



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ, ΙΣΤΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ
ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΧΡΗΣΤΟΣ ΧΑΤΖΟΠΟΥΛΟΣ

ΙΖΗΜΑΤΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ ΤΟΥ
ΚΑΤΩΤΕΡΟΥ ΠΛΕΙΟΚΑΙΝΟΥ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΩΝ ΣΕΡΡΩΝ ΣΤΗΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΤΟΧΙ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2024





ΧΡΗΣΤΟΣ ΧΑΤΖΟΠΟΥΛΟΣ
Φοιτητής Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5821

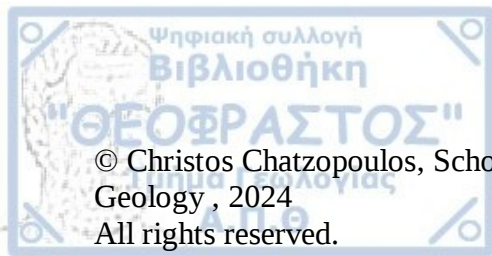
ΙΖΗΜΑΤΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ ΤΟΥ ΚΑΤΩΤΕΡΟΥ
ΠΛΕΙΟΚΑΙΝΟΥ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΩΝ ΣΕΡΡΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΤΟΧΙ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέα Τεκτονικής, Ιστορικής και Εφαρμοσμένης
Γεωλογίας

Επιβλέπων

Άγγελος Γ. Μαραβέλης, Αναπληρωτής Καθηγητής

© Χρήστος Χατζόπουλος Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Τεκτονικής, Ιστορικής και
Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, 2024
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.
– Διπλωματική Εργασία



© Christos Chatzopoulos, School of Geology, Dept. of Tectonic, Historical and Applied Geology, 2024
All rights reserved.

SEDIMENTOLOGICAL ANALYSIS OF THE LOWER PLEIOCENE DEPOSITS IN SERRES BASIN (METOCHI REGION) – *Bachelor Thesis*

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 απευθύνονται 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.



Περιεχόμενα

1.ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	6
1.ABSTRACT	7
2.ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
3.ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ	9
4.ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	13
5.ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΕΙΣ ΦΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΣΧΕΤΙΣΜΟΣ ΦΑΣΕΩΝ	14
5.α Δελταϊκές αποθέσεις.....	16
Περιγραφή:	16
Ερμηνεία απόθεσης:	19
6.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	20
Βιβλιογραφία.....	21

Εκτεταμένη μελέτη πάνω στην ιζηματολογία έλαβε χώρα στον σχηματισμό των ψαμμιτών του Γεωργίου, στην περιοχή του Μετοχίου της λεκάνης Σερρών. Συγκεκριμένα, με την μέθοδο της φασικής ανάλυσης αποδείχθηκε ότι πρόκειται για ένα μεταβατικό περιβάλλον ιζηματογένεσης, πιθανότερα μιας δελταϊκής πλατφόρμας. Η έρευνα έδειξε ότι κυριαρχούν επτά είδη ιζηματογενών φάσεων, οι οποίες συγκροτούν έναν συσχετισμό φάσεων, δηλαδή το μεταβατικό περιβάλλον ιζηματογένεσης. Πρόκειται για ένα αρκετά ενεργό και δυναμικό σύστημα, καθώς φαίνεται ότι επηρεάζεται από την παλιρροϊκή δράση μέσα από συγκεκριμένες δομές που παρατηρούνται στο ύπαιθρο. Η απόδειξη ότι επηρεάζεται το σύστημα από παλίρροιες φαίνεται μέσα στους ψαμμίτες που είναι πλούσιοι σε άμμο, περιέχουν αργιλικές δομές που ανάλογα το σχήμα και την κλίση τους δείχνουν την διεύθυνση της μετατόπιση των θινών. Η λεκάνη των Σερρών ηλικιακά θεωρείται ως νέα, καθώς αποτελείται από Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα, ενώ παλαιότερα δεν υπήρξε ιζηματογένεση.

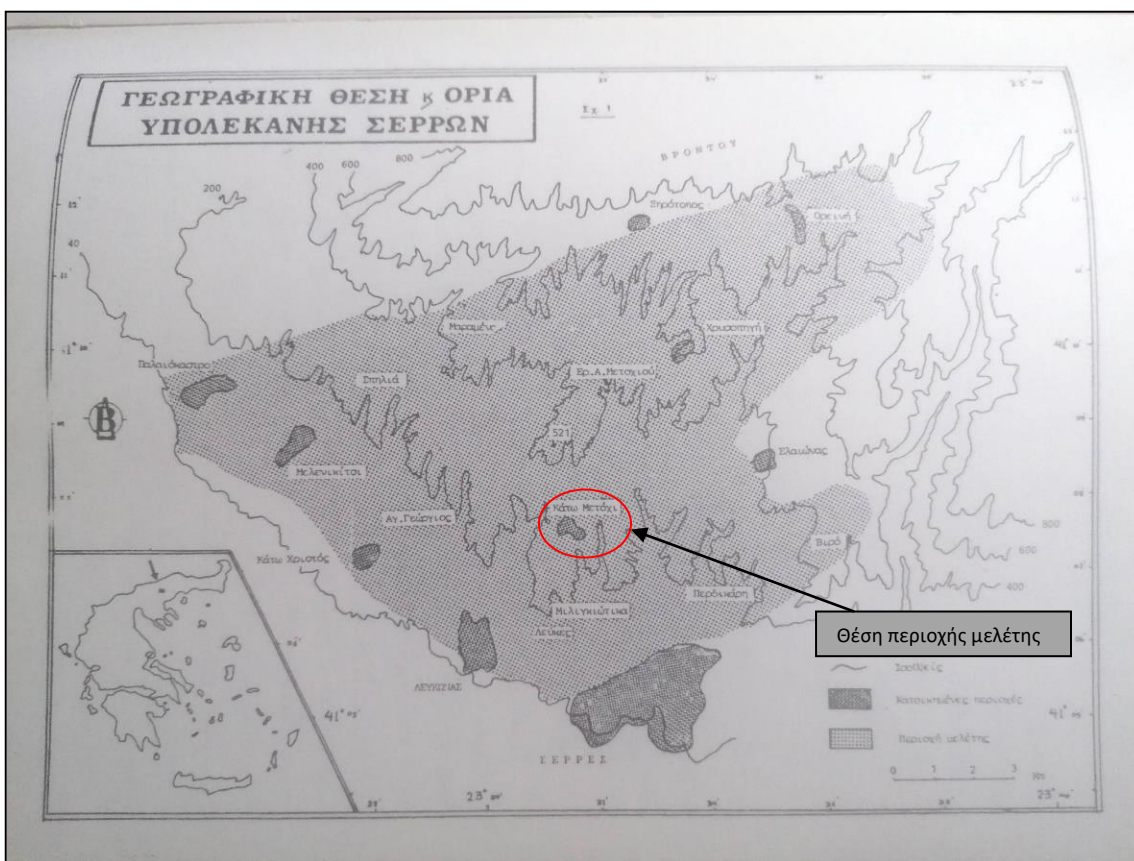


1.ABSTRACT

A detailed study took place upon the sedimentology of the Georgios sandstone formation, in the region Metochi of the Serres basin. Specifically, using the method of facies analysis it was proved that the formation used to be marginal marine deposit environment, probably a delta plain. The study showed that there are six facies combined into one facies association, which is the marginal marine deposit environment. It has to do with an active and dynamic flow system, based on the tidal influence that is indicated through observation of specific structures in the field. The proof that the system is tidally influenced comes up from the sandstones, rich in sand, that contain mud structures with specific architecture and dip that interpret the migration of the sand dunes. The Serres basin is recently created because the sediments it contains were created and deposited in the Neogene and Quaternary, therefore sedimentation never existed before.

