

IV. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

ΤΟ ΣΠΗΛΑΙΟ-ΠΗΓΗ ΜΑΡΑ ΔΡΑΜΑΣ

Π.Μαρίνος*, Γ.Ξιδάκης**, Α.Δημάδη**, Θ.Γούναρης**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το σπήλαιο Μαραρά Δράμας, από τα μεγαλύτερα της Ελλάδος, διανοιγμένο στο μάρμαρο του Φαλακρού όρους, είναι ένας σωληνοειδής καρστικός αγωγός μεταβλητής διαμέτρου και διεύθυνσης. Έχει χαμηλές στενώσεις (σίφωνες), οι οποίες στραγγαλίζουν την ροή του υπογείου νερού που προέρχεται από την αποστράγγιση του Φαλακρού όρους και από τις καταβόθρες Νευροκοπίου, και διερίνσεις (μεγάλες αίθουσες) στις οποίες έχουν αναπτυχθεί σταλακτίτες διαφόρου μεγέθους και χρώματος.

Ο πυθμένας του σπηλαίου αποτελείται από αποθέσεις της υπόγειας ροής, κυρίως από μέσο έως χονδρόκοκκη άμμο, μεγάλου πάχους. Η μέση κλίση του δαπέδου είναι 2.5°/οο και η μέση υδραυλική κλίση της "χαμηλής" υδάτινης στάθμης 1.4°/οο.

Η ευστάθεια του εσωτερικού του σπηλαίου είναι ικανοποιητική, αλλά εντοπίστηκαν ορισμένες ζώνες και οι μηχανισμοί αστάθειας που θα απαιτήσουν επεμβάσεις σταθεροποίησης. Οι σταλακτίτες που κρέμονται από την οροφή του σπηλαίου μπορούν να διακριθούν σε τρεις γενιές ανάλογα με την ηλικία τους. Η ετήσια μεταβολή της στάθμης του νερού μέσα στο σπήλαιο είναι της τάξης του 1m και η παροχή του ποταμού-πηγής έχει μέση τιμή περί τα 5m³/s. Η μέση ετήσια παροχή είναι 150x10⁶m³ και υπολογίζεται ότι προέρχεται κατά 70% από τις καταβόθρες του Νευροκοπίου και κατά 30% από απ' ευθείας κατείσδυση.

Η μέγιστη παροχέτευση μέσω των καταβόθρων έχει υπολογιστεί σε 6.3 m³/s, ενώ εκείνη του τελευταίου κατάντη τμήματος του σπηλαίου σε 40m³/s. Σχετικώς έχουν εκτιμηθεί οι μεταβολές της στάθμης του νερού στο σπήλαιο και η απόκριση στις πλημμύρες.

Το τμήμα του σπηλαίου μετά τα 3ο σίφωνα, από τα 700m από τη πηγή μέχρι τα 2600m στο εσωτερικό του όρους, έγινε άμεσα επισκέψιμο μετά από διάνοιξη στοάς που παρέκομψε το σίφωνα αυτόν στα πλαίσια αυτής της έρευνας. Το τμήμα δεν διαφέρει σημαντικά από το προηγούμενό του. Είναι επίσης, ένας σωληνοειδής αγωγός με φτωχότερο διάκοσμο, χωρίς εμπόδια κυκλοφορίας, με ροή νερού και αποθέσεις άμμου σε όλο το πλάτος του δαπέδου.

* Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Γεωτεχνικός Τομέας, Ε.Μ.Πολυτεχνείο

** Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Γεωτεχνικός Τομέας, Πανεπιστήμιο Θρόκης

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το σπήλαιο-πηγή Μασρά Δράμας, είναι ένα από τα μεγαλύτερα και πιο εντυπωσιακά σπήλαια στην Ελλάδα. Βρίσκεται 35km περίπου Δ-ΒΔ της πόλεως της Δράμας, στους πρόποδες του όρους Φαλακρό, σε υψόμετρο 127m περίπου. Από το μεγάλο τοξοειδές άνοιγμα του εξέρχεται ο ποταμός Αγγίτης, ο οποίος, αφού διατρέξει τον κάμπο της Δράμας, καταλήγει στον ποταμό Στρυμώνα. Το σπήλαιο αυτό είναι μία από τις λίγες περιπτώσεις σπηλαίων στον κόσμο που φιλοξενεί εν ενεργεία "υπόγειο ποταμό".

Ο υπόγειος αυτός ποταμός-πηγή έχει αποδειχθεί μέσω υδρογεωλογικών συσχετίσεων (Petrochilos, 1951, Karageorgiou and Parakis, 1961, Marinou et al., 1987) και ιχνηθετήσεως (Karageorgiou and Parakis, 1961), ότι αποστραγγίζει μέσω καταβοθρών την κλειστή λεκάνη του Κάτω Νευροκοπίου. Η λεκάνη αυτή απέχει 9km περίπου από την πηγή και βρίσκεται σε υψόμετρο 545m. Δηλαδή η υψομετρική διαφορά πηγής Μασρά - καταβοθρών Κάτω Νευροκοπίου είναι 420m, η δε οριζόντια απόσταση τους 9km περίπου.

Το σπήλαιο είχε εξερευνηθεί σε βάθος 2600m περίπου, τόσο από μέλη της Ελληνικής Σπηλαιολογικής Εταιρείας (ΕΣΕ), όσο και από ομάδα Γάλλων Σπηλαιολόγων (ERIS, 1981) με διέλευση, μέσω κατάδυσης, των διαφόρων σιφώνων που δημιουργούνται από τη μείωση της διατομής του.

