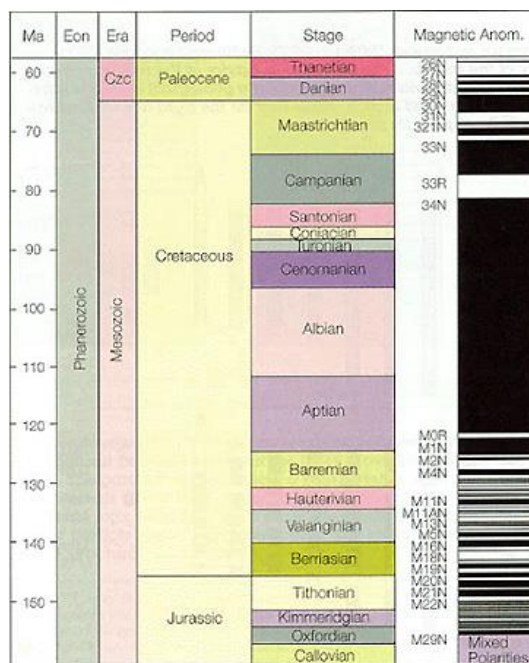


ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ ΛΑΔΑΣ

ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΟΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΗ
ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΚΡΗΜΝΗ-3, ΜΥΓΔΟΝΙΑ ΛΕΚΑΝΗ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2022





ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ ΛΑΔΑΣ

Φοιτητής Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5810

ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΟΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ
ΘΕΣΗΣ ΚΡΗΜΝΗ-3, ΜΥΓΔΟΝΙΑ ΛΕΚΑΝΗ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας
Τομείς Τεκτονικής, Ιστορικής και Εφαρμοσμένης Γεωλογίας & Γεωφυσικής

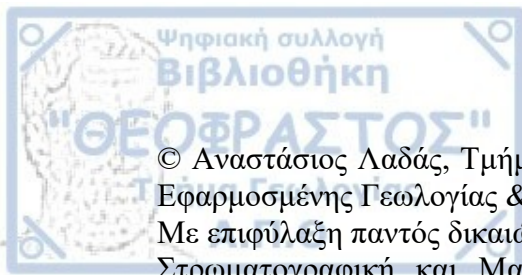
Επιβλέποντες Καθηγητές

Κωστόπουλος Δημήτριος, Καθηγητής

Αηδονά Ελένη, Επίκουρη Καθηγήτρια

© Αναστάσιος Λαδάς, 2022

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.



© Αναστάσιος Λαδάς, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Τεκτονικής, Ιστορικής και Εφαρμοσμένης Γεωλογίας & Τομέας Γεωφυσικής, 2022

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Στρωματογραφική και Μαγνητοστρωματογραφική μελέτη της θέσης Κρήμνη-3, Μυγδονία λεκάνη – *Διπλωματική Εργασία*

© Anastasios Ladas, School of Geology, Department of Tectonics, Historical and Applied Geology & Department of Geophysics, 2022

All rights reserved.

Stratigraphic and Magnetostratigraphic study on the Krimni-3 locality, Mygdonia Basin – *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.

Εικόνα Εξωφύλλου:

https://glossary.slb.com/en/terms/g/geomagnetic_polarity_time_scale



Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	6
ABSTRACT	7
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	8
1. Εισαγωγή.....	9
1.1 Μυγδονία Λεκάνη	9
Προμυγδονιακοί Σχηματισμοί	11
Μυγδονιακοί Σχηματισμοί.....	13
1.2 Θέση Krimni-3 (KMN)	14
1.3 Αρχές της Μαγνητοστρωματογραφίας.....	15
2. Μεθοδολογία Καταγραφής.....	16
2.1 Στρωματογραφία.....	16
2.2 Παλαιομαγνητισμός	17
3. Αποτελέσματα	23
3.1 Στρωματογραφία.....	23
3.1.1 Παλαιοπεριβάλλοντα	29
3.2 Παλαιομαγνητισμός	32
4. Συμπέρασμα	37
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	37



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στρωματογραφική και Μαγνητοστρωματογραφική μελέτη της θέσης Κρήμνη-3, Μυγδονία λεκάνη

Αναστάσιος Λαδάς

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αποτελεί μια προσπάθεια λεπτομερούς καταγραφής της στρωματογραφίας της απολιθωματοφόρου θέσης Κρήμνη-3, στην Μυγδονία λεκάνη, και παράλληλα μία διερεύνηση των παλαιομαγνητικών ιδιοτήτων των αποθέσεων προκειμένου να χρονολογηθεί η θέση με βάση τις αρχές της μαγνητοστρωματογραφίας. Οι αποθέσεις της περιοχής μελέτης ανήκουν στα ανώτερα στρώματα του Σχηματισμού Γερακαρούς και η μελέτη τους έδειξε την παρουσία 5-9 διακριτών λιθοστρωματογραφικών ενοτήτων πλην του εδαφικού καλύμματος. Ανάλυση χαρακτηριστικών δομών φανερώνει έντονες οξειδωτικές συνθήκες, σε ένα περιβάλλον με υψηλές θερμοκρασίες και χαμηλή υγρασία που πιθανά ανταποκρίνεται σε εκείνο ενός μαιανδρικού ποταμού. Η παλαιομαγνητική μελέτη που πραγματοποιήθηκε έδειξε ότι τα δείγματα ήταν ασθενώς μαγνητισμένα και δεν μπόρεσαν να καταγράψουν ικανοποιητικά την διεύθυνση του μαγνητικού πεδίου κατά την απόθεσή τους, ενώ το κύριο μαγνητικό ορυκτό είναι ο αιματίτης.



ABSTRACT

Stratigraphic and Magnetostratigraphic study on the Krimni-3 locality, Mygdonia basin

Anastasios Ladas

This diploma thesis is an attempt at detailing and recording the stratigraphy of the fossiliferous locality Krimni-3, in Mygdonia basin, while at the same time analyzing the paleomagnetic properties in order to date the locality according to the principles of magnetostratigraphy. The sediments of the research area belong to the uppermost layers of the Gerakarou Formation and studying them revealed the presence of 5-9 distinct lithostratigraphic units, excluding the soil covering them. Analysis of characteristic structures reveals heavy oxidation conditions, in an environment with high temperatures and low humidity, that possibly corresponds with that of a meandering river. The paleomagnetic research that was conducted showed that the samples were only slightly magnetized and couldn't properly depict the direction of the magnetic field while being deposited, with the main magnetic mineral being hematite.



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το θέμα της εν λόγω πτυχιακής εργασίας μου ανατέθηκε τον Φεβρουάριο του 2022 από τον Καθηγητή του τομέα Τεκτονικής, Ιστορικής και Εφαρμοσμένης Γεωλογίας του τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης κ. Κωστόπουλο Δημήτριο σε συνεργασία με την Επίκουρη Καθηγήτρια του τομέα Γεωφυσικής του τμήματος, κα. Αηδονά Ελένη, τους οποίους ευχαριστώ ιδιαίτερα για την καθοδήγηση και της συμβουλές τους καθ' όλη την διάρκεια της εργασίας αυτής, καθώς και την υπομονής που έδειξαν απέναντι μου.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία, αποτελεί μια μελέτη στα ιζήματα της θέσης Κρήμνη-3 καθώς και μια απόπειρα για την ακριβή χρονολόγηση της μέσω της μεθόδου του παλαιομαγνητισμού.

Οφείλω να ευχαριστήσω και πάλι τους δύο Καθηγητές που επέβλεπαν την εργασία αυτή σε όλη της την εξέλιξη, για την ανάθεση ενός θέματος που μου προσέφερε τις πρώτες μου εμπειρίες στον τομέα της γεωλογικής έρευνας, καθώς και για την συνεχή τους βοήθεια κατά την εκπόνηση αυτής της εργασίας. Ακόμα θέλω να ευχαριστήσω τους μεταπτυχιακούς φοιτητές του Προγράμματος «Παλαιοντολογία-Γεωβιολογία» και τον Δρ. Γεώργιο Κονιδάρη, που με δέχτηκαν στην ανασκαφή που διεξήγαγαν, καθώς και την Δρ. Ιωάννα Σουλβέστρου που εμβόλιμα συνέβαλε και αυτή στην εργασία. Τέλος, την οικογένεια και τους φίλους μου, για την στήριξη που μου έδωσαν κατά τα χρόνια των σπουδών μου.

The map illustrates the geological structure of the Thessaloniki region. Key features include:

- Geographical Labels:** ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ (Thessaloniki), Ο Μελισσοχώριον, Ο Ήραϊονάστρον, Ο Λαγκαδός, ΟΡΙΟΝ ΛΕΚΑΝΗΣ, ΡΗΓΜΑΤΑ ΒΕΒΑΙΑ, ΡΗΓΜΑΤΑ ΠΙΣΑΔΑ, Λ. ΛΑΓΚΑΔΑ, Λ. ΒΟΛΒΗ, Ο Σταυρός, Ο Ζαγκλιβέριον.
- Tectonic Features:** Dashed lines represent faults, including the ΒΕΒΑΙΑ and ΠΙΣΑΔΑ faults. Solid lines indicate tectonic boundaries or zones.
- Scale:** A scale bar at the bottom indicates distances of 0, 5, and 10 km.

Η λεκάνη, αποτελείται από δύο άξονες, τον δυτικό με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και τον ανατολικό με διεύθυνση περίπου Δ-Α. Οι δύο αυτοί άξονες έχουν διαμορφωθεί ως αποτέλεσμα της νεοτεκτονικής δράσης στην περιοχή η οποία έχει σχηματίσει 4 τεκτονικές γραμμές κανονικών ρηγμάτων, τα οποία με την σειρά τους ευθύνονται για την δημιουργία της λεκάνης της Μυγδονίας (Psilovikos 1977). Οι τεκτονικές γραμμές είναι οι εξής (Σχ. 1)(Maravelakis 1936, Osswald et al. 1938, Georgalas – Galanopoulos, 1953, Kockel et al. 1971, Psilovikos 1977):

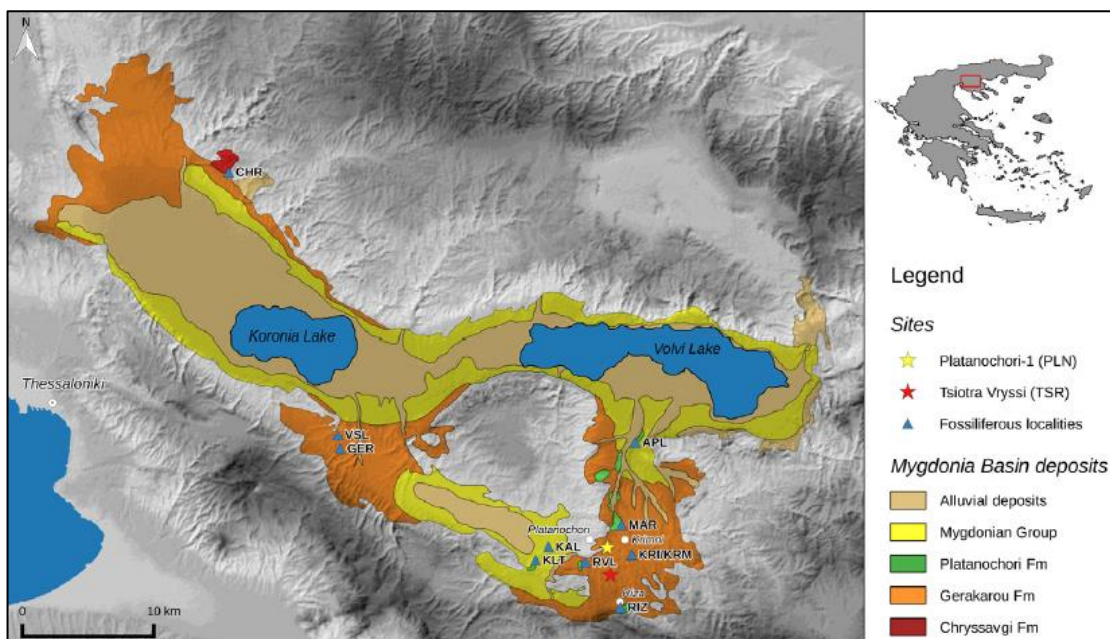
- Μυγδονίας, η οποία διέρχεται μέσω της Βόλβης και της κοιλάδας της Ρεντίνας

Η περιοχή στην οποία εντοπίζεται η Μυγδονία λεκάνη, η Κεντρική Μακεδονία, βρίσκεται πάνω σε δύο από τις παλαιότερες γεωτεκτονικές ζώνες του Ελληνικού χώρου, αυτές της Περιοδοπικής στο ανατολικό μέρος της λεκάνης και της Σερβομακεδωνικής μάζας στο δυτικό μέρος της (Kockel & Mollat 1979) . Η πρώτη αποτελείται από χαμηλής έως και μέσης μεταμόρφωσης μεταϊζήματα, ενώ η δεύτερη από υψηλής μεταμόρφωσης κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα (Psilovikos 1977). Παρακάτω δίνονται με σχετική λεπτομέρεια τα πετρώματα που μπορούν να εντοπισθούν μέσα στην λεκάνη (Osswald 1938, Neubauer 1957, Borci et al. 1965, Mercier 1966, Kockel et al. 1971, Psilovikos 1977).