2.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η περιοχή της μελέτης οριοθετείται εντός της λεκάνης των Σερρών στην περιοχή του Μετοχίου, χωριό το οποίο βρίσκεται ΒΔ της πόλης των Σερρών (Εικόνα 1). Γενικότερα έχουν γίνει αρκετές έρευνες στην ευρύτερη περιοχή λόγω της παρουσίας λιγνιτών σε θέσεις ΒΔ της πόλης, ωστόσο ιζηματολογικές μελέτες και συγκεκριμένα φασικές αναλύσεις δεν έχουν πραγματοποιηθεί στο ύπαιθρο.



Εικόνα 1: Γεωγραφική θέση της λεκάνης των Σερρών και θέση της περιοχής μελέτης (Καρυστιναίος, 1984)

Έτσι, η παρούσα φασική ανάλυση έγινε με γνώμονα τις επί τόπου (in situ) παρατηρήσεις και γνώσεις πάνω στα αποθετικά περιβάλλοντα ιζηματογένεσης. Το έργο της φασικής ανάλυσης αποσκοπεί στην κατάληξη συμπερασμάτων σχετικά με το αποθετικό περιβάλλον, το οποίο εκπροσωπείται από τους εκάστοτε γεωλογικούς σχηματισμούς. Αυτό γίνεται μέσα από την λεπτομερή περιγραφή και ερμηνεία των δομών που παρατηρούνται μέσα στα ιζηματογενή πετρώματα (των επιφανειακών εμφανίσεων), τα λιθολογικά χαρακτηριστικά, αλλά και από τα απολιθώματα τα οποία εμπεριέχονται μέσα σε αυτά. Έτσι, στην ιζηματολογία με τον όρο φάση ορίζεται το σύνολο των πρωτογενών χαρακτηριστικών μιας ιζηματογενούς απόθεσης, η οποία σχηματίζεται κάτω από συγκεκριμένες φυσικές, χημικές και βιολογικές συνθήκες, μέσα

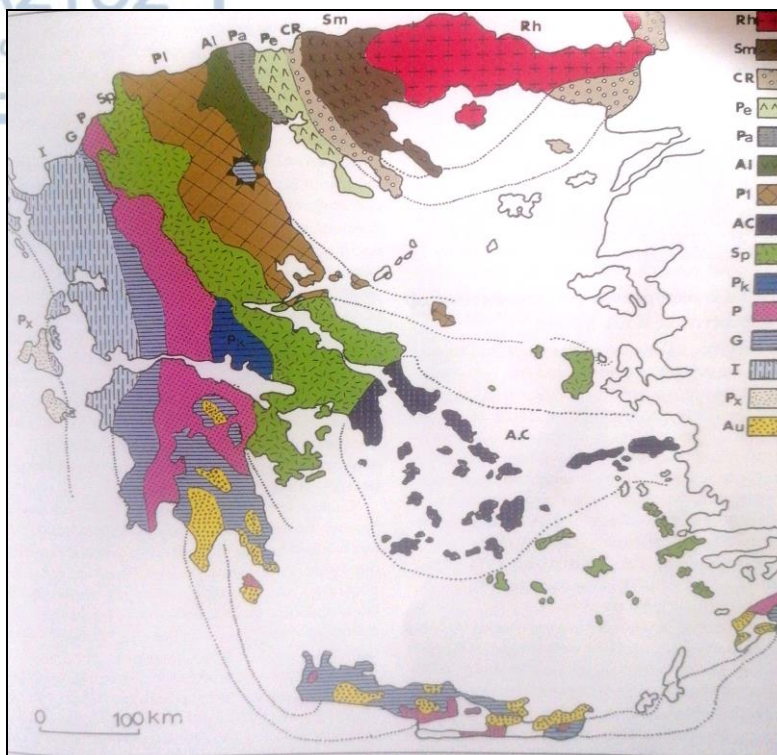
σε ένα περιορισμένο στον χώρο αποθετικό περιβάλλον, το οποίο καθορίζεται από ενδογενείς και εξωγενείς παράγοντες (Ψιλοβίκος, 2010). Οι παράμετροι που χαρακτηρίζουν μια φάση είναι οι ακόλουθες :

- **Η γεωμετρία**, η οποία αφορά τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των ιζηματογενών αποθέσεων, όπως καθορίζονται κυρίως από τα τεκτονικά δεδομένα της λεκάνης.
- **Η παλαιοντολογία**, η οποία αφορά τα χαρακτηριστικά των οργανισμών που υπάρχουν μέσα στα ιζήματα (ως απολιθώματα) και αποκαλύπτουν το φυσικό, χημικό και βιολογικό περιβάλλον της λεκάνης ιζηματογένεσης.
- **Η λιθολογία**, η οποία για την ιζηματολογία αποκαλύπτει την πηγή τροφοδοσίας της λεκάνης, τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά, καθώς και την τεκτονική επίδραση σε αυτή και αφορά την ορυκτολογική σύσταση των πετρωμάτων της.
- **Η υφή και δομή**, οι οποίες αφορούν τους χαρακτήρες των κόκκων, όπως η ταξινόμηση, στρογγυλότητα κτλ, καθώς και την ταξινόμηση τους σε στρώματα, ομάδες και ακολουθίες.
- **Το παλαιορρευματικό σύστημα**, το οποίο αφορά την διαδικασία μεταφοράς και απόθεσης υλικών στη λεκάνη και συνδέεται άμεσα με τη σχέση μορφολογίας, ενεργητικότητας-δυναμικότητας και τεκτονικής.

Κάθε ιζηματογενής φάση έχει τα δικά της χαρακτηριστικά, τα οποία ερμηνεύουν το δυναμικό και τον τρόπο απόθεσης των ιζημάτων του εκάστοτε αποθετικού περιβάλλοντος. Το σύνολο των φάσεων αυτών, ανάλογα με το πόσα περιβάλλοντα αυτές περιγράφουν, συνιστούν τον συσχετισμό των φάσεων. Επομένως, σε κάθε χρονική στιγμή υπάρχουν στην επιφάνεια της γης διαφορετικά γειτονικά αποθετικά περιβάλλοντα, μέσα στα οποία γίνεται απόθεση διαφορετικού τύπου ιζημάτων (Ψιλοβίκος, 2010). Στην συγκεκριμένη μελέτη υπήρξαν επτά διαφορετικά είδη φάσεων, τα οποία τελικά καταλήγουν με τον συσχετισμό τους σε ένα και μόνο αποθετικό περιβάλλον ιζηματογένεσης και αυτό είναι ένα υφάλμυρο μεταβατικό περιβάλλον ιζηματογένεσης, πιθανότατα ενός δέλτα, καθώς δεν υπάρχουν αρκετά στοιχεία για να το εξακριβώσουν. Τα στοιχεία που οδηγούν σε αυτό το συμπέρασμα είναι ότι φαίνεται ότι μέσα από δομές στα πετρώματα, επηρεάζονται από την επίδραση των παλιρροϊκών φαινομένων και ότι περιέχουν ιζηματογενείς φάσεις που συναντώνται μόνο σε δελταϊκά αποθετικά περιβάλλοντα. Η εργασία αυτή αποσκοπεί στην περιγραφή και ερμηνεία των ιζηματογενών φάσεων και του συσχετισμού αυτών, καθώς και την κατανόηση της (λιθο)στρωματογραφίας που περιγράφει το πιθανό δελταϊκό μεταβατικό περιβάλλον ιζηματογένεσης μαζί με την επίδραση των παλιρροϊκών φαινομένων σε αυτό.