Το 1983 η Νομαρχία Δράμος ανέθεσε στο Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλαγίας του Δημοκριτείου Πανεπιστημίου Θράκης με επι κεφαλής τον διευθυντή του, την εποχή εκείνη, Καθηγητή κ.Π.Μορίνο, έρευνα-μελέτη για την τεχνική αξιολόγηση του σπηλαίου με σκοπό την τουριστική του αξιοποίηση. Στα πλαίσια της έρευνας αυτής μελετήθηκαν και αξιολογήθηκαν τα πρώτα 700m του σπηλαίου, τα οποία ήταν προσπελάσιμα (διανοιχθέντες από το παρελθόν 1ος και 2ος σίφωνες), διότι μετά το σημείο αυτό υπήρχε ιδιαίτερη στένωση (3ος σίφωνα), η οποία δεν επέτρεπε την άμεση προσπέλαση στο υπόλοιπο μέρος του σπηλαίου. Μερικά από τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής αναφέρονται συνοπτικά στην παρουσίαση αυτή.

2. ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

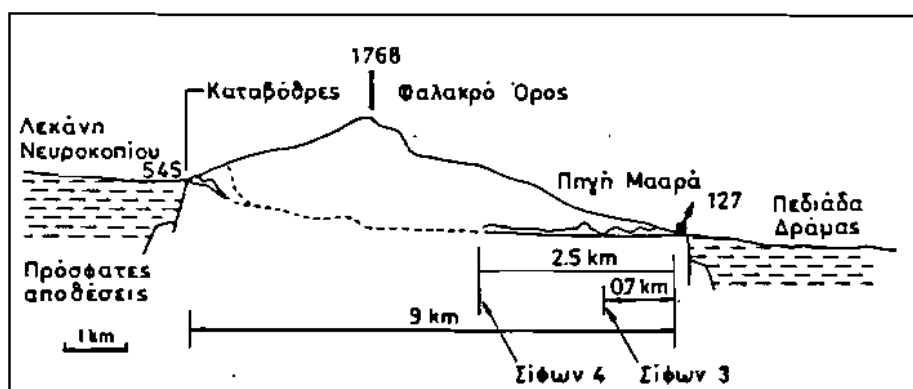
Στα πλαίσια της προαναφερόμενης έρευνας του ΔΠΘ, έγιναν οι παρακάτω ερευνητικές εργασίες και μετρήσεις εσωτερικώς και εξωτερικώς του σπηλαίου:

- τοπογραφική αποτύπωση του σπηλαίου (τα πρώτα 700m) σε διάφορες κλίμακες, 1:200, 1:500, 1:1000 κ.ά.
- υδρολογική - υδρογεωλογική μελέτη της ευρύτερης περιοχής του σπηλαίου.
- αυνεχείς μετρήσεις της στάθμης του νερού και της άμμου του δαπέδου σε διάφορα σημεία του σπηλαίου.

- πενетроμετρήσεις κατά μήκος του σπηλαιίου για την εύρεση του πάχους των ιζημάτων του πυθμένα.
- μετρήσεις διακλάσεων και εκτίμηση της ευστάθειας του εσωτερικού του σπηλαιίου.
- μέτρηση παροχών και θερμοκρασίας νερού και αέρα, εσωτερικώς και εξωτερικώς του σπηλαιίου.

3. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

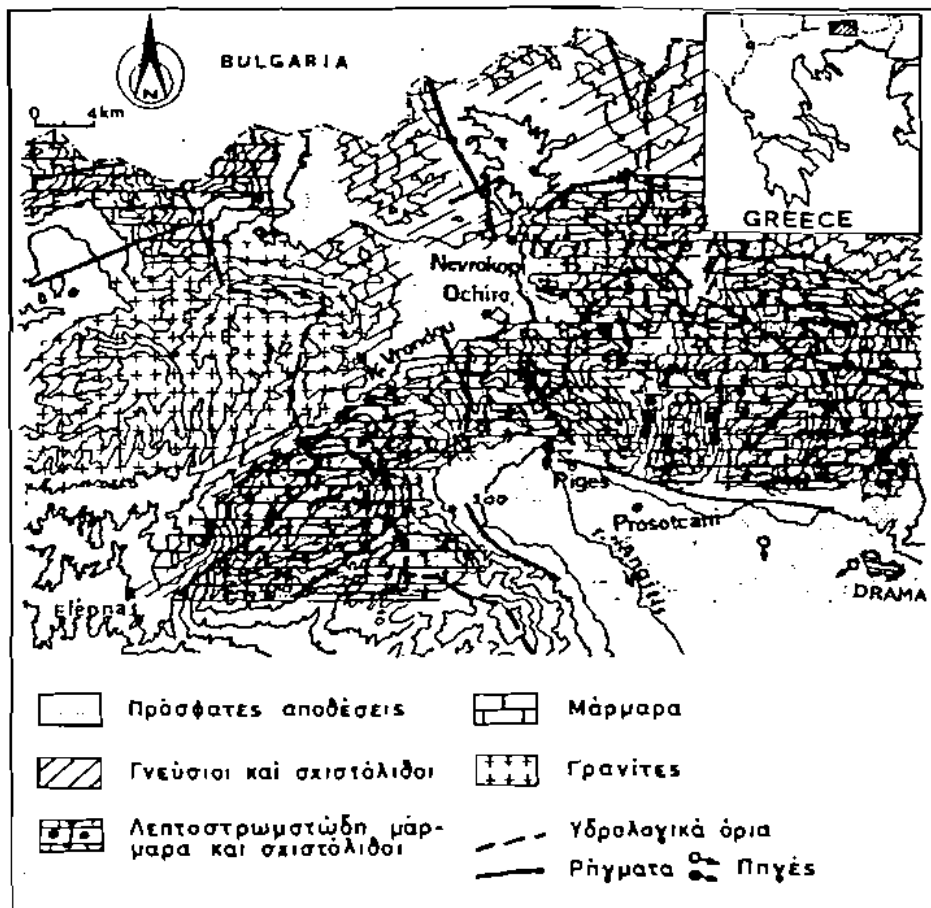
Το σπήλαιο Μασρά έχει ανοιχθεί στα μάρμαρα του Φαλακρού όρους, το οποίο είναι μέρος της μάζας της Ροδόπης (σχ.1,2). Η ευρύτερη περιοχή αποτελείται κυρίως από μεταμορφωμένα πετρώματα (μάρμαρα, γνεύσιους, σχιστολίθους) και γρανιτικές διεισδύσεις.



