

Φυσικογεωγραφική, ιζηματολογική μελέτη και ανίχνευση των μαγνητικών ιδιοτήτων των ιζημάτων του 'Μικρού' σπηλαίου των Επταμύλων Σερρών.

ΠΕΧΛΙΒΑΝΙΔΟΥ Σ.⁽¹⁾, ΑΗΔΟΝΑ Ε.⁽²⁾, ΒΟΥΒΑΛΙΔΗΣ Κ.⁽¹⁾, ΠΕΝΝΟΣ Χ.⁽¹⁾, ΑΛΜΠΑΝΑΚΗΣ Κ.⁽¹⁾

ABSTRACT

In the area of Eptamili Village, located at the foothills of the southern-eastern part of Mount Menoikio (Serres Prefecture, Northern Greece) two underground karst cavities were revealed during the works of marble exploitation, named as 'Mikro' and 'Megalo' Cave of Eptamilon. At the entrance of the 'Mikro' Cave there is a naturally deposited sequence of clastic sediments alternating with chemical deposits with a thickness of ~2m, lying uncomfortably on the bedrock marbles. In order to investigate the depositional processes and conditions and to understand the palaeoenvironmental changes during the cave evolution, grain size analysis and magnetic measurements were conducted on sediment samples from the sedimentary sequence. Grain size analysis showed the presence of fine sandy beds alternating with silty and clayey layers. This structure correlates with the magnetic signature of the sediments and especially the magnetic susceptibility (χ_{if}) and the frequency depended magnetic susceptibility (χ_{fd}), conducting conclusions concerning the palaeoclimatic conditions and the velocity of the flow during the time of deposition of the sedimentary sequence. This study suggest the use of environmental magnetism as an independent methodology in palaeoenvironmental studies

Key words: Grain size analysis, magnetic susceptibility, 'Mikro' Eptamilon Cave

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Κατά τη διάρκεια εργασιών στο λατομείο του Αγ. Ιωάννη στην περιοχή Επταμύλων Σερρών, στο ΝΔ τμήμα του όρους Μενοικίου, αποκαλύφθηκε μια σειρά υπόγειων καρστικών εγκοίλων και συγκεκριμένα το 'Μικρό' και το 'Μεγάλο' σπήλαιο των Επταμύλων. Στην είσοδο του 'Μικρού' σπηλαίου παρουσιάζεται μια ακολουθία κλαστικών ιζημάτων που εναλλάσσονται με χημικά, συνολικού πάχους 2 μέτρων περίπου. Προκειμένου να διερευνηθούν και να αναλυθούν οι συνθήκες και το περιβάλλον απόθεσης της σειράς των ιζημάτων αλλά και να εξαχθούν συμπεράσματα για τη γενικότερη εξέλιξη του σπηλαίου, πραγματοποιήθηκαν κοκκομετρικές αναλύσεις καθώς και μετρήσεις των μαγνητικών ιδιοτήτων των ιζημάτων. Η κοκκομετρική ανάλυση των κλαστικών ιζημάτων έδειξε την παρουσία στρωμάτων λεπτόκοκκης άμμου τα οποία εναλλάσσονται με στρώματα ιλύος και αργίλου. Η δομή αυτή σχετίζεται με τις γενικότερες μεταβολές των μαγνητικών παραμέτρων και συγκεκριμένα της μαγνητικής επιδεκτικότητας (low frequency magnetic susceptibility - χ_{if}) και της εξαρτώμενης από τη συχνότητα μαγνητικής επιδεκτικότητας (frequency depended magnetic susceptibility - χ_{fd}), επιτρέποντας την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τις παλαιοκλιματικές συνθήκες που επικρατούσαν κατά την απόθεση της ακολουθίας των ιζημάτων, αλλά και την ταχύτητα της παλαιοροής των υδάτων που έρρεαν στον καρστικό αγωγό. Η παρούσα εργασία χρησιμοποιεί την εφαρμογή των μεθόδων του περιβαλλοντικού μαγνητισμού ως μία ανεξάρτητη μεθοδολογία για την εξαγωγή παλαιοπεριβαλλοντικών συμπερασμάτων.

Λέξεις κλειδιά: Κοκκομετρία, μαγνητική επιδεκτικότητα, 'Μικρό' σπήλαιο Επταμύλων

GEOMORPHOLOGICAL, SEDIMENTOLOGICAL AND MAGNETIC SUSCEPTIBILITY ANALYSIS OF SEDIMENTS IN THE 'MIKRO' EPTAMILON CAVE, SERRES, GREECE

¹Τομέας Φυσικής & Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., sophiap@geo.auth.gr, vouval@geo.auth.gr, pennos4@hotmail.com, albanaki@geo.auth.gr,

²Τομέας Γεωφυσικής, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., aidona@geo.auth.gr

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το 'Μικρό' σπήλαιο των Επταμύλων, το οποίο και αποκαλύφθηκε το 1965 κατά τη διάρκεια εργασιών στα λατομεία του Αγ. Ιωάννη Σερρών, αποτελεί ιδανική περίπτωση για τη μελέτη ιζημάτων που απαντούν σε υπόγεια έγκοιλα, καθώς στην είσοδο του έχει αποκαλυφθεί μία άριστα διατηρημένη ακολουθία κλαστικών και ανθρακικών ιζημάτων, συνολικού πάχους 2 μέτρων, περίπου.

Με σκοπό να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με τις συνθήκες σχηματισμού και απόθεσης των ιζημάτων τα οποία μπορούν να δώσουν σημαντικές πληροφορίες για την γενικότερη εξελικτική πορεία του σπηλαίου, πραγματοποιήθηκε αναλυτική ιζηματολογική μελέτη της στρωματογραφικής ακολουθίας με τον προσδιορισμό της κοκκομετρίας των ιζημάτων καθώς και την στατιστική επεξεργασία των παραμέτρων του μεγέθους. Ταυτόχρονα μελετήθηκαν οι μαγνητικές ιδιότητες των ιζημάτων ως μία ανεξάρτητη μεθοδολογία για την εξαγωγή παλαιοπεριβαλλοντικών συμπερασμάτων.

