



ΑΓΙΣ Γ. ΛΙΒΑΣ
Πτυχιούχος Γεωλόγος

**ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΩΝ ΚΛΑΣΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ
ΤΟΥ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΘΕΡΜΑΪΚΟΥ ΚΟΛΠΟΥ**



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2017





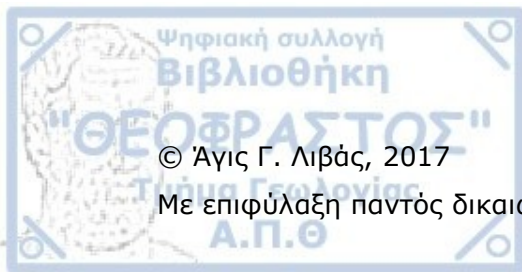
ΑΓΙΣ Γ. ΛΙΒΑΣ
Πτυχιούχος Γεωλόγος

ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΩΝ ΚΛΑΣΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΤΟΥ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΘΕΡΜΑΪΚΟΥ ΚΟΛΠΟΥ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών
«Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία»
Κλάδος Ειδίκευσης «Ορυκτοί Πόροι – Περιβάλλον»
Τομέας Ορυκτολογίας – Πετρολογίας – Κοιτασματολογίας
Ημερομηνία προφορικής εξέτασης:
14 Ιουνίου 2017

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

Καντηράνης Νικόλαος, Επ. Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Επιβλέπων
Κατή Μαριάννα, Επ. Καθηγήτρια, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος Ε.Κ.Π.Α., Μέλος
Παπαδοπούλου Λαμπρινή, Επ. Καθηγήτρια, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Μέλος



© Άγις Γ. Λιβάς, 2017

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All right reserved.

ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΩΝ ΚΛΑΣΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΤΟΥ ΕΣΩΤΕΡΙΟΥ ΘΕΡΜΑΪΚΟΥ ΚΟΛΠΟΥ

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνεται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	3
2.1 Γεωγραφική Οριοθέτηση	3
2.2 Γεωλογία	3
2.2.1 Σερβομακεδονική Ζώνη	5
2.2.2 Περιροδοπική Ζώνη	6
2.2.3 Ζώνη Αξιού	7
2.3 Γεωτεκτονική εξέλιξη της λεκάνης του Θερμαϊκού	10
2.4 Γεωμορφολογικά – Υδρογραφικά – Κλιματολογικά στοιχεία	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ	17
3.1 Δειγματοληψία	17
3.2 Κλασματοποίηση και χημικές κατεργασίες	18
3.2.1 Απομάκρυνση ανθρακικών αλάτων	19
3.2.2 Απομάκρυνση οργανικής ύλης και MnO_2	19
3.2.3 Απομάκρυνση οξειδίων και υδροξειδίων του Fe	20
3.2.4 Κλασματοποίηση	21
3.3 Περιθλασιμετρία ακτίνων-X (XRD)	25
3.4 Εργαστηριακός Εξοπλισμός	26

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ	29
4.1 Κοκκομετρική ανάλυση και λιθολογική ταξινόμηση	29
4.2 Ορυκτολογία – Πετρογραφία	37
4.2 Λιθοστρωματογραφικές παρατηρήσεις	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	55
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	57
SUMMARY	58
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	59

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3.1.	Κοκκομετρικά μεγέθη και χρόνοι απόληψης τους (Τσιραμπίδης, 2008).	22
Πίνακας 4.1.	Κοκκομετρική κατανομή (% κ.β.) των δειγμάτων που αναλύθηκαν. Εντός του πλαισίου με τη διπλή διακριτή γραμμή περιλαμβάνονται τα δείγματα της γεώτρησης Γ14, η οποία επιλέχθηκε για την κατακόρυφη μελέτη της ακολουθίας των ιζημάτων.	29
Πίνακας 4.2.	Ποσοστιαία αναλογία (% κ.β.) των διάφορων τύπων κροκαλών.	30
Πίνακας 4.3.	Ποσοστιαία αναλογία (% κ.β.) των κατηγοριών συγκολλητικών υλικών.	30
Πίνακας 4.4.	Ταξινόμηση των εξεταζόμενων δειγμάτων σε λιθολογικές τάξεις, όπως αυτές προέκυψαν μετά από προβολή στα αντίστοιχα τριγωνικά διαγράμματα.	36
Πίνακας 4.5.	Ορυκτολογική σύσταση (% κ.β.) των δειγμάτων κατά κλάσμα άμμου, ιλύος, αργίλου και ολικού δείγματος.	38

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1.	Χάρτης της ευρύτερης περιοχής της λεκάνης του Θερμαϊκού Κόλπου.	1
Εικόνα 2.1.	Δορυφορική εικόνα της περιοχής μελέτης εντός του Πολεοδομικού Συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης, σε αυτήν διακρίνεται με το κίτρινο γραμμοσκιαμένο τμήμα η θέση μελέτης (πηγή Google Earth).	3
Εικόνα 2.2.	Γεωτεκτονικό σχήμα Ελληνίδων Ζωνών (Mountrakis et al, 1983).	4
Εικόνα 2.3.	Χάρτης της Περιοδοποικής ζώνης με τις τρεις ενότητες της και τις σημαντικότερες οφιολιθικές εμφανίσεις (Μουντράκης, 2010)	5
Εικόνα 2.4.	Λιθοστρωματογραφικές στήλες των δύο εκ των τριών ενοτήτων της Περιοδοποικής ζώνης (Μουντράκης, 2010)	7
Εικόνα 2.5.	Λεπτομερής γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής μελέτης (Ζερβοπούλου, 2010).	9
Εικόνα 2.6.	Χάρτης υποβάθρου Πολεοδομικού Συγκροτήματος Θεσσαλονίκης και γεωτεχνική τομή κάθετη στην πόλη, η οποία προήλθε από γεωφυσικές μετρήσεις και δειγματοληπτικές γεωτρήσεις (Αποστολίδης 2002, Anastasiadis et al. 2001).	11
Εικόνα 2.7.	Υδρολογικές λεκάνες της περιοχής μελέτης (Ζερβοπούλου 2010).	12
Εικόνα 2.8.	Υδρολογική λεκάνη της Θεσσαλονίκης με τις υπολεκάνες αυτής, στην οποία διακρίνονται τα ρέματα του Πολεοδομικού Συγκροτήματος Θεσσαλονίκης (Ζερβοπούλου 2010).	13

- Εικόνα 3.1.** Θέσεις γεωτρήσεων του γεωτρητικού προγράμματος «Παραλιακής Λεωφόρου Θεσσαλονίκης» που εκτελέστηκαν στον Εσωτερικό Θερμαϊκό Κόλπο πλησίον του Πολεοδομικού Συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης. 17
- Εικόνα 3.2.** Φυγόκεντρος τύπου Rotanda 460 (Hettich, Germany). 22
- Εικόνα 3.3.** Περιθλασίμετρο ακτίνων-Χ τύπου PHILIPS PW1820/00 του Τομέα Ο-Π-Κ. 26

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 3.1.	Νομόγραμμα χρόνου καθίζησης κόκκων με επιτάχυνση της βαρύτητας (Tanner & Jackson 1947).	23
Σχήμα 3.2.	Νομόγραμμα χρόνου καθίζησης κόκκων με φυγοκεντρική επιτάχυνση (Tanner & Jackson 1947).	24
Σχήμα 4.1.	Ταξινόμηση κατά Folk et al. 1970, των ιζημάτων με κροκάλες >5% (Γ14(1), Γ14(2), Γ15, Γ16, Γ23, Γ24, Γ26).	34
Σχήμα 4.2.	Ταξινόμηση κατά Folk et al. 1970, των ιζημάτων με κροκάλες <5% (Γ13, Γ14(3), Γ14(4)).	34
Σχήμα 4.3.	Ταξινόμηση κατά Shepard τροποποιημένη από Schlee (1973), των ιζημάτων με κροκάλες >5% (Γ14(1), Γ14(2), Γ15, Γ16, Γ23, Γ24, Γ26).	35
Σχήμα 4.4.	Ταξινόμηση κατά Shepard τροποποιημένη από Schlee (1973), των ιζημάτων με κροκάλες <5% (Γ13, Γ14(3), Γ14(4)).	35
Σχήμα 4.5.	Περιθλασιογράμματα των λιθολογικών κλασμάτων του δείγματος Γ13.	42
Σχήμα 4.6.	Περιθλασιογράμματα των λιθολογικών κλασμάτων του δείγματος Γ14(1).	43
Σχήμα 4.7.	Περιθλασιογράμματα των λιθολογικών κλασμάτων του δείγματος Γ14(2).	44
Σχήμα 4.8.	Περιθλασιογράμματα των λιθολογικών κλασμάτων του δείγματος Γ14(3).	45
Σχήμα 4.9.	Περιθλασιογράμματα των λιθολογικών κλασμάτων του δείγματος Γ14(4).	46

Σχήμα 4.10.	Περιθλασιογράμματα των λιθολογικών κλασμάτων του δείγματος Γ15.	47
Σχήμα 4.11.	Περιθλασιογράμματα των λιθολογικών κλασμάτων του δείγματος Γ16.	48
Σχήμα 4.12.	Περιθλασιογράμματα των λιθολογικών κλασμάτων του δείγματος Γ23.	49
Σχήμα 4.13.	Περιθλασιογράμματα των λιθολογικών κλασμάτων του δείγματος Γ24.	50
Σχήμα 4.14.	Περιθλασιογράμματα των λιθολογικών κλασμάτων του δείγματος Γ26.	51
Σχήμα 4.15.	Λιθοστρωματογραφική στήλη της περιοχής μελέτης, όπως αυτή προέκυψε από την κατακόρυφη μελέτη της ακολουθίας των ιζημάτων της γεώτρησης Γ14.	52



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η λεκάνη του Θερμαϊκού αποτελεί ένα τεκτονικό βύθισμα που σχηματίστηκε κατά το Τριτογενές. Αν και έχουν αναγνωριστεί και μελετηθεί οι τρόποι μεταφοράς και απόθεσης ιζημάτων στον ευρύτερο χώρο του Θερμαϊκού Κόλπου, δεν έχει τύχει ιδιαίτερης μελέτης όσον αφορά τα ιζηματολογικά και πετρολογικά χαρακτηριστικά των Τεταρτογενών ιζημάτων του εσωτερικού τμήματος αυτού. Στη λογική αυτή, η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία προσπαθεί να καλύψει ένα μέρος αυτού του κενού που αφορά τη μελέτη των ιζηματολογικών και πετρολογικών χαρακτηριστικών εντός του Εσωτερικού Θερμαϊκού Κόλπου. Μέσω δειγματοληψίας και ανάλυσης δειγμάτων γεωτρήσεων που εκτελέστηκαν κατά το παρελθόν, έγινε προσπάθεια να απαντηθούν ερωτήματα που αφορούν το ιζηματογενές περιβάλλον απόθεσης του κλαστικού υλικού, την κοκκομετρία των επιλεγμένων στρωμάτων και την ορυκτολογική σύσταση των δειγμάτων, αναλυτικά κατά κλάσμα άμμου, ιλύος και αργίλου. Το πλήθος των αποτελεσμάτων που προέκυψε από τη μελέτη και ανάλυση των δεδομένων, χρησιμοποιήθηκε στην ερμηνεία των συνθηκών γένεσης του κλαστικού φορτίου και των μεταφορικών και αποθετικών διεργασιών.

Στο σημείο αυτό, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Ν. Καντηράνη για την ανάθεση του θέματος και επίβλεψη της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας, αλλά και για την άριστη μεταξύ μας συνεργασία, τη συνεχή παροχή πολύτιμων συμβουλών, τη συμπαράσταση και τη διακριτική του καθοδήγηση. Επιπρόσθετα, ευχαριστώ την Επίκουρο Καθηγήτρια κ. Α. Παπαδοπούλου Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. και την Επίκουρο Καθηγήτρια κ. Μ. Κατή του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Ε.Κ.Π.Α. για το ενδιαφέρον που επέδειξαν στην εκπόνηση της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας και τις πολύτιμες συμβουλές τους σε θέματα που άπτονται του αντικειμένου τους.

Θερμές ευχαριστίες θα ήθελα να απευθύνω στους καλούς φίλους, συνάδελφους γεωλόγους και μεταπτυχιακούς φοιτητές του Τομέα Ορυκτολογία – Πετρολογίας - Κοιτασματολογίας για τη διαρκή συμπαράσταση και βοήθειά τους κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας. Ιδιαίτέρως, ευχαριστώ την συμφοιτήτριά μου Χ. Κρικώνη για την αμέριστη βοήθεια και συνεργασία κατά τη διάρκεια του εργαστηριακού σκέλους των εργασιών μας.

Εν κατακλείδι, θα ήθελα να αναφέρω ότι την παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία την αφιερώνω στους γονείς μου Γιώργο και Εύχαρη για την αδιάκοπη ψυχολογική συμπαράσταση, την αμέριστη βοήθεια που μου προσέφεραν με κάθε τρόπο και την υπομονή και την πίστη τους σε μένα.

Θεσσαλονίκη, Ιούνιος 2017

Α. Λιβάς

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η λεκάνη του Θερμαϊκού Κόλπου αποτελεί ένα επίμηκες τεκτονικό βύθισμα, διεύθυνσης ΒΒΑ - ΝΝΔ, που βρίσκεται πλησίον του Πολεοδομικού Συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης στην Κεντρική Μακεδονία (Εικ. 1.1.) Γεωτεκτονικά, το υπόβαθρο της λεκάνης στο ανατολικό τμήμα της αποτελείται από μεταμορφωμένα πετρώματα (σχιστόλιθοι, γνεύσιοι, αμφιβολίτες) της Σερβομακεδονικής και Περιροδοπικής Ζώνης, ενώ στο βορειοδυτικό τμήμα της αποτελείται από ελαφρά μεταμορφωμένα ιζηματογενή πετρώματα (φυλλίτες) και βασικά πυριγενή πετρώματα της Ζώνης Αξιού. Η δημιουργία της λεκάνης του Θερμαϊκού είναι αποτέλεσμα της δράσης εφελκυστικών τάσεων με διεύθυνση ΒΒΔ – ΝΝΑ που επικράτησε κατά το Τριτογενές στην ευρύτερη περιοχή του Βορείου Αιγαίου (Ψιλοβίκος, 1977). Η δημιουργία του τεκτονικού αυτού βυθίσματος με μεταβαλλόμενο περιβάλλον χαρακτηριζόμενο από χερσαίες, λιμναίες, λιμνοθαλάσσιες και θαλάσσιες φάσεις, είχε ως αποτέλεσμα την μεταφορά και απόθεση ιζημάτων από τα ποτάμια και ρέματα των υδρολογικών λεκανών των γύρω περιοχών από το Νεογενές και μεταγενέστερα.



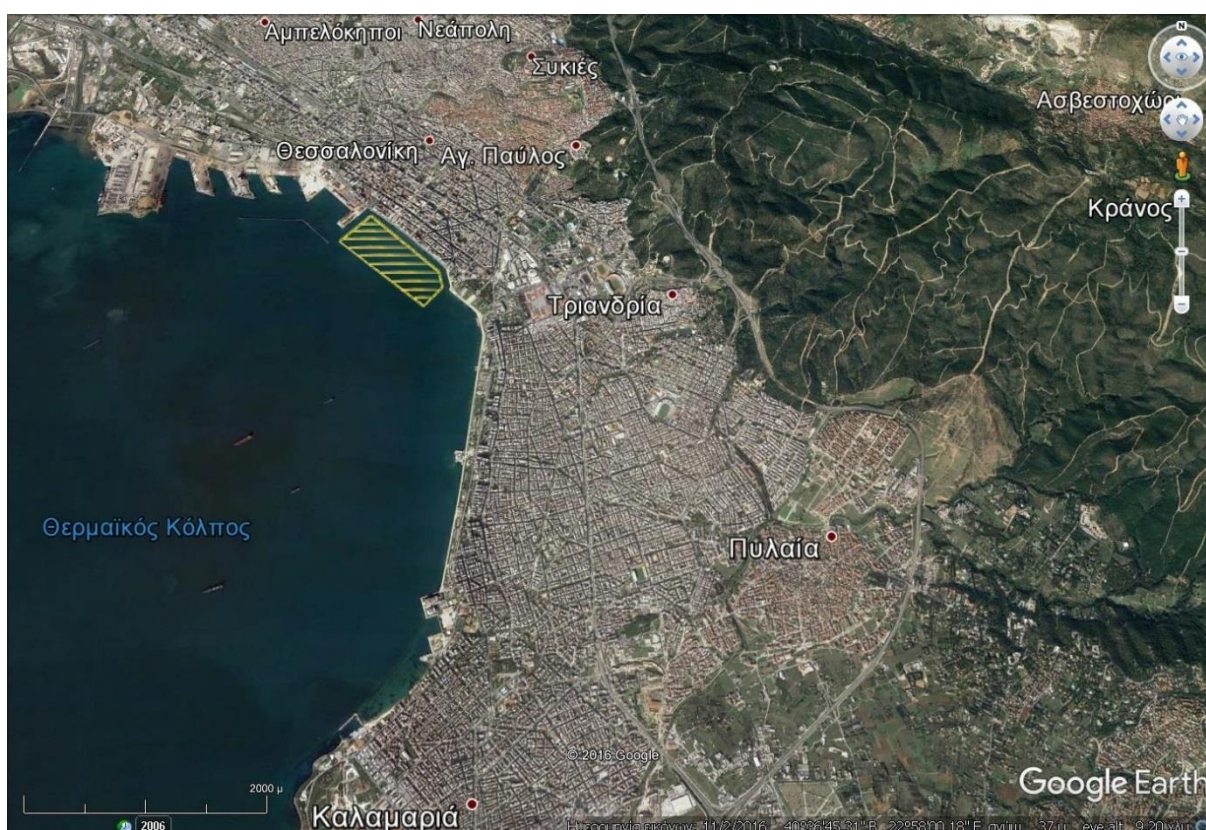
Εικόνα 1.1. Χάρτης της ευρύτερης περιοχής της λεκάνης του Θερμαϊκού Κόλπου.

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία και εργαστηριακή ανάλυση δειγμάτων από γεωτρήσεις που έγιναν κατά το παρελθόν στον εσωτερικό Θερμαϊκό Κόλπο, με σκοπό να αναγνωριστούν το ιζηματογενές περιβάλλον απόθεσης των τεταρτογενών κλαστικών υλικών, καθώς και η κοκκομετρία και η ορυκτολογική τους σύσταση. Τελικός στόχος ήταν να ερμηνευθούν οι συνθήκες γένεσης του κλαστικού φορτίου και των μεταφορικών και αποθετικών διεργασιών αυτού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 Γεωγραφική Οριοθέτηση

Θέση μελέτης της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής αποτελεί μέρος του Εσωτερικού Θερμαϊκού Κόλπου. Οριοθετείται, κατά μήκος, στα βορειοδυτικά από το λιμενοβραχίονα του λιμανιού της πόλεως και νοτιοανατολικά από το ιστορικό μνημείο του Λευκού Πύργου. Εκτείνεται σε πλάτος, από την παραλιακή λεωφόρο, Λεωφόρο Νίκης, έως και σε απόσταση περίπου 300 m από αυτή (Εικ. 2.1).



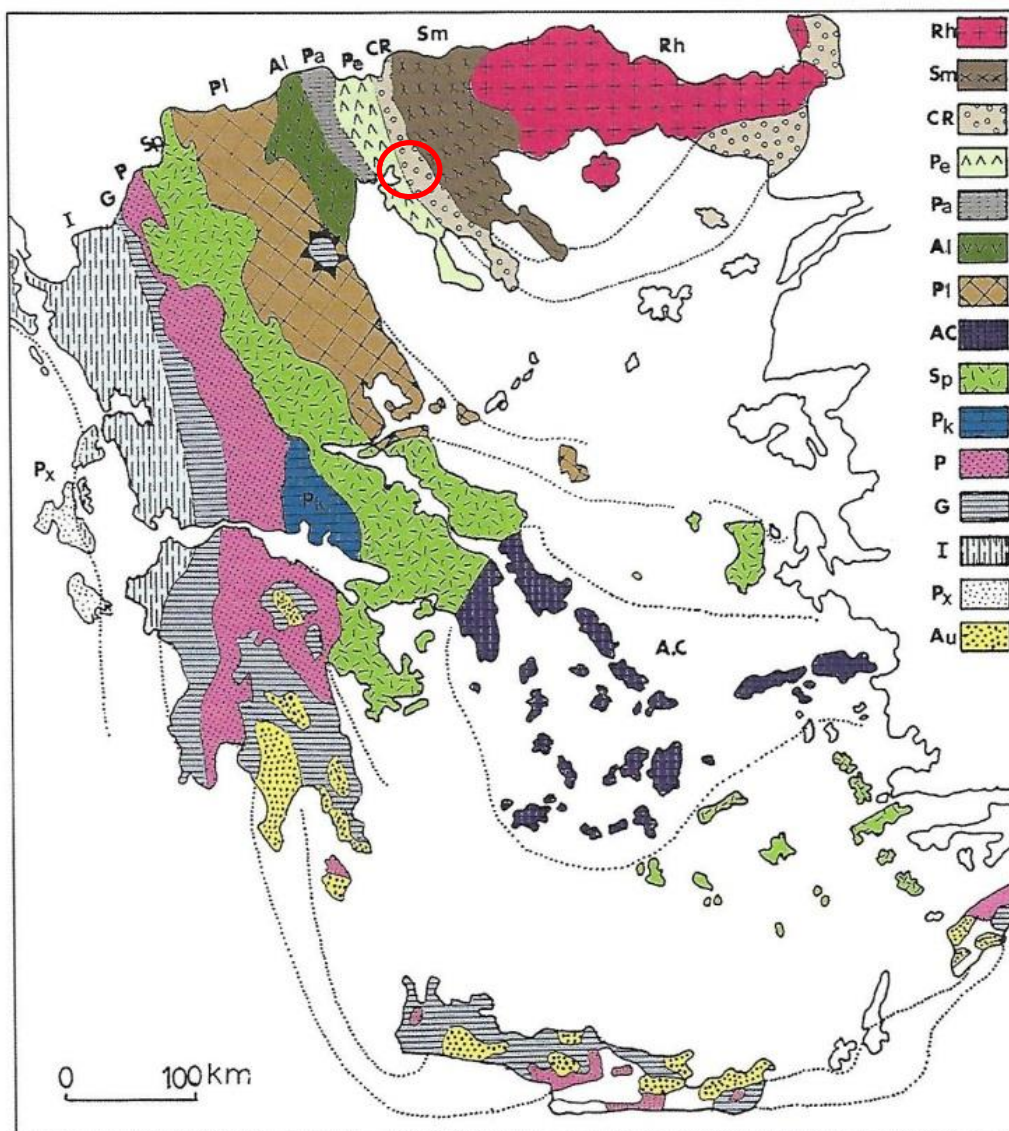
Εικόνα 2.1. Δορυφορική εικόνα της περιοχής μελέτης εντός του Πολεοδομικού Συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης, σε αυτήν διακρίνεται με το κίτρινο γραμμοσκιαμένο τμήμα η θέση μελέτης (πηγή: Google Earth).

2.2 Γεωλογία

Για τη γεωλογία της περιοχής μελέτης έχουν πραγματοποιηθεί χαρτογραφήσεις για το ΙΓΜΕ, από τους Kockel, Π. Αντωνιάδη, Κ. Ιωαννίδη (1970) και Λαλεχό (1966) (Γεωλογικός Χάρτης της Ελλάδος, Φύλλο Θεσσαλονίκης, Κλίμακας 1:50.000), καθώς και από τους Mercier (1966) και Σαπουντζή (1969).

Η ευρύτερη περιοχή μελέτης περιλαμβάνει το Πολεοδομικό Συγκρότημα της

Θεσσαλονίκης και την περιοχή πέριξ αυτού. Γεωλογικά ανήκει στις γεωτεκτονικές ζώνες του Αξιού και της Περιροδοπικής κυρίως ζώνης, καθώς και σε ένα μέρος της Σερβομακεδονικής (Εικ. 2.2). Από τη Ζώνη Αξιού συναντάται η υποζώνη Παιονίας, από την Περιροδοπική οι ενότητες Άσπρης Βρύσης-Χορτιάτη (με τη μαγματική σειρά Χορτιάτη) και Μελισσοχωρίου-Χολομώντα, ενώ όσον αφορά τη Σερβομακεδονική εμφανίζεται η σειρά Βερτίσκου. Η διεύθυνση που ακολουθούν τα πετρώματα του υποβάθρου της περιοχής είναι ΒΔ – ΝΑ.



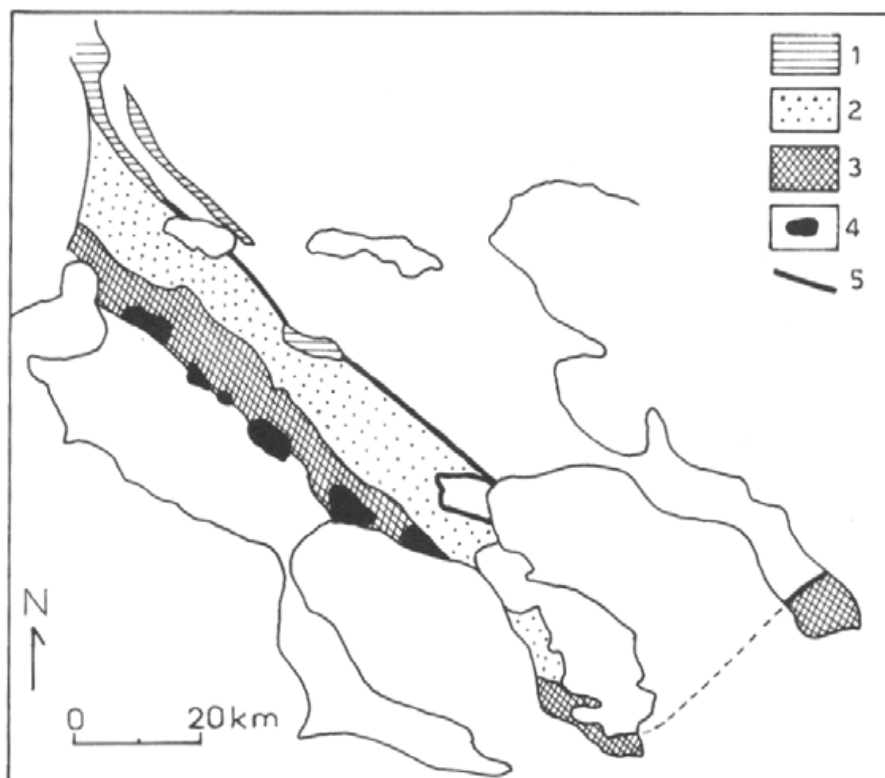
Εικόνα 2.2. Γεωτεκτονικό σχήμα Ελληνίδων Ζωνών (Mountrakis et al, 1983).

