

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΕ ΚΑΡΣΤΙΚΟΥΣ ΑΓΩΓΟΥΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΙΣ ΣΤΡΟΒΙΛΟΕΙΔΕΙΣ ΓΛΥΦΕΣ. 'ΜΙΚΡΟ' ΣΠΗΛΑΙΟ ΕΠΤΑΜΥΛΩΝ, ΣΕΡΡΩΝ

Πέννος Χ.^{1,2}, Βαξεβανόπουλος Μ.¹, Πεχλιβανίδου Σ.¹, Βλάχος Ε.¹, †Ε. Βαβλιάκης¹

¹ Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

² Ινστιτούτο Σπηλαιολογικών Ερευνών Ελλάδας

Περίληψη

Το 'Μικρό' Σπήλαιο των Επταμύλων βρίσκεται στους πρόποδες του Μενοικίου Όρους στο Νόμο Σερρών. Ανήκει σε ένα σύμπλεγμα σπηλαιομορφών που αναπτύσσονται στα Παλαιοζωικά Μάρμαρα της μάζας της Ροδόπης, της γεωτεκτονικής ενότητας του Παγγαίου. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη των στροβιλοειδών γλυφών (scallops) που εμφανίζονται στο "Μικρό" Σπήλαιο των Επταμύλων. Οι στροβιλοειδείς γλυφές αποτελούν ένα χρήσιμο εργαλείο στον καθορισμό της κατεύθυνσης και της ταχύτητας των υπογείων καρστικών ρευμάτων. Δημιουργούνται στα τοιχώματα των καρστικών αγωγών, τόσο στη φρεάτια, όσο και στην επιφρεάτια φάση σπηλαιογένεσης, από την στροβιλοειδή ροή του υπογείου νερού. Στο "Μικρό" Σπήλαιο των Επταμύλων, οι στροβιλοειδείς γλυφές βρίσκονται σε πλήρη ανάπτυξη, τόσο σε ποικιλία μεγεθών, όσο και σε αριθμό. Η ποσοτική ανάλυση των γεωμορφών αυτών, απέδειξε διαφορετικές ταχύτητες παλαιοροής σε επιμέρους τμήματα του σπηλαίου, οι οποίες συνδέονται άμεσα με την υδραυλική κλίση, καθώς και με τη διάμετρο των αγωγών.

Abstract

"Mikro" Eptamilon cave is situated at the foothills of the mount Menikio at the prefecture of Serres. It belongs to a cave complex that is developed in Paleozoic Marbles which, according to geotectonics, belong to the Rila - Rhodope Massif, at the Pangeon unit. The aim of the present study is to describe the scallops speleogens that occur in the "Mikron" Eptamilon Cave. The study of scallops is a usefull tool in order to deduce the direction and the velocity of the karstic, groundwater flows. They are created at the surface of the cave walls at the phreatic as well as at the epiphreatic stage, deriving from the turbulent flow of the groundwater. At the "Mikro" Eptamilon Cave, scallops are fully developed, varying in shape and number. The quantitative analysis of these speleogens has indicated differences at paleo-flow velocities, at different cave sections that are directly correlated with the hydraulic inclination as well as with the diameter of the karstic tubes.

Λέξεις κλειδιά: Στροβιλοειδής Γλυφές, Σπήλαιο Επταμύλων, Ταχύτητες παλαιοροής.

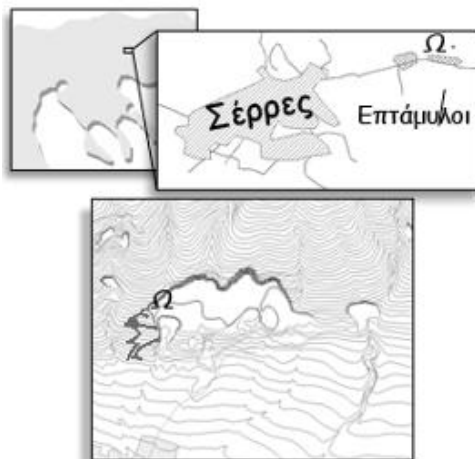
Key words: Scallop, Eptamilon Cave, Paleo-Flow Velocity.