Οι μεταβολές των μαγνητικών παραμέτρων των ιζημάτων και πιο συγκεκριμένα της μαγνητικής επιδεκτικότητας σχετίζονται άμεσα με το περιβάλλον και τις συνθήκες απόθεσης των ιζημάτων. Η μαγνητική επιδεκτικότητα αποτελεί δείκτη της ευκολίας με την οποία μαγνητίζεται ένα υλικό και σε πολλές μελέτες έχει αποδειχθεί η άμεση σύνδεση της με το παλαιοκλίμα, όπως στην ιδιαίτερα γνωστή ιζηματολογική ακολουθία στην περιοχή Luochuan της Κίνας (Chinese Loess Plateau), όπου οι εδαφογενετικές διεργασίες που κυριαρχούσαν κατά τη διάρκεια των θερμών και υγρών μεσοπαγετώδων περιόδων είχαν ως αποτέλεσμα την απόθεση ιδιαίτερα επιδεκτικών στη μαγνήτιση ιζημάτων συγκριτικά με τα ιζήματα που αποτέθηκαν κατά τη διάρκεια των ψυχρών και ξηρών παγετώδων περιόδων, τα οποία και παρουσιάζουν χαρακτηριστικά πολύ χαμηλότερες τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας (Evans E., 2003).

Επιπρόσθετα, η μέτρηση της μεταβολής της μαγνητικής επιδεκτικότητας σε εργαστηριακές συνθήκες αυξανόμενης θερμοκρασίας (θερμομαγνητική μέτρηση), βάση της οποίας γίνεται ο προσδιορισμός της ορυκτολογίας των μαγνητι-

κών ορυκτών, έχει χρησιμοποιηθεί για τη διερεύνηση εδαφογενετικών διεργασιών σε ιζήματα που έχουν μεταφερθεί και έχουν αποτεθεί στο εσωτερικό χώρο σπηλαίων. (Sroubek et al., 2001).

2. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ – ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Το 'Μικρό' Σπήλαιο των Επταμύλων βρίσκεται στη ΝΔ πλευρά του Μενοικίου Όρους στο Νομό Σερρών. Ανήκει σε ένα σύμπλεγμα σπηλαιομορφών, από τις οποίες οι κυριότερες είναι το 'Μεγάλο' και το 'Μικρό' Σπήλαιο. Η είσοδος του σπηλαίου είναι διανοιγμένη στο μέτωπο ενός λατομείου εξόρυξης μαρμάρων, το οποίο βρίσκεται περίπου 200m βόρεια του χωριού των Επταμύλων και 4km, βορειοανατολικά της πόλης των Σερρών (Σχ.1, Σχ.2).

Από γεωτεκτονική άποψη, η περιοχή μελέτης ανήκει στη μάζα της Ροδόπης και πιο συγκεκριμένα, στην ενότητα του Παγγαίου (Κίλιας & Μουντράκης, 1990). Στην ευρύτερη περιοχή του σπηλαίου συναντώνται προαλπικοί και αλπικοί σχηματισμοί (μάγμαρα και γνεύσιοι), καθώς και μεταλπικά ιζήματα, κυρίως Νεογενή κλαστικά ιζήματα και σύγχρονες Ολοκαινικές αποθέσεις της κοιλάδας του Στρυμόνα ποταμού (Σχ. 3).

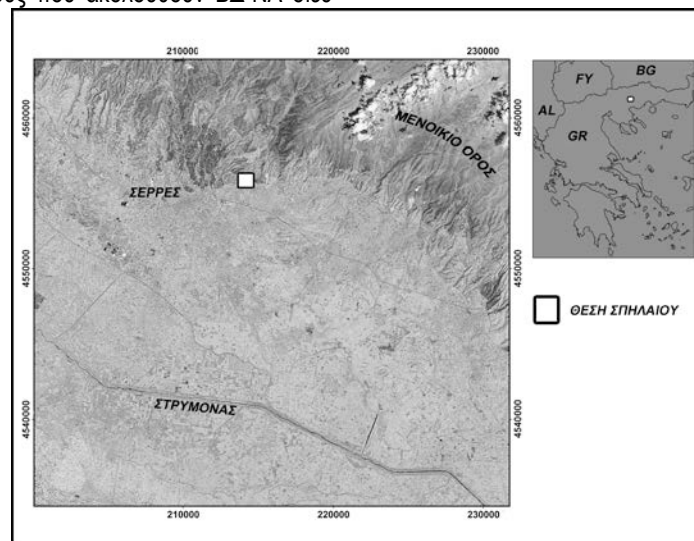
Στην περιοχή μελέτης τα ρήγματα παρουσιάζουν μία χαρακτηριστική ανάπτυξη, κατά τη διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ έως Α-Δ. (Tranos & Mountrakis, 2004) (Σχ. 3). Εξαιτίας της δράσης των τεταρτογενών (Πλειστοκαινικών) ρηγμάτων, έχει σχηματιστεί μία επιφάνεια επιπέδωσης (νέο-Glacia), πάνω στην οποία εντοπίζεται το "Μικρό" Σπήλαιο των Επταμύλων (Παπαφιλίππου – Πέννου, 2004). Επιπλέον, σύμφωνα με τον Βαβλιάκη (1981), στο όρος Μενοίκιο, έχουν αναγνωριστεί τέσσερις ανοδικές κινήσεις, που είχαν ως αποτέλεσμα την δημιουργία ισάριθμων επιφανειών επιπέδωσης (pediments και glacia). Οι επιφάνειες αυτές σχηματίστηκαν μεταξύ του Μέσου Μειόκαινου και του Μέσου Πλειόκαινου (Psilonikou A., 1986).