Rh: Μάζα της Ροδόπης, **Sm:** Σερβομακεδονική μάζα, **CR:** Περιροδοπική ζώνη, (**Pe:** Ζώνη Παιονίας, **Pa:** Ζώνη Πάικου, **Al:** Ζώνη Αλμωπίας) = Ζώνη Αξιού, **Pl:** Πελαγονική ζώνη, **Ac:** Αττικό-Κυκλαδική ζώνη, **Sp:** Υποπελαγονική ζώνη, **Pk:** Ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας, **P:** Ζώνη Πίνδου, **G:** Ζώνη Γαβρόβου-Τρίπολης, **I:** Ιόνιος ζώνη, **Px:** Ζώνη Παξών ή Προαπούλια, **Au:** Ενότητα «Πλακώδεις ασβεστόλιθοι-Ταλέα όρη» πιθανόν της Ιονίου ζώνης.

2.2.1 Σερβομακεδονική Μάζα

Η Σερβομακεδονική μάζα αποτελεί μέρος της Ελληνικής Ενδοχώρας και θεωρείται ότι αντιπροσωπεύει ηπειρωτικό φλοιό με πιθανή προέλευση από τη λιθοσφαιρική πλάκα της Λαυρασίας. Αποτελείται, όπως και η Ροδόπη, αποκλειστικά από κρυσταλλοσχιστώδη και πυριγενή πετρώματα (Μουντράκης, 2010).

Στην περιοχή μελέτης εμφανίζεται η σειρά Βερτίσκου με γνευσίους, μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους και λεπτές ενστρώσεις μαρμάρων. Στο ανώτερο τμήμα συναντώνται μεταγάββροι, μεταδακίτες και αμφιβολίτες. Συχνά παρεμβάλλονται με τεκτονικές επαφές και σερπεντινικά σώματα τα οποία αποτελούν μέλη ενός οφιολιθικού συμπλέγματος. Η ηλικία των αρχικών ιζημάτων-πετρωμάτων της ενότητας είναι Προπερμική, ενώ η μεταμόρφωση των ανώτερων μελών της ενότητας από ραδιοχρονολογήσεις φαίνεται να αντιστοιχεί στο Λιθανθρακοφόρο. Γενικότερα από ραδιοχρονολογήσεις βρέθηκαν πολλές ηλικίες στα πετρώματα από Παλαιοζωικό μέχρι και το Κρητιδικό, οι οποίες αποδίδονται σε ανάδρομες μεταμορφώσεις (Ζερβοπούλου, 2010).



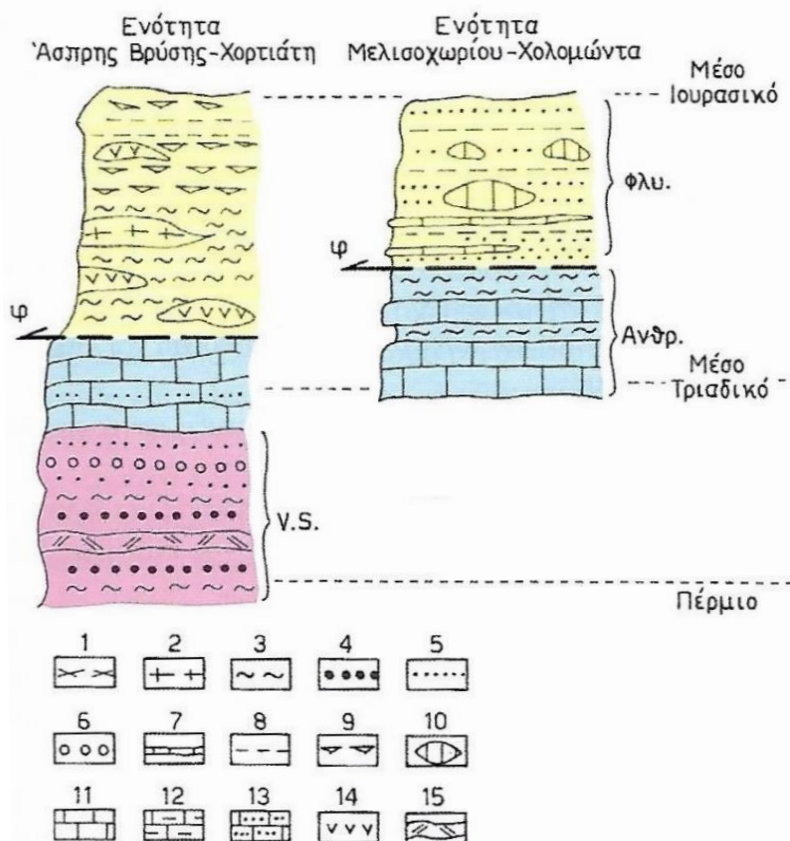
Εικόνα 2.3. Χάρτης της Περιοδοπικής ζώνης με τις τρεις ενότητές της και τις σημαντικότερες οφιολιθικές εμφανίσεις (Μουντράκης, 2010). **1:** ενότητα Ντεβέ Κοράν-Δουμπιά, **2:** ενότητα Μελισσοχωρίου - Χολομώντα, **3:** ενότητα Άσπρης Βρύσης - Χορτιάτη, **4:** οφιόλιθοι, **5:** όριο της ζώνης με τη Σερβομακεδονική.

2.2.2 Περιοδοποική Ζώνη

Η Περιοδοποική ζώνη εκτείνεται ως ζώνη πλάτους 10-20 km και είναι κομμάτι των Εσωτερικών Ελληνίδων, το οποίο αποτέλεσε την ηπειρωτική κατωφέρεια από τις μάζες της Ελληνικής Ενδοχώρας και ειδικότερα της Σερβομακεδονικής ζώνης προς την ωκεάνια περιοχή της ζώνης Αξιού. Η ανάδυση και χέρσυσή της κράτησε μερικά εκατομμύρια χρόνια στο Κάτω Κρητιδικό και επακολούθησε η Μέσο – Άνω Κρητιδική επίκλυση της θάλασσας (Μουντράκης, 2010). Αποτελείται από τρεις ενότητες, οι οποίες είναι: η ενότητα Άσπρης Βρύσης – Χορτιάτη, η ενότητα Μελισσοχωρίου – Χολομώντα και η ενότητα Ντεβέ Κοράν – Δουμπιά, από την νεότερη προς την παλαιότερη (Εικ. 2.3).

Όπως προαναφέρθηκε, στην περιοχή μελέτης συναντώνται οι δύο εκ των τριών ενότητων της Περιοδοποικής ζώνης. Αυτές είναι οι ενότητες Άσπρης Βρύσης – Χορτιάτη και Μελισσοχωρίου – Χολομώντα (Εικ. 2.4.). Όσον αφορά την πρώτη αποτελείται στα κατώτερα τμήματα από μετακλαστικά ιζήματα και νηριτικά ανθρακικά πετρώματα Περμο-Τριαδικής ηλικίας και στον ανώτερο ορίζοντα από ιζήματα βαθιάς θάλασσας, όπως μαύροι κερατόλιθοι, κόκκινοι αργιλικοί σχιστόλιθοι, μαύροι γραφιτικοί φυλλίτες, μάργες και χαλαζιακοί σχιστόλιθοι. Μέσα στα ιζήματα αυτά, συχνά παρεμβάλλονται οφιολιθικά σώματα με βασικά και υπερβασικά πετρώματα (γάββροι, διορίτες, σερπεντινίτες, διαβάσες). Επίσης, μέσα σ' αυτόν τον ορίζοντα παρεμβάλλονται και πετρώματα μεταμορφωμένα όξινης μαγματικής προέλευσης. Πρόκειται για παλιούς διορίτες, γρανοδιορίτες και γρανίτες που μεταμορφώθηκαν στην πρασινοσχιστολιθική φάση και δημιούργησαν τους σημερινούς πράσινους επιγνεύσιους της Θεσσαλονίκης (ακτινολιθικοί, επιδοτιτικοί, χλωριτικοί γνεύσιοι, αμφιβολιτικοί, βιοτιτικοί γνεύσιοι και πρασινίτες). Αυτά τα μετα-πυριγενή πετρώματα ονομάζονται «Μαγματική σειρά Χορτιάτη» και εναλλάσσονται με μεταϊζημάτα όπως φυλλίτες, σερικιτικούς σχιστόλιθους, μάρμαρα, σιπολίτες, χλωριτικούς – επιδοτιτικούς σχιστόλιθους.

Ο άλλος σχηματισμός, της ενότητας Μελισσοχωρίου – Χολομώντα, που συναντάται στην περιοχή μελέτης, αποτελείται στα κατώτερα τμήματα από μάρμαρα και ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους, ηλικίας Μέσου – Άνω Τριαδικού με συχνές παρεμβολές γραφιτικών, φυλλιτών και σερικιτικών σχιστόλιθων και στον ανώτερο ορίζοντα από φλύσχη, ηλικίας Κάτω – Μέσου Ιουρασικού, γνωστό και με το όνομα «φλύσχη της Σβούλας», με τουρβιδικές εναλλαγές μεταϊζημάτων (μεταψαμμίτες, φυλλίτες, ασβεστολιθικές ενστρώσεις κλπ), μέσα στα οποία συχνά παρατηρούνται μεγάλοι ολισθόλιθοι Τριαδικών μαρμάρων (Μουντράκης, 2010).

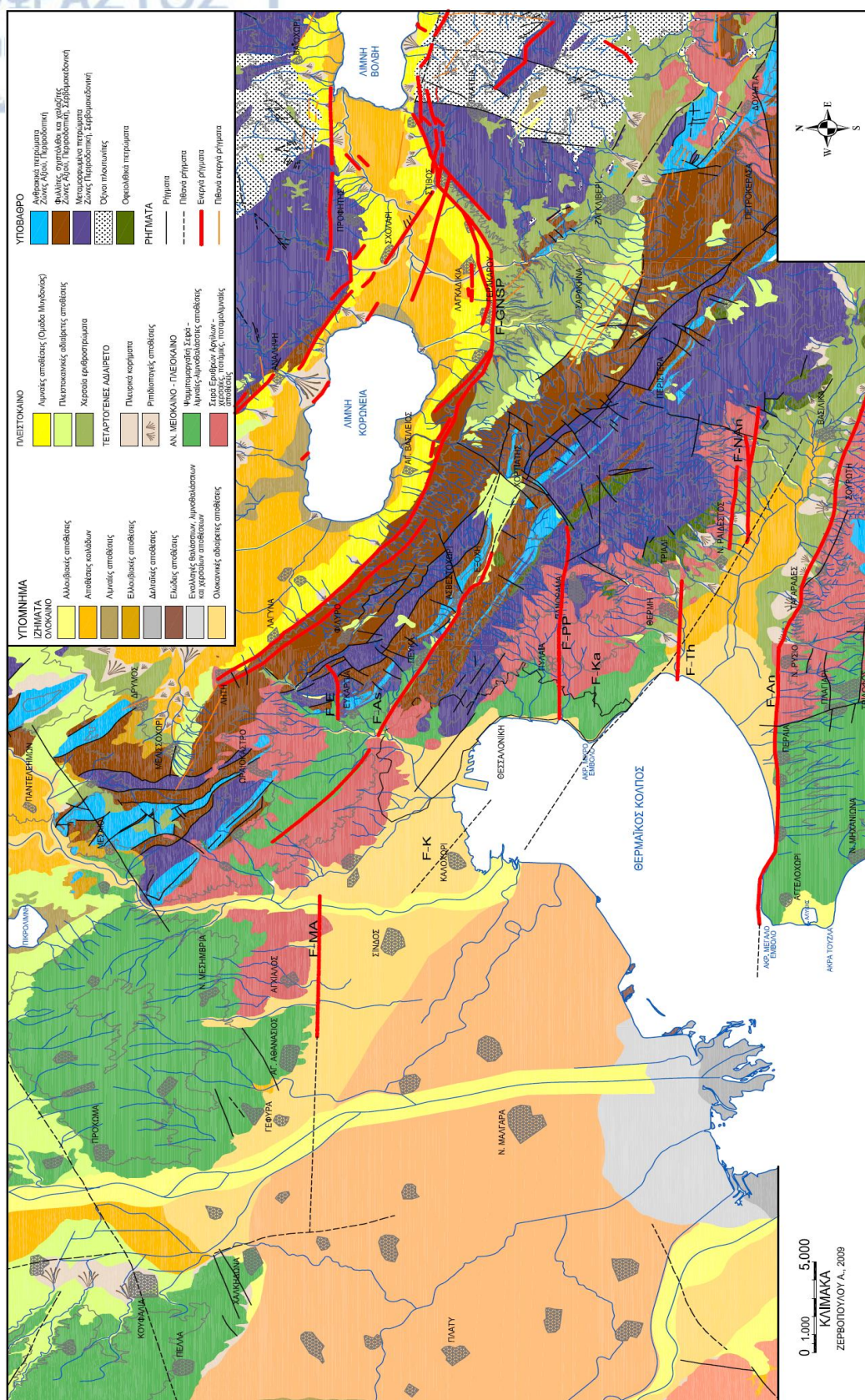


Εικόνα 2.4. Λιθοστρωματογραφικές στήλες των δύο εκ των τριών ενοτήτων της Περιοδοπικής ζώνης (Μουντράκης, 2010): **1:** κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο της Σερβομακεδονικής, **2:** πράσινοι γνεύσιοι της Θεσσαλονίκης και άλλα μετα-πυριγενή πετρώματα της «Μαγματικής σειράς Χορτιάτη», **3:** σχιστόλιθοι και φυλλίτες, **4:** πυροκλαστικά υλικά, **5:** μεταψαμμίτες, χαλαζίτες, **6:** μετακροκαλοπαγή, **7:** ασβεστιτικοί σχιστόλιθοι, **8:** αργιλικόι σχιστόλιθοι και μάργες, **9:** κερατόλιθοι, **10:** ολισθόλιθοι Τριαδικών μαρμάρων, **11:** ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι, μάρμαρα, **12:** μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, **13:** ψαμμιτικοί ασβεστόλιθοι, **14:** οφιολιθικά πετρώματα, **15:** ηφαιστειακά υλικά (σχιστοποιημένοι ρυόλιθοι, πορφυροειδή κ.α.), **φ:** Τεκτονική επαφή, **V.S.:** ηφαιστειοϊζηματογενή σειρά, **Ανθρ.:** ανθρακική νηριτική σειρά, **Φλυ.:** φλύσχος

2.2.3 Ζώνη Αξιού

Η ζώνη Αξιού αποτελεί μέρος των Εσωτερικών Ελληνίδων και υποδιαιρείται σε τρεις υποζώνες με τις ονομασίες υποζώνη Παιονίας, υποζώνη Πάικου και υποζώνη Αλμωπίας, από τα ανατολικά προς τα δυτικά (Εικ. 2.2). Σχετικά με την περιοχή μελέτης εμφανίζεται η υποζώνη της Παιονίας, η οποία αντιπροσωπεύει τα ιζήματα εκείνα που αποτέθηκαν στην ανοιχτή βαθιά θάλασσα, σε αντίθεση με την Περιοδοπική ζώνη που συνδέεται με εκείνα που αποτέθηκαν στην ηπειρωτική κατωφέρεια της Ενδοχώρας και την παλιά περιφερειακή τάφρο-αύλακα.

Η υποζώνη της Παιονίας, όπως και γενικότερα η ζώνη Αξιού, χαρακτηρίζεται από οφιολιθικά κυρίως πετρώματα που συνοδεύονται με ιζήματα βαθιάς θάλασσας (Μουντράκης, 2010). Στην ευρύτερη περιοχή μελέτης, από τη συγκεκριμένη ζώνη, εμφανίζονται επιφανειακά φυλλιτικοί σχιστόλιθοι, κροκαλοπαγή, αμμούχοι αργιλικοί σχιστόλιθοι και ασβεστόλιθοι Ιουρασικής – Κρητιδικής ηλικίας (Χάρτης ΙΓΜΕ, Φύλλο Θεσσαλονίκης).



Εικόνα 2.5. Λεπτομερής γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής μελέτης. Στον χάρτη αυτό τα πετρώματα του υποβάθρου εμφανίζονται συνοπτικά σε σχέση με τα νεότερα ιζήματα, ενώ παράλληλα εμφανίζονται το υδρογραφικό δίκτυο και τα ρήγματα της περιοχής. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί προήλθαν από ψηφιοποίηση χαρτών του ΙΓΜΕ (Ζερβοπούλου, 2010).

2.3 Γεωτεκτονική εξέλιξη της λεκάνης του Θερμαϊκού

Η λεκάνη του Θερμαϊκού άρχισε να σχηματίζεται κατά το Τριτογενές ταυτόχρονα με τις υπόλοιπες λεκάνες του Βορείου Αιγαίου (Ψιλοβίκος, 1977). Πιο συγκεκριμένα, η δημιουργία της λεκάνης έλαβε χώρα κατά το Ανώτερο Ολιγόκαινο – Κατώτερο Μειόκαινο (Mercier, 1966) ως το αποτέλεσμα δράσης εφελκυστικών τάσεων με διεύθυνση BBD – NNA που επικρατούσαν εκείνη την περίοδο στον ευρύτερο χώρο του Βορείου Αιγαίου.

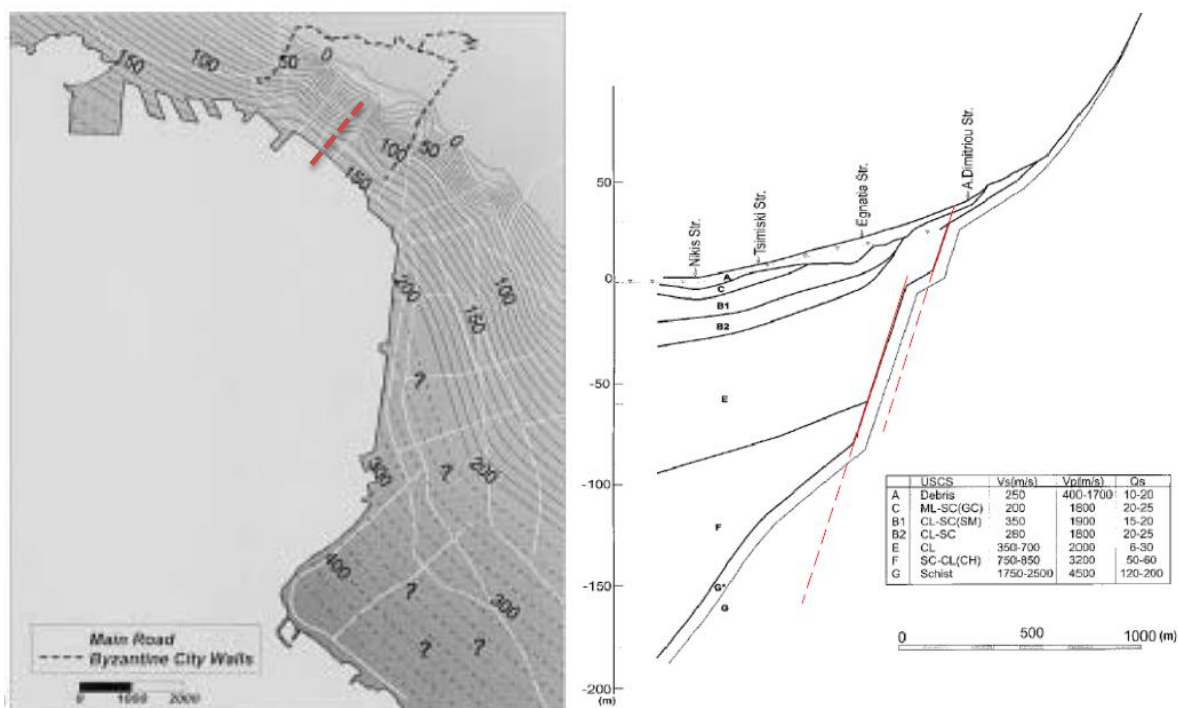
Η σταδιακή βύθιση της λεκάνης είχε ως αποτέλεσμα την πτώση του βασικού επιπέδου και τη δημιουργία ενός κύκλου διάβρωσης, μεταφοράς και απόθεσης μεγάλων ποσοτήτων κλαστικού υλικού. Επιφανειακές εκδηλώσεις Νεογενούς ιζηματογένεσης παρατηρούνται στην περιοχή του Μοσχοποτάμου Πιερίας με την εμφάνιση μολασσικών αποθέσεων με λιγνιτικές ενστρώσεις. Η απόθεση των σχηματισμών αυτών φανερώνει ένα μεταβαλλόμενο περιβάλλον χαρακτηριζόμενο από χερσαίες, λιμναίες, λιμνοθαλάσσιες και θαλάσσιες φάσεις.

Κατά το Μέσο Μειόκαινο η λεκάνη του Θερμαϊκού χερσεύει μερικώς όπως γίνεται φανερό από την ύπαρξη ερυθροστρωμάτων τα οποία αποσφηνώνονται στο ανατολικό περιθώριο της λεκάνης, ενώ στο δυτικό τμήμα αυτής αποκτούν μεγαλύτερο πάχος και απουσιάζουν εντελώς από την περιοχή της Κατερίνης. Στο Ανώτερο Μειόκαινο η λεκάνη έρχεται σε επικοινωνία με τη λεκάνη της Παρατηθούς και σχηματίζεται ένα ήρεμο λιμναίο – λιμνοθαλάσσιο αποθετικό περιβάλλον. Η υφάλμυρη φάση που επικρατούσε στο Ανώτερο Μειόκαινο άλλαξε σε ποταμολιμναία κατά το Πλειόκαινο με μεγάλη προσφορά κλαστικού υλικού. Την ίδια περίοδο παρατηρείται έντονη ηφαιστειακή δραστηριότητα στην περιοχή της Αλμωπίας με απόθεση τόφφων και ηφαιστειακής τέφρας τραχειανδεστικής σύστασης (Συρίδης, 1990).

Μεταξύ Πλειόκαινου και Πλειστόκαινου, η περιοχή αποκτάει για άλλη μια φορά χερσαίο χαρακτήρα, ενώ ταυτόχρονα το υπόβαθρο της λεκάνης βυθίζεται με σχετικά γοργούς ρυθμούς. Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι σήμερα το υπόβαθρο της λεκάνης στην περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται ως πρασινοσχιστολιθικό (Ζερβοπούλου, 2010) και εντοπίζεται σε βάθος περίπου 150m από την επιφάνεια της θάλασσας, μετά από γεωφυσική μελέτη (Εικ. 2.5).

Η έντονη τεκτονική δραστηριότητα της περιόδου Πλειόκαινου – Πλειστόκαινου, είχε ως αποτέλεσμα τη διάνοιξη των στενών του Αλιάκμονα, του Αξιού, καθώς και το σχηματισμό στα περιθώρια του βυθίσματος της λεκάνης του Ανθεμούνα, όπου συναντώνται θερμές πηγές με συνεπακόλουθη απόθεση τραβερτινών

(Nimforoulou, 2002). Έτσι, από το Τριτογενές μέχρι και σήμερα παρατηρούνται δύο κύριοι κύκλοι διάβρωσης – απόθεσης, όπως αποκαλύπτεται και από την ύπαρξη αναβαθμίδων στα περιθώρια της λεκάνης, οι οποίες δημιουργήθηκαν από αντίστοιχες τεκτονικές κινήσεις (NEDECO, 1970). Επιπλέον, κατά το Πλειστόκαινο το καθεστώς διάβρωσης και μεταφοράς ιζημάτων από τις λεκάνες απορροής των ποταμών στην πεδιάδα Θεσσαλονίκης, καθορίστηκε από ευστατικές και ισοστατικές κινήσεις περιόδου Milankovich (Στύλλας, 2009), δηλαδή λόγω αλλαγών στην εκκεντρότητα της γήινης τροχιάς.



Εικόνα 2.6. Χάρτης υποβάθρου Πολεοδομικού Συγκροτήματος Θεσσαλονίκης και γεωτεχνική τομή κάθετη στην πόλη (κόκκινη διακεκομμένη γραμμή) η οποία προήλθε από γεωφυσικές μετρήσεις και δειγματοληπτικές γεωτρήσεις, όπου φαίνεται το υπόβαθρο αλλά και η διαστρωμάτωση των νεότερων αποθέσεων (Αποστολίδης 2002, Anastasiadis et al. 2001).

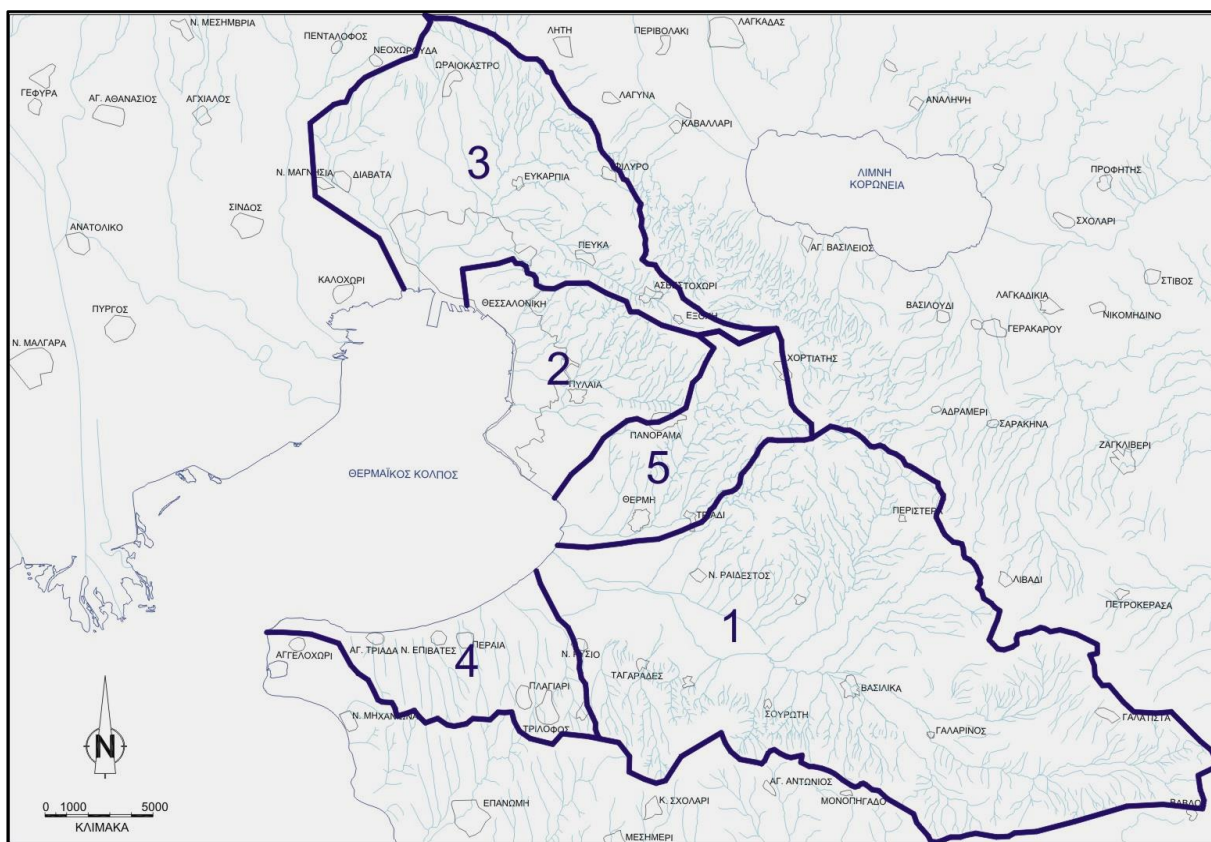
Η σημερινή μορφολογία της παράκτιας ζώνης οφείλεται σε φυσικές διεργασίες και ανθρωπογενείς επεμβάσεις (Karsimalis et al. 2005). Στα δυτικά της περιοχής μελέτης έχει σχηματιστεί μια δελταϊκή πεδιάδα με μεγάλο πάχος ολοκαινικών αποθέσεων από τους ποταμούς Αξιό, Αλιάκμονα, Γαλλικό και Λουδία (Εικ. 2.4). Αντίθετα, το ανατολικό τμήμα του κόλπου χαρακτηρίζεται από εναλλαγές διαβρωσιγενών και αποθετικών ακτών με αποτέλεσμα τη δημιουργία παράκτιων αναβαθμίδων και χαμηλών αποθετικών ακτών. Οι αποθετικές ακτές βρίσκονται στους ά-

ξόνες κοιλάδων, προεξέχουν ως ακρωτήρια και συνοδεύονται από λιμνοθάλασσες και έλη (Αλμπανάκης κ.ά. 2005).