- Γνεύσιοι των ενοτήτων των Κερδυλλίων και του Βερτίσκου (της Σερβομακεδωνικής). Οι πρώτοι αποτελούνται κυρίως από βιοτιτικούς παραγνεύσιους, κεροστιλβικούς γνεύσιους και αμφιβολιτικούς γνεύσιους, ενώ οι δεύτεροι από διμαρμαρυγικούς γνεύσιους, μοσχοβιτικούς γνεύσιους ή βιοτιτικούς γνεύσιους.
- Μάρμαρα με την μορφή ταινιών ή ταινιωτών οριζόντων.
- Αμφιβολίτες με μεγάλη αναλογία $\frac{\text{Κεροστύλβης}}{\text{Χαλαζία+Αστρίο}}$, ενδεχομένως λόγω προέλευσης από οφιόλιθους μεσοωκεάνιας ράχης.
- Φυλλιτική σειρά, αποτελούμενη από εναλλαγές ελαφρά μεταμορφωμένων πετρωμάτων.
- Μέσο-άνω Τριαδικοί Ασβεστόλιθοι του όρους Καμήλα (ανήκουν στην ενότητα Ντεβέ Κοράν – Δουμπιάς της Περιοδοπικής)
- Μικρής έκτασης χαλαζίτες και κροκαλοπαγή
- Γρανιτικές διεισδύσεις, τυπικά λευκοκρατικές και κατά τόπους γνευσιωμένες.

Η λεκάνη με την πρώτη της μορφή - η Προμυγδονία λεκάνη - σχηματίστηκε πιθανότατα από τεκτονική δράση στο όριο του Παλαιογενούς με το Νεογενές (στο κάτω Μειόκαινο), γεμίζοντας σε μεταγενέστερα χρόνια, από το μέσο Μειόκαινο και ύστερα, με Νεογενείς και Τεταρτογενείς ιζηματογενείς αποθέσεις (Koufos et al. 1995, Konidaris et al. 2015) . Οι αποθέσεις αυτές με βάση την χρονολογία τους διαχωρίζονται σε Προμυγδονιακές και Μυγδονιακές (Σχ. 2) και θα αναπτυχθούν παρακάτω

(Psilovikos 1977, Koufos et al. 1995). Κατά το τέλος του Κάτω Πλειστόκαινου περεταίρω τεκτονική δράση τεμάχισε την αρχική Προμυγδονία λεκάνη σε 4 υπολεκάνες οι οποίες υπάρχουν έως και σήμερα, την υπολεκάνη της Μαραθούσας, της Μυγδονίας, του Ζαγκλιβερίου και της Δουμπιάς (Koufos et al. 1995). Την ίδια περίοδο σχηματίστηκε και η μεγάλη Μυγδονία λίμνη, η οποία στέρεψε μέχρι το Μέσο-Άνω Πλειστόκαινο, αφήνοντας πίσω της υπολειμματικά τις λίμνες Κορώνεια και Βόλβη. Αν και η λίμνη έπαψε να υφίσταται, η ιζηματογένεση στην περιοχή συνεχίζεται μέχρι και σήμερα με ποταμοχειμάρια και λιμναία ιζήματα (Psilovikos 1977, Psilovikos & Sotiriadis 1983).



Σχήμα 2: Γεωλογικός χάρτης Νεογενών-Τεταρτογενών αποθέσεων της Μυγδονίας λεκάνης και τοποθέτηση απολιθωματοφόρων θέσεων (Konidaris et al. 2015, τροποποιημένο από Koufos et al. 1995).

Προμυγδονιακοί Σχηματισμοί

1. Σχηματισμός Χρυσανγής

Ο Σχηματισμός της Χρυσανγής αποτελεί τον παλαιότερο από τους Προμυγδονιακούς και η ηλικία απόθεσής του το τοποθετείται στο τέλος του μέσου Μειόκαινου, αν και τα στοιχεία για την χρονολόγηση του είναι ελλιπή. Βρίσκεται ασύμφωνα τοποθετημένος πάνω στο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο με μέσο πάχος 40-50 μέτρα, ενώ εντοπίζεται μονάχα σε λίγα σημεία στα ΒΔ της λεκάνης (Koufos et al. 1995, Konidaris et al. 2015)(Σχ. 2).

Λιθολογικά αποτελείται από φακούς και φακοειδείς ενστρώσεις, τεφρόλευκων μη συνεκτικών αδρόκοκκων κροκαλοπαγών (με κλάστες αποτελούμενους από τα μεταμορφωμένα πετρώματα του υποβάθρου) και άμμων με αργιλώδεις και ιλυοαργιλώδεις φακούς. Οι κατώτεροι ορίζοντες του Σχηματισμού αποτελούνται από αδρόκοκκα κροκαλοπαγή με σταδιακή μείωση του μεγέθους των κροκάλων προς την μέση του σχηματισμού, ενώ οι ανώτεροι ορίζοντες χαρακτηρίζονται από έντονη παρουσία φακών και ενστρώσεων ιλύος, ιλυωδών άμμων και ιλυωδών αργίλων (Koufos et al. 1995, Konidaris et al. 2015)

Στον Σχηματισμό Χρυσανγής η μοναδική απολιθωματοφόρος θέση (Σχ. 2) που έχει βρεθεί είναι αυτή της Chrysavgi-1 (CHR), που περιέχει μια πανίδα κυρίως μικροθηλαστικών, η οποία χρονολογείται στο Μέσο Μειόκαινο (άνω Ασταράσιο) (Koliadimou & Koufos 1998, Koufos & Kostopoulos 2013, Konidaris et al. 2015).

2. Σχηματισμός Γερακαρούς

Ο Σχηματισμός της Γερακαρούς ακολουθεί με σύμφωνη διαδοχή τον σχηματισμό της Χρυσανγής και χρονολογείται στο Κάτω Πλειστόκαινο. Αποτελεί τον σχηματισμό με την μεγαλύτερη εξάπλωση στην λεκάνη της Μυγδονίας (Σχ. 2) καθώς και αυτόν με το μεγαλύτερο πάχος, ξεπερνώντας τα 100 μέτρα (Koufos et al. 1995, Konidaris et al. 2015)

Ο Σχηματισμός αυτός αποτελείται κυρίως από ερυθροστρώματα – καστανέρυθρες άμμους, χαλίκια, αμμώδεις αργίλους και αργίλους – με εναλλαγές φακών και φακοειδών στρωμάτων από μη συνεκτικά χαλίκια, αδρόκοκκες άμμους, φαιοκόκκινες αργίλους και ιλύες, με μικρές εμφανίσεις αργιλικών και μαργαϊκών φακών. Τα ιζήματα αυτά υποδεικνύουν μια ρυθμική απόθεση καθώς και ένα θερμό ξηρό περιβάλλον με έντονες συνθήκες διάβρωσης (Koufos et al. 1995, Konidaris et al. 2015)

Ο Σχηματισμός της Γερακαρούς είναι ιδιαίτερα πλούσιος σε απολιθώματα, με έναν μεγάλο αριθμό θέσεων και μεγάλη ποικιλία ειδών να έχουν ανακαλυφθεί σε αυτόν. Γνωστές απολιθωματοφόρες θέσεις (Σχ. 2) αποτελούν οι Gerakaru-1 (GER), Vasiloudi-1 (VSL), Kalamoto-2 (KLT), Tsiotra Vryssi (TSR), Krimni-1 (KRI), Krimni-2 (KRM) και Krimni-3 (KMN) με την τελευταία να αποτελεί και το επίκεντρο αυτής της εργασίας. Πληθώρα ειδών έχουν ανακαλυφθεί στον σχηματισμό της Γερακαρούς συμπεριλαμβανομένων μεγάλων σπηλαιοφύλων θηλαστικών, αρπακτικών και πτηνών, κάποια εκ των οποίων θα αναφερθούν αναλυτικότερα στην συνέχεια.

(Koufos et al. 1995, Tsoukala & Chatzopoulou 2005, Konidaris et al. 2015, Kostopoulos et al. 2022)

3. Σχηματισμός Πλατανοχωρίου

Ο Σχηματισμός Πλατανοχωρίου αποτελεί τον τελευταίο σχηματισμό των Προμυγδονιακών ιζημάτων. Η έκταση του είναι πολύ μικρή (Σχ. 2) καθώς εντοπίζεται μόνο σε μια μικρή περιοχή στα ΝΑ της λεκάνης της Μυγδονίας, ενώ ταυτόχρονα έχει και το μικρότερο πάχος, μεταξύ 10-20 μέτρων. Χρονολογείται στο τέλος του Κάτω Πλειστόκαινου (Koufos et al. 1995, Konidaris et al. 2015).

Βρίσκεται σύμφωνα τοποθετημένος πάνω στον Σχηματισμό της Γερακαρούς και αποτελείται από ποταμοχειμάρια και λιμναία ιζήματα όπως άμμους/ψαμμίτες, κροκαλοπαγή, ιλυώδεις άμμους, ιλυώδεις αργίλους, μάργες και μαργαϊκούς ασβεστόλιθους. Αποτελεί μεταβατικό στάδιο μεταξύ των Προμυγδονιακών και των Μυγδονιακών σχηματισμών μέσω φακών και φακοειδών στρωμάτων (Koufos et al. 1989, Koufos et al. 1995, Konidaris et al. 2015)

Ο Σχηματισμός Πλατανοχωρίου αν και περιορισμένος σε έκταση έχει δώσει αρκετές σημαντικές απολιθωματοφόρες θέσεις (Σχ. 2) όπως τις Ravin of Voulgarakis (RVL), Apollonia (APL), Riza-1 (RIZ), Marathousa (MAR), Kalamoto-1 (KAL) και Platanochori-1 (PLN). Οι πανίδες που εμφανίζονται στον Σχηματισμό Πλατανοχωρίου είναι αντίστοιχες με αυτές του Σχηματισμού της Γερακαρούς, αν και μεταγενέστερες (Koufos et al. 1995, Tsoukala & Chatzopoulou 2005, Konidaris et al. 2015).

Μυγδονιακοί Σχηματισμοί

Για τους σκοπούς της συγκεκριμένης εργασίας τα ιζήματα αυτά θα θεωρηθούν ενιαία και αδιαίρετα. Εντοπίζονται στο κέντρο περίπου της λεκάνης, χρονολογούνται από το Μέσο – Άνω Πλειστόκαινο έως και το Ολόκαινο και αποτελούνται αποκλειστικά από λιμναία και λίγα ποτάμια ιζήματα, ενώ βρίσκονται αποτεθειμένα ασύμφωνα πάνω στους Προμυγδονιακούς σχηματισμούς. Οι κατώτεροι ορίζοντες τους αποτελούνται από αδρόκοκκα κλαστικά ιζήματα και οι ενδιάμεσοι από άμμους, αργίλους, ιλύες και λεπτόκοκκες άμμους, ενώ οι ανώτεροι ορίζοντες από ιλυοαργιλώδη και αμμόδη ιζήματα και ανεβαίνοντας από ψαμμίτες, χαλίκια, άμμους και τραβερτίνες (Koufos et al. 1995, Konidaris et al. 2015).