3. ΣΠΗΛΑΙΟΓΕΝΕΣΗ

Το "Μικρό" Σπήλαιο των Επταμύλων δημιουργήθηκε στο φρεατικό στάδιο, ενώ σήμερα, εξαιτίας της Τεταρτογενούς τεκτονικής δράσης,

βρίσκεται στην ζώνη καείσδυσης (vadose zone). Αποτελείται από ένα σύστημα κάθετων μεταξύ τους καρστικών αγωγών, ΒΑ-ΝΔ και ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης, συνολικού μήκος 330 μέτρων (Σχ. 4), η διαμόρφωση των οποίων ελέγχεται κυρίως από την λιθολογία και την τεκτονική. Έτσι, αυτοί που αναπτύσσονται κατά την ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση είναι χαμηλοί και ευρείς, σε αντίθεση με αυτούς που ακολουθούν ΒΔ-ΝΑ διεύ-

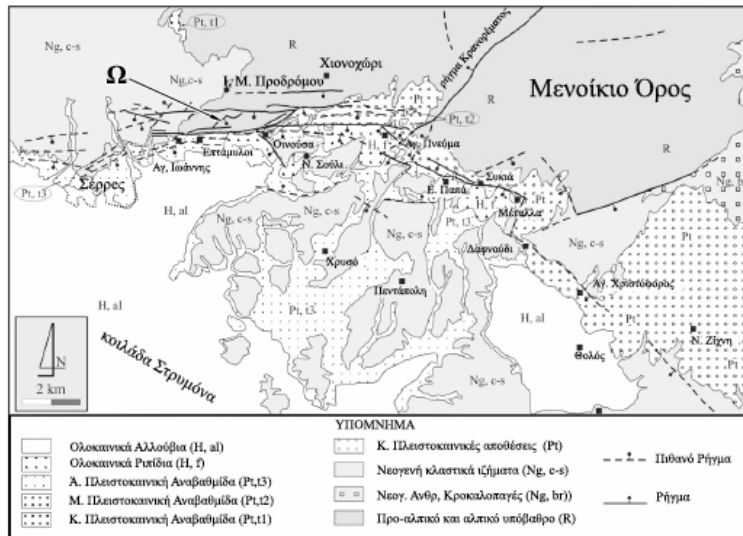
θυνση, οι οποίοι είναι ψηλοί και στενοί (Σχ. 5). Οι πρώτοι ακολουθούν τη διασταύρωση ανάμεσα στις ασυνέχειες που δημιουργούνται από την στρώση του πετρώματος και στις τεκτονικές ασυνέχειες, ενώ οι δεύτεροι ακολουθούν την διεύθυνση των διακλάσεων. (Penny et al., 2005).



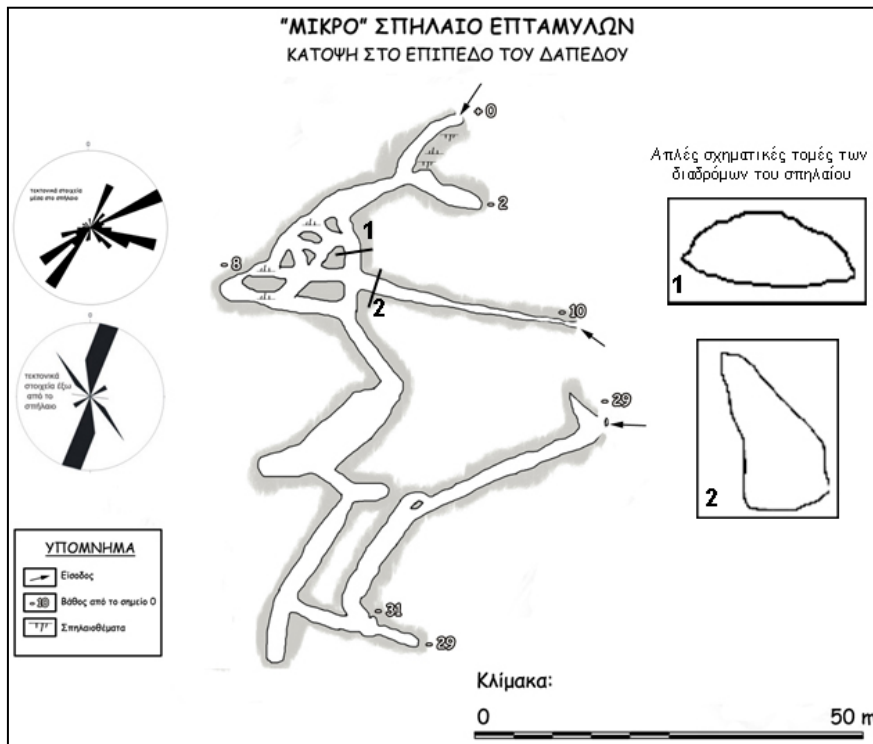
Σχήμα 1: Γεωγραφική θέση του 'Μικρού' Σπηλαίου των Επταμύλων Σερρών (Landsat 2000)