2.4 Γεωμορφολογικά – Υδρογραφικά – Κλιματολογικά στοιχεία

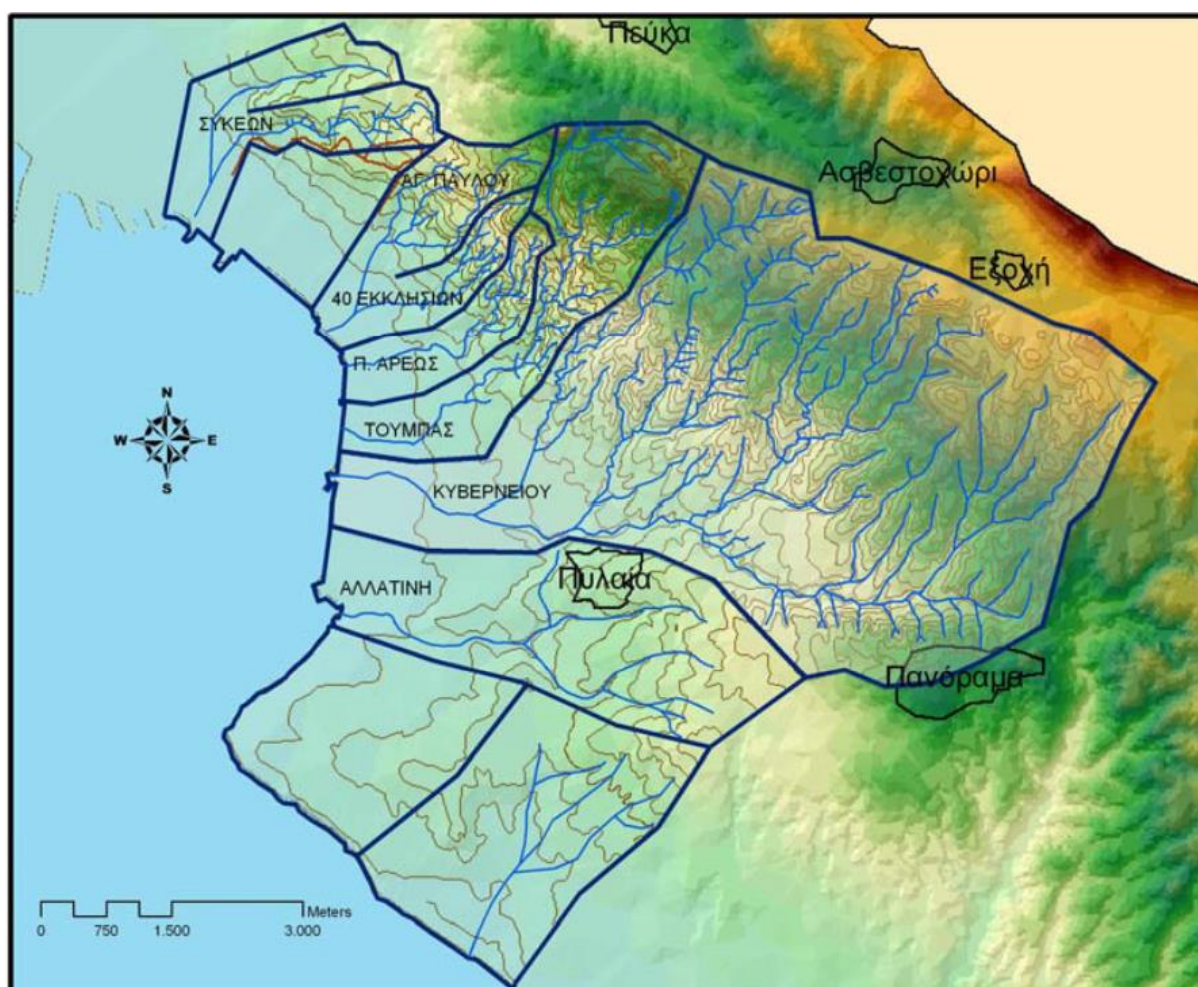
Στην περιοχή μελέτης η ακτογραμμή αποτελεί μεταβαλλόμενο χρονικά όριο μεταξύ της θάλασσας και της «ξηράς» λόγω διάβρωσης ή απόθεσης υλικών. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η μεταβολή αυτή κυρίως εντός του Πολεοδομικού Συγκροτήματος, όπου πραγματοποιήθηκε η αύξηση της ξηράς με επιχωματώσεις προς την παραλία στις περιοχές εντός των Τειχών της Θεσσαλονίκης και ανατολικά της πόλης, όπου ομαλοποιήθηκαν και οι «δαντελωτές ακτές» της Θεσσαλονίκης που προέκυπταν λόγω των 4 ρεμάτων που εκβάλουν εκεί (Χρόνης, 1986).

Η μελέτη του υδρογραφικού δικτύου της ευρύτερης περιοχής οδηγεί στον χωρισμό 5 υδρολογικών λεκανών (Εικ. 2.6.), από τις οποίες η υδρολογική λεκάνη του Πολεοδομικού Συγκροτήματος (λεκάνη 2) χωρίζεται σε επιμέρους υδρολογικές λεκάνες των ρεμάτων της πόλης (Ζερβοπούλου, 2010).



Εικόνα 2.7. Υδρολογικές λεκάνες της περιοχής μελέτης. 1=Ανθεμούντα, 2=Ρεμάτων Πολεοδομικού Συγκροτήματος Θεσσαλονίκης, 3=Δενδροποτάμου, 4=Ρεμάτων Θερμαϊκού και 5=Θέρμης (Ζερβοπούλου 2010).

Η υδρολογική λεκάνη του πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης έχει έκταση 66 km² και αποτελείται από μικρότερης έκτασης υπολεκάνες που αντιπροσωπεύουν χείμαρρους ή ρέματα της Θεσσαλονίκης (Εικ. 2.7). Οι γενικές διευθύνσεις των υπολεκανών είναι ΒΑ-ΝΔ και Α-Δ. Το μεγαλύτερο από αυτά τα ρέματα είναι το Ρέμα του Κυβερνείου, γνωστό και ως Μεγάλο Ρέμα Θεσσαλονίκης, με έκταση υδρολογικής λεκάνης 28,7 km², το οποίο αντιπροσωπεύει περίπου το μισό (43,5%) της συνολικής λεκάνης.



Εικόνα 2.8. Υδρολογική λεκάνη της Θεσσαλονίκης με τις υπολεκάνες αυτής, στην οποία διακρίνονται τα ρέματα του Πολεοδομικού Συγκροτήματος Θεσσαλονίκης (Ζερβοπούλου 2010).

Αρχικά εντοπίζονται τα ρέματα περιφερειακά των οχυρωματικών Τειχών της πόλης. Προς τα Δυτικά το �έμα Συκεών ή Παναγίας Φανερωμένης με επιμέρους κλάδο το �έμα Ρήγα Φεραίου (Ταμιωλάκης, 2005). Η γενική διεύθυνση του ρέματος είναι Α-Δ έως ΝΔ-ΒΑ και εμφανίζει πρηνή με έντονη κλίση, αποτελώντας παράλληλα τη φυσική τάφρο προστασίας των οχυρωματικών Τειχών της πόλης στο

παρελθόν. Η εκβολή του βρισκόταν μέσα στο σημερινό Λιμάνι της Θεσσαλονίκης. Πρόκειται για ρέμα 2^{ης} τάξης κατά Strahler δενδριτικής μορφής, που στην μεγαλύτερή του έκταση ρέει πάνω στο γεωλογικό υπόβαθρο.

Ανατολικά των Τειχών βρίσκεται το ρέμα Αγ. Παύλου - Ευαγγελίστριας με πρηνή ηπιότερης κλίσης και διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ. Το ρέμα είναι 3^{ης} τάξης κατά Strahler και ο τελικός του κλάδος προς την θάλασσα έχει επιχωματωθεί ήδη από το 1850 (Χεκίμογλου, 2001). Στο ύψος της Διεθνούς Εκθέσεως ενώνεται αργότερα με το ρέμα Σαράντα Εκκλησιών και καταλήγει σε 4^{ης} τάξης. Αποτελούν ρέματα δενδριτικής μορφής, που κατά τα 2/3 τους ρέουν στο βραχώδες υπόβαθρο.

Εντός των Τειχών λόγω της συνεχούς κατοίκησης και δόμησης της πόλης από το 315 π.Χ. ήταν πολύ δύσκολο να εντοπιστούν ρέματα. Το πιο πιθανό είναι να υπήρχαν παράλληλοι χείμαρροι μικρής παροχетеυτικότητας, όπως αναφέρεται και από την λειτουργία νερόμυλων μέσα στην πόλη (Χεκίμογλου, 2001), που κατέληγαν στη θάλασσα. Ένας από αυτούς πιθανά περνούσε από την Αρχαία Αγορά με τα ρωμαϊκά λουτρά και τα Λουτρά Παράδεισος (Χεκίμογλου, 2001, Ταμιωλάκης, 2005). Εξαίρεση αποτελεί το μεγαλύτερο ίσως ρέμα στην οδό Αντιγονιδών που εντοπίστηκε από γεωτρήσεις του Μετρό Θεσσαλονίκης, ως τμήμα μέσα στις ερυθρές Νεογενείς αργίλους με μαλακές αργίλους και ποταμοχειμάρια ιζήματα (Ζερβοπούλου, 2010).

Ανατολικότερα των Τειχών και προς νότο παρουσιάζεται σειρά 5 παράλληλων ρεμάτων με διεύθυνση από ΒΑ-ΝΔ έως Α-Δ μέχρι την περιοχή της Καλαμαριάς. Κάποια από αυτά μέχρι και σήμερα παρουσιάζουν υδάτινη ροή. Τα ρέματα αυτά από βορρά προς νότο είναι:

1. Των Σαράντα Εκκλησιών το οποίο ενώνεται με το ρέμα Αγ. Παύλου και αναφέρθηκε παραπάνω.
2. Του Πεδίου Άρεως ή Λύτρα, 3^{ης} τάξης κατά Strahler με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ, μορφή παράλληλων κλάδων και έκταση υδρολογικής λεκάνης 1,8 km².
3. Της Τούμπας ή Κωνσταντινίδη, 3^{ης} τάξης κατά Strahler με διεύθυνση ΒΒΑ-ΝΝΔ και μετά την Εγνατία οδό Α-Δ, μορφή δενδριτική έως και ακτινωτή βορειότερα και έκταση υδρολογικές λεκάνης 5 km².
4. Του Κυβερνείου ή Μεγάλο Ρέμα Θεσσαλονίκης, 5^{ης} τάξης κατά Strahler, που εκτείνεται με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ έως Α-Δ στα κατάντη, και μορφή δενδριτική έως παράλληλων κλάδων. Αποτελεί το μεγαλύτερο ρέμα του Πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης με συνολική έκταση υδρολογικής λεκάνης 28,7 km² και συνολικό μήκος κλάδων 90 km. Μέρος του

Μεγάλου Ρέματος Θεσσαλονίκης αποτελεί και το Ελαιόρεμα στην περιοχή Πυλαίας – Πανοράματος.

5. Του Αλλατίνη ή Ντεπό, 3^{ης} τάξης κατά Strahler, με διεύθυνση Α-Δ και μορφή παράλληλων κλάδων (Ζερβοπούλου, 2010).

Αξίζει να σημειωθεί ότι στα παράκτια υδάτινα συστήματα, όπως αυτό της περιοχής μελέτης, η κατανομή του αιωρούμενου υλικού διαμορφώνεται από τη γενική κυκλοφορία των υδάτινων μαζών και τον ανεμογενές κυματισμό (Τσομπάνογλου, 2011). Το βόρειο τμήμα του Θερμαϊκού Κόλπου χαρακτηρίζεται ως θαλάσσια περιοχή με παράκτια υφάλμυρα νερά (Hyder et al. 2002), εξαιτίας της εισροής σημαντικών ποσοτήτων γλυκών υδάτων από τους ποταμούς Αξιό, Αλιάκμονα, Γαλλικό και Λουδία (Τσομπάνογλου, 2011). Οι ποτάμιες εισροές παρουσιάζουν σημαντικές εποχιακές μεταβολές. Η κυκλοφορία των υδάτων στον κόλπο διαμορφώνεται από την είσοδο ψυχρών θαλάσσιων μαζών από το Βόρειο Αιγαίο Πέλαγος. Επίσης, οι θερμοκρασιακές μεταβολές στην ατμόσφαιρα επηρεάζουν τα φυσικά χαρακτηριστικά των θαλάσσιων μαζών. Τέλος, τα παλιρροιακά ρεύματα επηρεάζουν ελάχιστα την υδάτινη κυκλοφορία, μόνο όταν προσεγγίζουν τις μέγιστες τιμές τους (0,05 – 0,08 m/s) και όταν συνδυάζονται με περιόδους νηνεμίας.

Όσον αφορά το ανεμολογικό καθεστώς είναι έντονο και χαρακτηρίζεται από την επικράτηση βορειοδυτικών και βόρειων ανέμων σε όλη τη διάρκεια του έτους, ενώ νότιοι άνεμοι αυξημένης έντασης πνέουν κατά τους θερινούς μήνες. Κατά την επικράτηση βόρειων ανέμων παρατηρείται κυκλωνική κυκλοφορία στο επιφανειακό υδάτινο στρώμα. Οι νότιοι άνεμοι προκαλούν την κίνηση των επιφανειακών υδάτων από τον Κεντρικό Θερμαϊκό Κόλπο προς και τον Εσωτερικό Θερμαϊκό Κόλπο (Τσομπάνογλου, 2011). Σε περιπτώσεις επικράτησης ανέμων δυτικής κατεύθυνσης, έχει παρατηρηθεί η μεταφορά φορτίου από τους ποταμούς Αξιό, Αλιάκμονα, Γαλλικό και Λουδία στον κόλπο της Θεσσαλονίκης (Kontoyannis et al. 2003).



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ

3.1 Δειγματοληψία

Κατά την έρευνα της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας επιλέχθηκαν συνολικά δέκα (10) πυρήνες γεωτρήσεων, μήκους 30 cm ο καθένας, από επτά (7) συνολικά γεωτρήσεις. Οι γεωτρήσεις αυτές διενεργήθηκαν την άνοιξη του 1979 με στόχο να ερευνηθεί το υπέδαφος του εσωτερικού Θερμαϊκού κόλπου, στο πλαίσιο της μελέτης για διαπλάτυνση της παραλιακής λεωφόρου Θεσσαλονίκης. Για το λόγο αυτό, εκπονήθηκε γεωτρητικό πρόγραμμα που περιελάμβανε την εκτέλεση δεκαεπτά (17) συνολικά γεωτρήσεων με αρίθμηση Γ13 έως Γ29 (Εικ. 3.1). Στις γεωτρήσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν επί τόπου τεχνικογεωλογικές δοκιμές, όπως δόκιμη S.P.T. (Δοκιμή Διείσδυσης) και συλλέχθηκαν ακέραια δείγματα πυρήνων των γεωτρήσεων.



Εικόνα 3.1. Θέσεις γεωτρήσεων του γεωτρητικού προγράμματος «Παραλιακής Λεωφόρου Θεσσαλονίκης» που εκτελέστηκαν στον Εσωτερικό Θερμαϊκό Κόλπο πλησίον του Πολεοδομικού Συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης. Με κίτρινο χρώμα αρίθμησης διακρίνονται οι γεωτρήσεις, των οποίων δείγματα εξετάστηκαν εργαστηριακά (πηγή: Google Earth).

Όσον αφορά την συγκεκριμένη έρευνα, η επιλογή των δειγμάτων έγινε με κριτήριο την μελέτη τόσο στην οριζόντια διάσταση του βαθύτερου ιζηματογενούς στρώματος, τεμάχη του οποίου λήφθηκαν από τις γεωτρήσεις, όσο και την αναγνώριση της ακολουθίας ιζημάτων στον κατακόρυφο άξονα. Στην κατεύθυνση αυ-

τή, πραγματοποιήθηκε συλλογή ακέραιων δειγμάτων από τους πυρήνες των γεωτρήσεων με αριθμούς Γ13, Γ14 (4 εκ των δειγμάτων από την συγκεκριμένη και για την κατακόρυφη μελέτη), Γ15, Γ16, Γ23, Γ24 και Γ26 (Εικ. 3.1). Η γεώτρηση Γ14 επιλέχθηκε για την μελέτη της κατακόρυφης ακολουθίας ιζημάτων, επειδή ήταν η περισσότερο πλήρης σε αριθμό δειγμάτων από αυτές που είχαμε στην διάθεση μας. Αξίζει να αναφερθεί, ότι τα βάθη από τα οποία συλλέχθηκαν τα δείγματα αυτά κυμαίνονται από 14,85 έως 31,50 m από την επιφάνεια της θάλασσας.

3.2 Κλασματοποίηση και χημικές κατεργασίες

Τα δείγματα πυρήνων που επιλέχθηκαν, αφού πρώτα τεμαχίστηκαν εγκάρσιως σε δύο ίσα μέρη, το ένα εκ των δύο φυλάχθηκε για πιθανές μελλοντικές έρευνες και το άλλο θρυμματίστηκε σε μεγάλο πορσελάνινο γουδί στο χέρι με την άσκηση ήπιας πίεσης προκειμένου να αποφευχθεί η αλλοίωση της κοκκομετρικής διαβάθμισης του εξεταζόμενου υλικού. Τα θρύμματα που προέκυψαν υποβλήθηκαν σε κοκκομετρική ανάλυση με τη χρήση κόσκινου και διαχωρίστηκαν στα αδρομερή κλάσματα >2 mm και στα λεπτομερή κλάσματα ≤ 2 mm.

Τα αδρομερή κλάσματα εξετάστηκαν κάτω από στερεοσκόπιο και αναγνωρίστηκαν τεμάχια διαφορετικής πετρολογικής σύστασης, τα οποία διαχωρίστηκαν, με χρήση τσιμπίδας και μαγνήτη. Κατόπιν μετρήθηκε το βάρος τους με ζυγαριά ακριβείας και με τους κατάλληλους υπολογισμούς προέκυψε η ποσοστιαία αναλογία τους. Τα λεπτομερή κλάσματα επεξεργάστηκαν με τις απαραίτητες χημικές κατεργασίες για τον διαχωρισμό των συστατικών τους (χημικές κατεργασίες κατά Jackson, 1974). Οι κατεργασίες είχαν σαν αποτέλεσμα το διαμερισμό του λεπτομερούς ιζηματογενούς υλικού στα κλάσματά του, άμμος, ιλύς και άργιλος. Για να επιτευχθεί ο διαχωρισμός έπρεπε πρώτα να απομακρυνθούν οι συγκολλητικές ουσίες, οι οποίες είναι οι εξής (Τσιραμπίδης, 2008):

1. Ανθρακικά άλατα Ca και Mg.
2. Οργανική ύλη και οξείδια του Mn.
3. Ελεύθερα οξείδια του Fe και Mn και υδροξείδια του Fe.

Για την απομάκρυνση αυτών των ανεπιθύμητων υλικών απαιτήθηκε η χρήση δύο ρυθμιστικών διαλυμάτων:

1. Ρυθμιστικό διάλυμα 1N οξικού νατρίου (NaOAc) – οξικού οξέος (HOAc) με pH 5,0.
2. Ρυθμιστικό διάλυμα 0,3M κιτρικού νατρίου ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) – 1M διττανθρακικού νατρίου (NaHCO_3) με pH 7,3.

Στις ακόλουθες υποενότητες θα παρουσιαστούν αναλυτικά οι διαδικασίες που ακολουθήθηκαν για την αποσυσσωμάτωση και το διαμερισμό των συστατικών των ιζημάτων.

3.2.1 Απομάκρυνση ανθρακικών αλάτων

Τα θρύμματα με μέγεθος <2 mm που προέκυψαν μετά το κοσκίνισμα τέθηκαν σε συνεχόμενους τετραμερισμούς μέχρι να προκύψει αντιπροσωπευτικό δείγμα του συνόλου, ποσότητας περίπου 20 g, που ζυγίστηκε με ακρίβεια και τοποθετήθηκε σε φιάλη φυγοκέντρισης 250 ml, της οποίας το βάρος επίσης καταγράφηκε. Σε αυτήν προστέθηκαν 100 ml ρυθμιστικού διαλύματος 1N οξικού νατρίου – οξικού οξέος με pH 5,0 και με τη χρήση γυάλινης ράβδου με τρίφτη, στο υλικό επήλθε αιώρηση και ανάδευση. Αυτό χωνεύτηκε στο υδρόλουτρο σε θερμοκρασία 80°C για περίπου 30 λεπτά, με αλληπάλληλες αναδεύσεις σε αυτό το χρονικό διάστημα. Ακολούθησαν τρεις φυγοκεντρικές πλύσεις με το ρυθμιστικό διάλυμα.

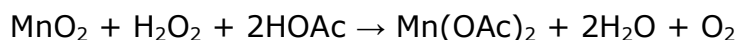
3.2.2 Απομάκρυνση οργανικής ύλης και MnO_2

Με το δείγμα πλέον απαλλαγμένο από τα ανθρακικά συγκολλητικά υλικά και ελαφρώς όξινο, εξαιτίας της πρότερης κατεργασίας του με ρυθμιστικό διάλυμα pH 5,0, διευκολύνθηκε σε αυτό το στάδιο η επίδραση διαλύματος H_2O_2 30% κ.β. (perhydrol) στην περιεχόμενη οργανική ύλη.

Στη φιάλη φυγοκέντρισης προστέθηκαν περίπου 20 ml απιονισμένου νερού για να αποφευχθεί η ξήρανση του δείγματος και τοποθετήθηκε σε υδρόλουτρο με θερμοκρασία περίπου 80°C. Έπειτα, ξεκίνησε η προσθήκη του perhydrol με αρχική δόση 5 ml H_2O_2 στη φιάλη αναδεύοντας συνεχώς με τη γυάλινη ράβδο. Στο στάδιο αυτό απαιτήθηκε ιδιαίτερη προσοχή, γιατί μερικές φορές η συγκεκριμένη αντίδραση μπορεί να γίνει πολύ έντονη, με αποτέλεσμα να είναι απαραίτητη η διαρκής ανάδευση για να αποφευχθεί η υπερχειλίση, ιδιαιτέρως σε δείγματα πλούσια σε οργανική ύλη, του εξεταζόμενου δείγματος. Στην περίπτωση που η αντίδραση είναι τόσο έντονη, υπάρχει η δυνατότητα να την επιβραδύνουμε με ψύξη της φιάλης σε κρύο νερό, ώστε να αποφύγουμε την υπερχειλίση και επομένως την απώλεια υλικού. Μόλις ολοκληρώθηκε η επίδραση των πρώτων 5 ml H_2O_2 προστέθηκαν άλλα 5 ml H_2O_2 με ταυτόχρονη συνεχή ανάδευση. Παρατηρήθηκαν παρόμοια φαινόμενα μικρότερης έντασης και λήφθηκαν τα ίδια μέτρα για την αντιμετώπιση φαινομένων πιθανόν μεγάλης έντασης. Εν συνεχεία, πραγματοποιήθηκαν άλλες τέσσερις προσθήκες των 5 ml H_2O_2 η κάθε μια (συνολικά προστέθηκαν 30

ml H_2O_2) με τον ίδιο ρυθμό. Με την ολοκλήρωση και της τελευταίας προσθήκης, οι φιάλες καλύφθηκαν με ύαλους ωρολογίου και αφέθηκαν στο υδρόλουτρο για περίπου 3 ώρες. Μετά το πέρας αυτού του χρονικού διαστήματος οι φιάλες αποσύρθηκαν από το υδρόλουτρο, τα τοιχώματά τους πλύθηκαν με το ρυθμιστικό διάλυμα pH 5,0, συμπληρώθηκαν μέχρι 100 ml με το ίδιο ρυθμιστικό διάλυμα και τέθηκαν σε διαδικασία φυγοκεντρικής πλύσης. Ακολούθησαν μία φυγοκεντρική πλύση με το ίδιο διάλυμα σε ίδια ποσότητα και μία με ίση ποσότητα μεθανόλης (CH_3OH). Το αρχικό σκούρο χρώμα του υλικού που οφείλονταν στην παρουσία της οργανικής ύλης, είχε πλέον σχεδόν εξαφανιστεί.

Η χρήση του αντιδραστηρίου H_2O_2 για την αφαίρεση της οργανικής ύλης επέδρασε επίσης στη διάλυση του MnO_2 ακολουθώντας την εξής αντίδραση:



Κατά τη διάσπαση του H_2O_2 ($\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \frac{1}{2} \text{O}_2$) απελευθερώνεται ατομικό οξυγόνο, στο οποίο οφείλεται η προκαλούμενη οξείδωση/καύση της οργανικής ύλης. Αν και αρκετές φορές το ποσοστό της οργανικής ύλης είναι σχετικά αμελητέο, η κατεργασία με H_2O_2 (perhydrol) δεν πρέπει να παραλείπεται γιατί έχει ευνοϊκή επίδραση στο διαμερισμό του δείγματος με την απομάκρυνση τυχόν κολλοειδών συστατικών που περιέχονται.

3.2.3 Απομάκρυνση οξειδίων και υδροξειδίων του Fe

Η απομάκρυνση των άμορφων χιτώνων και κρυστάλλων των οξειδίων και υδροξειδίων του σιδήρου (κυρίως του αιματίτη και του γκαϊτίτη), βοηθάει στο διαχωρισμό των πυριτικών ορυκτών του δείγματος.

Στην μέθοδο που περιγράφεται χρησιμοποιήθηκε διθειονικό νάτριο ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) για την αναγωγή, διττανθρακικό νάτριο (NaHCO_3) ως ρυθμιστικό διάλυμα και κιτρικό νάτριο ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ως παράγοντας συμπλοκοποίησης του Fe^{2+} και Fe^{3+} .