Στους Μυγδονιακούς σχηματισμούς βάση των στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν, δεν έχουν βρεθεί απολιθωματοφόρες θέσεις, παρά μόνο λιγοστά μεμονωμένα απολιθώματα (Konidaris et al. 2015).

1.2 Θέση Krimni-3 (KMN)

Το χωριό της Κρήμνης βρίσκεται στον νομό Χαλκιδικής και απέχει περίπου 40 χιλιόμετρα ΑΝΑ από την Θεσσαλονίκη και 20 χιλιόμετρα Β του Πολυγύρου. Τοποθετείται στην υπολεκάνη της Μαραθούσας, ενώ τα ιζήματα της περιοχής ανήκουν στον σχηματισμό της Γερακαρούς, χρονολογούνται δηλαδή στο Κάτω Πλειστόκαινο.

Στην περιοχή μέχρι σήμερα έχουν εντοπιστεί 3 απολιθωματοφόρες θέσεις, οι Krimni-1 (KRI), Krimni-2 (KRM) και Krimni-3 (KMN) (Konidaris et al. 2015, Kostopoulos et al. 2022). Και οι τρεις βρίσκονται στους ανώτερους ορίζοντες του Σχηματισμού τη Γερακαρούς, έτσι αποτελούνται από τα χαρακτηριστικά ερυθροστρώματα του σχηματισμού αυτού, με την λιθολογία τους να συνίσταται κυρίως σε καστανέρυθρες άμμους, χαλίκια, αμμώδεις ιλύες και αργίλους. Τα εν λόγω ιζήματα είναι ενδεικτικά ποταμοχειμάρριων αποθέσεων.

Σύμφωνα με τους Kostopoulos et al. (2022), η στρωματογραφία της θέσης Krimni-3 αποτελείται από ορίζοντες ερυθρών άμμων με χαλίκια, κιτρινωπών μη συνεκτικών άμμων μέσα στις οποίες εντοπίζονται τα απολιθώματα της θέσης και ιλυοαμμωδών ιζημάτων.

Στους απολιθωματοφόρους ορίζοντες έχουν εντοπισθεί τόσο μεμονωμένα σκελετικά στοιχεία όσο και οστεολογικά σύνολα.

Η θέση KMN αν και δεν έχει δώσει τόσο πλούσιο αρχείο απολιθωμάτων όπως οι θέσεις Gerakarou-1 (GER) και Apollonia (APL), παρέχει επαρκή αριθμό δειγμάτων για τη χρονολόγησή της με βάση τη στρωματογραφία και βιοστρωματογραφία της. Μέχρι στιγμής αναγνωρίζονται τα παρακάτω είδη:

- Μικροθηλαστικά – *Erinaceus* sp.
- Σαρκοφάγα: Κυνοειδή – *Canis* sp., Ύαινες – *Hyaenidae* indet., Αρκτοειδή – *Ursus* sp.
- Άλογα – *Equus altidens*, *Equus* sp.
- Ρινοκεροειδή – *Stephanorhinus* cf. *hundsheimensis*
- Χοιροειδή – *Sus* sp.

- Καμηλοπαρδάλεις – *Paleotragus inexpectatus*
- Ελαφοειδή: – Cervidae indet., *Praemegaceros* sp.
- Βοοειδή – *Hemitragus* sp., *Soergelia brigittae*, *Bison* cf. *degiulii*
- Πτηνά - *Pachystruthio dmanisensis*

1.3 Αρχές της Μαγνητοστρωματογραφίας

Η μαγνητοστρωματογραφία αποτελεί ένα από τα πολλά εργαλεία των γεωεπιστημών για να επιτευχθεί η χρονολόγηση των εκάστοτε μελετώμενων πετρωμάτων και σχηματισμών. Σαν αρχή βασίζεται σε δύο γεγονότα: α) την ύπαρξη μεταλλικών στοιχείων με μαγνητικές ιδιότητες στα πετρώματα, κυρίως Μαγνητίτη (Fe_3O_4), και β) την παγκόσμια και ενιαία ύπαρξη του γήινου μαγνητικού πεδίου καθώς και της αναστροφής αυτού (Langereis et al. 2010).

Κατά τον σχηματισμό ενός ιζηματογενούς ή πυριγενούς πετρώματος, τα μεταλλικά στοιχεία μέσα σε αυτό αποκτούν φυσική παραμένουσα μαγνήτιση (natural remanent magnetization – NRM), και τα μεταλλικά τους στοιχεία προσανατολίζονται με την ίδια φορά που έχει το μαγνητικό πεδίο της γης την δεδομένη στιγμή. Τριών ειδών NRM υπάρχουν ανάλογα τον τρόπο σχηματισμού του πετρώματος (Langereis et al 2010):

- i) Παραμένουσα θερμομαγνήτιση (Thermal Remanent Magnetization – TRM), η οποία δημιουργείται κατά την ψύξη των πυριγενών πετρωμάτων όταν αυτά πέφτουν κάτω από την θερμοκρασία Curie, $\sim 575^\circ \text{C}$ όπου τότε τα μεταλλικά στοιχεία αποκτούν σιδηρομαγνητικές ιδιότητες, αποκτούν δηλαδή ισχυρή μαγνήτιση.
- ii) Χημική παραμένουσα μαγνήτιση (Chemical Remanent Magnetization – CRM), φαινόμενο που συμβαίνει κάτω από την θερμοκρασία Curie, παρόλα αυτά λόγω χημικών διεργασιών (χημική ή κρυσταλλική παραμένουσα μαγνήτιση) δημιουργούνται νέα ορυκτά, όπως ο αιματίτης (Fe_2O_3), τα οποία σχηματίζονται κατευθείαν σε σιδηρομαγνητική φάση αποκτώντας αμέσως τον προσανατολισμό του μαγνητικού πεδίου.
- iii) Θραυσματοπαγής παραμένουσα μαγνήτιση (Detrital Remnant Magnetization – DRM), που συμβαίνει στα κλαστικά ιζηματογενή πετρώματα, καθώς κατά την μεταφορά των κόκκων ορυκτών (συνήθως πυριγενών πετρωμάτων) με ήδη υπάρχουσα μαγνήτιση μέσα σε κάποιο

υγρό μέσο, αυτοί προσανατολίζονται βάση του εκάστοτε μαγνητικού πεδίου και διατηρούν τον προσανατολισμό αυτό μέσα στο ίζημα.

Δεδομένου ότι οι σχηματισμοί της θέσης KMN είναι ιζήματα, μόνο οι τύποι CRM και DRM θεωρούνται εφικτό να παρατηρηθούν.

Κατά την μαγνητοστρωματογραφική μελέτη, προσδιορίζεται με την χρήση του παλαιομαγνητισμού η διεύθυνση του μαγνητικού πεδίου από τους μαγνητικούς φορείς του κάθε πετρώματος, δηλαδή οι γωνίες της απόκλισης και την έγκλισης. Η διεύθυνση αυτή είναι είτε θετική (αντίστοιχη με το σημερινό πεδίο) ή ανάστροφη. Στην συνέχεια δημιουργείται ένα διάγραμμα που θυμίζει «bar-code» για την εξεταζόμενη θέση. Με μαύρο χρώμα απεικονίζονται τα διαστήματα της κανονικής πολικότητας ενώ με άσπρο της ανάστροφης. Το διάγραμμα που έχει προκύψει στην συνέχεια συγκρίνεται με τη Παγκόσμια Γεωμαγνητική Κλίμακα Πολικότητας (Geomagnetic Polarity Time Scale – GPTS) με την ελπίδα τα δεδομένα που έχουν προκύψει να ταιριάζουν σε ένα γνωστό μαγνητοστρωματογραφικό εύρος. Η GPTS αποτελεί ένα αρχείο στο οποίο είναι αποτυπωμένες οι αναστροφές του μαγνητικού πεδίου της Γης για συγκεκριμένες περιόδους του γεωλογικού χρόνου (Άνω Πέρμιο – Τριαδικό, Κρητικό – Ολόκαινο), το οποίο έχει προκύψει από τις μαγνητικές ανωμαλίες του ωκεάνιου φλοιού σε συνδυασμό με το παγκόσμιο μαγνητοστρωματογραφικό αρχείο (Langereis et al. 2010).

2. Μεθοδολογία Καταγραφής

2.1 Στρωματογραφία

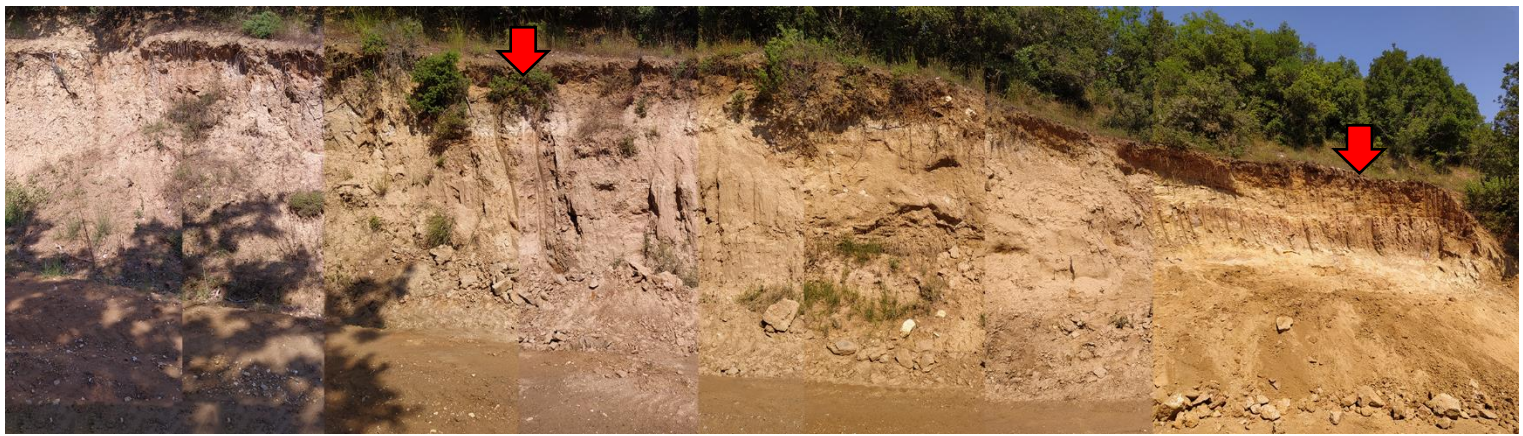
Για την καταγραφή της στρωματογραφίας βασικό πρώτο βήμα αποτέλεσε ο καθαρισμός της θέσης από την φυτοκάλυψη και τα πεσμένα χώματα από προηγούμενες βροχές. Η διαδικασία ξεκίνησε με την χρήση βαρέων μηχανημάτων για την αφαίρεση του μεγαλύτερου όγκου των εμποδίων.

Στην συνέχεια για την πιο λεπτομερή δουλειά, η παρέμβαση έγινε με εργαλεία χειρός όπως γεωλογικό σφυρί, αξίνα, μυστρί, καλέμι και πινέλο. Με την χρήση αυτών, ανοίχτηκαν οι δύο στρωματογραφικές τομές, η KMN-1 και η KMN-2 (Σχ. 3). Βάση αυτών, έγινε η καταγραφή της στρωματογραφίας της θέσης.

Οι επιφάνειες των δύο τομών αποξύθηκαν με εργαλεία χειρός για την δημιουργία λείων επιφανειών έτσι, ώστε να είναι ευκολότερη η παρατήρηση των οριζόντων που

αποτελούσαν την κάθε λιθοστρωματογραφική ενότητα. Σε κάθε μια από τις τομές τοποθετήθηκε μεζούρα για την μέτρηση τους πάχους του κάθε ορίζοντα και του συνολικού ύψους της τομής που εξετάσθηκε.

Η καταγραφή των οριζόντων έγινε *in situ*, με οπτική παρατήρηση δίχως την χρήση κοκκομετρικής ανάλυσης, ενώ για την χρονολόγηση της θέσης αξιοποιήθηκαν τα απολιθώματα που βρίσκονταν σε έναν από τους ορίζοντες.



Σχήμα 3: Πανοραμική εικόνα του πρανούς στην θέση KMN. Με βέλη σημειώνονται οι δύο θέσεις λήψης στρωματογραφικών και μαγνητοστρωματογραφικών δεδομένων KMN-1 (αριστερά) και KMN-2 (δεξιά).

