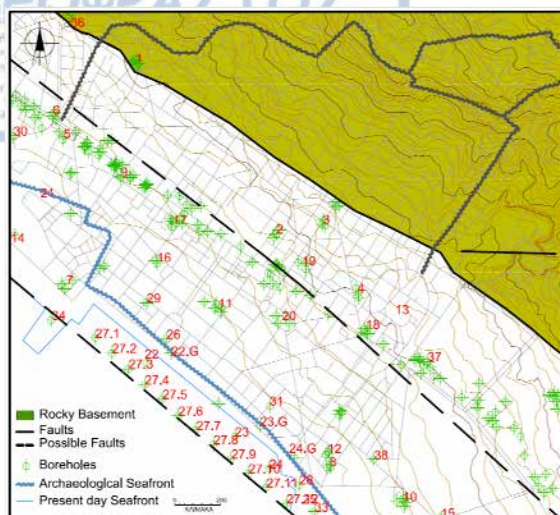
Τα παραπάνω διαγράμματα συσχετισμού μετατόπισης και μήκους ρήματος των Cowie & Scholz (1992), Kim & Sanderson (2005), Schultz et al. (2008) και Torabi & Berg (2011) δείχνουν να συγκλίνουν ως προς τα αποτελέσματα. Έτσι στην περίπτωση της κατακόρυφης μετατόπισης $D=1\text{m}$ το μήκος της επιφανειακής διάρρηξης L του ρήματος θα κυμαίνεται μεταξύ 1 μέτρου και 1 χιλιομέτρου ($L=1\text{-}1000\text{m}$).

Με βάση τα παραπάνω θα γίνει προσπάθεια εκτίμησης του μήκους επιφανειακής διάρρηξης των ρηγμάτων. Τα ρήγματα αυτά έχουν εντοπιστεί σε εκσκαφές στην περιοχή της Θεσσαλονίκης ή χαρτογραφήθηκαν με την βοήθεια δειγματοληπτικών γεωτρήσεων. Πρόκειται για κανονικά ρήγματα σε ψαμμιτικούς και μαργαϊκούς σχηματισμούς, στα οποία είναι μετρήσιμη μόνο η κατακόρυφη μετατόπιση. Υποθέτουμε ότι πρόκειται για την μέγιστη κατακόρυφη μετατόπιση D στο κεντρικό τμήμα του ρήματος και μπορούμε να υπολογίσουμε το μέγιστο μήκος L της επιφανειακής διάρρηξης.

ΡΗΓΜΑΤΑ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Ρήγμα Αγ. Δημητρίου – Ρήγμα Εγνατίας

Τα ρήγματα Αγίου Δημητρίου και Εγνατίας ανήκουν στην ομάδα των παλιών αλπικών τεκτονικών δομών τα οποία κατατάσσονται στα μη ενεργά ρήγματα. Πρόκειται για κανονικά παράλληλα μεταπρωτικά ρήγματα με γενική διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και κλίση προς ΝΔ. Πιθανώς υπάρχει και τρίτο παράλληλο ρήγμα νοτιότερα στον Θερμαϊκό Κόλπο, το οποίο όμως δεν έχει εντοπιστεί σε δειγματοληπτικές γεωτρήσεις και δεν έχει χαρτογραφηθεί (Σχ.87).

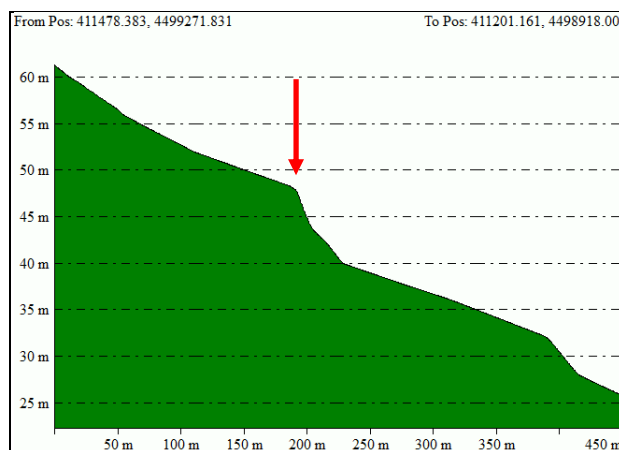


Σχ.87 Χάρτης της περιοχής του κέντρου της πόλης όπου φαίνονται οι τεκτονικές γραμμές της Αγ. Δημητρίου και της Εγνατίας, με διακεκομμένη γραμμή το πιθανό ρήγμα στην οδό Νίκης. (Zervopoulou & Pavlides 2016)

Το ρήγμα της Αγίου Δημητρίου εντοπίζεται στο ορατό στην επιφάνεια όριο, μεταξύ του βραχώδους υποβάθρου της Θεσσαλονίκης και των νεότερων ανθρωπογενών ιζημάτων. Το όριο αυτό έχει χαρτογραφηθεί μέσα στον αστικό ιστό από την περιοχή των 40 Εκκλησιών και ακολουθώντας περίπου την οδό Αγίου Δημητρίου φτάνει το δυτικό όριο των Βυζαντινών Τειχών. Είναι ορατά τα βραχώδη πρηνή επί της οδού Αγίου Δημητρίου βόρεια του Α.Π.Θ., αλλά και στην εκκλησία του Αγίου Δημητρίου (Σχ.88). Αμέσως νότια και ΝΔ της οδού το βραχώδες υπόβαθρο βυθίζεται κάτω από τα νεότερα ιζήματα.

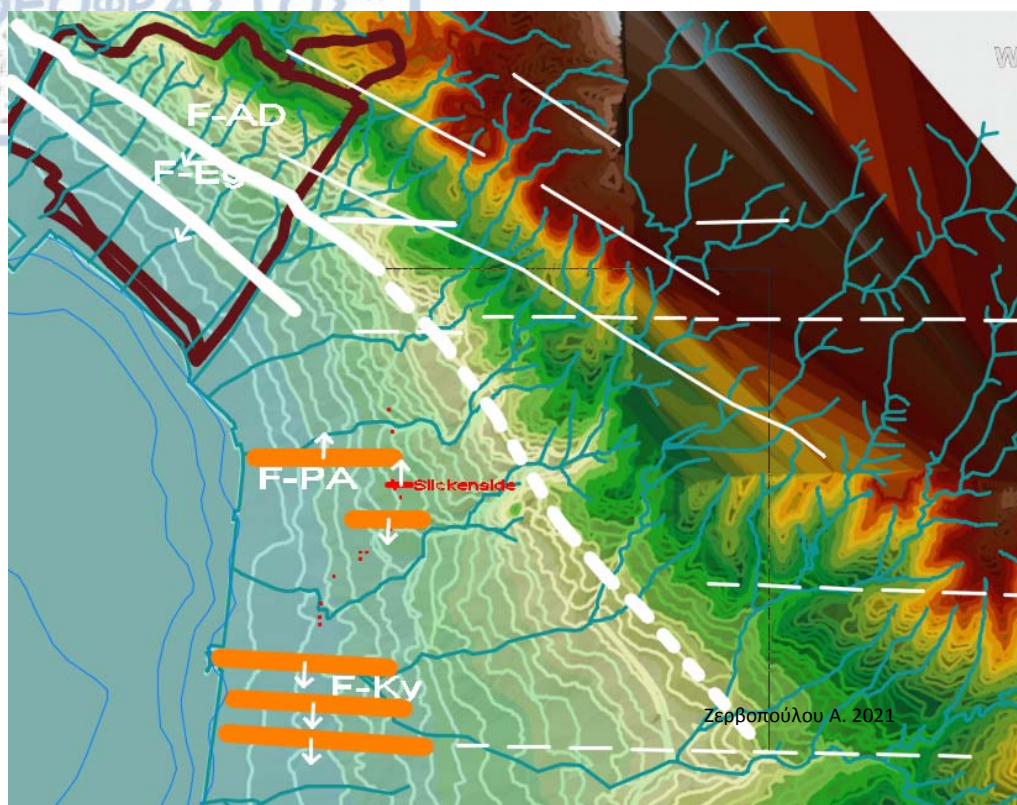


Σχ.88 Φωτογραφία από την εκκλησία του Αγ. Δημητρίου της κλιμακωτής δόμησης εξαιτίας της απότομης μορφολογίας λόγω του ρήγματος (Ζερβοπούλου 2010).



Σχ.89 Μορφολογική τομή (διογκωμένη 1:2) όπου καταγράφεται το απότομο πρηνές περίπου 10m στο ύψος της οδού Αγ. Δημητρίου.

Το ρήγμα αυτό πιθανά επεκτείνεται νοτιότερα και μέχρι την Πυλαία με την ίδια διεύθυνση και χαρακτηριστικά όπως μπορεί να γίνει αντιληπτό από την μελέτη της μορφολογίας (ισοϋψείς καμπύλες από χάρτες του 1945) και του τρισδιάστατου μοντέλου εδάφους (Σχ.90). Το ρήγμα αυτό είναι που δίνει την γενική μορφολογική ανάπτυξη της πόλης με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ.

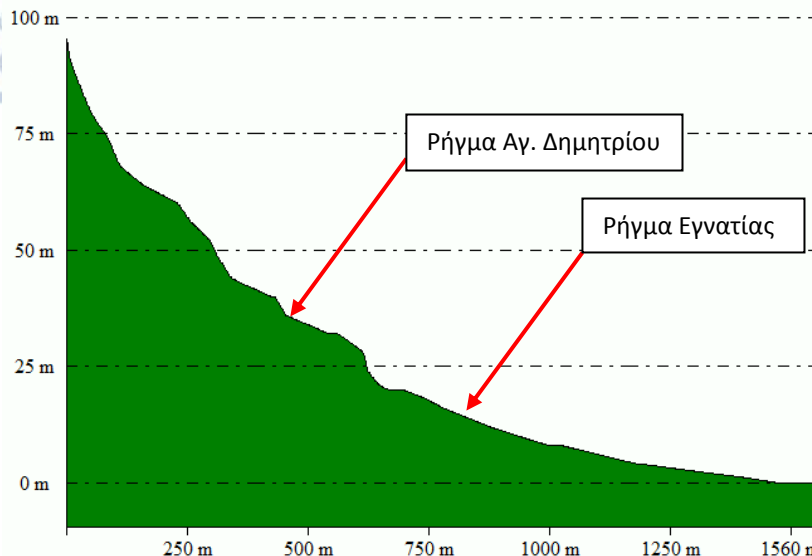


Σχ.90

Τρισδιάστατο μοντέλο εδάφους, όπου φαίνονται τα ρήγματα (λευκό χρώμα) Αγ. Δημητρίου και Εγνατίας.

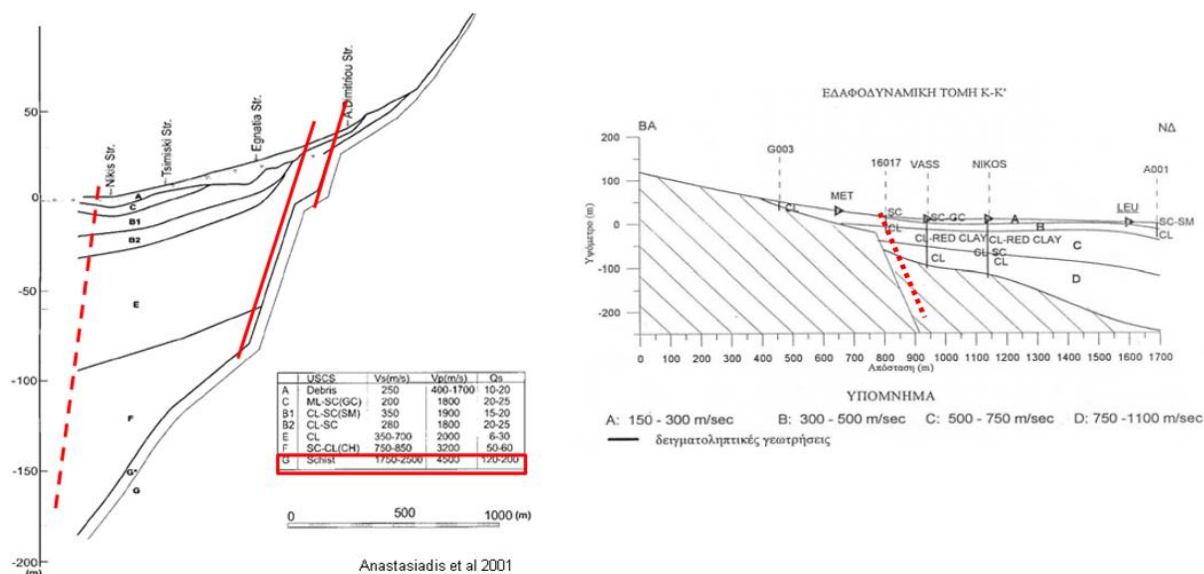
Παράλληλα στο ρήγμα της Αγίου Δημητρίου και νοτιότερα έχει σχεδιαστεί το ρήγμα της Εγνατίας. Το ρήγμα αυτό δεν έχει επιφανειακή εμφάνιση ώστε να μπορέσει να σχεδιαστεί το επιφανειακό του ίχνος, αλλά εντοπίστηκε κατά την διάτρηση δειγματοληπτικών γεωτρήσεων στην πλατεία Μακεδονομάχων. Βόρεια της Εγνατίας οδού εντοπίστηκε το βραχώδες υπόβαθρο σε βάθος 42 μέτρων (Ζερβοπούλου 2010) ενώ νότια της Εγνατίας και σε βάθος μεγαλύτερο των 45 μέτρων δεν κατάφερε να εντοπιστεί.

Παράλληλα μπορούμε να χαρτογραφήσουμε τα απότομα πρανή της περιοχής εντός του Βυζαντινού Τείχους της πόλης κατεβαίνοντας από την Άνω Πόλη και νοτιότερα προς το θαλάσσιο μέτωπο (Σχ.89). Η ρηξιγενής γραμμή της Αγίου Δημητρίου βρίσκεται σε υψόμετρο περίπου 40 μέτρων και η ρηξιγενής γραμμή της Εγνατίας σε υψόμετρο 15 μέτρων, κατά μήκος της οδού Αγ. Σοφίας. Οι κλίσεις τις οδού Αγίας Σοφίας από την αρχή της στην Άνω Πόλη μέχρι τη θάλασσα φαίνονται στην παρακάτω τομή (Σχ.91,92).



Σχ.91 Μορφολογική τομή (διογκωμένη 1:10) της οδού Αγ. Σοφίας όπου σημειώνονται τα ίχνη των ρηγμάτων Αγ. Δημητρίου και Εγνατίας.

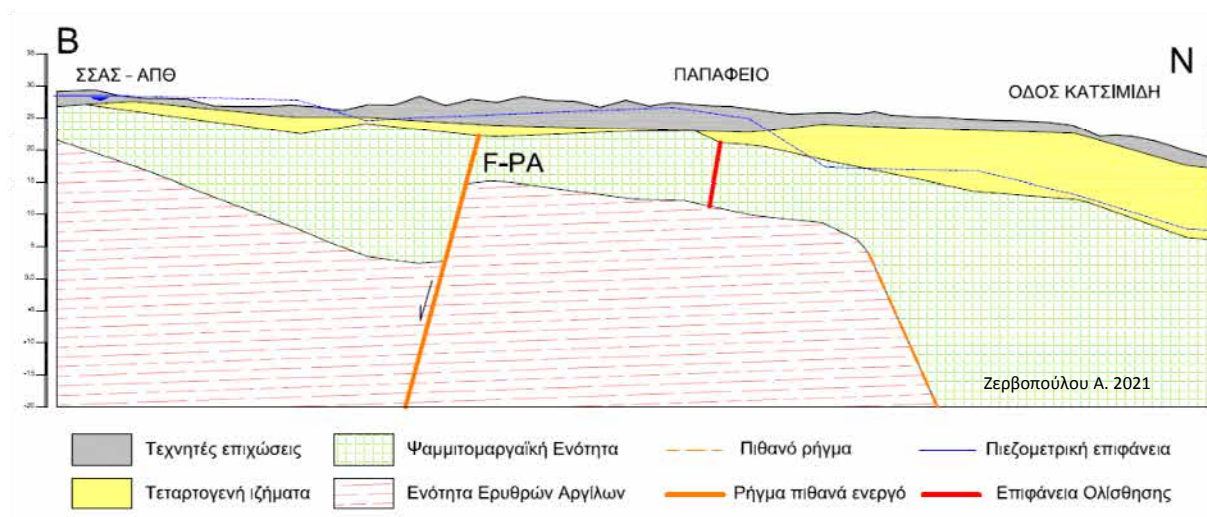
Η διαφορά υψομέτρου επισημαίνεται και από αρχαιολόγους οι οποίοι μελέτησαν τα δάπεδα δύο γειτονικών ναών του Αγ. Παντελεήμονος και της Μεταμορφώσεως του Σωτήρος ίδιας περίπου ηλικίας (1.300μ.Χ.) εκατέρωθεν της Εγνατίας οδού. Οι ναοί απέχουν μεταξύ τους οριζόντια απόσταση περίπου 100 μέτρα ενώ η υψομετρική διαφορά των δαπέδων τους κατά την φάση κατασκευής τους είναι 6 μέτρα (Γκαλά – Γεωργιά 2015). Σήμερα η υψομετρική διαφορά μεταξύ των ναών στην επιφάνεια του εδάφους είναι 4 μέτρα περίπου. Η εκκλησία Μεταμορφώσεως του Σωτήρος βρίσκεται βαθύτερα από την σημερινή επιφάνεια του εδάφους.



Σχ.92 Γεωτεχνικές τομές κάθετες στην πόλη της Θεσσαλονίκης (BA-ND) οι οποίες έχουν προέλθει από την καταγραφή μικροθρύβου και από δειγματοληπτικές γεωτρήσεις. Στην πρώτη εικόνα είναι εμφανές το υπόβαθρο με τον συμβολισμό G στο κόκκινο πλαίσιο και οι νεότερες αποθέσεις. Διακρίνονται με τις κόκκινες γραμμές οι δύο ρηξιγενείς δομές της Αγίου Δημητρίου και Εγνατίας ενώ με την διακεκομμένη η πιθανή τρίτη ρηξιγενής δομή παράλληλα στην οδό Νίκης. Στην δεύτερη εικόνα έχει σχεδιαστεί η ρηξιγενής δομή της Εγνατίας οδού. (Αποστολίδης Π. 2002, Anastasiadis et al. 2001).

Ρήγματα Πεδίου Άρεως

Το ρήγμα Πεδίου Άρεως εντοπίστηκε κατά την διάτρηση δειγματοληπτικών γεωτρήσεων στην ευρύτερη περιοχή Παπαφείου (οδός Νευροκοπίου). Ονομάστηκε έτσι λόγω του ομώνυμου ρέματος το οποίο διασχίζει την περιοχή και πιθανά το ακολουθεί δυτικότερα. Αναφέρθηκε πρώτη φορά στην διδακτορική διατριβή Ζερβοπούλου 2010. Εντοπίστηκε στο όριο Νεογενών σχηματισμών μεταξύ της ενότητας Ερυθρών Αργίλων και Ψαμμιτομαργαϊκής (Σχ.93). Η διεύθυνσή του είναι περίπου Α-Δ και η κλίση του προς Β. Το άλμα του υπολογίστηκε περίπου στα 15 μέτρα.



Σχ.93 Τομή Β-Ν επί των οδών Εγνατίας και Καραμανλή όπου σχεδιάζονται τα ρήγματα που τις τέμνουν, με διευθύνσεις Α-Δ.

Στην ευρύτερη περιοχή του Παπαφείου η ψαμμιτομαργαϊκή ενότητα εμφανίζεται έντονα κατακερματισμένη με πληθώρα επιφανειών ολίσθησης. Η μεγαλύτερη από αυτές εντοπίστηκε κατά την διάρκεια μεγάλης εκσκαφής στην περιοχή και είναι παράλληλη στην ρηξιγενή δομή του Πεδίου Άρεως. Εμφανίζει επίσης κλίση προς βορρά (Σχ.93). Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω εντοπίστηκε σε βάθος 6 μέτρων στην ψαμμιτομαργαϊκή ενότητα με διεύθυνση Α-Δ και κλίση (40° - 65°) προς Β ($356/55$).



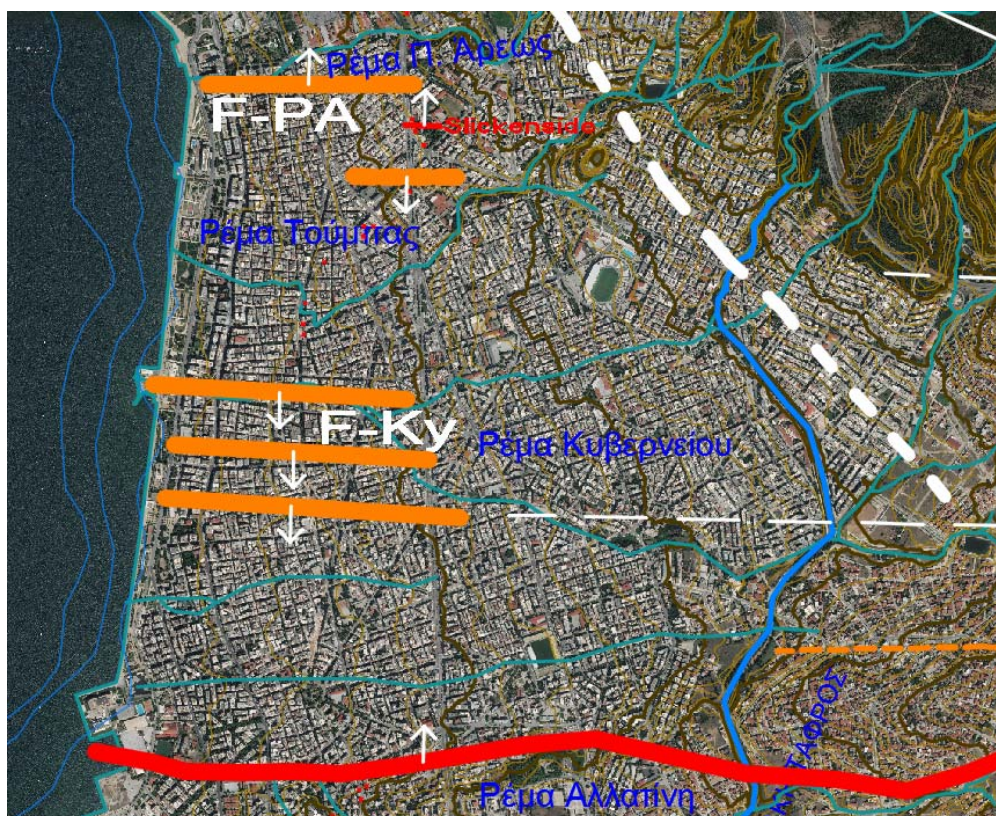
Σχ.94 Δορυφορική εικόνα όπου αποτυπώνονται τα τεκτονικά στοιχεία και το ρήγμα Πεδίου Άρεως (F-PA)

Όπως φαίνεται από την τομή με αντίθετη κλίση προς τα νότια πιθανά να εντοπίζεται και άλλο κανονικό ρήγμα το οποίο βυθίζει την ενότητα των Ερυθρών Αργίλων προς νότο. Πρόκειται για

πιθανό ρήγμα επί της οδού Κατσιμίδα με διεύθυνση Α-Δ και κλίση προς νότο. Η ψαμμιτομαργαϊκή ενότητα στην περιοχή εμφανίζεται έντονα κατακερματισμένη με πληθώρα επιφανειών ολίσθησης.

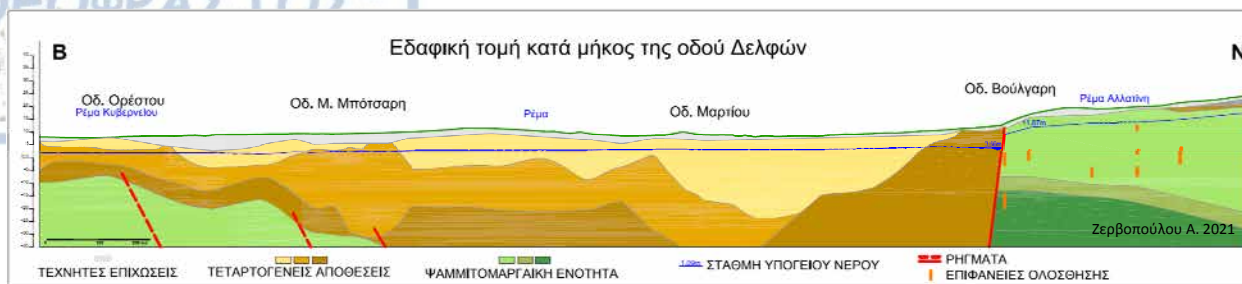
Ρήγματα Κυβερνείου

Ακολουθούν προς νότο τα ρήγματα Κυβερνείου. Πρόκειται για τρία παράλληλα ρήγματα τα οποία εντοπίστηκαν με την βοήθεια δειγματοληπτικών γεωτρήσεων επί της οδού Δελφών κυρίως, στην ευρύτερη περιοχή της Μ. Μπότσαρη στην ανατολική Θεσσαλονίκη (Σχ.95). Αναφέρθηκαν στην διδακτορική διατριβή Ζερβοπούλου το 2010. Τα ρήγματα αυτά εντοπίστηκαν στο όριο τεταρτογενών αποθέσεων και της ψαμμιτομαργαϊκής ενότητας και ονομάστηκαν ρήγματα Κυβερνείου μια και το πρώτο από αυτά χαρτογραφήθηκε παράλληλα στο ρέμα Κυβερνείου, το οποίο και διατρέχει την περιοχή.



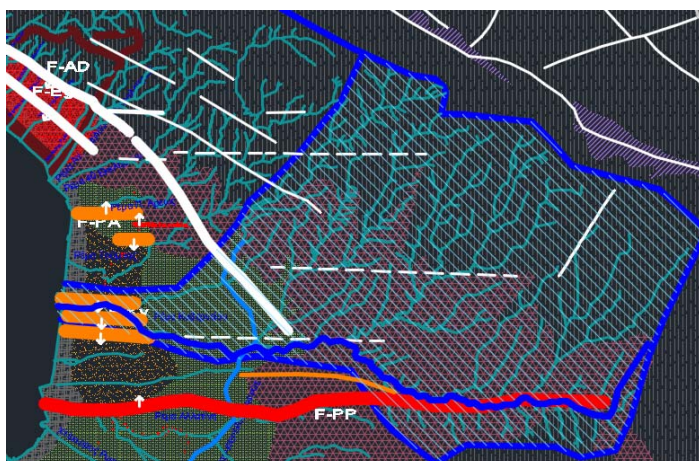
Σχ.95 Δορυφορική εικόνα όπου αποτυπώνονται τα ρήγματα Κυβερνείου (F-Ky) και το ρήγμα Πυλαίας – Πανοράματος (F-PP)

Το πρώτο ρήγμα σχεδιάστηκε παράλληλα στην οδό Ορέστου με διεύθυνση Α-Δ στο γεωλογικό όριο των τεταρτογενών με τις νεογενείς αποθέσεις. Κατά την μελέτη των γεωτρήσεων της περιοχής προέκυψε η σχεδίαση της βύθισης της ψαμμιτομαργαϊκής ενότητας προς νότο η οποία συνεχίζεται στο επόμενο παράλληλο ρήγμα ενώ με το τρίτο στη σειρά το νεογενές υπόβαθρο εμφανίζει μία βύθιση της τάξης των 30 μέτρων σε οριζόντια απόσταση μόλις 500 μέτρα (Σχ.96). Οι μετρήσεις αυτές υπολογίστηκαν με την βοήθεια δειγματοληπτικών γεωτρήσεων σε παράταξη και αναφέρονται επίσης στο κεφάλαιο της γεωλογίας. Τα χαρακτηριστικά των ρηγμάτων αυτών είναι η διεύθυνση Α-Δ και η βύθισή τους προς νότο. Η προέκταση του τρίτου σε σειρά ρήγμα συμπίπτει με τον κύριο κλάδο του ρέματος του Κυβερνείου ο οποίος συνεχίζει ανατολικότερα και εμφανίζεται επίσης μετατοπισμένος βορειότερα.