Μετά την ολοκλήρωση της προηγούμενης κατεργασίας, προστέθηκαν στην φιάλη 15 ml κορεσμένου διαλύματος NaCl και συμπληρώθηκαν με 150 ml απιονισμένου νερού H_2O , αναδεύτηκαν, φυγοκεντρήθηκαν και αποχύθηκαν με τη χρήση αναρροφητή. Αμέσως μετά προστέθηκαν στην φιάλη 100 ml του ρυθμιστικού διαλύματος με pH 7,3, προκλήθηκε ανάδευση και τοποθετήθηκε στο υδρόλουτρο. Όταν η θερμοκρασία έφτασε στους 75 – 80 °C (όχι μεγαλύτερη γιατί σχηματίζεται FeS_2), προστέθηκαν περίπου 4 g διθειονικού νατρίου. Το αιώρημα εντός της φιά-

λης αναδεύτηκε γρήγορα και αφέθηκε στο υδρόλουτρο για περίπου 15 λεπτά. Αφότου η φιάλη απομακρύνθηκε από το υδρόλουτρο, υποβλήθηκε σε φυγοκέντρωση και το υπερκείμενο διαυγάζον αποχύθηκε με χρήση αναρροφητή. Ολοκληρώνοντας, ακολούθησαν μία ακόμη φυγοκεντρική πλύση με 50 ml του ίδιου ρυθμιστικού διαλύματος με pH 7,3, μία με ίση ποσότητα απιονισμένου νερού H₂O (2.500 στροφές/λεπτό για 15 λεπτά) και μία με ίση ποσότητα μεθανόλης (CH₃OH).

Μετά από κάθε κατεργασία τα δείγματα αφήνονταν να ξηραθούν μέχρι σταθερού βάρους σε φούρνο με θερμοκρασία 80°C και αφότου ψύχονταν για περίπου 3 ώρες σε θερμοκρασία δωματίου (~20°C), υπολογιζόταν από τη διαφορά βάρους η ποσοστιαία αναλογία των συγκολλητικών ουσιών (ανθρακικά άλατα, οργανική ύλη και οξείδια και υδροξείδια του σιδήρου) του κάθε δείγματος.

Εν συνεχεία και μετά την ολοκλήρωση της απομάκρυνσης των συγκολλητικών ουσιών, προστέθηκε στη φιάλη απιονισμένο νερό και με χρήση δονητή υπερήχων προκλήθηκε κατάλληλη ανάδευση και ομογενοποίηση, ώστε να πραγματοποιηθεί η κλασματοποίηση των κόκκων του δείγματος.

3.2.4 Κλασματοποίηση

Η κλασματοποίηση των δειγμάτων στα λιθολογικά κλάσματα άμμου, ιλύος και αργίλου βασίζεται στην ταχύτητα καθίζησης των κόκκων, από αιώρηση σε απιονισμένο νερό, σύμφωνα με το νόμο του Stokes (Tucker, 2001).

Αν και οι κόκκοι των περισσότερων ορυκτών έχουν ιδιόμορφα σχήματα (φυλλώδη, σφαιρικά, επιμήκη κ.ά.), αποτελεί κοινή παραδοχή διεθνώς η ισοδύναμη σφαιρική διάμετρο κόκκων για διαμέτρους <20 μm, γεγονός που σημαίνει ότι αυτά τα θεωρητικά σφαιρικά σωματίδια έχουν τις ίδιες ταχύτητες καθίζησης με τα πραγματικά ακολουθώντας το νόμο του Stokes. Για μέγεθος σωματιδίων >20 μm, η ισοδύναμη σφαιρική διάμετρος αναφέρεται στο μέγεθος των οπών (βροχίδες) του κόσκινου που χρησιμοποιείται για το διαχωρισμό αυτών των σωματιδίων.

Κατά τον Stokes, η ταχύτητα καθίζησης U (cm/sec) ενός σωματιδίου πυκνότητας ρ_s (g/cm³) και διαμέτρου d (cm) μέσα σε ένα υγρό πυκνότητας ρ (g/cm³) και ιξώδους η (poises) (όπου poise = g sec⁻¹ cm⁻¹), είναι:

$$U = \frac{(\rho_s - \rho) \times g \times d^2}{18 \times \eta}$$

όπου g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας (cm sec⁻²).

Επειδή οι πυκνότητες των σωματιδίων ποικίλλουν από ορυκτό σε ορυκτό, χρησιμοποιούμε μία μέση πυκνότητα για κάθε συγκεκριμένο κλάσμα. Έτσι, για κλάσματα ιζημάτων με διαμέτρους κόκκων $>2 \mu\text{m}$ η πυκνότητα λαμβάνεται ίση με $2,65 \text{ g/cm}^3$, ενώ για διαμέτρους κόκκων $<2 \mu\text{m}$ λαμβάνεται ίση με $2,50 \text{ g/cm}^3$.

Τα κλάσματα που χρησιμοποιήθηκαν στη συγκεκριμένη μελέτη μαζί με τους αναγκαίους χρόνους απόληψής τους (σε θερμοκρασία νερού περίπου 20°C), παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα 3.1.

Πίνακας 3.1. Κοκκομετρικά μεγέθη και χρόνοι απόληψης τους (Τσιραμπίδης, 2008).

Κλάσμα	Διάμετρος Κόκκων (μm)	Χρόνος απόληψης
Άμμος	>63	Πτώση σε στήλη νερού 4 cm: 12"
Ιλύς	63 – 2	Ότι καθιζάνει στις 1.000 rpm για 3'
Άργιλος	<2	Ότι αιωρείται στις 1.000 rpm για 3'

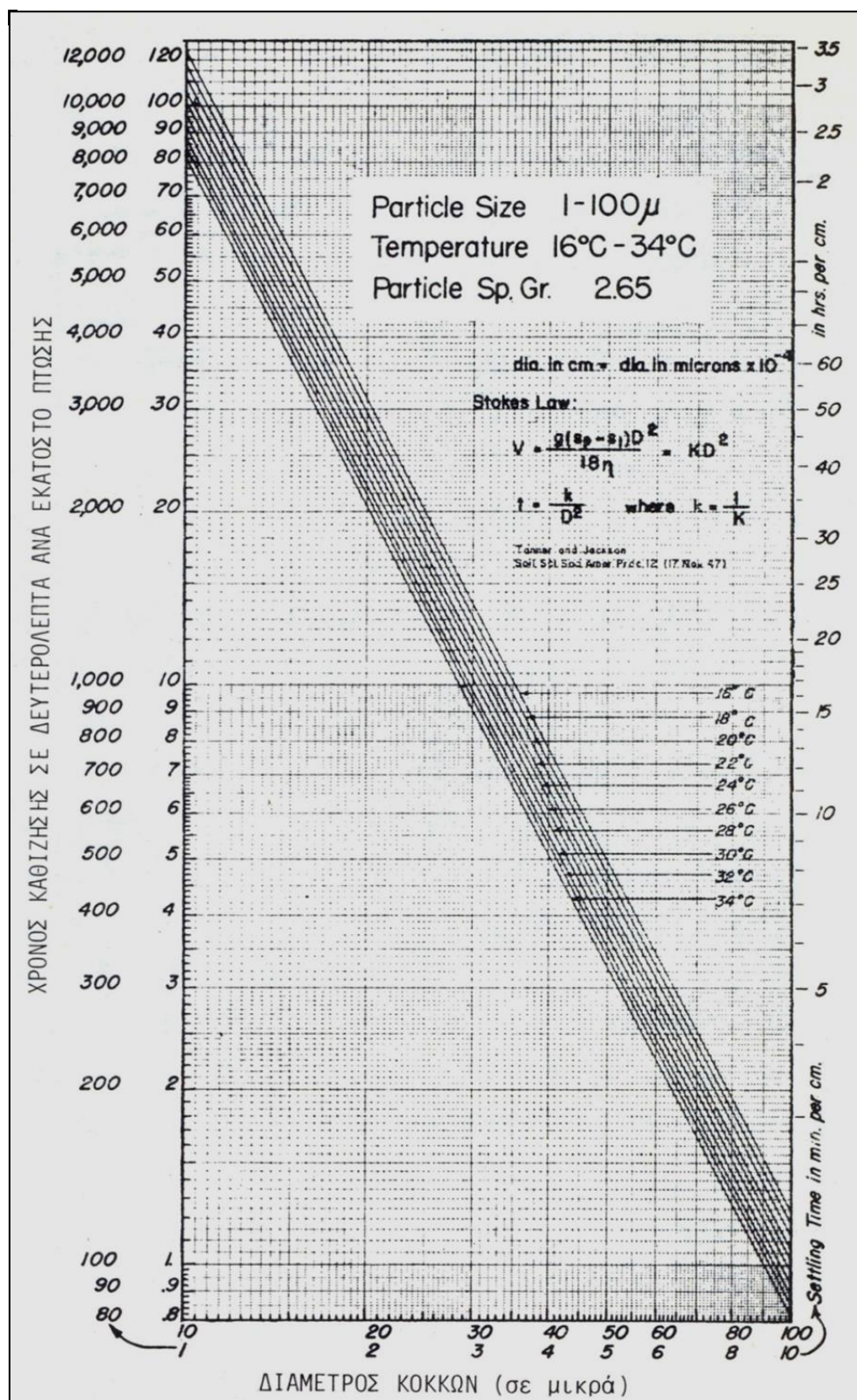
Το κλάσμα της άμμου πάρθηκε με ελεύθερη πτώση των κόκκων, εξαιτίας της επιτάχυνσης της βαρύτητας, σε αιώρημα απιονισμένου νερού. Ο διαχωρισμός της ιλύος από την άργιλο πραγματοποιήθηκε με φυγόκεντρική επιτάχυνση 1000 rpm για 3 λεπτά σε φυγόκεντρο τύπου Rotanda 460 (Hettich, Germany) που διαθέτει ο Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας του Α.Π.Θ. (Εικ. 3.2).



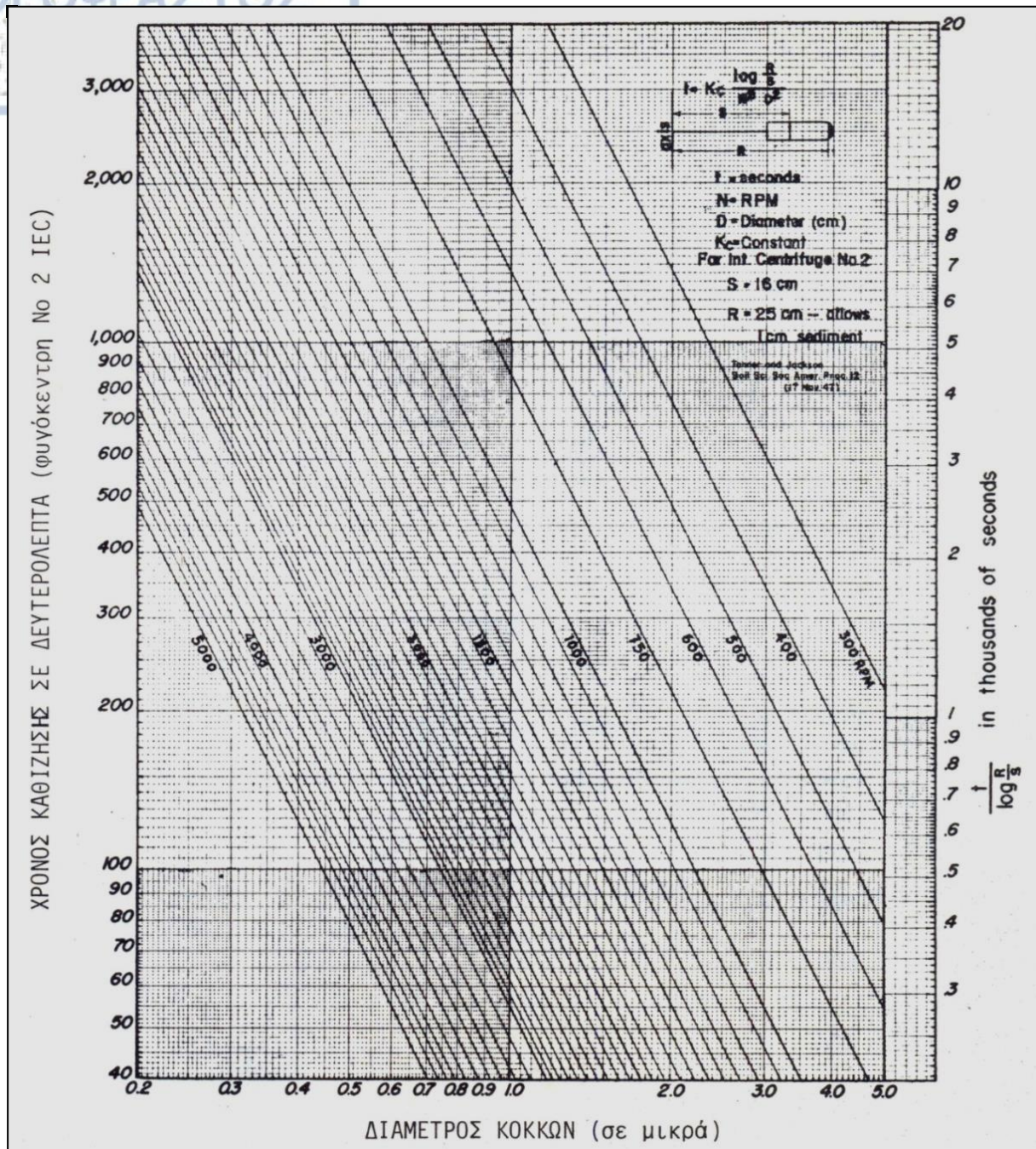
Εικόνα 3.2. Φυγόκεντρος τύπου Rotanda 460 (Hettich, Germany).

Στο νομόγραμμα (σχήμα 3.1) απεικονίζεται ο χρόνος καθίζησης των κόκκων σε ελεύθερη πτώση με επιτάχυνση της βαρύτητας σε διάφορες θερμοκρασί-

ες, ενώ στο παρακάτω νομόγραμμα (σχήμα 3.2) απεικονίζεται ο χρόνος καθίζησης των κόκκων με φυγοκεντρική επιτάχυνση (Tanner & Jackson 1947).



Σχήμα 3.1. Νομόγραμμα χρόνου καθίζησης κόκκων με επιτάχυνση της βαρύτητας (Tanner & Jackson 1947).



Σχήμα 3.2. Νομόγραμμα χρόνου καθίζησης κόκκων με φυγοκεντρική επιτάχυνση (Tanner & Jackson 1947).

Μέγεθος κόκκων = 0,2 – 5,0 μm , Θερμοκρασία = 20 °C, Ειδικό βάρος κόκκων = 2,5

Πριν από κάθε ελεύθερη πτώση ή φυγοκέντρωση γίνεται έντονη ανάδευση του αιωρήματος σε δονητή υπερήχων για τον πλήρη διαμερισμό του υλικού. Για κάθε κλάσμα επαναλήφθηκε τρεις φορές ο τρόπος απόληψής του (καθίζηση ή φυγοκέντρωση) πάντα μετά από ανάδευση με το δονητή υπερήχων και αποταμίευση του υπερκείμενου αιωρήματος που περιέχει το λεπτομερέστερο κλάσμα. Η εκτίμηση του βαθμού διαύγειας του υπερκείμενου υγρού για ολοκλήρωση της απόληψης

ενός συγκεκριμένου κλάσματος είναι υποκειμενική. Επίσης, ο χρόνος χρήσης του δονητή υπερήχων δεν πρέπει να είναι μεγάλος (περίπου 1 λεπτό) για να αποφεύγονται φαινόμενα θρόμβωσης και καθίζησης συσσωματωμάτων λεπτομερών κόκκων, εξαιτίας της υπερθέρμανσης του αιωρήματος (Τσιραμπίδης, 2008).

Ολοκληρώνοντας, όλα τα κλάσματα τοποθετήθηκαν σε φούρνο με θερμοκρασία 80°C, ξηράθηκαν, ζυγίστηκαν με ακρίβεια και υπολογίστηκε η ποσοστιαία αναλογία κατά βάρος κάθε κλάσματος.

3.3 Περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ (XRD)

Η μελέτη της ορυκτολογικής σύστασης όλων των κλασμάτων που ελήφθησαν [2 mm – 63 μm (άμμος), 63 – 2 μm (ιλύς) και <2 μm (άργιλος)] από τις χημικές κατεργασίες των δειγμάτων, πραγματοποιήθηκε με περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ (XRD).

Από το κάθε κλάσμα των δειγμάτων κονιοποιήθηκε ορισμένη ποσότητα υλικού με χρήση αχάτινου γουδιού στο χέρι και στη συνέχεια από την αναφή σκόνη που προέκυψε επιλέχθηκε περίπου 1g αντιπροσωπευτικού δείγματος, το οποίο χρησιμοποιήθηκε στην προετοιμασία παρασκευάσματος κόνεως με τυχαίο προσανατολισμό. Η μελέτη της ορυκτολογικής σύστασης του εξεταζόμενων δειγμάτων έγινε με την χρήση περιθλασιμέτρου τύπου PHILIPS PW1820/00 (Εικ. 3.3), εξοπλισμένο με μικροεπεξεργαστή PW1710/00, λυχνία ακτινοβολίας χαλκού μήκους κύματος $\text{CuK}_\alpha = 1,54184 \text{ \AA}$ και φίλτρο Ni= 0,0170 mm, ενώ η περιοχή σάρωσης γωνίας 2θ ήταν 3-63°, με ταχύτητα σάρωσης 1°/min.

Για την αυτόματη λήψη και επεξεργασία των δεδομένων της σάρωσης σε ψηφιακή μορφή χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό PC-APD (v3.6j, 1999) της PHILIPS. Πριν την ακτινογράφιση των δειγμάτων έγινε έλεγχος της ευαισθησίας και της ακρίβειας του περιθλασιμέτρου με ειδικό πρότυπο καθαρού πυριτίου. Ο τρόπος προετοιμασίας των τυχαία προσανατολισμένων παρασκευασμάτων, οι δειγματολήπτες και οι συνθήκες σάρωσης όλων των δειγμάτων ήταν ακριβώς οι ίδιες. Ο ημιποσοτικός προσδιορισμός των ορυκτολογικών φάσεων πραγματοποιήθηκε βάσει των απαριθμήσεων (counts) συγκεκριμένων ανακλάσεων, οι οποίες δεν επηρεάζονται από καμία άλλη ανάκλαση και λαμβάνοντας υπόψη την πυκνότητα και τον συντελεστή απορρόφησης μάζας των ορυκτολογικών φάσεων που αναγνωρίστηκαν.



Εικόνα 3.3. Περιθλασίμετρο ακτίνων-Χ τύπου PHILIPS PW1820/00 του Τομέα Ο-Π-Κ.

Όλες οι κατεργασίες και προετοιμασίες των παρασκευασμάτων και οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στα εργαστήρια του Τομέα Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ, χρησιμοποιώντας τις υποδομές και τον εξοπλισμό αυτού.

3.4 Εργαστηριακός εξοπλισμός

Τα υλικά, τα όργανα και τα αντιδραστήρια που χρησιμοποιήθηκαν για την ολοκλήρωση του ερευνητικού μέρους της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας είναι τα εξής:

- Σφυρί και σπάτουλα
- Μεγάλο πορσελάνινο γουδί
- Κόσκινα
- Στερεοσκόπιο για το χαρακτηρισμό των κροκαλών
- Μαγνήτης
- Χάρακας 30cm και φύλα χαρτιού A3 και A4 για τον τετραμερισμό
- Ηλεκτρικός ζυγός, με ακρίβεια χιλιοστού του γραμμαρίου
- Αναλογικός μηχανικός ζυγός
- Πλαστικοί υδροβολείς με ακροφύσια

- Γυάλινο χωνί, σπάτουλα και τσιμπίδα
- Πυρίμαχες φιάλες φυγοκέντρισης 250 ml
- Γυάλινες ράβδοι ανάδευσης με τρίφτη
- Ύαλοι ωρολογίου
- Ογκομετρικοί σωλήνες των 100 ml και 1000 ml
- Σιφώνια των 5 ml, 10 ml και 20 ml
- Ποτήρια ζέσης των 50 ml, 100 ml, 250 ml, 500 ml και 1000 ml
- Ογκομετρικές φιάλες 1L και 4L, για την παρασκευή των ρυθμιστικών διαλυμάτων
- Σταγονόμετρο και πιπέτα
- Κωνική φιάλη αναρρόφησης
- Αναδευτήρα μαγνητικού πεδίου
- Ηλεκτρικό πεχάμετρο με πρότυπα διαλύματα
- Υδρόλουτρο με θερμοστάτη
- Ηλεκτρική φυγόκεντρο
- Ηλεκτρικό φούρνο
- Δονητή υπερήχων
- Κάψες πορσελάνης
- Περιθλασίμετρο ακτίνων-Χ και αντικειμενοφόρα πλακίδια
- Απιονισμένο H_2O
- Μεθανόλη (CH_3OH) εμπορίου
- Κορεσμένο διάλυμα $NaCl$
- Υπεροξείδιο του υδρογόνου H_2O_2 (perhydrol) του εμπορίου 30%
- Ρυθμιστικά διαλύματα pH 5,0 και pH 7,3 (βλ. ενότητα 3.2)
- Διθειονικό νάτριο ($Na_2S_2O_4$)



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1 Κοκκομετρική ανάλυση και λιθολογική ταξινόμηση

Από τη διαδικασία της κοκκομετρικής ανάλυσης προέκυψαν τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 4.1. Τα δείγματα παρουσιάζουν ποικιλία στην κοκκομετρική τους σύσταση με το ποσοστό των κροκαλών να κυμαίνεται από 3,6% (δείγμα Γ14(4)) έως 22,4% (δείγμα Γ16), της άμμου από 24,8% (δείγμα Γ23) έως 49,4% (δείγμα Γ13), της ιλύος από 15,1% (δείγμα Γ26) έως 30,3% (δείγμα Γ23) και της αργίλου από 13,9% (δείγμα Γ23) έως 31,3% (δείγμα Γ14(4)). Γενικά, παρατηρείται ότι το άθροισμα των ποσοστών ιλύος και αργίλου είναι αρκετά υψηλό σε όλα τα δείγματα, γεγονός που σημαίνει ότι η μεταφορά των ιζημάτων έγινε μέσω ρεμάτων αρκετά μεγάλης μεταφορικής δυναμικής με ταυτόχρονη γρήγορη απόθεση του κλαστικού φορτίου.

Πίνακας 4.1. Κοκκομετρική κατανομή (% κ.β.) των δειγμάτων που αναλύθηκαν. Εντός του πλαισίου με τη διπλή διακριτή γραμμή περιλαμβάνονται τα δείγματα της γεώτρησης Γ14, η οποία επιλέχθηκε για την κατακόρυφη μελέτη της ακολουθίας των ιζημάτων.

Δείγμα (βάθος)	Κροκάλες (>2mm)	Άμμος (2mm-63μm)	Ιλύς (63μm-2μm)	Άργιλος (<2μm)	C.O.I.*	Σύνολο
Γ13 (22,30-22,60m)	4,1	49,4	22,4	16,0	8,1	100,0
Γ14 (1) (14,85-15,15m)	10,6	39,1	28,0	15,8	6,5	100,0
Γ14 (2) (19,50-19,80m)	7,1	45,8	21,5	14,3	11,3	100,0
Γ14 (3) (25,20-25,50m)	4,3	41,5	18,5	30,0	5,7	100,0
Γ14 (4) (31,20-31,50m)	3,6	26,7	27,5	31,3	10,9	100,0
Γ15 (19,10-19,40m)	8,7	42,1	22,1	15,9	11,2	100,0
Γ16 (20,80-21,10m)	19,4	33,0	23,5	17,4	6,7	100,0
Γ23 (18,20-18,50m)	22,4	24,8	30,3	13,9	8,6	100,0
Γ24 (20,45-20,75m)	9,9	32,5	28,9	23,0	5,7	100,0
Γ26 (26,40-27,40m)	15,4	41,5	15,1	22,7	5,3	100,0

* C.O.I.: ανθρακικά άλατα + οργανική ύλη και MnO₂ + οξειδία και υδροξείδια του Fe

Παρακάτω ακολουθούν οι πίνακες 4.2 και 4.3, στους οποίους παρουσιάζονται αναλυτικά τα ποσοστά των κροκαλών χωρισμένα στους διάφορους πετρο-

γραφικούς τύπους, όπως αυτοί αναγνωρίστηκαν με τη χρήση στερεοσκοπίου και τα ποσοστά των συγκολλητικών υλικών (C.O.I.) ανά κατηγορία, όπως αυτά προέκυψαν από τις χημικές κατεργασίες κατά Jackson.

Πίνακας 4.2. Ποσοστιαία αναλογία (% κ.β.) των διάφορων τύπων κροκαλών.

Δείγμα (βάθος)	Κροκάλες (>2mm)	Σχιστολιθικές- Γνευσιακές	Χαλαζιακές	Ασβεστολιθικές	Ίχνη Μεταλλικών
Γ13 (22,30-22,60m)	4,1	2,5	1,4	0,2	0,02
Γ14 (1) (14,85-15,15m)	10,6	6,9	3,5	0,1	0,02
Γ14 (2) (19,50-19,80m)	7,1	4,1	2,5	0,4	0,03
Γ14 (3) (25,20-25,50m)	4,3	2,2	1,6	0,5	0,03
Γ14 (4) (31,20-31,50m)	3,6	1,1	0,5	2,0	0,02
Γ15 (19,10-19,40m)	8,7	6,2	2,2	0,3	0,01
Γ16 (20,80-21,10m)	19,4	11,7	6,2	1,5	0,03
Γ23 (18,20-18,50m)	22,4	16,7	2,0	3,6	0,01
Γ24 (20,45-20,75m)	9,9	7,5	2,2	0,2	0,00
Γ26 (26,40-27,40m)	15,4	7,3	3,5	4,6	0,02

Πίνακας 4.3. Ποσοστιαία αναλογία (% κ.β.) των κατηγοριών συγκολλητικών υλικών.

Δείγμα (βάθος)	C.O.I.	Ανθρακικά άλατα	Οργανική ύλη και MnO ₂	Οξείδια και Υδροξείδια του Fe
Γ13 (22,30-22,60m)	8,1	6,2	1,8	0,1
Γ14 (1) (14,85-15,15m)	6,5	2,0	4,3	0,2
Γ14 (2) (19,50-19,80m)	11,3	7,5	2,2	1,6
Γ14 (3) (25,20-25,50m)	5,7	2,5	1,5	1,7
Γ14 (4) (31,20-31,50m)	10,9	8,3	0,4	2,2
Γ15 (19,10-19,40m)	11,2	7,9	1,5	1,8
Γ16 (20,80-21,10m)	6,7	4,7	0,8	1,2
Γ23 (18,20-18,50m)	8,6	5,0	1,8	1,8
Γ24 (20,45-20,75m)	5,7	3,7	1,1	0,9
Γ26 (26,40-27,40m)	5,3	2,3	1,0	2,0

Αρχικά, από τον πίνακα 4.2 παρατηρείται ότι σε όλα τα δείγματα κυριαρχούν οι σχιστολιθικές-γνευσιακές κροκάλες, με το ποσοστό τους να κυμαίνεται από 1,1 (δείγμα Γ14(4)) έως 16,7% κ.β. (δείγμα Γ23). Το γεγονός αυτό δικαιολο-

γείται από την αποσάθρωση των μεταμορφωμένων πετρωμάτων από τα οποία αποτελείται σε μεγάλο βαθμό το υπόβαθρο της περιοχής μελέτης.