2.2 Παλαιομαγνητισμός

Με το πέρας της στρωματογραφικής καταγραφής της θέσης, ξεκίνησε η δειγματοληψία για την διεξαγωγή της παλαιομαγνητικής μελέτης.

Αν και ο αρχικός στόχος ήταν να ληφθούν δείγματα από όλους τους ορίζοντες που καταγράφηκαν, αυτό ήταν τελικά δυνατό μόνο για τους κατώτερους και ενδιάμεσους ορίζοντες, καθώς οι ανώτεροι δεν ήταν αρκετά συνεκτικοί ώστε να μπορέσουν να αποσπαστούν τεμάχια/«blocks».

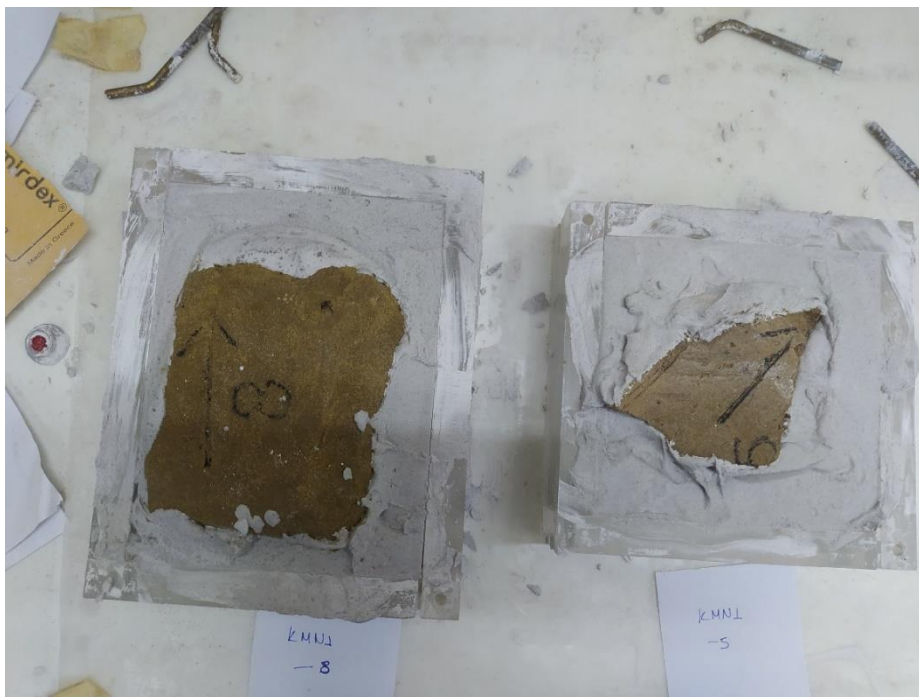
Για όσους ορίζοντες ήταν εφικτή η δειγματοληψία, χαράχθηκαν «blocks» με την χρήση εργαλείων χειρός (γεωλογικό σφυρί, φαλτσέτα και σκεπάρνι) πάνω στην επιφάνεια του πρανούς, ανά ~10 εκ. στην στήλη KMN-2 και ανά ~20 εκ. στην στήλη KMN-1. Στην συνέχεια με την χρήση γεωλογικής πυξίδας, υπολογίσθηκε το αζιμούθιο κάθε «block» και καταγράφηκε. Στην επάνω επιφάνεια του καθενός χαράχθηκε βέλος με κατεύθυνση τον βορρά και υπολογίσθηκε η κλίση της, καθώς και αριθμήθηκε βάση της στήλης από όπου λήφθηκε (Σχ. 4).



Σχήμα 4: Συλλογή "block" για την έναρξη της μαγνητοστρωματογραφικής μελέτης.

Στην συνέχεια τα «μπλοκ» αποσπάστηκαν με προσοχή από το πρανές και μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο. Εκεί, εμποτίστηκαν με ειδική ρητίνη αποτελούμενη από ορθοπυριτικό τετρααιθυλεστέρα ($\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$) και στην συνέχεια δόθηκε αρκετός χρόνος για την συμπαγοποίηση τους, ώστε να αυξηθεί η συνεκτικότητα και η αντοχή των δειγμάτων. Μόλις τα δείγματα κρίθηκαν έτοιμα, το καθένα κόπηκε με την χρήση ηλεκτρικού τροχού για να αποκτήσει το κατάλληλο μέγεθος.

Τα κομμένα πλέον τεμάχια μεταφέρθηκαν σε καλούπια και με την χρήση γεωλογικής πυξίδας, το προηγουμένως καταγεγραμμένο αζιμούθιο, ευθυγραμμίστηκε ώστε να βρίσκεται παράλληλα με το έδαφος. Ταυτόχρονα κατά αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται και η ευθυγράμμιση της πάνω επιφάνεια του κάθε δείγματος. Τα ευθυγραμμισμένα τεμάχια εγκλείστηκαν μέσα στα καλούπια από γύψο ώστε να μείνει σταθερός ο προσανατολισμός τους (Σχ. 5). Αφού δόθηκε επαρκής χρόνος για να στερεοποιηθεί η γύψος, τα δείγματα αφαιρέθηκαν από τα καλούπια τους και με την χρήση ειδικού τρυπανιού λήφθηκαν από αυτά κυλινδρικοί πυρήνες (Σχ. 6). Αυτοί με την σειρά τους ξανακόπηκαν για να αποκτήσουν το κατάλληλο ύψος, 2,5 εκατοστά, και πάνω στον κάθε κομμένο πυρήνα, σημειώθηκε ο κατάλληλος προσανατολισμός (ανάλογα το δείγμα από όπου κόπηκε) και ονοματίστηκε (Σχ. 7). Αυτό αποτελεί και το τελευταίο μέρος της προετοιμασίας των δειγμάτων καθώς στην συνέχεια μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο όπου έγινε και η μέτρηση των μαγνητικών τους ιδιοτήτων.



Σχήμα 5: Δείγματα της στήλης KMN1 εγκλεισμένα στην γύψο, δεξιά τους η μικρή γεωλογική πυξίδα που χρησιμοποιήθηκε για την ευθυγράμμιση.



Σχήμα 6: Δείγματα μετά από επιτυχή πυρηνοληψία.



Σχήμα 7: Δείγματα έτοιμα για τις μαγνητικές μετρήσεις.

Η πρώτη μέτρηση που έγινε αφορούσε την Φυσική Παραμένουσα Μαγνήτιση (Natural Remnant Magnetism – NRM), μέγεθος που δείχνει την συνολική μαγνήτιση κάθε δείγματος πριν από την απομαγνήτισή τους. Κατά την διαδικασία αυτή, οι μετρήσεις έγιναν με την χρήση ενός περιστροφικού μαγνητόμετρου (JR6, Agico) (Σχ. 8) , στο οποίο τοποθετήθηκαν τα δείγματα ένα-ένα και για το κάθε δείγμα λήφθηκαν τέσσερις μετρήσεις σε διαφορετικούς προσανατολισμούς, δύο για τον άξονα x του δείγματος και δύο για τον άξονα y. Η πρώτη μέτρηση για κάθε άξονα έγινε με τον άξονα z θετικό ενώ η δεύτερη με τον z αρνητικό. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων μεταφέρθηκαν σε διάγραμμα στερεογραφικής αξιμουθιακής προβολής (διάγραμμα Schmidt) για μεταγενέστερη ερμηνεία.



Σχήμα 8: Το περιστροφικό μαγνητόμετρο που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις NRM, ARM και IRM.

Η επόμενη μέτρηση που έλαβε χώρα ήταν η απομαγνήτιση των δειγμάτων. Για τους σκοπούς της μέτρησης επιλέχθηκε συγκεκριμένος αριθμός δειγμάτων. Η απομαγνήτιση πραγματοποιήθηκε με εναλλασσόμενο πεδίο και χρησιμοποιήθηκε ένας απομαγνητιστής (Molspin demagnetizer)(Σχ. 9). Η συσκευή παρήγαγε πεδίο εναλλασσόμενου ρεύματος μέσα στο οποίο τοποθετούνταν τα δείγματα ενώ περιστρέφονταν. Για την πλήρη απομαγνήτιση τα δείγματα χρειάστηκε να τοποθετηθούν στον απομαγνητιστή σε διαφορετικά πεδία ισχύος, ξεκινώντας από τα 5mT (Millitesla) και φτάνοντας μέχρι τα 100mT, με ένα σταθερό βήμα 5mT για τα πρώτα 6 στάδια της απομαγνήτισης (5, 10, 15, 20, 25, 30) ενώ στην συνέχεια το βήμα έγινε 10mT για τα τελευταία στάδια (40, 50, 60, 70, 80, 90, 100). Μεταξύ κάθε διαδοχικού απομαγνητισμού ενός δείγματος, γινόταν μέτρηση του στο μαγνητόμετρο για να μετρηθεί η παραμένουσα μαγνήτιση και να ελεγχθεί αν είχαν απομακρυνθεί όλες οι ανεπιθύμητες συνιστώσες ή χρειαζόταν περαιτέρω απομαγνήτιση σε μεγαλύτερο πεδίο.

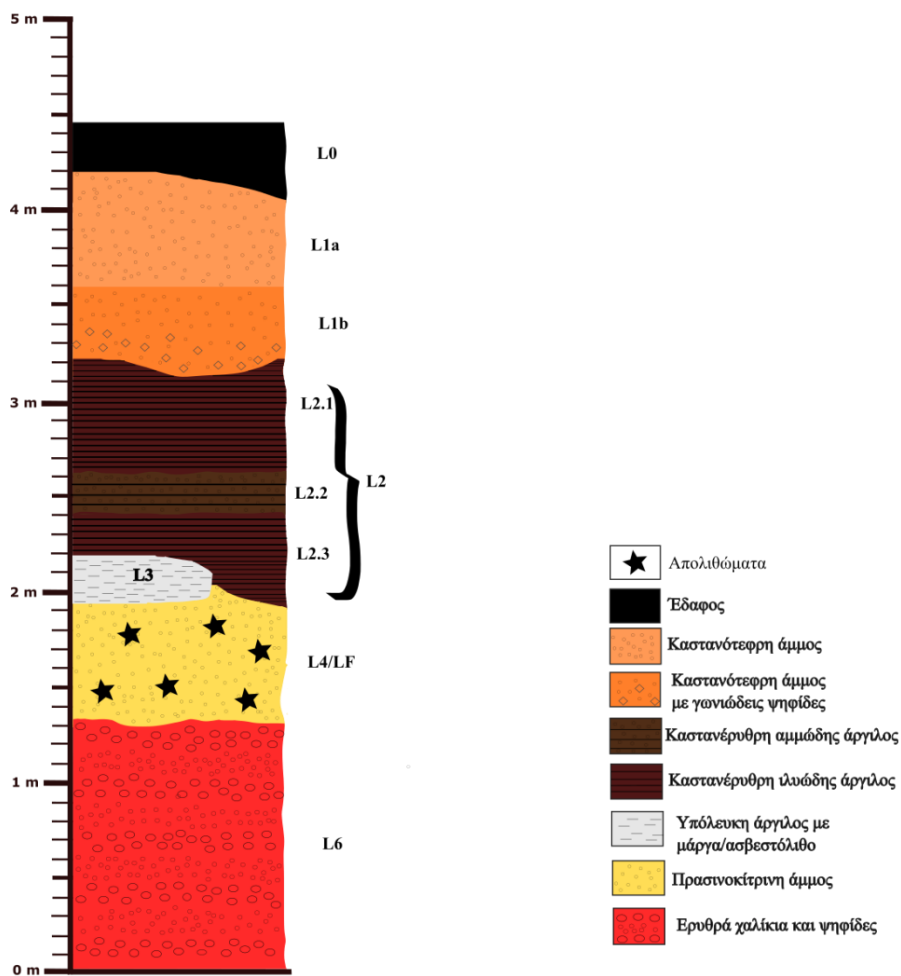


Σχήμα 9: Απομαγνητιστής εναλλασσόμενου πεδίου.

Τα αποτελέσματα των επιλεγμένων δειγμάτων προβλήθηκαν σε ορθοκανονικά διαγράμματα και διαγράμματα Zilderveld για να μπορέσει να δοθεί η τελική τους ερμηνεία.

