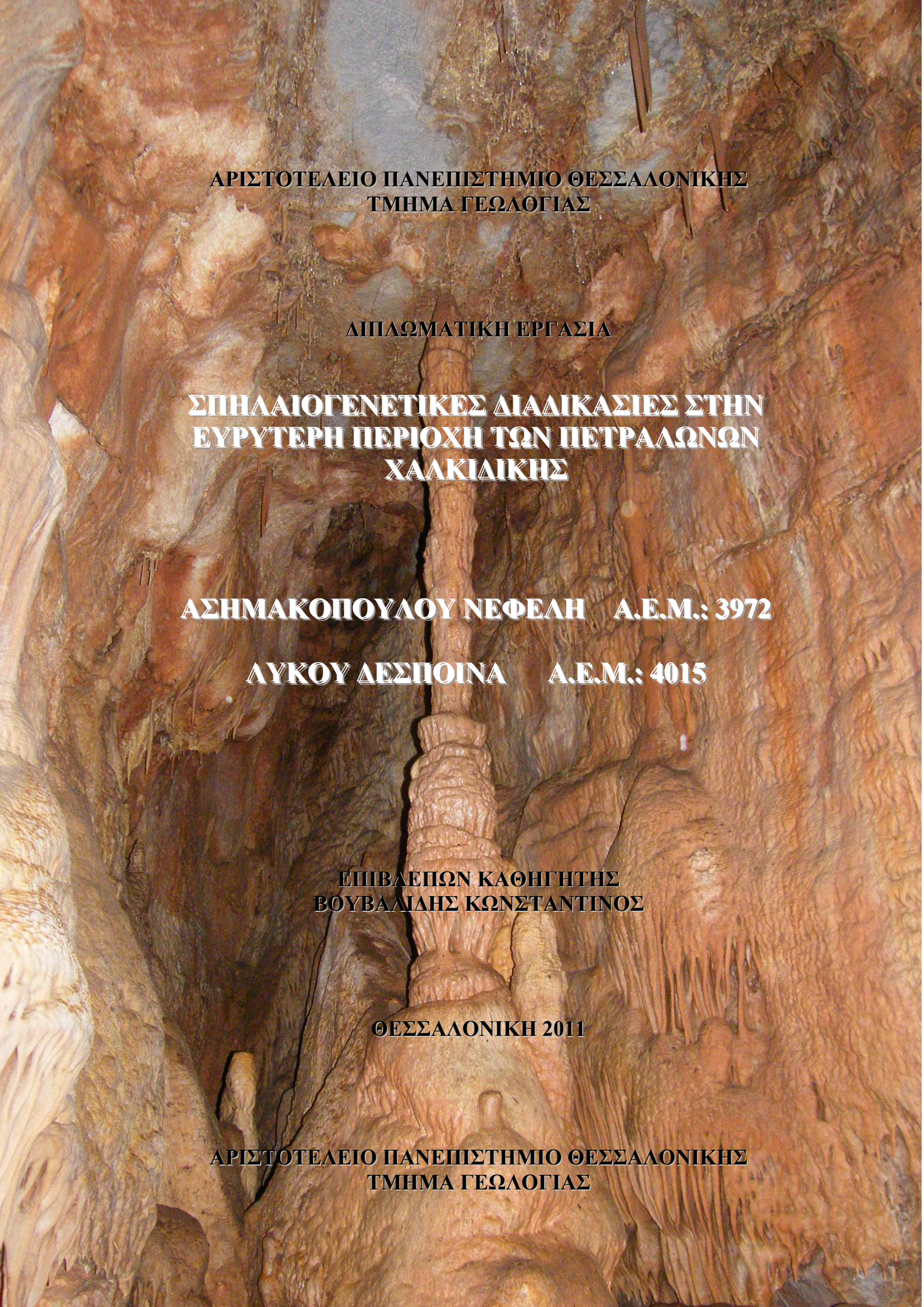




**ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΣΠΗΛΑΙΟΓΕΝΕΤΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΣΤΗΝ
ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ ΠΕΤΡΑΛΩΝΩΝ
ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ**