Έπειτα, γίνεται αντιληπτό ότι το ποσοστό των χαλαζιακών κροκαλών είναι στα περισσότερα δείγματα το δεύτερο υψηλότερο, με διακύμανση από 0,5 (δείγμα Γ14(4)) έως 6,2% κ.β. (δείγμα Γ16). Οι κροκάλες χαλαζιακού τύπου παρουσιάζουν σχετικά υψηλά ποσοστά, όπως ήταν αναμενόμενο, καθώς ο χαλαζίας αποτελεί ορυκτό πολλών πετρωμάτων της περιοχής μελέτης και είναι εύκολο να μεταφερθεί και να αποτεθεί, λόγω της υψηλής μηχανικής αντοχής που παρουσιάζει.

Στη συνέχεια, ακολουθούν τα ποσοστά των ανθρακικών κροκαλών που κυμαίνονται από 0,1 (δείγμα Γ14(1)) έως 4,6% κ.β. (δείγμα Γ26). Ομοίως, οι κροκάλες αυτές δικαιολογείται να εμφανίζονται στα ιζήματα της περιοχής μελέτης, καθώς στην ευρύτερη περιοχή υπάρχουν ασβεστόλιθοι και ανθρακικά φλυσικά ιζήματα, από την διάβρωση των οποίων πιθανότατα προήλθαν.

Ακόμα, αξίζει να αναφερθεί ότι εντοπίστηκαν ίχνη μεταλλικών ορυκτών (επιφλοιώσεις, κροκάλες με μεταλλικά ορυκτά και ιδιόμορφοι κρύσταλλοι κυρίως σιδηροπυρίτη και μαγνητίτη) με ποσοστά από 0,01 έως 0,03% κ.β. Αξιοσημείωτο ήταν το γεγονός ότι στο δείγμα Γ16 εντοπίστηκαν μικροί σχεδόν τέλειοι κρύσταλλοι σιδηροπυρίτη, που πιθανόν να προέρχονται από την αποσάθρωση των φυλλιτικών σχιστόλιθων της υποζώνης Παιονίας, οι οποίοι εντοπίζονται στην ευρύτερη περιοχή του Ωραιοκάστρου, καθώς και σε θέσεις εντός της λεκάνης του Πολεοδομικού Συγκροτήματος Θεσσαλονίκης. Επιπροσθέτως, αυτές οι κροκάλες με τα μεταλλικά ορυκτά δεν παρουσιάζουν κάποια εμφανή αλλοίωση (οξειδωση), γεγονός που ενισχύει την άποψη για ταχεία μεταφορά και απόθεση των ιζημάτων.

Ολοκληρώνοντας, γίνεται αντιληπτό ότι τα δείγματα των ιζημάτων με βάθος μεγαλύτερο των 22 m (Γ13, Γ14(3), Γ14(4)) παρουσιάζουν μια μείωση στο συνολικό ποσοστό των περιεχόμενων κροκαλών, με εξαίρεση το δείγμα Γ26 (26,40–27,40 m), το οποίο εμφανίζει ένα σχετικά μεγάλο ποσοστό κροκαλών (15,4% κ.β.). Το σημείο αυτό πιθανώς επηρεάστηκε από την εκβολή του ρέματος Αγ. Παύλου – Ευαγγελίστριας, το οποίο, όπως έχει προαναφερθεί, εξέβαλε στην περιοχή του Λευκού Πύργου (βλ. ενότ. 2.4), από όπου και λήφθηκε το δείγμα. Από το 1850 και μετά η εκβολή του ρέματος αυτού επιχωματώθηκε και ενώθηκε με το ρέμα των 40 Εκκλησιών εκβάλλοντας πλέον μαζί με αυτό ανατολικότερα.

Τέλος, θα πρέπει να τονιστεί ότι η μακροσκοπική εξέταση των κροκαλών έδειξε πως μορφολογικά όλες είναι γωνιώδεις έως υπογωνιώδεις. Αυτά τα μορφολογικά χαρακτηριστικά δείχνουν ιζήματα μεταφερμένα σε περιορισμένο χρόνο και

από μικρή απόσταση.

Όσον αφορά τα ποσοστά των συγκολλητικών υλικών (Πιν. 4.3), αυτά κυμαίνονται μεταξύ 5,3 (δείγμα Γ26) και 11,3% κ.β. (δείγμα Γ14(2)). Το ποσοστό του συνόλου των συγκολλητικών υλικών (C.O.I.) είναι αρκετά σημαντικό σε όλα τα δείγματα, γεγονός που δικαιολογείται στο ποτάμιο περιβάλλον. Τόσο τα ανθρακικά άλατα, όσο και η οργανική ύλη, καθώς επίσης και τα οξείδια και υδροξείδια του Fe αφθονούν εξαιτίας της εύκολης μεταφοράς και συναπόθεσης με τα λοιπά λεπτομερή ιζήματα στο χώρο του ποταμού (Τσιραμπίδης και Καντηράνης, 1998).

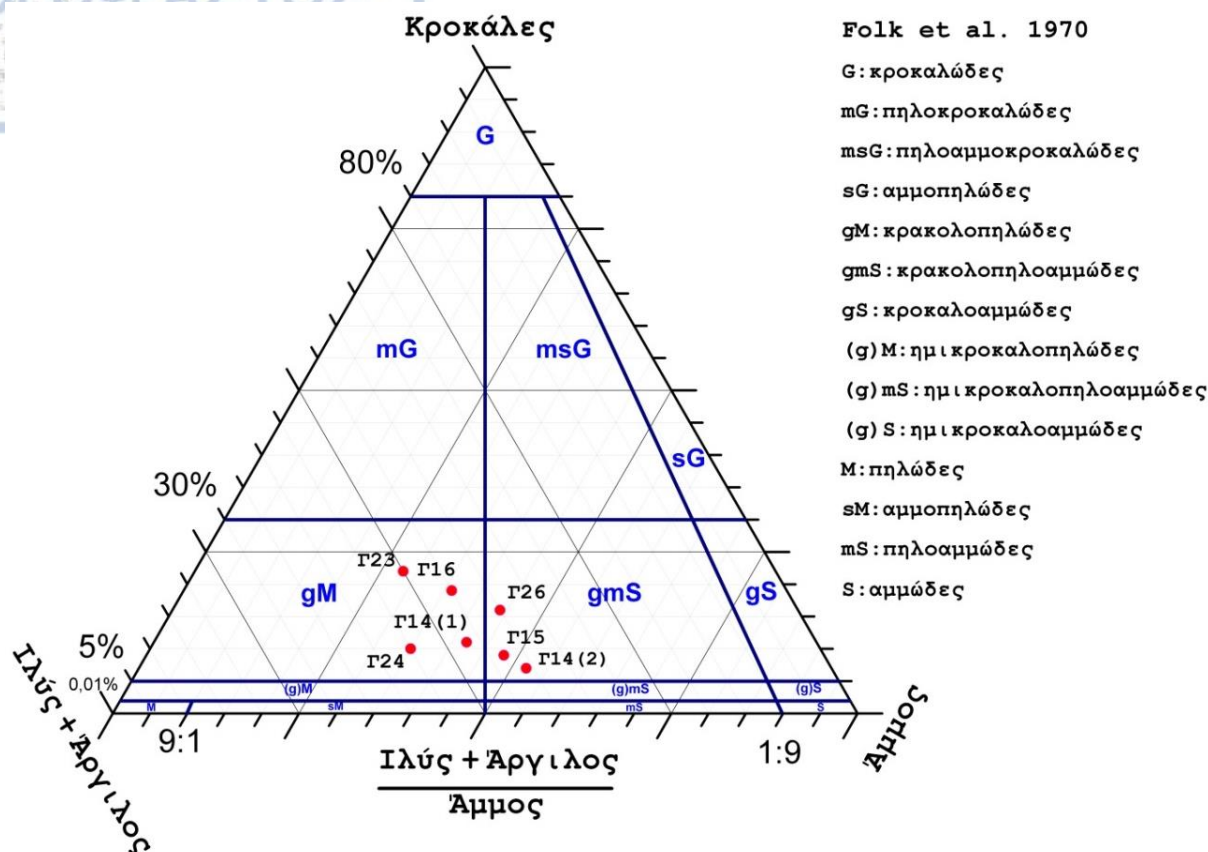
Πιο αναλυτικά, τα ανθρακικά άλατα με ποσοστά από 2,0 (δείγμα Γ14(1)) έως 8,3% κ.β. (δείγμα Γ14(4)) είναι εκείνα που εμφανίζουν τις μεγαλύτερες τιμές σε όλα τα δείγματα με μοναδική εξαίρεση το δείγμα Γ14(1), το οποίο είναι και το ρηχότερο και σε αυτό κυριαρχούν η οργανική ύλη και το MnO_2 . Γενικά, ο ασβεστίτης και τα υπόλοιπα ανθρακικά ορυκτά (δολομίτης, ανκερίτης, σιδηρίτης) είναι τα συνηθέστερα συγκολλητικά υλικά κλαστικών ιζημάτων (Tucker, 2001). Σε θαλάσσια κλαστικά ιζήματα το ανθρακικό ασβέστιο μπορεί να προέρχεται από τη διάλυση ανθρακικών σκελετικών κόκκων (Morad, 1998). Για το σχηματισμό, όμως, δολομιτικού συγκολλητικού υλικού απαιτείται μια πηγή μαγνησίου, ενώ για την ανάπτυξη ανκερίτη ($CaFe(CO_3)_2$) και σιδηρίτη ($FeCO_3$) είναι απαραίτητη η παρουσία σιδήρου. Κατά συνέπεια, το ασβέστιο, το μαγνήσιο και ο σίδηρος είναι οι κύριοι παράγοντες της λιθοποίησης των ιζημάτων, δεν επαρκούν όμως οι ποσότητες τους που υπάρχουν στο θαλασσινό νερό ή στο γλυκό νερό των πόρων. Για το λόγο αυτό, είναι αναγκαία και η συμμετοχή των ασταθών κλαστικών υλικών (όπως ολιβίνης, πυρόξενοι, αμφίβολοι κ.ά.), καθώς και η διάλυση ασβεστολίθων ή δολομιτών από τη γύρω περιοχή τροφοδοσίας της λεκάνης (Boggs, 2009).

Η οργανική ύλη και το MnO_2 εμφανίζουν ποσοστά από 0,4 (δείγμα Γ14(4)) έως 4,3% κ.β. (δείγμα Γ14(1)). Το μεγαλύτερο μέρος του οργανικού υλικού στα κλαστικά ιζηματογενή πετρώματα και ιδιαίτερα στους πηλόλιθους είναι λεπτομερής σαπροπηλός (Boggs, 2009). Αυτός αποτελεί λεπτομερές μεταφερμένο οργανικό υλικό που αποτίθεται σε λιμναία, λιμνοθαλάσσια και θαλάσσια περιβάλλοντα με ιδιαίτερα χαμηλά επίπεδα οξυγόνου που οδηγούν σε αναερόβιες και αναγωγικές συνθήκες, οι οποίες αναστέλλουν την οξείδωση και τη βακτηριδιακή αποικοδόμηση της οργανικής ύλης. Η σύσταση του είναι κυρίως υπολείμματα φυτοπλαγκτόν, ζωοπλαγκτόν, σπόρων, γύρης και υπολειμματικά τεμάχια ανώτερων φοιτών σε σήψη. Κατά τη διάρκεια του ενταφιασμού και της διαγένεσης το οργανικό υλικό υπόκειται σε μια σειρά σημαντικών αλλαγών από τη συνδυασμένη δράση βιοχημι-

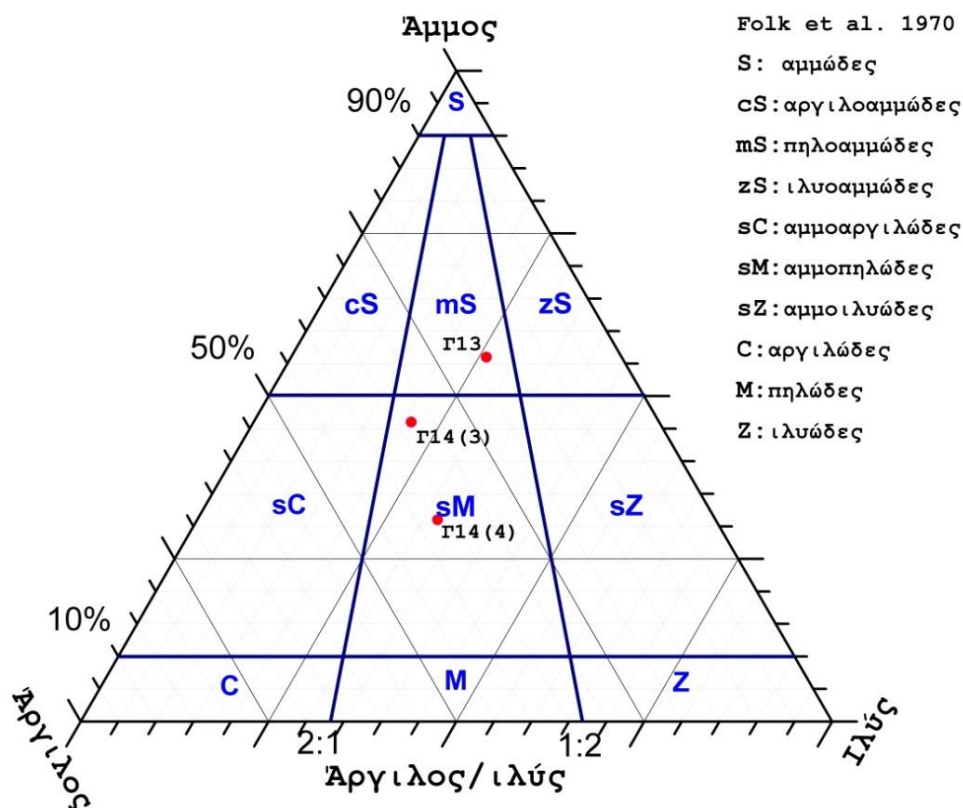
κών και χημικών παραγόντων. Τα περισσότερα ιζηματογενή πετρώματα που αποθέτονται σε υδάτινο περιβάλλον περιέχουν κάποιες ποσότητες οργανικού υλικού. Η αναμενόμενη μέση συγκέντρωση οργανικού άνθρακα στους αργιλικούς σχίστες ή σχιστοπηλούς κυμαίνεται μεταξύ 1,0 και 2,2% κ.β. (Tissot & Welte 1984). Η αφθονία του οργανικού υλικού σε ένα ιζηματογενές πέτρωμα εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως είναι το μέγεθος των κόκκων, το αποθετικό περιβάλλον, η ορυκτολογική σύσταση του ιζήματος κ.ά. Στην περίπτωση των ιζημάτων της παρούσας μελέτης παρατηρείται ένα αυξημένο ποσοστό της οργανικής ύλης στα δείγματα των μικρότερων βαθών, γεγονός που πιθανόν υποδεικνύει ότι στα τμήματα αυτά της λεκάνης επικράτησαν συνθήκες που συντέλεσαν στη διατήρηση της οργανικής ύλης (π.χ. ήρεμες συνθήκες ιζηματογένεσης, απομόνωση από την επίδραση ρευμάτων και κυμάτων).

Τέλος, όσον αφορά τα οξειδία και τα υδροξειδία του Fe κυμαίνονται από 0,1 (δείγμα Γ13) έως 2,2% κ.β. (δείγμα Γ14(2)). Σχετικά με το σίδηρο στα συγκολλητικά υλικά, αυτός εμφανίζεται και με τις δύο μορφές του είτε ως δισθενής (Fe^{2+}), είτε ως τρισθενής (Fe^{3+}). Η ιδιότητα αυτή του σιδήρου και κατά συνέπεια των ορυκτών που αυτός σχηματίζει συνδέεται άμεσα με το χημισμό των νερών (περιβάλλον απόθεσης), αλλά και τις συνθήκες που επικρατούν στο περιβάλλον της πρώιμης διαγένεσης (Tucker, 2001).

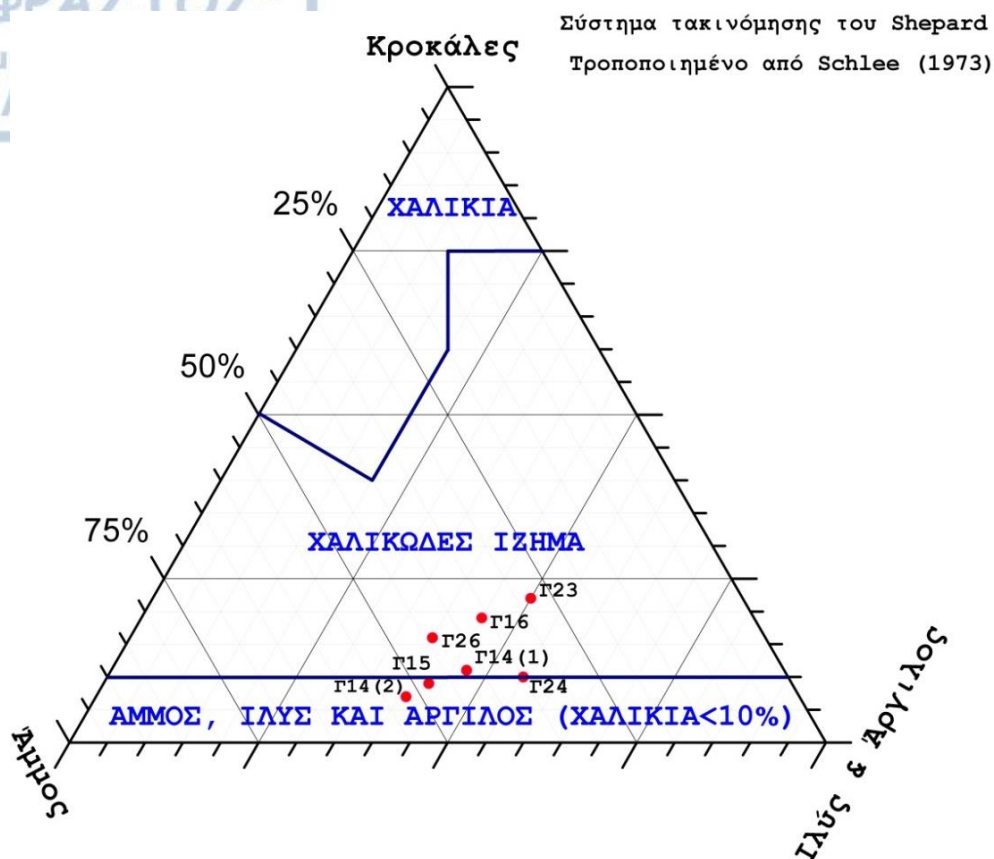
Στη συνέχεια, με χρήση των τριγωνικών διαγραμμάτων κατά Folk et al. (1970) έγινε η λιθολογική ταξινόμηση των δειγμάτων με βάση την εκατοστιαία αναλογία των κροκαλών, της άμμου, της ιλύος και της αργίλου (Σχ. 4.1, 4.2.). Ανάλογη ταξινόμηση, αν και λιγότερο λεπτομερής, είναι και αυτή κατά Shepard (1954) τροποποιημένη από Schlee (1973), η οποία επίσης πραγματοποιήθηκε (Σχ. 4.3, 4.4). Τα αποτελέσματα των ταξινομήσεων αυτών σε λιθολογικές τάξεις, παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.5.



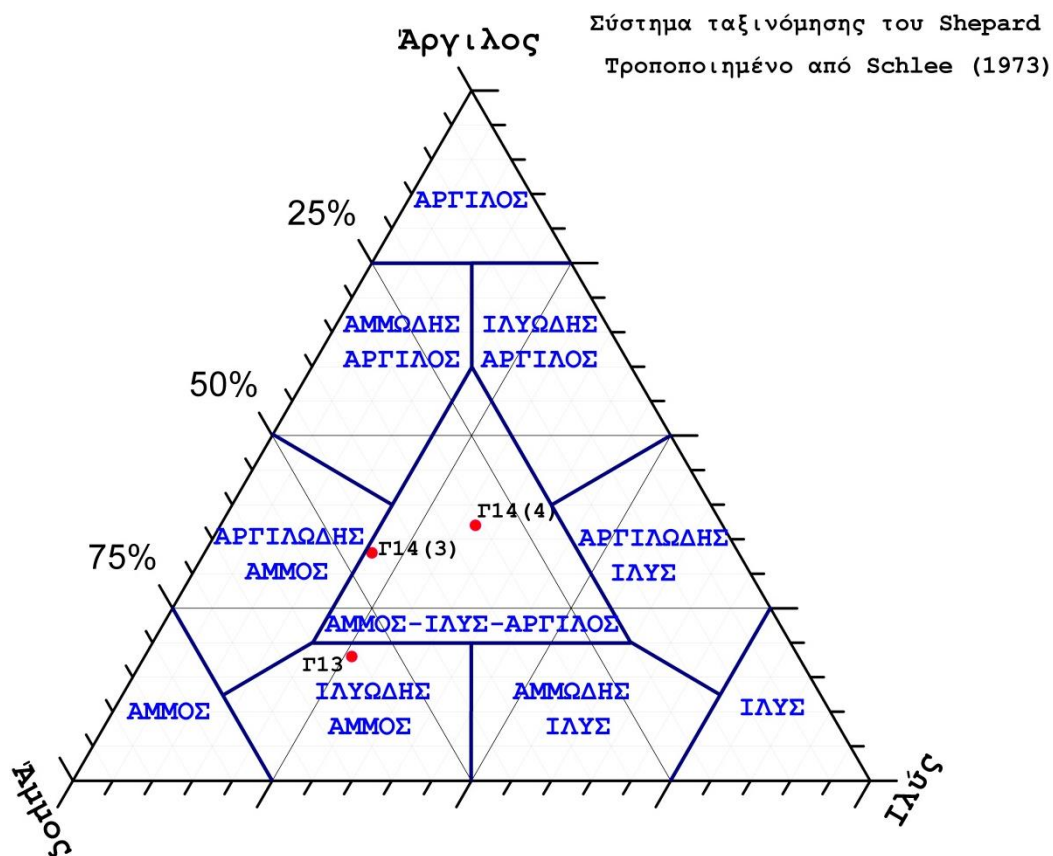
Σχήμα 4.1. Ταξινόμηση των ιζημάτων με κροκάλες >5% (Γ14(1), Γ14(2), Γ15, Γ16, Γ23, Γ24, Γ26).



Σχήμα 4.2. Ταξινόμηση των ιζημάτων με κροκάλες <5% (Γ13, Γ14(3), Γ14(4)).



Σχήμα 4.3. Ταξινόμηση των ιζημάτων με κροκάλες >5% (Γ14(1), Γ14(2), Γ15, Γ16, Γ23, Γ24, Γ26)



Σχήμα 4.4. Ταξινόμηση των ιζημάτων με κροκάλες<5% (Γ13, Γ14(3), Γ14(4)).

Πρέπει να σημειωθεί ότι στα Σχήματα 4.1 και 4.3 οι λιθολογικές τάξεις προσδιορίστηκαν από το ποσοστό των κροκαλών (>2 mm) και τη σχέση άμμος ($2-0,063$ mm) / (ιλύς+άργιλος) ($<0,063$ mm). Σε αυτά τα διαγράμματα προβλήθηκαν όλα εκείνα τα δείγματα, των οποίων το ποσοστό των κροκαλών υπερβαίνει το 5%. Αντίθετα, στα Σχήματα 4.2 και 4.4 οι λιθολογικές τάξεις προσδιορίστηκαν από το ποσοστό της άμμου ($2-0,063$ mm) και τη σχέση ιλύς ($0,063-0,002$ mm) / άργιλος ($<0,002$ mm), και σε αυτά προβλήθηκαν τα υπόλοιπα δείγματα με ποσοστό κροκαλών μικρότερο του 5%.

Από τα παραπάνω, συμπεραίνεται ότι τα υλικά που αποτέθηκαν ήταν αποτέλεσμα της μεγάλης παροχής των ποταμών και ρεμάτων της περιοχής με γρήγορη κατά περιόδους μεταφορά και απόθεση ιζημάτων, πηλολιθικής κυρίως σύστασης (Πιν. 4.4). Στο συμπέρασμα αυτό καταλήγουμε αν λάβουμε υπόψη ότι τα υλικά παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία στην κοκκομετρική τους σύσταση και οι κόκκοι τους είναι γωνιώδεις ως υπογωνιώδεις, όπως εντοπίστηκε από την εξέταση της μορφολογίας των κροκαλών των δειγμάτων. Επειδή, η μεταφορά κροκαλών γίνεται λόγω βαρύτητας μέσα σε ένα μέσο, που στην προκειμένη περίπτωση είναι το νερό, το σχήμα των κόκκων στην συγκεκριμένη περίπτωση αποδεικνύει ότι η απόσταση μεταφοράς ήταν σχετικά μικρή (Boggs, 2006).

Πίνακας 4.4. Ταξινόμηση των εξεταζόμενων δειγμάτων σε λιθολογικές τάξεις, όπως αυτές προέκυψαν μετά από προβολή στα αντίστοιχα τριγωνικά διαγράμματα.

Δείγμα	Λιθολογικός Χαρακτήρας		
	Folk et al. 1970		Shepard (Τροπ. Από Schlee 1973)
Γ13	mS	πηλοαμμώδες	ιλυώδης άμμος
Γ14 (1)	gM	κροκαλοπηλώδες	χαλικώδες ίζημα
Γ14 (2)	gmS	κροκαλοπηλοαμμώδες	άμ. – ιλ. – άργ. (χαλίκια<10%)
Γ14 (3)	sM	αμμοπηλώδες	άμμος – ιλύς – άργιλος
Γ14 (4)	sM	αμμοπηλώδες	άμμος – ιλύς – άργιλος
Γ15	gmS	κροκαλοπηλοαμμώδες	άμ. – ιλ. – άργ. (χαλίκια<10%)
Γ16	gM	κροκαλοπηλώδες	χαλικώδες ίζημα
Γ23	gM	κροκαλοπηλώδες	χαλικώδες ίζημα
Γ24	gM	κροκαλοπηλώδες	άμ. – ιλ. – άργ. (χαλίκια<10%)
Γ26	gmS	κροκαλοπηλοαμμώδες	χαλικώδες ίζημα

Πρόκειται, λοιπόν, για μια ταχεία ιζηματογένεση, σε παράκτιο περιβάλλον, που περιόρισε τις φυσικές και χημικές διεργασίες διάβρωσης και αποσάθρωσης, καθώς και το βαθμό επανεπεξεργασίας των ιζημάτων (Τσιραμπίδης, 2008). Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να δημιουργηθούν ιζήματα ιστολογικά ανώριμα έως υποώριμα το πολύ. Η παρατήρηση αυτή ενισχύεται από την παρουσία, σε όλα τα εξεταζόμενα δείγματα, κλάσματος αργίλου με ποσοστό πολύ πάνω από 5% κ.β. (Folk et al. 1970).