Στο παρακάτω κεφάλαιο περιγράφονται αναλυτικά οι δύο στρωματογραφικές τομές, KMN-1 και KMN-2, που μελετήθηκαν στην απολιθωματοφόρο θέση Krimni-3 (KMN). Η τομή 2 ανοίχθηκε περίπου 12 μέτρα αριστερά της τομής 1 και ακριβώς στο σημείο του κύριου απολιθωματοφόρου κοιτάσματος (Σχ. 3)

KMN-1



Σχήμα 10: Γραφική απεικόνιση της στρωματογραφίας της τομής KMN-1.

Η τομή KMN-1 (Σχ. 10) είχε συνολικό ύψος σχεδόν 440 εκατοστά, και αποτελούνταν από 6 διαφορετικούς ορίζοντες, οι οποίοι παρατίθενται από τους ανώτερους προς τους κατώτερους. Από αυτούς τους 6 ορίζοντες, για τον σκοπό της μαγνητοστρωματογραφίας λήφθηκαν δείγματα από τους τρεις (ορίζοντες 2,3 και 4), λόγω της μη συνεκτικότητας των υλικών των υπολοίπων.

- Ορίζοντας 0 (Unit L0): εδαφικός ορίζοντας από αποσαθρωμένο και οργανικό υλικό, πάχους 15-20 εκατοστά.
- Ορίζοντας 1 (Unit L1) λόγω ελαφριάς διαφοροποίησης χωρίστηκε στους ορίζοντες 1α και 1β (Unit L1a, L1b).

Ο ορίζοντας 1α αποτελείται από καστανότεφρες μη συνεκτικές άμμους με διασταυρούμενη στρώση κατά τόπους. Παρατηρήθηκε η μικρής έκτασης παρουσία πολύ λεπτών μελανών ενστρώσεων από οξειδία του μαγγανίου. Το πάχος του ορίζοντα 1α κυμαινόταν μεταξύ 50-65 εκατοστών.

Ο ορίζοντας 1β αποτελείται από καστανότεφρες μη συνεκτικές άμμους με πολύ έντονη παρουσία, ψηφίδων, λατυπών και γωνιωδών ψηφίδων ιδίως στα χαμηλότερα σημεία του. Στην βάση του 1β παρατηρήθηκε ένστρωση πάχους 2-3 εκατοστών με λατύπες που επέμενε για όλο το μήκος του ορίζοντα. Πολύ εντονότερη σε σχέση με τον 1α η παρουσία οξειδωμένων φλεβών μελανού ή ερυθρού χρώματος, και σε συχνότητα και σε μέγεθος (Σχ. 12). Το πάχος του 1β έφτανε τα 45-50 εκατοστά.

- Ορίζοντας 2 (Unit L2): πρόκειται για έναν καστανοκόκκινο αμμώδη – ιλυοαργιλώδη ορίζοντα μεγάλης σκληρότητας και πολύ μεγάλης συνεκτικότητας. Στο ενδιάμεσο του ορίζοντα εντοπίζεται ελαφρά διαφοροποίηση στην κοκκομετρία του, γι' αυτό και ο ορίζοντας διαχωρίστηκε σε 3 μέλη, L2.1 πάχους ~65 εκατοστών, L2.2 πάχους ~20 εκατοστών και L2.3 πάχους 30-45 εκατοστών. Τα μέλη L2.1 και L2.3 χαρακτηρίζονται από αυξημένο ποσοστό αργίλου ενώ το L2.2 από αυξημένο ποσοστό άμμου.
- Ορίζοντας 3 (Unit L3): υπόλευκη, αργιλοαμμώδης ενότητα με ασβεστίτικο ή μαργαϊκό υλικό, μεγάλης σκληρότητας, που διακόπτεται ξαφνικά (Σχ. 13). Τα πάχος της παραμένει σταθερά ~20 εκατοστά.
- Ορίζοντας 4 / F (Unit L4/F): αποτελείται από πρασινότεφρες ή πρασινοκίτρινες, μη συνεκτικές και μαλακές άμμους. Κατά τόπους παρατηρούνται αργιλικοί φακοί και οξειδωμένοι ορίζοντες, ενώ σε αυτόν εντοπίζονται και τα

απολιθώματα της θέσης Krimni – 3. Το πάχος του ορίζοντα 4 κυμαίνεται μεταξύ των 70-80 εκατοστών.

- Ορίζοντας 6 (Unit L6): ενότητα αποτελούμενη από ερυθρότεφρες ψηφίδες και χαλίκια με έντονη οξείδωση, χωρίς μεγάλη συνεκτικότητα. Σε όλο το μήκος της εντοπίστηκαν ενστρώσεις από πιο χοντρόκοκκα ή πιο λεπτόκοκκα υλικά, καθώς και μεγάλες ενστρώσεις οξειδίων του μαγγανίου και του σιδήρου (Σχ. 14).



Σχήμα 11: Η στήλη KMN-1, χωρίς τον L6.



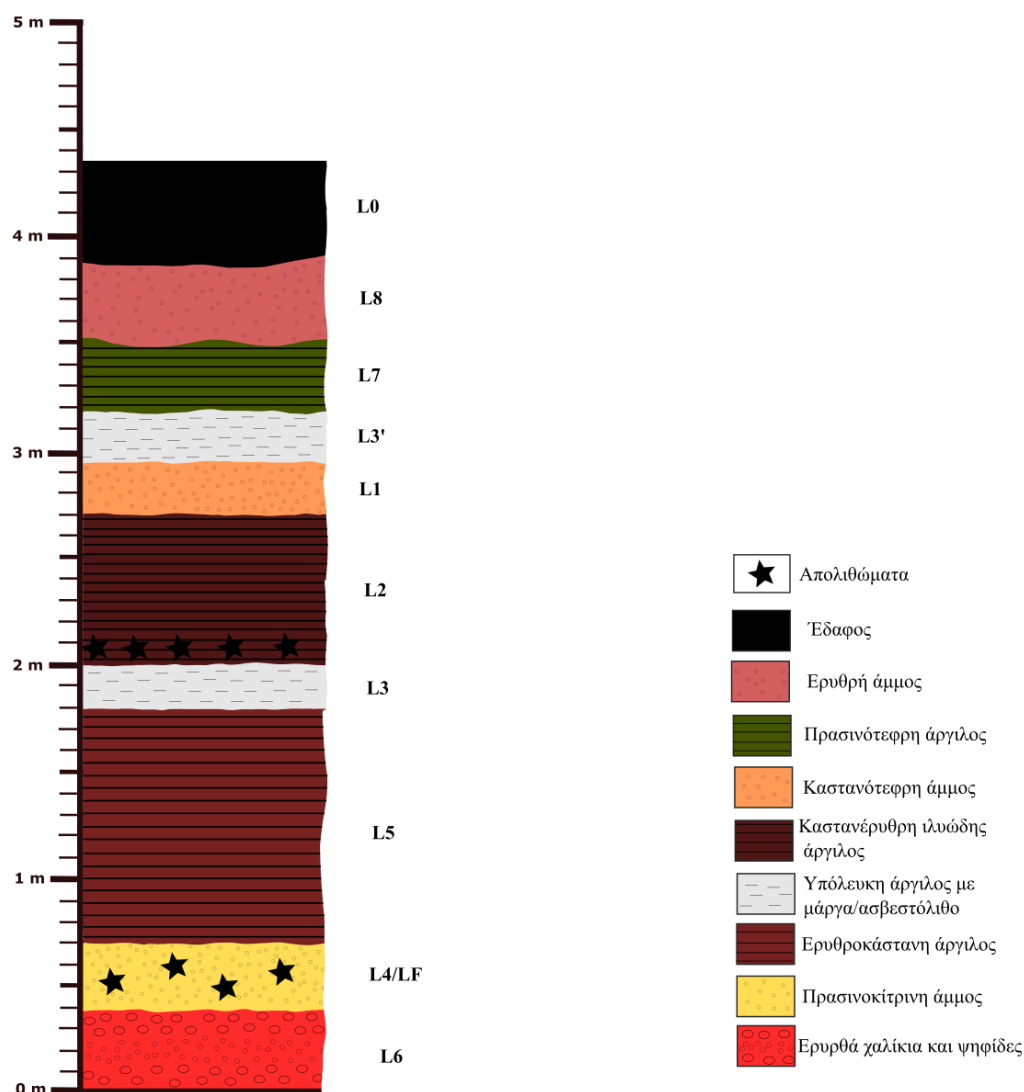
Σχήμα 12: Οξειδωμένες ενστρώσεις στον ορίζοντα L1b.



Σχήμα 13: Ο ορίζοντας L3, στο σημείο όπου διακόπτεται.



Σχήμα 14: Ο οξειδωμένος ορίζοντας L6.



Σχήμα 15: Σχηματική απεικόνιση της στρωματογραφίας της τομής KMN-2.

Η τομή KMN-2 (Σχ. 15-16) είχε συνολικό ύψος σχεδόν 430 εκατοστά και αποτελούνταν από 10 διαφορετικούς ορίζοντες κάποιους από τους οποίους είναι αντίστοιχοι της στήλης KMN-1, για τον λόγο αυτό διατηρείται ή ίδια κωδικοποίηση. Σε όλο το ύψος της τομής εντοπίζονται σχεδόν κάθετες διαρρήξεις

στους σχηματισμούς πάχους <1 εκατοστού, πληρωμένες με ασβεστιτικό υλικό. Οι ορίζοντες εξετάζονται αναλυτικά στην συνέχεια από τους ανώτερους προς τους κατώτερους. Λόγω της μικρής έως μηδενικής συνεκτικότητας των υλικών, μπόρεσαν να παρθούν δείγματα για την μαγνητοστρωματογραφική καταγραφή μόνο από τους μεσαίους και χαμηλότερους ορίζοντες (ορίζοντες 2,3,4 και 5).

- Ορίζοντας 0 (Unit L0): εδαφικός ορίζοντας αποτελούμενος από αποσαθρωμένο και οργανικό υλικό, πάχους ~40 εκατοστών.
- Ορίζοντας 8 (Unit L8): αποτελείται από ερυθρή οξειδωμένη λεπτόκοκκη άμμο, χωρίς καθόλου συνεκτικότητα (Σχ. 17). Τα πάχος της έφτανε τα 50-55 εκατοστά.
- Ορίζοντας 7 (Unit L7): πρασινότεφρη κολλώδης άργιλος, δίχως συνεκτικότητα με πιθανή παρουσία οστέινων θραυσμάτων. Το πάχος της υπολογίζεται σε λίγο λιγότερο από 30 εκατοστά.
- Ορίζοντας 3' (Unit L3'): αποτελεί ορίζοντα αντίστοιχο του L3. Στο σημείο παρατήρησης υπήρχε αυξημένος αριθμός γωνιωδών ψηφίδων (Σχ. 18) Το πάχος του ξεπερνά κατά λίγο τα 20 εκατοστά.
- Ορίζοντας 1 (Unit L1): καστανότεφρος αμμώδης ορίζοντας με διασταυρούμενη στρώση σε όλη του την έκταση, αντίστοιχος του L1a της KMN-1 και πάχους ~25 εκατοστών.
- Ορίζοντας 2 (Unit L2): ενότητα με καστανή ή καστανοκόκκινη άργιλο, μεγάλης συνεκτικότητας και πλαστικότητας. Είναι αντίστοιχος του ορίζοντα L2 από την KMN-1 αν και απουσιάζει το αμμώδες τμήμα L2.2. Στην βάση του βρέθηκαν θραύσματα οστών (Σχ. 19). Το πάχος του αγγίζει τα ~70 εκατοστά.
- Ορίζοντας 3 (Unit L3): αντίστοιχος της KMN-1, υπόλευκος αργίλοαμμώδης ορίζοντας με παρουσία μάργας ή ασβεστόλιθου μεγάλης σκληρότητας και συνεκτικότητας, πάχους ~20 εκατοστών.
- Ορίζοντας 5 (Unit L5): ερυθροκάστανη ιλυοαργιλώδης ενότητα, μεγάλης συνεκτικότητας και σκληρότητας. Στο μέσο του, παρατηρήθηκαν τοπικές λεπτοστρωματώδεις δομές και φακοί με παρουσία άμμου. Ο ορίζοντας L5 φαίνεται να χάνεται με πλευρική μετάβαση προς την τομή KMN-1, ενώ το πάχος του στο σημείο παρατήρησης φτάνει τα 110 εκατοστά.
- Ορίζοντας 4/F (Unit L4/F): αμμώδης ορίζοντας αντίστοιχος της KMN-1, πρασινότεφρης ή πρασινοκίτρινης λεπτόκοκκης άμμου, μεγάλης μαλακότητας

και μη συνεκτικός με διαταραγμένη στρώση και μια τοπική ένστρωση με αποστρογγυλεμένες κροκάλες στην βάση του. Το πάχος του στο σημείο παρατήρησης φτάνει μόλις τα 30 εκατοστά.