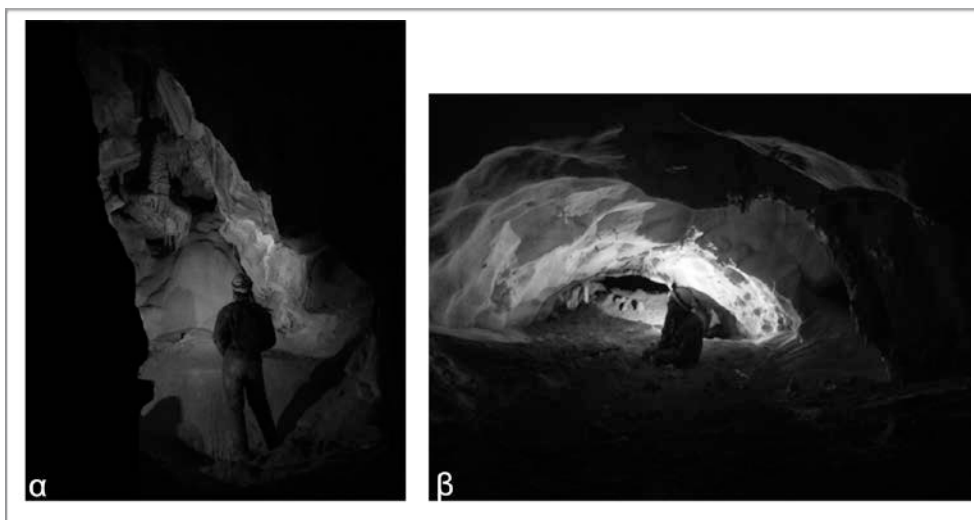
Σχήμα 2: Είσοδος του 'Μικρού' σπηλαίου των Επταμύλων Σερρών.



Σχήμα 3. Γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής μελέτης (τροπ. από Tranos & Mountrakis, 2003)



Σχήμα 4: Σκαρίφημα του ‘Μικρού’ σπηλαίου των Επταμύλων (Πέννος κ.α., 2007).



Σχήμα 5: α) Καρστικοί αγωγοί ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης και β) καρστικοί αγωγοί ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης (Πέννος κ. α., 2007).

4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για την αναλυτική μελέτη της ακολουθίας των ιζημάτων συλλέχθηκαν συνολικά 32 δείγματα με βήμα 0.5 cm, περίπου, στα οποία πραγματοποιήθηκαν κοκκομετρικές αναλύσεις καθώς και μετρήσεις των μαγνητικών ιδιοτήτων των ιζημάτων. Στο σχήμα 6 φαίνεται η ακολουθία των ιζημάτων από την οποία έγινε η δειγματοληψία και η οποία επικάθεται ασύμφωνα στα μάρμαρα μέσα στα οποία είναι διανοιγμένο το σπήλαιο. Παράλληλα παρατίθεται και η συνοπτική λιθοστρωματογραφική στήλη της τομής των ιζημάτων.

Η κοκκομετρική ανάλυση των κλαστικών ιζημάτων για τα κλάσματα της ιλύος και της αργίλου, έγινε με τη χρήση του Sedigraph του Πανεπιστημίου του Bergen (Micromeritics Sedigraph III, Particle size analyzer-Micromeritics Mastertech 52, autosampler). Η προετοιμασία των δειγμάτων περιλάμβανε υγρό κοσκίνισμα των ιζημάτων σε κόσκινο με διάμετρο 125μm και χρήση Calgon (Sodium Metaphosphate 0.05 % w/w) ως παράγοντα διασποράς για την αποσυσσωμάτωση των αργιλικών κόκκων. Η ανάλυση του μεγέθους των κόκκων έγινε μέχρι τη διάμετρο του 1μm. Για το κλάσμα της άμμου η κοκκομετρική ανάλυση έγινε με τη χρήση σειράς κόσκινων διαμέτρου από -1Φ έως 4Φ, του εργαστηρίου Φυσι-

κής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας, του τμήματος Γεωλογίας, του Α.Π.Θ.

Ο προσδιορισμός των ιζηματολογικών παραμέτρων των δειγμάτων και συγκεκριμένα ο μέσος όρος μεγέθους (M), η ταξινόμηση (σ), η κύρτωση (ku) και η λοξότητα (sk), έγινε με το λογισμικό Gradistat 4.0. (Blott et al., 2001).

Για την μέτρηση των μαγνητικών ιδιοτήτων των ιζημάτων, τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε πλαστικά κουτιά μεγέθους 8cm³. Η μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας έγινε με το μετρητή μαγνητικής επιδεκτικότητας MS2 της Bartington, ενώ χρησιμοποιήθηκε ο σένσορας διπλής συχνότητας MS2B, που λειτουργεί στη χαμηλή (0.465 kHz-LF) και στην υψηλή συχνότητα (4.65 kHz-HF). Για τον προσδιορισμό της ορυκτολογίας των μαγνητικών ορυκτών πραγματοποιήθηκε μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας μέχρι την θερμοκρασία των 700C με χρήση ειδικής θερμομαγνητικής διάταξης (θερμομαγνητική ανάλυση).

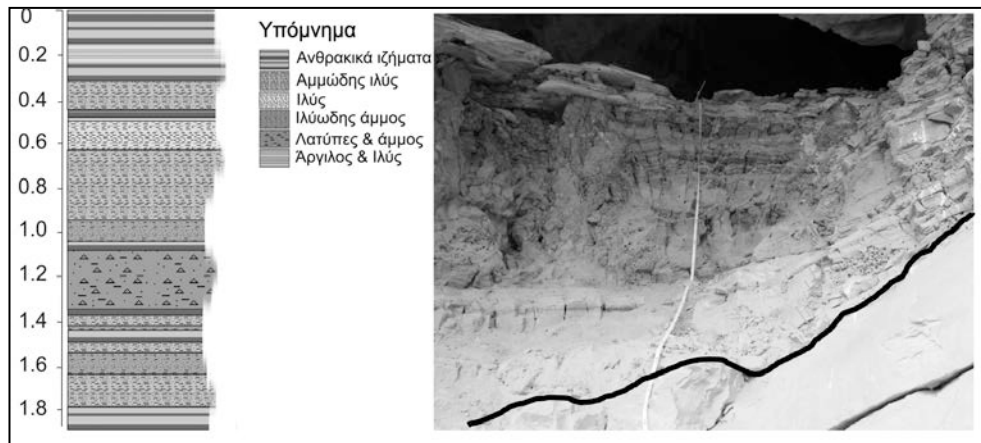
Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο παλαιομαγνητικό εργαστήριο του τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, ενώ όλες οι μετρήσεις έχουν αναχθεί ως προς το βάρος του κάθε δείγματος.