4.2 Ορυκτολογία – Πετρογραφία

Στον Πίνακα 4.5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των ορυκτολογικών αναλύσεων με περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ στα κλάσματα άμμου, ιλύος και αργίλου, καθώς και στο σύνολο κάθε δείγματος, το οποίο προέκυψε από υπολογισμό του ποσοστού των ορυκτών κάθε κλάσματος, λαμβάνοντας το ποσοστό του κάθε κλάσματος στο σύνολο του δείγματος. Ακολουθώντας, στα Σχήματα 4.5 έως 4.14 παρατίθενται τα περιθλασιογράμματα των εξεταζόμενων δειγμάτων.

Από τον πίνακα 4.5 γίνεται αντιληπτό ότι, από ορυκτολογικής απόψεως, παρατηρείται μικρή τοπική διαφοροποίηση στην κατανομή των διαφόρων ορυκτών των αδρόκοκκων και λεπτόκοκκων κλασμάτων και σημαντική ποσοτική διαφοροποίηση μεταξύ των ορυκτών στα επιμέρους κλάσματα άμμου, ιλύος και αργίλου.

Πιο συγκεκριμένα, στα αδρόκοκκα κλάσματα πολύ υψηλό είναι το ποσοστό του χαλαζία με τιμές στο κλάσμα της άμμου από 65 (δείγμα Γ15) έως 85% κ.β. (δείγμα Γ13) και στο κλάσμα της ιλύος από 29 (δείγμα Γ14(1)) έως 54% κ.β. (δείγμα Γ24). Αντίθετα τα ποσοστά του χαλαζία στο αργιλικό κλάσμα φτάνουν το 9% κ.β. (δείγμα Γ14(1)), ενώ σε ορισμένα δείγματα (Γ16, Γ23 και Γ26) απουσιάζουν εντελώς. Στο ολικό δείγμα τα ποσοστά του χαλαζία κυμαίνονται από 39 (δείγμα Γ14(4)) έως 56% κ.β. (δείγμα Γ13).

Γενικά, ο χαλαζίας στα κλαστικά ιζήματα προέρχεται κυρίως από γρανιτικά, γνευσιακά και σχιστολιθικά πετρώματα. Στην παρούσα περιοχή μελέτης και με βάση την γεωλογική δομή της υδρολογικής λεκάνης της Θεσσαλονίκης, όπως αυτή προαναφέρθηκε (βλ. Κεφ. 2), τα πετρώματα που τροφοδότησαν τη λεκάνη του Εσωτερικού Θερμαϊκού Κόλπου είναι οι γνεύσιοι και οι σχιστόλιθοι που κυριαρχούν στο υπόβαθρο της περιοχής μελέτης (Σαπουντζής, 1969) χωρίς να αποκλείεται και η μεταφορά κλαστικού υλικού από τις εκβολές των ποταμών (κυρίως Αξιός και Αλιάκμονας και δευτερευόντως Λουδίας και Γαλλικός) στο δυτικό μέρος του κόλπου. Σύμφωνα με τους Kontoyannis et al. (2003) σε περιπτώσεις επικράτησης

ανέμων δυτικής κατεύθυνσης, έχει παρατηρηθεί μεταφορά φορτίου από τους ποταμούς Αξιό, Αλιάκμονα, Γαλλικό και Λουδία στον κόλπο της Θεσσαλονίκης.

Πίνακας 4.5. Ορυκτολογική σύσταση (% κ.β.) των δειγμάτων κατά κλάσμα άμμου, ιλύος, αργίλου και ολικού δείγματος.

Δείγμα (βάθος)	Μέγεθος	Q	Pl	Kf	Am	Px	Ch(±K)	M	I	I/Ch	Ca	Do
Γ13 (22,30-22,60 m)	2mm-63μm	85	8				6	1				
	63-2μm	30	13		2		44	8				3
	<2μm	4	4				49		20	23		
	Ολικό δείγμα	56	8		1		23	7*		4		1
Γ14 (1) (14,85-15,15m)	2mm-63μm	71	19	2			5	2				1
	63-2μm	29	13	10	3		39	6				
	<2μm	9					53		23	15		
	Ολικό δείγμα	45	13	4	1		26	7		3		1
Γ14 (2) (19,50-19,80m)	2mm-63μm	74	13				8	5				
	63-2μm	39	14	6			33	5				3
	<2μm	2	7				54		25	12		
	Ολικό δείγμα	53	12	2			22	8		2		1
Γ14 (3) (25,20-25,50m)	2mm-63μm	76	17				4	1				2
	63-2μm	52	17			4	19	5				3
	<2μm	5					40		36	19		
	Ολικό δείγμα	48	11			1	19	13		6		2
Γ14 (4) (31,20-31,50m)	2mm-63μm	79	14	2			4	1				
	63-2μm	43	19				32	2				4
	<2μm	1			3		47		16	33		
	Ολικό δείγμα	39	10	1	1		29	7		12		1
Γ15 (19,10-19,40m)	2mm-63μm	65	18	8			7	2				
	63-2μm	47	17				30	4				2
	<2μm	1					57		20	22		
	Ολικό δείγμα	48	14	4			23	6		4		1
Γ16 (20,80-21,10m)	2mm-63μm	80	11				3	3				3
	63-2μm	40	15				36	4			2	3
	<2μm						54		17	29		
	Ολικό δείγμα	47	10				26	7		7	1	2
Γ23 (18,20-18,50m)	2mm-63μm	74	18				6	2				
	63-2μm	33	19		1		40	7				
	<2μm		5				54		27	14		
	Ολικό δείγμα	40	16		1		31	9		3		
Γ24 (20,45-20,75m)	2mm-63μm	70	16	4			5	2				3
	63-2μm	54	16				25	5				
	<2μm	9	6				48		25	12		
	Ολικό δείγμα	48	13	2			24	9		3		1
Γ26 (26,40-27,40m)	2mm-63μm	73	13	6			3	5				
	63-2μm	44	12		1	3	27	13				
	<2μm						26		29	45		
	Ολικό δείγμα	46	9	3	1	1	14	13		13		

Q: Χαλαζίας, Pl: Πλαγιόκλαστο, Kf: K-ούχος άστριος, Am: Αμφίβολοι, Px: Πυρόξενοι, Ch(±K): Χλωρίτης ± Καο-λινίτης, M: Μαρμαρυγίας (κυρίως μοσχοβίτης), I: Ιλλίτης, I/Ch: Ενδοστρωματωμένη φάση Ιλλίτη/Χλωρίτη, Ca: Ασβεστίτης, Do: Δολομίτης. * Μαρμαρυγίας+Ιλλίτης.

Τα ποσοστά των πλαγιοκλάστων στο κλάσμα της άμμου κυμαίνονται από 8 (δείγμα Γ13) έως 19% κ.β. (δείγμα Γ14(1)), ενώ οι καλιούχοι άστριοι φτάνουν το 8% κ.β. (δείγμα Γ15), ενώ απουσιάζουν πλήρως σε πολλά δείγματα. Στο κλάσμα της ιλύος τα ποσοστά των πλαγιοκλάστων κυμαίνονται από 12 (δείγμα Γ26) έως 19% κ.β. (δείγματα Γ14(4), Γ23), ενώ τα ποσοστά των καλιούχων αστρίων φτάνουν το 10% κ.β. (δείγμα Γ14(1)) απουσιάζοντας από τα περισσότερα δείγματα. Στο κλάσμα της αργίλου, οι καλιούχοι άστριοι δεν εμφανίζονται σε κανένα δείγμα, ενώ τα πλαγιόκλαστα μετρήθηκαν έως 7% κ.β. (δείγμα Γ14(2)) απουσιάζοντας κι αυτά σε αρκετά δείγματα. Τέλος, στο ολικό δείγμα, τα πλαγιόκλαστα κυμαίνονται μεταξύ 8 (δείγμα Γ13) και 16% κ.β. (δείγμα Γ23) και οι καλιούχοι άστριοι έως 4% κ.β. (δείγματα Γ14(1), Γ15), ενώ απουσιάζουν σε αρκετά δείγματα (Γ13, Γ14(3), Γ16 και Γ23).

Συνολικά οι άστριοι (πλαγιόκλαστα και καλιούχοι) εμφανίζουν παρόμοια τάση με το χαλαζία, που αυξάνεται όσο αυξάνει η κοκκομετρική διαβάθμιση. Ακόμα, παρατηρείται ότι τα πλαγιόκλαστα υπερτερούν των καλιούχων αστρίων, γεγονός που δείχνει ότι η μεταφορά και απόθεση ήταν πολύ σύντομες, ενώ η διαγένεση ήταν στα αρχικά της στάδια, καθώς τα πλαγιόκλαστα είναι οι λιγότερο ανθεκτικοί και σταθεροί άστριοι (Tucker, 2001, Τσιραμπίδης, 1983), αλλά παρόλα αυτά κυριαρχούν. Γενικά, οι άστριοι υδρολύονται έντονα κατά τη διάρκεια της ιζηματογένεσης και μετατρέπονται σε αργιλικά ορυκτά, κυρίως καολινίτη. Επιπλέον, κατά τη διάρκεια της διαγένεσης είναι πιθανό να διαλυθούν και να δώσουν τη θέση τους σε αργιλικά ορυκτά ή/και ασβεσίτη (Tucker, 2001, Boggs, 2009). Τέτοιου τύπου φαινόμενα δεν παρατηρούνται στους αστρίους της περιοχής μελέτης. Τέλος, με βάση την υδρολογική λεκάνη της Θεσσαλονίκης, τα πετρώματα που τροφοδότησαν τη θαλάσσια λεκάνη σε αστρίους είναι κυρίως γνεύσιοι και σχιστόλιθοι.

Το ποσοστό του χλωρίτη ($\pm$ καολινίτη), σε αντίθεση με αυτά του χαλαζία και των αστρίων, αυξάνει στα λεπτομερέστερα κλάσματα. Έτσι, παρατηρείται ότι το ποσοστό του στο κλάσμα της άμμου κυμαίνεται από 3 (δείγματα Γ16, Γ26) έως 8% κ.β. (δείγμα Γ14(2)), στο κλάσμα της ιλύος από 19 (δείγμα Γ14(3)) έως 44% κ.β. (δείγμα Γ13) και στο κλάσμα της αργίλου από 26 (δείγμα Γ26) έως 57% κ.β. (δείγμα Γ15). Συνολικά, στο ολικό δείγμα το ποσοστό του χλωρίτη ($\pm$ καολινίτη) κυμαίνεται από 14 (δείγμα Γ26) έως 31% κ.β. (δείγμα Γ23). Όσον αφορά την προέλευσή του και το σχετικά υψηλό ποσοστό του οφείλονται στο ότι είναι βασικό ορυκτό συστατικό των πρασινοσχιστόλιθων, οι οποίοι αποτελούν το κύριο πέτρωμα του υποβάθρου του Πολεοδομικού Συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης και βρι-

σκοντάι επιφανειακά σε μικρή απόσταση από τη θαλάσσια λεκάνη απόθεσης.

Παρόμοια αύξηση προς τα λεπτομερέστερα κλάσματα, με τα ποσοστά του χλωρίτη, παρουσιάζουν και τα ποσοστά των μαρμαρυγιών (ιλλίτης στο κλάσμα της αργίλου) και αργιλικών ορυκτών. Το ποσοστό των μαρμαρυγιών (κυρίως μοσχοβίτης) στο κλάσμα της άμμου κυμαίνεται μεταξύ 1 (δείγματα Γ13, Γ14(3), Γ14(4)) και 5% κ.β. (δείγματα Γ14(2), Γ26), ενώ στο κλάσμα της ιλύος μεταξύ 2 (δείγμα Γ14(4)) και 13% κ.β. (δείγμα Γ26). Το ποσοστό του ιλλίτη στο αργιλικό κλάσμα μεταβάλλεται από 16 (δείγμα Γ14(4)) έως 36% κ.β. (δείγμα Γ14(3)). Στο ολικό δείγμα το ποσοστιαίο άθροισμά τους κυμαίνεται από 7% (δείγματα Γ13, Γ14(1), Γ14(4), Γ16) έως 13% (δείγμα Γ26). Επιπλέον, υψηλό ποσοστό παρουσιάζει στο λεπτομερές κλάσμα η ενδοστρωματωμένη φάση ιλλίτη / χλωρίτη (I/Ch), με το ποσοστό της να κυμαίνεται μεταξύ 12 (δείγματα Γ14(2) και Γ24) και 45% κ.β. (δείγμα Γ26), ενώ στο ολικό δείγμα κυμαίνεται μεταξύ 2 (δείγμα Γ14(2)) έως 13% κ.β. (δείγμα Γ26).

Η προέλευση των μαρμαρυγιών, αλλά και των αργιλικών ορυκτών ποικίλλει και αυτά μπορεί να προέρχονται από τα πετρώματα της υδρολογικής λεκάνης της Θεσσαλονίκης. Δεν αποκλείεται και η εξαλλοίωση των μαρμαρυγιών σε αργιλικά ορυκτά και ιλλίτη.

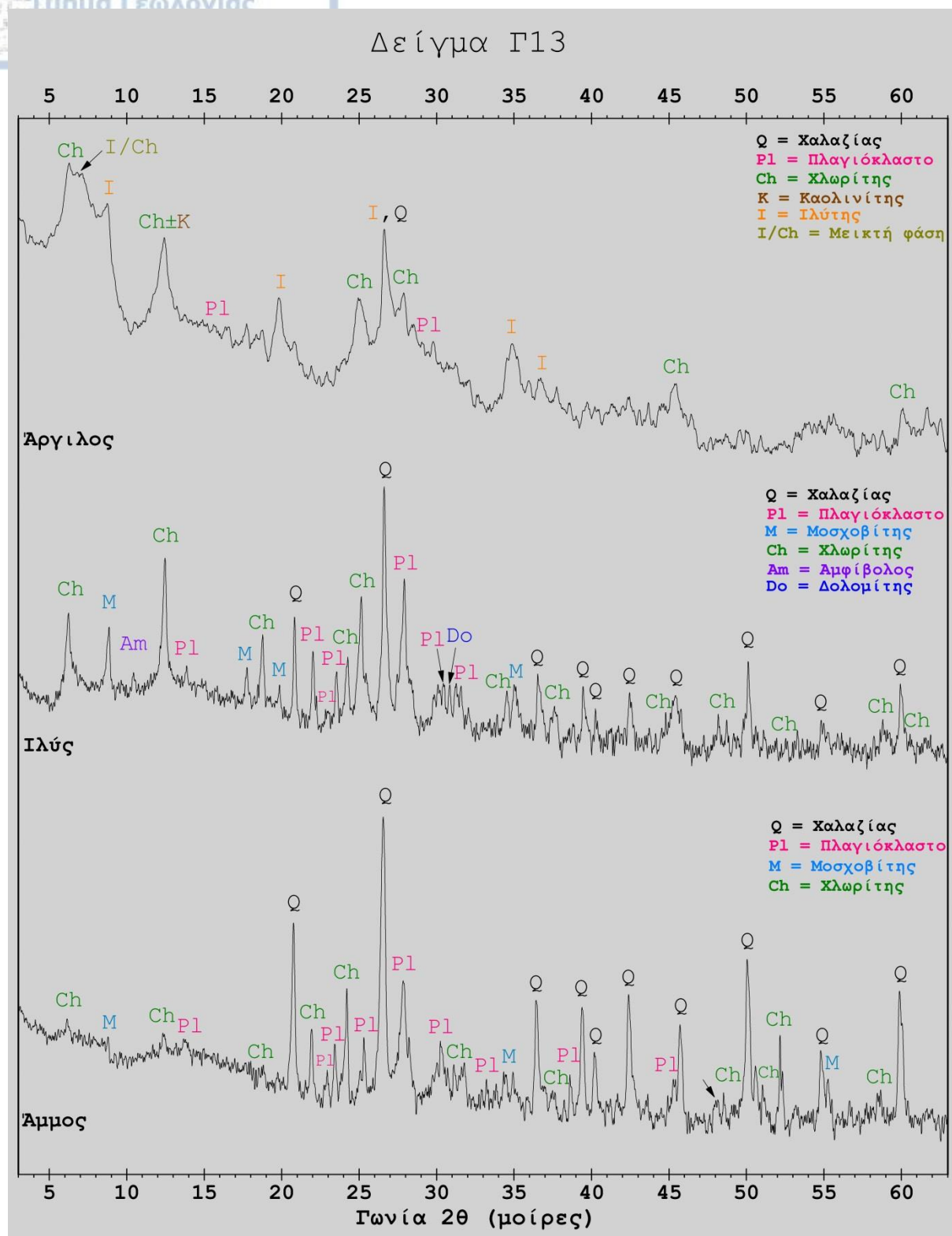
Σε μικρότερα ποσοστά εμφανίζονται ορυκτά όπως οι πυρόξενοι και οι αμφίβολοι, με τα ποσοστά τους στο ολικό δείγμα να φτάνουν το 1% κ.β. (δείγματα Γ14(3), Γ26) και το 4% κ.β. (δείγματα Γ14(1), Γ15), αντίστοιχα. Γενικότερα, παρατηρούνται κυρίως στο κλάσμα της ιλύος. Η πηγή τροφοδοσίας τους θεωρείται ότι είναι τα βασικά και υπερβασικά πετρώματα της υδρολογικής λεκάνης της Θεσσαλονίκης.

Τέλος, τα ανθρακικά ορυκτά, ασβεστίτης και δολομίτης, παρουσιάζουν αντιστοιχώς μικρά ποσοστά με τους πυρόξενους και τους αμφίβολους και εμφανίζονται μόνο στα κλάσματα της άμμου και της ιλύος. Στο ολικό δείγμα τα ποσοστά τους κυμαίνονται μεταξύ 1 και 2% κ.β. Γενικά, οι κλαστικοί κόκκοι ανθρακικής σύστασης παρουσιάζουν χαμηλή περιεκτικότητα στα κλαστικά ιζήματα (Tucker, 2001). Στην συγκεκριμένη περίπτωση, η πηγή τροφοδοσίας τους θεωρείται ότι είναι οι ασβεστόλιθοι και ο ασβεστιτικός φλύσχος της Περιοδοπικής Ζώνης, που εμφανίζονται εντός της υδρολογικής λεκάνης της Θεσσαλονίκης.

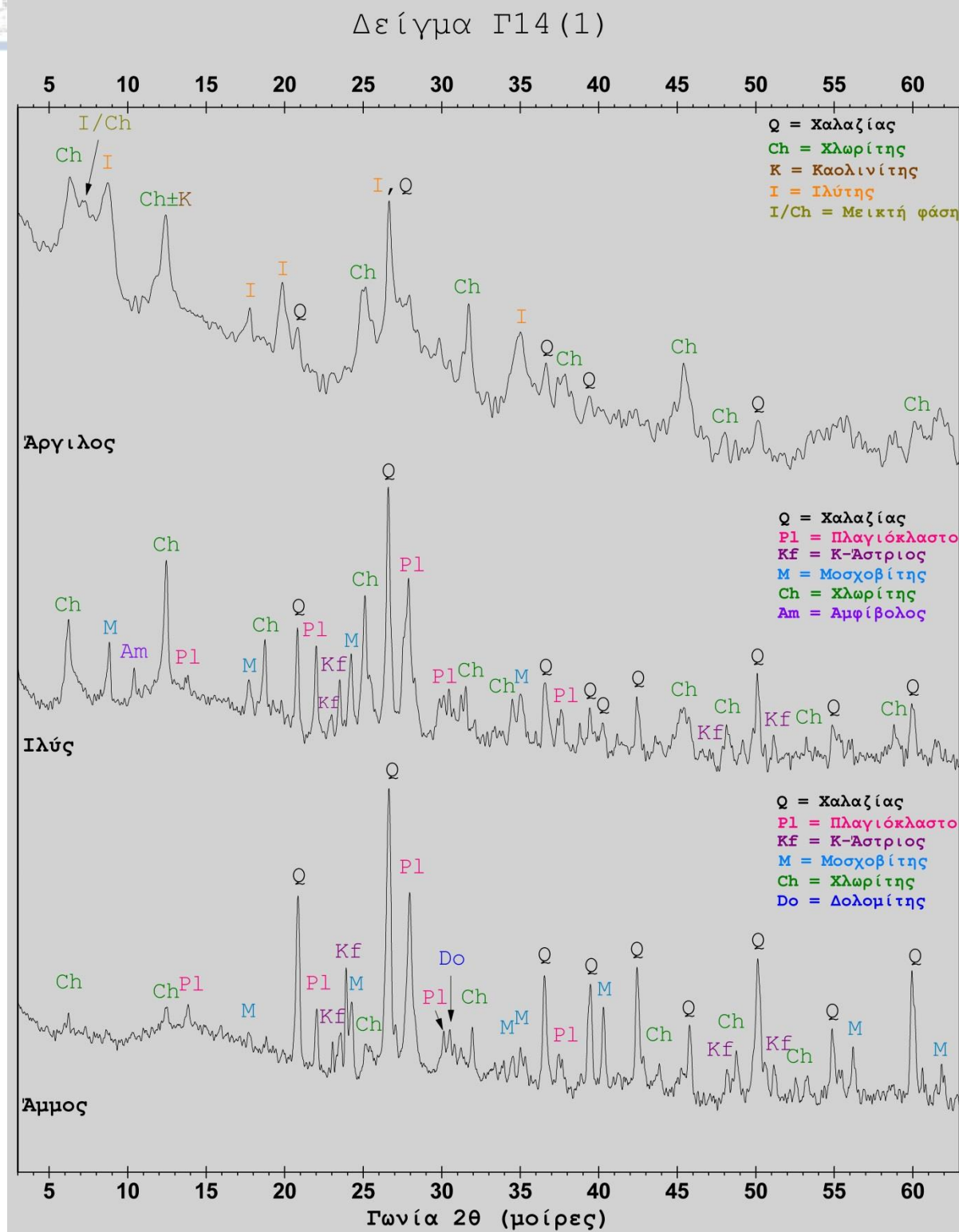
Όπως προκύπτει, όλα τα παραπάνω ορυκτά που βρέθηκαν στα υπό μελέτη ιζηματογενή δείγματα του Εσωτερικού Θερμαϊκού Κόλπου αποτελούν υλικά διάβρωσης των πετρωμάτων της ευρύτερης περιοχής, τα οποία μεταφέρθηκαν και

αποτέθηκαν εκεί, μέσω των ρεμάτων των διαφόρων υδρολογικών λεκανών της περιοχής (βλ. ενότ. 2.4). Έτσι, παρατηρώντας την ορυκτολογική σύσταση των κλαστικών υλικών που μελετήθηκαν μπορεί να θεωρηθεί ότι η προέλευσή τους είναι κυρίως τα πετρώματα του υποβάθρου στα ΒΑ της λεκάνης απορροής του Πολεοδομικού Συγκροτήματος Θεσσαλονίκης. Τα πετρώματα αυτά είναι μέλη της Μαγματικής Σειράς Χορτιάτη (Πρασινοσχιστόλιθοι, Λευκοκρατικοί αλβιτικοί γνεύσιοι και Υπερβασικά πετρώματα). Μικρότερη είναι η συμμετοχή των φυλλιτών και του ασβεστιτικού φλύσχη της Σβούλας της ενότητας Μελισσοχωρίου – Χολομώντα στα ΒΑ της λεκάνης απορροής του Πολεοδομικού Συγκροτήματος Θεσσαλονίκης. Δεν μπορεί να αποκλειστεί η συμμετοχή κλαστικού υλικού που συνδέεται με τις εμφανίσεις πετρωμάτων της υποζώνης της Παιονίας (Φυλλιτικοί σχιστόλιθοι, Κερατόλιθοι, Αμμούχοι αργιλικόι σχιστόλιθοι, Ασβεστόλιθοι και Γάββροι), οι οποίες απαντώνται στην ευρύτερη περιοχή του Ωραιοκάστρου και τα διαβρωμένα υλικά των οποίων εισρέουν στη λεκάνη του Θερμαϊκού Κόλπου μέσω της υδρολογικής λεκάνης του Δενδροποτάμου, καθώς και μέσω της λεκάνης του Πολεοδομικού Συγκροτήματος Θεσσαλονίκης.

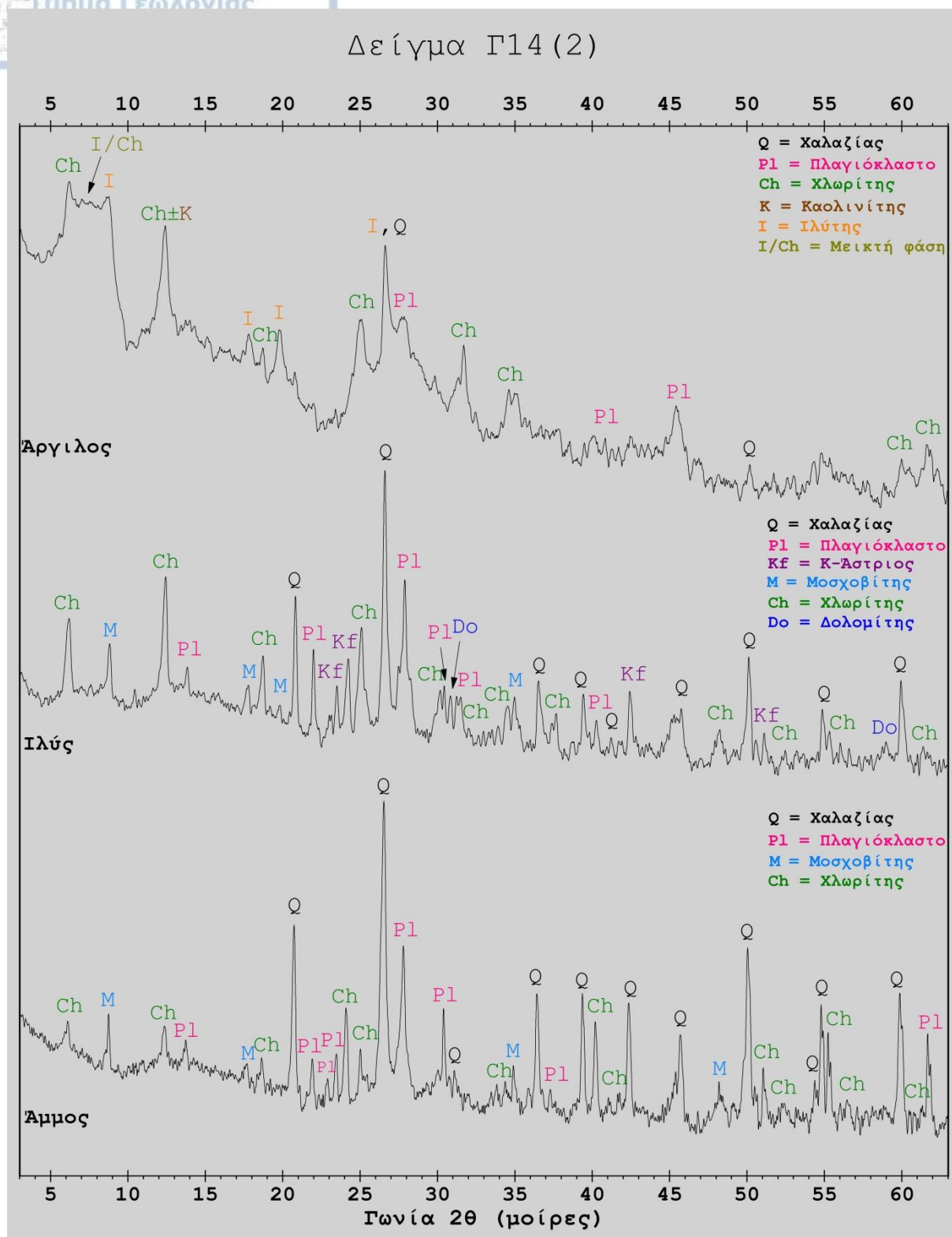
Ολοκληρώνοντας, πρέπει να σημειωθεί ότι η συμμετοχή των ορυκτών στη σύσταση των ιζημάτων, εξαρτάται τόσο από τη μηχανική αντοχή και τη χημική σταθερότητα των ορυκτών κατά τις διαδικασίες διάβρωσης και μεταφοράς τους, όσο και από την απόσταση των μητρικών πετρωμάτων από τη λεκάνη που τελικά αποτέθηκαν. Κατά συνέπεια στην ορυκτολογική σύσταση παρατηρούνται μεγάλα ποσοστά χαλαζία, ο οποίος είναι ένα ορυκτό με υψηλή μηχανική αντοχή και κύριο συστατικό των μεταμορφωμένων πετρωμάτων της περιοχής, αλλά και χλωρίτη, ο οποίος αποτελεί βασικό ορυκτό των πρασινοσχιστόλιθων. Οι πρασινοσχιστόλιθοι είναι το κυρίαρχο πέτρωμα του υποβάθρου στην περιοχή μελέτης και το οποίο εμφανίζεται επιφανειακά σε μικρή σχετικά απόσταση από τη λεκάνη απόθεσης. Η άποψη αυτή ενισχύεται από τα υψηλά ποσοστά σχιστολιθικών και χαλαζιακών κροκαλών (Πίν. 4.2), που εντοπίστηκαν στα κλαστικά υλικά της περιοχής μελέτης.