- Ορίζοντας 6 (Unit L6): ενότητα από αποστρογγυλεμένες και σφαιρικές ψηφίδες και χαλίκια ερυθρού χρώματος λόγω οξείδωσης. Τα υλικά μεταξύ τους ήταν χαλαρά, με μικρή συνεκτικότητα, ενώ χαρακτηρίζεται από διάφορα μεγέθη με κακή ταξινόμηση. Το πάχος του φτάνει τουλάχιστον τα 40 εκατοστά, αφού εκεί σταμάτησε και η παρατήρηση.



Σχήμα 16: Η πλήρης έκταση την KMN-2 στο πρανές.



Σχήμα 18: Οι ορίζοντες L3', L1 και L2.

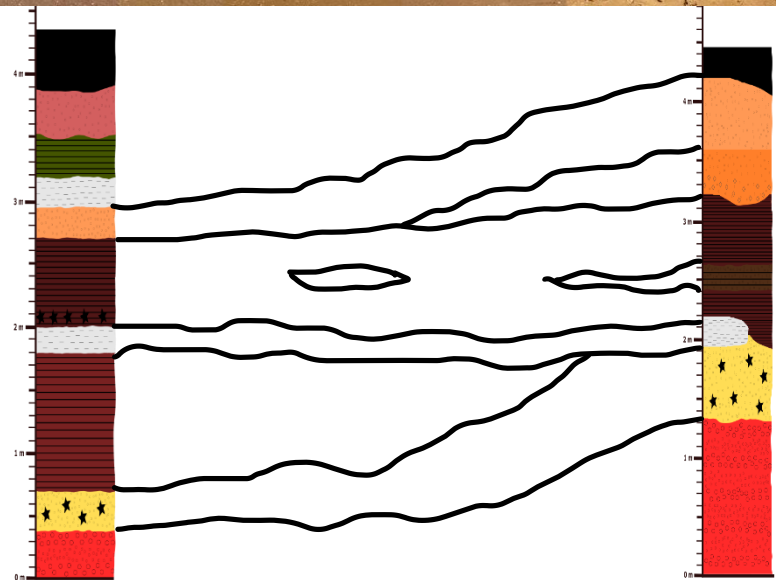
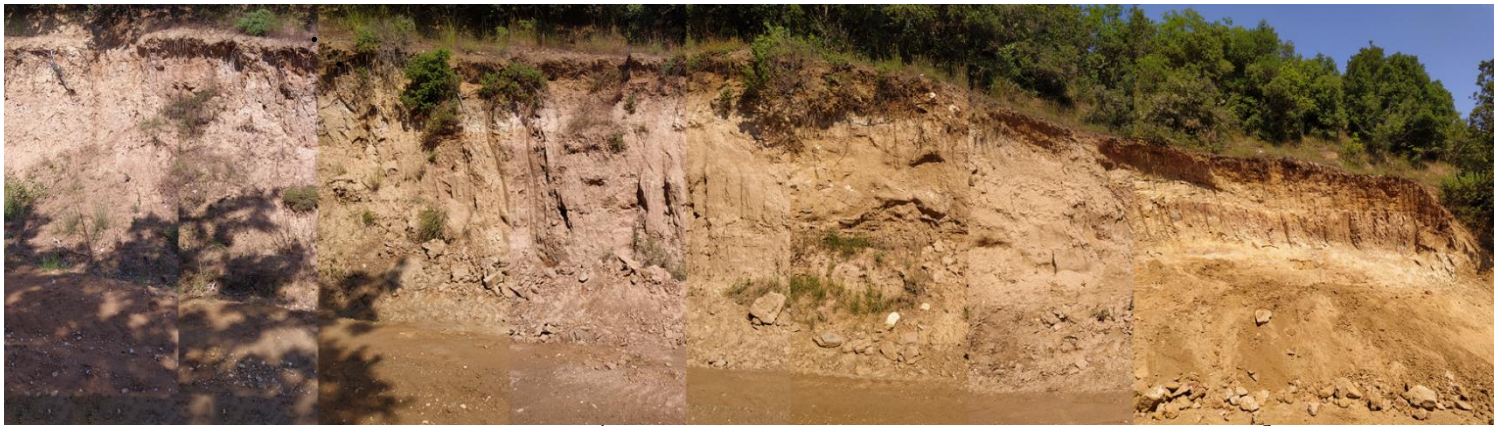


Σχήμα 17: Οι ορίζοντες L7 και L8.



Σχήμα 19: Θραύσματα οστών που βρέθηκαν στον L2 στην KMN-2.

Το σχήμα 20 αποδίδει την σύνοψη της στρωματογραφίας της απολιθωματοφόρου θέσης Κρήμνη-3 (KMN).



Σχήμα 20: Πανοραμική εικόνα του πρανούς στην θέση KMN με τις δύο στρωματογραφικές στήλες και τον πιθανό συσχετισμό τους.

3.1.1 Παλαιοπεριβάλλοντα

Η θέση Krimni-3, όπως έχει ήδη αναφερθεί, βρίσκεται μέσα στα ερυθροστρώματα του Σχηματισμού της Γερακαρούς, ένα σύνολο χερσαίων ιζημάτων κυρίως ποταμοχειμάρριας προέλευσης. Βάση ορισμένων χαρακτηριστικών μικροδομών, καθώς και της συνολικής διάταξης της στρωματογραφίας της περιοχής παρατήρησης έγινε δυνατόν να δοθεί μια πρώτη ερμηνεία για το παλαιοπεριβάλλον που δημιουργήσε τα ιζήματα της θέσης KMN.

Και στις δύο στήλες που εξετάστηκαν, αν και πολύ πιο ξεκάθαρα στην στήλη KMN-1, φαίνεται η μετάβαση από πιο χονδρόκοκκα σε πιο λεπτόκοκκα υλικά από τους

χαμηλότερους στους υψηλότερους ορίζοντες, με το μοτίβο αυτό να επαναλαμβάνεται. Στην στήλη KMN-1, ο ορίζοντας L6 αποτελείται από χαλίκια, ακολουθούμενος από τις άμμους και αργίλους των L4 και L2 αντίστοιχα, ενώ η εικόνα αυτή επαναλαμβάνεται στους ορίζοντες L1a και L1b. Στην στήλη KMN-2, παρατηρείται το ίδιο φαινόμενο, αρχίζοντας από τον ορίζοντα L6 και καταλήγοντας στον L2, με τους L4 και L5, να βρίσκονται ενδιάμεσα, και η επανάληψη του να εντοπίζεται στους ορίζοντες L1 και L7. Το στρωματογραφικό αυτό προφίλ φαίνεται να ταιριάζει σε εκείνο ενός μαιανδρικού ποταμού (Einsele, 2000).

Οι ορίζοντες L3 και L3' παρουσιάζουν ενδιαφέρον καθώς φαίνεται να διακόπτουν την ακολουθία των ιζημάτων. Και οι δύο ορίζοντες αποτελούνται από ασβεστιτικά συγκρίματα ή ασβεστιτικούς κονδύλους (calcareous concrete – calcrete), δομή σχηματίζεται σε ξηρά και θερμά (arid) κλίματα, όταν υπάρχει παύση της ιζηματογένεσης και τα υλικά εκτίθενται στον ατμοσφαιρικό αέρα (subaerial sediment) ενώ ταυτόχρονα γίνεται συσσώρευση ασβεστιτικού υλικού από μετεωρικά ύδατα ή υπερχειλίση των υπόγειων υδροφορέων (Σχ. 21). Οι δομές αυτές κατά την διάρκεια της δημιουργίας τους λειτουργούν σαν παλαιοεδάφη, μέχρι να καλυφθούν από τα νέα ιζήματα (Alonzo-Zarza and Tanner, 2010). Οι «arid» οξειδωτικές συνθήκες φαίνεται να ενισχύονται από την έντονη οξειδωμένη εμφάνιση των περισσότερων λιθοστρωματογραφικών ενοτήτων, καθώς και από τους ορίζοντες οξειδίων του μαγγανίου και του σιδήρου μέσα στους L1a, L1b, L4 και L6.



Σχήμα 21: Οι κόνδυλοι ασβεσίτη, ορατοί στον ορίζοντα L3'.

Οι επαφές μεταξύ των περισσότερων οριζόντων ήταν ανώμαλες και διαβρωμένες, δημιουργώντας μέχρι και δομές τύπου «scour and fill», όπως στην περίπτωση της επαφής των L1b με τον L2.1 (Σχ. 22). Ακόμα η επαναλαμβανόμενη διαβαθμισμένη στρώση στον ορίζοντα L6 και L1b, η διασταυρούμενη στρώση στους ορίζοντες L1a (Σχ. 23) και τους αμμόδεις φακούς του L5 (δείχνοντας έτσι την αλλαγή στην κίνηση της κοίτης του ποταμού) καθώς και η λεπτοστρωματώδεις δομές στους ορίζοντες L2 και L5 (Σχ. 24), οδηγούν προς το συμπέρασμα πως ο ποταμός που δημιούργησε την θέση αυτή επηρεαζόταν από συχνά ή και τακτικά πλημμυρικά φαινόμενα (Einsele, 2000).



Σχήμα 22: Διαβρωσιγενής δομή, τύπου "scour and fill".



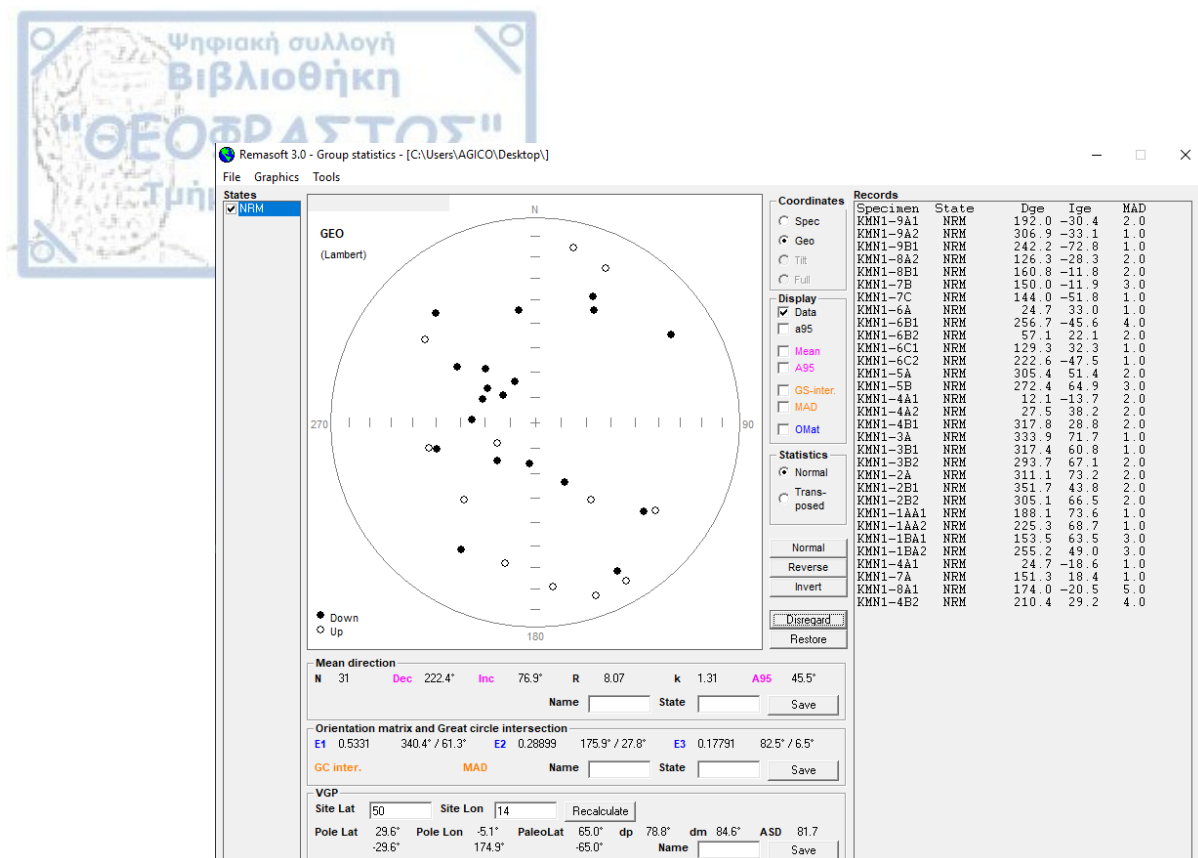
Σχήμα 23: Διασταυρούμενη στρώση στον αμμώδη ορίζοντα L1a.