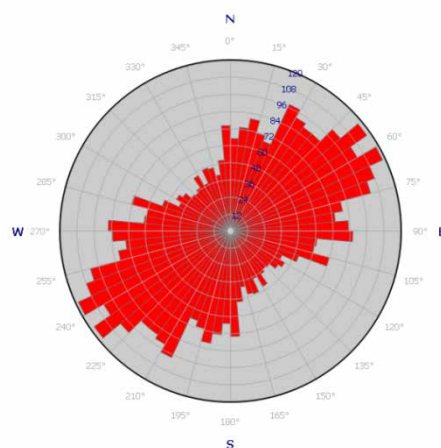


Σχ.96 Γεωλογική τομή της ανατολικής Θεσσαλονίκης (περιοχή Μαρτίου)

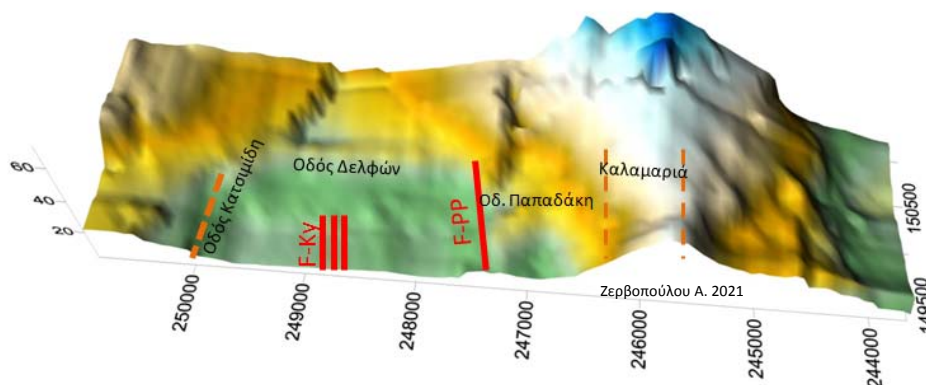
Μορφοτεκτονικά το ρέμα του Κυβερνείου στην περιοχή δυτικά της οδού Δελφών αλλά και της οδού Καραμανλή εμφανίζεται μετατοπισμένο από την μέση γραμμή της λεκάνης απορροής του (Ζερβοπούλου 2010). Οι μετατοπίσεις της κύριας κοίτης ενός ρέματος τις περισσότερες φορές επηρεάζονται από την ύπαρξη τεκτονικών στοιχείων - ρηγμάτων. Από την εφαρμογή ροδοδιαγράμματος διευθύνσεων των κλάδων του ρέματος Κυβερνείου, φαίνεται ότι η πλειοψηφία των κλάδων έχει διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ ενώ του κυρίου ρέματος η διεύθυνση είναι Α-Δ. Η διεύθυνση των κλάδων αλλάζει όταν σε χαμηλότερα υψόμετρα η ροή του νερού συναντάει την ψαμμιτομαργαϊκή ενότητα (Σχ.97).



Γεωλογικός χάρτης της υδρολογικής λεκάνης του ρέματος Κυβερνείου. Με έντονο μπλε χρώμα είναι ο κύριος κλάδος του ρέματος ενώ σχεδιάστηκαν και τα ρήγματα με λευκό χρώμα.



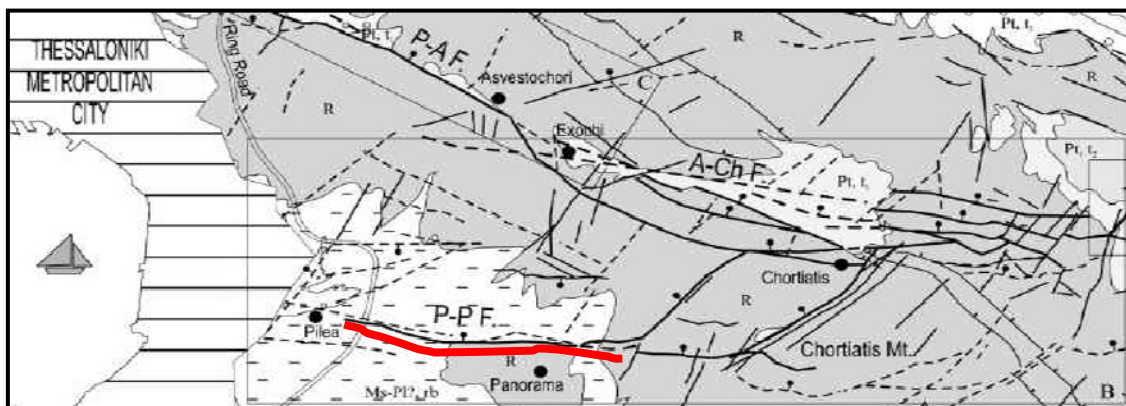
Ροδοδιάγραμμα διευθύνσεων κλάδων του ρέματος Κυβερνείου. Η γενική διεύθυνση των κλάδων είναι ΒΑ-ΝΔ ενώ του κυρίου ρέματος είναι Α-Δ.



Σχ.97 Τρισδιάστατο μοντέλο εδάφους της ΝΑ Θεσσαλονίκης όπου σχεδιάζονται τα ρήγματα του ρέματος Κυβερνείου, το ρήγμα Πυλαίας – Πανοράματος και τα ρήγματα Καλαμαριάς.

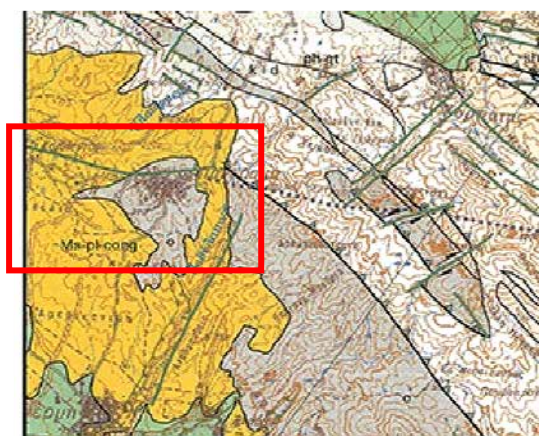
Ρήγμα Πυλαίας – Πανοράματος

Το ρήγμα Πυλαίας – Πανοράματος αναφέρθηκε για πρώτη φορά από τον Μουντράκης et al 1997 στον Νεοτεκτονικό Χάρτη του ΟΑΣΠ (Φύλλο Λαγκαδάς) και από τον Tranos et al. 2003 (Σχ.98,99). Το ρήγμα είχε σχεδιαστεί να εκτείνεται πιθανά από τον Χορτιάτη να διέρχεται βόρεια του Πανοράματος και να σταματάει στην Πυλαία. Χαρακτηρίστηκε ως ανενεργό ρήγμα το 1997. Μελετήθηκε η προέκτασή του στον αστικό ιστό της Θεσσαλονίκης στην διδακτορική διατριβή της Ζερβοπούλου 2010.



Σχ.98 Γεωλογικός-τεκτονικός χάρτης της περιοχής ανατολικά της Θεσσαλονίκης, P-P F.: ρήγμα Πυλαίας-Πανοράματος (Kockel et al., 1978, Tranos et al. 2003).

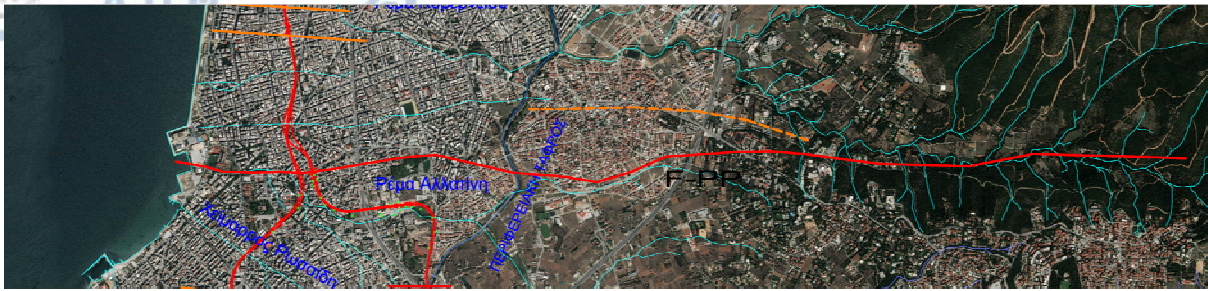
Πρόκειται για ένα κανονικό ρήγμα με γενική διεύθυνση Α-Δ ($B95-100^0$) και κλίση $60-90^0$ προς Βορρά. Το ρήγμα Πυλαίας – Πανοράματος αποτελεί το σημαντικότερο ρήγμα που διασχίζει το πολεοδομικό Συγκρότημα Θεσσαλονίκης και επηρεάζει μορφολογικά τον αστικό ιστό. Διέρχεται βόρεια του Πανοράματος παράλληλα στον ανατολικό κλάδο του Ρέματος Κυβερνείου που ονομάζεται Ελαιόρεμα. Διασχίζει την Πυλαία, την Νέα Ελβετία, διέρχεται βόρεια της οδού Βούλγαρη και καταλήγει τελικά στην ακτογραμμή στην περιοχή του Αλλατίνη και τις εκβολές του αντίστοιχου ρέματος στον Θερμαϊκό κόλπο. Το δυτικότερο τμήμα του ακολουθεί το ρέμα Αλλατίνη. Το ρήγμα είναι ορατό λόγω της έντονης διαφοράς μορφολογίας που παρουσιάζει εκατέρωθεν των τμημάτων του. Οι μορφολογικές διαφορές είναι εντονότερες ανατολικά ενώ δυτικότερα μέσα στον αστικό ιστό είναι ηπιότερες κυρίως λόγω της έντονης οικιστικής ανάπτυξης της περιοχής. Τα παραπάνω γίνονται αντιληπτά στον χάρτη των ισοϋψών γραμμών που ακολουθεί.



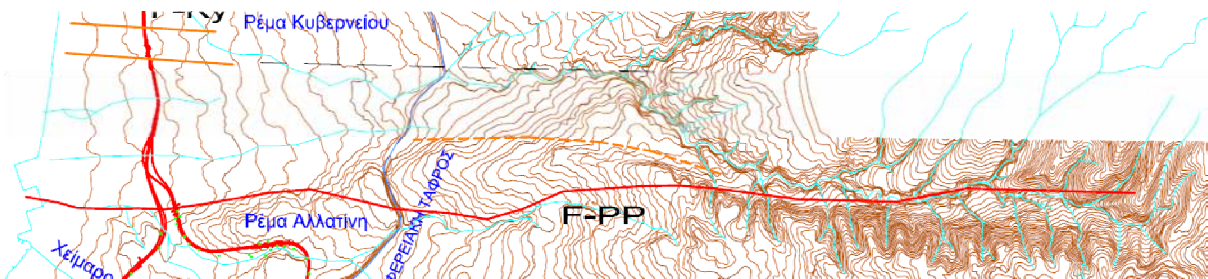
Σχ.99 Απόσπασμα Νεοτεκτονικού Χάρτη (φύλλο Λαγκαδάς) όπου είναι σχεδιασμένο το ρήγμα Πυλαίας – Πανοράματος με πράσινο χρώμα (ανενεργό ρήγμα) (Μουντράκης et al 1997).

Κατά την χάραξη του ρήματος και ακολουθώντας την μορφολογία της περιοχής είναι πιθανό να υπάρχει και δεύτερος κλάδος βορειότερα ο οποίος επίσης επηρεάζει το μορφοανάγλυφο. Η συνέχεια του κλάδου αυτού χάνεται μέσα στο πυκνοδομημένο περιβάλλον κατά μήκος της οδού Μαρτίου και στο μεγάλο πάχος των τεταρτογενών ιζημάτων στα χαμηλότερα υψόμετρα. Κάθετα

στα ίχνη των 2 αυτών ρηγμάτων έχουν γίνει μορφολογικές τομές οι οποίες φαίνονται παρακάτω και έχουν σχεδιαστεί οι δύο κλάδοι του ρήγματος Πυλαίας – Πανοράματος (Σχ.100).



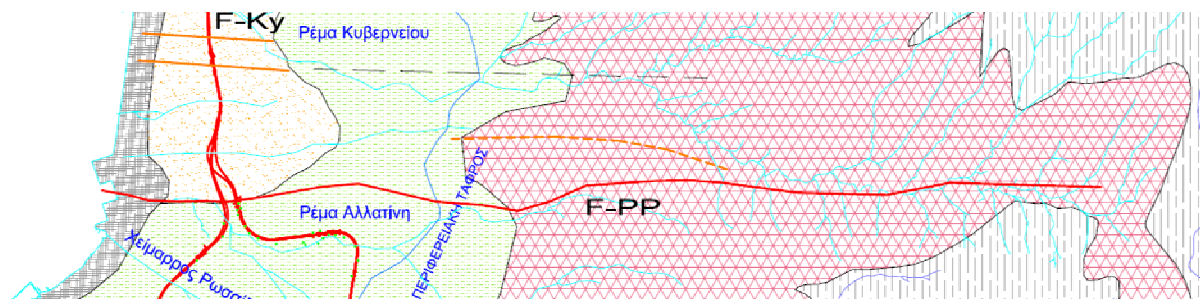
Δορυφορική εικόνα όπου αποτυπώνονται το κύριο ρήγμα Πυλαίας – Πανοράματος F-PP) και το πιθανό παράλληλα σε αυτό ρήγμα με πορτοκαλί χρώμα.



Αποτύπωση ισοϋψών γραμμών από χάρτη ΓΥΣ 1:5.000 του 1945 στο ρήγμα Πυλαίας – Πανοράματος F-PP)

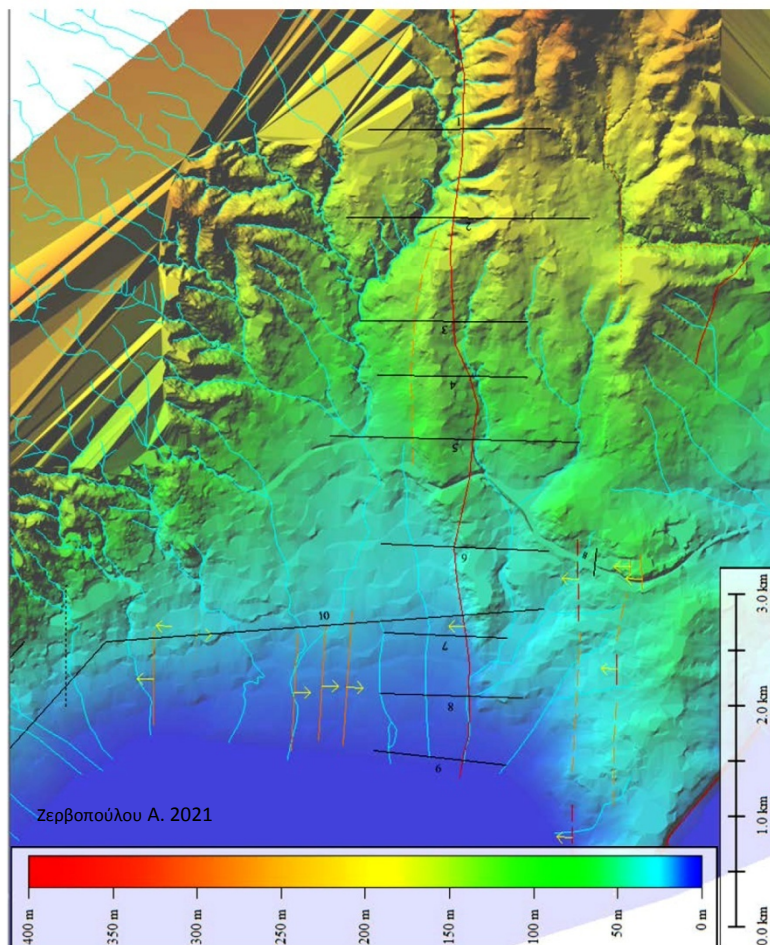
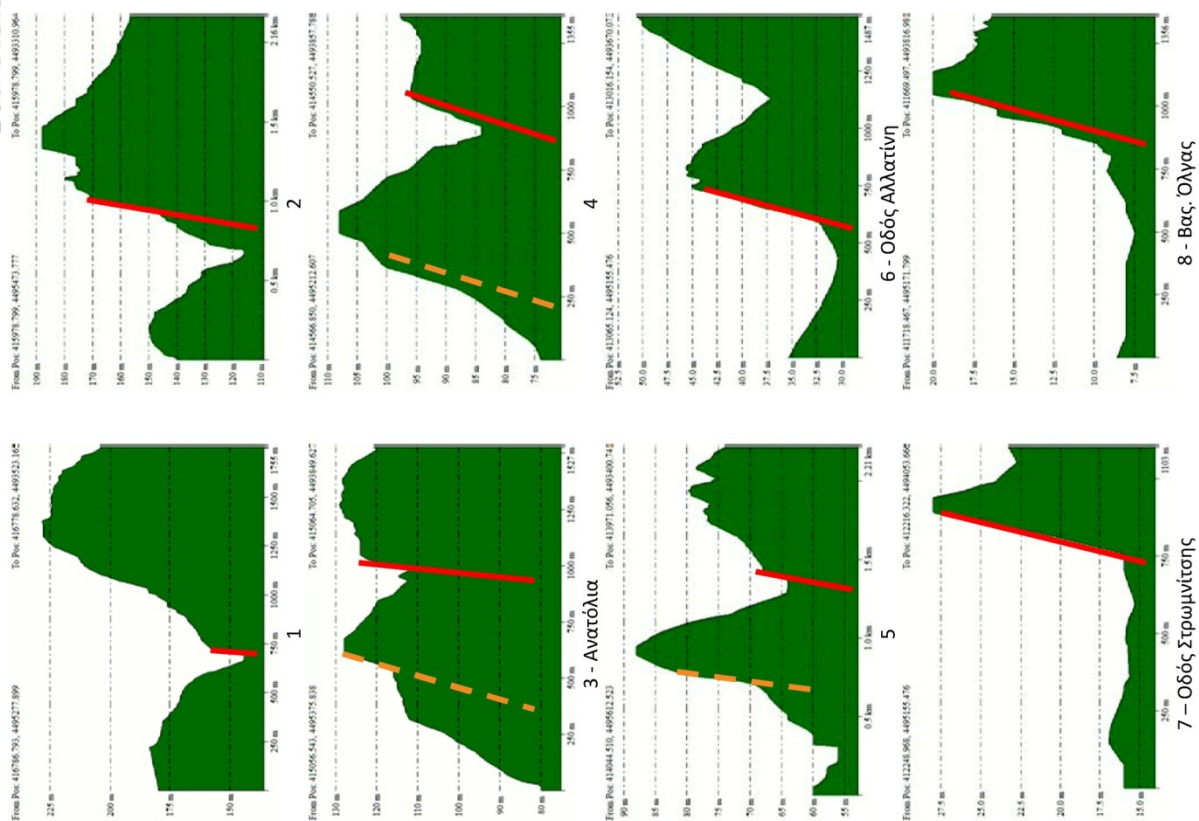


Χάρτης αναγλύφου στην περιοχή του ρήγματος Πυλαίας – Πανοράματος F-PP)



Τμήμα γεωλογικού χάρτη όπου αποτυπώνεται το ρήγμα Πυλαίας – Πανοράματος F-PP) με τον βόρειο πιθανό κλάδο του.

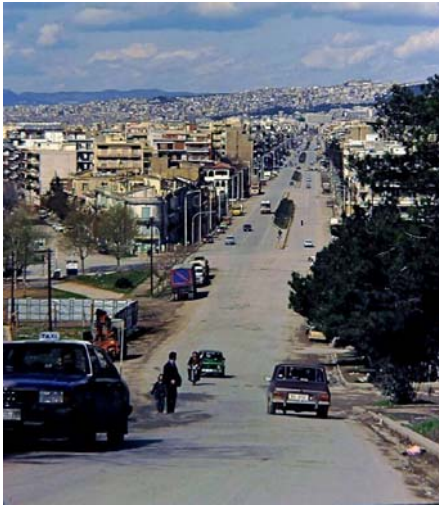
Σχ.100 Διάφορες τομές εδάφους στο ρήγμα Πυλαίας - Πανοράματος



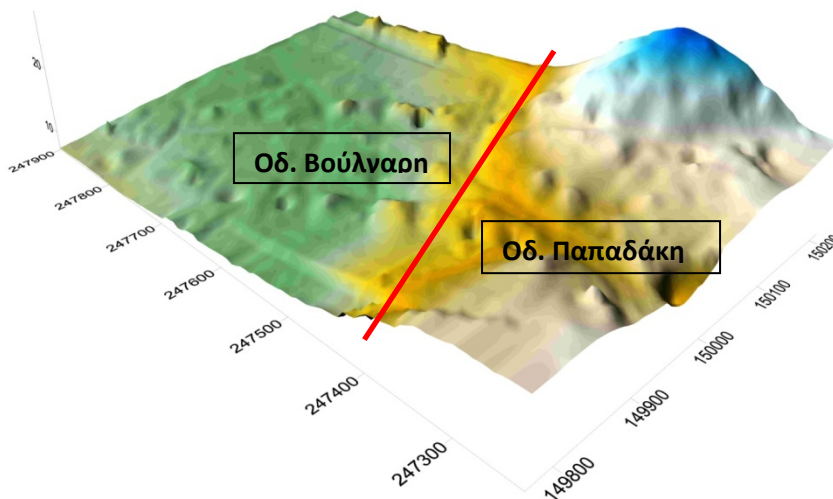
Μορφολογικές τομές κάθετα στο ρήγμα Πυλαίας – Πανοράματος. Οι τομές αριθμούνται από τα ανατολικά προς τα δυτικά από 1-8 και έχουν διεύθυνση Β-Ν.
Με κόκκινο χρώμα απεικονίζεται το ρήγμα Πυλαίας – Πανοράματος και με πορτοκαλί χρώμα ο βόρειος κλάδος του.

Για την χαρτογράφηση του ρήγματος επί της οδού Βούλγαρη συνέβαλαν γεωτρήσεις για την κατασκευή του Μετρό. Στη συμβολή των οδών Βούλγαρη και Παπαδάκη εμφανίζεται έντονη μεταβολή και ανύψωση της περιοχής νότια της οδού μέχρι και κατά 8 μέτρα, ενώ στην οδό Ι. Πολέμη σε μία απόσταση των 190 μέτρων το υψόμετρο ανέρχεται περίπου 15 μέτρα (Ζερβοπούλου 2010).

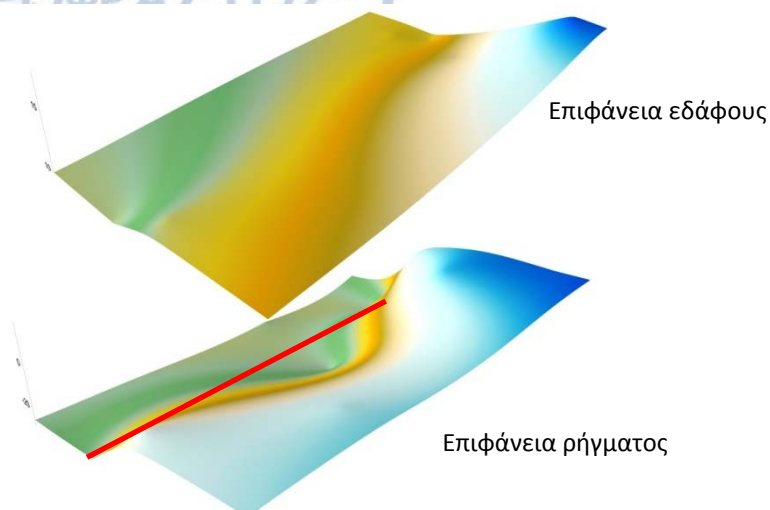
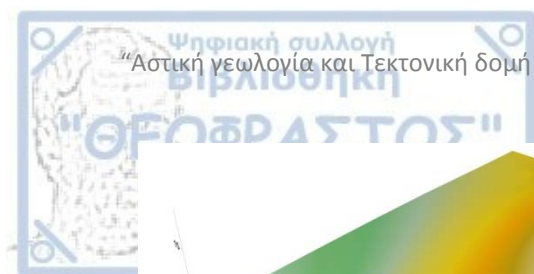
Τα στοιχεία του ρήγματος όπως αυτά υπολογίστηκαν με βάση γεωτρήσεις στην ευρύτερη περιοχή και με βάση το ανάγλυφο είναι $352/65-88^{\circ}$. Οι διαφορές στην κλίση της επιφάνειας του ρήγματος οφείλονται στην έλλειψη περισσότερων γεωτρήσεων εκατέρωθεν του ρήγματος που θα μπορούσαν να συμβάλουν στην λεπτομερέστερη μελέτη του ρήγματος (Σχ.101,102,103).



Σχ.101 Φωτογραφίες της προέκτασης της τότε οδού Νέας Εγνατίας (σήμερα Λεωφόρος Κ. Καραμανλή) από τον λόφο της Νέας Ελβετίας. Φωτογραφίες εποχής (~1980) (Δημόσια Ομάδα, Παλιές φωτογραφίες της Θεσσαλονίκης: <https://www.facebook.com/groups/oldthessaloniki>). Εύκολα παρατηρούμε τις μεγάλες κλίσεις του οδοστρώματος.



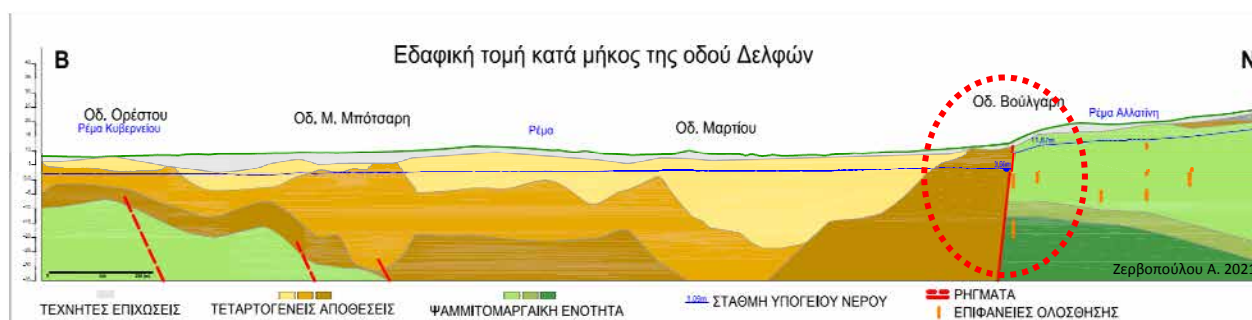
Σχ.102
Αποτύπωση απότομης μορφολογίας της συμβολής των οδών Βούλγαρη – Παπαδάκη όπου φαίνεται η ταπείνωση της περιοχής κατάντη του ρήγματος



Σχ.103 Τρισδιάσταση απεικόνιση της επιφάνειας του εδάφους στην πρώτη εικόνα.

Στην δεύτερη εικόνα η επιφάνεια του ρήγματος Πυλαίας – Πανοράματος κατά την αποτύπωση του ορίου της ψαμμιτομαργαϊκής ενότητας με τις τεταρτογενείς αποθέσεις. Περιοχή Βούλγαρη. Στοιχεία από γεωτρήσεις στην ευρύτερη περιοχή.

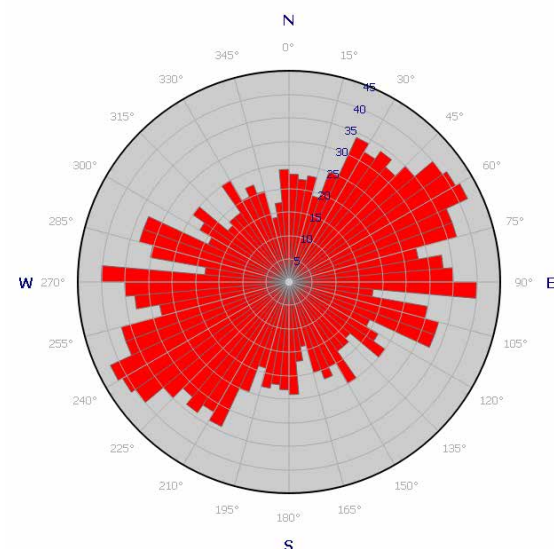
Το ρήγμα Πυλαίας – Πανοράματος αποτελεί όριο μεταξύ διαφορετικών γεωλογικών σχηματισμών και διαφορετικής ηλικίας κάτι που δείχνει τις δραστηριοποιήσεις μέσα στον χρόνο. Λόγω των γεωλογικών διαφοροποιήσεων κυρίως χωρίστηκε σε 4 τμήματα μήκους 3km περίπου το καθένα. Το πρώτο τμήμα του διέρχεται από το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο, το δεύτερο βρίσκεται στο όριο των Μειοκαινικών σχηματισμών της ενότητας των Ερυθρών Αργίλων με το μεταμορφωμένο υπόβαθρο, ενώ το τρίτο τμήμα διασχίζει τα Μειοκαινικά ιζήματα των Ερυθρών Αργίλων νότια της Πυλαίας προς την πόλη της Θεσσαλονίκης. Το τέταρτο τμήμα βρίσκεται στο όριο τεταρτογενών αποθέσεων και της νεογενούς ψαμμιτομαργαϊκής ενότητας, με μετατόπιση μεγαλύτερη των 40 μέτρων και κλίση περίπου στις 70° (Σχ.104,105).



Σχ.104 Γεωλογική τομή της ανατολικής Θεσσαλονίκης όπου είναι χαρτογραφημένο το ρήγμα Πυλαίας – Πανοράματος. Είναι ορατή η ταπείνωση του νεογενούς υποβάθρου (ψαμμιτομαργαϊκή ενότητα) μεταξύ των οδών Μπότσαρη και Βούλγαρη.