ΑΣΗΜΑΚΟΠΟΥΛΟΥ ΝΕΦΕΛΗ Α.Ε.Μ.: 3972

ΛΥΚΟΥ ΔΕΣΠΟΙΝΑ Α.Ε.Μ.: 4015

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΒΟΥΒΑΛΙΔΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ**

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2011

**ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ**



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΣΠΗΛΛΑΙΟΓΕΝΕΤΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ
ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ ΠΕΤΡΑΛΩΝΩΝ ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ**

ΑΣΗΜΑΚΟΠΟΥΛΟΥ ΝΕΦΕΛΗ Α.Ε.Μ.: 3972

ΛΥΚΟΥ ΔΕΣΠΟΙΝΑ Α.Ε.Μ.: 4015

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΒΟΥΒΑΛΙΔΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ**

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2011

Εικόνα εξωφύλλου: Άποψη από το σπηλαιοδιάκοσμο στο σπήλαιο των Νυχτερίδων Πετραλώνων Χαλκιδικής



Πρόλογος

Η παρούσα εργασία έχει ως αντικείμενο τη μελέτη των διαδικασιών σπηλαιογένεσης στην ευρύτερη περιοχή των Πετραλώνων Χαλκιδικής.

Επιβλέπων στη διπλωματική εργασία ήταν ο κ. Κωνσταντίνος Βουβαλίδης επίκουρος Καθηγητής του τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ., τον οποίο και θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε για την εμπιστοσύνη που μας έδειξε αναθέτοντας μας την εκπόνηση της συγκεκριμένης εργασίας καθώς επίσης και για την πολύτιμη βοήθεια του.

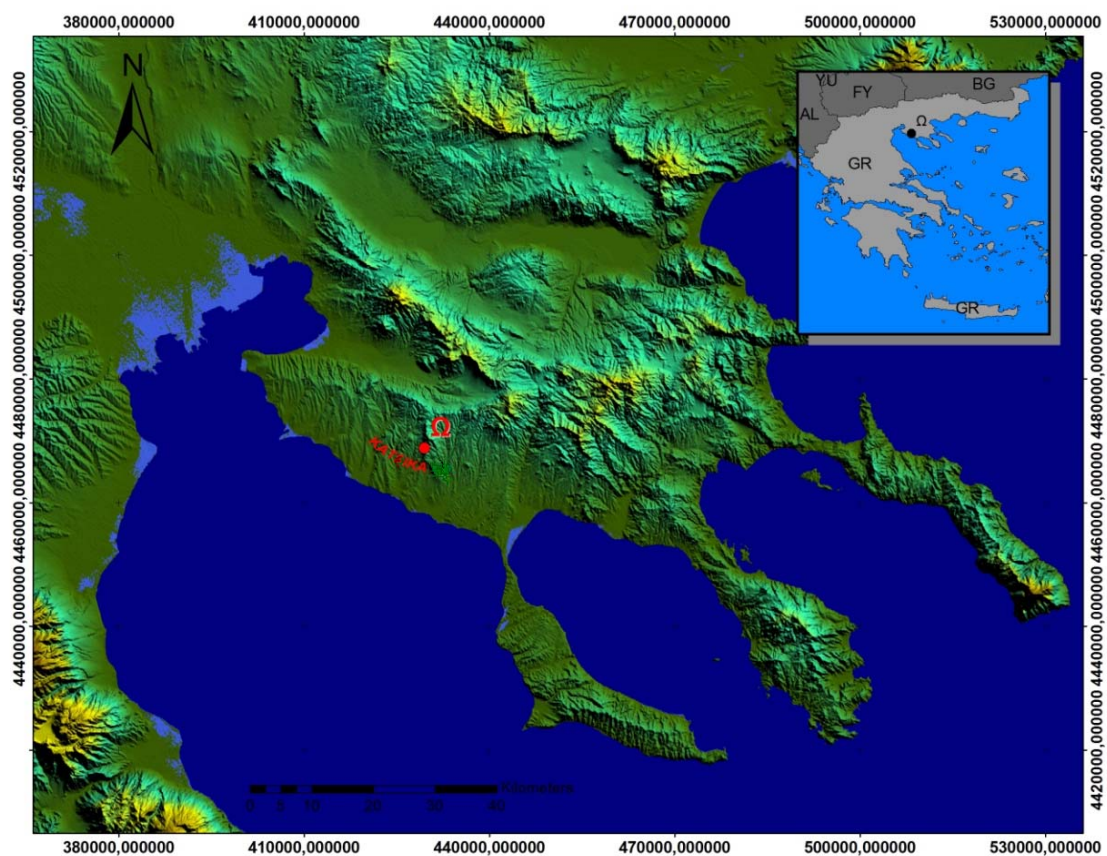
Επίσης θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον Μάρκο Βαξεβανόπουλο, υποψήφιο διδάκτορα του τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. ο οποίος μας βοήθησε ιδιαίτερα στις εργασίες πεδίου. Ακόμη ευχαριστούμε θερμά τον Γιώργο Λαζαρίδη, MSc Γεωλόγο, για τις παρατηρήσεις και τις πολύτιμες συμβουλές κατά τη συγγραφή της διπλωματικής εργασίας. Τέλος ευχαριστούμε τον Ηρακλή Καλογερόπουλο, μέλος του Τοπικού Τμήματος Βορείου Ελλάδος της Ε.Σ.Ε. (ΤΟ.Τ.Β.Ε.), για την βοήθειά του στη χαρτογράφηση του σπηλαίου των Νυχτερίδων, καθώς επίσης και τα μέλη του ΤΟ.Τ.Β.Ε. της Ε.Σ.Ε. που μας βοήθησαν στην φωτογράφιση του σπηλαίου.