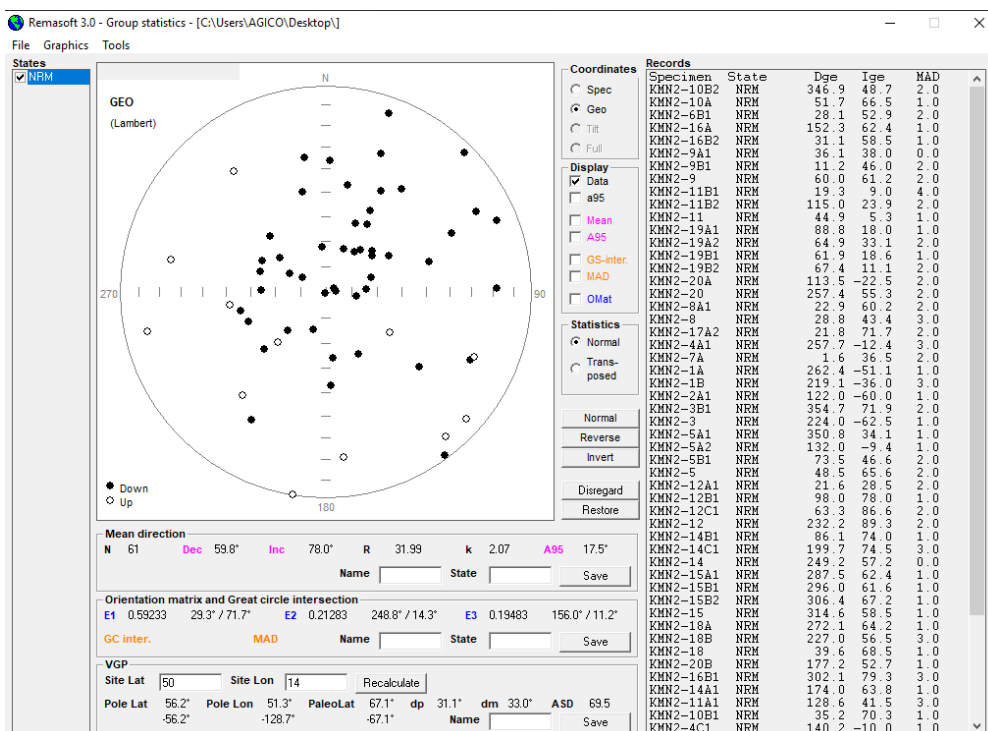
Σχήμα 24: Λεπτοστρωματώδεις δομές στον αργιλικό ορίζοντα L5.

3.2 Παλαιομαγνητισμός

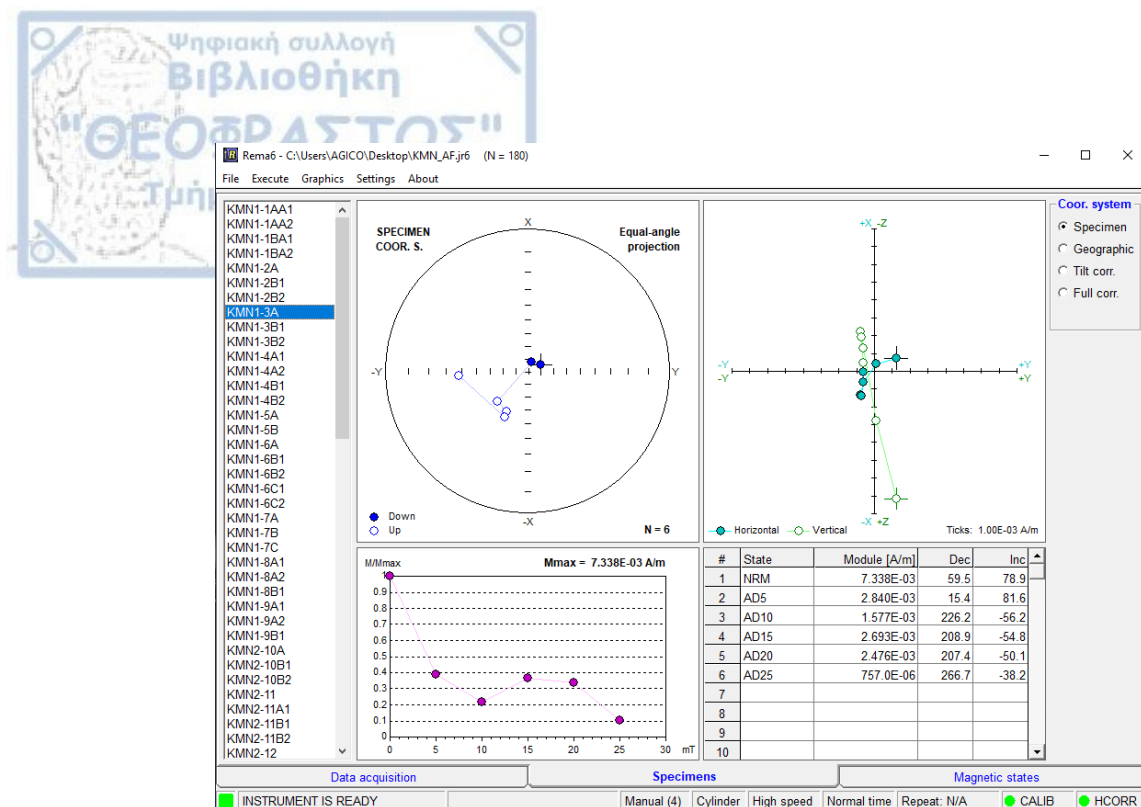
Με το πέρας των μετρήσεων, φάνηκε πως τα δείγματα της περιοχής μελέτης δεν ήταν κατάλληλα για διεξαγωγή παλαιομαγνητικής μελέτης. Κατά την διάρκεια των μετρήσεων NRM, μεγάλος αριθμός των δειγμάτων φάνηκε να παρέχει λανθασμένες τιμές ενώ άλλα, τιμές δίχως φυσική σημασία (Σχ. 25-26). Αντίστοιχα, στα δείγματα που επιλέχθηκαν για απομαγνήτιση λίγα μόνο μπόρεσαν να απομαγνητιστούν (Σχ. 27), ενώ η πλειοψηφία φαινόταν να μην μπορεί να απομαγνητιστεί (Σχ. 28).



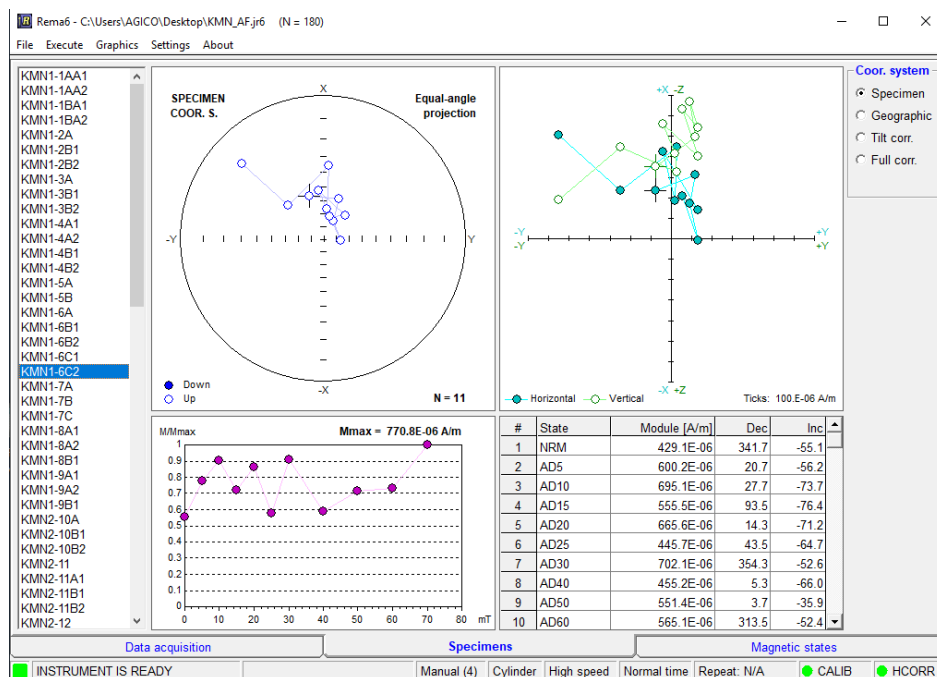
Σχήμα 25: Κατανομή τιμών NRM των δειγμάτων της στήλης KMN-1. Στο διάγραμμα οι θετικές τιμές (μαύρες κουκίδες) θα έπρεπε να προβάλλονται στο επάνω ημικύκλιο, ενώ οι αρνητικές τιμές (λευκές κουκίδες) στο κάτω ημικύκλιο.



Σχήμα 16: Η κατανομή τιμών NRM των δειγμάτων της στήλης KMN-2..



Σχήμα 27: Δείγμα επιδεκτικό στην απομαγνήτιση.



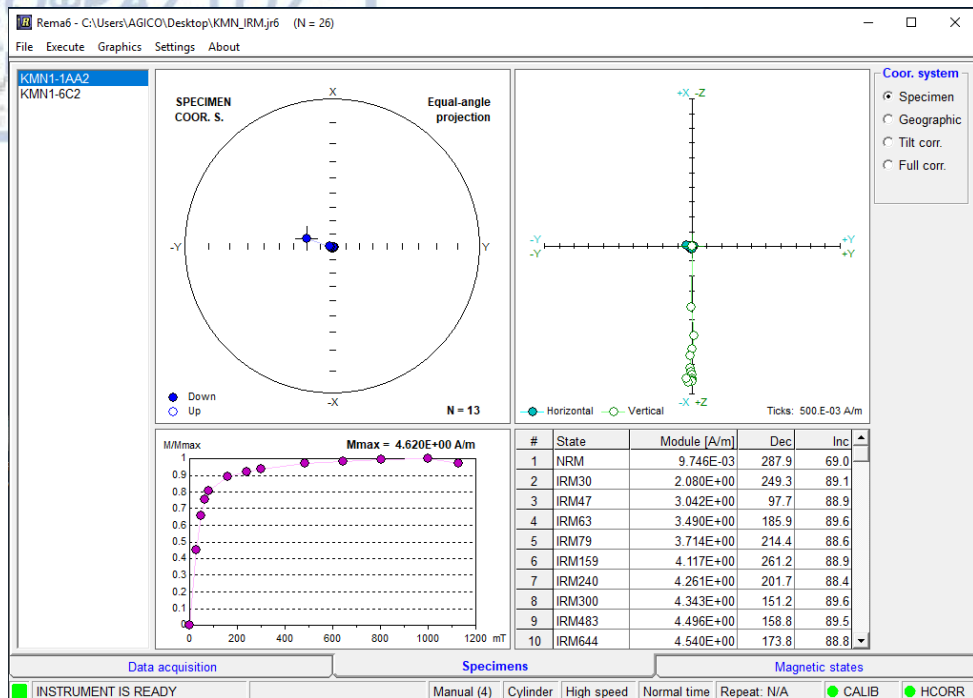
Σχήμα 28: Δείγμα μη επιδεκτικό στην απομαγνήτιση.