3.ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ

Η γεωτεκτονική θέση των Σερρών είναι ιδιαίτερη, καθώς βρίσκεται στα όρια μεταξύ των δύο μαζών της ενδοχώρας Σερβομακεδονική και μάζα Ροδόπης (Εικόνα 2). Φυσικό όριο αυτών αποτελεί η γραμμή του ποταμού Στρυμόνα που χωρίζει στα Δυτικά και Ανατολικά αντίστοιχα τις δύο μάζες. Έτσι, εφόσον η περιοχή της μελέτης βρίσκεται Ανατολικά της γραμμής Στρυμόνα, τότε αυτή ανήκει στην μάζα της Ροδόπης.



Εικόνα 2: Γεωτεκτονικός χάρτης των Ελληνίδων ζωνών. Rh: Μάζα της Ροδόπης, Sm: Σερβομακεδονική μάζα, CR: Περιροδοπική ζώνη, (Pe: Υποζώνη Παιονίας, Pa: Υποζώνη Πάικου, Al: Υποζώνη Αλμπανίας)= 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 (Μουντράκης, 2010)

Η μάζα της Ροδόπης, στην οποία ανήκει η περιοχή της μελέτης, μαζί με την Σερβομακεδονική μάζα αποτελούν τα αρχαιότερα τμήματα του Ελληνικού χώρου και έχουν καθαρά ηπειρωτικό χαρακτήρα. Αποτελείται από το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο και τα αντίστοιχα πυριγενή πετρώματα τους. Η έλλειψη στρωματογραφίας και γενικότερα ιζηματογενών πετρωμάτων αποτελεί την βασική αιτία δυσκολίας για την ολοκληρωμένη κατανόηση και περιγραφή της Μάζας της Ροδόπης. Το υπόβαθρο χωρίζεται σε 4 σειρές (Osswald, 1938) από τις στρωματογραφικά κατώτερες προς τις στρωματογραφικά ανώτερες:

1. Σειρά E των γενεσίων βάσης
2. Σειρά F των μαρμάρων
3. Σειρά G των μαρμαρνιακών σχιστολίθων
4. Σειρά H των σχιστολίθων και μαρμάρων

Η Μάζα της Ροδόπης χωρίζεται επιπλέον σε δύο ενότητες, οι οποίες αναπαριστούνται στην Εικόνα 3:

1. Την ενότητα του Σιδηρόνερου, η οποία είναι τεκτονικά ανώτερη, στα Βόρεια κατά μήκος των ελληνοβουλγαρικών συνόρων.

2. Την ενότητα του Παγγαίου, η οποία είναι τεκτονικά κατώτερη και καταλαμβάνει την Δυτική, Νοτιοδυτική Ροδόπη.

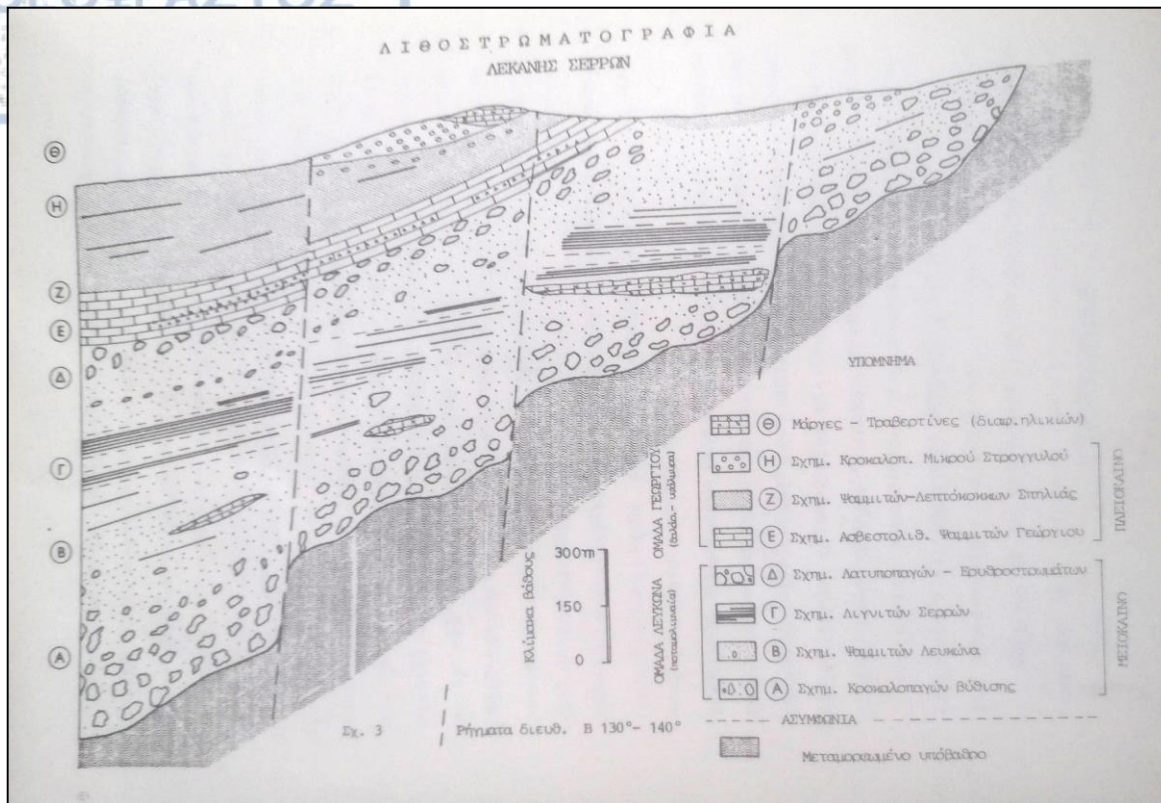


Εικόνα 3: Τεκτονικός χάρτης της μάζας της Ροδόπης με τις αντίστοιχες ενότητες της. 1:μεταλπηκά ιζήματα, 2: ενότητα Παγγαίου, 3:ενότητα Σιδηρόνερου, 4:σχηματισμοί της Περιροδοπικής ζώνης, 5:γραμμή επώθησης (Μουντράκης, 2010)

Κατά την περίοδο του Κρητιδικού και Τριτογενούς, η δράση της συμπιεστικής τεκτονικής που προκλήθηκε εξαιτίας της τελικής ηπειρωτικής σύγκρουσης μεταξύ Απούλιας-Ευρασίας, εμφανίζει την Ροδόπη σήμερα ως σύμπλεγμα λεπιώσεων και καλυμμάτων που συμμετέχουν στο τελικό Ελληνικό ορογενές. Με τον εφελκυσμό που ακολούθησε στο τέλος του Τριτογενούς, τα τεκτονικά λείπια και καλύμματα κατέρρευσαν εξαιτίας ρηγμάτων αποκόλλησης μικρής γωνίας κλίσης, με αποτέλεσμα την εκταφή βαθύτερων σχηματισμών με την μορφή τεκτονικών παραθύρων (Kiliias & Mountrakis 1990, Dinter & Royden 1993, Brun & Sokoutis, 2007). Έτσι στη Ροδόπη αυτό που καλείται “κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο” αποτελούν οι μεταμορφικοί αυτοί σχηματισμοί, οι οποίοι εμφανίζονται με τεκτονικές επαφές.