Περιεχόμενα	
1. Εισαγωγή	5
2. Γεωλογία - Τεκτονική του όρους Κατσίκια	7
2.1 Γεωλογία του όρους Κατσίκια	7
2.2 Τεκτονική του όρους Κατσίκια	11
3. Καρστική γεωμορφολογία	13
3.1 Γενικά	13
3.2 Καρστική διάβρωση	13
3.3 Καρστικές μορφές	15
4. Σπηλαιογένεση	17
4.1 Γενικά	17
4.2 Παράγοντες σπηλαιογένεσης	19
4.3 Υπογενή σπήλαια	20
4.4 Χαρακτηριστικά υπογενών σπηλαίων	21
5. Γνωστά σπήλαια της περιοχής μελέτης (Όρος Κατσίκια)	22
6. Μεθοδολογία	27
7. Αποτελέσματα	28
7.1 Επιφανειακές καρστικές μορφές	28
7.2 Σπήλαιο Νυχτερίδων Πετραλώνων Χαλκιδικής	29
7.2.1 Περιγραφή Σπηλαίου	29
7.2.2 Μορφολογικοί σχηματισμοί του σπηλαίου	38
8. Συμπεράσματα	43
9. Παράρτημα	44
10.Βιβλιογραφία	46

Η παρούσα εργασία έχει σαν σκοπό να συμβάλλει στη μελέτη των διαδικασιών σπηλαιογένεσης στο Όρος Κατσίκας, την ευρύτερη περιοχή των Πετραλώνων Χαλκιδικής.

Ο ορεινός όγκος της Κατσίκας βρίσκεται στο βορειοδυτικό τμήμα της Χαλκιδικής, 30 km νοτιοανατολικά της Θεσσαλονίκης (Σχήμα 1) και περιλαμβάνεται στο φύλλο Βασιλικά του γεωλογικού χάρτη 1:50.000 του Ι.Γ.Μ.Ε. (1978). Η έκταση που καλύπτει είναι περίπου 20 km² και παρουσιάζει επιμήκη ανάπτυξη κατά τον άξονα Β-Ν. Είναι το ψηλότερο όρος της περιοχής με δύο κύριες κορυφές, την κατσίκα με υψόμετρο 642 m και τον Κούκο Βορειότερα με υψόμετρο 547 m.