Για να επαληθευτεί η αδυναμία των δειγμάτων προς παλαιομαγνητική μελέτη, πραγματοποιήθηκε επιπλέον η μέτρηση της Ισοθερμικής Παραμένουσας Μαγνήτισης (Isothermal Remnant Magnetism – IRM), όπου αξιοποιήθηκε ένας μαγνητιστής παλμού, μηχανήμα που μαγνητίζει τα δείγματα σε συγκεκριμένα μαγνητικά πεδία (Σχ. 29). Με το πείραμα της απόκτησης της Ισόθερμης παραμένουσας μαγνήτισης, είναι

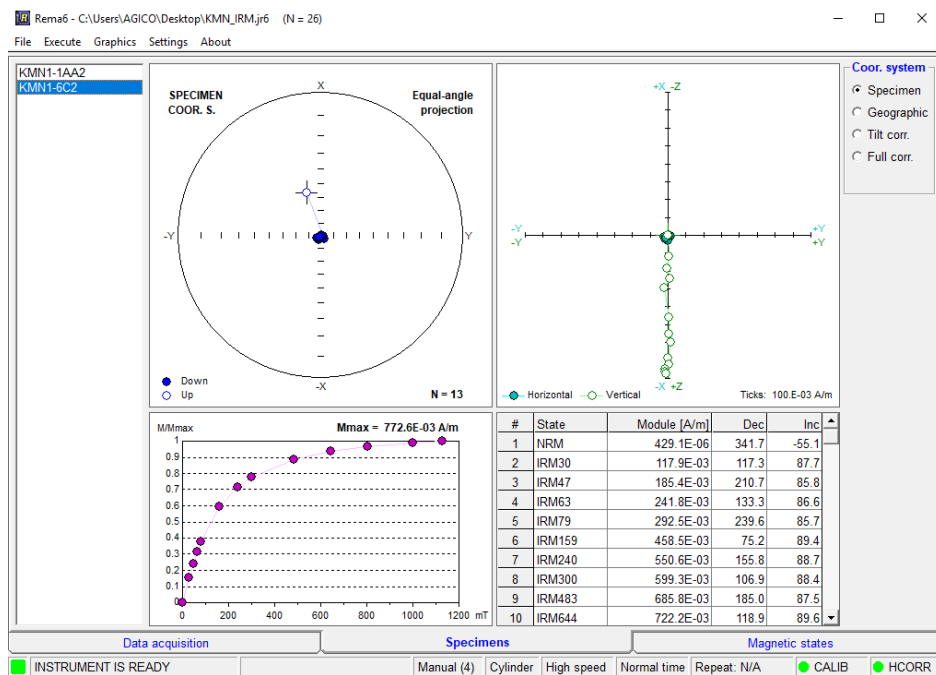
δυνατόν να διερευνηθούν οι κύριοι μαγνητικοί φορείς της μαγνήτισης στο υπό μελέτη δείγμα. Τα μαγνητικά υλικά χαμηλής συνεκτικότητας (όπως είναι ο μαγνητίτης) αποκτούν σε μικρά πεδία την μέγιστη μαγνήτιση τους (μαγνήτιση κορεσμού), ενώ τα μαγνητικά υλικά υψηλής συνεκτικότητας (π.χ. αιματίτης, γκαιτίτης) χρειάζονται πολύ υψηλά πεδία για να κορεσθούν. Τα αποτελέσματα της IRM έδειξαν σε κάποια δείγματα ο κύριος μαγνητικός φορέας να είναι ο μαγνητίτης (Σχ. 30), ενώ τα δείγματα που κατά την απομαγνήτιση με εναλλασσόμενο πεδίο δεν μπόρεσαν να απομαγνητιστούν πιθανότατα περιέχουν αιματίτη ή γκαιτίτη (Σχ. 31).



Σχήμα 29: Μαγνητιστής παλμού.



Σχήμα 30: Δείγμα που περιείχε μαγνητίτη, η καμπύλη μαγνήτισης σου φτάνει την μέγιστη τιμή σε λίγες μόλις μετρήσεις.



Σχήμα 31: Δείγμα που περιείχε γκαϊτίτη ή αιματίτη, η καμπύλη μαγνήτισης του αργεί να πάρει τις μέγιστες τιμές.

4. Συμπέρασμα

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της μαγνητοστρωματογραφίας με σκοπό την χρονολόγηση της απολιθωματοφόρας θέσης Κρήνη 3. Δυστυχώς από την παλαιομαγνητική μελέτη που πραγματοποιήθηκε διαπιστώθηκε ότι τα υπό μελέτη δείγματα ήταν ασθενώς μαγνητισμένα και δεν μπόρεσαν να καταγράψουν ικανοποιητικά την διεύθυνση του μαγνητικού πεδίου κατά την απόθεσή τους. Επιπλέον από το πείραμα μαγνητικής ορυκτολογίας (IRM) προέκυψε ότι στα περισσότερα δείγματα το κύριο μαγνητικό ορυκτό είμαι ο αιματίτης με αποτέλεσμα την μη πλήρη απομαγνήτιση του.

Καθώς η μαγνητοστρωματογραφική προσέγγιση αποδείχθηκε άκαρπη η χρονολόγηση της θέσης Κρήνη-3 θα πρέπει να γίνει βάση των παλαιοντολογικών ευρημάτων της σε συνδυασμό με άλλες ήδη χρονολογημένες απολιθωματοφόρες θέσεις.

Σύμφωνα με τους Kostopoulos et al. (2022), η θέση KMN βρίσκεται βιοχρονολογικά, ανάμεσα από τις θέσεις Tsiotra Vryssi και Apollonia-1, ο οποίες χρονολογούνται στα 1.78-1.5 Ma (Konidaris et al. 2021) και 1.2-1.0 Ma (Koufos and Kostopoulos 2016) αντιστοίχως

Βάση των ιζημάτων και των στρωματογραφικών δομών που παρατηρήθηκαν σε αυτά, κατά το Άνω Βύλλαφράγκιο η περιοχή φαίνεται να πέρασε μια περίοδο με έντονες οξειδωτικές συνθήκες, σε ένα περιβάλλον με υψηλές θερμοκρασίες και χαμηλή υγρασία. Πιθανό αποτελεί το ενδεχόμενο η συγκεκριμένη θέση να σχηματίστηκε από την δράση ενός μαιανδρικού ποταμού, ο οποίος επηρεαζόταν από τα τακτικά πλημμυρικά φαινόμενα ανάμεσα σε περιόδους ήρεμης, ομαλής ροής, ενώ δεν αποκλείεται να πέρασε και εκτεταμένες περιόδους δίχως ροή.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Alonso-Zarza, A.M., and Tanner, L.H., Developments in Sedimentology 61: Carbonates in Continental Settings, The Netherlands, Elsevier, 2010, 225-267.



Borsi et al. 1964-65: Sur l'âge absolu des séries métamorphiques du massif serbo-macédonien au NE de Thessaloniki (Grèce). Ann. Soc. Geol. Du nord., LXXXIV, 223-225, Lille.

Einsele, G., Sedimentary basins: evolution, facies, and sediment budget, Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH, 2000, pp. 29-51.

Georgalas, G. and Galanopoulos, A., 1953: Das groesse Erdbeden der Chalkidike vom 26 September 1932. Bull. Geol. Soc. Greece, 1, 1, 11-65.

Kockel et al., 1971: Geologie des Zerbo-mazdonischen massivs und seines mesozioschen Rahmens (Nordgriechenland). Geol. JB., 89, 529-551, Hannover.

Kockel, F., and Mollat, H., 1977: Erläuterungen zur Geologischenn Karte der Chalkidiki und angrenzender Gebiete 1:100.000 (Nord-Griechenland). Bundesnastalt für Geowissenschaften und Rohstoffe: 1-119.

Koliadimou, K.K., Koufos, G., 1998: Neogene/Quaternary micromammals from Mygdonia Basin (Macedonia, Greece). Rom. J. Stratigraphy 78, 75-82.

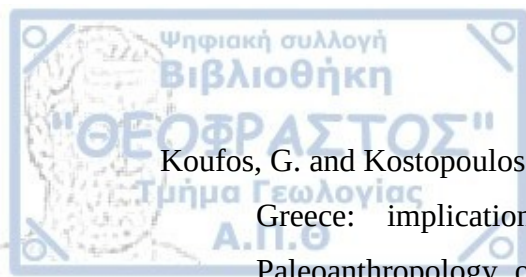
Konidaris, G.E. et al., 2015: Two new vertebrate localities from the Early Pleistocene of Mygdonia Basin (Macedonia, Greece): preliminary results. Comptes Rendus Palevil 14: 253-362.

Konidaris, G. et al. 2021: Dating of the Lower Pleistocene vertebrate site in Tsiotra Vryssi (Mygdonia Basin, Greece): biochronology, magnetostratigraphy and cosmeogenic radionuclides. Quaternary 4: 1-18.

Kostopoulos, D. et al. 2022: The new fossil site Krimni-3 in Mygdonia Basin and the first evidence of a giant ostrich in the Early Pleistocene of Greece. Pal. Zeitschrift (in press).

Koufos G. et al., 1995: Preliminary Results about the stratigraphy and the palaeoenvironment of Mygdonia Basin, Macedonia, Greece. Geobios. Mem. Spec. 18, 243-249.

Koufos, G., Kostopoulos, D., 2013: First report of Brachypotherium Roger 1904 (Rhinocerotidae, Mammalia) in the Middle Miocene of Greece. Geodiversitas 35. 629-641.



Koufos, G. and Kostopoulos, D., 2016: The Plio-Pleistocene large mammal record of Greece: implications for early human dispersals into Europe. In *Paleoanthropology of the Balkans and Anatolia*, eds. K. Harvati, and M. Daksandic, 269-280. Dordrecht: Springer.

Koufos G. Syrides. G. and Koliadimou K., 1989: A new Pleistocene mammal locality from Macedonia (Greece). Contribution to the study of Villafranchian (Villanyian) in Central Macedonia. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 23: 113-124.

Langereis et al., 2010. Magnetostratigraphy – concepts, definitions, and applications. *Newsletter on Stratigraphy*, vol. 43/3, 207-233.

Maravelakis, M., 1936: Σπουδή επί των σεισμών της Χαλκιδικής Ο κρυσταλλοπαγής όγκος Βερτίσκον και οι περίξ αυτού θέρμαι. Προ και μετασεισμική κατάσταση αυτών. Εργαστήριο Ορυκτολογίας-Γεωλογίας-Πετρολογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης αριθ. 7, 1-43, Θεσσαλονίκη.

Mercier, J., 1966: Movements orogeniques at magmatise d'âge jurasique supérieur – éocrétacé dans les zones internes des Hellénides (Macedoine, Grèce). *Rev. Geogr. Phys. et Géol. Dyn.*, VIII, 265-275, Paris.

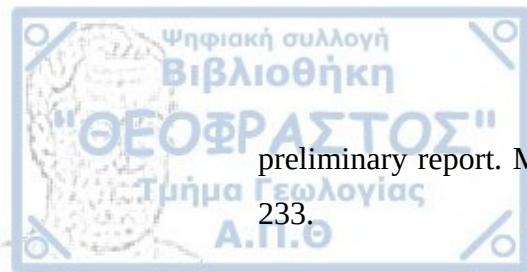
Neubauer, W.H., 1957: Die südgrenze der Rodopen. Ein Beitrag zur stratigraphischen Auflösung der Kristalline der Halbinsel Chalkidike. *Sb. Ak. Wiss., Abt. 1*, 13 d., 166, 1-18, Wien.

Osswald, K., 1938: Geologische Geschichte von Griechisch-Nordmakedonien. *Denkschr. der geol. Landesanstalt von Griechenland*. Heft 3, Athen.

Psilovikos, A., 1977: Palaeogeographic development of the basin and lake of Mygdonia (Lagada-Volvi area), Greece. Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki.

Psilovikos A. and Sotiriades L., 1983: The neotectonic graben complex of the Serbomacedonian massif at the area of Promygdonia Basin in northern Greece. *Claust. Geol. Abh.*, 44: 22-52.

Tsoukala, E., Chatzopoulou, K., 2005. A new Early Pleistocene (Latest Villafranchian) site with mammals in Kalamoto (Mygdonia Basin, Macedonia, Greece) –



preliminary report. Mitt. Komm. Quartärforsch. Österr. Akad. Wiss. 14, 213-233.