Η ιζηματογενής λεκάνη των Σερρών ηλικιακά είναι αρκετά νέα, εφόσον δεν υπήρξε ιζηματογένεση μέχρι και το τέλος του Μεσοζωικού αιώνα. Συγκεκριμένα, η λεκάνη άρχισε να σχηματίζεται στο Μειόκαινο με την πρώτη απόθεση κροκαλοπαγούς βύθισης (Εικόνα 4). Χωρίζεται σε δύο κύριες ομάδες, όσοι είναι δηλαδή και οι κύριοι κύκλοι ιζηματογένεσης σύμφωνα με τις παλαιότερες ισοτοπικές φασικές αναλύσεις:

1. Ομάδα Λευκώνα (Armour Brown et al, 1979), που περιγράφουν ποταμολιμναία ιζηματογενή περιβάλλοντα απόθεσης Μειοκαινικής ηλικίας.
2. Ομάδα Γεωργίου (Καρυστιναίος, 1984), που περιγράφουν θαλάσσια-υφάλμυρα ιζηματογενή περιβάλλοντα απόθεσης Πλειοκαινικής ηλικίας.



Εικόνα 4: Λιθοστρωματογραφική τομή της λεκάνης των Σερρών (Καρυστιναίος, 1984)

Τα πρώτα και παλαιότερα Νεογενή ιζηματογενή πετρώματα της λεκάνης αντιπροσωπεύονται από ένα κροκαλοπαγές βύθισης όπως αναφέρθηκε παραπάνω και διαδοχή αυτού αποτελούν οι μεγάλοι σε πάχος ψαμμίτες του Λευκώνα, μέσα στους οποίους εμπεριέχονται λιγνιτοφόρα στρώματα, τα οποία αποτέλεσαν το κύριο αντικείμενο ενδιαφέροντος έρευνας της λεκάνης. Ο πρώτος αυτός κύκλος ιζηματογένεσης κλείνει στο τέλος του Μειόκαινου με την απόθεση λατυποπαγών και ερυθροστρωμάτων συνιστώντας την ομάδα του Λευκώνα. Έπειτα στο μεταβατικό αυτό στάδιο, οι συνθήκες ιζηματογένεσης προχωρούν σε πιο βαθιά περιβάλλοντα απόθεσης. Έτσι ξεκινά ο δεύτερος κύκλος ιζηματογένεσης που συνιστά την ομάδα Γεωργίου κατά την διάρκεια του Πλειόκαινου. Ο κύκλος ξεκινά με την απόθεση ψαμμιτών του Γεωργίου που αποτελεί και τον σχηματισμό στον οποίο έγινε η φασική ανάλυση (βλ. σχηματισμό Ε στην Εικόνα 4) και συγκεκριμένα στην περιοχή του Μετοχίου όπου υπάρχουν επιφανειακές εμφανίσεις και τομές. Ακολουθούν λεπτόκοκκοι ψαμμίτες της Σπηλιάς και τελικά ο κύκλος ιζηματογένεσης κλείνει με την απόθεση κροκαλοπαγών του Μικρού Στρογγυλού. Κατά την διάρκεια του πρώτου κύκλου ιζηματογένεσης (ομάδα Λευκώνα) οι συνθήκες ιζηματογένεσης ήταν χερσαίες με συμπεριφορά ποταμού-λίμνης, ενώ στην μετάβαση προς τον δεύτερο κύκλο-όπου αφορά και την περιοχή μελέτης της φασικής ανάλυσης-οι συνθήκες οδηγούν στην δημιουργία ενός δέλτα, δηλαδή μεταβατικού περιβάλλοντος ιζηματογένεσης και τελικά μετατρέπεται σε ρηχό θαλάσσιο με την πάροδο του χρόνου.

4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η μελέτη των παλαιοαποθετικών περιβαλλόντων ιζηματογένεσης και η ταξινόμηση τους σε υποπεριβάλλοντα (πχ μεταβατικό περιβάλλον σε δέλτα) μέσα από την χρήση της φασικής ανάλυσης, παίζει καίριο ρόλο στην κατανόηση της ανάλυσης των ιζηματογενών λεκανών. Αυτή βρίσκει εφαρμογή σε μη θαλάσσιες αλλά και θαλάσσιες αποθέσεις και επιπλέον φανερώνει τις διαφορές στις ιζηματογενείς ακολουθίες μεταξύ συμπιεστικών και εφελκυστικών καθεστώτων (Di Celma et al. 2010; Maravelis et al. 2016).

Τρεις θέσεις εξετάστηκαν στο πλαίσιο της φασικής ανάλυσης στα Βορειοδυτικά του χωριού Κάτω Μετόχι, το οποίο βρίσκεται Βορειοανατολικά του Λευκώνα. Η οριοθέτηση του χώρου όπου έγινε η ανάλυση έγινε περίπου 150-200 μέτρα Βορειοδυτικά του χωριού παίρνοντας τον δρόμο για το μοναστήρι της Παναγίας Βύσσιανης μέχρι τα 50-100 μέτρα πριν την είσοδο του μοναστηριού (Εικόνα 1). Οι τρεις αυτές θέσεις περιλαμβάνουν πρανή πάχους περίπου 50-60 μέτρα και ύψους περίπου 10 μέτρων, από τα οποία προσβάσιμα ήταν τα 4 λόγω απότομων κλίσεων. Σκοπός είναι τα χαρακτηριστικά των ιζηματογενών φάσεων να ομαδοποιηθούν σε έναν (όπως αποδείχθηκε) συσχετισμό φάσεων, ο οποίος περιγράφει το αποθετικό περιβάλλον. Έξω από τα πλαίσια της εργασίας παρατηρήθηκε προσχωματική εμφάνιση χρυσού, πιθανώς από τον ποταμό Στρυμόνα ο οποίος είναι φημισμένος για τις περιεκτικότητες του σε προσχωματικό χρυσό.



Εικόνα 5: Προσχωματική εμφάνιση μέσα στον σχηματισμό του Γεωργίου

Επιπλέον, όσον αφορά τα τεκτονικά στοιχεία της μελέτης, βρέθηκαν δύο κανονικά ρήγματα τα οποία επαληθεύουν τον τύπο της λεκάνης των Σερρών. Τέλος βρέθηκε και ένας παλαιορευματικός δείκτης-τα γνωστά groove marks- που δείχνει την διεύθυνση ροής, η οποία με την παρατήρηση στο ύπαιθρο και την χρήση πυξίδας έδειξε ότι αυτή είναι Βορειοδυτικά-Νοτιοανατολικά ή και Νοτιοανατολικά-Βορειοδυτικά, καθώς τα groove marks δείχνουν μόνο την διεύθυνση και όχι την κατεύθυνση ροής.



Εικόνα 6: Groove marks, το μαύρο χρώμα οφείλεται στην παρουσία αργιλικού υλικού

5.ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΕΙΣ ΦΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΣΧΕΤΙΣΜΟΣ ΦΑΣΕΩΝ

Η ιζηματολογική αυτή μελέτη πάνω στον σχηματισμό των ψαμμιτών του Γεωργίου έδειξε ότι αποτελείται από επτά ιζηματογενείς φάσεις (F1-F7), οι οποίες τελικά ομαδοποιούνται και καταλήγουν σε έναν συσχετισμό φάσεων που περιγράφει το περιβάλλον απόθεσης (Πίνακας 1). Ο συσχετισμός των φάσεων έγινε με βάση τις ιζηματογενείς δομές, αλλά τα κοινά λιθολογικά, γεωμετρικά και αποθετικά χαρακτηριστικά των στρωματογραφικών επιφανειών.