1. Εισαγωγή

Οι στροβιλοειδείς γλυφές (scallops), από γεωλογική και υδρογεωλογική πλευρά, έχουν γίνει κατά καιρούς αντικείμενο μελέτης αρκετών επιστημόνων. Από την ανάλυση των γεωμορφών αυτών μπορούν να εξαχθούν σημαντικές πληροφορίες που αφορούν στις συνθήκες ροής που επικρατούσαν κατά τη δημιουργία τους. Στη παρούσα εργασία πραγματοποιείται ποσοτική ανάλυση των στροβιλοειδών γλυφών που εντοπίστηκαν στο 'Μικρό' Σπήλαιο των Επταμύλων Σερρών, με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την παλαιο-υδρολογική κατάσταση του σπηλαίου και πιο συγκεκριμένα, τον προσδιορισμό της ταχύτητας του υπογείου νερού κατά τη διάρκεια του σχηματισμού του.

2. Γεωγραφική Θέση

Το 'Μικρό' Σπήλαιο των Επταμύλων βρίσκεται στους δυτικούς πετροπρόποδες του Μενοικίου Όρους, του Νομού Σερρών (Βόρεια Ελλάδα -Κεντρική Μακεδονία). 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 από την πόλη των Σερρών (εικ.1).



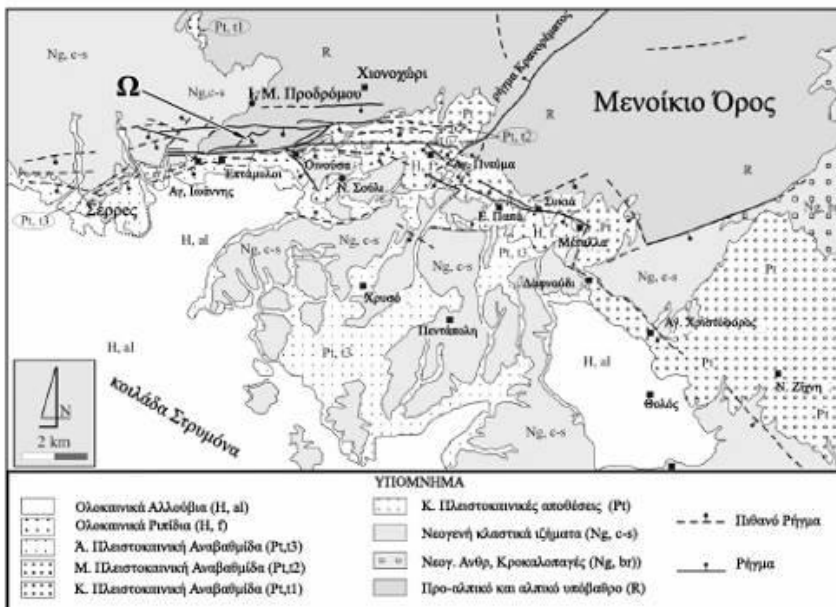
Εικόνα 1. Γεωγραφική θέση του 'Μικρού' Σπηλαίου των Επταμύλων Σερρών

3. Γεωλογικά – Γεωμορφολογικά στοιχεία

Στην ευρύτερη περιοχή μελέτης συναντώνται προαλπικοί και αλπικοί σχηματισμοί (μάρμαρα, γνεύσιοι), καθώς και μεταλπικά ιζήματα (Νεογενή κλαστικά ιζήματα έως σύγχρονες Ολοκαινικές αποθέσεις της κοιλάδας του Στρυμόνα ποταμού) (σχ. 2). Από γεωτεκτονική άποψη, η περιοχή ανήκει στη μάζα της Ροδόπης και πιο συγκεκριμένα, στην ενότητα του Παγγαίου (Kiliias & Mountrakis, 1990).