Σχ.1. Σκαρίφημα σύνδεσης πηγής Μασρά - καταβοθρών λεκάνης Νευροκοπίου (Marinos et al., 1987).

Στα μάρμαρα έχει αποδοθεί Ανω Παλαιοζωϊκή ηλικία, ενώ στις γρανιτικές διεισδύσεις Παλαιογενής. Τα μάρμαρα αποτελούν σειρό μεγάλου πάχους (χιλιάδες μέτρα) και είναι συνήθως παχυστρωματώδη με λεπτές ενστρώσεις σχιστολίθων κατά τόπους. Είναι ελαφρά πτυχωμένα, με "ανοικτές" πτυχές και φαίνεται να έχει επωθηθεί πάνω α' αυτά η σειρά των σχισταγνευσίων που εμφανίζονται βορειοανατολικά. Το όλο σύστημα είναι τεκτονισμένο και ρηγματωμένο με σχετικά πρόσφατες μετα-ορογενετικές εφελκυστικές διαρρήξεις. Τα ρήγματα ακολουθούν γενικά μία ΒΒΑ-ΝΝΔ και μία ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση, χωρίς να λείπουν και ρήγματα με άλλες διευθύνσεις (σχ. 4).

Η πεδιάδα της Δράμας προς νότο, καθώς και η κλειστή λεκάνη του Κάτω Νευροκοπίου στην ορεινή περιοχή βόρεια της πηγής, είναι αποτέλεσμα της ορεινής αυτής τεκτονικής. Οι



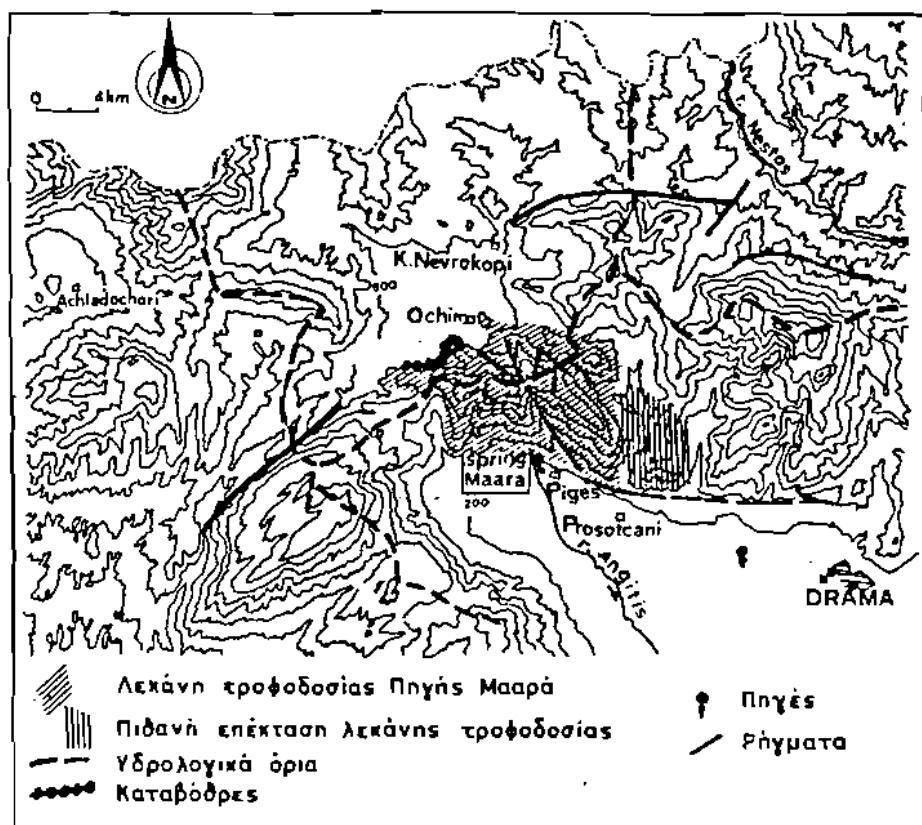
Σχ.2. Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής Δράμας
(Βασισμένος σε δεδομένα του ΙΓΜΕ)

πρόσφατες αποθέσεις των λεκανών αυτών αποτελούνται κυρίως από αργίλους, ιλύες και άμμους, το πάχος των οποίων υπερβαίνει τα 100m αμέσως μετά τα κρασπέδα του όρους.

Τα μάρμαρα είναι καρστικοποιημένα και τα νερά από την κατείσδυση των βροχοπτώσεων στο φαλακρά εξέρχονται στην πεδιάδα της Δράμας υπό μορφή σημειακών εκφορτίσεων (πηγών), είτε απ' ευθείας από τα μάρμαρα (Μασρά), είτε μέσω των κορημάτων των κρασπέδων του όρους (Αγία Βαρβάρα, Μυλοπόταμος). Η πηγή Μασρά είναι η μεγαλύτερη των εκφορτίσεων αυτών (σχ.3).

4. ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ

Η τοπογραφική αποτύπωση ενός σπηλαιού δεν ανήκει στα έργα ρουτίνας ενός τοπογράφου. Λόγω των ειδικών συνθηκών που επικρατούν μέσα στα σπήλαια, χρειάζονται ιδιαίτερες μέθοδοι