Στην περιοχή υπάρχουν αρκετά σπήλαια και σπηλαιώδεις μορφές με πιο γνωστό και μεγαλύτερο το σπήλαιο των Κόκκινων Πετρών ή σπήλαιο των Πετραλώνων, όπως είναι ευρύτερα γνωστό. Σ' αυτό, το 1960 βρέθηκε ένα ανθρώπινο κρανίο καθώς και απολιθώματα από 22 είδη μεγάλων θηλαστικών. Το κρανίο αυτό ανήκει σ' ένα είδος ανθρώπου, ο οποίος είναι μία μεταβατική μορφή από το *Homo Erectus* στον *Homo Sapiens* (ΚΟΥΦΟΣ & ΤΣΟΥΚΑΛΑ, 2007). Το δεύτερο πιο γνωστό σπήλαιο στην περιοχή είναι το σπήλαιο των Νυχτερίδων, η είσοδος του οποίου βρίσκεται περίπου 500 μέτρα νότια του σπηλαίου των Κόκκινων Πετρών. Το όνομα του το οφείλει στο πλήθος των νυχτερίδων που φιλοξενεί.



Σχήμα 1. Γεωγραφική τοποθέτηση περιοχής (με Ω σημειώνεται η είσοδος του σπηλαίου)

2. Γεωλογία -Τεκτονική του όρους Κατσίκια

2.1 Γεωλογία του όρους Κατσίκια

Το όρος Κατσίκια ανήκει στην ζώνη Αξιού και ειδικότερα στην υποζώνη Παιονίας.

Το μεγαλύτερο μέρος του όρους Κατσίκια αποτελείται από ασβεστόλιθο. ΒΔ από την κορυφής Κούκος (547 m) εμφανίζεται ο γρανοδιορίτης του Μονοπήγαδου, ένας όξινος πλουτωνικός όγκος που δημιουργήθηκε κατά τη φάση μαγματισμού του Μεσοζωικού, ενώ στα ΒΑ υπάρχει μία σειρά ιζημάτων. Πρόκειται για μια σειρά φυλλιτών μέχρι αργίλικών σχιστολίθων, τεφρού έως τεφροπράσινου χρώματος, με ασβεστολιθικές ταινίες, ενώ έχουμε μεταβάσεις προς ασβεστολιθικούς σχιστόλιθους και κρυσταλλικό ασβεστόλιθο. Ακόμα υπάρχουν και εμφανίσεις κερατιτών. Τέλος η περιοχή γύρω από το όρος Κατσίκια, καλύπτεται από ιζήματα όπως κροκαλοπαγή με κροκάλες βασικών και υπερβασικών πετρωμάτων, ερυθρές αργίλους, ψαμμιτομάργες, άμμους. Στο νότιο τμήμα της Κατσίκας υπάρχουν εμφανίσεις τραβερτίνοειδούς ασβεστολίθου, όχι μεγάλου πάχους, που επίκεινται στο σύστημα των άμμων (Φωτ.1). Ο KOCKEL (1977) χρονολογεί τα παραπάνω ιζήματα ηλικίας Ανωτέρου Μειοκαίνου – Κάτω Πλειοκαίνου.

Στην περιοχή υπάρχουν δύο ασβεστόλιθοι. Ο κατώτερος είναι αδρόκοκκος Ιουρασικής ηλικίας, ενώ ο υπερκείμενος είναι μικροκρυσταλλικός κάτω Κρητιδικής ηλικίας σύμφωνα με τις παλαιότερες απόψεις. Αργότερα διαχωρίστηκε σε υπόβαθρο του βωξίτη, ηλικίας Κιμμεριδίου και σε οροφή του βωξίτη, ηλικίας Πορτλανδίου. Η χρονολόγηση αυτή έγινε με βάση τα απολιθώματα *Cladocoropsis Mirabilis* και *Parurgonia* αντίστοιχα. Σύμφωνα με την παρουσία του *Cladocoropsis Mirabilis* ο ασβεστόλιθος είναι νηριτικός, δηλαδή ρηχής θάλασσας. Οι δύο ασβεστολιθικοί ορίζοντες βρίσκονται σε συμφωνία επάνω σε ψαμμιτικούς φυλλίτες. Μεταξύ των δύο ασβεστολίθων που το όριο τους προσδιορίστηκε με βάση την περιεκτικότητα τους σε βόριο, διαπιστώθηκε, μέσα σε καρστικά έγκοιλα, η παρουσία κοιτασμάτων βωξίτη (Φωτ.2). Σημαντικός παράγοντας στην απόθεση των βωξιτικών κοιτασμάτων αποτελεί το παλαιοκάρστ. Τα έγκοιλα, στα οποία αποτέθηκαν τα κοιτάσματα, είναι μέρος ενός παλαιότερου καρστικού κύκλου την περίοδο του Άνω Ιουρασικού. Τα έγκοιλα αυτά αποκαλύφθηκαν έπειτα από τη διάβρωση του υπερκείμενου ασβεστόλιθου στις θέσεις Μπάρα, Τρύπες, Πρινοχώρι και Μικράλωνα.