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

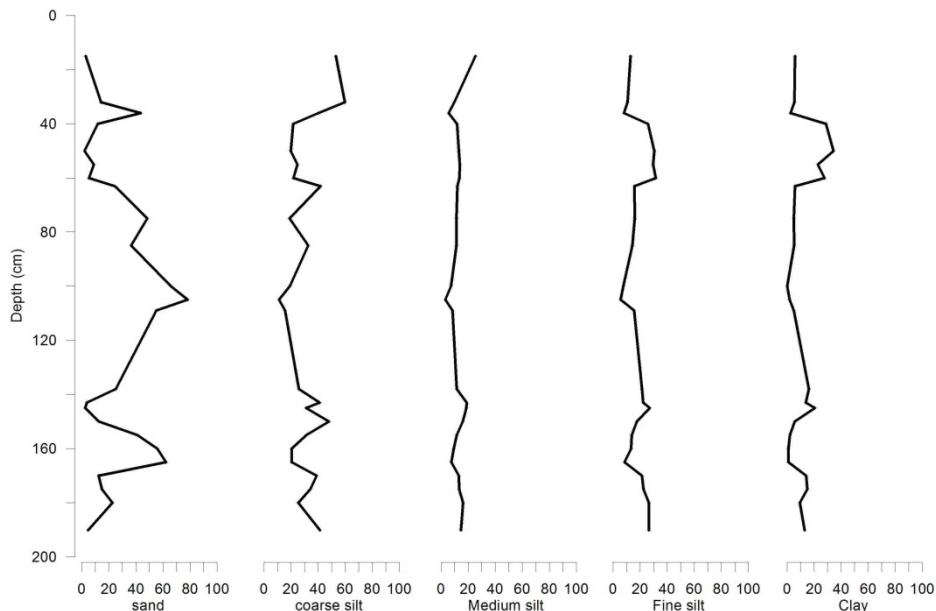
Κοκκομετρική ανάλυση

Η κοκκομετρική ανάλυση των κλαστικών ιζημάτων του 'Μικρού' σπηλαιίου των Επταμύλων, έδειξε την εναλλαγή στρωμάτων ιλυώδους άμμου με στρώματα αμμώδους ιλύος, ιλύος και αργίλου. Στο σχήμα 7 φαίνεται η μεταβολή του

επί της 100 ποσοστού των κλασμάτων της άμμου, της ιλύος και της αργίλου με το βάθος, ενώ στο σχήμα 8 παρουσιάζεται το τριγωνικό διάγραμμα ταξινόμησης και χαρακτηρισμού των δειγμάτων σύμφωνα με τους Folk et. al. (1970).

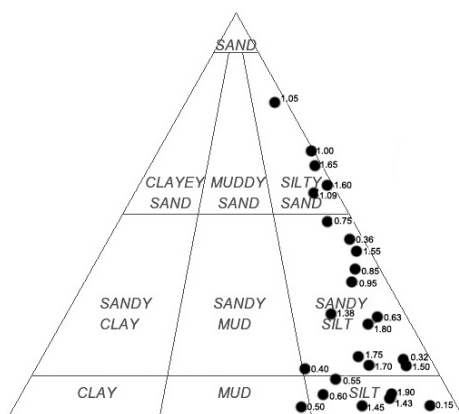


Σχήμα 6: Εναλλαγές οριζόντιων στρωμάτων κλαστικών και χημικών ιζημάτων του 'Μικρού' σπηλαιίου των Επταμύλων και συνοπτική λιθοστρωματογραφική στήλη της τομής.



Σχήμα 7: Μεταβολή των κλασμάτων της άμμου, της ιλύος και της αργίλου με το βάθος (ποσοστό επί της 100)

Βάση των παραπάνω σχημάτων γίνεται αντιληπτό ότι τα περισσότερα δείγματα ανήκουν στις κατηγορίες της αμμώδους ιλύος, ιλυώδους άμμου και ιλύος, ενώ τα κλάσματα της μέσης έως λεπτόκοκκης ιλύος και αργίλου δεν παρουσιάζουν κάποια ιδιαίτερη μεταβολή με το βάθος. Ακόμα, παρατηρείται ότι στους ανώτερους ορίζοντες της τομής και συγκεκριμένα από τα 60cm έως την κορυφή της τομής, επικρατεί το λεπτόκοκκο κλαστικό υλικό. Το ίδιο παρατηρείται και στα βάθη από 140-155cm, καθώς και από 170cm έως το τέλος της τομής (Σχ. 7). Οι διακυμάνσεις στην κοκκομετρία των ιζηματοσποθέσεων μπορούν να αποδοθούν σε διαφορετικές συνθήκες κατά την απόθεση τους και συγκεκριμένα στη διαφορετική ταχύτητα ροής των υδάτων που έρρεαν στον τότε φρεατικό αγωγό. Η στατιστική επεξεργασία των κοκκομετρικών αποτελεσμάτων έδειξε ότι το σύνολο των δειγμάτων παρουσιάζει κακή ταξινόμηση γεγονός που εκφράζει την ετερογένεια στους πληθυσμούς των ιζημάτων. Οι καμπύλες συχνότητας στους οριζόντες των αδρόκοκκων σχετικά υλικών είναι απλές (unimodal) και εμφανίζουν μέγιστα που αντιστοιχούν στις κλάσεις της άμμου ($d > 63\mu\text{m}$). Αντίθετα, στα πιο λεπτόκοκκα υλικά, οι καμπύλες συχνότητας είναι σύνθετες (polymodal) και εμφανίζουν τρία μέγιστα που αντιστοιχούν στις κλάσεις της ιλύος (4-34 μm) και της αργίλου (1-2 μm).