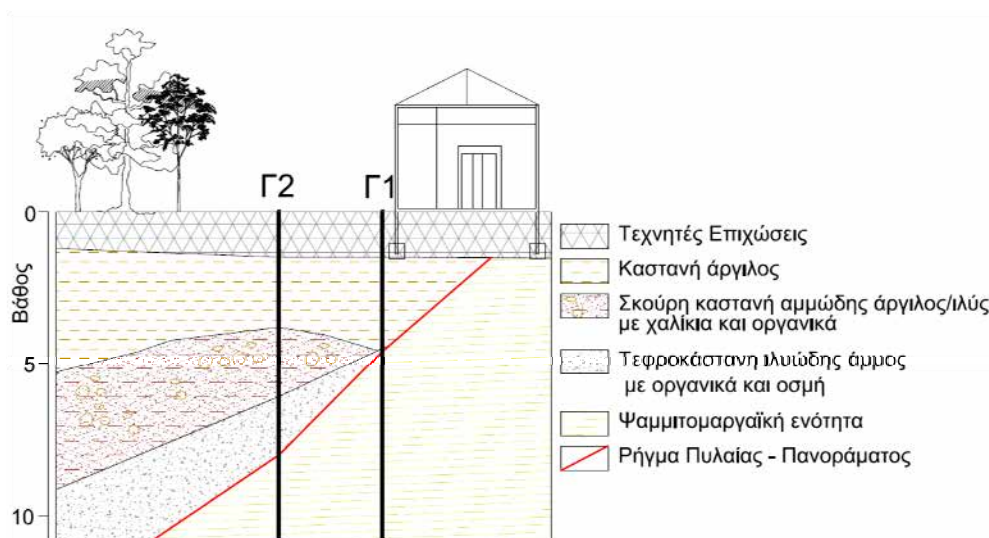
Το ρήγμα Πυλαίας – Πανοράματος χαρακτηρίζεται πλέον ως ενεργό μια και πληροί τα κριτήρια ενεργότητας που αναφέρονται από Παυλίδης 2003.

1	Προσανατολισμός στο ενεργό πεδίο των τάσεων της περιοχής Α-Δ.
2	Οριοθετεί σχηματισμούς διαφορετικών ηλικιών και Τεταρτογενών αποθέσεων (κριτήριο χαρακτηρισμού του ως νεοτεκτονικό ρήγμα σύμφωνα με Παυλίδης 2003).
3	Καταγραφή σε γεωτρήσεις παλαιοεδάφους στην επιφάνεια του ρήγματος.
4	Απότομη μορφολογία εκατέρωθεν του ρήγματος.
5	Μικροσεισμικότητα. Ο τελευταίος μικροσεισμός που πιθανά σχετίζεται με το συγκεκριμένο ρήγμα καταγράφηκε 9/1/2012 με μέγεθος $M=3,1$.
6	Μορφοτεκτονικοί δείκτες όπως ασυμμετρία λεκάνης απορροής και ανάπτυξης κλάδων υδρογραφικού δικτύου όπως και εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας δηλώνουν την ύπαρξη ενεργούς τεκτονικής.



Σχ.105β. Ροδοδιάγραμμα διευθύνσεων κλάδων του Ελαιορέματος. Η γενική διεύθυνση των κλάδων είναι ΒΑ-ΝΔ ενώ σημαντική είναι η πυκνότητα των κλάδων και προς τη διεύθυνση Α-Δ, η οποία είναι και η διεύθυνση του κυρίως ρέματος.

Δειγματοληπτικές γεωτρήσεις που έγιναν εκατέρωθεν του ρήγματος με σκοπό την εξαγωγή στοιχείων για την μελέτη του κατέγραψαν στρώση παλαιοεδάφους στην επιφάνειά του (Σχ.106,107). Η στρώση αυτή συνίσταται από ιλυώδη τεφροκάστανη άμμο έως αμμώδη ιλύ με παρουσία χαλίκων, ασβεστιτικών συγκριμάτων και οργανικών. Χαρακτηριστικό είναι ότι παρουσιάζει έντονη οσμή. Ανάλογα με την θέση της διάτρησης έχει βρεθεί σε βάθη 4,5 μέτρων και 8 μέτρων. Αποτελεί το όριο με την νεογενή ψαμμιτομαργαϊκή ενότητα. Πάνω από αυτή την στρώση εντοπίστηκε στρώμα σκουρόχρωμης καστανής αμμώδης αργίλου με χαλίκια πρασινοσχιστολιθικά και ασβεστιτικά συγκρίματα. Χαρακτηριστική είναι επίσης η παρουσία οργανικών. Σε γεώτρηση δυτικότερα άνωθεν της επαφής των τεταρτογενών αποθέσεων με τους νεογενείς στην επιφάνεια του ρήγματος καταγράφηκε απόθεση ασύνδετων λατυπών διαφορετικής σύστασης σε στρώμα πάχους 0,60 μέτρων.



Μεταδιδακτορική Έρευνα 2021 - Ζερβοπούλου Άννα
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης



Έντονα διαταραγμένο έδαφος αμμώδους αργίλου με χάλικες σκούρου καστανού χρώματος. Βάθος 4,5 μέτρων, γεώτρηση Γ1).



Παρουσία οργανικών σε αμμώδη άργιλο σε τμήμα πυρήνα γεώτρησης. Βάθος 7,00 μέτρα, γεώτρηση Γ2).

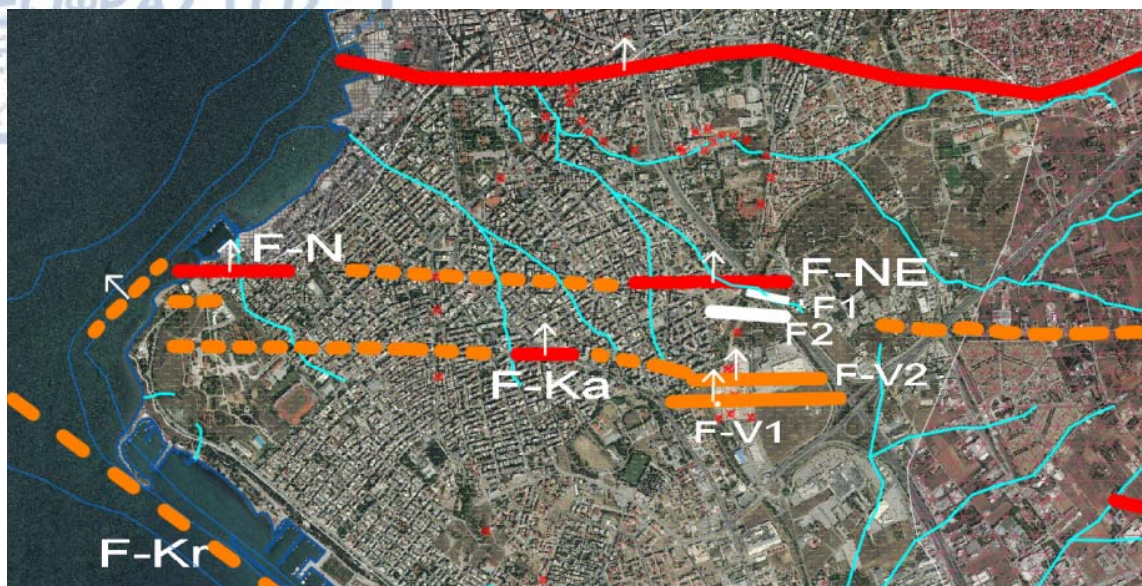
Σχ.107 Φωτογραφίες πυρήνων γεώτρησης στο ρήγμα Πυλαίας - Πανοράματος

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει και η στάθμη των υπογείων υδάτων εκατέρωθεν του ρήγματος. Ανάντη του ρήγματος η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα βρίσκεται σε απόλυτο υψόμετρο 10 μέτρων ενώ κατόντη του ρήγματος η στάθμη βρίσκεται σε απόλυτο υψόμετρο 4 μέτρων. Πρόκειται δηλαδή για μία διαφορά 6 μέτρων υποβιβασμού της στάθμης υδάτων σε οριζόντια απόσταση μόλις 10 μέτρων. Η διαφορά των 6 μέτρων της στάθμης του νερού εκατέρωθεν του ρήγματος διατηρήθηκε και σε άλλη θέση δυτικότερα όπου υπήρξαν διαθέσιμες μετρήσεις.

Κατά την διάτρηση της ψαμμιτομαργαϊκής ενότητας στην περιοχή του ρήγματος παρατηρήθηκε πληθώρα επιφανειών ολίσθησης στις αργιλικές στρώσεις του σχηματισμού, σε βάθη έως και το τέλος των γεωτρήσεων (40m). Καταγράφηκε επίσης σε πολύ μικρή απόσταση από το ίχνος του ρήγματος 15 μέτρα έντονης διακλασμένης ζώνης με κλίσεις μικρό-επιφανειών 40° και παρουσία γραμμώσεων ολίσθησης στις επιφάνειες.

Ρήγματα Καλαμαριάς

Το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής του δήμου της Καλαμαριάς γεωλογικά θεμελιώνεται στην νεογενή ψαμμιτομαργαϊκή ενότητα. Η μελέτη των ρηγμάτων της περιοχής της Καλαμαριάς Θεσσαλονίκης ξεκίνησε με την καταγραφή ενός ρήγματος μέσα στον αστικό ιστό της πόλης κατά την εκσκαφή μίας οικοδομής το 2004. Το ρήγμα αυτό χαρτογραφήθηκε κατά την διάρκεια εκσκαφής οικοδομής και χαρακτηρίστηκε ως ενεργό, ύστερα από γεωχρονολογήσεις.



Σχ.108 Δορυφορική εικόνα με την σχεδίαση των ρηγμάτων της περιοχής Καλαμαριάς. Με κόκκινο χρώμα τα ρήγματα που έχουν χαρτογραφηθεί ενώ με πορτοκαλί η σύνδεση και επέκτασή τους.

Σε επόμενες εκσκαφές στην περιοχή Βότση εντοπίστηκαν και άλλα ρήγματα μικρού και μεγαλύτερου επιφανειακού ίχνους. Τα ρήγματα αυτά καταγράφηκαν κυρίως να μετατοπίζουν στρώματα της ψαμμιτομαργαϊκής ενότητας. Παράλληλα στην παραθαλάσσια περιοχή του ακρωτηρίου Μικρό Έμβολο εντοπίστηκαν επίσης κάποια ρήγματα (Σχ.108). Τα μεμονωμένα αυτά ρήγματα γίνεται μια προσπάθεια να συνδεθούν μεταξύ τους και να υπολογιστεί βιβλιογραφικά το πιθανό πραγματικό μήκος τους. Πρόκειται ως επί το πλείστον για ανενεργά ρήγματα τα οποία δραστηριοποιήθηκαν κατά την διάρκεια του νεογενούς. Παρόλα αυτά αξίζει να μελετηθούν μια και η διεύθυνσή τους συμπίπτει με το ενεργό πεδίο τάσεων της περιοχής της Θεσσαλονίκης.

Ρήγματα Ακτογραμμής

Το ακρωτήριο Μικρό Έμβολο βρίσκεται σε μία ανυψωμένη μορφολογικά περιοχή με γεωλογικό υπόβαθρο τα ανώτερα στρώματα της ψαμμιτομαργαϊκής ενότητας. Εμφανίζει απότομα πρανή ύψους μέχρι και 20 μέτρα και από τις δύο πλευρές της ακτογραμμής. Στην κορυφή έχει θεμελιωθεί το 1950 το Παλατάκι ή Κυβερνείο.

Κατά την γεωλογική χαρτογράφηση της ακτογραμμής, στην παραθαλάσσια περιοχή του ακρωτηρίου Μικρό Έμβολο χαρτογραφήθηκε η επαφή, σε διάφορα σημεία, της νεογενούς ψαμμιτομαργαϊκής ενότητας με τις τεταρτογενείς αποθέσεις. Η επαφή αυτή εμφανίζεται ιδιαίτερα διαβρωμένη λόγω της δράσης των κυμάτων και πιστεύεται ότι τα ρήγματα αυτά βρίσκονται στον θαλάσσιο χώρο (Σχ.110). Στο ακρωτήριο χαρτογραφήθηκαν τελικά δύο ρήγματα (Σχ.109). Το βόρειο από αυτά **F-PI** έχει διεύθυνση περίπου ΒΑ-ΝΔ με κλήση προς ΒΔ. Ενώ το νότιο είναι το ρήγμα της Κρήνης **F-Kr** που θα αναλυθεί παρακάτω.



Σχ.109 Απόψεις από drone (google maps) της περιοχής στο Παλατάκι (Ακρ. Μικρό Έμβολο) όπου φαίνεται η γωνία της ψαμμιτομαργαϊκής ενότητας στην ακτογραμμή.

Βορειότερα στην περιοχή νότια του Ναυτικού Ομίλου χαρτογραφήθηκε μία ακόμη επαφή / ρήγμα της ψαμμιτομαργαϊκής ενότητας με τεταρτογενείς αποθέσεις. Η ασυνέχεια εντοπίστηκε και σε δειγματοληπτικές γεωτρήσεις που έγιναν στην περιοχή. Στο τεκτονικό αυτό όριο εξαφανίζεται το στρώμα των τεφρών αργίλων της περιοχής αλλά και τα τεταρτογενή ιζήματα προς τα νότια. Το ρήγμα αυτό **F-N** έχει διεύθυνση Α-Δ και κλίση προς Β.



Σχ.110α Στρώσεις της ψαμμιτομαργαϊκής ενότητας στην περιοχή βόρεια από το Παλατάκι. Λεπτόκοκκη άμμος υπόλευκου έως γκρι χρώματος στα ανώτερα στρώματα και στα κατώτερα υπόλευκη έως μπεζ άργιλος.



Σχ.110β Επιφάνεια ολίσθησης στο όριο των στρώσεων της ψαμμιτομαργαϊκής ενότητας.

Σχ.110 Λεπτομέρειες ψαμμιτομαργαϊκής ενότητας σε φυσικά πρηνή



Σχ.110γ Επιφάνειες ολίσθησης στην ψαμμιτομαργαϊκή ενότητα στο όριο με σύγχρονες παράκτιες άμμους (περιοχή ΝΟΘ)

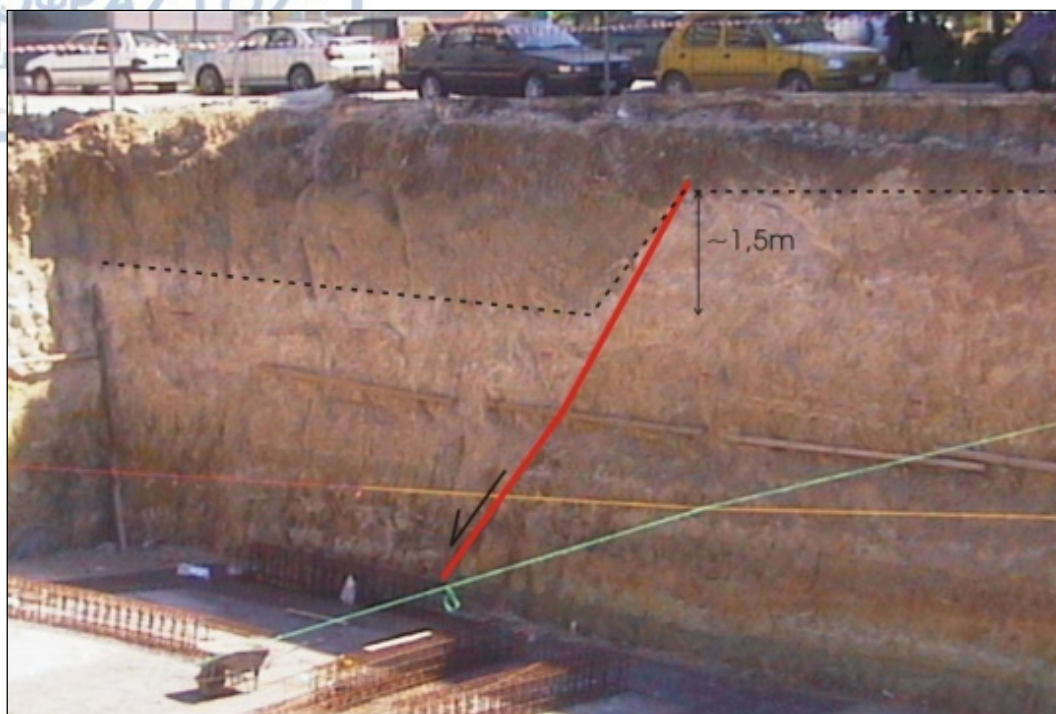


Σχ.110δ Διάκλαση στην ψαμμιτομαργαϊκή ενότητα στην περιοχή ΝΟΘ

Ρήγμα Καλαμαριάς

Το πρώτο χαρτογραφημένο ρήγμα είναι το ρήγμα Καλαμαριάς (**F-Ka**). Έχει γενική διεύθυνση Α-Δ ($B100-110^0$) και κλίση προς Β. Η μετατόπιση μετρήθηκε στο 1,5m μέσα στα όρια της εκσκαφής (Σχ.111). Το επιφανειακό μετρήσιμο ίχνος του ρήγματος είναι στα όρια της εκσκαφής, ενώ από το ύψος της μετατόπισης του 1,5 μέτρου και με βάση το διάγραμμα των Kim and Sanderson, 2005 μπορούμε να υποθέσουμε ότι πρόκειται για ρήγμα μήκους τουλάχιστον 80 μέτρων.

Για το ρήγμα αυτό πραγματοποιήθηκε ραδιοχρονολόγηση με Radiocarbon και $\delta^{13}C$ σε δύο δείγματα εκατέρωθεν του ρήγματος, από το πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης Α.Π.Θ. το 2005. Υπολογίστηκαν οι ηλικίες δραστηριοποίησης του ρήγματος από την χρονολόγηση των δειγμάτων που ελήφθησαν (Χατζηπέτρος Α., Παυλίδης Σ.) από το άνω τέμαχός του. Οι ηλικίες αυτές ήταν 1.750 και 2.500YBP. Δηλαδή το ρήγμα εμφανίζεται να έχει δραστηριοποιηθεί πριν από δύο χιλιάδες χρόνια περίπου (Ζερβοπούλου 2010). Λόγω της δραστηριοποίησής του στα ιστορικά χρόνια αλλά και λόγω του προσανατολισμού στο ενεργό πεδίο τάσεων, το ρήγμα αυτό κατατάσσεται στα ενεργά.



Σχ.111 Καταγραφή σε εκσκαφή οικοδομής του ρήγματος Καλαμαριάς με κόκκινο χρώμα. Με διακεκομμένη γραμμή απεικονίζεται η στρώση με μετατόπιση 1,5 μέτρου περίπου (Φωτ. Χατζηπέτρος Α., Ζερβοπούλου 2010).

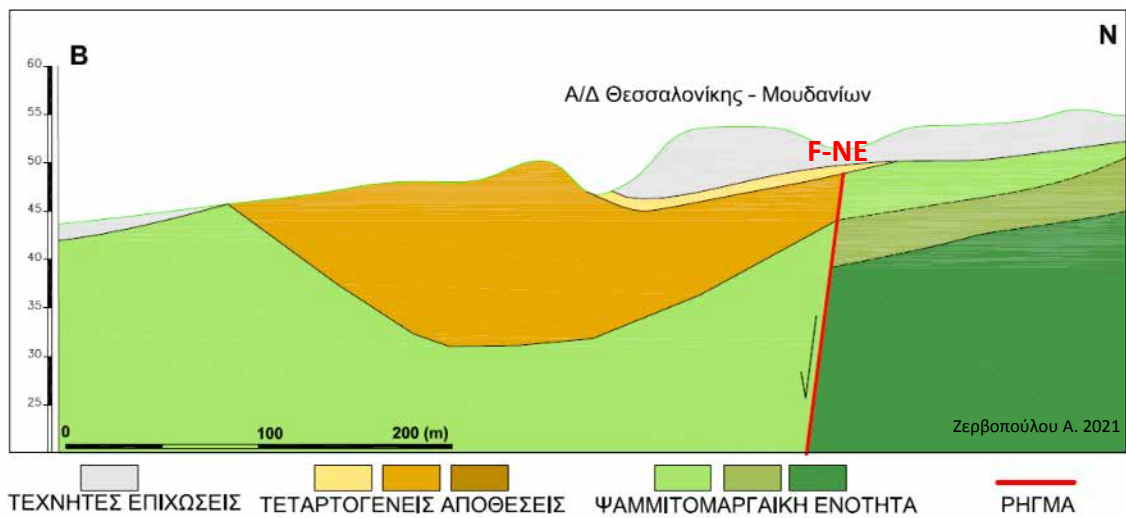
Ρήγματα περιοχής Νέας Ελβετίας

Πρόκειται για ρήγματα τα οποία εντοπίστηκαν κατά την διάνοιξη εκσκαφών για την κατασκευή του Μετρό Θεσσαλονίκης. Τα ρήγματα αυτά καταγράφονται σε στρώματα της ψαμμιτομαργαϊκής ενότητας. Δεν εμφανίζονται δηλαδή να μετατοπίζουν στρώσεις διαφορετικής ηλικίας. Πολλά από αυτά έχουν σημειακή εμφάνιση και είναι πολύ δύσκολο να εντοπιστεί το μήκος του επιφανειακού ίχνους τους. Παρόλα αυτά από τις γεωλογικές μετρήσεις έχει καταγραφεί η γενική διεύθυνσή τους Α-Δ και η μετατόπισή τους.

Κατά την διάνοιξη γεωτρήσεων στην περιοχή καταγράφηκε πληθώρα επιφανειών ολίσθησης στην ψαμμιτομαργαϊκή ενότητα και σε στρώσεις περισσότερο αργιλικές. Οι κλίσεις των επιφανειών αυτών κυμαίνονται από 45-85° και εμφανίζονται και ως διακλασμένες ζώνες, με πυκνές επιφάνειες ολίσθησης. Καταγράφηκαν σε διάφορα βάθη έως και τα 45 μέτρα.

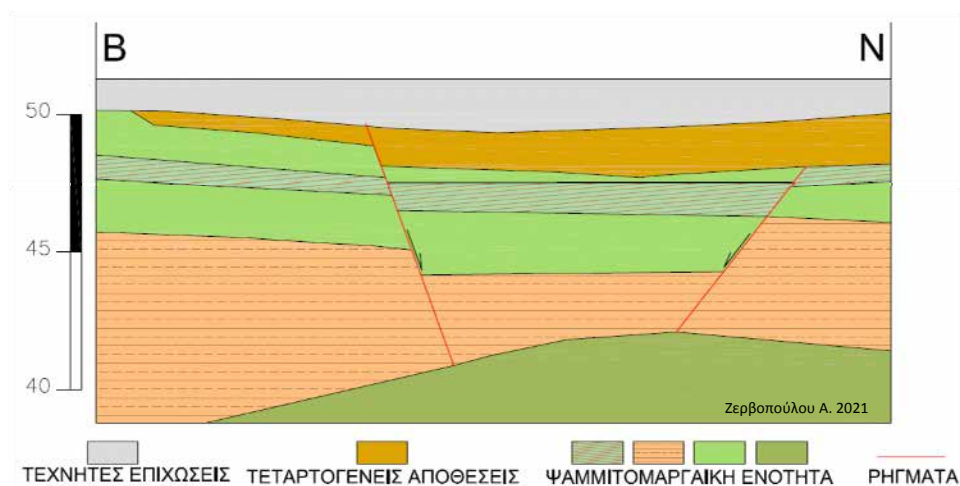
Το πρώτο από αυτά είχε ήδη εντοπιστεί κατά την διάτρηση γεωτρήσεων στην περιοχή και ονομάστηκε ως ρήγμα Νέας Ελβετίας (**F-NE**) (Σχ.112). Αποτελεί όριο μεταξύ διαφορετικών στρωμάτων νεογενούς ηλικίας, όπου εμφανίζονται αργιλικές στρώσεις με παρουσία λιμνοθαλάσσιων απολιθωμάτων και ξυλιτών (Ζερβοπούλου 2010). Έχει διεύθυνση περίπου Α-Δ και κλίση 82° προς Β (υπολογισμός ύστερα από συσχέτιση τομών γεωτρήσεων και χαρτογραφήσεων). Πιθανά συνδέεται με κλάδο του ρέματος Αλλατίνη. Στο κατερχόμενο βόρειο τέμαχος καταγράφηκε πάχος 10 μέτρων τεταρτογενών ιζημάτων, τα οποία χαρακτηρίζονται ως ζώνη διάβρωσης της ψαμμιτομαργαϊκής ενότητας. Άρα μπορεί να υπολογιστεί πιθανό άλμα του ρήγματος στα 10 μέτρα. Επιφανειακά δεν μπορεί να συσχετιστεί το μορφοανάγλυφο λόγω της έντονα διαμορφωμένης περιοχής. Η περιοχή έχει υποστεί διαμόρφωση λόγω διάνοιξης τοπικών οδών, του Α/Δ Θεσσαλονίκης – Μουδανίων αλλά και της κατασκευής της Περιφερειακής τάφρου. Κατατάσσεται

στα πιθανά ενεργά ρήγματα μια και μετατοπίζει στρώματα του τεταρτογενούς. Το μήκος του με βάση την μετατόπιση που υπολογίστηκε και σύμφωνα με εμπειρικές μεθόδους των Kim and Sanderson 2005, υπολογίζεται στα 800 μέτρα.



Σχ.112 Γεωλογική τομή του ρήγματος Νέας Ελβετίας F-NE.

Αμέσως μετά από το ρήγμα N. Ελβετίας και σε μικρή απόσταση από αυτό χαρτογραφήθηκαν 2 συζυγή μικρο-ρήγματα (**F1**) σε οριζόντια απόσταση 17 μέτρων (Σχ.113). Επηρεάζουν κυρίως στρώσεις της ψαμμιτομαργαϊκής ενότητας ενώ μετρήθηκε και μετατόπιση σε τεταρτογενή ιζήματα τα οποία αποτέθηκαν πάνω στα νεογενή. Η μέση μετατόπιση που μετρήθηκε είναι 1,5 μέτρο, ενώ το μήκος τους ξεπερνάει τα 12 μέτρα. Η διεύθυνσή τους είναι $100-110^{\circ}$ και η κλίση τους κυμαίνεται από $55-70^{\circ}$ προς N και B αντίστοιχα. Ο κλάδος προς B εμφανίζεται με μεγαλύτερη κλίση, ακολουθώντας τα ρήγματα της περιοχής.



Σχ.113 Γεωλογική τομή των συζυγών ρηγμάτων F1 περιοχής Νέας Ελβετίας

Ακολουθούν νοτιότερα παράλληλα μικρά ρήγματα με κλίση προς νότο, με κάποια από αυτά να είναι επίσης συζυγή. Εντοπίζονται μέσα σε στρώσεις της ψαμμιτομαργαϊκής ενότητας. Το μεγαλύτερο από αυτά (**F3**) παρουσιάζει μήκος περισσότερο των 12 μέτρων και επηρεάζει τα

νεότερα τεταρτογενή ιζήματα καταγράφοντας μετατόπιση 1 περίπου μέτρου. Έχει διεύθυνση Α-Δ (95°) και κλίση 78° προς Ν.

Ρήγματα περιοχής Βότση

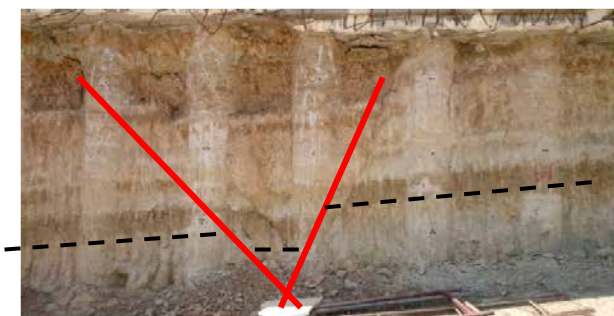
Στην περιοχή Βότση εντοπίστηκαν δύο κύρια ρήγματα τα οποία και μελετήθηκαν. Χαρτογραφήθηκαν επίσης και μικρότερες διαρρήξεις αλλά και συζυγή ρήγματα με μετατοπίσεις κάτω του μέτρου. Τα περισσότερα από αυτά έχουν κλίση προς Β. Όλα τα ρήγματα βρέθηκαν να μετατοπίζουν στρώματα της νεογενούς ψαμμιτομαργαϊκής ενότητας και δεν φάνηκε, ίσως και λόγω της απομάκρυνσης του επιφανειακού στρώματος, να επηρεάζουν πρόσφατα ιζήματα τεταρτογενούς.

Στην περιοχή εντοπίστηκαν διάφορες μικροδιαρρήξεις με μετατοπίσεις μικρότερες του μέτρου αλλά και πολλές επιφάνειες ολίσθησης.

Το πρώτο από αυτά **F-V1** έχει διεύθυνση Α-Δ προς Β ($356/50$) και η μετατόπιση ανάμεσα σε στρώματα διαφορετικής σύστασης (αμμώδη ή αργιλώδη) και χρώματος που μπορεί να μετρηθεί είναι 5 μέτρα (Σχ.114,115). Νοτιότερα έχουν εντοπιστεί συζυγή ρήγματα με διευθύνσεις $296/60$ και $135/72$ και άλμα 0,4 μέτρα. Το ίδιο ρήγμα εντοπίστηκε και σε άλλη εκσκαφή παράλληλη στην πρώτη δίνοντας μήκος τουλάχιστον 25 μέτρα. Λόγω του ότι στην περιοχή υπήρξε διαμόρφωση αναγλύφου ήδη από το 1955 για την κατασκευή της περιφερειακής τάφρου, η οποία διέρχεται δίπλα, δεν μπόρεσε να γίνει συσχετισμός με την επιφανειακή μορφολογία.