Στο δυτικό Μενοίκιο, όπου εντοπίζεται το υπό μελέτη σπήλαιο, ο De Boer διακρίνει δύο σειρές πετρωμάτων, μία ανώτερη και μία κατώτερη. Στην κατώτερη σειρά παρατηρούνται άσπρα μέχρι ανοιχτού γκριζού χρώματος, πολύ κατακερματισμένα, μάρμαρα, μέσα στα οποία παρεμβάλλονται λεπτοπλακώδη μάρμαρα με φακοειδή μορφή. Μεταξύ της ανώτερης και της κατώτερης σειράς παρεμβάλλεται ένας οριζοντας μαρμαρυγιακού σχιστόλιθου. Πάνω από τον οριζοντα αυτόν αρχίζει η ανώτερη σειρά, με μία ζώνη από εναλλαγές μαρμάρων-γνευσιών, πάχους 300 m (Βαβλιάκης, 1981).

Στην περιοχή μελέτης τα ρήγματα παρουσιάζουν μία χαρακτηριστική ανάπτυξη, κατά τη διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ έως Α-Δ. Συγκεκριμένα, στην περιοχή εντοπίζονται υποπαράλληλα ρήγματα, διεύθυνσης Α-Δ, που κλίνουν με μεγάλη έως πολύ μεγάλη γωνία προς βορρά (Tranos & Mountrakis, 2004) (εικ. 2). Εξαιτίας της δράσης των τεταρτογενών (πλειστοκαινικών) ρηγμάτων, στην περιοχή έχει σχηματιστεί μία επιφάνεια επιπέδωσης (νέο-Glacias), πάνω στην οποία εντοπίζεται το "Μικρό" Σπήλαιο των Επταμύλων (Παπαφιλήπου – Πέννου, 2004). Επιπλέον, σύμφωνα με τον Βαβλιάκη (1981), στο όρος Μενοίκιο, έχουν αναγνωριστεί τέσσερις (4) ανοδικές κινήσεις, που είχαν ως αποτέλεσμα την δημιουργία ισάριθμων επιφανειών επιπέδωσης (pediments και glacis). Οι επιφάνειες αυτές σχηματίστηκαν μεταξύ του Μέσου Μειόκαινου και του Μέσου Πλειόκαινου (Psilonikos, 1986).



Εικόνα 2. Γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής Σερρών (τροπ. από Tranos & Mountrakis, 2003)

4. Σηλαιογένεση

Το “Μικρό” Σπήλαιο των Επταμύλων είναι ένα σύστημα καρστικών αγωγών ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης, που επικοινωνούν με αγωγούς ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης, οι οποίοι δημιουργήθηκαν όταν το σπήλαιο πέρασε στη ζώνη κατείσδυσης. Το συνολικό μήκος των διαδρόμων του σπηλαίου είναι 300 m. Το σπήλαιο δημιουργήθηκε στο φρεατικό στάδιο, ενώ σήμερα, εξαιτίας της (τεταρτογενούς) τεκτονικής δράσης, βρίσκεται στην ζώνη κατείσδυσης (vadose zone).

Κατά την φάση της σηλαιογένεσης, αναπτύχθηκαν δύο κύριες ομάδες διαδρόμων, κάθετες μεταξύ τους, ενώ το σχήμα τους ορίζεται από την διεύθυνση που ακολουθούν. Η διαμόρφωση των αγωγών ελέγχεται κυρίως από την λιθολογία και την τεκτονική (Βαξεβανόπουλος, 2006). Αυτοί που αναπτύσσονται κατά την ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση είναι χαμηλοί και ευρείς, σε αντίθεση με αυτούς που ακολουθούν ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση, οι οποίοι είναι ψηλοί και στενοί. 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 (εικ. 3). Η κίνηση του νερού προς το τοπικό βασικό επίπεδο της περιοχής, γινόταν μέσω των πρώτων αγωγών, όταν το σπήλαιο βρισκόταν στην φρεατία φάση. Στη συνέχεια, εξαιτίας τεκτονικών γεγονότων, επήλθαν αλλαγές στο τοπικό βασικό επίπεδο και το σπήλαιο “πέρασε” στην ζώνη κατείσδυσης (Pennis et al., 2005).