Πίνακας 1:Συγκεντρωτικός πίνακας με τις ιζηματογενείς φάσεις μαζί με την περιγραφή, δομές και ερμηνεία φάσεων

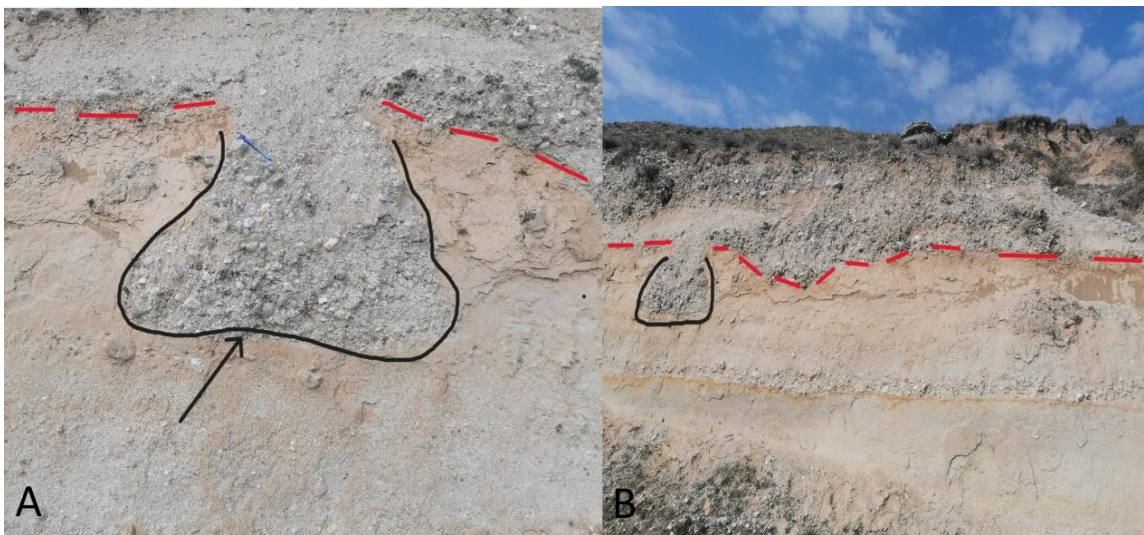
Φάσεις	Περιγραφή	Ιζηματογενείς δομές	Ερμηνεία φάσεων
F1:Κροκαλοπαγές κατά θέσεις πλούσιο σε κροκάλες και κατά θέσεις πλούσιο σε συνδετικό υλικό	Κροκαλοπαγές τριγωνοειδούς γεωμετρίας με το χονδρόκοκκο υλικό να βρίσκεται στην βάση του κροκαλοπαγούς. Περιέχει κροκάλες αστρίων και χαλαζία.	Εκμαγείο φορτίου με διαβρωσιγενή βάση.	Η απόθεση έγινε σε καθεστώς υψηλής δυναμικότητας ροής. Η στρογγυλότητα των κροκάλων δείχνει μεγάλη απόσταση μεταφοράς και απόθεσης(Nichols,1999).
F2: Συμπαγής Ψαμμίτης	Συγχωνευμένος ψαμμίτης με σχετικά καλή ταξινόμηση και μέτριο μέγεθος κόκκων.	Χωρίς στρώσεις.	Η έλλειψη δομών στον ψαμμίτη ανά σημεία, υποδηλώνει την γρήγορη-απότομη μεταφορά και απόθεση, δηλαδή μεγάλη

			ταχύτητα ροής (Lowe, 1988, Magalhães et al., 2015).
F3: Ψαμμίτης με παράλληλη έως μικρή γωνία κλίσης ελασμάτωση	Ψαμμίτης με σχετικά καλή ταξινόμηση και κόκκους με σχετικά καλή στρογγυλότητα. Σχηματίζει οριζόντια έως πολύ μικρής γωνίας ελασμάτωση.	Παράλληλη ελασμάτωση.	Η επίπεδη ή μικρής γωνία ελασμάτωση οφείλεται σε καθεστώς πολύ ρηχών περιβαλλόντων (Alexander & Fielding, 1997).
F4: Ψαμμίτης με ρυτιδώσεις ρεύματος	Ψαμμίτης με μέτρια ταξινόμηση και ασύμμετρες κυματώσεις.	Κυματοειδείς ελασμάτωσης. Συχνή είναι και η παρουσία ενστρώσεων αργίλου.	Η μετανάστευση των κυματώσεων σε ένα περιβάλλον επηρεασμένο από παλίρροιες σημαίνει σχετικά αδύναμα ρεύματα σε καθεστώς χαμηλής ροής (Collinson et al., 2006).
F5: Ψαμμίτης με διασταυρούμενη στρώση	Ψαμμίτης με κακή ταξινόμηση, με το χονδρόκοκκο υλικό στη βάση.	Επικαλύψεις οροφής και επικαλύψεις βάσης.	Μετατόπιση των θινών προς την πλευρά που καταλήγει η ελασμάτωση (Miall, 1988).
F6: Ψαμμίτης με σιγμοειδή διασταυρούμενη στρώση	Ψαμμίτης με κακή ταξινόμηση, με το χονδρόκοκκο υλικό στη βάση.	Διασταυρούμενες στρώσεις με σιγμοειδή σχήμα και ενστρώσεις αργίλου.	Η σιγμοειδής διασταυρούμενη στρώση χαρακτηρίζεται από την εφαπτομενική σχέση μεταξύ των διασταυρούμενων στρωμάτων και της επιφάνειας βάσης. Η παρουσία ενστρώσεων αργίλου είναι χαρακτηριστικός δείκτης παλιρροϊκής επίδρασης (Reineck & Wunderlich, 1968).
F7: Ετερολιθικές αποθέσεις	Ψαμμίτης με μέτρια- καλή ταξινόμηση και πλούσια σε άμμο ετερολιθική στρώση με παρενστρώσεις αργίλου.	Η πλούσια σε άμμο ετερολιθική στρώση (flaser bedding) χαρακτηρίζεται από αργιλικές παρενστρώσεις σε αμμούχα πετρώματα.	Μεταφορά υλικού κατά την διάρκεια παλιρροϊκής ροής και αιώρηση του σε περιόδους ηρεμίας της ενέργειας του νερού, οδηγούν στην παρατήρηση των κύκλων αργίλου και άμμου (Reineck & Wunderlich, 1968).