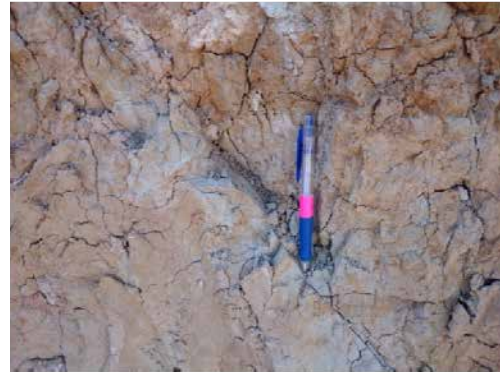
Σχ.114 Πανοραμική εικόνα εκσκαφής στην περιοχή Βότση όπου φαίνεται το κανονικό ρήγμα F-V1 με την μετατόπιση που παρουσιάζει (ametro.gr)



Συζυγή κανονικά μικρο-ρήγματα



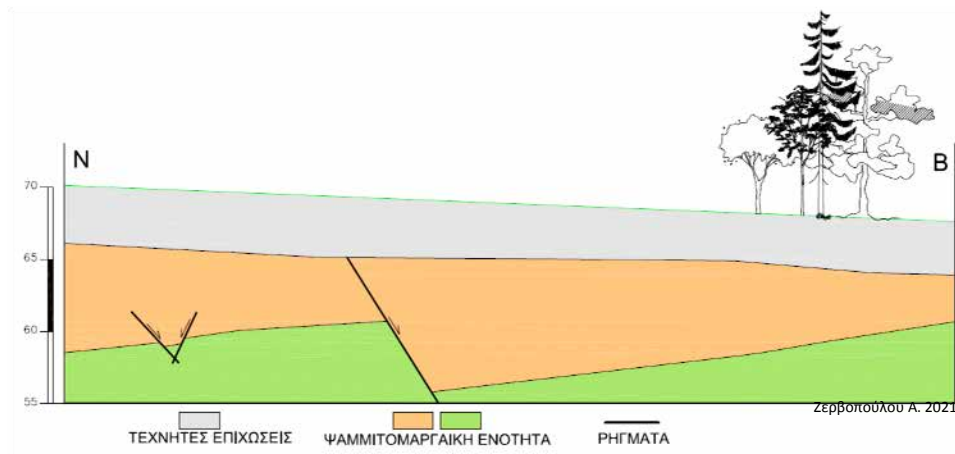
Κανονικό ρήγμα F-V1



Λεπτομέρειες της επιφάνειας των ρηγμάτων



Πανοραμική φωτογραφία όπου φαίνονται τα παραπάνω ρήγματα.



Γεωλογική τομή ρήγματος F-V1.



Μικροδιάρρηξη με μετατόπιση μέσα στην ψαμμιτομαργαϊκή ενότητα και λεπτομέρειά της όπου φαίνεται η μετατόπιση των στρωμάτων.

Σχ.115 Λεπτομέρειες ρηγμάτων στην περιοχή Βότση

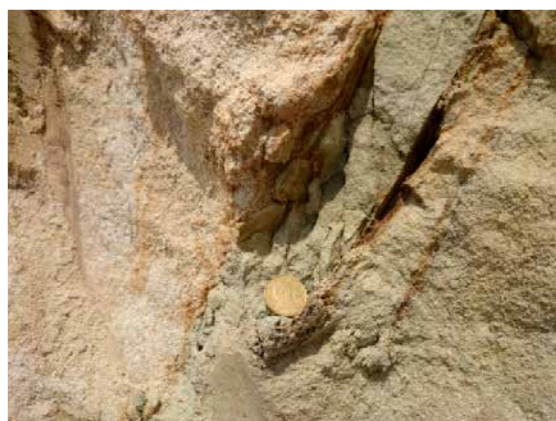
Στην ίδια περιοχή έχει εντοπιστεί και δεύτερο ρήγμα **F-V2** με διεύθυνση επίσης Α-Δ και κλίση προς Β (354/45). Η μετατόπιση των στρωμάτων διαφορετικού χρώματος και σύστασης, της νεογενούς ενότητας έχει υπολογιστεί στα 2,1 μέτρα (Σχ.116).



Σχ.116α Κανονικό ρήγμα **F-V2** όπου καταγράφεται η μετατόπιση των στρωμάτων της ψαμμιτομαργαϊκής ενότητας και λεπτομέρειες στις παρακάτω φωτογραφίες.



β. Λεπτομέρεια της επιφάνειας διάρρηξης



γ. Πλήρωση του κενού της διάρρηξης με υλικό (ιλυώδης άργιλος) της ψαμμιτομαργαϊκής ενότητας.

Σύνδεση ρηγμάτων Καλαμαριάς

Στα ρήγματα τα οποία βρέθηκαν σε εκσκαφές αλλά και ύστερα από συσχέτιση τομών δειγματοληπτικών γεωτρήσεων μπόρεσαν να υπολογιστούν διάφορες παράμετροι όπως διεύθυνση ρήγματος και μετατόπιση αλλά και στοιχεία μικροτεκτονικής. Όμως δεν στάθηκε δυνατό να υπολογιστεί το μήκος τους. Λόγω του πλήθους των ρηγμάτων τα οποία χαρτογραφήθηκαν στην περιοχή της Καλαμαριάς και ανατολικότερα, στην περιοχή της Νέας Ελβετίας και του Βότση επιχειρήθηκε η σύνδεσή τους και η τελική χαρτογράφησή τους. Για τον υπολογισμό του μήκους τους στη επιφάνεια υπολογίστηκαν στοιχεία με βάση τα διαγράμματα συσχέτισμού μετατόπισης και μήκους ρήγματος των Cowie & Scholz (1992), Kim & Sanderson (2005), Schultz et al. (2008) και Torabi & Berg (2011).

Με υπολογισμένο ότι για κατακόρυφη μετατόπιση $D=1\text{m}$ το μήκος της επιφανειακής διάρρηξης L του ρήγματος θα έχει την μέγιστη τιμή του 1 χιλιομέτρου ($L=1-1000\text{m}$) δημιουργήθηκε ο παρακάτω πίνακας με τα σημαντικότερα ρήγματα, όπου έγινε σύνδεση της κατακόρυφης μετατόπισης, η οποία μετρήθηκε σε εκσκαφές ή με συσχέτιση γεωτρήσεων, με το πιθανό μέγιστο μήκος.

ΠΕΡΙΟΧΗ	ΡΗΓΜΑ	ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ	ΚΛΙΣΗ	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ	ΟΡΑΤΟ ΜΗΚΟΣ	ΠΙΘΑΝΟ ΜΕΓΙΣΤΟ ΜΗΚΟΣ (km)
Νέα Ελβετία	F-NE Νέας Ελβετίας	A-Δ	B	~10m		10
	F-Ka Καλαμαριάς	A-Δ	B	1.5m		2
Βότση	F-V1	A-Δ	B	5m	>24m	5
	F-V2	A-Δ	B	2.1m		3
ΝΟΘ	F-N	A-Δ	B	>2m		>3

Σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα σχεδιάστηκαν τα ρήγματα στην περιοχή και συνδέθηκαν μεταξύ τους. Τελικά έχουμε τον παρακάτω γεωτεκτονικό χάρτη της περιοχής της Καλαμαριάς (Σχ.117). Αν και υπάρχει ικανοποιητικό δείγμα γεωτρήσεων στην περιοχή της Καλαμαριάς, λόγω των εργασιών κατασκευής του Μετρό, δεν στάθηκε δυνατό να συσχετιστούν οι γεωτρήσεις και να καταγραφούν ρηξιγενείς δομές λόγω των φακοειδών στρώσεων της ψαμμιτομαργαϊκής ενότητας. Αν και υπάρχει το χαρακτηριστικό τεφροϊώδες στρώμα, λόγω της παρουσίας των ηφαιστειακών υλικών, όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο της γεωλογίας αυτό εμφανίζεται σε φακούς σε διάφορα βάθη και πάχη αλλά και αναπτύξεις.



Σχ.117 Συνθετικός γεωτεκτονικός χάρτης περιοχής Καλαμαριάς Θεσσαλονίκης.

Ρήγμα Κρήνης

Το ρήγμα Κρήνης είναι ένα ρήγμα παράλληλο στην νότια ακτογραμμή του ακρωτηρίου Μικρό Έμβολο (ή Μικρό Καραμπουρνάκι), στην περιοχή της Νέας Κρήνης. Έχει διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και κλίση προς Νότο. Το ορατό μήκος του υπολογίζεται στα 5 χιλιόμετρα. Το ρήγμα αυτό δεν είναι προσανατολισμένο στο ενεργό πεδίο τάσεων της περιοχής της Θεσσαλονίκης, αξίζει όμως να μελετηθεί μια και παρουσιάζει ιδιαίτερη μορφολογική ανάπτυξη.

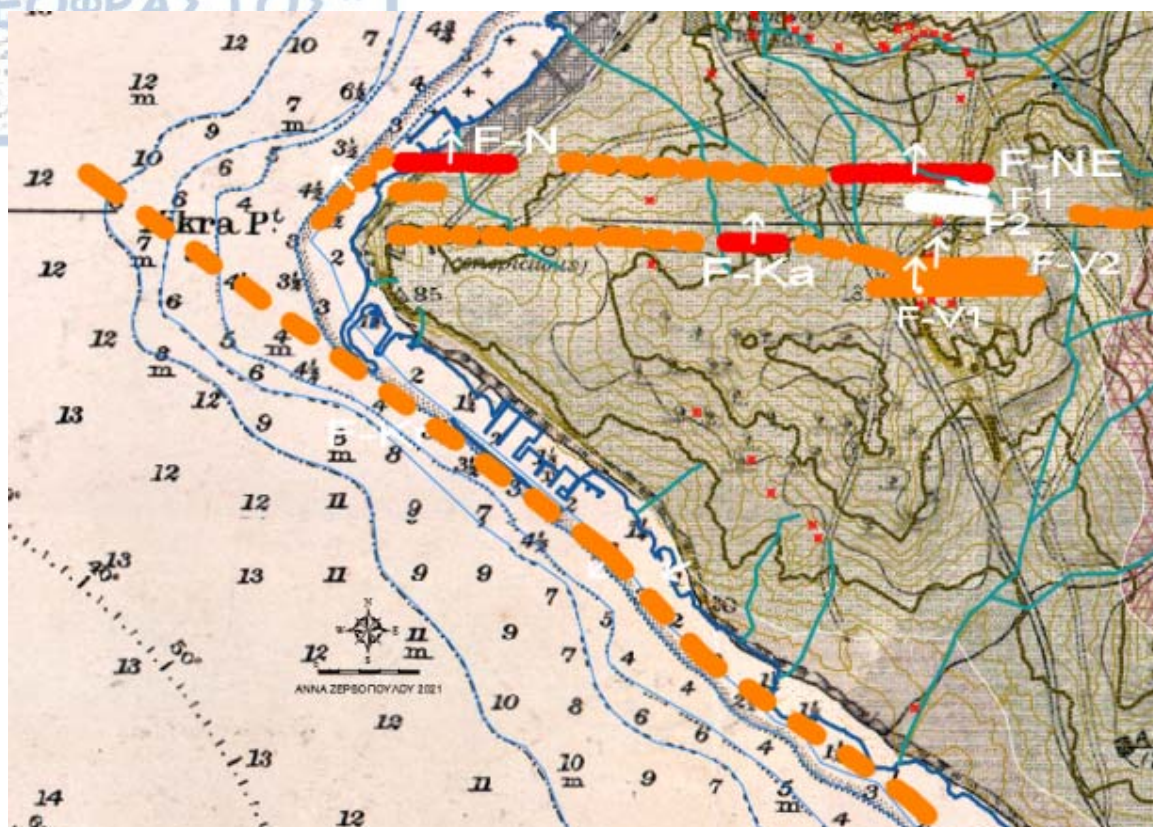


Το ακρωτήριο Μικρό Έμβολο και το πρανές όπου είναι θεμελιωμένο το Παλατάκι (Google).



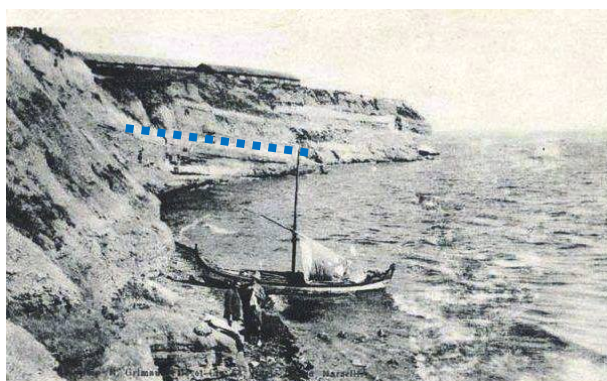
Οι εναλλασσόμενες στρώσεις της ψαμμιτομαργαϊκής ενότητας στο ακρωτήριο.
Σχ.118 Φωτογραφίες από την περιοχή του ρήγματος Κρήνης

Χαρτογραφείται από την ακτογραμμή στο Ακρωτήριο Μικρό έμβολο όπου εμφανίζεται η ψαμμιτομαργαϊκή ενότητα σε επαφή με τα σύγχρονα παράκτια ιζήματα πλησίον της ακτής. Η επαφή αυτή είναι ορατή κάτω από το κτίσμα Παλατάκι ή Κυβερνείο. Σε φωτογραφίες σημερινές αλλά και παλαιότερης εποχής διακρίνεται το απότομο πρανές που βυθίζεται στον θαλάσσιο χώρο (Σχ.118). Το ρήγμα πιστεύεται ότι βρίσκεται εντός του θαλάσσιου χώρου όπως φαίνεται και από τους αντίστοιχους ναυτικούς χάρτες της περιοχής όπου έχει χαρτογραφηθεί το βάθος του πυθμένα σε διάφορα σημεία. Χρησιμοποιήθηκε για την χαρτογράφηση των ισοβαθών καμπύλων ναυτικός χάρτης του 1916 (Σχ.119) όπου καταγράφονται βάθη πυθμένα θάλασσας ανά 1 και 1,5 μέτρα. Από την καταγραφή αυτή προκύπτει μία σχετικά απότομη μορφολογία στον πυθμένα σε βάθος 2 και 3 μέτρων.

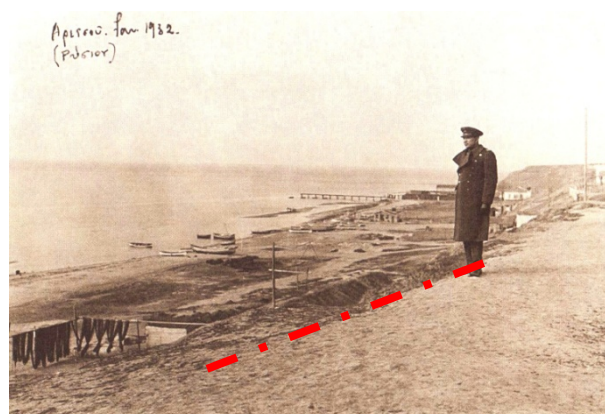


Σχ.119 Ναυτικός χάρτης του 1916 (Ι.Σ. Σ. Δεμερτζή ψηφιακή χαρτοθήκη του Αρχείου Χαρτογραφικής Κληρονομιάς) όπου έχουν σχεδιαστεί οι ισοβαθείς των 2,3,5,6 & 10 μέτρων και οι γραμμές των ρηξιγενών δομών της περιοχής του Ακρωτηρίου Μικρό Έμβολο.

Το ρήγμα της Κρήνης συνεχίζει παράλληλα στην ακτογραμμή με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ προς την περιοχή Αρετσού και Μίκρας. Η ακτογραμμή παρουσιάζει μεγάλη υψομετρική διαφορά στην περιοχή αυτή η οποία είναι εντυπωσιακή και έχει αποτυπωθεί και σε φωτογραφίες εποχής, πριν την οικιστική ανάπτυξη της περιοχής (Σχ.120).



Φωτογραφία του 1914. Λήψη από τα βόρεια, όπου διακρίνονται οι στρώσεις (μπλε χρώμα) της ψαμμιτομαργαϊκής ενότητας με κλίση Δ προς την θαλάσσια περιοχή .



Φωτογραφία 1932 όπου διακρίνεται η μεγάλη υψομετρική διαφορά στην περιοχή Αρετσού.

Σχ.120 Φωτογραφίες εποχής από την περιοχή της Νέας Κρήνης (Δημόσια Ομάδα, Παλιές φωτογραφίες της Θεσσαλονίκης: <https://www.facebook.com/groups/oldthessaloniki>)

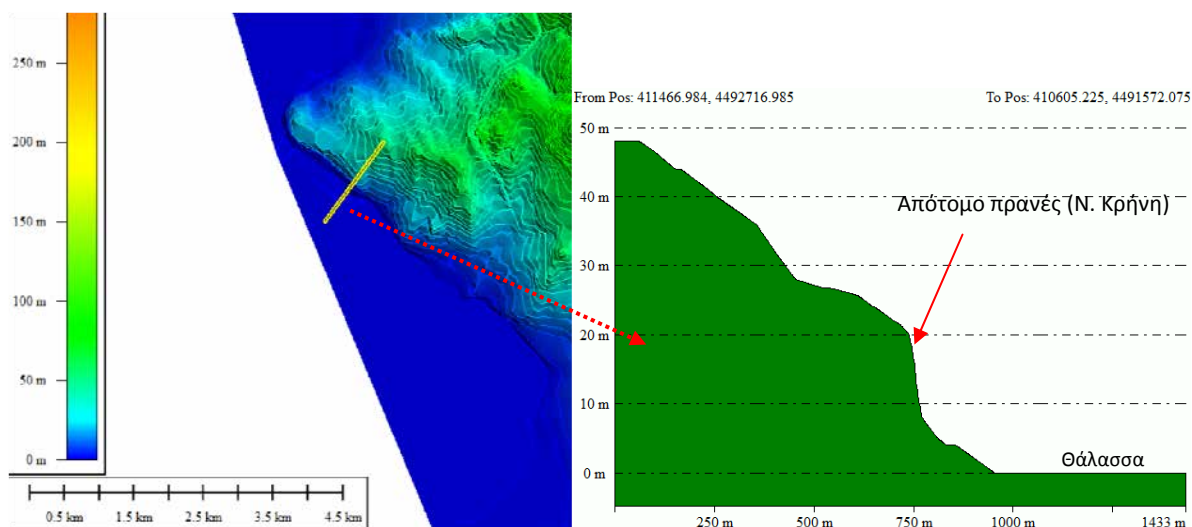


Άποψη της παραλίας Αρετσού από την ακτή. Είναι ορατή η ψαμμιτομαργαϊκή ενότητα όπου είναι θεμελιωμένα τα κτίσματα.

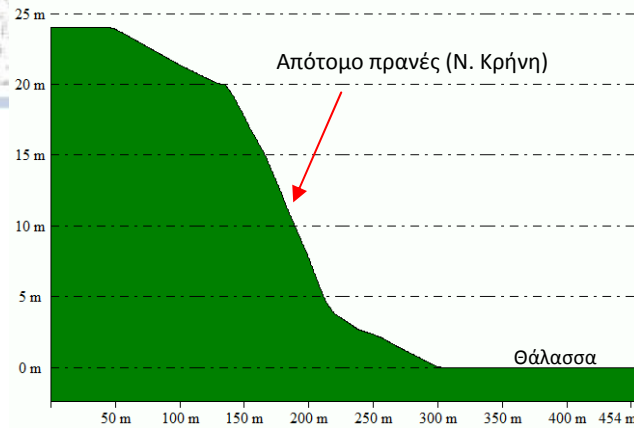


Φωτογραφίες δεκαετίας του 1930 όπου διακρίνεται η μεγάλη υψομετρική διαφορά με την ακτή.

Η απότομη υψομετρική διαφορά των 25 μέτρων μέχρι την ακτογραμμή, μεταξύ της ψαμμιτομαργαϊκής ενότητας και των σύγχρονων παράκτιων αποθέσεων παρατηρείται σε όλο το μήκος της ακτής για 2km (Σχ.121,122).



Σχ.121 Γεωμορφολογική τομή (διογκωμένη κατά γ) στην περιοχή της Κρήνης παράλληλα στην οδό Ευελπίδου. Η μεγάλη υψομετρική διαφορά των 25 μέτρων παρατηρείται κάτω από την οδό Νικ. Πλαστήρα.

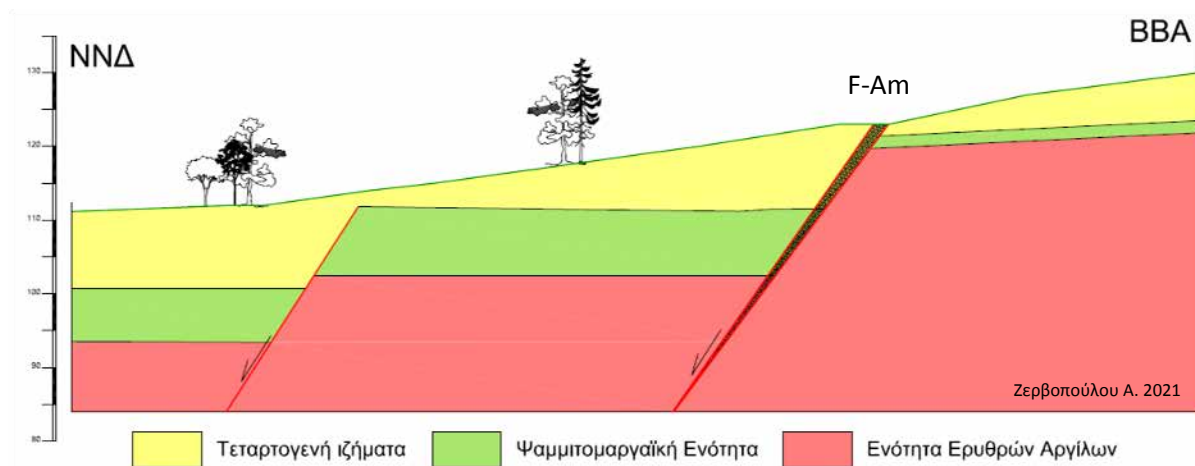


Σχ.122

Γεωμορφολογική τομή (διογκωμένη κατά γ) στο ακρωτήριο Μικρό Έμβολο.

Ρήγματα Νότιου Πανοράματος

Στην περιοχή νότια του Πανοράματος και βορειανατολικά της Θέρμης στην περιοχή Αμπέλια, εντοπίστηκε ρήγμα κατά την διάνοιξη εκσκαφής για την κατασκευή κτηρίου. Πρόκειται για κανονικό ρήγμα F-Am (ρήγμα Αμπέλια) με διεύθυνση Α-Δ έως ΝΑ-ΒΔ. Παράλληλα σε αυτό χαρτογραφήθηκε και δεύτερο ρήγμα νοτιότερα μικρότερης δυναμικότητας (Σχ.123). Το ρήγμα μετατοπίζει την ψαμμιτομαργαϊκή ενότητα και την ενότητα ερυθρών αργίλων. Το μεγαλύτερο ρήγμα F-Am εμφανίζει ζώνη κατακερματισμού ενώ η μετατόπιση που υπολογίστηκε είναι στα 17 μέτρα και φτάνει μέχρι τα νεότερα τεταρτογενή ιζήματα στην επιφάνεια. Για το δεύτερο ρήγμα η μετατόπιση υπολογίστηκε στα 9 μέτρα.

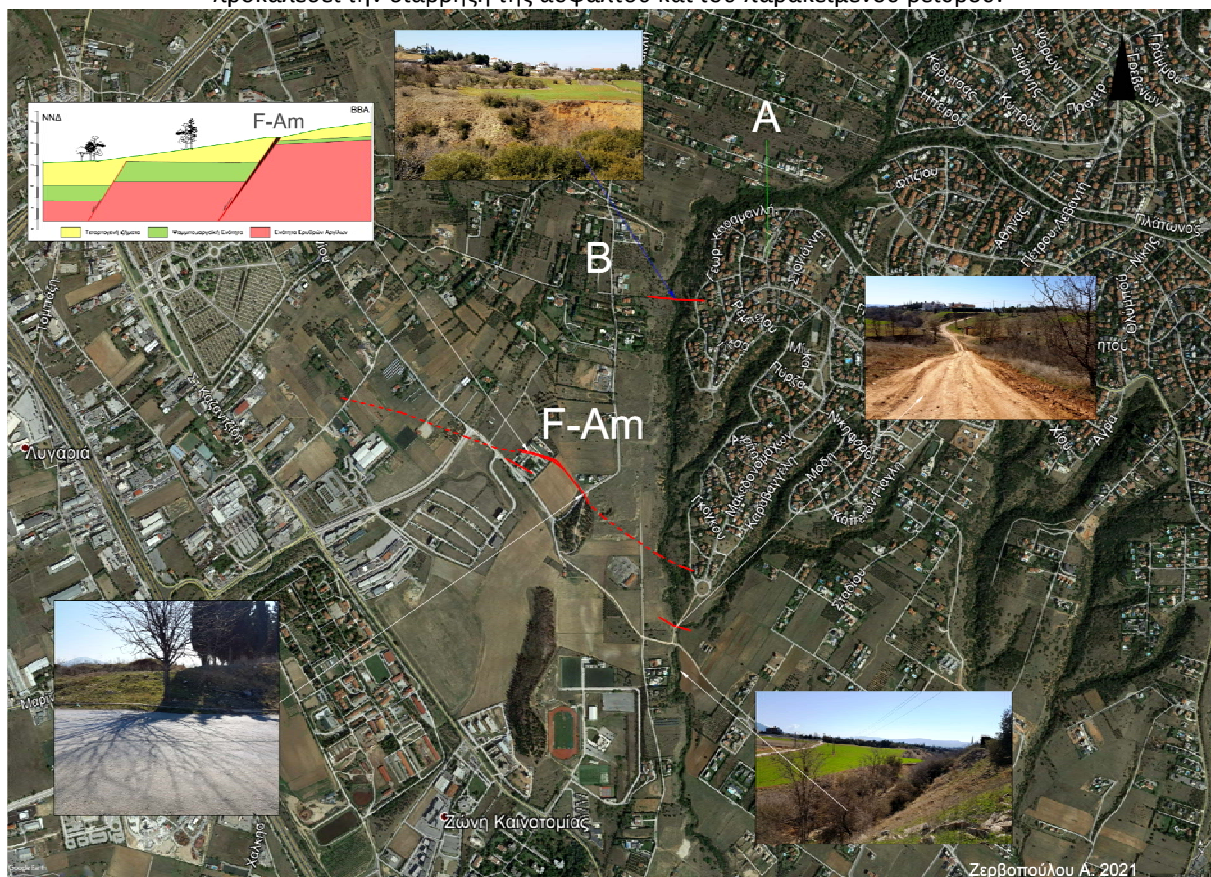


Σχ.123 Γεωλογική μηκοτομή κάθετα στο κυρίως ρήγμα F-AP.

Το ρήγμα F-Am χαρτογραφήθηκε επιφανειακά σε μήκος 3 χιλιομέτρων. Λόγω του αποσαθρωμένου καλύμματος των νεογενών σχηματισμών στην περιοχή, δεν μπόρεσε να χαρτογραφηθεί η μορφολογία του. Παρόλα αυτά δυτικά και σε απόσταση 250 μέτρων από την εκσκαφή εντοπίστηκε στον ασφαλτοστρωμένο παράδρομο της περιοχής εγκάρσια ρωγμή στον δρόμο η οποία επηρέασε και το αντίστοιχο ρεϊθρο (Σχ.124).



Ίχνος μετατόπισης λόγω του ρήγματος F-Am εγκάρσια σε τοπική ασφαλτοστρωμένη οδό. Η μετατόπιση έχει προκαλέσει την διάρρηξη της ασφάλτου και του παρακείμενου ρείθρου.



Σχ.124 Περιοχή Αμπέλια βορειοανατολικά της Θέρμης, όπου φαίνονται τα ρήγματα F-Am. Με πράσινο οι μορφολογικές τομές Α και Β. Υπόβαθρο δορυφορικής εικόνας (Google-Earth).