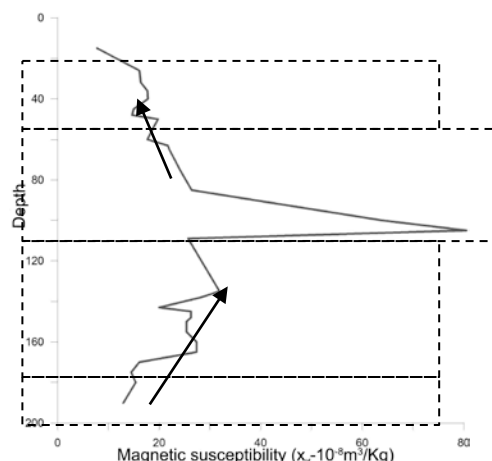


Σχήμα 8: Τριγωνικό διάγραμμα ταξινόμησης και χαρακτηρισμού των δειγμάτων κατά Folk et al. (1974).

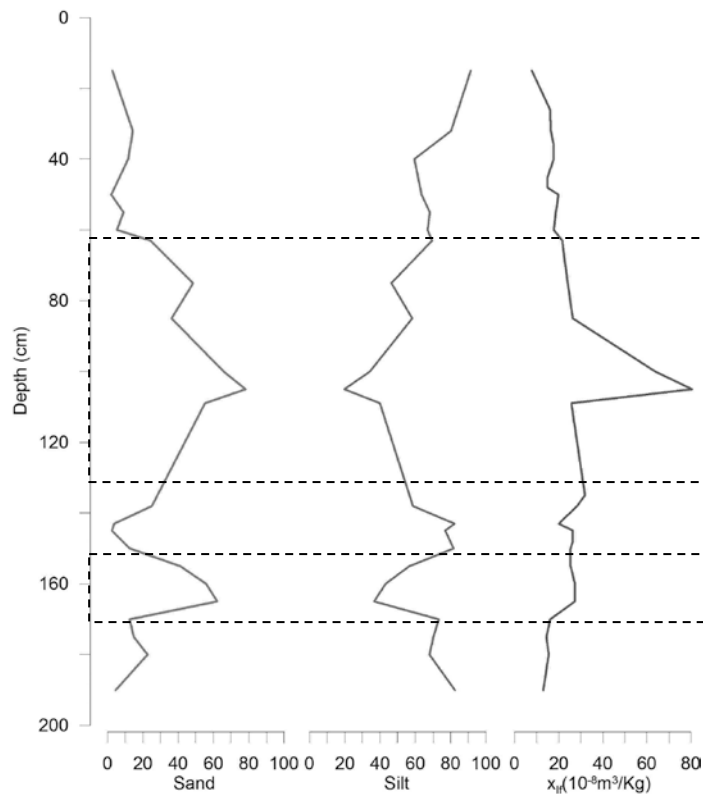
Μαγνητικές παράμετροι των ιζημάτων

Η μεταβολή της μαγνητικής επιδεκτικότητας (μαγνητική επιδ. χαμηλής συχνότητας - χ_{lf}) με το βάθος φαίνεται στο σχήμα 9. Παρατηρείται η ύπαρξη τεσσάρων διακριτών ζωνών με τις τιμές της παραμέτρου να παρουσιάζουν μια σταδιακή αύξηση μέχρι το ένα μέτρο περίπου ενώ στη συνέχεια μειώνονται έως την κορυφή της τομής. Πιο συγκεκριμένα στα κατώτερα στρώματα της τομής, από τα 1.9 έως τα 1.7 μέτρα οι τιμές της μαγνητικής επιδεκτικότητας κυμαίνονται μεταξύ $13\text{-}16.1 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{Kg}$, ενώ έως το βάθος του ενός μέτρου περίπου παρατηρείται σταδιακή αύξηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας από τα $20 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{Kg}$ έως τα $80.5 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{Kg}$. Στη συνέχεια και μέχρι το βάθος των 0.43 μέτρων οι τιμές της παραμέτρου μειώνονται έως τα $22 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{Kg}$, ενώ μέχρι την κορυφή της τομής παρατηρείται μείωση έως τα $7.8 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{Kg}$.

Γενικότερα, οι υψηλές τιμές της μαγνητικής επιδεκτικότητας, φανερώνουν τη μεγάλη συγκέντρωση μαγνητικών ορυκτών, κυρίως σιδηρομαγνητικών, όπως είναι ο μαγνητίτης και ο αιματίτης, αλλά και παραμαγνητικών και σε μικρότερο ποσοστό διαμαγνητικών ορυκτών, τα οποία όμως συνεισφέρουν σε πολύ μικρό ποσοστό στη συνολική μαγνήτιση των υλικών. Παράλληλα, αυξημένες τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας σχετίζονται όπως αναφέρθηκε παραπάνω με την παρουσία θερμότερων και υγρότερων κλιματικών συνθηκών που έχουν ως αποτέλεσμα μεγαλύτερες ταχύτητες μεταφοράς



Σχήμα 9: Μεταβολή της μαγνητικής επιδεκτικότητας (χ_{lf}) με το βάθος

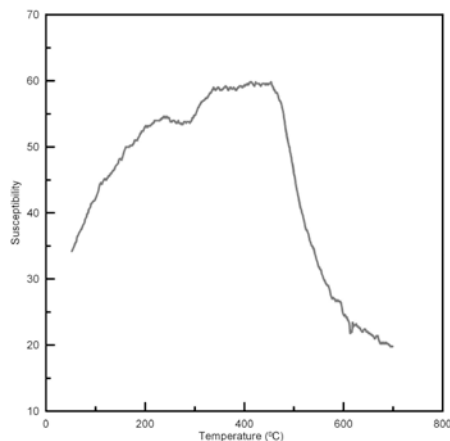


Σχήμα 10: Διαγράμματα μεταβολής της μαγνητικής επιδεκτικότητας, του ποσοστού επί της 100 της άμμου και της ιλύος, με το βάθος.