5.α Δελταϊκές αποθέσεις

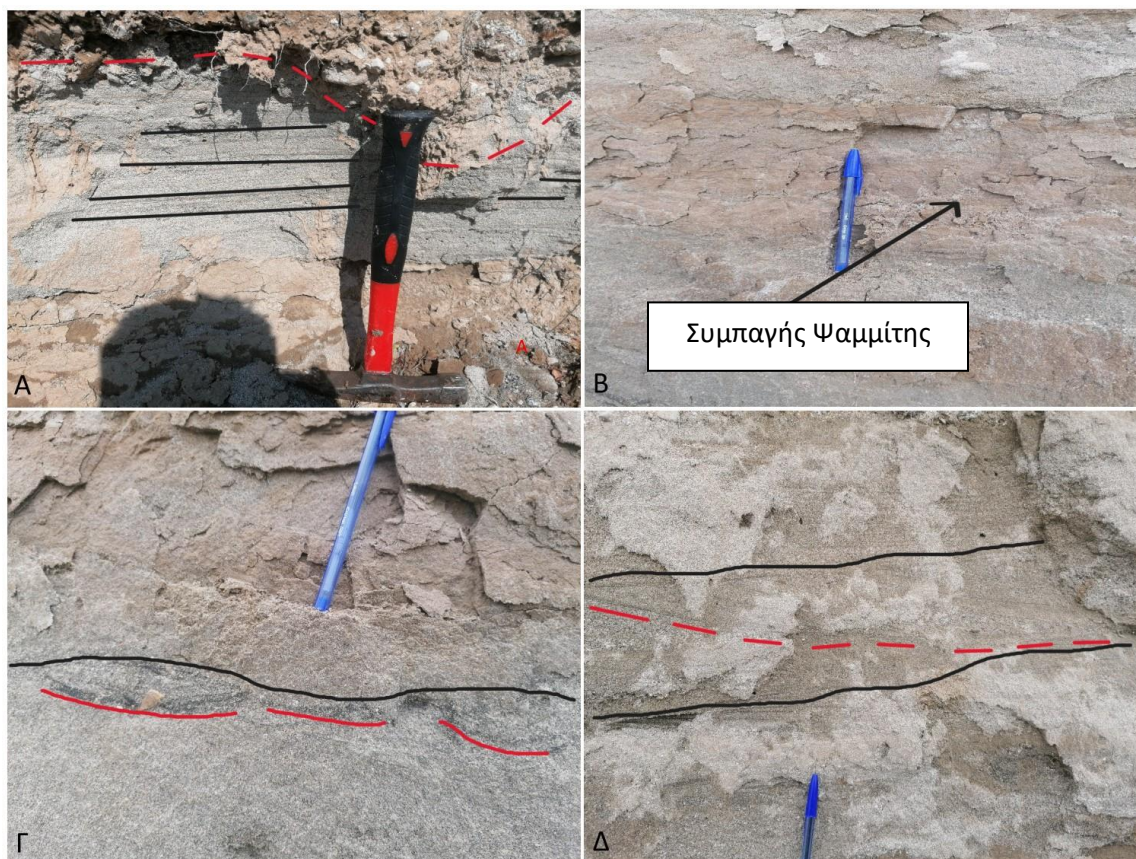
Περιγραφή:

Συνεκτικοί ψαμμίτες πάχους περίπου 50 μέτρων αποτελούν το κυρίαρχο ίζημα του σχηματισμού στην θέση μελέτης. Αποτελούνται από κλαστικά υλικά, αστρίους και χαλαζία, τα οποία είναι συγκολλημένα με ασβεστιτικό συνδετικό υλικό. Τα χαρακτηριστικά αυτά που παρατηρήθηκαν είναι σύμφωνα με προηγούμενες παρατηρήσεις (Καρυστιναίος, 1984). Το χρώμα τους είναι γενικά ανοιχτόχρωμο υπόλευκο ως ανοιχτό γκριζο-καφέ. Γενικά η συνεκτικότητα των ψαμμιτών είναι καλή. Η μελέτη ξεκινά με την παρουσία ενός κροκαλοπαγούς κατά θέσεις πλούσιο σε κροκάλες και κατά θέσεις πλούσιο σε συνδετικό υλικό, με την χαρακτηριστική δομή του εκμαγείου φόρτισης (Εικόνα 7) και την διαβρωσιγενή βάση που το συνοδεύει. Η λιθολογία του χαρακτηρίζεται από χονδρόκοκκους αστρίους και χαλαζία στην βάση, ενώ προς τα επάνω παρατηρείται μείωση του κοκκομετρικού μεγέθους. Η ακόλουθη διαβρωσιγενής βάση αποτελείται κυρίως από αστρίους και σε μικρότερο ποσοστό από χαλαζία με τις κροκάλες να έχουν μέγεθος από 2-5 εκατοστά.



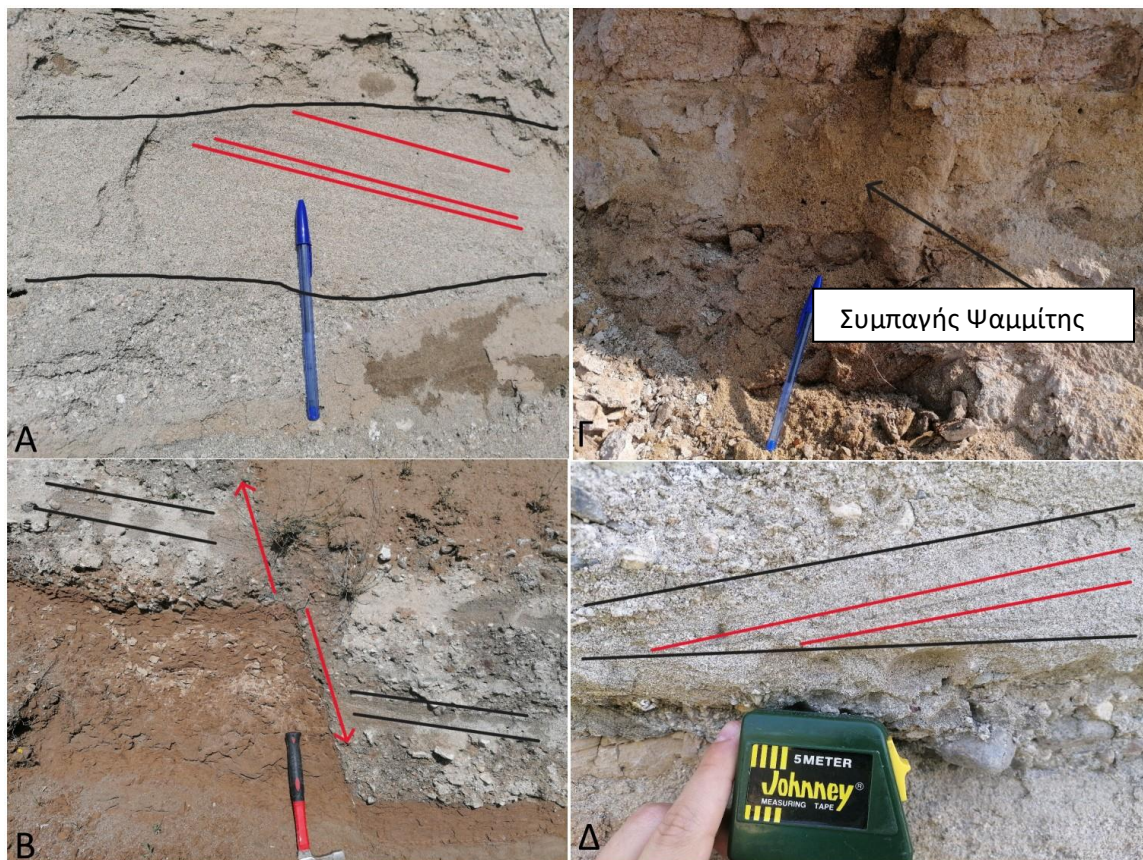
Εικόνα 7: Φωτογραφίες από παρατηρήσεις στο ύπαιθρο με τα χαρακτηριστικά των ιζηματογενών φάσεων Α) Κροκαλοπαγές κατά θέσεις πλούσιο σε κροκάλες και κατά θέσεις πλούσιο σε συνδετικό υλικό με κακή ταξινόμηση κόκκων με τις μεγαλύτερες κροκάλες στην βάση του κροκαλοπαγούς. Οι κροκάλες έχουν μέτρια στρογγυλότητα που δείχνει μέτρια απόσταση μεταφοράς και απόθεσης και αποτελούνται από αστρίους και χαλαζία. Κλίμακα αποτελεί το εικονιζόμενο στυλό μήκους περίπου 10 εκατοστών. Β) Συνέχεια της (Α) όπου φαίνεται η διαβρωσιγενής βάση σε όλο το μήκος της.