Βορειότερα προκαλεί εντύπωση η σχεδόν κάθετη φυσική εκτροπή κλάδου του ρέματος Θέρμης που διέρχεται από την περιοχή Αμπέλια και του οικισμού Εφέδρων Αξιωματικών. Η πρώτη μορφολογική τομή Α εγκάρσια στον κλάδο του ρέματος με διεύθυνση Β-Ν εμφανίζει το απότομο νότιο πρηνές του ρέματος σε σχέση με το βόρειο όπως επίσης και το μεγαλύτερο υψόμετρο το νότιου τμήματος. Το υψόμετρο του νότιου πρηνούς είναι 173 μέτρα υψηλότερο κατά 16 μέτρα από το αντίστοιχο πρηνές στο βόρειο τμήμα του ρέματος. Στην επόμενη μορφολογική τομή Β διεύθυνσης Α-Δ εμφανίζεται και πάλι υψομετρική διαφορά μεταξύ των δύο πρηνών εκατέρωθεν του ρέματος της

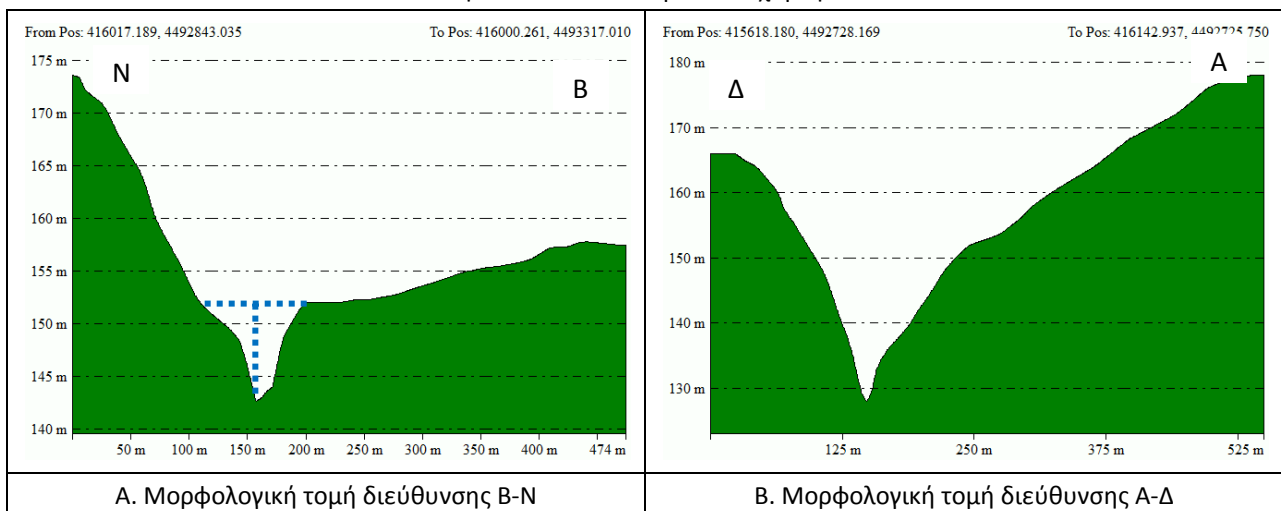
τάξης των 10 μέτρων. Η περιοχή δηλαδή όπου εγκαταστάθηκε ο οικισμός εμφανίζεται υπερυψωμένη σχετικά με την υπόλοιπη περιοχή (Σχ.125).

Παράλληλα το ρέμα στην περιοχή αυτή εμφανίζει έντονη εγκάρσια διάβρωση ορατή στην τομή B-N. Ο μορφοτεκτονικός δείκτης λόγου πλάτους κοιλάδας προς ύψος δίνει πληροφορίες σχετικά με την ενεργότητα της περιοχής. Πρόκειται για τον δείκτη που διαχωρίζει τα μεγάλα σε πλάτος φαράγγια σχήματος U από αυτά με κατά βάθος διάβρωση σχήματος V (Ratio of Valley – Floor width to Valley Height, Bull 1977, 1978, Παυλίδης 2003). Εκφράζεται από τον παρακάτω τύπο:

$V = \frac{2\Pi}{(h_1 - h_3) + (h_2 - h_3)}$	Π = πλάτος της κοιλάδας h_1, h_2 = υψόμετρα του αριστερού και δεξιού υδροκρίτη h_3 = υψόμετρο της κοιλάδας (μισογάγγεια)
--	--

Στην περίπτωση της πρώτης τομής A με διεύθυνση B-N ο δείκτης V έχει την τιμή: **V=0.42<1**. Η τιμή αυτή δηλώνει κοιλάδα σχήματος V με έντονη διάβρωση και ενεργή τεκτονικά περιοχή (Burbank & Anderson 2001).

Σχ.125 Μορφολογικές τομές (διογκωμένες κατά γ) του κλάδου ρέματος Θέρμης στην περιοχή Αμπέλια όπως φαίνονται στον παραπάνω χάρτη.



Με βάση τα παραπάνω και λαμβάνοντας υπόψη το πεδίο ενεργών τάσεων της περιοχής θα μπορούσε να σχεδιαστεί ένα κανονικό μεταπτωτικό ρήγμα F-AP (ρήγμα Αμπέλια - Πανόραμα) μήκους 3km με κλίση προς B. Το πρώτο τμήμα του 1km βρίσκεται κατά μήκος του ρέματος ενώ το δεύτερο τμήμα του εκτείνεται δυτικότερα. Το ρήγμα αυτό βρίσκεται μέσα στις νεογενείς αποθέσεις και δεν φαίνεται να επηρεάζει σύγχρονα ιζήματα. Έχει παρόμοια χαρακτηριστικά (διεύθυνση και κλίση) με τα ρήγματα τα οποία έχουν χαρτογραφηθεί σε εκσκαφές στην περιοχή Βότση και στην περιοχή της Καλαμαριάς. Πιθανά πρόκειται για ευρύτερη ρηξιγενή ζώνη με διεύθυνση A-Δ και κλίση προς B (Σχ.126).



Σχ.126 Συνθετικός γεωλογικός χάρτης όπου σχεδιάζονται τα ρήγματα F-AP Αμπέλια- Πανόραμα και F-A Αμπέλια σε συνδυασμό με τα ρήγματα Καλαμαριάς.

Πολεοδομική εξέλιξη Θεσσαλονίκης με γεωλογικά κριτήρια

Η τεκτονική και η γεωλογία είναι αυτές οι οποίες διαμορφώνουν το αρχικό ανάγλυφο μίας περιοχής. Πάνω σε αυτό το περιβάλλον εδράζονται και ιδρύονται οι πόλεις εκμεταλλευόμενες το φυσικό ανάγλυφο, την ύπαρξη υδρογραφικού δικτύου και την ακτογραμμή, όπου υπάρχει. Το αρχικό αυτό ανάγλυφο το διαμορφώνουν ανάλογα με τις ανάγκες ή το χρησιμοποιούν για το δομικά τους στοιχεία. Αυτό το αρχικό περιβάλλον και ανάγλυφο χρησιμοποίησαν οι πρώτοι κάτοικοι της Θεσσαλονίκης κατά την ίδρυση της πόλης.

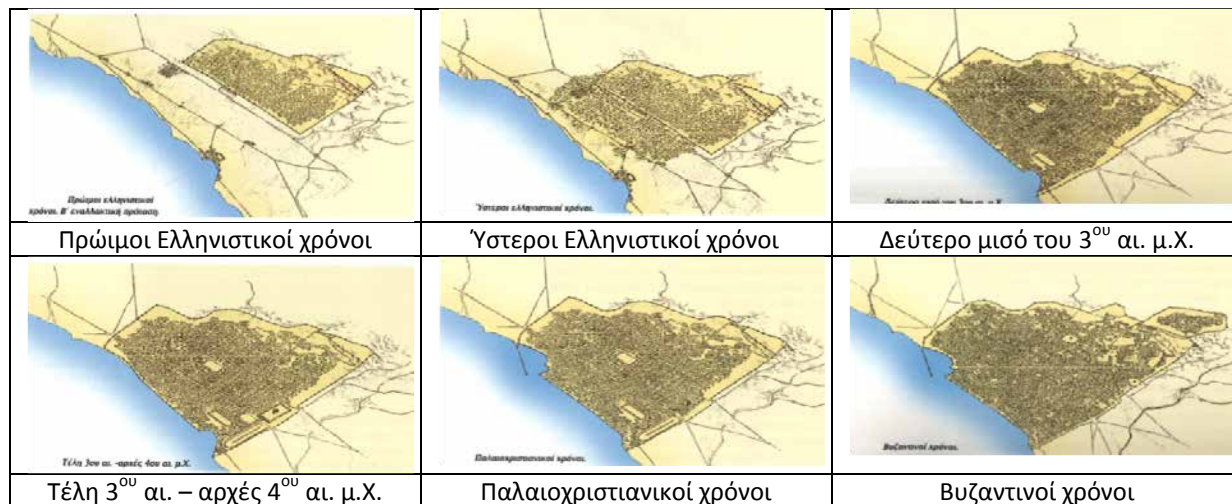
Οι αστικοί γεωλόγοι χρησιμοποιώντας την εξέλιξη της πολεοδομίας μιας πόλης ψάχνουν να βρουν το αρχικό μορφοανάγλυφο που έχει διαμορφωθεί, ανάλογα με τις ανάγκες της πόλης, για να μπορέσει να μελετήσει την τεκτονική και την γεωλογία μιας περιοχής. Αυτό συμβαίνει ιδιαίτερα στις πόλεις με συνεχή κατοίκηση για αρκετούς αιώνες.

Πηγαίνοντας όμως ανάποδα στην ιστορία της πόλης μπορούμε να δικαιολογήσουμε κάποιες επιλογές δόμησης που έγιναν αρχικά στην πόλη.

Βασικό στοιχείο για την προστασία του πρώτου οικισμού – πόλης και των κατοίκων της είναι τα οχυρωματικά έργα. Δηλαδή τα τείχη που κατασκευάζονται γύρω από την πόλη.

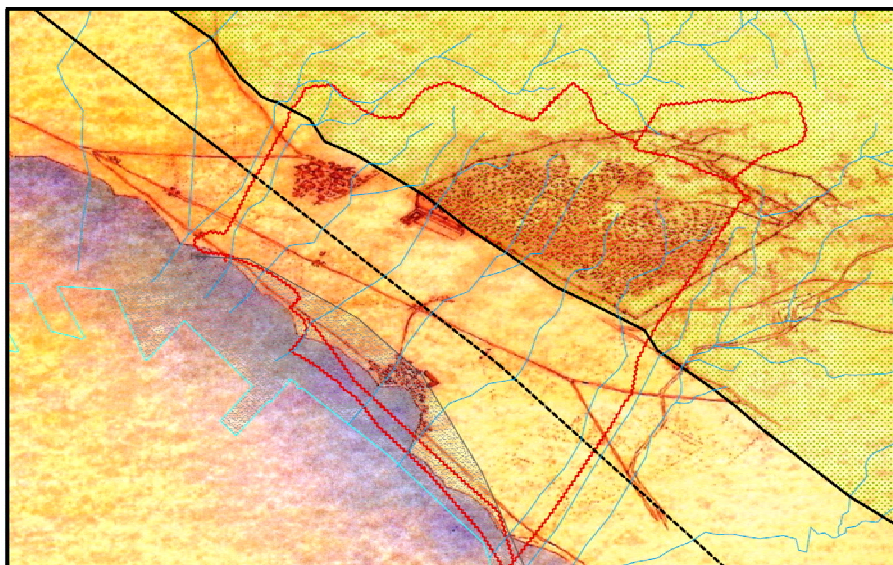
Τα Τείχη της Θεσσαλονίκης αρχικά κατασκευάστηκαν το 315π.Χ. με την ίδρυση της πόλης από τον Κάσσανδρο. Για την κατασκευή των τειχών υιοθετήθηκε το φυσικό ανάγλυφο της πόλης για την προστασία της νέας πόλης. Το τείχος ήταν ευέλικτο και προσαρμοσμένο στο ανάγλυφο του εδάφους (Βελένης 1998). Αντί για την κατασκευή τάφρων περιμετρικά των Τειχών για οχύρωση, έγινε χρήση των φυσικών ρεμάτων τα οποία πλαισίωναν τον νέο οικισμό. Στα επόμενα χρόνια τα τείχη έφτασαν μέχρι την ακτογραμμή και οχύρωσαν έτσι όλες τις επεκτάσεις της πόλης. Τα τείχη της Θεσσαλονίκης ανακατασκευάστηκαν μέσα στο πέρασμα των αιώνων πολλές φορές, λόγω σεισμών και επιδρομών. Επίσης ενισχύθηκαν και επεκτάθηκαν ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες.

Ο Βελένης 1998 μελέτησε τα τείχη της Θεσσαλονίκης και αναλύει επίσης την ίδρυση και επέκταση της Θεσσαλονίκης σε σχέση με τα τείχη της πόλης (Σχ.127). Έγιναν αναπαραστάσεις σε χάρτες της πόλης της Θεσσαλονίκης με τους οδικούς άξονες εντός του οικισμού αλλά και εκτός των τειχών. Στους χάρτες αυτούς σχεδιάστηκαν επίσης και τα λιμάνια που ανάλογα την εποχή εξυπηρετούσαν την πόλη.



Σχ.127 Πολεοδομική εξέλιξη της Θεσσαλονίκης κατά τον Βελένη (Αδάμ-Βελένη 1998, Λειβαδιώτη 2009)

Τα πρώτα ίχνη κατοίκησης της πόλης ή αλλιώς στην Κασσάνδρεια πόλη εκτείνονταν βόρεια την οδού Αγίου Δημητρίου σύμφωνα με τα σκαρίφημα του Βελένη (1998).



Σχ.128 Η Θεσσαλονίκη κατά τους πρώιμους ελληνιστικούς χρόνους (υπόβαθρο σκαρίφημα από Βελένη 1998).

Πάνω από το υπόβαθρο σχεδιάστηκε το ίχνος των Τειχών σήμερα (κόκκινο χρώμα), τα δύο ρήγματα της Αγ. Δημητρίου και της Εγνατίας (μαύρο χρώμα), ενώ στην ΒΑ πλευρά με πράσινο χρώμα διακρίνεται το βραχώδες υπόβαθρο.

Κατά τους πρώιμους ελληνιστικούς χρόνους από την ίδρυση της πόλης η κατοίκηση ήταν σε απόσταση από την θάλασσα και πιθανά χρησιμοποιούσε το υψηλότερο φυσικό ανάγλυφο. Σύμφωνα με την γεωλογία στην σημερινή οδό Αγίου Δημητρίου βρισκόταν η επαφή του βραχώδους υποβάθρου (πρασινοσχιστόλιθοι μεσοζωικής ηλικίας) με τα νεότερα τεταρτογενή ιζήματα. Η επαφή αυτή αποτελεί το αλπικό ρήγμα της Αγίου Δημητρίου διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ και κλίσης προς τα ΝΔ. Εκτείνεται δηλαδή παράλληλα στην σημερινή ακτογραμμή αλλά και σύμφωνα με τον γενικότερο προσανατολισμό της πόλης (Σχ.128). Πριν την κατοίκηση της περιοχής το ανάγλυφο στην επαφή

αυτή του ρήγματος θα πρέπει να ήταν αρκετά απότομο, δημιουργώντας ένα φυσικό ανάχωμα. Ο πρώτος οικισμός επομένως πιθανά δημιουργήθηκε πάνω στο βραχώδες υπόβαθρο το οποίο λατόμευσαν και χρησιμοποίησαν ως δομικά υλικά. Είναι ακόμη ορατό και σήμερα το απότομο ανάγλυφο στην θέση της εκκλησίας του Αγίου Δημητρίου. Βόρεια και δυτικά της πόλης εκμεταλλεύτηκαν το ρέμα Συκεών για την φυσική οχύρωση της πόλης τους όπως και το ρέμα ανατολικά (ρέμα Αγίου Παύλου). Από το σκαρίφημα του Βελένη 1998, βλέπουμε και την χρήση φυσικού κόλπου στην περιοχή του Λευκού Πύργου ως πρώτου λιμένα της πόλης (Σχ.129). Στην θέση του Λευκού Πύργου υπήρχε επέκταση της ξηράς λόγω την αποθετικής δράσης των χειμάρρων Αγ. Παύλου και 40 Εκκλησιών.



Σχ.129

Μέσοι ελληνιστικοί χρόνοι.

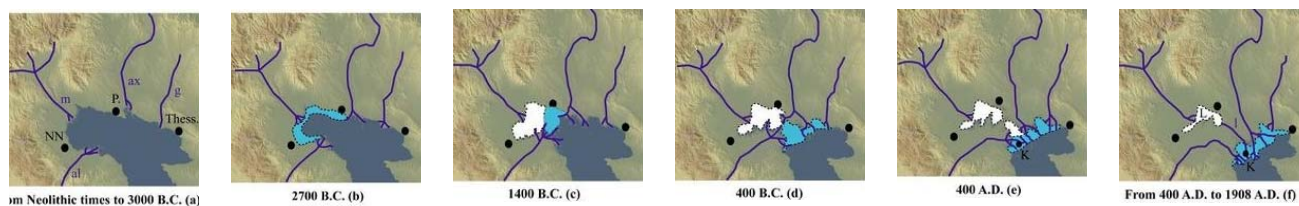
Η πόλη επεκτείνεται κάτω από το ρήγμα Αγ. Δημητρίου μέχρι το φυσικό πραινές της Εγνατίας οδού.

Διαδοχικές επεκτάσεις των τειχών της πόλης της Θεσσαλονίκης (Λειβαδιώτη 2009, Βελένης 1998)

Στους ύστερους ελληνιστικούς χρόνους η πόλη άρχισε να επεκτείνεται νότια - νοτιοδυτικά φτάνοντας στο δεύτερο φυσικό πραινές της περιοχής περίπου παράλληλα στην οδό Εγνατία. Στο δεύτερο ανάχωμα αυτό εντοπίζεται και η δεύτερη παράλληλη στην Αγίου Δημητρίου ρηξιγενής γραμμή, το ρήγμα της Εγνατίας. Παρουσιάζει μία δεύτερη πτώση του βραχώδους υποβάθρου της πόλης προς τα ΝΔ. Την εποχή εκείνη της εγκαθίδρυσης της πόλης πιθανά να ήταν ένα ακόμη απότομο φυσικό πραινές και να λειτούργησε και πάλι ως φυσικό οχυρό για την επέκταση της πόλης.

Στο δεύτερο μισό του 3^{ου} αιώνα κατά την Ρωμαϊκή κυριαρχία η ανάπτυξη της πόλης έχει φτάσει πλέον στην ακτογραμμή της εποχής εκείνης.

Η ακτογραμμή των ιστορικών χρόνων δεν παρουσίαζε την όψη του φυσικού κόλπου όπως είναι σήμερα ο Θερμαϊκός κόλπος. Οι προσχώσεις των παρακείμενων ποταμών Δενδροποτάμου, Γαλλικού και Αξιού μακρύτερα δεν είχαν προχωρήσει τόσο ώστε να δημιουργήσουν την εικόνα του σημερινού κλειστού Θερμαϊκού Κόλπου (Σχ.130).



Σχ.130 Η εξέλιξη του Θερμαϊκού κόλπου κατά τους ιστορικούς χρόνους μέχρι σήμερα (Fouache et al. 2008)

Τα τείχη της Θεσσαλονίκης διαμορφώθηκαν αλλά και διαμόρφωσαν την ακτογραμμή της πόλης. Κατά τους ρωμαϊκούς χρόνους (3^{ος} αι.) η ακτογραμμή βρισκόταν εσωτερικά της σημερινής. Από ανασκαφές έχουν βρεθεί τμήματά του τείχους στο ύψος της σημερινής οδού Μητροπόλεως (Vitti 1990, Βελένης 1998, Φωτιάδης 1999, Μπακιρτζής 1975). Κατά την Μαρκή (2013) η ακτογραμμή των ελληνιστικών χρόνων βρισκόταν στο ύψος της σημερινής οδού Τσιμισκή (Σχ.131).



Σχ.131 Η θέση των δύο φάσεων του θαλάσσιου τείχους (Φωτιάδης 2000)

Τα παλαιοχριστιανικά τείχη καταστράφηκαν από τον μεγάλο σεισμό του 7ου αιώνα. Υπάρχουν πολλές καταγραφές για καταστροφικούς σεισμούς γύρω στο 620μ.Χ. (618-630μ.Χ.) στην Θεσσαλονίκη όπου προκάλεσαν τεράστιες καταστροφές στα δομικά στοιχεία της πόλης (Τσιμπίδου 2008, Παπαζάχος 2003).

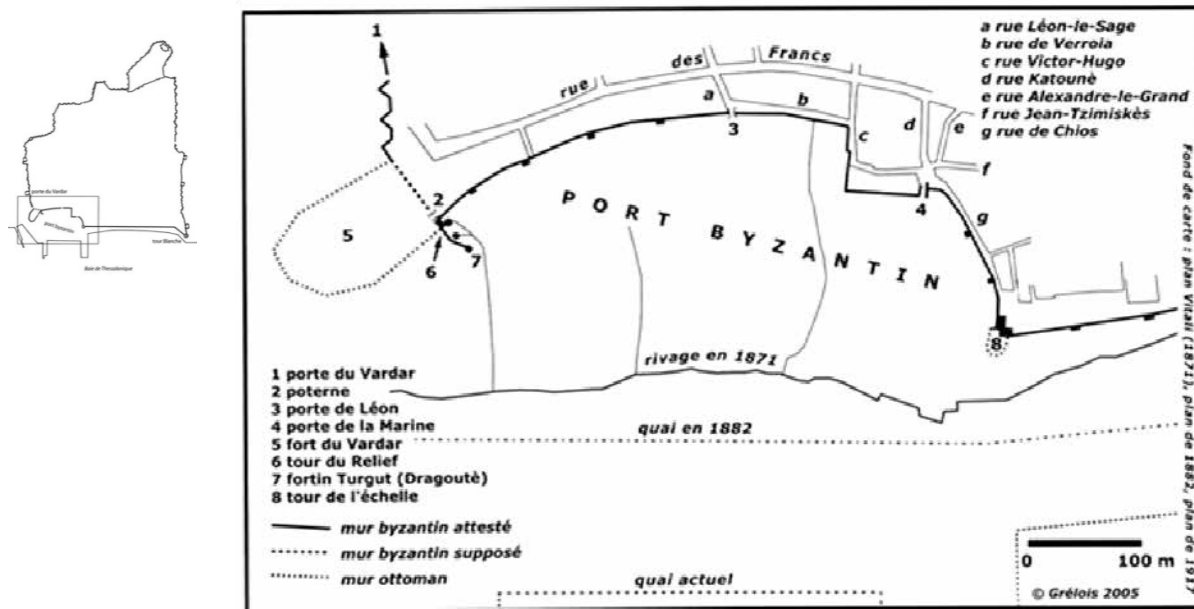
Κατά τους βυζαντινούς χρόνους τα παραθαλάσσια τείχη μετατοπίζονται, έγινε εκ νέου κατασκευή λόγω μεγάλων καταστροφών από τους σεισμούς, νοτιότερα κατά μήκος περίπου, της οδού Κορομηλά. Τα τείχη ενισχύονται από προτείχισμα και πύργους. Σε υπόγειο καταστήματος μεταξύ των οδών Τσιμισκή και Μητροπόλεως, υπάρχουν γυάλινα δάπεδα που αποκαλύπτουν τμήματα του ρωμαϊκού τείχους της παραθαλάσσιας οχύρωσης της πόλης, που ήλθαν στο φως κατά τη διάρκεια των εργασιών ανέγερσης του εμπορικού κέντρου. Το ότι στο σημείο αυτό βρισκόταν κάποτε το επιθαλάσσιο τείχος της πόλης συνηγορεί το γεγονός ότι εκεί ανευρέθηκαν κρίκοι πρόσδεσης καραβιών (Τσιμπίδου 2008, Εθνική Τράπεζα της Ελλάδος 1995).

Ο σχεδιασμός των τειχών στην θάλασσα πιστεύεται ότι ακολουθούσε την ακτογραμμή της εποχής. Στην ακτογραμμή αυτή παρατηρούνται κάποιες επιχώσεις στην θάλασσα από την απόθεση υλικών των χειμάρρων που διέσχιζαν την πόλη. Στις επιχώσεις αυτές χτίστηκαν κάποιοι πύργοι, όπως ο πύργος Τοπχανέ και ο Λευκός Πύργος. Τα τείχη στην δυτική παραθαλάσσια πλευρά εισέρχονται μέσα προς την ξηρά λόγω της κατασκευής του δεύτερου λιμανιού της Θεσσαλονίκης γνωστού ως Λιμάνι Μεγ. Κωνσταντίνου.

Στην ευρύτερη περιοχή της Πλατείας Ελευθερίας, παράλληλα στα παραλιακά τείχη, υπήρχαν 3 πύλες για την είσοδο και έξοδο από την τειχισμένη πόλη. Η Πύλη του Γιαλού (Ακριβοπούλου 2013) στην Πλατεία Εμπορίου, η Πύλη Δακτύλου στην σημερινή διασταύρωση Φράγκων με Λέοντος Σοφού και η Πύλη της Σκάλας δίπλα στον Πύργο Τοπχανέ (ο αντίστοιχος του Λευκού πύργου, εξαγωνικός Πύργος) (Σχ.132).

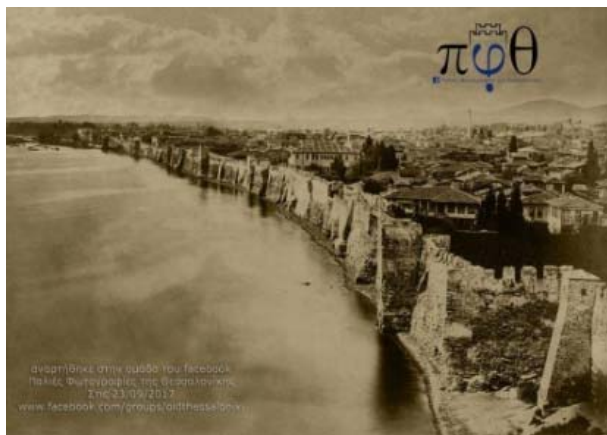
Το λιμάνι του Μεγάλου Κωνσταντίνου, Κωνσταντίνειο λιμάνι (ή αλλιώς Σκαπτός Λιμνή) κατασκευάστηκε από τον Μεγ. Κωνσταντίνο από το 306-337μ.Χ. ή κατά άλλους το 322μ.Χ. (Επαμεινώνδας, 2014) σε σχήμα τετραγώνου για να περιλάβει τον στόλο του για επίθεση εναντίον του αυτοκράτορα Λικίνιου. Έγινε σε σχήμα τετραγώνου με κυματοθραύστη. Στην θέση του λιμανιού προϋπήρχε φυσικός κόλπος ο οποίος όμως επιχωματωνόταν από τα παρακείμενα ρέματα (Δυτικών Τειχών και Αρχαίων Ιερών), όπως φαίνεται και σε σχέδια παλαιότερων εποχών. Οι μηχανικοί του Μεγάλου Κωνσταντίνου ουσιαστικά έσκαψαν τα φερτά υλικά των ρεμάτων, επέκτειναν και δημιούργησαν τελικά το νέο λιμάνι (Φωτιάδης 2000). Η Θεσσαλονίκη μέχρι τότε εξυπηρετούνταν από ένα άλλο λιμάνι, μικρότερο στην περιοχή του Λευκού Πύργου (Εθνική Τράπεζα της Ελλάδος 1995) όπως προαναφέραμε.

Πρέπει να ληφθεί υπόψη η διαφορετική μορφολογία των κόλπου την εποχή εκείνη. Ο κόλπος ήταν ανοιχτότερος και δεν είχαν επεκταθεί οι προσχώσεις του Γαλλικού ποταμού αλλά και του Δενδροποτάμου. Στην δυτική πλευρά του λιμένα τα ρέματα Ρ. Φερραίου, Συκεών και Λοξού Λάκκου έφερναν φερτά υλικά όπως επίσης και ο Δενδροπόταμος λίγο μακρύτερα. Η κατασκευή του κυματοθραύστη λοιπόν λειτουργούσε και σαν προστασία από τις επιχωματώσεις των ρεμάτων αυτών.



Σχ.132 Σκαρίφημα της περιοχής Πλατείας Ελευθερίας. Διακρίνεται Το παραθαλάσσιο τείχος και οι υδάτινες ροές της περιοχής με τις μεταβολές της ακτογραμμής το 1871, 1882 & σήμερα. (Malamut & Grelois 2005)

Το λιμάνι κρατήθηκε ανοιχτό και λειτουργικό όλη την Βυζαντινή περίοδο ενώ ήδη από το 1685 άρχισε να εγκαταλείπεται και να προσχώνεται. Σύμφωνα με χάρτες της εποχής στην περιοχή του λιμανιού εξέβαλλαν 4 μικροί χείμαρροι (Δυτικών Τειχών και Αρχαίων Ιερών). Από αυτούς οι δύο πιστεύεται ότι ήταν τοπικοί για την παροχέτευση των ομβρίων υδάτων (Επαμεινώνδας, 2014). Η σταδιακή επιχωμάτωση λόγω των χειμάρρων οδήγησε στην δημιουργία ενός νέου οικισμού έξω από τα τείχη της πόλης που λεγόταν Προάστιο Αποβάθρας όπου και ξεφόρτωναν τα καΐκια (Λαδάδικα).



Σχ.133 Η παλαιότερη φωτογραφία των παραλιακών τειχών της Θεσσαλονίκης το 1860. Γκρέμισμα των τειχών και επιχωμάτωση το 1870 (Δημόσια Ομάδα, Παλιές φωτογραφίες της Θεσσαλονίκης: <https://www.facebook.com/groups/oldthessaloniki>)

Τα τείχη άρχισαν να κατεδαφίζονται στις 17-11-1870 από τον Σαμπρή Πασά (Σχ.133). Ο στόχος για την κατεδάφιση των τειχών ήταν ο καλύτερος αερισμός της πόλης, η δημόσια υγιεινή με στόχο την μείωση των κρουσμάτων πανούκλας, λόγω λιμνάζοντων υδάτων εσωτερικά των παραθαλάσσιων τειχών. Παράλληλα ο Πασάς της πόλης είχε όραμα για δημιουργία μεγαλύτερου λιμανιού με χωρητικότητα για περισσότερα πλοία. Στην Ευρώπη ήταν μόδα την εποχή εκείνη η κατεδάφιση των μεσαιωνικών Τειχών των πόλεων για την ανανέωσή τους, αλλά και την επέκταση των πόλεων. Τα υλικά από την κατεδάφιση χρησιμοποιήθηκαν στην επιχωμάτωση και την επέκταση της παραλίας και της προκυμαίας. Η θεμελίωση της νέας αυτής παραλίας έγινε από το 1870-1880. Το 1906 πραγματοποιήθηκε διαπλάτυνση της προκυμαίας (Βλαχόπουλος 2019).