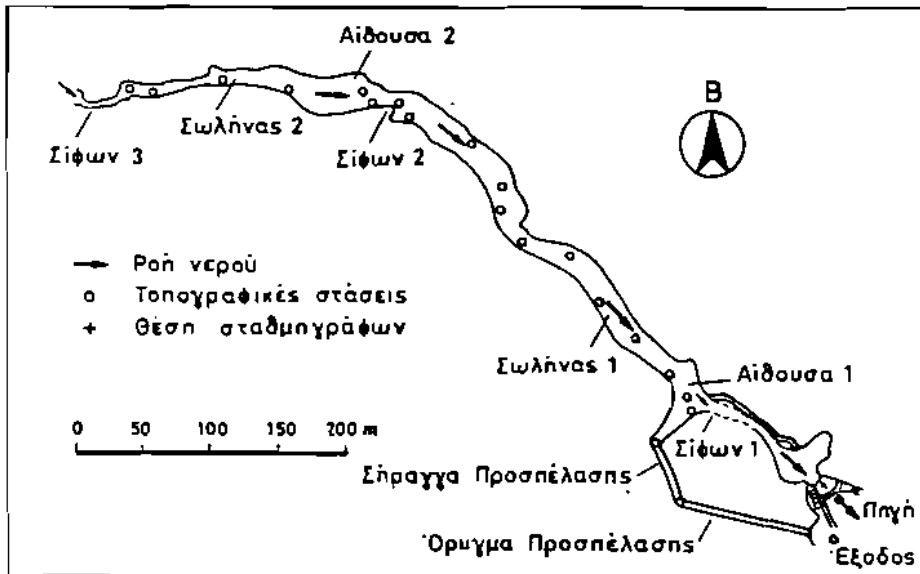
Σχ.3. Υδρογεωλογική λεκάνη (λεκάνη τροφοδοσίας) της πηγής Μασρά (Marinos et al., 1987)

και όργανα αποτύπωσης. Στην περίπτωση του σπηλαιού Μασρά, οι εργασίες γίνονται ακόμη δυσκολότερες λόγω της ανευχούς ραής του νερού και της μετακίνησης του αμμώδους πυθμένα.

Παρ' όλες τις παραπάνω δυσκολίες στην αποτύπωση που έγινε από τον τοπογράφο μηχανικό της ερευνητικής ομάδας Α.Γούναρη, το ολικό σφάλμα δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1m οριζοντιογραφικά και τα 10cm υψομετρικά.

Οι τοπογραφικές εργασίες στηρίχθηκαν σε παλυγωνικές και χωροσταθμικές οδεύσεις, εσωτερικά και εξωτερικά του σπηλαιού, και εξάρτηση αυτών από το δίκτυο της ΓΥΣ. Σε όλες τις εργασίες χρησιμοποιήθηκαν όργανα υψηλής ακριβείας, ελεγμένα και ρυθμισμένα, όπως θεοδόλιχος 1° WILD T2 για γωνιομετρήσεις, αυτόματος χωροβάτης KERN GK1-A για γεωμετρικές χωροσταθμίσεις, ηλεκτρομαγνητικά όργανα μέτρησης αποστάσεων (EDM) WILD DISTOMAT DI-10 ακριβείας 1-2cm, διμετρη σταδία ίνταλ κ.ά. Χρησιμοποιήθηκε επίσης, σχεδόν αποκλειστικά, η ακριβής μέθοδος της αναγκαστικής κέντρωσης.

Από την τοπογραφική αποτύπωση προέκυψαν χάρτες διαφόρων κλιμάκων 1:200, 1:500, 1:1000, οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν ως βάσεις για τις υπόλοιπες εργασίες.



Σχ.4. Κάτοψη του τελευταίου τμήματος του σπηλαιού (Από αποτύπωση σε κλίμακα 1:200 από Θ.Γούναρη, 1986)

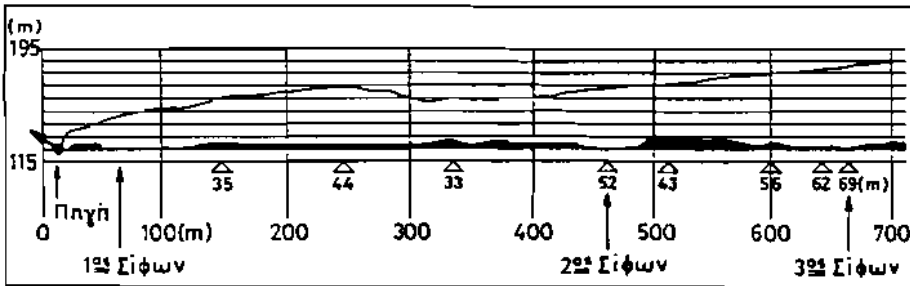
5. ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΤΟΥ ΣΠΗΛΑΙΟΥ

5.1. Μορφολογία

Από την τοπογραφική αποτύπωση προέκυψε ότι το σπήλαιο είναι ένας σωληνοειδής καροτικός αγωγός μεταβλητής διαμέτρου και διεύθυνσης (σχ.4). Η διάμετρος του ποικίλλει από 1m έως 20m, αλλά δεν λείπουν και οι μεγαλύτερες αίθουσες διαστάσεων 30x40m, καθώς και οι χαμηλές στενώσεις (σίφωνες) με διαστάσεις μικρότερες του 0.5m. Τέτοιοι σίφωνες

υπάρχουν γύρω στα 70m, 400m, 700m και 2600m από την έξοδο (αίφωνα 1ος, 2ος, 3ος, 4ος, αντίστοιχα).

Η απόσταση του σπηλαιίου από την επιφάνεια του εδάφους ποικίλλει από 2m (στο άνοιγμα) μέχρι 40m στην περιοχή των 700m από την έξοδο (σχ.5). Η θέση του ανοίγματος έχει δημιουργηθεί από ρήγμα.



Σχ.5. Μηκοτομή του τελευταίου (κατάντη) τμήματος του κορστικού αγωγού (Marinos et al., 1987).

Πίω συνήθως από κάθε σίφωνα αναπτύσσεται μία μεγάλη και μακριά αίθουσα με ένα δάσος από σταλακτίτες. Μερικοί από αυτούς φθάνουν μέχρι το δάπεδο και βυθίζονται μέσα στην άμμο. Σε μερικές όμως θέσεις, η οροφή του σπηλαιίου έχει αποκολληθεί και καταπέσει μαζί με τους σταλακτίτες στο αμμώδες δάπεδο. Το ίδιο συμβαίνει και με τους μεμονωμένους σταλακτίτες. Στις θέσεις αυτές, η επιφάνεια της οροφής είναι καλυμμένη από νεότερους σταλακτίτες ή είναι τελείως γυμνή, αναλόγως της ηλικίας της αποκόλλησης.