Υπάρχει πληθώρα ιζηματογενών δομών μέσα στους ψαμμίτες που περιγράφουν τις ιζηματογενείς φάσεις του αποθετικού περιβάλλοντος. Παρατηρείται η προς τα επάνω προοδευτική μείωση των κοκκομετρικών μεγεθών, καθώς τα στρώματα του σχηματισμού έχουν καλή ταξινόμηση. Πιο αναλυτικά, η ταξινόμηση (σ) χαρακτηρίζεται σαν μέτρια καλή (0,69φ), κυμαινόμενη από καλή έως κακή (0,39φ – 1,20φ). Η λοξότητα (su) είναι γενικά συμμετρική (-0,38φ) κυμαινόμενη από έντονα αρνητική έως θετική (-0,33φ – 0,14φ). Η κύρτωση (ku) χαρακτηρίζεται σαν λεπτόκυρτη (1,23φ) χωρίς ουσιαστική διακύμανση (1,18φ – 1,25φ). Οι τιμές σφαιρικότητας είναι (0,68) και στρογγυλότητας (0,44). Τα στρώματα των ψαμμιτών παρατηρούνται συγχωνευμένα ανά θέσεις. Κοινές ιζηματογενείς δομές αποτελούν η επίπεδη διασταυρούμενη στρώση, σιγμοειδής διασταυρούμενη στρώση, ετερολιθικές αποθέσεις (Εικόνα 8 και Εικόνα 9). Επιπλέον, παρατηρούνται παχυστρωματώδεις συμπαγείς ψαμμίτες και διαβρωσιγενείς βάσεις οι οποίες συνοδεύονται από εμφανίσεις κροκαλοπαγών. Η ετερολιθική στρώση στην συγκεκριμένη μελέτη είναι κυρίως πλούσια σε άμμο με μικρή συμμετοχή αργίλου μέσα στους ψαμμίτες (flaser bedding, Εικόνα 10).



Εικόνα 8: Φωτογραφίες από τις παρατηρήσεις στο ύπαιθρο με τα χαρακτηριστικά των ιζηματογενών φάσεων. Α)Ψαμμίτης με παράλληλη ελασμάτωση και από πάνω ακολουθεί διαβρωσιγενής βάση. Η διαβρωσιγενής βάση αποτελείται από κροκαλοπαγές και γενικά χονδρόκοκκα υλικά, στην συγκεκριμένη περίπτωση από κροκάλες αστρίων και χαλαζία. Κλίμακα αποτελεί το εικονιζόμενο γεωλογικό σφυρί μήκους περίπου 40 εκατοστών Β) Ψαμμίτης χωρίς δομές με μέτρια ταξινόμηση κόκκων και ύψος περίπου 3,5 μέτρα. Κλίμακα αποτελεί το εικονιζόμενο στυλό μήκους περίπου 10

εκατοστά. Γ) Ψαμμίτης με κυματοειδή ελασμάτωση. Το έντονο γκρι-μαύρο χρώμα της αργίλου κάνει αντίθεση με το πιο ανοιχτόχρωμο χρώμα του ψαμμίτη και σχηματίζει κυματοειδείς δομές. Δ) Ψαμμίτης με εφαπτόμενη ελασμάτωση, η οποία είναι χαρακτηριστική φάση των αποθετικών περιβαλλόντων δέλτα, όπου η αργιλική ελασμάτωση σχεδόν εφάπτεται με το αργιλικό πάτωμα



Εικόνα 9: Φωτογραφίες από παρατηρήσεις στο ύπαιθρο με τα χαρακτηριστικά των ιζηματογενών φάσεων Α) Ψαμμίτης με διασταυρούμενη ελασμάτωση και μέτρια έως κακή ταξινόμηση με το χονδρόκοκκο υλικό να βρίσκεται κυρίως στην βάση. Κλίμακα αποτελεί το εικονιζόμενο στυλό μήκους περίπου 10 εκατοστών. Β) Ψαμμίτης χωρίς δομές και καλή ταξινόμηση. Γ) Κανονικό ρήγμα, χαρακτηριστικό που υποδηλώνει έκταση, δηλαδή βάθμεμα του περιβάλλοντος. Συχνές είναι οι εμφανίσεις ενστρωμάτων αργίλου. Κλίμακα αποτελεί το γεωλογικό σφυρί μήκους περίπου 40 εκατοστών. Δ) Ψαμμίτης με διασταυρούμενη ελασμάτωση και επικάλυψη βάσης και διαβρωσιγενή βάση από κάτω με κροκάλες μεγέθους 2-5 εκατοστών.



Εικόνα 10: Πλούσια σε άμμο ετερολιθική στρώση (flaser bedding) . Στην οροφή και την βάση του ψαμμίτη υπάρχουν διαβρωσιγενείς βάσεις με την πρώτη να έχει υποστεί οξείδωση (πορτοκαλί χρώμα) . Παρατηρείται παράλληλη ελασμάτωση και κλίμακα αποτελεί το εικονιζόμενο γεωλογικό σφυρί μήκους περίπου 40 εκατοστών.

Σε ορισμένες θέσεις του σχηματισμού, οι ψαμμίτες εμφανίζονται οξειδωμένοι με το χαρακτηριστικό πορτοκαλί χρώμα. Τέλος, στην θέση μελέτης δεν βρέθηκαν παλαιοντολογικά στοιχεία χλωρίδας και πανίδας.

Ερμηνεία απόθεσης:

Στον δεύτερο αυτόν κύκλο ιζηματογένεσης φαίνεται ότι το περιβάλλον απόθεσης αρχίζει να βαθαίνει, οπότε από τα ποταμολιμναία ιζήματα των ψαμμιτών του Λευκώνα ακολουθεί μετάβαση σε μεταβατικό αποθετικό περιβάλλον και συγκεκριμένα ενός δέλτα. Αυτό φαίνεται από τις χαρακτηριστικές ελασμάτωσεις αργίλου μέσα στους ψαμμίτες, στοιχείο που δείχνει την επιρροή από παλίρροιες. Βέβαια, οι ενδείξεις αυτές μπορεί να περιγράφουν και άλλα αποθετικά περιβάλλοντα, αλλά η ύπαρξη σιγμοειδούς διασταυρούμενης ελασμάτωσης (Maravelis et al, 2018) αποτελεί αποκλειστικό χαρακτηριστικό των δελταϊκών περιβαλλόντων ιζηματογένεσης. Η ύπαρξη διαβρωσιγενών βάσεων με την προοδευτική μείωση του κοκκομετρικού μεγέθους προς τα επάνω, δηλώνει την παρουσία αποθέσεων καναλιών, οι οποίες χαρακτηρίζουν περιόδους υψηλής ενεργητικότητας (Nemec & Steel, 1984; Nemec & Portma, 1993). Το εκμαγεία φορτίου (load casts) σχηματίζονται όταν οι βαρύτερες κροκάλες βυθίζονται στους ψαμμίτες πλούσιους σε άμμο όταν αυτοί ακόμα έχουν πλαστική συμπεριφορά και υποδηλώνει υψηλούς ρυθμούς ιζηματογένεσης (Nichols & Fisher, 2007; Nichols G, 2009). Οι ρυτιδώσεις δείχνουν επίσης την επιρροή της παλίρροιας στον σχηματισμό,