Πάνω σε αυτά τα φερτά υλικά από τους χείμαρρους και των μπαζών από την κατεδάφιση των τειχών δημιουργήθηκε τελικά η Πλατεία Ελευθερίας (Σχ.134). Αρχικά είχε μικρότερο μέγεθος και λεγόταν Πλατεία Αποβάθρας λόγω της θέσης της (επιβίβαση και αποβίβαση επιβατών και εμπορευμάτων). Μετά την πυρκαγιά του 1917 ονομάστηκε Πλατεία Ολύμπου, έπειτα Πλατεία Ελευθερίας λόγω της επανάστασης των Νεότουρκων και μετά το 1912 το όνομα παρέμεινε προς τιμή της επανάστασης των Ελλήνων αυτή την φορά.



Σχ.134 Η αποβάθρα της Πλατείας Ελευθερίας (Δημόσια Ομάδα, Παλιές φωτογραφίες της Θεσσαλονίκης:
<https://www.facebook.com/groups/oldthessaloniki>)

Αστικά γεωτεχνικά προβλήματα που σχετίζονται με ενεργά ρήγματα

Η γνώση της γενικής γεωλογίας και της τεκτονικής σε μία αστική περιοχή παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στον εντοπισμό των γεωτεχνικών προβλημάτων που θα μπορούσαν να προκύψουν και να επηρεάσουν το δομημένο περιβάλλον. Στην Θεσσαλονίκη έχουν καταγραφεί διάφοροι ιστορικοί σεισμοί οι οποίοι προκάλεσαν καταστροφές σε δομικά της στοιχεία, κτίσματα και ναούς. Οι σεισμοί οι οποίοι σχετίζονται με ρήγματα εγγύτερα στην πόλη φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. Δυστυχώς μόνο υποθέσεις μπορούμε να κάνουμε για το ποια ρήγματα προκάλεσαν τους σεισμούς αυτούς μια και δεν υπάρχουν ιστορικές καταγραφές.

Ημερομηνία		Μέγεθος	Μέγιστη Ένταση	Επικεντρική Απόσταση από Θεσσαλονίκη (km)
620		6.6	VII Θεσσαλονίκη	40
667		6.6	VII Θεσσαλονίκη	20
700		6.6	VII Θεσσαλονίκη	12
1430	Φεβρουάριος	6.0	VII	30
1677		6.2	VIII Βασιλικά	20
1759	22 Ιουνίου	6.5	IX Θεσσαλονίκη	15

Παρακάτω θα παρουσιαστούν, συνοπτικά, κάποια γεωτεχνικά – γεωλογικά προβλήματα τα οποία θα μπορούσαν να απασχολήσουν το πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης.

Ρευστοποίηση

Για την ρευστοποίηση στο αστικό περιβάλλον της Θεσσαλονίκης έγιναν πολλές μελέτες (Gazetas & Botsis 1981, Hatzigogos et al., 1983) ειδικά μετά τον σεισμό του 1978. Τα εδάφη τα οποία είναι πιο επιδεκτικά σε φαινόμενα ρευστοποίησης είναι τα χαλαρά, κορεσμένα σε νερό (κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα), νεότερης ηλικίας (Ανω Ολόκαινο), σε μικρά σχετικά βάθη από την επιφάνεια. Παράλληλα επιδεκτικά είναι τα εδάφη εκείνα τα οποία προέρχονται από αλλουβιακές π.χ. δελταϊκές αποθέσεις (ομοιόμορφα ταξινομημένες), και έχουν μικρό μέγεθος κόκκων δηλαδή είναι λεπτόκοκκα αμμώδη έως ιλυώδη (Παπαθανασίου 2006).

Βασικό χαρακτηριστικό κατάταξης σε υψηλή και χαμηλή επιδεκτικότητα προς ρευστοποίηση είναι οι χαμηλές τιμές ($N < 3$) στις επί τόπου δοκιμές εδάφους SPT (Standard Penetration Test) που γίνονται κατά την διάνοιξη δειγματοληπτικών γεωτρήσεων, η μέση τιμή των κόκκων στων στρώσεων D_{50} και το βάθος των εδαφών (Hatzigogos et al., 1983).



Φαινόμενα ρευστοποίησης (ανοιχτόχρωμοι άμμοι σε καλλιεργήσιμο έδαφος) σε αγροτικές εκτάσεις ύστερα από τον σεισμό Δαμασίου 2021 (Valkaniotis et al. 2021)



Χαρακτηριστικό παράδειγμα ρευστοποίησης: κρατήρας και ροές άμμου στην περιοχή της Πηνειάδας κατά τον σεισμό Δαμασίου 2021 (Φωτ. Α. Χατζηπέτρος
<http://eqgeogr.weebly.com/blog/2973352>



Φαινόμενο ρευστοποίησης του εδάφους κατά μήκος των σεισμικών ρωγμών στο ρήγμα του Στίβου κατά τον Σεισμού του 1978 (Φωτ. Γ. Συρίδης)

Σχ.135 Φαινόμενα ρευστοποιήσεων

Στο παράκτιο μέτωπο της Θεσσαλονίκης συναντάμε τέτοια εδάφη επιδεκτικά σε φαινόμενα ρευστοποίησης σε περίπτωση σεισμού. Το πρώτο στρώμα με υψηλή επιδεκτικότητα είναι της τεφρής αργίλου το οποίο βρίσκεται κατά μήκος της σημερινής ακτογραμμής από την δυτική Θεσσαλονίκη μέχρι την Καλαμαριά στα νότια. Πρόκειται για ρηχό στρώμα κορεσμένο και χαλαρό αποτελούμενο κατά κύριο λόγο από ιλύ έως λεπτόκοκκη άμμο, ολοκαινικής ηλικίας. Το δεύτερο στρώμα βρίσκεται στην περιοχή της ανατολικής Θεσσαλονίκης στις τεταρτογενείς λιμνοθαλάσσιες – δελταϊκές αποθέσεις. Μέσα στις αποθέσεις αυτές βρίσκονται στρώματα σε φακοειδή μορφή, περιορισμένης έκτασης δηλαδή, κορεσμένα και ιλυώδη έως λεπτόκοκκα αμμώδη. Λόγω του μεγάλου πάχους των ιζημάτων και της μικρής έκτασης ο σχηματισμός αυτός έχει χαμηλότερη επιδεκτικότητα σε ρευστοποιήσεις.

Καθιζήσεις

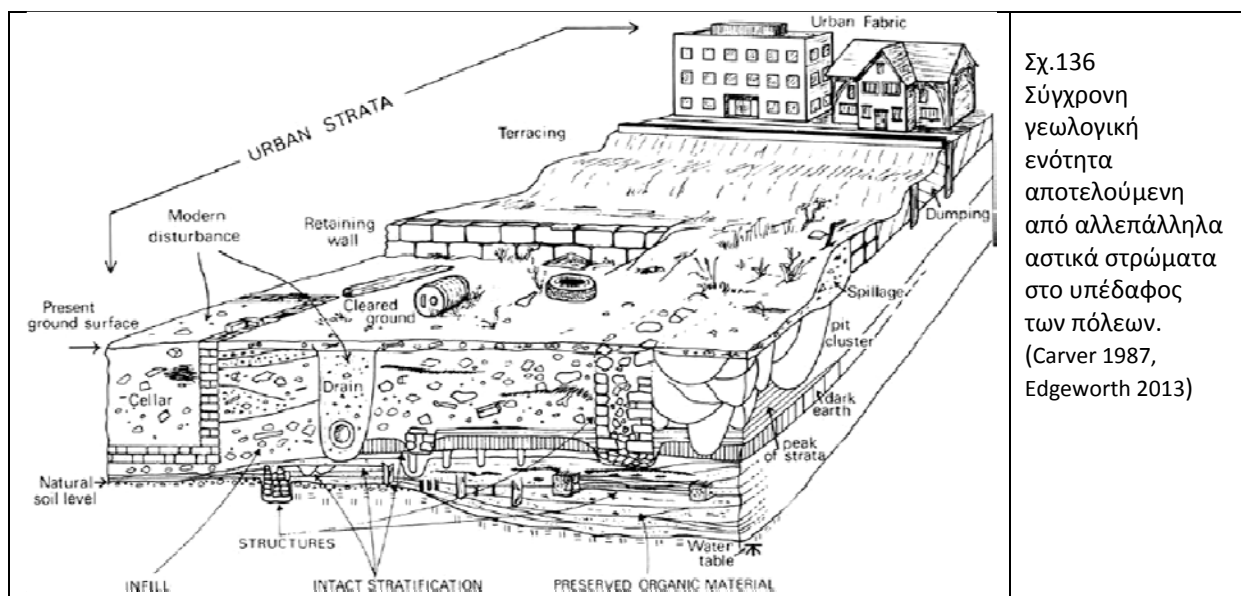
Ένα άλλο γεωτεχνικό πρόβλημα που μπορεί να παρουσιαστεί κατά την δόμηση σε αστική περιοχή είναι οι καθιζήσεις. Με τον όρο καθίζηση εννοούμε την κατακόρυφη μετακίνηση του εδάφους ή αλλιώς την συμπύκνωση του εδαφικού σχηματισμού πάνω στον οποίο θεμελιώνεται μία κατασκευή. Οι καθιζήσεις σε αστικές περιοχές μπορούν να προκληθούν από διάφορες αιτίες:

- ο από το βάρος μιας νέας κατασκευής
- ο από δονήσεις λόγω σεισμικών γεγονότων ή προερχόμενες από την κίνηση των μέσων μαζικής μεταφοράς (Sidorova & Voznesensky 2009)
- ο από διαγένεση χαλαρών τεταρτογενών ιζημάτων
- ο από μεταβολές της πιεζομετρικής στάθμης υδροφόρων οριζόντων (Μαρίνος 1991)

Διακρίνονται στις γενικές ή ολικές καθιζήσεις και στις διαφορικές καθιζήσεις.

Το δεύτερο είδος των διαφορικών καθιζήσεων είναι ιδιαίτερα σημαντικές όταν έχουμε την έδραση κατασκευών πάνω σε ρηξιγενείς ζώνες. Οι καθιζήσεις παρουσιάζονται κυρίως σε χαλαρά και μη συνεκτικά εδάφη. Ο χρόνος καθίζησης του σχηματισμού εξαρτάται από το είδος του γεωλογικού σχηματισμού.

Γενικές καθιζήσεις θα μπορούσαν να συμβούν στο πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης μια και αυτό εδράζεται κατά ένα μεγάλο μέρος του σε τεχνικές – ανθρωπογενείς αποθέσεις. Είδαμε παραπάνω πόσο ανομοιογενής είναι αυτός ο σχηματισμός με μεγάλα κενά τα οποία οφείλονται στο αρχαιολογικό στρώμα αλλά και στις οδεύσεις των δικτύων οργανισμών κοινής ωφελείας (ΟΚΩ) (Σχ.136).



Σχ.136
Σύγχρονη
γεωλογική
ενότητα
αποτελούμενη
από αλληπάλλληλα
αστικά στρώματα
στο υπέδαφος
των πόλεων.
(Carver 1987,
Edgeworth 2013)

Παράλληλα διαφορικές καθιζήσεις μπορεί να παρουσιαστούν κατά την θεμελίωση κατασκευών πάνω σε νεοτεκτονικά ρήγματα στα οποία υπάρχουν διαφορετικά γεωλογικά υλικά εκατέρωθεν στις διάρρηξης. Τα νεοτεκτονικά ρήγματα επηρεάζουν τα πρόσφατα ιζήματα και στις είδαμε αποτελούν τα όρια μεταξύ διαφορετικής ηλικίας, σύστασης και γεωτεχνικών χαρακτηριστικών σχηματισμών. Στα κανονικά ρήγματα, τα οποία αποτελούν και την πλειοψηφία για την περιοχή στις

Θεσσαλονίκης, ο σχηματισμός στο τμήμα του ρήγματος το οποίο βυθίζεται, είναι συνήθως χαλαρός και μη συνεκτικός σε σχέση με τον σχηματισμό του ανερχόμενου τμήματος του ρήγματος, άρα και πιο επιδεκτικός σε φαινόμενα καθιζήσεων.

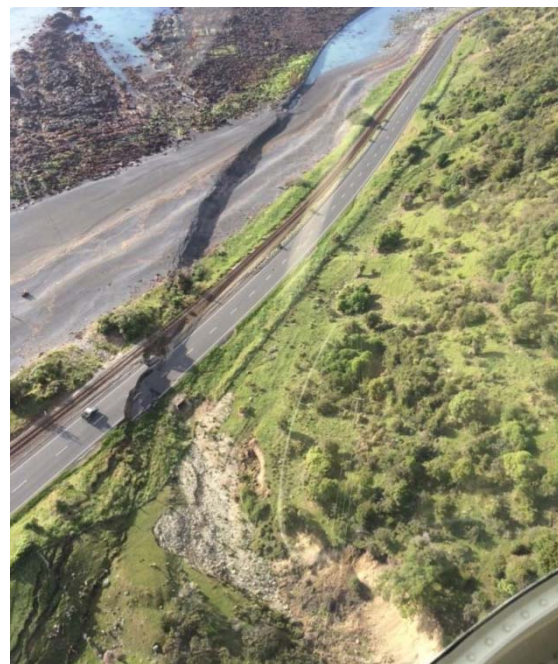
Μετατοπίσεις εδαφών

Κατά την διάρκεια σεισμού μπορούν να παρουσιαστούν μετακινήσεις – μετατοπίσεις εδάφους κατά μήκος στις διάρρηξης κατακόρυφες ή και οριζόντιες (Σχ.137). Ανάλογα με το μέγεθος του σεισμού και το είδος του ρήγματος μετριοούνται μετατοπίσεις από κάποια εκατοστά μέχρι και περισσότερο του μέτρου. Μετατοπίσεις εκατέρωθεν ρηγμάτων μπορούν να παρατηρηθούν και χωρίς σεισμικά γεγονότα με ολίσθηση εδαφών κατά μήκος στις επιφάνειες του ρήγματος.

Θέσεις επιδεκτικές σε τέτοια φαινόμενα είναι αυτές που βρίσκονται κατά μήκος ενεργών ρηγμάτων. Περισσότερο επικίνδυνες είναι οι θέσεις πάνω στις οποίες εδράζονται κατασκευές.



Επιφανειακή διάρρηξη το 2005 στην Περαιά (Θεσσαλονίκη) ύστερα από σεισμική ολίσθηση



Επιφανειακή διάρρηξη σε αυτοκινητόδρομο ύστερα από τον σεισμό $M=7.8$ το 2016 στην Kaikoura – N. Zealand (Stirling et al., 2017)

Σχ.137 Επιφανειακές διαρρήξεις σε οδικά δίκτυα

Κατολισθήσεις - Ευστάθεια πρανών

Ο γενικός όρος κατολισθήσεις περιλαμβάνει την μετακίνηση γαιών (βραχωδών ή εδαφικών) οι οποίες συμβαίνουν κατά μήκος μίας επιφάνειας. Η επιφάνεια αυτή μπορεί να είναι ένα ρήγμα ή ένα πρανές φυσικό ή τεχνητό. Ανάλογα με το είδος της κατολίσθησης και τον μηχανισμό της διακρίνονται διάφοροι τύποι. Οι αιτίες της έναρξης των κατολισθήσεων επίσης είναι πολλές όπως η φύση των γεωυλικών (γεωλογία), η επίδραση του νερού (υδρογεωλογία), τα σεισμικά γεγονότα, οι μεγάλες κλίσεις των πρανών (μορφολογία) και η επίδραση των ανθρώπων (Highland & Bobrowsky 2008, Μαρίνος 1991). Οι κατολισθήσεις αυτές μπορεί να επηρεάσουν άμεσα το δομημένο περιβάλλον γι' αυτό και μελετούνται εκτεταμένα.

Στην περιοχή του πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης συναντάμε γεωλογικούς σχηματισμούς πάνω στους οποίους θεμελιώνεται το δομημένο περιβάλλον, που είναι επιδεκτικοί σε κατολισθήσεις. Τέτοια γεωϋλικά είναι το βραχώδες υπόβαθρο και οι ημιβραχώδεις νεογενείς ενότητες των ερυθρών αργίλων και των ψαμμιτομαργών (Σχ.138).

Στο βραχώδες υπόβαθρο λόγω του ότι είναι ιδιαίτερα αποσασθρωμένο και κατακερματισμένο παρουσιάζονται φαινόμενα αστοχίας ευστάθειας πρανών. Έχουν γίνει μελέτες για φαινόμενα που παρουσιάστηκαν στην περιοχή της Άνω Πόλης και των 40 Εκκλησιών. Αναφέρονται και στο κεφάλαιο της γεωλογίας τα προβλήματα λόγω των κατακόρυφων πρανών ή και με αρνητική κλίση που διευκολύνουν τις καταπτώσεις τεμαχών.

Τα προβλήματα ευστάθειας πρανών που μπορούν να παρουσιαστούν στα ημιβραχώδη πρανή των νεογενών ενότητων των ερυθρών αργίλων και ψαμμιτομαργών οφείλονται κυρίως στα μεγάλου ύψους κατακόρυφα πρανή τα οποία υπάρχουν σε διάφορες περιοχές της πόλης της Θεσσαλονίκης. Ως επί το πλείστον τα υλικά αυτά εμφανίζονται σταθερά ακόμη και σε κατακόρυφες κλίσεις. Τέτοια πρανή βλέπουμε στην περιφερειακή οδό με την ενότητα των ερυθρών αργίλων και στην περιοχή της Καλαμαριάς και της Νέας Κρήνης με την ψαμμιτομαργαϊκή ενότητα.

Σχ.138 Κατακόρυφα πρανή στην Θεσσαλονίκη



Άνω Πόλη



Περιφερειακή οδός



Νέα Κρήνη (Google photos)

Εκτίμηση μεγέθους και ζώνης επιρροής ρήγματος

Η επέκταση πόλεων σε όλο και μεγαλύτερες εκτάσεις, αλλά και η πυκνή δόμηση σε περιοχές με συνεχή κατοίκηση προϋποθέτουν την λεπτομερή μελέτη του υπεδάφους για την ελαχιστοποίηση των κινδύνων. Στην μελέτη αυτή εκτός από τις γνώσεις της γεωλογίας του υπεδάφους που απαιτούνται για την θεμελίωση των διάφορων κατασκευών της πόλης ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο έχει και η μελέτη της ενεργού τεκτονικής της περιοχής. Ήδη από το 1977 στην Αμερική και ιδιαίτερα στην πολιτεία της Καλιφόρνιας, μια ιδιαίτερα σεισμογενή περιοχή, έγιναν προσπάθειες να προσδιοριστεί η ζώνη επιρροής ενός ενεργού ρήγματος. Ακολούθησαν διάφορες μελέτες μέχρι και σήμερα έτσι ώστε να καταστρωθούν τοπικά αλλά και σε παγκόσμια κλίμακα οδηγοί μελέτης και έρευνας των ενεργών ρηγμάτων σε αστικές περιοχές και ο προσδιορισμός ειδικών ζωνών εκατέρωθεν των ενεργών ρηγμάτων.

Όλα τα σχέδια μελέτης ξεκινάνε από τον προσδιορισμό του ενεργού ρήγματος. Σύμφωνα με μελέτες ενεργό είναι το ρήγμα το οποίο έχει ενεργοποιηθεί κατά το Ολόκαινο δηλαδή τα τελευταία 11.000 χρόνια (Hart & Bryant 1999, Παυλίδης 2003, USGS). Αντίστοιχα ως πιθανά ενεργά είναι τα ρήγματα τα οποία έχουν δραστηριοποιηθεί κατά το Πλειστόκαινο. Παράλληλα τα ρήγματα διαχωρίζονται σε αυτά που είναι εκτενώς μελετημένα (well defined) και έχουν με ακρίβεια χαρτογράφηση του επιφανειακού τους ίχνους και σε αυτά που δεν είναι εκτενώς μελετημένα και δεν μπορεί να προσδιοριστεί με ακρίβεια το ίχνος τους στην επιφάνεια. Στις αστικές περιοχές ειδικά σε αυτές με συνεχόμενη κατοίκηση για εκατοντάδες χρόνια, τα ρήγματα εντός του αστικού ιστού είναι συνήθως μη επαρκώς μελετημένα.

Για να προσδιοριστεί ένα ρήγμα και να μελετηθεί σε βάθος έτσι ώστε να υπολογιστεί ο σεισμικός κίνδυνος σε μία αστική περιοχή υπάρχουν μία σειρά από εργασίες που πρέπει να γίνουν σύμφωνα με τις διεθνείς προδιαγραφές (Hart & Bryant 1999, City of LA DBS 2020, Boncio et al. 2012, Χατζηπέτρος 2018).

Τα πιο σημαντικά στοιχεία που χρειάζεται να προσδιοριστούν σε ένα ενεργό ρήγμα είναι: το αναμενόμενο σεισμικό μέγεθος, ο χρόνος επανάληψής του, οι αναμενόμενες μετακινήσεις και μικρομετακινήσεις. Παράλληλα θα πρέπει να εξεταστεί αν πρόκειται για μεμονωμένο ρήγμα ή σύνθετη ρηξιγενή ζώνη καθώς και αν χωρίζεται σε περισσότερα τμήματα (segments). Πιο αναλυτικά θα χρειαστεί να γίνουν οι παρακάτω διερευνητικές εργασίες για κάθε ενεργό ρήγμα το οποίο βρίσκεται σε δομημένες περιοχές και πολύ περισσότερο στον πυκνό οικιστικό ιστό.

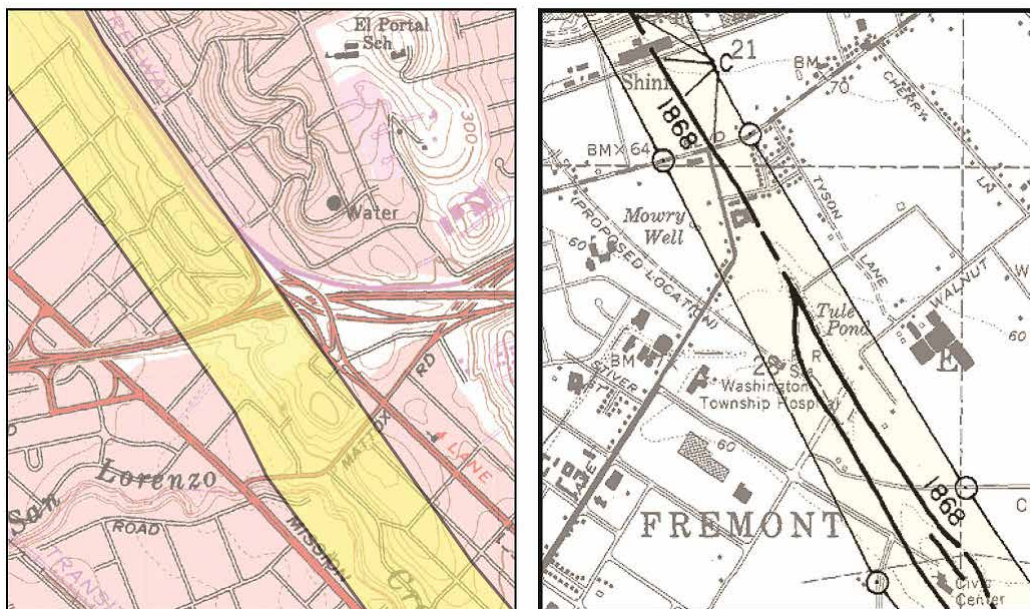
1. Προσδιορισμός ακριβούς θέσης του ρήγματος στην επιφάνεια, με την βοήθεια **γεωφυσικών μεθόδων**. Οι μέθοδοι που προτείνονται από τους Hart & Bryant 1999 και άλλους είναι οι σεισμικές ανακλάσεις υψηλής ανάλυσης, το γεωραντάρ, οι ηλεκτρικές αντιστάσεις και άλλες ανάλογα με την περίπτωση.
2. Εκσκαφή **παλαιοσεισμολογικής τομής (trench)** εγκάρσια του ίχνους ενός κανονικού ρήγματος, όπως αυτό θα εντοπιστεί γεωφυσικά. Η λεπτομερής χαρτογράφηση των πρανών της εκσκαφής αυτής στοχεύει στην συγκέντρωση στοιχείων (Παυλίδης 2003) όπως:
 - τα ποσοτικά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά του ρήγματος (διεύθυνση κλίσης, γωνία κλίσης),
 - την λεπτομερή γεωλογική στρωματογραφία,
 - το πλάτος διαρρηγμένης ζώνης,
 - την ενεργοποίησή του σε παλαιότερες χρονικές περιόδους (σεισμικά γεγονότα) και την περίοδο επανάληψής τους,
 - την μετατόπιση (κατακόρυφη και οριζόντια) του εδάφους ανά σεισμικό γεγονός,
 - όπως και της περιόδου επανάληψης τους και τον ρυθμό ολίσθησης, με την βοήθεια των γεωχρονολογήσεων.
3. Για τον ακριβέστερο προσδιορισμό του συνολικού άλματος (μεγέθους κατακόρυφης μετατόπισης) του ρήγματος απαιτείται και η διάτρηση **δειγματοληπτικών γεωτρήσεων** στο κατερχόμενο τέμαχος του ρήγματος μέχρι το βάθος εντοπισμού της στρωματογραφίας του

ανερχόμενου τεμάχους του ρήγματος. Επίσης σε περίπτωση που δε είναι δυνατή η εκσκαφή παλαιοσεισμικής τομής όπως στην περίπτωση πυκνά δομημένου αστικού περιβάλλοντος, προτείνεται η διάνοιξη σειράς δειγματοληπτικών γεωτρήσεων για τον προσδιορισμό των παραπάνω στοιχείων. Οι γεωτρήσεις αυτές όταν μετατραπούν σε πιεζόμετρα θα μπορούν να παρακολουθούν και τις μεταβολές της **πιεζομετρικής στάθμης** της περιοχής του ρήγματος.

4. Σημαντικό ρόλο στην μελέτη του ρήγματος έχουν και οι **γεωχρονολογήσεις** των στρωμάτων εκατέρωθεν του ρήγματος. Ιδιαίτερη σημασία έχει η εύρεση και χρονολόγηση των παλαιοεδαφών. Αυτές μπορεί να γίνουν είτε με ακριβείς μεθόδους όπως την μέθοδο του άνθρακα ^{14}C (Παυλίδης 2003), είτε με μεθόδους σχετικής χρονολόγησης.
5. Για την καλύτερη μελέτη και την παρακολούθηση ενός ενεργού ρήγματος στην διάρκεια του χρόνου θα μπορούσε να εγκατασταθεί ένα **σύστημα ενόργανης παρακολούθησης (monitoring)**. Οι παράμετροι που ελέγχονται είναι οι οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις των εδαφικών σχηματισμών. Αυτό θα μπορούσε να περιλαμβάνει τα παρακάτω όργανα:
 - την τοποθέτηση σεισμογράφων για την καταγραφή της μικροσεισμικότητας,
 - την δημιουργία δικτύου τοπογραφικών σημείων. Οι γεωδαιτικές μέθοδοι παρακολούθησης χρησιμοποιούνται για την καταγραφή των μετακινήσεων των εδαφών και των κτιρίων. Αποτελούν τοπογραφικές μετρήσεις οι οποίες εκτελούνται με διάφορες μεθόδους από τοπογράφους και δίνουν πολύ αξιόπιστα αποτελέσματα. Καταγράφονται για κάθε σημείο οι συντεταγμένες του x,y,z ως προς ένα σύστημα αναφοράς. (Κωστόπουλος 2005). Η περιοδική μέτρηση των επιλεγμένων σημείων οδηγεί στον ακριβή προσδιορισμό αποκλίσεων από την αρχική του θέση λόγω εδαφικών μετακινήσεων.
 - την παρακολούθηση της **στάθμης των νερών** στην περιοχή αλλά και του **χημισμού** τους. Τα πιεζόμετρα χρησιμοποιούνται για να καταγράψουν το ύψος της πιεζομετρικής στάθμης και τις μεταβολές του υδροφόρου ορίζοντα. Τέτοιες μεταβολές παρατηρούνται εκατέρωθεν ρηγμάτων.
 - την παρακολούθηση των μετακινήσεων και ασεισμικών ολισθήσεων με κλισιόμετρα (inclinometers) και creep meters.
 - Τα κλισιόμετρα καταγράφουν τις οριζόντιες μετακινήσεις του εδάφους. Η ακρίβειά τους είναι υψηλή έως και 0,01mm (Κωστόπουλος 2005). Τα κλισιόμετρα εγκαθίστανται σε γεωτρήσεις.
 - Τα ρωγμόμετρα χρησιμοποιούνται για την καταγραφή της απόστασης μεταξύ των τμημάτων των ρωγμών σε δομικά στοιχεία (τοιχοποιίες, σκυρόδεμα). Τα όργανα αυτά καταγράφουν τις μεταβολές των αποστάσεων σε όλες τις διαστάσεις, παράλληλα ή κάθετα στη διεύθυνση των ρωγμών. Θα μπορούσαν να είναι και μεγαλύτερες σταθερές κατασκευές εκατέρωθεν ρηγμάτων.