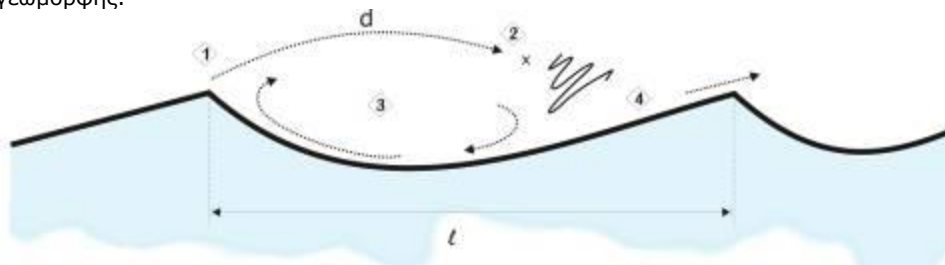
5. Μηχανισμός γέννησης των στροβιλοειδών γλυφών

Το κύριο αίτιο της δημιουργίας των στροβιλοειδών γλυφών (scallops) είναι η στροβιλοειδής ροή ενός μέσου πάνω σε μια ευδιάλυτη επιφάνεια. Στην φύση το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται κυρίως σε ασβεστολιθικής σύστασης επιφάνειες από την δράση του νερού ή ακόμη και στον πάγο από την δράση του αέρα (εικ.4).



Εικόνα 4. Σχηματισμός στροβιλοειδών γλυφών στο χιόνι, από την δράση του αέρα.
Μενοίκιο όρος

Ανεξάρτητα από το διαβρωτικό μέσο και τη σύσταση της επιφάνειας, η παρουσία μιας ανωμαλίας πάνω σε αυτήν έχει ως αποτέλεσμα την κατάσταση ροής που απεικονίζεται στην εικόνα 5 και στην οποία κατά τον Blumberg (από Curl, 1974) έχουν αναγνωριστεί τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: στο σημείο (1) το διαβρωτικό μέσο συναντά την ανωμαλία και η γραμμική ροή διαχωρίζεται σε δύο συνιστώσες, σε μια κυκλική (3) και σε μια γραμμική που κινείται κατά μήκος του τοιχώματος, η οποία είναι πολύ ασταθής και πολύ σύντομα μεταπίπτει σε στροβιλοειδή ροή (2). Στη συνέχεια ένα μέρος της στροβιλοειδούς ροής αναμιγνύεται με την κυκλική στο κοίλο μέρος της γεωμορφής και επανενώνεται με την στροβιλοειδή πριν το σημείο (4). Στο σημείο αυτό το μέσο παρουσιάζει την μεγαλύτερη διαβρωτική ικανότητα. Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται συνεχώς, με αποτέλεσμα να διευρύνεται το μέγεθος της γεωμορφής.



Εικόνα 5. Σχηματική αναπαράσταση μιας στροβιλοειδούς γλυφής, σε τομή κάθετη στο τοίχωμα του σπηλαίου (βασισμένο σε Curl, 1974)

Κατά την διαδικασία που περιγράφεται παραπάνω, παρατηρείται η μετακίνηση των γλυφών προς την ροή του μέσου καθώς διαβρώνονται. Το φαινόμενο αυτό έχει παρατηρηθεί σε πειραματικές αναπαραστάσεις της εξέλιξης των στροβιλοειδών γλυφών (Villien et al., 2001). Η χαρακτηριστική ασυμμετρία που παρατηρείται στην δομή των γεωμορφών αυτών, από την οποία μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για την διεύθυνση ροής του μέσου, φαίνεται επίσης στην εικόνα 5.