Φωτ.1 Τραβερτινοειδείς ασβεστόλιθοι στο νότιο τμήμα της Κατσικά

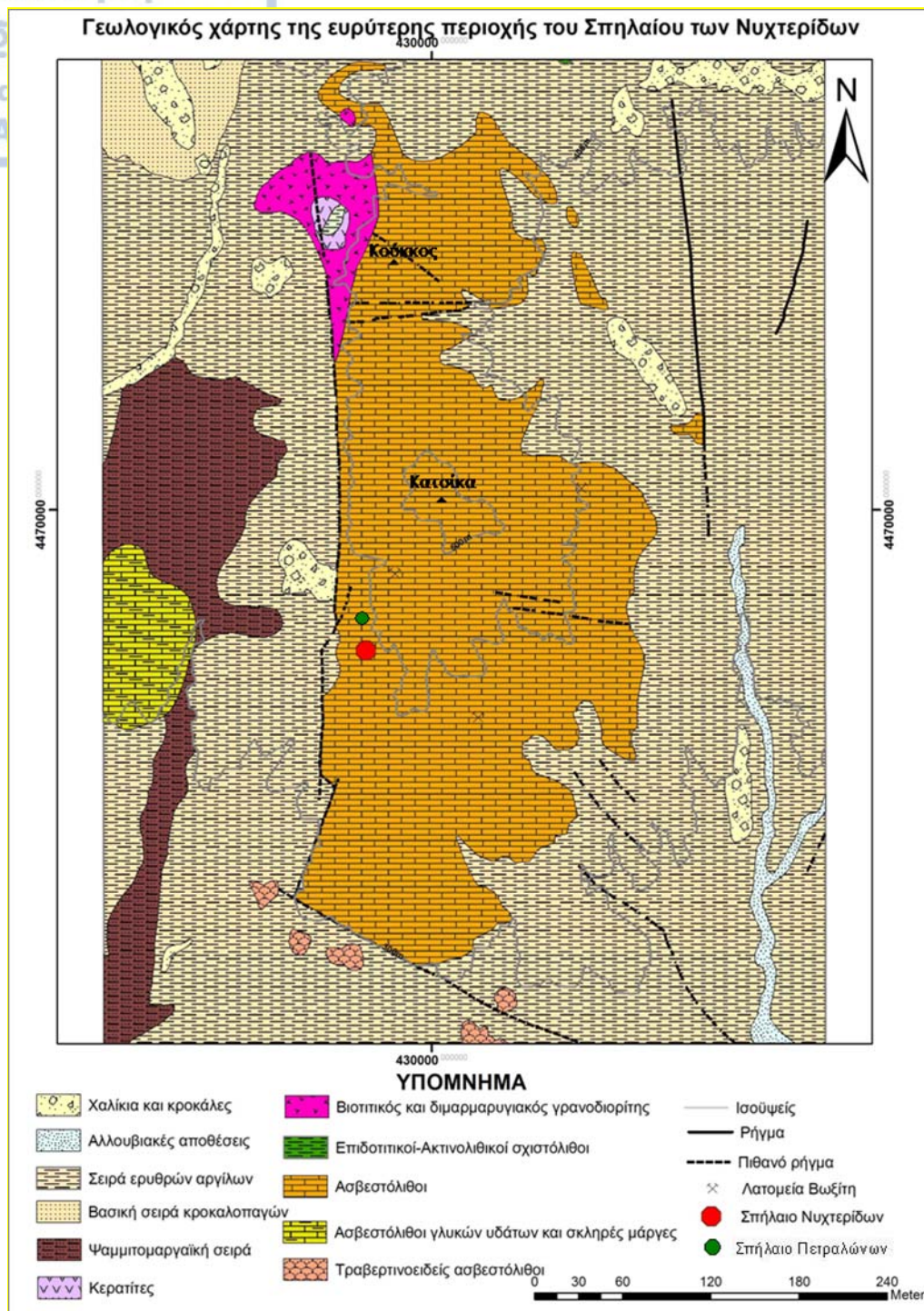


Φωτ.2 Βωξιτικό κοίτασμα στη θέση Μπάρα.

Η ύπαρξη αυτών των κοιτασμάτων δείχνει κάποια προσωρινή ανάδυση της περιοχής στο τέλος του Άνω Ιουρασικού, μικρής διάρκειας όμως, αφού μεταξύ του βωξιτοφόρου ασβεστόλιθου και του υπερκείμενου ο οποίος αποτέθηκε μετά την εκ νέου βύθιση της περιοχής, δεν παρατηρείται στρωματογραφικό κενό. Την άποψη αυτή ενισχύει το γεγονός της μικρής ανάπτυξης των επιφανειακών καρστικών εγκοίλων, τα οποία μάλιστα βρίσκονται στα ανώτερα τμήματα του ασβεστόλιθου, καθώς και το μικρό πάχος και ο μικρός βαθμός διάβρωσης των βωξιτών. Ακόμα σε ορισμένα σημεία όπως στην τοποθεσία Μικράλωνα, παρατηρείται ένα τεκτονικό λατυποπαγές με ασβεστολιθικές λατύπες και βωξιτικό συνδετικό υλικό (Φωτ.3) η ύπαρξη του οποίου συνδέεται με μεταπτωτικά ρήγματα (ΧΡΗΣΤΑΡΑΣ, 1984 από ΚΟΥΦΟΣ & ΤΣΟΥΚΑΛΑ, 2007).



Φωτ.3 Λατυποπαγές στη Δυτική πλευρά του όρους Κατσίκια.