καθώς επίσης και η στρωματογραφική θέση των ψαμμιτών του Γεωργίου πάνω από τα ποταμολιμναία ιζήματα του Λευκώνα και επακόλουθο βάθεμα του περιβάλλοντος ιζηματογένεσης, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι πρόκειται για δελταϊκό αποθετικό περιβάλλον. Διαγνωστικό στοιχείο για την επίδραση από παλίρροιες αποτελεί και η πλούσια σε άμμο ετερολιθική στρώση (Reineck & Wunderlich, 1968). Επίσης, σε αρκετά σημεία όπου ο ψαμμίτης φαίνεται με μεγάλο πάχος και χωρίς ιζηματογενείς δομές, σημαίνει ότι υπήρξε περίοδος όπου η μεταφορά και απόθεση έγινε με τόσο γρήγορο ρυθμό όπου δεν πρόλαβε να υπάρξει διεργασία υδραυλικής ταξινόμησης (Magalhães et al., 2015), άρα πρόκειται για ένα δυναμικό δέλτα υψηλής ταχύτητας ροής. Συγκεκριμένα εφόσον υπάρχουν ενδείξεις από παλιρροϊκή επίδραση στον σχηματισμό, τότε πολύ πιθανόν να πρόκειται για μια δελταϊκή πλατφόρμα, καθώς τα άλλα δύο τμήματα του δέλτα επηρεάζονται κυρίως από καταγίδες.

6.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ιζηματογενής λεκάνη των Σερρών αποτελείται από δύο κύκλους ιζηματογένεσης και ο σχηματισμός για τον οποίο έγινε η εργασία, ανήκει στον δεύτερο κύκλο όπου το περιβάλλον άρχισε να βαθαίνει από τα κατώτερα ποταμολιμναία, στους ψαμμίτες του Γεωργίου οι οποίοι περιγράφουν δελταϊκό περιβάλλον απόθεσης πιθανότατα μιας πλατφόρμας. Αυτό επιβεβαιώνεται λόγω της στρωματογραφικής τοποθέτησης του σχηματισμού πάνω από την ομάδα του Λευκώνα, καθώς και από την φασική ανάλυση που έγινε στην περιοχή του χωριού Μετόχι. Η ανάλυση αυτή έδειξε ότι υπάρχουν επτά ιζηματογενείς φάσεις οι οποίες ομαδοποιούνται σε έναν συσχετισμό φάσεων, ο οποίος περιγράφει και ερμηνεύει το μεταβατικό αυτό περιβάλλον ιζηματογένεσης δελταϊκής πλατφόρμας. Κύριο διαγνωστικό στοιχείο που το ξεχωρίζει από άλλα περιβάλλοντα είναι η παρουσία σιγμοειδούς διασταυρούμενης στρώσης (F6). Επιπλέον είναι φανερό η επίδραση από παλίρροιες σε αντίθεση από τα άλλα τμήματα ενός δέλτα (pro-delta και delta front), τα οποία επηρεάζονται κυρίως από καταγίδες. Τέλος, το μόνο παλαιογεωγραφικό στοιχείο για την διεύθυνση ροής αποτελούν τα groove marks (Εικόνα 6), τα οποία δείχνουν ότι αυτή είναι ΝΑ-ΒΔ ή ΒΔ-ΝΑ.



Βιβλιογραφία

Alexander J & Fielding C (1997) Gravel antidunes in the tropical Burdekin River, Queensland, Australia. *Sedimentology* 44, 327–37.

Armour-Brown, A., De Bruijn, H., Maniati, C., Siatos, G., Niesen, P.(1979). The geology of the Neogene sediments north of Serrai & the use of rodent faunas for biostratigraphic control. *Proceedings*, Vol. I, p.p. 615-622.

Collinson, J.D, Mountney, N.P, & Thompson DB. (2006). *Sedimentary Structures*, 3rd edn. Harpenden: Terra Publishing.

Di Celma, C., Cantalamessa, G., Landini, W., & Ragaini, L. (2010). Stratigraphic evolution from shoreface to shelf-indenting channel depositional systems during transgression: insights from the lower Pliocene Súa Member of the basal Upper Onzole Formation, Borbón Basin, northwest Ecuador. *Sedimentary Geology* 223, 162–79.

Dinter, D. & Royden, L. (1993). Late Cenozoic extension in northeastern Greece: Strymon Valley detachment system and Rhodope metamorphic core complex. *Geology* 21:45-48.

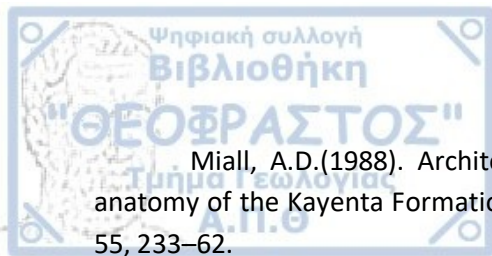
Karistinaios, N.K. (1984). Paleogeographic evolution of the Serres basin: Lithostratigraphy, Biostratigraphy and Tectonics. *Aristotle University Of Thessaloniki, Department of Geology*, 17-19, 92-109, 187-189.

Kilias, A. & Mountrakis D. (1990). Kinematics of the crystalline sequences in the western Rhodope Massif. *Geologica Rhodopica* 2:100-116.

Magalhães, A. J. C., Scherer, C. M. S., Raja Gabaglia, G. P., & Catuneanu, O.(2015). Mesoproterozoic delta systems of the Açuruá Formation, Chapada Diamantina, Brazil. *Precambrian Research*, 257, 1–21.

Maravelis AG, Boutelier D, Catuneanu O, Seymour KS and Zelilidis A. (2016). A review of tectonics and sedimentation in a forearc setting: Hellenic Thrace Basin, north Aegean Sea and northern Greece. *Tectonophysics* 674, 1–19.

Maravelis, A., Catuneanu, O., Nordsvan, A., Landenberger, B., Zelilidis, A.(2018). Interplay of tectonism and eustasy during the Early Permian icehouse: Southern Sydney Basin, southeast Australia. *Geological Journal*. 2017;1–32.



Miall, A.D.(1988). Architectural elements and bounding surfaces in fluvial deposits: anatomy of the Kayenta Formation (Lower Jurassic), Southwest Colorado. *Sedimentary Geology* 55, 233–62.

Nemec, W., & Postma, G. (1993). Quaternary alluvial fans in southwestern Crete: Sedimentation processes and geomorphic evolution. In M. Marzo, & C. Puigdefabregas (Eds.), *Alluvial sedimentation*. Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd.

Nemec, W., & Steel, R. (1984). Alluvial and coastal conglomerates: Their significant features and some comments on gravelly mass-flow deposits. *Sedimentology of gravels and conglomerates*. Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir, 10, 1-31.

Nichols, G., & Fisher, J. A. (2007). Processes, facies and architecture of fluvial distributary system deposits. *Sedimentary Geology*, 195, 75–90.

Nichols, G. (2009). *Sedimentology and stratigraphy*. Wiley-Blackwell. 432.

Osswald, K.(1938). *Geologische geschichte von Griechisch-Nordamakedonien*. Υπόμνημα Γεωλ.Υπηρεσίας Ελλάδος,3.

Psilovikos, A., & Psilovikos, A.(2010). *Sedimentology*, 2nd edition. Tziola Publications. 246-249.

Reineck, H.E, & Wunderlich, F.(1968). Classification and origin of flaser and lenticular bedding. *Sedimentology* 11, 99–104.