5.1 Υπολογισμός της μέσης ταχύτητας ροής

Στα τοιχώματα του αγωγού, θα αναπτυχθούν στροβιλοειδείς γλυφές κατά μήκος μιας

χαρακτηριστικής διεύθυνσης L . Η διεύθυνση αυτή εξαρτάται από την ταχύτητα του υγρού, το ιξώδες μ , την πυκνότητα ρ και τον αριθμό **Reynolds**. Σύμφωνα με τον Curl (1974), η σχέση που συνδέει τον αριθμό Reynolds για ένα συγκεκριμένο μέσο μήκος των στροβιλοειδών γλυφών με την μέση ταχύτητα του υγρού σε έναν αγωγό καθορίζεται από τον τύπο:

$$\overline{Re}_L = \frac{\rho \bar{u} L}{\mu} \quad (1)$$

(για νερό σε $\theta=10^{\circ}\text{C}$ είναι $\mu/\rho = 0,013 \text{ cm}^2/\text{sec}$, ενώ για τον αέρα σε $\theta=0^{\circ}\text{C}$ είναι $\mu/\rho = 0,132 \text{ cm}^2/\text{sec}$)

Ο αριθμός Reynolds υπολογίζεται από τους παρακάτω τύπους ανάλογα με την μορφή του αγωγού:

για αγωγούς κυκλικής διατομής

$$\overline{Re}_L = Re^{\circ} \left[2.5 \left(\ln \frac{D}{2L} - 3/2 \right) + B_L \right] \quad (2)$$

για αγωγούς με παράλληλα τοιχώματα

$$\overline{Re}_L = Re^{\circ} \left[2.5 \left(\ln \frac{D}{2L} - 1 \right) + B_L \right] \quad (3)$$

όπου, $Re^{\circ} = 2200$ και $B_L = 9,4$ όπως βρέθηκαν από πειράματα των Bloomberg και Curl (1974) και D η διάμετρος του κυκλικού αγωγού ή το πλάτος μεταξύ των δύο παράλληλων τοιχωμάτων.

Εφόσον το Re° και το B_L είναι γνωστά, και τα D και L μετρήσιμα σε κάθε περίπτωση, είναι δυνατόν να υπολογίσουμε το \overline{Re}_L από τις σχέσεις (2) και (3). Στην συνέχεια υπολογίζουμε την μέση ταχύτητα ροής από την σχέση (1), απ' όπου παρατηρείται ότι η μέση ταχύτητα παλαιοροής (\bar{u}), είναι αντιστρόφως ανάλογη του μέσου μήκους των στροβιλοειδών γλυφών.

5.2 Εφαρμογή στο "Μικρό" Σπήλαιο Επταμύλων

Μεθοδολογία

Για τη σωστή κατανομή των μετρήσεων, το "Μικρό" Σπήλαιο των Επταμύλων διαχωρίστηκε σε πέντε επιμέρους τμήματα. Η επιλογή των θέσεων μετρήσεων έγινε με βάση τα παρακάτω χαρακτηριστικά: μετρήσεις μόνο στους αγωγούς κυκλικής διατομής, καθώς οι αγωγοί αυτοί έχουν δημιουργηθεί στην φρεάτια φάση, όταν η ροή γινόταν κυρίως κατά την οριζόντια συνιστώσα, σε αντίθεση με τους στενούς και ψηλούς αγωγούς που έχουν δημιουργηθεί στην ζώνη κατείδυσης, ελεγχόμενοι κυρίως από την κατακόρυφη κίνηση του νερού.

Ταυτόχρονα, επιλέχθηκαν οι κυκλικοί αγωγοί των οποίων η μέγιστη διάμετρος ήταν φανερή και μετρήσιμη.

Τέλος, ως μήκος L ορίστηκε το μέγιστο μήκος της γεωμορφής, παράλληλο προς την διεύθυνση ροής του νερού (εικ. 6).