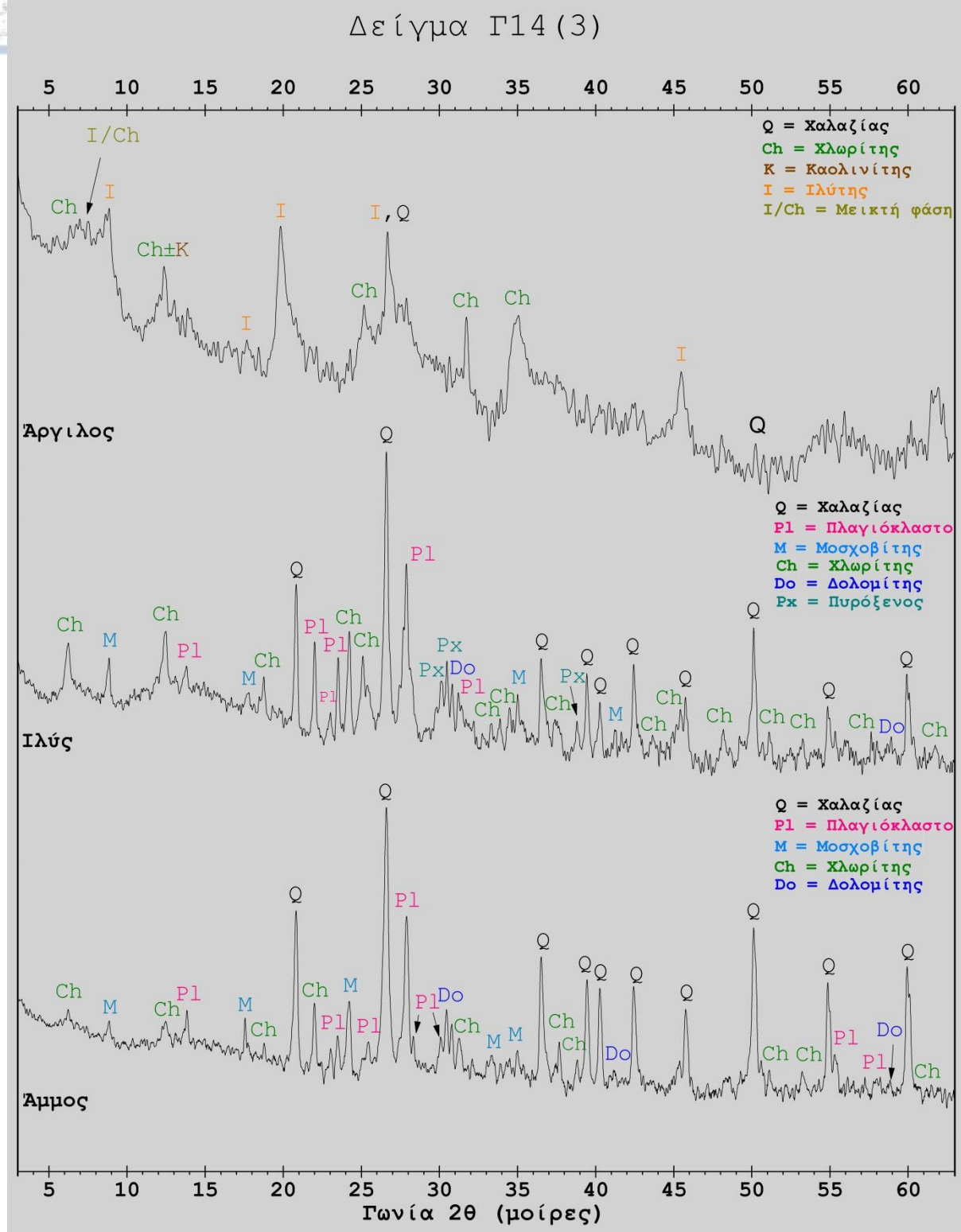
Σχήμα 4.5. Περιθλασιογράμματα των λιθολογικών κλασμάτων του δείγματος Γ13.



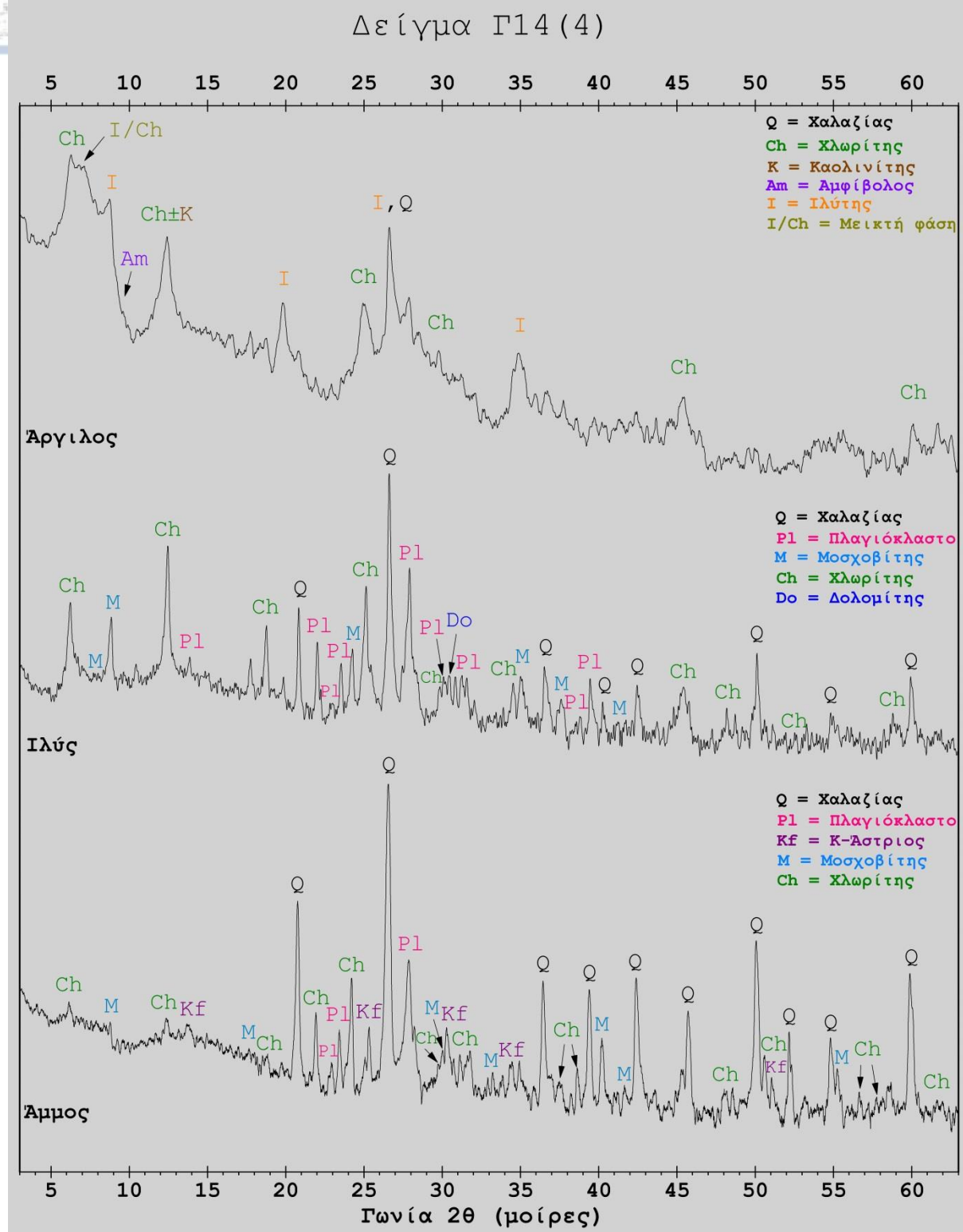
Σχήμα 4.6. Περιθλασιογράμματα των λιθολογικών κλασμάτων του δείγματος Γ14 (1).



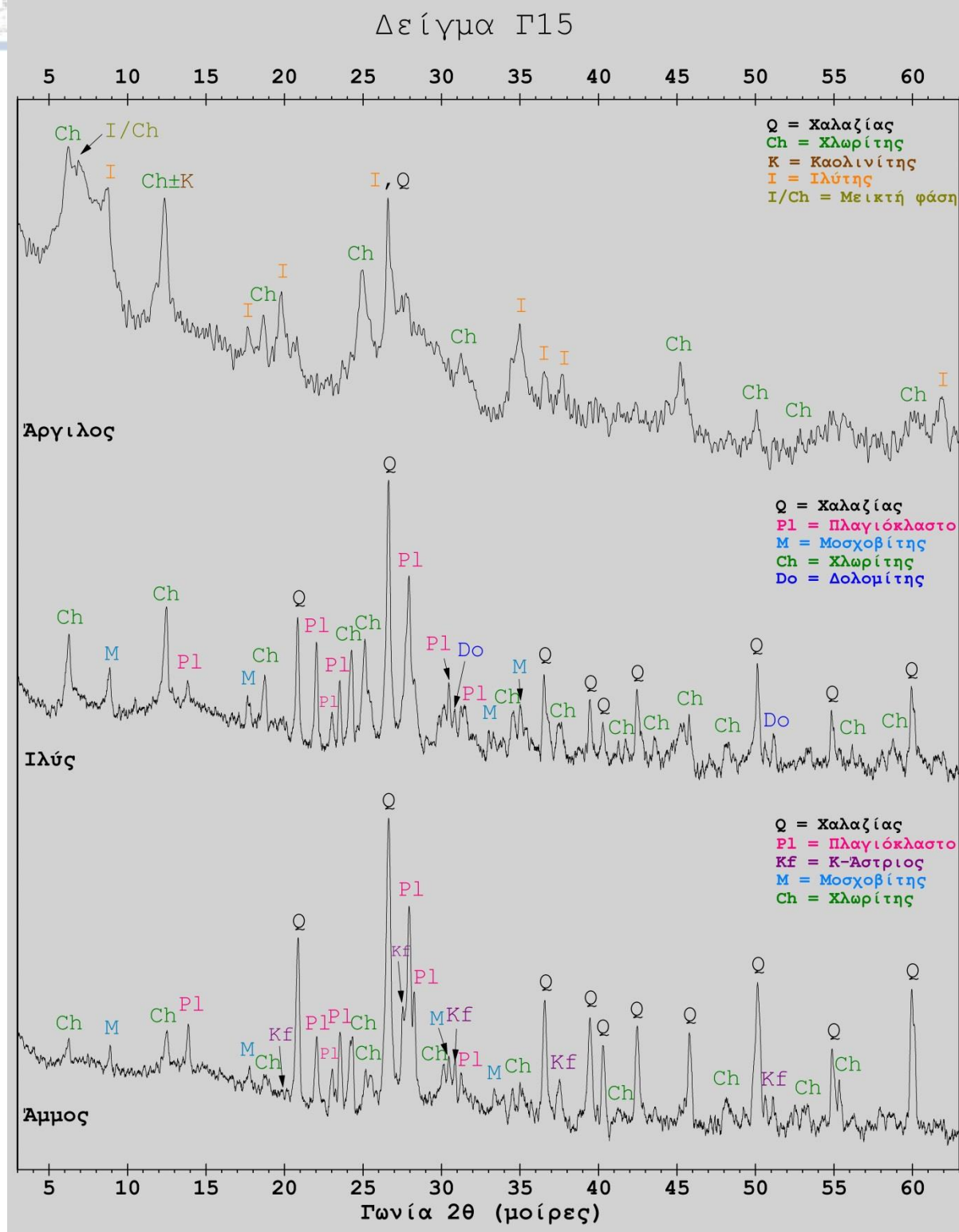
Σχήμα 4.7. Περιθλασιογράμματα των λιθολογικών κλασμάτων του δείγματος Γ14 (2).



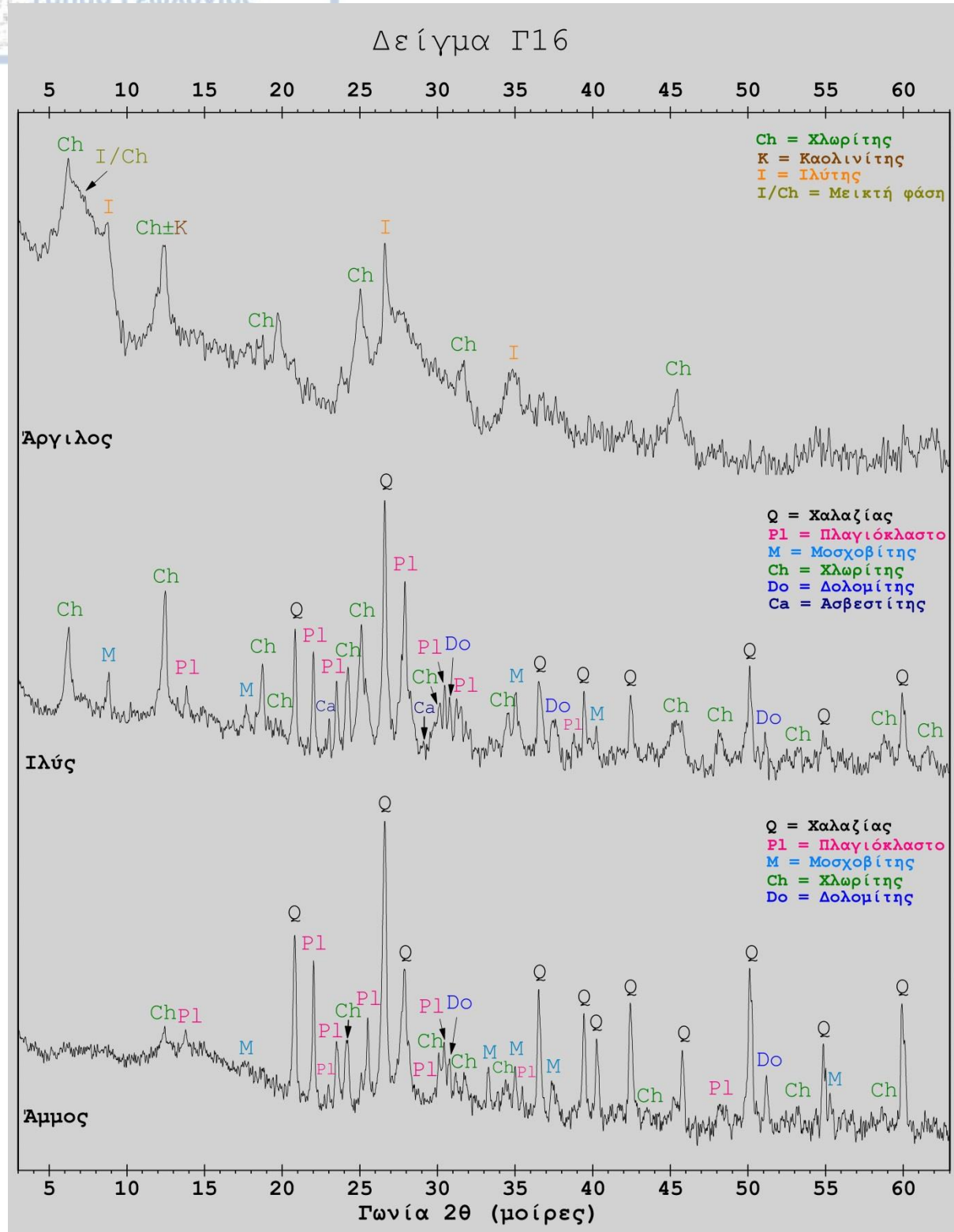
Σχήμα 4.8. Περιθλασιογράμματα των λιθολογικών κλασμάτων του δείγματος Γ14 (3).



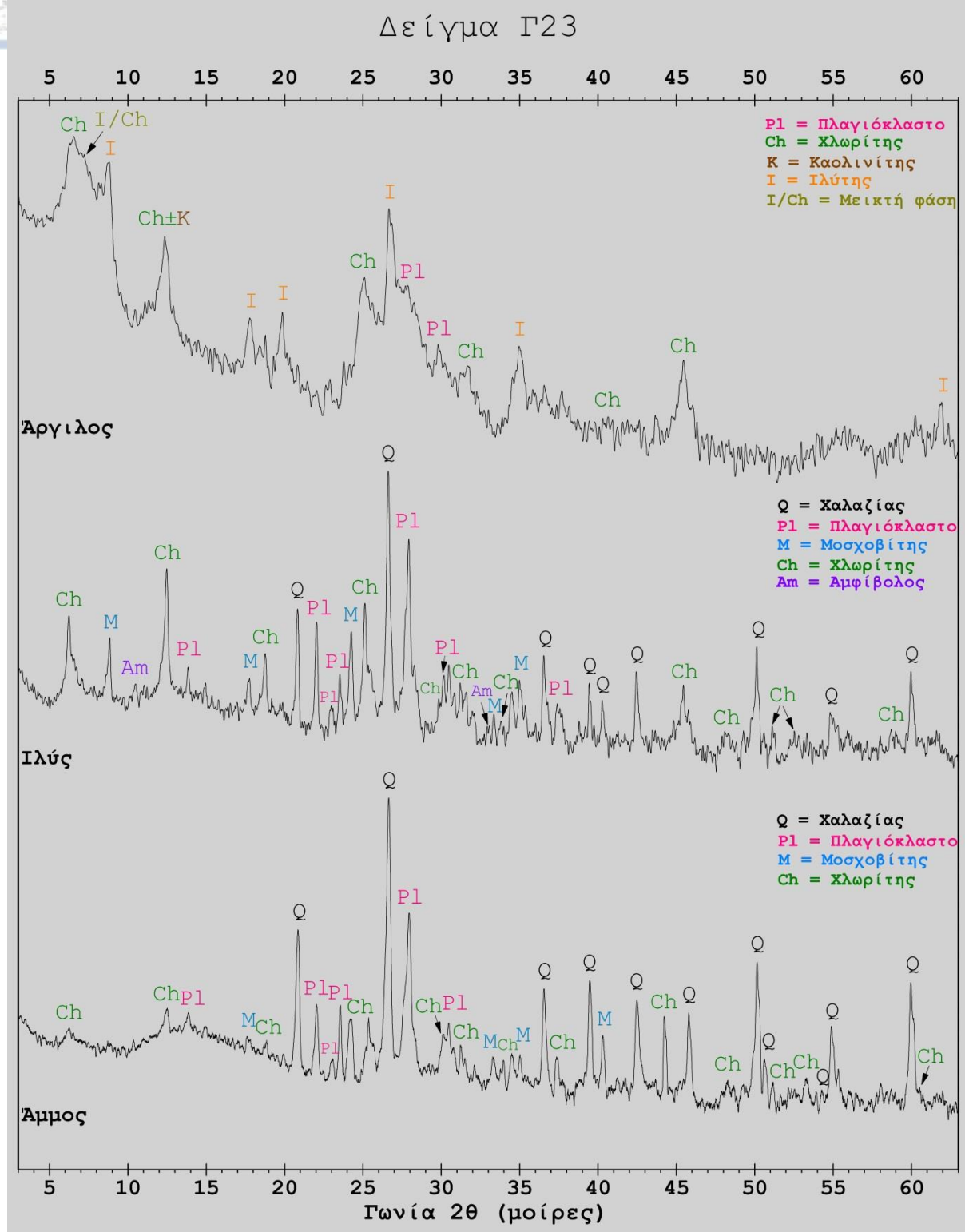
Σχήμα 4.9. Περιθλασιογράμματα των λιθολογικών κλασμάτων του δείγματος Γ14 (4).



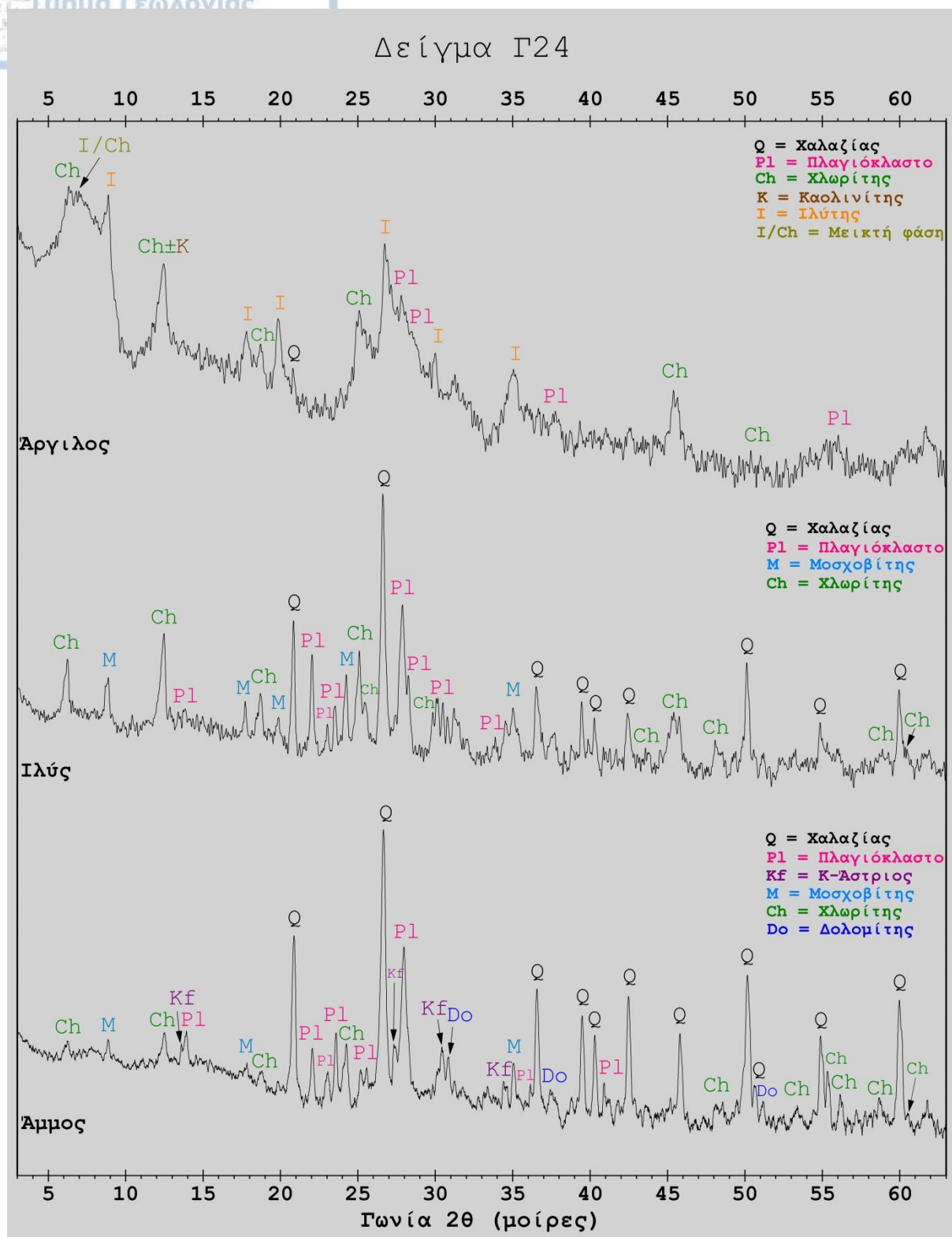
Σχήμα 4.10. Περιθλασιογράμματα των λιθολογικών κλασμάτων του δείγματος Γ15.



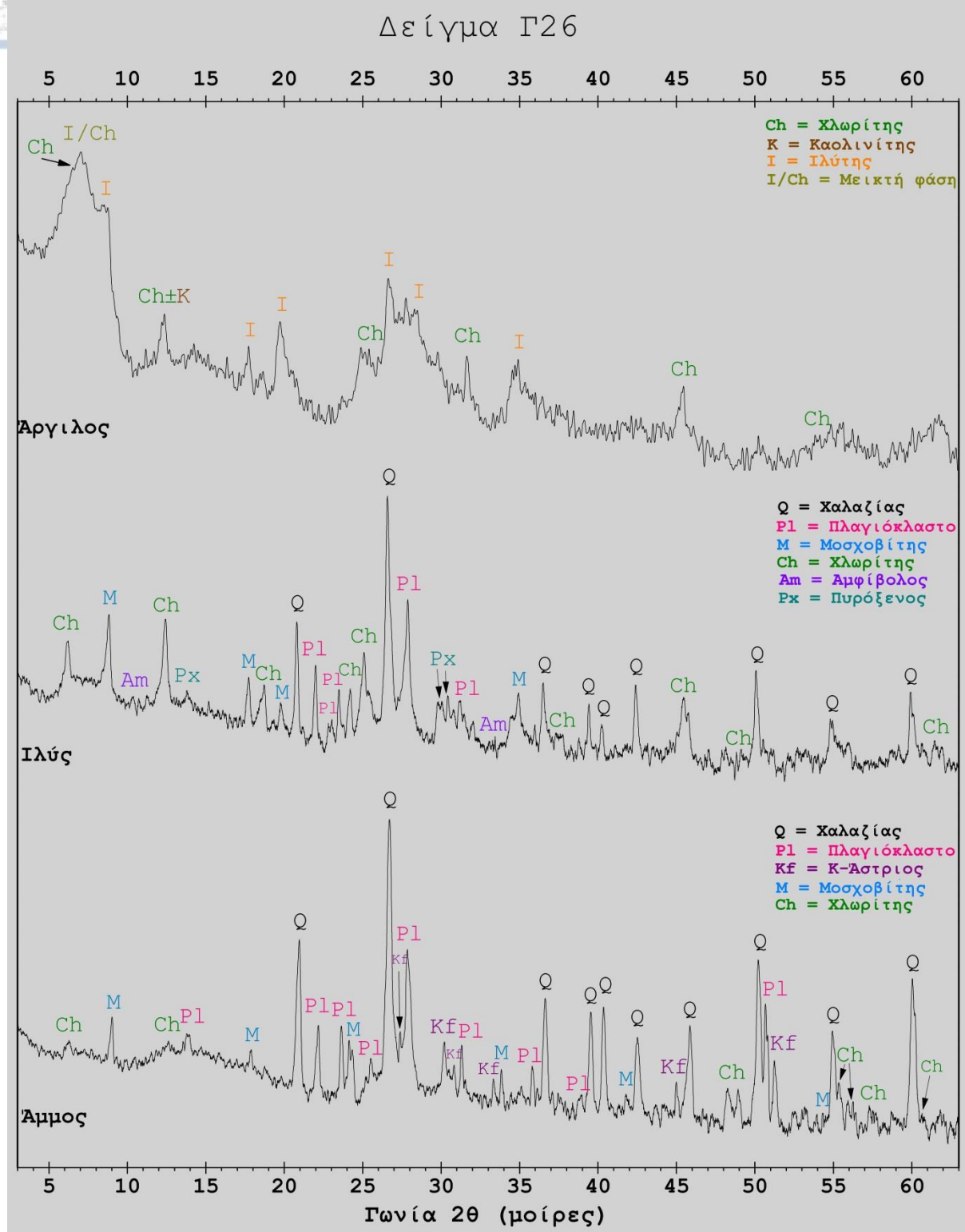
Σχήμα 4.11. Περιθλασιογράμματα των λιθολογικών κλασμάτων του δείγματος Γ16.