Τα υλικά αποκόλλησης-κατάπτωσης σε άλλα σημεία έχουν βυθιστεί τελείως μέσα στον ομμώδη πυθμένα και σε άλλα προεξέχουν και σχηματίζουν σωρούς από πεσμένους βράχους, π.χ. στην πρώτη αίθουσα, μετά τον πρώτο σίφωνα.

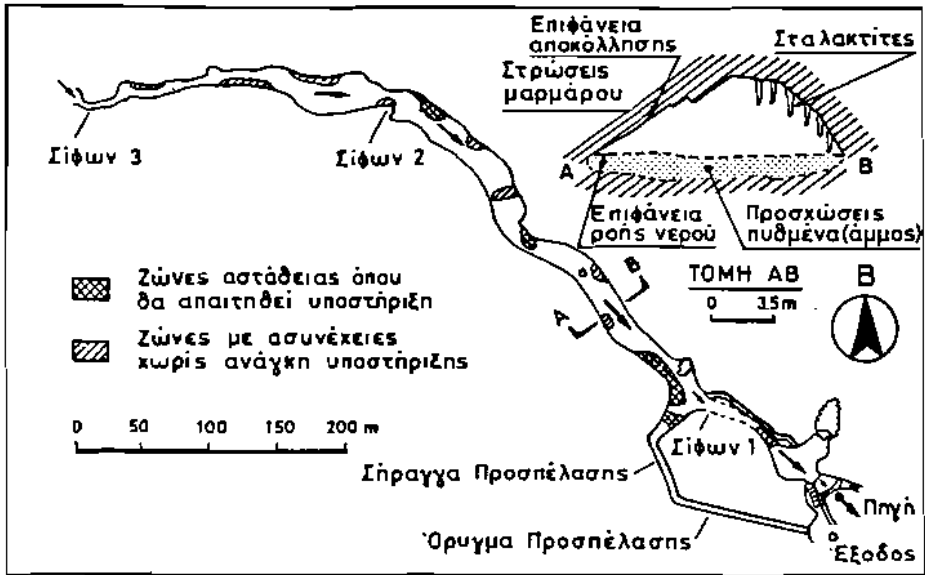
Οι διακλαδώσεις μέσα στο σπηλαιο είναι στην ουσία ανύπαρκτες. Σε μερικά σημεία έχουν σχηματιστεί κοτακόρυφοι κορστικοί αγωγοί στην οροφή, οι οποίοι υψώνονται σαν "καμινόδες", χωρίς να φθάνουν μέχρι την επιφάνεια του εδάφους. Μόνο σε μία περίπτωση η οροφή μιας τέτοιας "καμινόδας" έχει καταπέσει και έχει σχηματιστεί ένα κατακόρυφο άνοιγμα αμέσως μετά την κύρια είσοδο του σπηλαιίου, στη θέση του εκεί μύλου.

5.2. Ευστάθεια του εσωτερικού του σπηλαιίου

Από τη μελέτη και ανάλυση των διακλάσεων και των συνεχειών των στρώσεων του πετρώματος, καθώς και την επί τόπου παρατήρηση, προέκυψε ότι η ευστάθεια του σπηλαιίου

είναι σχετικά καλή. Οι περιοχές με αστάθεια χωρίσθηκαν σε ζώνες με:

- "τρέχουσα" αστάθεια και ανάγκη μέτρων προστασίας
- καταστάσεις αστοχείας αλλά όχι άμεσου κινδύνου, στις οποίες επιβάλλεται παρακολούθηση
- περιοχές ρωγμών χωρίς κίνδυνο αποκολλήσεων-καταπτώσεων
- περιοχές με ρωγμές στην κεφαλή (ρίζα) των σταλακτιτών λόγω της καταπόνησης τους από τις πλημμύρες και τη ροή του νερού.



Σχ.6. Οριζοντιογραφία σπηλαιού Μασρά Δράμας. Περιοχές αστάθειας που χρειάζονται κατά περίπτωση υποστήριξη.

Οι μορφές και οι μηχανισμοί αστάθειας είναι:

- κυρίως αποχωρισμού πλακών κατά στρώσεις (σχ.6) που μπορεί να εξελιχθούν σε μηχανισμούς δημιουργίας θόλου
- δευτερεύουσες ολισθήσεις σφηνών μεταξύ των ρωγμών ή "κρέμασης" σταλακτιτών.

Υπάρχουν θέσεις παλαιών αποκολλήσεων-καταπτώσεων, οι οποίες στα περισσότερα σημεία έχουν επουλωθεί και σταθεροποιηθεί από σταλακτιτικό υλικό.

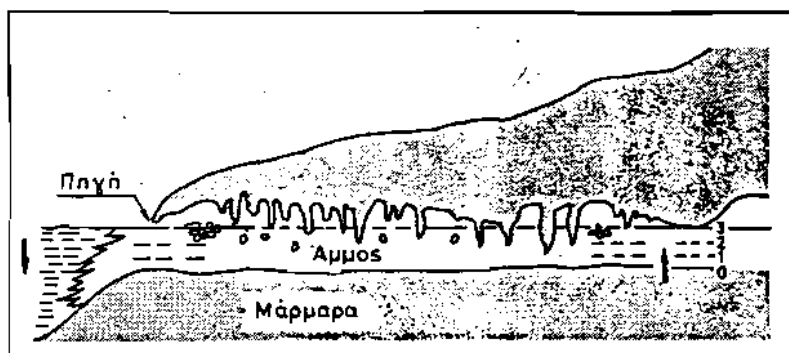
Στις θέσεις των νεωτέρων αποκολλήσεων-καταπτώσεων υπάρχουν τεμάχια του μαρμάρου επικίνδυνα για μετακίνηση ή πώση, τα οποία τις περισσότερες φορές χρειάζονται απλή απομάκρυνση. Ελάχιστες είναι οι θέσεις όπου θα χρειαστεί επέμβαση με πιο προχωρημένες μεθόδους αντιστήριξης, π.χ. ηλώσεις, αγκύρια. Οι ζώνες αστάθειας φαίνονται στο σχήμα 6.