Εικόνα 6. Μέτρηση χαρακτηριστικών στροβιλοειδών γλυφών στο "Μικρό"Σπήλαιο Επαμύλων

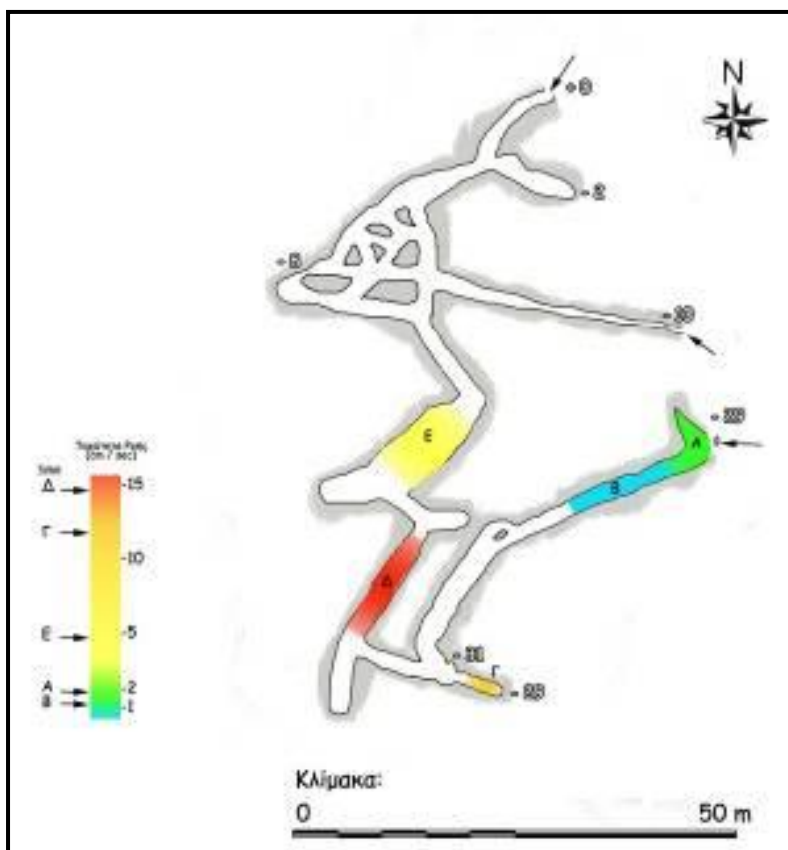
Πίνακας 1. Πίνακας Μετρήσεων

Τμήμα	Μήκος L (cm)	Μέσο Μήκος L (cm)	Πλάτος Αγωγού D (cm)	Αζιμούθιο	Τμήμα	Μήκος L (cm)	Μέσο Μήκος L (cm)	Πλάτος Αγωγού D (cm)	Αζιμούθιο	Τμήμα	Μήκος L (cm)	Μέσο Μήκος L (cm)	Πλάτος Αγωγού D (cm)	Αζιμούθιο
A	50	94.8	205	118°		34			121°		8			221°
	135			118°		6			121°		4			221°
	60			118°		11			121°		9			221°
	98			118°		10			121°		13			221°
	131			118°		8.5			121°		47			221°
B	96	103	140	80°		17			121°		13			221°
	106			80°		18			121°	E	40	49.2	300	220°
	107			80°		19			121°		75			220°
Γ	11	19.2	100	121°		23			121°		40			220°
	6			121°	Δ	50	18.3	168	221°		62			220°
	10			121°		36			221°		55			220°
	14			121°		43			221°		35			220°
	9			121°		14			221°		33			220°
	8			121°		64			221°		64			220°
	9			121°		2			221°		39			220°
	69			121°		2			221°	ΣΤ	167		310	122°
	70			121°		2			221°					
	34			121°		2			221°					
	9			121°		2			221°					
	7			121°		2			221°					
	8			121°		130			221°					
	8			121°		6			221°					
	12			121°		3			221°					
	10			121°		2			221°					
	12			121°		2			221°					
	16			121°		3,5			221°					
	24			121°		4			221°					
	29			121°		4			221°					
	54			121°		7			221°					
						5			221°					

6. Εφαρμογή στον τύπο - Αποτελέσματα

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε αγωγούς κυκλικής διατομής. Εφαρμόζοντας στους τύπους (1) και (2) τις τιμές των μετρήσεων που φαίνονται στον Πίνακα 1, προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα.