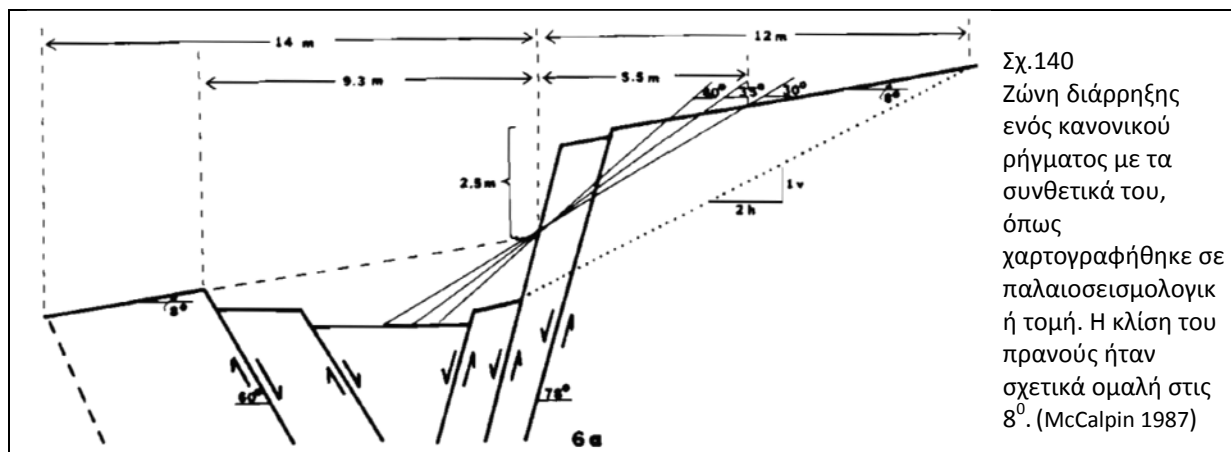
Η σειρά αυτή των ενεργειών που περιγράφηκαν παραπάνω αποτελούν τη βάση για την σύνταξη των ειδικών μελετών για την εκτίμηση σεισμικού κινδύνου σε αστικές περιοχές που γειτνιάζουν με ενεργά ρήγματα. Ο στόχος των μελετών αυτών είναι να καθοριστούν ζώνες μη δόμησης ή δόμησης υπό όρους και προϋποθέσεις σε περιοχές από τις οποίες διέρχονται ενεργά ρήγματα. Ήδη από το 1977 στην Καλιφόρνια των ΗΠΑ έχουν ξεκινήσει την οριοθέτηση ζωνών εκατέρωθεν των ενεργών ρηγμάτων (Hart & Bryant 1999, California - Alquist-Priolo Earthquake Fault Zoning Act). Αρχικά έγινε μία γενική σεισμική ζώνη (EFZ) 150 μέτρων από το ίχνος των κυριότερων ενεργών ρηγμάτων και 60-

90 μέτρων από τα ρήγματα τα οποία είναι με ακρίβεια χαρτογραφημένα (Σχ.139). Σήμερα η γενική ζώνη έχει επεκταθεί στα 200 μέτρα για να περιλαμβάνει και πιθανούς κλάδους του ενεργού ρήγματος. Στις οδηγίες που δίνονται από την πολιτεία της Καλιφόρνιας στην πόλη του Los Angeles (City of LA DBS 2020) ορίζουν ζώνη μη δόμησης (setback - S) ή ειδικής δόμησης, μια ζώνη 15 μέτρων εκατέρωθεν ενός καλά προσδιορισμένου ρήγματος, και πάλι ανάλογα με τις ειδικές συνθήκες. Η ειδική δόμηση περιλαμβάνει σύμφωνα με τις οδηγίες ειδικά ενισχυμένη θεμελίωση για την αποτροπή των μικρομετακινήσεων στην γειτονία του ρήγματος.

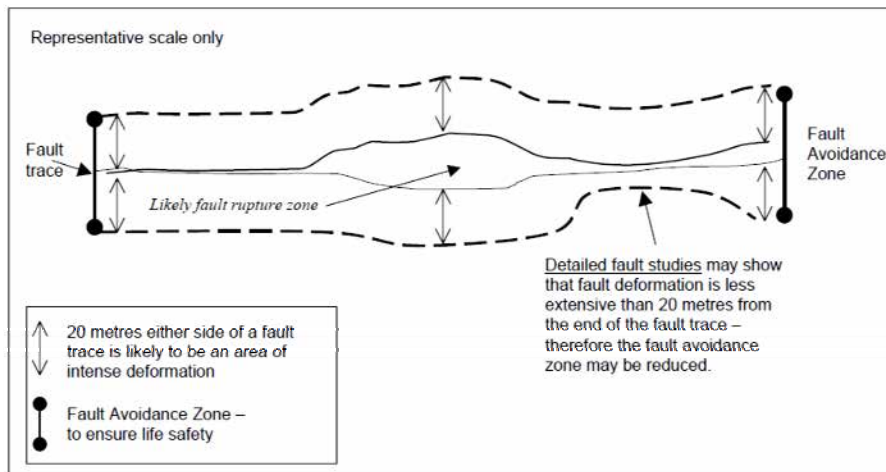


Σχ.139 Τυπική ζώνη ειδικής δόμησης εκατέρωθεν ενεργού ρήγματος στην Καλιφόρνια (Hollywood Fault). Το μήκος της μπορεί να είναι πολλά χιλιόμετρα και το πλάτος της ζώνης στα 400 μέτρα (Alquist-Priolo Earthquake Fault Zoning Act, <https://www.conservation.ca.gov/cgs/alquist-priolo>).

Τις ζώνες αυτές έχει μελετήσει και ο McCalpin 1987 σε παλαιοσεισμολογικές τομές και έχει καταλήξει ότι το πλάτος επιρροής εξαρτάται αρχικά από τα γεωλογικά υλικά, τα οποία μπορούν να υποστούν διάβρωση και να μεταβάλουν το πλάτος της ζώνης (Σχ.140). Επίσης σημαντικό ρόλο έχει η τοπογραφία (κλίση πρανών) και η αρχική γεωμετρία του ρήγματος, η ύπαρξη δευτερευόντων κλάδων και ρηγμάτων παράλληλα στο κύριο, αλλά και η κλίση τους. Γενικά κατέληξε ότι η απόσταση επιρροής (setback) ενός καλά χαρτογραφημένου ρήγματος είναι για το ανερχόμενο τέμαχος τα 12 μέτρα και για το κατερχόμενο τα 150 μέτρα από το ίχνος του ρήγματος.



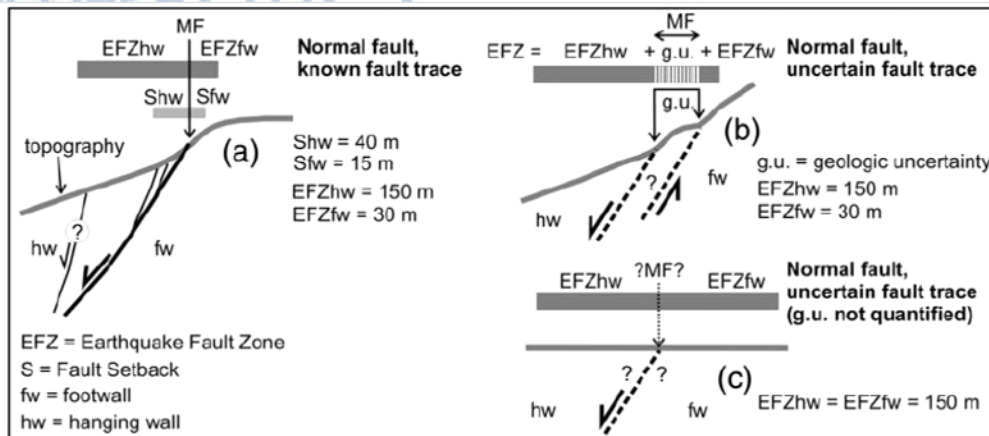
Αντίστοιχες μελέτες για τον προσδιορισμό ζωνών ειδικής ή μη δόμησης σε κατοικημένες περιοχές έγιναν και στην Νέα Ζηλανδία (Kerr et al. 2003). Ιδιαίτερα σημαντικό στις οδηγίες που δίνονται (Guideline to assist resource management planners in New Zealand) είναι η λεπτομερής χαρτογράφηση του επιφανειακού ίχνους του ρήγματος και των διαρρήξεών του και η εύρεση της περιόδου επανάληψης του σεισμικού γεγονότος. Οι γενικές οδηγίες που δίνονται είναι για αποφυγή δόμησης σε ζώνη 20 μέτρων εκατέρωθεν του ρήγματος αλλά και πάλι ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες που θα προκύψουν από την χαρτογράφηση και με την κατηγορία του κτηρίου (Σχ.141).



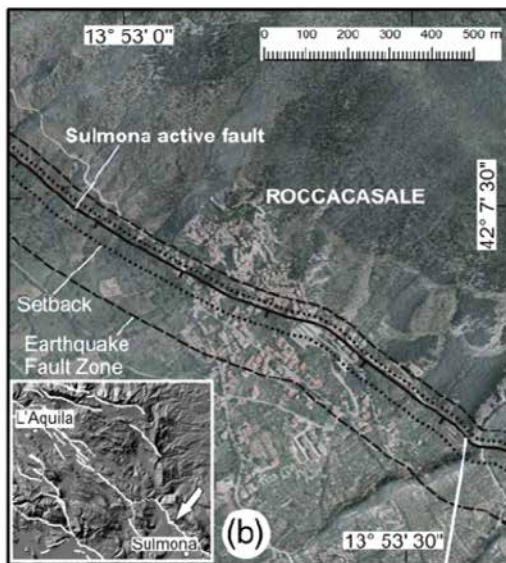
Σχ.141
Ζώνη αποφυγής δόμησης 20 μέτρων εκατέρωθεν του επιφανειακού ίχνους του ρήγματος. Χρήση για τον χωροταξικό σχεδιασμό της πόλης (Kerr et al. 2003)

Στην Ιταλία επίσης ύστερα από τον καταστροφικό σεισμό του 2009 στην L' Aquila έγινε μία προσπάθεια να προσδιοριστούν ζώνες σεισμικού κινδύνου σε περιοχές ενεργών ρηγμάτων αλλά και ζώνες μη δόμησης (Boncio et al. 2012). Η μελέτη αυτή βασίστηκε σε αυτήν της California - Alquist-Priolo Earthquake Fault Zoning Act. Τα ρήγματα της Κεντρικής Ιταλίας χαρτογραφήθηκαν, έγιναν γεωφυσικές μελέτες και λεπτομερείς παλαιοσεισμολογικές τομές και τελικά προσδιορίστηκαν σεισμικές ζώνες για τα κανονικά ρήγματα της περιοχής. Οι ζώνες αυτές αλλά και τα χαρακτηριστικά των ρηγμάτων και τα σεισμικά γεγονότα συγκρίθηκαν και με άλλες περιοχές του κόσμου αλλά και με ρήγματα στον Ελλαδικό χώρο (Κόρινθος, Καλαμάτα, Αλιάκμονας).

Με βάση γενικά κριτήρια προσδιορίστηκαν τελικά σεισμικές ζώνες κανονικών ρηγμάτων EFZ και ζώνες μη δόμησης S (Setback). Οι ζώνες αυτές διαφέρουν ανάλογα με την ακρίβεια χαρτογράφησης του επιφανειακού ίχνους του ρήγματος και ανάλογα με το τέμαχος του ρήγματος ανερχόμενο (footwall - FW) ή κατερχόμενο (hanging wall - HW). Στο κατερχόμενο τέμαχος η σεισμική ζώνη είναι στα 150m και στο ανερχόμενο στα 30m εκτός αν το ρήγμα δεν έχει προσδιορισμένο ίχνος στην επιφάνεια. Η ζώνη μη δόμησης S σε γνωστό κανονικό ρήγμα είναι της τάξης των 40 μέτρων στο κατερχόμενο τέμαχος του ρήγματος, και στα 15 μέτρα στο ανερχόμενο (Σχ.142).



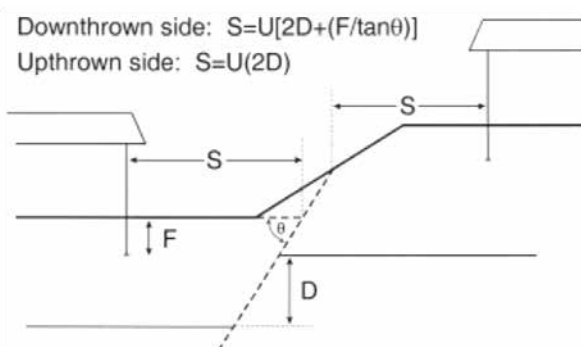
Σχ.142α
Προτεινόμενες
με γενικά
κριτήρια
σεισμικές ζώνες
(EFZ) και ζώνες
μη δόμησης (S)
(Boncio et al.
2012)



Σχ.142β

Χάρτης όπου σχεδιάστηκαν οι σεισμικές ζώνες (EFZ) και ζώνες μη δόμησης (S) για το ρήγμα Roccasale (Boncio et al. 2012)

Ως ζώνη μη δόμησης (setback) S ορίζεται η ελάχιστη απόσταση από το ενεργό ρήγμα στην οποία θα πρέπει να αποφεύγεται η δόμηση. Σύμφωνα με Zhang et al. 2012 οι ζώνες μη δόμησης μελετώνται τα τελευταία χρόνια και υπάρχουν διάφορες νομοθεσίες σχετικά με το πλάτος τους. Στην Ταϊβαν οι ζώνες αυτές προσδιορίζονται εκτός από τα ίδια τα ρήγματα και από το αναμενόμενο μέγεθος σεισμού ενώ στην Κίνα εξαρτώνται επίσης και από το είδος των κτηρίων που θα κατασκευαστούν. Παρακάτω παρουσιάζεται η προσπάθεια ποσοτικοποίησης του πλάτους της ζώνης μη δόμησης των ρηγμάτων λαμβάνοντας υπόψη τα γεωμετρικά στοιχεία του ρήγματος και το ίδιο το κτήριο (Σχ.143).



Σχ.143 Τύποι και σχήμα για τον προσδιορισμό της ζώνης μη δόμησης S στο ανερχόμενο και κατερχόμενο τέμαχος του ρήγματος.

Όπου:

U= συντελεστής ανάλογα με το είδος κτηρίου

F= βάθος θεμελίωσης

D= Κατακόρυφη μετατόπιση ρήγματος

θ = Γωνία κλίσης ρήγματος

(Zhang et al. 2012)

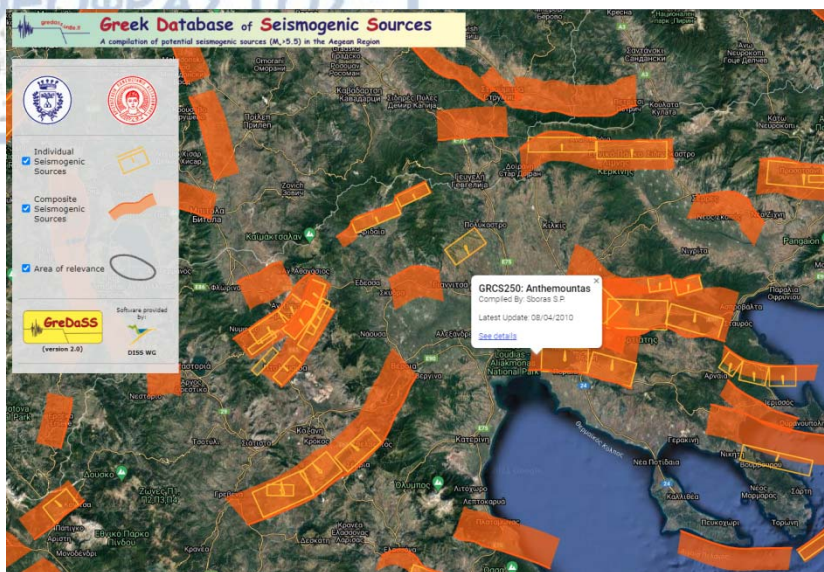
Σύμφωνα με τον ελληνικό κανονισμό ΕΑΚ2000 και τις οδηγίες οι οποίες μελετώνται ακόμη από τον ΟΑΣΠ (2021) προτείνεται η εκπόνηση ειδικής μελέτης τα περιεχόμενα της οποίας εξετάζονται. Ο ΟΑΣΠ επεξεργάζεται «Σχέδιο Οδηγιών Εκπόνησης Ειδικής Τεχνικογεωλογικής Έρευνας - Μελέτης για την διερεύνηση ρηγμάτων μέσα σε οικοπεδική έκταση καθώς και Σχέδιο Οδηγιών για τη Διενέργεια Γεωτεχνικής Έρευνας-Μελέτης μέσα σε οικοπεδική έκταση για δόμηση κτιριακών έργων επάνω ή σε γειτονία με ρήγματα, με σκοπό η εκπόνηση των μελετών αυτών να τίθεται κατά περίπτωση ως προϋπόθεση γεωλογικής καταλληλότητας για την έκδοση άδειας δόμησης μέσα σε ζώνη αποφυγής δόμησης επάνω ή σε γειτονία με ρήγματα». Για τον προσδιορισμό της ζώνης αυτής θα πρέπει να λαμβάνονται κριτήρια επικινδυνότητας του ρήγματος, όπως μέγιστο αναμενόμενο σεισμικό μέγεθος, και μέγιστη αναμενόμενη κατακόρυφη μετατόπιση σε σεισμικό γεγονός. Επίσης να λαμβάνονται στοιχεία των γεωλογικών σχηματισμών εκατέρωθεν του ρήγματος, της μορφολογίας της περιοχής αλλά και των κτηρίων και έργων που πρόκειται να κατασκευαστούν.

Monitoring - Βάση Δεδομένων

Για την περαιτέρω μελέτη της γεωλογίας, της τεκτονικής και της εξέλιξης των γεωδομών του αστικού περιβάλλοντος είναι απαραίτητη μία οργανωμένη εθνική βάση δεδομένων των υπόγειων εργασιών που γίνονται στο αστικό περιβάλλον. Τα στοιχεία θα λαμβάνονται από όλες τις υπόγειες δημόσιες και ιδιωτικές εργασίες οι οποίες θα περιλαμβάνουν εκσκαφές, ερευνητικές γεωτρήσεις και υδρογεωτρήσεις. Η βάση αυτή θα περιλαμβάνει την καταγραφή, συλλογή και τελικά την ομαδοποίηση στοιχείων όπως τομές γεωτρήσεων και εργαστηριακά αποτελέσματα εδαφικών δειγμάτων. Με τρόπο αυτό δίνεται μία σαφής και λεπτομερής εικόνα του υποβάθρου θεμελίωσης των κατασκευών. Παρόμοιες βάσεις δεδομένων ήδη λειτουργούν σε χώρες όπως οι Αγγλία, Τσεχία, Γερμανία, ΗΠΑ κ.α. και εμπλουτίζονται όσο περνάν τα χρόνια.

Οργανωμένες βάσεις δεδομένων λειτουργούν στην Ελλάδα για την κατασκευή υπόγειων έργων όπως είναι το Μετρό. Περιλαμβάνουν πλήθος στοιχείων και δεδομένων που προέρχονται από όλες τις υπόγειες εργασίες κατά την κατασκευή του έργου. Οι βάσεις αυτές ενημερώνονται σε πραγματικό χρόνο και μπορούν να δώσουν συναγερμούς σε περίπτωση αστοχιών. Με τον τρόπο αυτό μπορούν να αποφευχθούν καταστροφές δομικών στοιχείων και απώλεια ανθρώπινης ζωής.

Στο πλαίσιο μίας τέτοιας βάσης δεδομένων θα έπρεπε να χαρτογραφηθούν με ακρίβεια τα ενεργά και πιο επικίνδυνα ρήγματα του αστικού περιβάλλοντος μιας πόλης. Μία τέτοια βάση δεδομένων στην Ελλάδα είναι η Gre.Da.S.S. (<http://gredass.unife.it>). Πρόκειται για βάση ενεργών ρηγμάτων του Ελλαδικού χώρου με διάφορες πληροφορίες για κάθε ρήγμα (Σχ.144).

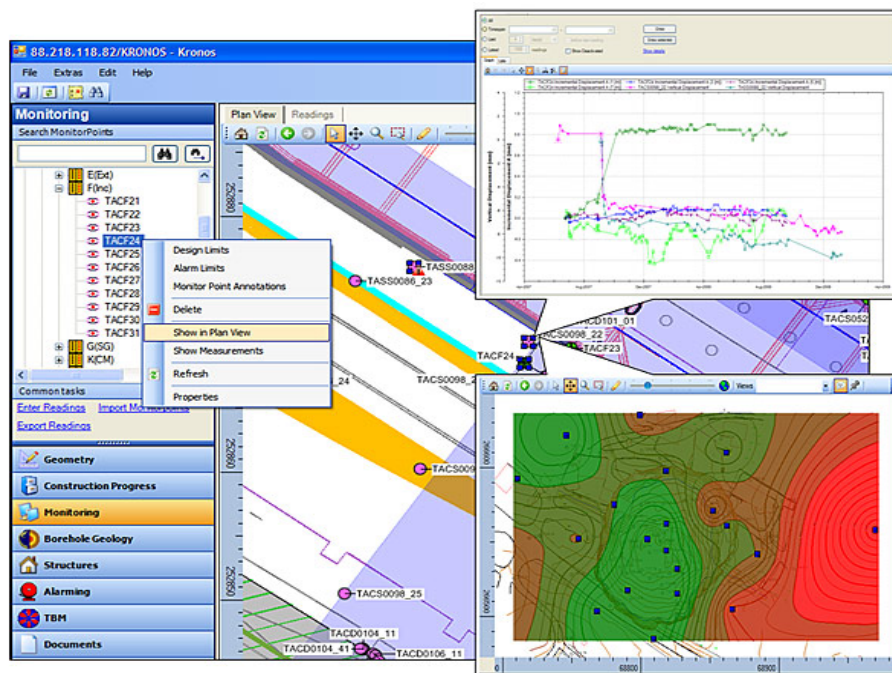


Σχ.144

Απεικόνιση ρηγμάτων στην Ελληνική βάση δεδομένων ενεργών ρηγμάτων Gre.Da.S.S. σε περιβάλλον Google (<http://gredass.unife.it/gredassGM>)

Στη συνέχεια τα καταγεγραμμένα ρήγματα θα πρέπει να παρακολουθούνται ενόργανα (monitoring) για πρόδρομα φαινόμενα μετατοπίσεων αλλά και για σεισμικές ολισθήσεις. Αυτό γίνεται με την βοήθεια οργάνων όπως η εγκατάσταση σε γεωτρήσεις κλισιομέτρων, πιεζομέτρων και την ανάπτυξη τοπογραφικού δικτύου για την καταγραφή μικρομετακινήσεων (Σχ.145).

Η ενόργανη παρακολούθηση των ενεργών ρηγμάτων σε πυκνό αστικό περιβάλλον μπορεί να βοηθήσει στην αποφυγή απωλειών ανθρώπινων ζωών. Ενώ μετά την λεπτομερή χαρτογράφηση των ρηγμάτων η οριοθέτηση ζωνών ειδικής δόμησης ή μη δόμησης σε κάποιες περιπτώσεις, εκατέρωθεν των ενεργών ρηγμάτων, θα μπορούσαν να μειώσουν και το κόστος από την καταστροφή κτηριακών δομών.



Σχ.145

Εικόνα από την βάση δεδομένων KRONOS του Μετρώ Θεσσαλονίκης . Φαίνονται τα παραγόμενα στοιχεία όπως είναι η οριζοντιογραφία ενός τμήματος της περιοχής του έργου, χάρτης ισοκαθιζήσεων και διαγράμματα μετρήσεων ενόργανης παρακολούθησης (Geodata).

Συμπεράσματα

Ο σκοπός μελέτης της αστικής γεωλογίας είναι ο περιορισμός του κινδύνου που προέρχεται από γεωλογικά και περιβαλλοντικά φαινόμενα. Ο σημαντικότερος κίνδυνος είναι ο σεισμικός. Η γνώση της πιθανότητας ενεργοποίησης ενός ρήγματος σε πυκνά δομημένο αστικό περιβάλλον, είναι ιδιαίτερα σημαντική για την ελαχιστοποίηση καταστροφών σε δομικά στοιχεία, απωλειών ανθρώπινης ζωής και οικονομικών επιπτώσεων. Οι επιπτώσεις αυτές περιλαμβάνουν και τα συνοδά γεωτεχνικά προβλήματα που δημιουργεί η ενεργοποίηση ενός ρήγματος όπως είναι οι ρευστοποιήσεις, οι μετατοπίσεις εδαφών και άλλα. Στόχος λοιπόν είναι η αναγνώριση, η χαρτογράφηση και ο χαρακτηρισμός όλων των πιθανών σεισμικών πηγών που θα δώσουν εδαφική κίνηση στην περιοχή.

Στην εργασία αυτή ύστερα από την εκτεταμένη μελέτη γεωλογίας, υδρολογίας και τεκτονικής σχεδιάστηκαν τα ρήγματα τα οποία διατρέχουν το αστικό περιβάλλον της Θεσσαλονίκης. Από τα ρήγματα αυτά τα περισσότερα είναι μικρής δυναμικότητας, και αν και προσανατολισμένα στο ενεργό πεδίο τάσεων της περιοχής Α-Δ δεν αναμένεται να δώσουν ικανούς σεισμούς για να δημιουργήσουν πρόβλημα στην πόλη. Επίσης τα παλαιότερα αλπικά ρήγματα, τα οποία δεν ανήκουν στο ενεργό πεδίο τάσεων, θεωρούνται μη ενεργά χωρίς όμως να μπορεί να αποκλειστεί η πιθανότητα ενεργοποίησής τους σε περίπτωση σεισμικού γεγονότος σε γειτονικό ρήγμα.

Το πιο σημαντικό ρήγμα που εμφανίζει σεισμική επικινδυνότητα και διατρέχει τον αστικό ιστό της Θεσσαλονίκης είναι το ρήγμα της Πυλαίας – Πανοράματος. Το μέγιστο αναμενόμενο μέγεθος σεισμού που μπορεί να δώσει σύμφωνα με γεωλογικά δεδομένα και την ντετερμινιστική (αιτιοκρατική) ανάλυση (Παυλίδης 2003) είναι έως $M=5$, με η μέγιστη μετατόπιση λόγω σεισμού έως $MD=10\text{cm}$. Όμως για την ποσοτικοποιημένη εκτίμηση του σεισμικού κινδύνου χρειάζεται εκτεταμένη έρευνα και μελέτη. Η μελέτη αυτή, όπως αναφέρθηκε, πρέπει να περιλαμβάνει μια σειρά ενεργειών που θα πρέπει να λάβουν χώρα σε όλο το μήκος του ρήγματος που διατρέχει κατοικημένη περιοχή, ενέργειες όπως: γεωφυσικές διασκοπήσεις, παλαιοσεισμολογικές τομές, ενόργανη παρακολούθηση μετατοπίσεων κ.α. Γι' αυτό τον λόγο, δεν θα επιχειρηθεί να σχεδιαστεί ο χάρτης σεισμικού κινδύνου και σεισμικών ζωνών περιοχών της πόλης και να υπολογιστούν ζώνες ειδικής δόμησης μέσα στο πυκνοδομημένο περιβάλλον μιας μεγαλούπολης.

Στην εργασία αυτή μελετήθηκαν μόνο τα ρήγματα τα οποία διατρέχουν το πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης, φυσικά υπάρχουν και τα σημαντικά και μεγαλύτερης δυναμικότητας ρήγματα στην ευρύτερη Θεσσαλονίκη τα οποία σε πιθανή ενεργοποίησή τους θα πλήξουν την πόλη. Τα ρήγματα αυτά που είναι του Ανθεμούντα και των λιμνών της Μυγδονίας Λεκάνης έχουν μελετηθεί παλαιότερα σε διάφορες εργασίες.

Είναι απαραίτητη λοιπόν μια ολοκληρωμένη μελέτη του ενεργού ρήγματος Πυλαίας – Πανοράματος στο Πολεοδομικό Συγκρότημα Θεσσαλονίκης, όπως και του ρήγματος του Ανθεμούντα που θεωρείται το σημαντικότερο και πιο επικίνδυνο ρήγμα για την πόλη της Θεσσαλονίκης. Παράλληλα η δημιουργία μιας βάσης δεδομένων με όλα τα γεωλογικά, γεωτεχνικά, τεκτονικά και υδρολογικά στοιχεία για την πόλη είναι επίσης απαραίτητη όπως υπάρχει σε όλες τις μεγάλες πόλεις του κόσμου. Όλα αυτά μπορούν να συμβάλουν στην ελαχιστοποίηση του κινδύνου και στην ενημέρωση των πολιτών και φορέων για την σπουδαιότητα της γνώσης και πρόληψης του σεισμικού κινδύνου. Παράλληλα μπορεί να συμβάλει και η ένταξη ειδικών μελετών στα σχέδια



προς πολεοδόμηση περιοχών αλλά και επανασχεδιασμού ήδη δομημένων περιοχών λόγω επικαιροποίησης στοιχείων.

ΑΣΤΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΣΤΟ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΚΟ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ - ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Περίληψη

Ο όρος αστική γεωλογία είναι σχετικά σύγχρονος και αποτελεί μια ολιστική και πολυπαραγοντική έρευνα στην οποία εμπλέκονται όλοι οι κλάδοι της γεωλογίας. Τα γεωλογικά προβλήματα που εντοπίζονται στις αστικές περιοχές είναι περισσότερο επικίνδυνα απ’ ότι σε μη κατοικημένα περιβάλλοντα, απαιτούν τεράστιο κόστος αποκαταστάσεων, ενώ μπορούν να προκαλέσουν και απώλειες ανθρώπινων ζωών.

Στην συγκεκριμένη έρευνα θα μελετηθεί η αστική περιοχή της Θεσσαλονίκης ως προς τη γεωλογία, την επιφανειακή υδρολογία και υδρογεωλογία και τέλος την τεκτονική και νεοτεκτονική. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιούνται επίσης για την ιστορική προσέγγιση επέκτασης του αστικού ιστού από την ίδρυσή της πόλης μέχρι σήμερα.

Η αστική γεωλογία χρησιμοποιεί τις γεωτρήσεις σε συνδυασμό με την χαρτογράφηση ανοιχτών εκσκαφών και τα ορατά πρηνή μέσα στον αστικό ιστό. Όλα αυτά συνθέτουν την εικόνα της γεωλογίας κάτω από το επίπεδο θεμελίωσης της πόλης. Στις γεωλογικές ενότητες της Θεσσαλονίκης βρίσκουμε επιφανειακά τον κοινό σχηματισμό όλων των αστικών περιβαλλόντων, τις ανθρωπογενείς αποθέσεις. Ακολουθεί η τεφρή άργιλος και οι παράκτιες άμμοι παράλληλα στην ακτογραμμή, οι τεταρτογενείς αποθέσεις και η ψαμμιτομαργαϊκή ενότητα βαθύτερα. Σε επαφή με το βραχώδες μεταμορφωμένο υπόβαθρο βρίσκεται η ενότητα των Ερυθρών αργίλων.

Η αστικοποίηση έχει επιδράσει και στους υδάτινους πόρους, στην υδρολογία και υδρογεωλογία μιας περιοχής. Ο σχεδιασμός των υδατορεμάτων σε μία αστική περιοχή συμβάλει στην κατανόηση της αρχικής μορφολογίας, ενώ εξάγονται στοιχεία για τους μορφοτεκτονικούς δείκτες και την ύπαρξη νεοτεκτονικών δομών. Στο πλαίσιο αυτό σχεδιάστηκαν και μελετήθηκαν οι χείμαρροι του ιστορικού κέντρου, της δυτικής και της Ανατολικής Θεσσαλονίκης.

Στην περίπτωση εντοπισμού ρήγματος με γεωτρήσεις ή εκσκαφές τα στοιχεία που μπορούν να καταγραφούν είναι περιορισμένα. Ο συνδυασμός τους όμως μαζί με τις επιφάνειες ολίσθησης και άλλα τεκτονικά στοιχεία, μπορεί να δώσει μία εκτίμηση του μήκους επιφανειακής διάρρηξης των ρηγμάτων και της δυναμικότητάς τους. Τα ρήγματα που μελετήθηκαν στον αστικό ιστό είναι: της Αγ. Δημητρίου –Εγνατίας, του Πεδίου Άρεως, Κυβερνείου, Πυλαίας – Πανοράματος, Καλαμαριάς, περιοχής Νέας Ελβετίας, Βότση, Κρήνης και Νοτίου Πανοράματος.

Η γνώση της γεωλογίας και της τεκτονικής σε μία αστική περιοχή παίζει σημαντικό ρόλο και στον εντοπισμό γεωτεχνικών προβλημάτων που θα μπορούσαν να προκύψουν και να επηρεάσουν το δομημένο περιβάλλον. Παρουσιάζονται συνοπτικά αυτά τα οποία θα μπορούσαν να απασχολήσουν το πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης.

Για να προσδιοριστεί ένα ενεργό ρήγμα και να μελετηθεί σε βάθος έτσι ώστε να υπολογιστεί ο σεισμικός κίνδυνος σε μία αστική περιοχή υπάρχουν μία σειρά από επιμέρους εργασίες σύμφωνα με τις διεθνείς προδιαγραφές. Ο στόχος των μελετών αυτών είναι να καθοριστούν ζώνες μη δόμησης ή δόμησης υπό όρους και προϋποθέσεις, σε περιοχές από τις οποίες διέρχονται ενεργά ρήγματα. Οι ζώνες αυτές διαφέρουν ανάλογα με την ακρίβεια χαρτογράφησης του ίχνους του ρήγματος και τα χαρακτηριστικά του.

Για την περαιτέρω μελέτη των γεωδομών του αστικού περιβάλλοντος προτείνεται η δημιουργία οργανωμένης εθνικής βάσης δεδομένων των υπόγειων εργασιών που γίνονται στο αστικό περιβάλλον. Στη βάση αυτή τα ενεργά ρήγματα θα μπορούν να παρακολουθούνται ενόργανα σε πραγματικό χρόνο, για πρόδρομα φαινόμενα μετατοπίσεων αλλά και για σεισμικές ολισθήσεις.

URBAN AND STRUCTURAL GEOLOGY IN THE METROPOLITAN AREA OF THESSALONIKI – SEISMIC HAZARD ASSESSMENT USING GEOLOGICAL DATA

Abstract

Urban geology is a new subject in geology since 1900, associated with urbanization. It is an holistic and multifactor faculty, including all the other sections of geology. Urban subsurface knowledge is very crucial nowadays. Geological problems like seismic hazard are more dangerous in built environments. The cost of rebuilding after a major earthquake, as well as the lives lost is enormous.

In this research, the urban environment of Thessaloniki is studied according to geology, hydrology, hydrogeology, tectonics, and neotectonics. The findings could be associated with the study of the historical expansion of the city of Thessaloniki since its establishment in 315 B.C.

The urban geology report data from core boreholes, open excavation mapping and outcrop observations, when is not covered in urban areas. The combination of all these investigations can result in the geological ground beneath the city. The man-made ground, or modern fill, is the top layer, which is found in all cities. In Thessaloniki, it is also the archaeological layer. Beneath the sands along the coastline is the black clay layer (a very important layer for building foundations near the seaside). Deeper but also at the surface are the neogene layers. First is the Sanstone-Marl formation, and deeper, the Red Clay formation, in contact with the rocky Mesozoic basement of Thessaloniki.

Urbanization has affected the surface hydrology as well as the hydrogeology beneath the city. The drainage network at the surface has been displaced by the inhabitants. Urban cover morphology can contribute to active tectonics.

For the urban faults study, the geological stratigraphy from borehole sheets, excavation mapping, and trenches joined with Slickensides records and morphological data has been

used. The studied faults are: Ag. Dimitriou – Egnatia Fault, Pedio Areos, Kyverneio, Pyleas-Panorama, Kalamaria, N. Elvetia, Votsi, Krini, and South Panorama faults.

The knowledge of tectonic and geological stratigraphy in an urbanized area is very important for mapping geotechnical problems related to seismic hazard in the city, like landslides, liquefaction, and subsidence.

The study of the active faults in urban areas can lead to a seismic hazard assessment and finally to seismic hazard microzonation of built areas. Many governments have developed design hazardous maps with building setback zones near well-defined active fault surface ruptures. In tectonically active cities, the width of these zones is critical for the safety of their inhabitants.

The necessity of a national geological database is demonstrated by the study of urban geology. This database may store reports from any excavation and geological fieldwork in the urban subsurface. At the same time, active faults can be monitored in real time for seismic or aseismic movements.

Βιβλιογραφία

- Alfors J.T., Burnett J.L., Gay Jr.T.E. (1973) "Urban geology, master plan for California", USA
- 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.
- Bathrellos G.D. (2007) "An overview in urban geology and urban geomorphology" Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol.XXXX.
- Bhaskar A.S., Pavich M., Sharp M.J. (2015) "The hydrology of urbanization: The lost springs of Washington, D.C., late Tertiary and Quaternary sediments of D.C., and the Baltimore Long Term Ecological Research site (LTER)" The geological society of America, Field Guide 40.
- Boncio P., Galli P., Naso G., Pizzi A. (2012) "Zoning Surface Rupture Hazard along Normal Faults: Insight from the 2009 Mw 6.3 L'Aquila, Central Italy, Earthquake and Other Global Earthquakes" Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 102, No. 3, pp. 918–935, June 2012, doi: 10.1785/0120100301.
- City of Los Angeles DBS, (2020) "Surface fault rupture hazard investigations", Information Bulletin / Public - Building code, Reference No.: LABC 1803.5.11
- Chatzipetros A., Pavlides S., Zervopoulou A. (2010). "Urban paleoseismology: case studies from Thessaloniki, Greece", Abstracts of the XIX Congress of the Carpathian-Balkan Geological Association, Thessaloniki, Greece, 23-26 September 2010, Geologica Balcanica, 39 (1-2), 69-70.
- Coates D.R. (1976) "Urban Geomorphology" Colorado USA Geological Society of America Sp. Paper 174, 166pp.
- Corinne I. Wong, John M. Sharp Jr. , Nico Hauwert, Jeffery Landrum, Kristin M. White (2012) "Impact of Urban Development on Physical and Chemical Hydrogeology" DOI: 10.2113/gselements.8.6.429.
- Cowie P. A., Scholz C. H. (1992) "Displacement-length scaling relationship for faults: data synthesis and discussion" Journal of Structural Geology, Vol. 14, No. 10, pp. 1149 to 1156, 1992.
- Culshaw M.G., Price S.J. 2011 "The 2010 Hans Cloos lecture: the contribution of urban geology to the development, regeneration and conservation of cities" Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Volume 70, No 3, pp 333-376. doi 10.1007/s10064-011-0377-4
- Davies T.C. (2015) "Urban geology of African megacities" Journal of African Earth Sciences 110(2015) 188-226.
- Doblas M. (1997) "Slickenside kinematic indicators" Tectonophysics 295 (1998) 187–197.

Edgeworth M. (2013) "The relationship between archaeological stratigraphy and artificial ground and its significance in the Anthropocene", Chapter in Geological Society London Special Publications, DOI: 10.1144/SP395.3

Fouache, E., Ghilardi, M., Vouvalidis, K., Syrides, G., Kunesch, S., Styllas, M., Stiros, S. (2008) "Contribution on the Holocene reconstruction of Thessaloniki Plain, North Central Greece" Journal of Coastal Research 24 (5), 1161–1173. <http://dx.doi.org/10.2112/06-0786.1>.

Gazetas G., Botsis J., (1981) "Local soil effects and liquefaction in the 1978 Thessaloniki earthquake", Proceedings First International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering & Soil Dynamics, Missouri.

Gudmundsson A. (2000) "Fracture dimensions, displacements and fluid transport" Journal of Structural Geology 22 (2000) 1221-1231.

Gudmundsson A., De Guidi G., Scudero S. (2013) "Length–displacement scaling and fault growth" Tectonophysics 608 (2013) 1298–1309.

Hart E.W., Bryant W.A. (1999) "Fault-Rupture Hazard Zones in California - Alquist-Priolo Earthquake Fault Zoning Act with Index to Earthquake Fault Zones Maps" Special Publication 42, California Department of Conservation, Division of mines and geology.

Hatheway A.W. (2005) "Urban Geology" Europe: The Urals 557-563.

Hatzigogos T., Tsotsos S., Pitilakis K. (1983), "A preliminary study of liquefaction potential at Thessaloniki area", Τεύχος: The Thessaloniki, Northern Greece, Earthquake of June 1978 and its seismic sequence, TEE, Thessaloniki.

Highland M.L., Bobrowsky P., (2008) "The Landslide Handbook - A Guide to Understanding Landslides", Circular 1325, USGS, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey

Jianyi ZHANG, Jingshan BO, Jingyi HUANG, Xiaobo LI, Tao LU (2012) "Research on Setback of Surface-Fault-Rupture with Statistical Analysis", 15WCEE, Lisboa.

John B.J.St., Sowers G.F., Weaver CH.E. (1969) "Slickensides in residual soils and their engineering significance" International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 7th, Mexico City, Mexico, Proceedings, v. 2, p. 591-597.

Kerr J., Nathan S., Van Dissen R., Webb P., Brunsdon D., King A. (2003) "Planning for Development of Land on or Close to Active Faults, A guideline to assist resource management planners in New Zealand" Ministry for the Environment Manatu Mo Te Taiao.

Kim Young-Seog & Sanderson D.J. (2005) "The relationship between displacement and length of faults: a review" Earth Science Reviews 68(2005)pp.317-334.

Kockel F., Mollat H. (1976) "Geological Map of Chalkidiki Peninsula and adjacent areas", Κλίμακα 1:100.000.

Kramer S.L. (1996) "Geotechnical earthquake engineering", Prentice Hall Inc.

Lee J.-C., Angelier J., Chu H.-T., Hu J.-C., Jeng F.-S., (2005) "Monitoring active fault creep as a tool in seismic hazard mitigation. Insights from creepmeter study at Chihshang, Taiwan," C.R. Geoscience 337, pp. 1200-1207.

Loukili Ikram, Saida El Moutaki, Abdessamad Ghafiri (2018) "3D Geological modeling of the underground using GDM multilayers 2014 software application to the city of Casablanca in Morocco" International Journal of Advanced Research (IJAR) 6(9),1060-1067.

Luna B. Leopord (1968) "Hydrology for Urban Land Planning – A Guidebook on the Hydrologic Effects of Urban Land Use" Geological Survey Circular 554, Washington USA

Malamut E. Gréolois J.P. (2005) "Le port de Thessalonique (IVe-XVIe siècles)" Actes des congrès de la Société des historiens médiévistes de l'enseignement supérieur public Année 2004 35 pp. 131-147.

Marsalek J., Jiménez-Cisneros B.E., Malmquist P.-A., Karamouz M., Goldenfum J. and Chocat B. (2006) "Urban water cycle processes and interactions" INTERNATIONAL HYDROLOGICAL PROGRAMME IHP-VI Technical Documents in Hydrology, No. 78, UNESCO, Paris

McCalpin J.P. (1987) "Recommended setback distances from active normal faults" From the Selected Works of James P. McCalpin, Utah State University.

Meechan Ch. (2006) "Seismic Behavior of Slickensided Surfaces" <http://www.udel.edu/>

Michiel J. van der Meulen, S. Diarmad G. Campbell, David J. Lawrence, Rubén C. Lois González, Ignace P.A.M. van Campenhout (2016) "OUT OF SIGHT OUT OF MIND? Considering the subsurface in urban planning - State of the art" TU1206 COST Sub-Urban WG1 Report COST.

Osswald (1931) "Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας", κλίμακας 1:300.000

Schultz R.A., Soliva R., Fossen H., Okubo C.H., Reeves D.M. (2008) "Dependence of displacement-length scaling relations for fractures and deformation bands on the volumetric changes across them", *Journal of Structural Geology* 30 (2008) 1405–1411.

Sidorova A.I., Voznesensky E.A. (2009) "Estimation of Additional Foundation Settlements Caused by Dynamic Loading in Urban Areas", *Acta Geophysica*, vol. 58, no. 1, pp. 126-142, DOI: 10.2478/s11600-009-0040-7

Smart Growth / Smart Energy Toolkit Modules - Low Impact Development (LID) www.Mass.gov (<https://www.mass.gov/service-details/smart-growth-smart-energy-toolkit-modules-low-impact-development-lid>)

Steiakakis Ch. (2013) "Slope design in stiff fissured clays" *Geotechpedia.blog*.

Stirling M.W., N. J. Litchfield, P. Villamor, R. J. Van Dissen, A. Nicol, J. Pettinga, P. Barnes, R. M. Langridge, T. Little, D. J. A. Barrell, J. Mountjoy, W. F. Ries, J. Rowland, C. Fenton, I. Hamling, C. Asher, A. Barrier, A. Benson, A. Bischoff, J. Borella, R. Carne, U. A. Cochran, M. Cockroft, S. C. Cox, G. Duke, F. Fenton, C. Gasston, C. Grimshaw, D. Hale, B. Hall, K. X. Hao, A. Hatem, M. Hemphill-Haley, D. W. Heron, J. Howarth, Z. Juniper, T. Kane, J. Kearse, N. Khajavi, G. Lamarche, S. Lawson, B. Lukovic, C. Madugo, J. Manousakis, S. McColl, D. Noble, K. Pedley, K. Sauer, T. Stahll, D. T. Strong, D. B. Townsend, V. Toy, M. Villeneuve, A. Wandres, J. Williams, S. Woelz and R. Zinke (2017) "The Mw7.8 2016 Kaikōura earthquake: Surface fault rupture and seismic hazard context", *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, Vol. 50, No. 2.

Suess Eduard (1862) "Der boden der stadt Wien", Wien, Wilhelm Braumuller

Torabi A., Berg S.S. (2011) "Scaling of fault attributes: A review", *Marine and Petroleum Geology* 28 (2011) 1444-1460.

Tsirambides A. (2004), "Genesis and physical characteristics of the Neogene red beds from the cedar hills of Thessaloniki, Macedonia, Greece", *Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας* τομ. XXXVI.

Valkaniotis S., Papathanassiou G., Ganas A., Kremastas E., Caputo R. (2021) "Preliminary report of liquefaction phenomena triggered by the March 2021 earthquakes in Central Thessaly, Greece" DOI: 10.5281/zenodo.4608365.

Vitti, M. (1990) "Το πολεοδομικό σχέδιο της αρχαίας Θεσσαλονίκης και η εξέλιξή του". Διδ. Διατρ. Ρώμη-Θεσσαλονίκη.

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, pp.974-1002.

Wilson M.C., Jackson Jr.L.E. (2016) "Urban geology: an emerging discipline in an increasingly urbanized world" *Earth, the science behind the headlines* (<https://www.earthmagazine.org/article/urban-geology-emerging-discipline-increasingly-urbanized-world>)

Zervopoulou A., Pavlides. 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, 14th International Conference, Thessaloniki

Zervopoulou A. (2018), "Urban Geology and Active faulting in the built environment of Thessaloniki" 9th International INQUA Meeting on Paleoseismology, Active Tectonics and Archeoseismology.

Zervopoulou A., Chatzipetros A., Tsiokos L., Syrides G., Pavlides S. (2007), "Non-seismic surface faulting: the Peraia fault case study (Thessaloniki, N Greece)", *Proceedings of the 4th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering*, Thessaloniki, June 2007, Paper 1610.

Αδάμ-Βελένη (2000) "Πολεοδομική εξέλιξη της Θεσσαλονίκης κατά τον Βελένη" σ.172-173, εικ. 154-159.

Ακριβοπούλου Σ. (2013) "Στο δρόμο για το λιμάνι, πολεοδομικά και τοπογραφικά Θεσσαλονίκης" *Medieval Ports in North Aegean and the Black Sea Links to the Maritime Routes of the East*, Int. Symposium Proceedings pp.141-162.

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. Α.Π.Θ. Πολυτεχνική Σχολή.

Αττικό Μετρό Α.Ε., (2006-2007) "Συμπληρωματική Γεωτεχνική Έρευνα για την κατασκευή του Μετρό Θεσσαλονίκης".

Αττικό Μετρό Α.Ε., (2007) "Γεωλογικές συνθήκες κατά μήκος της χάραξης για την κατασκευή του Μετρό Θεσσαλονίκης".

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". 1ο Επιστημονικό Συνέδριο του Περιοδικού "Γεωγραφίες" με τίτλο: "Γεωγραφία της Μητρόπολης: Όψεις του φαινομένου στον Ελληνικό χώρο", Τεύχος 12, Θεσσαλονίκη.

Βελένης Γ. (1998) "Τα τείχη της Θεσσαλονίκης" University Studio Press

Βλαχόπουλος Ι.Φ. (2019) "Η μαρμάρινη αποβάθρα της Πλατείας Ελευθερίας" Διαδικτυακή έκδοση, Θεσσαλονίκη 2019.

Γκαλά – Γεωργιά Ε., 2015 "Δρόμοι του νερού και οργάνωση του χώρου στη Θεσσαλονίκη κατά τη μέση και ύστερη βυζαντινή περίοδο"

Εθνική Τράπεζα της Ελλάδος - Πολιτιστικό Κέντρο Β. Ελλάδος, (1995) "Το κτίριο της Εθνικής Τράπεζας Ελλάδος στην Πλατεία Ελευθερίας της Θεσσαλονίκης - Το χρονικό της ανέγερσης (1928-1933) και η ιστορία του χώρου", Πολιτιστικό Κέντρο Β. Ελλάδος – Θεσσαλονίκη.

Εθνική Χαρτοθήκη (2005) «Χάρτες πολύφυλλοι της Θεσσαλονίκης» Εθνικό Κέντρο χαρτών και χαρτογραφικής κληρονομιάς

Εθνική Χαρτοθήκη (2008) "Θεσσαλονίκης ανάδειξης Χαρτών αναμνήσεις" Εθνικό Κέντρο χαρτών και χαρτογραφικής κληρονομιάς, 43^α Δημήτρια, ΕΚΕΠΠ ΕΚΕΧΧΑΚ

Ελευθερίου Λ. (1972) "Έκθεση γεωτεχνικής αναγνωρίσεως εις τας περιοχάς Ευαγγελίστριας, 40 Εκκλησιών και Συκεών Θεσσαλονίκης", ΙΓΜΕ, Αθήνα.

Ζερβοπούλου Α. (2010) "Νεοτεκτονικά ρήγματα της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης σε σχέση με τα εδάφη θεμελίωσης" Διδ. Διατριβή Α.Π.Θ.

Ζερβοπούλου Α., Παυλίδης Σ. (2005), "Μορφοτεκτονική μελέτη της ευρύτερης περιοχής Θεσσαλονίκης για την χαρτογράφηση νεοτεκτονικών ρηγμάτων". Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXVIII, pp.30-41, 1η Συνάντηση Επιτροπής Γεωμορφολογίας, Θεσσαλονίκη.

Ζερβοπούλου Α., Παυλίδης Σ. (2008), "Νεοτεκτονικά ρήγματα Πολεοδομικού Συγκροτήματος Θεσσαλονίκης" 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής και Τεχνικής Σεισμολογίας, 5-7 Νοεμβρίου 2008, Άρθρο 1865.

Ζερβοπούλου Α., Χατζηπέτρος Α., Παυλίδης Σ. (2014), "Μορφολογική αποτύπωση αστικών περιοχών και η τεκτονική της ερμηνεία. Το παράδειγμα της Θεσσαλονίκης", 10th International Congress of the Hellenic Geographical Society, Thessaloniki.

Ιστορικές Φωτογραφίες: Ομάδα των Παλαιών Φωτογραφιών της Θεσσαλονίκης (<https://www.facebook.com/groups/oldthessaloniki>)

Καϊάφα Μίνα (2008) "Συστήματα ύδρευσης αποχέτευσης κατά την Ελληνιστική και ρωμαϊκή περίοδο στη Μακεδονία" Διδ. Διατρ. ΑΠΘ

Κολυμάνης, Α., Τσακαλδήμη, Μ., Γκανάτσας, Π. (2015) "Χαρακτηριστικά και Διαχείριση του Αστικού Πρασίνου: Η Περίπτωση δύο Μεγάλων Πόλεων: Wuppertal – Θεσσαλονίκη". Conference: Proc. 17ο National Conference of Hellenic Forestry Society, 17ο Πανελλήνιο Δασολογικό Συνέδριο, 2015 Κεφαλονιά

Κωστόπουλος Σ.Δ. (2005) Πειραματική Γεωτεχνική Μηχανική, Εκδόσεις Ιων.

Λειβαδιώτη Μ. (2009) "Το λιμάνι της Θεσσαλονίκης από την ίδρυσή της πόλης μέχρι την κατάληψη της από τους Τούρκους (1430)" Μεταπτ. Έρευνα, Θεσσαλονίκη, Α.Π.Θ.

Μαρίνος Π.Γ. (1991) "Κεφάλαια τεχνικής γεωλογίας", ΕΜΠ, Αθήνα

Μαρκή Ε. (2013) "Το Κωνσταντίνειο λιμάνι και άλλα βυζαντινά λιμάνια της Θεσσαλονίκης" Medieval Ports in North Aegean and the Black Sea Links to the Maritime Routes of the East, Int. Symposium Proceedings pp.174-186.

Μουντράκης Δ., Κίλιας Α., Παυλίδης Σ., Κουφός Γ., Σπυρόπουλος Ν., Τρανός Μ., Παπαζάχος Κ., Ζούρος Ν., Φασουλός Χ. (1995) "Χάρτης ενεργών ρηγμάτων του Ελλαδικού χώρου. Περιοχή Μακεδονίας" Θεσσαλονίκη.

Μπακιρτζής Χ. (1975) "Η θαλάσσια οχύρωση της Θεσσαλονίκης. (Παρατηρήσεις και προβλήματα)" Μακεδονικά, 15, 371-395.

Μπλιώνης Γ. - Τρεμόπουλος Μ. (2017) "Η Θεσσαλονίκη των νερών μια ιστορική και οικολογική ανασκόπηση της τοπογραφίας των χειμάρρων και των υδατικών πόρων της πόλης"

ΟΑΣΠ (2021) "ΟΑΣΠ – Δραστηριότητες 2020" Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών.

Παπαζάχου Β., Κ. Παπαζάχου, (1989/2003) "Οι σεισμοί της Ελλάδας", Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη.

Παπαθανασίου Γ.Β. (2006) "Φαινόμενα ρευστοποίησης εδαφών στον Ελληνικό χώρο", Διδ. Διατριβή Α.Π.Θ.

Παπαχαρίσης Ν. (1980) "Το έδαφος της περιοχής Θεσσαλονίκης. Συσχέτιση με τις ζημιές των τελευταίων σεισμών". Επιστημονική Έκδοση του Εργαστηρίου Εδαφομηχανικής και Θεμελιώσεων. ΑΠΘ.

Παρατηρητήριο Αειφορίας και Περιβάλλοντος – Οργανισμός Ρυθμιστικού Θεσσαλονίκης (2008) "Αστικό και Περιαστικό Πράσινο".

Παυλίδης Σ.Β., (2003) "Γεωλογία των Σεισμών, Εισαγωγή στην νεοτεκτονική, μορφοτεκτονική και παλαιοσεισμολογία", University Studio Press, Β' Έκδοση, 2016.

Παυλίδης Σ., Ζερβοπούλου Α., Χατζηπέτρος Α., (2004), "Πρώτη ετήσια Έκθεση των ενεργών και πιθανά ενεργών ρηγμάτων της ευρύτερης περιοχής της πόλης της Θεσσαλονίκης". Ερευνητικό Πρόγραμμα SRM-Life.

Ρόζος Δ., Αποστολίδης Ε., Χρηστάρας Β. (2000) "Τεχνικογεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης", Ημερίδα: Θωράκιση της Θεσσαλονίκης από φυσικές καταστροφές: Αντισεισμική – Αντιπλημμυρική προστασία, Θεσσαλονίκη 24-2-2000.

Ρόζος Δ., Χατζηνάκος Ι., Αποστολίδης Εμ., (1988) "Γεωτεχνική αναγνώριση των κατολισθητικών φαινομένων στην περιοχή Άνω Πόλης Θεσ/νίκης (Μεταξύ των οδών Ποτιδαίας & Ακροπόλεως)", ΙΓΜΕ.

Συρίδης Γ.Ε., (1990) "Λιθοστρωματογραφική, βιοστρωματογραφική και παλαιογεωγραφική μελέτη των Νεογενών – Τεταρτογενών ιζηματογενών σχηματισμών της χερσονήσου Χαλκιδικής", Διδ. Διατριβή, Α.Π.Θ.

Σωτηριάδης Λ. (1992) "Η αντιμετώπιση πλημμυρών στην Αν. Θεσσαλονίκη και η μορφολογική της μεταβολή με την επέμβαση του ανθρώπου".

Τσιμπίδου – Αυλωνίτη Μ., Λυκίδου Η. (2008) "Θεσσαλονίκης ίχνη. Η περίπτωση της «Στοάς Hirsch»" Το αρχαιολογικό έργο στη Μακεδονία και στη Θράκη 22, 2008, Υπουργείο πολιτισμού και τουρισμού – Α.Π.Θ. pp.281-288.

Φωτιάδης, Π. (2000) "Παρατηρήσεις στο θαλάσσιο τείχος της Θεσσαλονίκης". Μακεδονικά, 32(1), 113-123. doi:<https://doi.org/10.12681/makedonika.167>

Χατζηνάκος Ι. (1994) "Γεωτεχνική μελέτη ευστάθειας βραχιδών πρανών σε περιοχές του Δήμου Αγ. Παύλου Νομού Θεσσαλονίκης", ΙΓΜΕ, Αθήνα.

Χατζηπέτρος Α. (2018) "Ο ρόλος των ενεργών ρηγμάτων στις μελέτες μεγάλων Τεχνικών Έργων – Το παράδειγμα του ΤΑΡ" ΗΜΕΡΙΔΑ: "Γεωλογία - Ενεργά ρήγματα και Επιπτώσεις στα σημαντικά τεχνικά έργα της Θεσσαλονίκης" ΤΕΕ/ΤΚΜ Θεσσαλονίκη.