Σχήμα 4.12. Περιθλασιογράμματα των λιθολογικών κλασμάτων του δείγματος Γ23.



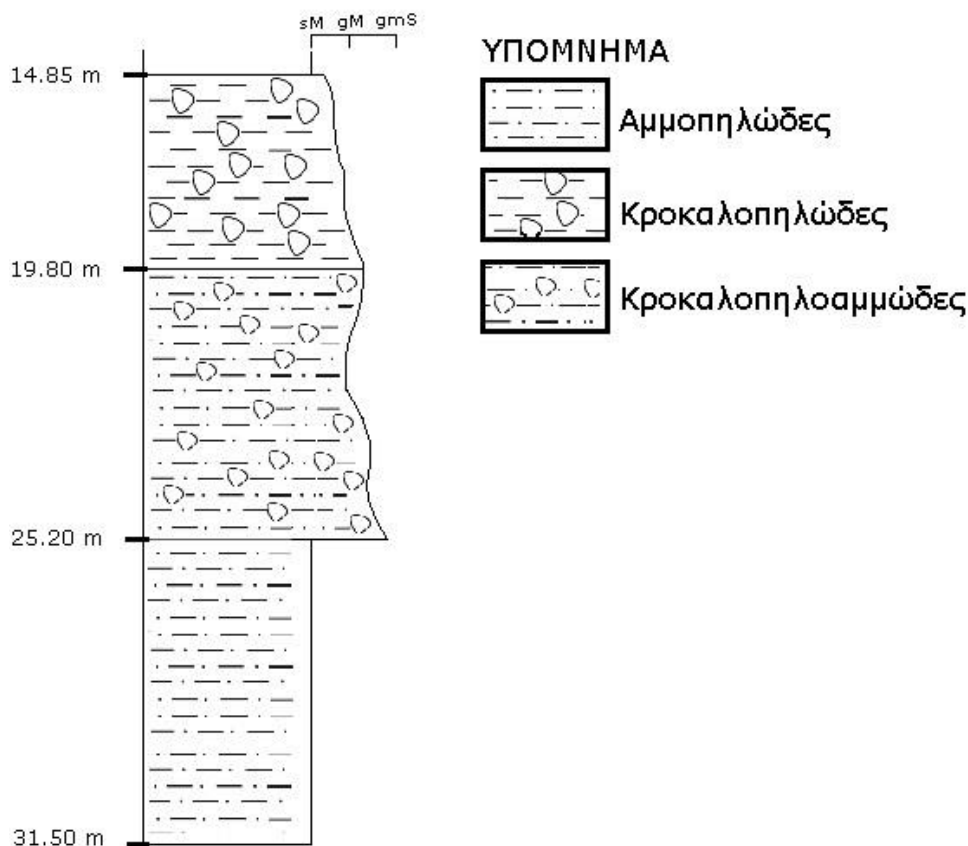
Σχήμα 4.13. Περιθλασιογράμματα των λιθολογικών κλασμάτων του δείγματος Γ24.



Σχήμα 4.14. Περιθλασιογράμματα των λιθολογικών κλασμάτων του δείγματος Γ26.

4.2 Λιθοστρωματογραφικές παρατηρήσεις

Από την κατακόρυφη μελέτη των τεσσάρων (4) δειγμάτων της γεώτρησης Γ14 προέκυψε η λιθοστρωματογραφική στήλη, όπως αυτή αποδίδεται στο Σχήμα 4.15.



Σχήμα 4.15. Λιθοστρωματογραφική στήλη της περιοχής μελέτης, όπως αυτή προέκυψε από την κατακόρυφη μελέτη της ακολουθίας των ιζημάτων της γεώτρησης Γ14.

Με βάση την παραπάνω στήλη, αλλά και τη μελέτη των κροκαλών (Πίν. 4.2), γίνεται καταρχήν αντιληπτό ότι το ποσοστό των κροκαλών μειώνεται σταδιακά με το βάθος. Πιο συγκεκριμένα από 10,6% κ.β (βάθη 14,85-19,8 m) στο ανώτερο στρώμα ελαττώνεται σε 3,6% κ.β. (βάθη 25,20-31,50 m) στο βαθύτερο. Επιπλέον, οι κροκάλες παρουσιάζουν σημαντική αλλαγή στη σύστασή τους, με μείωση του ποσοστού των σχιστολιθικών-γνευσιακών και χαλαζιακών και αντίστροφη αύξηση των ανθρακικών πετρογραφικών τύπων (Πίν. 4.2). Επίσης, η σύσταση των συγκολλητικών υλικών (Πίν. 4.3), αλλάζει παρουσιάζοντας μια αύξηση στα οξείδια και υδροξείδια του Fe, καθώς και μια αντίστροφη μείωση της οργανικής ύλης με το βάθος. Τέλος, από την μακροσκοπική εξέταση των πυρήνων των γεωτρήσεων παρατηρείται μια αλλαγή στο χρώμα των ιζημάτων, τα οποία απο-

κτούν πιο έντονες κοκκινωπές αποχρώσεις στα βαθύτερα δείγματα.

Από τις παραπάνω παρατηρήσεις, προκύπτει ότι στους βαθύτερους οριζόντες πιθανόν συμμετέχουν όγκοι της Τριτογενούς σειράς (κυρίως από τη σειρά ερυθρών αργίλων) με χαρακτηριστικό καστανέρυθρο χρώμα, ασβεστίτικά συγκρίματα και οξειδία-υδροξείδια σιδήρου και αργιλίου. Οι όγκοι αυτοί μεταφέρθηκαν και αποτέθηκαν κάτω από και μέσα στα Τεταρτογενή κλαστικά ιζήματα της περιοχής μελέτης. Κατά το Άνω Μειόκαινο – Κάτω Πλειόκαινο σε ομαλό ανάγλυφο και ήρεμο λιμναίο – λιμνοθαλάσσιο περιβάλλον αποτέθηκαν σταδιακά η ψαμμιτομαργαϊκή σειρά και η σειρά των ερυθρών αργίλων. Στη συνέχεια, μεταξύ Άνω Πλειόκαινου – Πλειστόκαινου, η λεκάνη βυθίστηκε με γοργούς ρυθμούς (Συρίδης, 1990) και η μορφολογία γύρω από αυτή έγινε περισσότερο απότομη μεταβάλλοντας το βασικό επίπεδο. Αυτό οδήγησε στη διάβρωση πρώτα της Τριτογενούς σειράς και στη συνέχεια των πετρωμάτων του υποβάθρου (πρασινοσχιστόλιθοι, γνεύσιοι κτλ.) με αποτέλεσμα η σειρά αυτή να εμφανίζεται σε όγκους μέσα στα Τεταρτογενή ιζήματα, αλλά και κάτω από αυτά. Επιπλέον, όγκοι της σειράς των ερυθρών αργίλων εντοπίστηκαν εντός των Τεταρτογενών ιζημάτων και σε άλλες θέσεις εντός του Πολεοδομικού Συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης κατά τη διάνοση τεχνικών γεωτρήσεων του Μετρό Θεσσαλονίκης (Ζερβοπούλου, 2010).

Η διαπίστωση για την ύπαρξη όγκων ερυθρών αργίλων, εντός των Τεταρτογενών ιζημάτων, ενισχύεται από τις τεχνικογεωλογικές δοκιμές τύπου S.P.T. που διενεργήθηκαν κατά την εκτέλεση του γεωτρητικού προγράμματος της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας. Από αυτές γίνονται αντιληπτά σώματα με μεγάλη στιφρότητα, όμοια με αυτή που παρουσιάζουν οι ερυθρές άργιλοι και τα οποία εμφανίζουν τιμές κρούσεων μεγαλύτερες των 20 κατά τη δοκιμή S.P.T. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι παρόμοια σύσταση με αυτή των δειγμάτων μεγαλύτερου βάθους που μελετήθηκαν, εμφανίζουν τα κλάσματα των ερυθρών αργίλων του Κέδρινου Λόφου (Tsirampides, 2004).



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η λεκάνη του Θερμαϊκού Κόλπου που σχηματίστηκε κατά το Τριτογενές είναι αποτέλεσμα της δράσης εφελκυστικών τάσεων με διεύθυνση ΒΒΔ – ΝΝΑ που επικρατούσαν εκείνη την περίοδο στον ευρύτερο χώρο του Βορείου Αιγαίου. Με το σχηματισμό της δημιουργήθηκε ένα τεκτονικό βύθισμα με μεταβαλλόμενο περιβάλλον χαρακτηριζόμενο από χερσαίες, λιμναίες, λιμνοθαλάσσιες και θαλάσσιες φάσεις. Μεταξύ Πλειόκαινου και Πλειστόκαινου, το υπόβαθρο της λεκάνης βυθίστηκε με σχετικά γοργούς ρυθμούς, δημιουργώντας έτσι τις κατάλληλες συνθήκες για τη μεταφορά και την απόθεση ιζημάτων εντός αυτής.

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία μελετήθηκαν η λιθολογική και ορυκτολογική σύσταση 10 δειγμάτων, τα οποία ελήφθησαν από πυρήνες γεωτρήσεων που εκτελέστηκαν κατά το παρελθόν στην περιοχή του Εσωτερικού Θερμαϊκού Κόλπου. Τα βάθη τους κυμαίνονταν από 14,85 έως 31,50 m.

Τα δείγματα εξετάστηκαν τόσο μακροσκοπικά, όσο και εργαστηριακά με χημικές κατεργασίες κατά Jackson, που οδήγησε στην κοκκομετρική τους ανάλυση και στην εύρεση της σύστασης των συγκολλητικών τους υλικών. Χρησιμοποιώντας τα ποσοστά των λιθολογικών κλασμάτων (κροκάλες, άμμος, ιλύς και άργιλος), τα κλαστικά αυτά ιζήματα ταξινομήθηκαν κατά Folk και Shepard. Από αυτές τις ταξινομήσεις διαπιστώθηκε ότι λιθολογικά, τα κλαστικά υλικά της περιοχής μελέτης έχουν κατά βάση πηλώδη χαρακτήρα. Ακόμα, όσον αφορά τη σύσταση των κροκαλών τους, από την μακροσκοπική μελέτη διαπιστώθηκε ότι είναι κατά σειρά αφθονίας σχιστολιθικές – γνευσιακές, χαλαζιακές, ασβεστολιθικές. Παρατηρήθηκαν και ίχνη μεταλλικών ορυκτών.

Η απόθεση των κλαστικών αυτών υλικών ήταν αποτέλεσμα της μεγάλης παροχής των ποταμών και ρεμάτων της περιοχής μελέτης και της γρήγορης, κατά περιόδους, μεταφοράς και απόθεσης ιζημάτων. Στη διαπίστωση αυτή οδηγούμαστε αν λάβουμε υπόψη ότι τα υλικά παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία στην κοκκομετρική τους σύσταση, περιέχουν πολύ άργιλο και η μορφολογία των κόκκων τους είναι γωνιώδης ως υπογωνιώδης. Έτσι, η σχετικά ταχεία απόθεση, σε παράκτιο περιβάλλον, περιόρισε τις φυσικές και χημικές διεργασίες διάβρωσης και αποσάθρωσης, καθώς και το βαθμό επανεπεξεργασίας των ιζημάτων με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν ιζήματα ιστολογικά ανώριμα έως υποώριμα.

Όσον αφορά την ορυκτολογική σύσταση των Τεταρτογενών κλαστικών υλικών του Εσωτερικού Θερμαϊκού Κόλπου δεν παρουσιάζει τοπική διαφοροποίηση στην κατανομή των διαφόρων ορυκτών στα ολικά δείγματα. Όμως, είναι σημαντική η ποσοτική διαφοροποίηση μεταξύ των ορυκτών στα επιμέρους κλάσματα άμμου, ιλύος και αργίλου. Τα ορυκτά τα οποία αναγνωρίστηκαν από τη μελέτη με χρήση περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ (XRD) είναι αναλυτικά: χαλαζίας, άστριοι (πλαγιόκλαστα και καλιούχοι), χλωρίτης ($\pm$ καολινίτης), μαρμαρυγίες (κυρίως μοσχοβίτης), ιλλίτης, αμφίβολοι, πυρόξενοι, ασβεστίτης και δολομίτης. Τα ορυκτά αυτά αποτελούν υλικά αποσάθρωσης των μητρικών πετρωμάτων της υδρολογικής λεκάνης της ευρύτερης περιοχής του Πολεοδομικού Συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης και μερικώς της λεκάνης του Δενδροποτάμου. Στις λεκάνες αυτές, επικρατούν πυριγενή και μεταμορφωμένα πετρώματα πλούσια σε τέτοιου είδους ορυκτά.

Τέλος, πρέπει να τονιστεί πως κατά τη λιθοστρωματογραφική μελέτη παρατηρήθηκαν όγκοι της σειράς ερυθρών αργίλων με χαρακτηριστικό καστανέρυθρο χρώμα, ασβεστιτικά συγκρίματα και οξειδία μετάλλων εντός της σειράς των Τεταρτογενών ιζημάτων. Οι όγκοι αυτοί ξεχωρίζουν από τα Τεταρτογενή ιζήματα κυρίως λόγω της σύστασης των κροκαλών και των συγκολλητικών υλικών, της στιφρότητας και του χρώματός τους.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν λιθολογικά και ορυκτολογικά 10 δείγματα από πυρήνες γεωτρήσεων του Εσωτερικού Θερμαϊκού Κόλπου. Τα δείγματα εξετάστηκαν μακροσκοπικά, διαχωρίστηκαν οι κροκάλες και μελετήθηκε η σύσταση και η μορφολογία τους. Υποβλήθηκαν σε χημικές κατεργασίες κατά Jackson, μελετήθηκαν τα συγκολλητικά υλικά και ακολούθως κλασματοποιήθηκαν σε κοκκομετρικά κλάσματα. Τα διάφορα κλάσματα μελετήθηκαν με χρήση περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ (XRD) για την εύρεση της ορυκτολογικής τους σύστασης. Διαπιστώθηκε ότι τα κλαστικά υλικά της περιοχής μελέτης έχουν πηλώδη χαρακτήρα και φέρουν κατά σειρά αφθονίας σχιστολιθικές – γνευσιακές, χαλαζιακές, ασβεστολιθικές κροκάλες. Η ορυκτολογική σύσταση των Τεταρτογενών κλαστικών υλικών του Εσωτερικού Θερμαϊκού Κόλπου παρουσιάζει ομοιογένεια ως προς την τοπική κατανομή των διαφόρων ορυκτών στα ολικά δείγματα, αλλά σημαντική ποσοτική διαφοροποίηση μεταξύ των ορυκτών στα επιμέρους κλάσματα άμμου, ιλύος και αργίλου. Τα ορυκτά που αναγνωρίστηκαν είναι: χαλαζίας, άστριοι (πλαγιόκλαστα και καλιούχοι), χλωρίτης ($\pm$ καολινίτης), μαρμαρυγίες (κυρίως μοσχοβίτης), ιλλίτης (στο αργιλικό κλάσμα), αμφίβολοι, πυρόξενοι, ασβεστίτης και δολομίτης. Η σύσταση των ιζημάτων οφείλεται κυρίως στην αποσάθρωση των μητρικών πετρωμάτων της υδρολογικής λεκάνης της Θεσσαλονίκης, όπου επικρατούν πυριγενή και μεταμορφωμένα πετρώματα πλούσια σε αυτά τα ορυκτά. Η απόθεση των κλαστικών υλικών της περιοχής μελέτης, πραγματοποιήθηκε σε παράκτιο θαλάσσιο περιβάλλον με ταχεία μεταφορά και απόθεση των υλικών από τους ποταμούς και τα ρέματα μεγάλης παροχής κυρίως της υδρολογικής λεκάνης της Θεσσαλονίκης και μερικώς του Δενδροποτάμου. Εντός των Τεταρτογενών κλαστικών υλικών του Εσωτερικού Θερμαϊκού Κόλπου συναντώνται επίσης όγκοι της Τριτογενούς σειράς (κυρίως της σειράς των ερυθρών αργίλων).

SUMMARY

Study of the Quaternary clastic materials of the Internal Thermaikos Gulf, Thessaloniki (Greece).

Livas G. Agis, Geologist

The basin of Thermaikos Gulf is located near the city of Thessaloniki, in northern Greece. It was formed at the Tertiary, as a result of the action of tensile stresses at the direction of NNW-SSE. With this formation, a tectonic draft with a changing depository environment was created. Between Pliocene and Pleistocene, the bottom of the basin was submerged relatively rapid and the morphology of the area was altered greatly. Thus, the appropriate conditions were created for sediments transportation and deposition within this. In the present study ten (10) samples of borehole cores from the Internal Thermaikos Gulf were studied according to their lithological and mineralogical characteristics. The samples were examined macroscopically and sieved in ≥ 2 and < 2 mm subsamples. In the ≥ 2 mm subsamples the pebbles were separated under stereoscope and their textural and morphological characteristics were studied. In the < 2 mm subsamples the cement materials were measured according to Jackson techniques and afterwards their sand, silt and clay fractions were separated. The mineralogical composition of these fractions was studied using X-ray diffraction. It was found that the clastic materials of the studied area show muddy characteristics. They contain pebbles of schist-gneiss, quartz and limestone origin. The mineralogical composition of the Quaternary clastic materials of the Internal Thermaikos Gulf show almost the same horizontal and vertical distribution concerning whole sample, but significant variation between sand, silt and clay fractions. Quartz, feldspars (plagioclase and K-rich), chlorite ($\pm$ kaolinite), illite (in the clay fraction), amphiboles, pyroxenes, calcite and dolomite were identified. The composition of studied sediments is mainly due to the weathering of bedrocks of the broader hydrological basin of Thessaloniki, where igneous and metamorphic rocks rich in these minerals were dominate. The deposition of the studied clastic materials took place in coastal marine environment with rapid transportation and deposition of these materials from rivers and large streams that leaked mainly through the hydrological basin of Thessaloniki and partially that of Dendropotamos. Within the studied Quaternary clastic materials of the Internal Thermaikos Gulf boulders of the Tertiary series (mainly from the Red beds) were also found.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**Ελληνική**

- Αλμπανάκης Κ., Στύλλας Μ., Βουβαλίδης Κ. και Συρίδης Γ., 2005. Γεωμορφολογικές μεταβολές στην περιοχή του Θερμαϊκού Κόλπου σαν αποτέλεσμα της Ολοκαινικής ανόδου της στάθμης της θάλασσας. Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, 38, 77-85.
- Αποστολίδης Π. Ι., 2002. Προσδιορισμός της εδαφικής δομής με τη χρήση μικρο-θορύβου. Εφαρμογή στην εκτίμηση των δυναμικών ιδιοτήτων και της γεωμετρίας των εδαφικών σχηματισμών στη Θεσσαλονίκη. Διδακτορική Διατριβή, Πολυτεχνική Σχολή Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, 305 σ.
- Ζερβοπούλου Α., 2010. Νεοτεκτονικά ρήγματα της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης σε σχέση με τα εδάφη Θεμελίωσης. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, 300 σ.
- Kockel F., Αντωνιάδης Π., Ιωαννίδης Κ. 1978. Γεωλογικός Χάρτης Ελλάδος, Φύλλο Θεσσαλονίκη, Κλίμακα 1:50.000. Ι.Γ.Μ.Ε.
- Μουντράκης Δ. Μ., 1985. Γεωλογία της Ελλάδας. University Studio Press, Θεσσαλονίκη, 373 σ.
- Σαπουντζής Η., 1969. Πετρογραφία και γεωλογική τοποθέτησις των πράσινων γνευσίων της Θεσσαλονίκης. Διδακτορική Διατριβή, Επιστημονική Επετηρίδα Φυσικομαθηματικής Σχολής Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, 182 σ.
- Στύλλας Μ., 2009. Η εξέλιξη των δελταϊκών ιζηματογενών αποθέσεων του ποταμού Αλιάκμονα στο Θερμαϊκό Κόλπο από φυσικούς και ανθρωπογενείς παράγοντες κατά το Ολιγόκαινο. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, 213 σ.
- Συρίδης Γ., 1990. Λιθοστρωματογραφική, βιοστρωματογραφική και παλαιογεωγραφική μελέτη των Νεογενών και Τεταρτογενών σχηματισμών της Χερσονήσου της Χαλκιδικής. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, 243 σ.
- Ταμιωλάκης Ι. Γ. 2005. Ιστορία της Αποχέτευσης της Θεσσαλονίκης. Έκδοση Ε.Υ.Α.Θ..
- Τσιραμπίδης Α., 1983. Κοκκομετρική, Ορυκτολογική και οξυγονοϊσοτοπική μελέτη νεογενών ιζημάτων από πυρήνες πυρήνες γεωτρήσεων στο δέλτα του Νέστου. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη 187 σ.

Τσιραμπίδης Α. και Καντηράνης Ν., 1998. Σύσταση και προέλευση των σύγχρονων ποτάμιων αποθέσεων του Έβρου (Θράκη). Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, 32(2), 329-337.

Τσιραμπίδης Α., 2008. Ιζηματογενή Πετρώματα. Εκδόσεις Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη, 317 σ.

Τσομπάνογλου Κ., 2011. Ορυκτολογική και γεωχημική μελέτη της αιωρούμενης σωματιδιακής ύλης και των ιζημάτων του πυθμένα στο Βόρειο τμήμα του Θερμαϊκού Κόλπου, Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, 199 σ.

Χεκίμογλου Ε., 2001. Τα μυστήρια της Θεσσαλονίκης. University Studio Press, Θεσσαλονίκη, 273 σ.

Χρόνης Γ.Θ., 1986. Η σύγχρονη δυναμική και η πρόσφατη Ολοκαινική ιζηματογένεση στο εσωτ. Πλατώ του Θερμαϊκού Κόλπου. Διδακτορική Διατριβή, Ε.Κ.Π.Α., Αθήνα, 227 σ.

Ψιλοβίκος Α., 1977. Παλαιογεωγραφική εξέλιξη της λεκάνης και της λίμνης της Μυγδονίας (Λαγκαδά – Βόλβης). Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, 156 σ.

Διεθνής

Anastasiadis An., Raptakis D., Pitilakis K., 2001. Thessaloniki's Detailed Micro-zoning: Subsurface Structure as Basis for Site Response Analysis. Pure and Applied Geophysics, 158, 2597-2633.

Boggs S. Jr., 2006. Principles of Sedimentology and Stratigraphy. Pearson Education, Fourth Edition, New Jersey, p. 21-48.

Boggs S. Jr., 2009. Petrology of Sedimentary Rocks, Second Edition. University of Oregon, 600 p.

Folk, R.L., Andrews, P.B. and Lewis, D.W., 1970. Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in N. Zealand. New Zealand Journal of Geology and Geophysics, 13, 937-968.

Hyder P., Simpson J. H., Christopoulos S. and Krestenitis Y., 2002. The seasonal cycles of stratification and circulation in the Thermaikos Gulf Region of Freshwater Influence (ROFI), north-west Aegean. Continental Shelf Research, 22(17), 63-92.

- Kapsimalis V., Poulos S. E., Karageorgis A. P., Pavlakis P. and Collins M., 2005. Recent evolution of a Mediterranean deltaic coastal zone: human impacts on the Inner Thermaikos Gulf, NW Aegean Sea. *Journal of the Geological Society*, 162(6), 897-908.
- Kontoyiannis H., Kourafalou V. H. and Papadopoulos V., 2003. Seasonal characteristics of the hydrology and circulation in the northwest Aegean Sea (eastern Mediterranean): Observations and modeling. *Journal of Geophysical Research*, 108(C9), 3302.
- Mercier J. 1966. Carte Géologique de la Macédoine Centrale 1958-1965, Κλίμακα 1:100.000.
- Morad S., 1998. Carbonate cementation in sandstones: distribution patterns and geochemical evolution. In: *Carbonate Cementation in Sandstones* (Morad S., ed.), Special publication 26, International Association of Sedimentology, Blackwell Science, Oxford, pp. 1-26.
- Mountrakis D., Sapountzis E., Kiliass A., Eleftheriadis G., Christofides G., 1983. Paleogeographic conditions in the western Pelagonian margin in Greece during the initial rifting of the continental area. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 20, 1673-1681.
- NEDECO – Netherlands Engineering Consultants, The Hague, Netherlands, 1970. Regional development project of the Salonika (Thessaloniki) plain. Land Reclamation Service (YEB) of the Ministry of Agriculture, Athens.
- Nimfopoulos M. K., Hadjisyrrou S., Polya D., Michailidis K. and Trontsios G., 2002. Geochemical conditions and environmental pollution from hydrothermal waters of the Anthemous basin, Thessaloniki, Greece. *Proc. 6th Congress Geographical Society of Greece, Thessaloniki*, 430-436.
- Schlee J., 1973. Atlantic continental shelf and slope of the United States - sediment texture of the northeastern part: U.S. Geological Survey Professional Paper 529-L, 64 p.
- Shepard F.P., 1954. Nomenclature based on Sand-Silt-Clay ratios. *Journal of Sedimentary Petrology*, 24(3), 151-158.
- Taner C.B. & Jackson M.L. 1947. Nomographs of sedimentation times for soil particles under gravity or centrifugal acceleration, *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 12, 60-65.
- Tissot B. and Welte D., 1984. *Petroleum Formation and Occurrence*. Springer – Verlag, Berlin, 699 p.

Tsirambides A., 2004. Genesis and physical characteristics of the Neogene red beds from the Cedar Hills of Thessaloniki, Macedonia, Greece. Bulletin of the Geol. Soc. of Greece, 36, 708-716.

Tucker M., 2001. Sedimentary petrology, 3rd Edition, Blackwell Science Ltd, 262 p.