Κατά την φάση της δημιουργίας των στροβιλοειδών γλυφών, για το τμήμα Α υπολογίστηκε ότι η μέση ταχύτητα ροής είναι $\bar{u} \approx 1.8 \text{ cm/sec}$, για το τμήμα Β είναι $\bar{u} \approx 1.3 \text{ cm/sec}$, για το τμήμα Γ είναι $\bar{u} \approx 12 \text{ cm/sec}$, για το τμήμα Δ είναι $\bar{u} \approx 14.8 \text{ cm/sec}$, ενώ για το τμήμα Ε είναι $\bar{u} \approx 4.9 \text{ cm/sec}$. Δεν κρίθηκε απαραίτητος ο υπολογισμός της μέσης ταχύτητας ροής για το τμήμα ΣΤ, διότι παρατηρήθηκε μόνο μια γλυφή. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι, το συγκεκριμένο τμήμα του σπηλαιού, βρίσκεται σε μεγαλύτερο απόλυτο υψόμετρο από τα υπόλοιπα τμήματα, με άμεση συνέπεια την μεγαλύτερη έκθεση του στις διαβρωτικές διεργασίες της ζώνης κατείσδυσης.



Εικόνα 7. Σκαρίφημα του σπηλαιού στο οποίο φαίνονται οι διάφορες ταχύτητες ροής

Από τις υπολογιζόμενες ταχύτητες, προκύπτει ότι στα τμήματα Α και Β, όπου και παρατηρούνται τα μεγαλύτερα μήκη των στροβιλοειδών γλυφών, οι ταχύτητες παλαιοροής είναι μικρές. Στο τμήμα Ε, όπου το μέσο μήκος των στροβιλοειδών γλυφών είναι επίσης

μεγάλο, η χαμηλή ταχύτητα που παρατηρείται οφείλεται στο μεγάλο πλάτος του αγωγού, παρά τη μεγάλη υδραυλική κλίση. Αντίθετα, στα τμήματα Γ και Δ έχουμε τις μεγαλύτερες ταχύτητες, καθώς και τα μικρότερα μήκη στις στροβιλοειδείς γλυφές.

7. Συμπεράσματα

Το "Μικρό" Σπήλαιο των Επταμύλων δημιουργήθηκε στο φρεατικό στάδιο, ενώ σήμερα, εξαιτίας της Τεταρτογενούς τεκτονικής δράσης, βρίσκεται στην ζώνη κατεισδυσσης (vadose zone). Κατά την διάρκεια της σπηλαιογένεσης, αναπτύχθηκαν δύο κύριες ομάδες διαδρόμων, κάθετες μεταξύ τους. Το σχήμα των διαδρόμων ορίζεται από την διεύθυνση που ακολουθούν. Αυτοί που αναπτύσσονται κατά την ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση είναι χαμηλοί και ευρείς, σε αντίθεση με αυτούς που ακολουθούν ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση, οι οποίοι είναι ψηλοί και στενοί. 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.