υλικών ικανές να μεταφέρουν τα μαγνητικά ορυκτά σε μεγαλύτερες αποστάσεις εντός του σπηλαίου. Αντίθετα οι μικρές τιμές, σχετίζονται με πιο ψυχρά και ξηρά κλίματα και συνεπώς με χαμηλότερες ταχύτητες μεταφοράς.

Η παραπάνω παρατήρηση βρίσκεται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής ανάλυσης, από την οποία φαίνεται ότι τα πιο χονδρόκοκκα υλικά παρουσιάζουν και τις μεγαλύτερες τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας. (Σχ. 10).

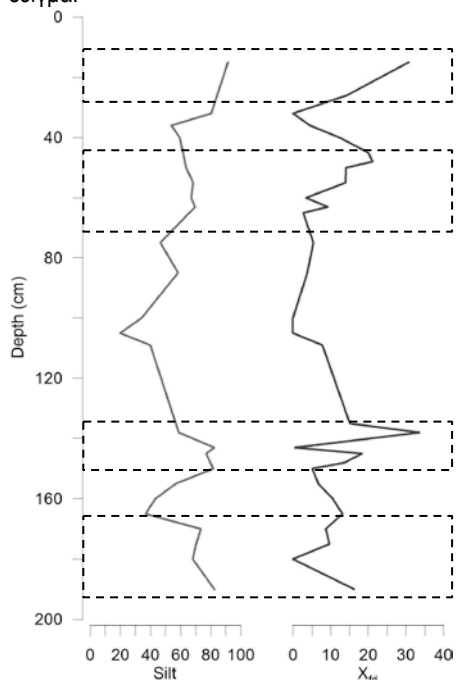
Με σκοπό να προσδιοριστεί η ορυκτολογική σύσταση των μαγνητικών κόκκων πραγματοποιήθηκε μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας σε σχέση με τη θερμοκρασία για το δείγμα που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη τιμή της παραμέτρου. Τα αποτελέσματα της θερμομαγνητικής μέτρησης φαίνονται στο σχήμα 11. Η μορφή της καμπύλης που προέκυψε είναι χαρακτηριστική της ύπαρξης του μαγνητικού



Σχήμα 11: Μεταβολή της μαγνητικής επιδεκτικότητας με τη θερμοκρασία (θερμομαγνητική μέτρηση), ορυκτού μαγκεμίτη ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$), το οποίο είναι άμεσα συνδεδεμένο με εδαφογενετικές διεργα-

σίες (Tite&Linington, 1975). Το γεγονός αυτό αποτελεί ένδειξη ενός θερμού και ξηρού κλίματος κατά το στάδιο σχηματισμού του καθώς επίσης και ποτάμιες διεργασίες μεταφοράς και απόθεσης εδαφικού υλικού στο εσωτερικό του σπηλαίου.

Μία ακόμη μαγνητική παράμετρος που συσχετίζεται με το γενικότερο περιβάλλον απόθεσης των ιζημάτων είναι η μαγνητική επιδεκτικότητα που εξαρτάται από τη συχνότητα της μέτρησης (χ_{fd} -frequency depended) και ουσιαστικά αποτελεί το επί 100 ποσοστό του λόγου της διαφοράς της υψηλής συχνότητας μαγνητικής επιδεκτικότητας (HF) από τη χαμηλή (LF), διά την χαμηλή συχνότητας μαγνητική επιδεκτικότητα. Η παράμετρος αυτή είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στις μεταβολές των πολύ μικρών σε μέγεθος μαγνητικών ορυκτών (supermagnetic-single domain) και οι υψηλές τιμές της δείχνουν την μεγάλη συγκέντρωσή τους στο εξεταζόμενο δείγμα.



Σχήμα 12: Μεταβολή της εξαρτώμενης από τη συχνότητα μαγνητικής επιδεκτικότητας (χ_{fd}) με το βάθος.

Στο σχήμα 12 φαίνεται η μεταβολή της χ_{fd} με το βάθος ταυτόχρονα με τη μεταβολή του κλά-

σματος της ιλύος. Παρατηρείται ότι οι ζώνες οι οποίες παρουσιάζουν τις υψηλότερες τιμές της παραμέτρου σχετίζονται με το πιο λεπτόκοκκα υλικά (ιλύς και άργιλος), ενώ οι μεγαλύτερες τιμές της ταυτίζονται με τους οριζόντες όπου παρατηρούνται οι ανθρακικές κρούστες. Το γεγονός αυτό φανερώνει ένα ήρεμο περιβάλλον απόθεσης, όπου η ροή εντός του σπηλαίου είχε χαμηλή ταχύτητα και μετέφερε μόνο τα πολύ λεπτόκοκκα μαγνητικά ορυκτά. Οι ήρεμες συνθήκες είχαν ως αποτέλεσμα την απόθεση των ιζημάτων με την ταυτόχρονη απόθεση ανθρακικού ασβεστίου, που λειτούργησε ως συγκολλητική ύλη, από την οποία αποτελούνται οι ανθρακικές κρούστες.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η αναλυτική μελέτη των ιζημάτων του 'Μικρού' σπηλαίου των Επταμύλων Σερρών με τον προσδιορισμό της κοκκομετρίας αλλά και των μαγνητικών ιδιοτήτων των ιζημάτων έδωσε τις ακόλουθες σημαντικές πληροφορίες τόσο για το περιβάλλον και τις συνθήκες απόθεσης της ακολουθίας των ιζημάτων όσο και για την γενικότερη παλαιοπεριβαλλοντική εξέλιξη του σπηλαίου.