5.3. Ο πυθμένας του σπηλαιίου

Ο πυθμένας του σπηλαιίου είναι αμμόδης και σκεπασμένος συνήθως με νερό. Όταν χαμηλώνει η στάθμη, ώστε να σφηνει 20-30cm πάχος νερού -κυρίως κατά την περίοδο Αυγούστου-Σεπτεμβρίου- η ροή εντοπίζεται σε ορισμένα σημεία του δαπέδου, αφήνοντας ενδιάμεσα νησίδες άμμου πακίλου μεγέθους και σχήματος.

Οι νησίδες αυτές μετατόπιζονται ή και εξαφανίζονται την περίοδο των πλημμυρών, στη διάρκεια των οποίων παρατηρείται εκβάνθυση του πυθμένα λόγω διάβρωσης και εναπόθεση την περίοδο που χαμηλώνουν τα νερά.

Το πάχος των προσχώσεων του πυθμένα βρέθηκε από πενετρομετρήσεις ότι υπερβαίνει τα 10m και συναρτάται με την εξέλιξη του σπηλαιίου ανάλογα με την θέση του εκάστοτε γεωγραφικού επιπέδου βάσεως (σχ.7). Η μέση ετήσια μεταβολή της στάθμης του νερού μέσα στο σπήλαιο είναι 1.20m περίπου. Η μέση κλίση του δαπέδου είναι $2.50^{\circ}/\text{οο}$ περίπου και η μέση υδραυλική κλίση την περίοδο χαμηλής στάθμης των νερών είναι $1.40^{\circ}/\text{οο}$.



Σχ.7. Σκορίφημο πιθανής εξέλιξης του σπηλαιίου Μασρά (Marinos et al., 1987).

Στη διάρκεια των πλημμυρών η υδραυλική κλίση μεταβάλλεται κατά μήκος του σπηλαιίου, εφόσον η ροή δεν είναι ομαλή αφού "στραγγαλίζεται" στα στενώματα (σίφωνες), με αποτέλεσμα να πλημμυρίζουν οι αίθουσες πίσω από αυτά. Προτείνεται μικρή ταπεινώση του δαπέδου του σπηλαιίου η οποία θα προκληθεί από τη διάβρωση της άμμου ύστερα από καθαρισμό των εμποδίων ροής του νερού στο κατάντη τμήμα του σπηλαιίου. Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται και το ελάχιστο ελεύθερο ύψος εντός του σπηλαιίου, ώστε να μην απαιτηθούν πολλές επεμβάσεις εκκοσμών προκειμένου να διέρχονται οι επισκέπτες.

6. ΣΤΑΛΑΚΤΙΤΕΣ

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το εσωτερικό του σπηλαιίου διακοσμείται από σταλακτίτες που "κρέμονται" από την οροφή του σπηλαιίου. Πολλοί από αυτούς φθάνουν ή και βυθίζονται στο αμώδες δάπεδο. Το χρώμα των σταλακτιτών έχει διάφορες αποχρώσεις του καφέ και οφείλεται στην πρόσμειξη του σταλακτιτικού υλικού με την κόκκινη άργιλα και ιλύ που μεταφέρεται από τα νερά. Σε μερικούς σταλακτίτες υπάρχουν τοπικές επικαλύψεις από μαύρο υλικό από πυρολουσίτη, το οποίο επίσης βρίσκεται μέσα στις ρωγμές του μορμόρου, απ' όπου πιθανόν μεταφέρεται διαλυμένο στο νερό. Μεταλλευτική εκμετάλλευση του ορυκτού αυτού γίνεται στην ευρύτερη περιοχή. Χαρακτηριστική είναι η έλλειψη σταλαγμών στο μέρος αυτό του σπηλαιίου, η οποία αποδίδεται στη συνεχή ύψωση βέοντος νερού στον πυθμένα του σπηλαιίου.

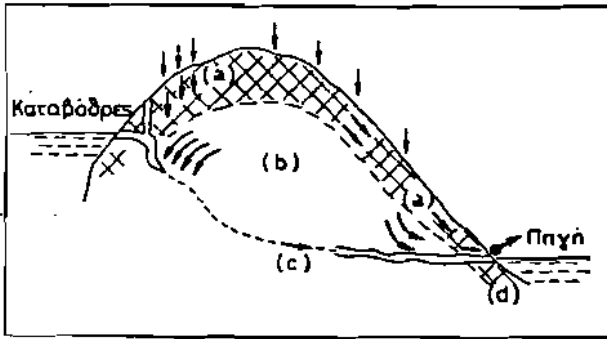
Στο σπήλαιο μπορούν να διακριθούν τρεις "γενιές" σταλακτιτών:

- Στην πρώτη γενιά ανήκουν οι μεγάλοι σταλακτίτες που περιγράφηκαν ανωτέρω. Είναι σκοτεινόχρωμοι και οι επιφάνειές τους έχουν σχίσει να διαβρώνονται. Έχουν επίσης οπισσίματα διαφόρου μεγέθους. Πολλοί δε από αυτούς έχουν αποκολληθεί από την οροφή, καταπέσει και βυθιστεί μερικά ή ολικά στην άμμο του πυθμένα. Τα μορφολογικά τους χαρακτηριστικά δείχνουν πως βρίσκονται στο στάδιο της ωριμότητας προς το γήρας.
- Η δεύτερη γενιά σταλακτιτών έχει αναπτυχθεί στις παλαιότερες επιφάνειες αποκόλλησης της οροφής. Το μήκος τους δεν υπερβαίνει τα 2m, οι επιφάνειές τους είναι λείες και τα χρώματά τους σχετικά ανοικτά.
- Η τρίτη γενιά αναπτύσσεται σε σχετικά νέες επιφάνειες αποκόλλησης. Έχουν μήκος συνήθως μικρότερο του 0.5m, λείες και ανοιχτόχρωμες επιφάνειες.