Η ποσοτική ανάλυση των στροβιλοειδών γλυφών που παρατηρήθηκαν μέσα στο σπήλαιο, οδήγησε σε συμπεράσματα σε σχέση με τις συνθήκες παλαιοροής. Έτσι, προσδιορίστηκαν πέντε διαφορετικές ταχύτητες ροής, στα επιμέρους τμήματα του σπηλαίου. Στο τμήμα Α υπολογίστηκε ότι η μέση ταχύτητα ροής είναι $\bar{u} \approx 1.8 \text{ cm/sec}$, για το τμήμα Β είναι $\bar{u} \approx 1.3 \text{ cm/sec}$, για το τμήμα Γ είναι $\bar{u} \approx 12 \text{ cm/sec}$, για το τμήμα Δ είναι $\bar{u} \approx 14.8 \text{ cm/sec}$, ενώ για το τμήμα Ε είναι $\bar{u} \approx 4.9 \text{ cm/sec}$.

Οι ταχύτητες παλαιοροής συνδέονται άμεσα με την υδραυλική κλίση, καθώς και με τη διάμετρο των αγωγών.

Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά για την πολύτιμη βοήθεια στις εργασίες υπαίθρου, τον σπηλαιολόγο Πάρτσιο Ηλία, τον αρχαιολόγο-σπηλαιολόγο Ζαχαριάδη Σταύρο, τους γεωλόγους-σπηλαιολόγους Γκαρλαούνη Χαρίκλεια και Πολυδωρόπουλο Κωνσταντίνο. Τον Bill Torode, Γενικό Γραμματέα της National Speleological Society, για την παραχώρηση σχετικής ξενόγλωσσης βιβλιογραφίας. Τους τοπογράφους Αϊτατόγλου Ουρανία και Παυλιόδη Μιλτιάδη για την παροχή των τοπογραφικών διαγραμμάτων των Σερρών. Την Γεωλόγο Χατζησάββα Ελένη. Τον κ. Ματζούνη Κώστα, γραφίστα του τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. για την σχεδίαση εικόνων. Την Δρ. γεωλόγο Παπαφιλήπου-Πέννου Ευαγγελία, καθώς και τον καθηγητή Γεωλογίας του Α.Π.Θ. Αστάρτα Θεόδωρο για τις πολύτιμες συμβουλές τους καθ' όλη την διάρκεια της εργασίας.

Βιβλιογραφία

Βαβλιάκης Ε., 1981: Μελέτη των επιφανειών διάβρωσης, καρστικών, παγετωδών μορφών του όρους Μενοικίου (στην Α. Μακεδονία) από γεωμορφολογικής και μορφογενετικής πλευράς [Διδακτορική Διατριβή, σ.1-192]

Βαξεβανόπουλος Μ., 2006: Τεκτονικές συνθήκες σπηλαιογένεσης στο σπήλαιο «Μελισσότρυπα» Κεφαλόβρυσο Ελασσόνας. [Διατριβή Ειδικευσης, σ.1-106]

Παπαφιλήπου-Πέννου Ε., 2004: Δυναμική εξέλιξη και σύγχρονες εξωγενείς διεργασίες του υδρογραφικού συστήματος της ταφρολεκάνης των Σερρών [Διδακτορική Διατριβή, σ.1-229]

Πέννος Χ., 2004. Μελέτη των καρστικών σπηλαιομορφών των Επταμύλων Σερρών [Διπλωματική Εργασία σ. 1-39 που υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας του Α.Π.Θ.. Υπεύθυνος Καθηγητής Ε. Βαβλιάκης].

Curl R.L., 1974: Deducing flow velocity in cave conduits from scallops. The NSS Bulletin,

1974, 36(2): 1-5

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

Pennos Ch., Vavliakis E., Lazarides G., 2005: Megalon Eptamilon cave (Serres, Macedonia, Greece) Speleogenesis and development. [14th International Congress of Speleology, proceedings (in press)]

Psilovikos, A., 1986: Contribution to the Geomorphology of the South-West part of the Rhodope Massif. Geolog. Balk, 44: 55-87.

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, 2: 892-895, Thessaloniki.

[Villien B., Zheng Y., Lister D. H., 2001: The scalloping phenomenon and its significance in flow-assisted-corrosion. Proceedings of Twenty Sixth Annual CNS-CNA Student Conference, Toronto.](#)