Η συστηματική ανάλυση της ακολουθίας των ιζημάτων έδειξε ότι αυτή αποτέθηκε κάτω από διαφορετικές παλαιοπεριβαλλοντικές συνθήκες, από εισερχόμενα εντός του σπηλαίου ύδατα, όταν αυτό βρισκόταν στη φρεατική ζώνη. Ταυτόχρονα, η παρουσία του μαγνημίτη ως παράγωγο της διεργασίας εδαφογένεσης στον εξωτερικό χώρο του σπηλαίου, φανερώνει ποτάμιες διεργασίες μεταφοράς και απόθεσης του εδαφικού υλικού στο εσωτερικό του σπηλαίου, σε θερμό και υγρό κλίμα.

Ο προσδιορισμός των μαγνητικών ιδιοτήτων των ιζημάτων και συγκεκριμένα της μαγνητικής επιδεκτικότητας φανέρωσε τη μεγάλη συγκέντρωση μαγνητικών ορυκτών στις ζώνες των πιο χονδρόκοκκων ιζημάτων, γεγονός που επιβεβαιώνει το θερμό κλίμα κατά το στάδιο απόθεσής τους, καθώς και τις μεγαλύτερες ταχύτητες παλαιοροής. Αντίθετα, χαμηλή συγκέντρωση μαγνητικών ορυκτών στις ζώνες των λεπτόκοκκων ιζημάτων, δείχνει επιμέρους επεισόδια ψυχρότερων και ξηρότερων κλιματικών περιόδων με χαμηλές ταχύτητες παλαιοροής.

Επιπρόσθετα, οι ζώνες απόθεσης των χημικών ιζημάτων στις οποίες σχηματίζονται οι ανθρακικές κρούστες, αποτελούν προϊόν απόθεσης χαμηλής παλαιότητας σε ένα ψυχρότερο και πιο ξηρό κλιματικό καθεστώς. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται από τις ιδιαίτερα χαμηλές τιμές της μαγνητικής επιδεκτικότητας οι οποίες υποδηλώνουν την μικρή συγκέντρωση των μαγνητικών ορυκτών στις ζώνες αυτές εξαιτίας των διαφορετικών παλαιό- περιβαλλοντικών συνθηκών.

Ο συνδυασμός της ιζηματολογικής μελέτης και της διερεύνησης των μαγνητικών ιδιοτήτων των ιζημάτων που φανέρωσε τη γενικότερη μετάβαση, με ενδιάμεσες μικρές παλινδρομήσεις, από ένα ψυχρό και ξηρό κλίμα σε ένα θερμότερο και πιο υγρό και εν συνεχεία σε ένα επίσης ψυχρό και ξηρό κλίμα, συμφωνεί με τα συμπεράσματα παλαιότερων ορυκτολογικών μελετών (Βαβλιάκης κ.α., 1978) της ιζηματογενούς σειράς του σπηλαίου των Επταμύλων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Βαβλιάκης Ε., 1981. Μελέτη των επιφανειών διάβρωσης, καρστικών παγετώδων μορφών του όρους Μενοικίου (στην Α. Μακεδονία) από γεωμορφολογικής και μορφογενετικής πλευράς, Διδακτορική Διατριβή, σ.1-192.
- Βαβλιάκης Ε., Τρώντσιος Γ., και Χατζηπαπανικολάου Μ., 1994. Η σημασία των κλαστικών και χημικών ιζημάτων στον προσδιορισμό της εξελικτικής πορείας καρστικών σπηλαίων, Δελτίο Ελληνικής Σπηλαιολογικής εταιρείας, τόμος XXI.
- Bloott S.J. and Pye K., 2001. Gradistat: A grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments, *Earth surface processes and landforms*, vol. 26, 1237-1248.
- Ellwood B., Petruso, K., and Harrold, F., 1996. Paleoclimate characterization and intra-site correlation using magnetic susceptibility measurements: An example from Conispol Cave, Albania, *Journal of Field Archaeology*, vol. 23, n. 3.
- Evans E., Heller F., 2003. *Environmental Magnetism, Principles and Applications of Environmental Magnetism*, Academic Press, an imprint of Elsevier Science, USA.
- Folk R.L., 1974. *Petrology of sedimentary rocks*, Hemphill Publishing Company, Austin, Texas.
- Παπαφιλίππου-Πέννου Ε., 2004. Δυναμική εξέλιξη και σύγχρονες εξωγενείς διεργασίες του υδρογραφικού συστήματος της ταφρολεκάνης των Σερρών, Διδακτορική Διατριβή, σ.1-229.
- Pennos Ch., Vavliakis E., Lazarides G., 2005. Megalon Eptamilon cave (Serres, Macedonia, Greece) Speleogenesis and development, *Proceedings of the 14th International Congress of Speleology*, Kalamos, Greece.
- Πέννος Χ., Βαξεβανόπουλος Μ., Πεχλιβανίδου Σ., Βλάχος Ε., †Βαβλιάκης Ε., 2007. Υπολογισμός της ταχύτητας του υπογείου νερού σε καρστικούς αγωγούς με βάση τις στροβιλοειδείς γλυφές. 'Μικρό' Σπήλαιο Επταμύλων, Σερρών, Πρακτικά 8ο Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνέδριου, Αθήνα.
- Psilovikos, A., 1986. Contribution to the Geomorphology of the South-West part of the Rhodope Massif, *Geolog. Balk*, 44: 55-87.
- Sroubek P., Kadlec J. and Valoch K., 2001. A Late Pleistocene palaeoclimate record based on mineral magnetic properties of the entrance facies sediments of Kulna Cave, Czech Republic, *Geophys. J. Int.* 147: 247-262.
- Tite, M.S., and Lington R.E., 1975. Effect of Climate on the Magnetic Susceptibility of Soils, *Nature* 256: 565-566.
- Tranos, M.D. & Mountrakis, D.M., 2004. The Serres fault zone (SZF): an active fault zone in Eastern Macedonia (Northern Greece), *Proceedings of 5th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology*, Thessaloniki.