7. ΠΑΡΟΧΗ ΤΗΣ ΠΗΓΗΣ ΚΑΙ ΤΟ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΤΟΥ ΣΠΗΛΑΙΟΥ

Η παροχή της πηγής-σπηλαιίου κυμαίνεται από $1\text{m}^3/\text{s}$ μέχρι και πάνω από $15\text{m}^3/\text{s}$ (αναφέρουμε, με επιφύλαξη αιχμές που δίνουν και $27\text{m}^3/\text{s}$), με μέση ετήσια τιμή $5.3\text{m}^3/\text{s}$. Η μέση ετήσια ποροχή της πηγής είναι $150 \times 10^6 \text{m}^3$ περίπου. Από αυτή έχει υπολογιστεί ότι το 60% προέρχεται από τις καταβόθρες του Κάτω Νευροκοπίου και το υπόλοιπο 30% περίπου από απ' ευθείας κατειόδυση στο φαλακρά όρος (Marinos et al., 1987).

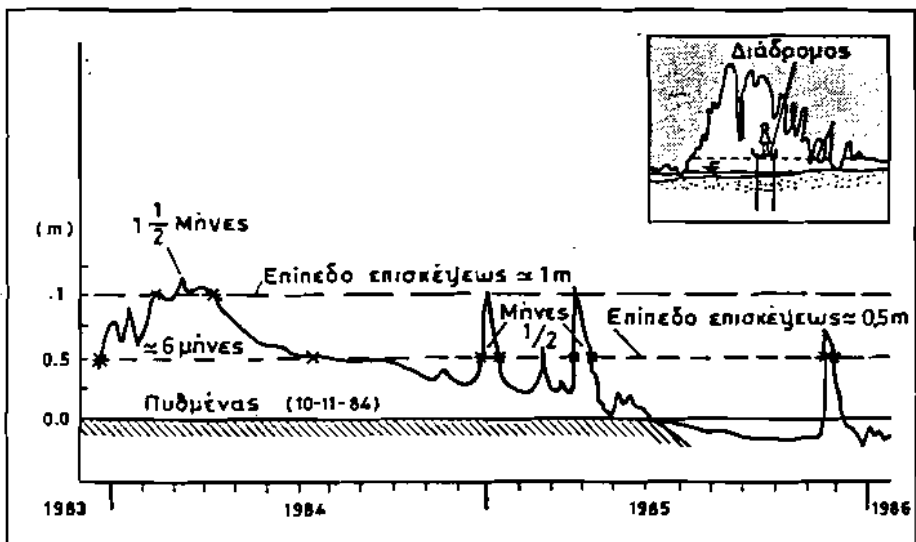
Ο ρυθμός μείωσης της παροχής της πηγής κατά τη διάρκεια του έτους δείχνει την ύπαρξη ενός υδροφορέα μεγάλης διαπερατότητας κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, που εκκενώνεται αργά μέσω των μικρορωγμών του πετρώματος και περιβάλλει τους βοθείς και μεγάλους καρστικούς αγωγούς. Ο δεύτερος αυτός υδροφορέας ρυθμίζει την ομαλότητα της παροχής της πηγής (σχ.9).



Σχ.9. Υδρογεωλογικό μοντέλο της λεκάνης τροφοδοσίας της πηγής (Marinos et al., 1987)

- a: Καρστικοποιημένο μάρμαρο - Ζώνη μεταβίβασης νερών
- b: Λεπτοδιακλασμένο μάρμαρο
- c: Μεμονωμένοι καρστικός αγωγός (σπήλαιο)
- d: Καρστικός υδροφόρος οριζοντας που αναπτύσσεται στα χαμηλότερα σημεία της ζώνης a.

Εκτιμάται ότι διάδρομος επισκέψεως τοποθετημένος σε ύψος 0.5m από τον πυθμένα θα κατακλύζεται περίπου 7 μήνες το χρόνο, ενώ σε ύψος 1m μόνο για 2 μήνες το χρόνο, για ουνηθισμένο υδραλαγικό καθεστώς (σχ.10).



Σχ.10. Μεταβολή της στάθμης του νερού στο σπήλαιο και πιθανή θέση του διαδρόμου επισκέψεώς του (Marinos et al., 1987)

Από τη μοθημοτική προσομοίωση του τελευταίου τμήματος του σπηλαιίου, μελετήθηκε η πορεία και οι χρόνοι διαδρομής των πλημμυρών και προβλέφθηκαν οι στάθμες του νερού στο σπήλαιο, κατά περίπτωση (Marinos et al., 1987). Η μέγιστη εισροή που μπορεί να αναμένεται από τις καταβόθρες, αν καθαρισθούν και διευθετηθούν, είναι $40\text{m}^3/\text{s}$, παροχή που η ανωτέρω μελέτη έδειξε ότι η αιχμή της μπορεί να εξομαλυνθεί από τη διαδρομή των 9km του καρστικού αγωγού του σπηλαιίου.

9. ΤΟ ΤΜΗΜΑ ΤΟΥ ΣΠΗΛΑΙΟΥ ΜΕΤΑ ΤΟΝ ΤΡΙΤΟ ΣΙΦΩΝΑ ΑΠΟ 700 ΜΕΧΡΙ 2600m

Στα πλαίσια της μελέτης προτάθηκε η διάνοξη του 3ου σίφωνα, που δεν επέτρεπε την περαιτέρω εξερεύνηση του σπηλαιίου παρά μόνο από δύτες. Μετά τη διάνοξη του σίφωνα αυτού τον Ιανουάριο του 1987 και σε περίοδο χαμηλών νερών καθίσταται πλέον δυνατή η επίσκεψη -και από μη ειδικούς σπηλαιολόγους- ενός ακόμη τμήματος του σπηλαιίου, μήκους 2000m περίπου. Ετσι, η πρώτη ομάδα επίσκεψης αποτελούμενη από κατοίκους της περιοχής Δράμας και των γύρω από το σπήλαιο οικισμών, καθώς και τον εκ των συγγραφέων Γ.Ξειδάκη, επισκέφθηκε το "νέο" τμήμα του σπηλαιίου.

Οι πρώτες διοπιστώσεις που έγιναν κατά την επίσκεψη αυτή είναι ότι: Ο αίφωνας, συνολικού μήκους περί τα 35m, ήταν γεμάτος άμμο μέσα από την οποία γινόταν η ροή του νερού του σπηλαιίου. Αποτέλεσμα της διάνοξης ήταν τα νερά να βρουν ευκολότερη διεξοδό μέσω του νέου ανοίγματος, να εκσκάψουν την άμμο του πυθμένα και να εκβανθύνουν το άνοιγμα κατά 1m περίπου.

Οι προτάσεις που διατυπώσαμε για την διάνοξη του 3ου σίφωνα (Marinos κ.ά., 1985), αναφέρονταν:

- στην επιλογή της κατάλληλης εκρηκτικής ύλης ασθενούς διαρρηκτικής ικανότητας, για υδάτινο περιβάλλον και χωρίς παραγωγή τοξικών αερίων
- στην επιλογή της μεθόδου των "λείων τοχωμάτων" ώστε να προκαλείται η ελάχιστη καταπόνηση, να διατηρείται η ανθεκτικότητα του βράχου, να μην δημιουργείται υπερεκκακφή και να προκαλούνται περιορισμένες δονήσεις.

Το νέο τμήμα του σπηλαιίου από 700m μέχρι 2600m, δεν διαφέρει βασικά από το προηγούμενο. Είναι πάντοτε ένας σωληνοειδής υπόγειος αγωγός, μεταβλητής διαμέτρου (5m-30m). Ο πυθμένας καλύπτεται με νερό και άμμο και δεν υπάρχουν σημαντικά εμπόδια τα οποία να παρεμποδίζουν την κίνηση των επισκεπτών. Έχει λιγότερους σταλακτίτες και είναι φτωχότερο σε διάκοσμο, με εξαίρεση ορισμένες θέσεις π.χ. "Η στολισμένη αίθουσα" ("salle des ornais" των Γάλλων Σπηλαιολόγων) όπου εμφανίζεται ένας πλούσιος διάκοσμος από

λευκοῦς σταλακτίτες. Η ευστάθεια του τμήματος αυτού του σπηλαιίου είναι επίσης, καλή. Σε μερικά σημεία υπάρχουν μεγάλες, παλαιές, πλευρικές μετακινήσεις της βραχομάζας που μικραίνουν τη διατομή του σπηλαιίου, π.χ. στα 850m και 1800m. Από την πρώτη αυτή εξέταση φαίνεται όμως, ότι μάζα αυτή είναι σταθεροποιημένη. Για πρώτη φορά, εμφανίζονται εδώ και λίγοι σταλαγμίτες που "φυτρώνουν" μέσα από την άμμο του δαπέδου. Μερικοί από αυτούς έχουν ύψος 3m και περίμετρο 2m περίπου και είναι σταθερά προσακλλημένοι στον πυθμένα. Η συνέχεια του σπηλαιίου στο εσωτερικό του όρους διακόπτεται τέλος, από ένα τέταρτο οίφωνα.

10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η συνδυασμένη γεωλογική, υδρογεωλογική, μορφολογική και τεχνικογεωλογική μελέτη ενός σημαντικού σπηλαιίου με την ιδιαιτερότητα της ροής υπόγειου νερού υψηλών παροχών, επέτρεψε την κατανόηση του καθεστώτος υδρολογικής λειτουργίας των καρστικών αγωγών και τον καθορισμό των συνθηκών ευστάθειας των υπαγείων αναγμάτων, στοιχείων απαραίτητων για την ορθολογική εκμετάλλευση του σπηλαιίου.

11. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Karageorgiou, E. and Papakis, N., 1961. Observations sur l' ecoulement souterrain dans une region karstique de la Grece Septentrionale Memoires AIH, IV, 68-72. Assemblee de Rome.
2. Μαρίνος, Π., Ξειδάκης, Γ., Δημάδη, Α. και Γούνορης Α., 1985. Μελέτη Σπηλαιίου Μασρά Δράμας. Έρευνα του Δ.Π.Θ. για λογαριασμό της Νομαρχίας Δράμας. Δ.Π.Θ, Ξάνθη.
3. Marinos, P.G., A.Dimadi, G.Xidakis and C.Koutitas, 1967. Ground Water Hydraulics of a Large Karstic Conduit. Sinkholes Drainage and Spring Discharge in Drama Area, Greece. 2nd Intern. Conference on Sinkholes and Karst, Orlando, Balkema Publ., 261-268.
4. Patrochilos, I., 1952. Recherches speleologiques dans la region de Nevrokopl. Soc. Speleol. Grece, I, 5, 286-293.

Fractals' USE in physical geography and geology

Theodore Gournellos*

SUMMARY

Fractals can be defined as irregular continuous curves without derivatives. The fractal or Hausdorff dimension is not a necessary integer parameter and characterizes the form of a curve.

Fractal curves are located in many geographic objects such as coastlines, Karst regions, drainage basins and so on.

The distribution of the areas of sixteen Greek islands, the areas of Greek lakes and Greek plains display a Pareto distribution and a fractional behaviour as well. Fractional dimension measurements, for the recent faulted zones of Sifnos and Andros are $D=1,10$ and $D=1,02$ respectively.

Lengths of rivers such as selinous river may have values close to $D=1,10$

Generally fractal dimensions may have low values when the faults measured are recent.

The values of D depend on the geomorphologic stage of a region.

*Λέκτορας στον τομέα Γεωγραφίας-Κλιματολογίας, Γεωλογικό Τμήμα Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Low values are observed in the period of the original uplift and the pampa plain. On the other hand, the relief indicates elevated values in the intermediate stages.

The value of fractional dimension of the Landscapes is proportional to Entropy, which means that maximum Entropy reflects maximum disorder or randomness in nature and consequently Gaussian distribution of different variables. So we expect normal distribution for landscape variables on high D values