Σχήμα 2. Γεωλογικός χάρτης της περιοχής του όρους Κατσικά βασισμένος στον χάρτη 1:50.000 του Ι.Γ.Μ.Ε. φύλλο Βασιλικά

2.2 Τεκτονική του όρους Κατσίκας

Η περιοχή του όρους Κατσίκας χαρακτηρίζεται από ριξηγενή τεκτονική (Φωτ. 4, 5 & 6) η οποία προκάλεσε μεταπτωτικά ρήγματα σε κύριες παρατάξεις. Η πρώτη είναι ΒΑ-ΝΔ (45° - 225°) μέχρι Β-Ν (0° – 180°) και η δεύτερη Α-Δ (90° - 270°) που φτάνει μέχρι και ΑΒΑ-ΔΝΔ (75° - 255°). Η πρώτη ομάδα παρατάξεων πιστεύεται ότι είναι η αιτία δημιουργίας του τεκτονικού κέρατος του όρους Κατσίκας και είναι παλαιότερη γιατί επηρεάζεται από την δεύτερη (ΧΡΗΣΤΑΡΑΣ, 1984 από ΚΟΥΦΟΣ & ΤΣΟΥΚΑΛΑ, 2007).

Ο ασβεστόλιθος του όρους Κατσίκας εμφανίζεται με τραπεζοειδή μορφή εξαιτίας ενός έντονου καταμητικού συστήματος που δείχνει δύο βασικές παρατάξεις. Η κύρια διεύθυνση έχει παράταξη ΒΑ-ΝΔ(45° - 225°) ενώ η δευτερεύουσα ΒΔ-ΝΑ (315° - 135°) (Φωτ.4). Οι παρατάξεις αυτές τέμνονται σχεδόν κάθετα.

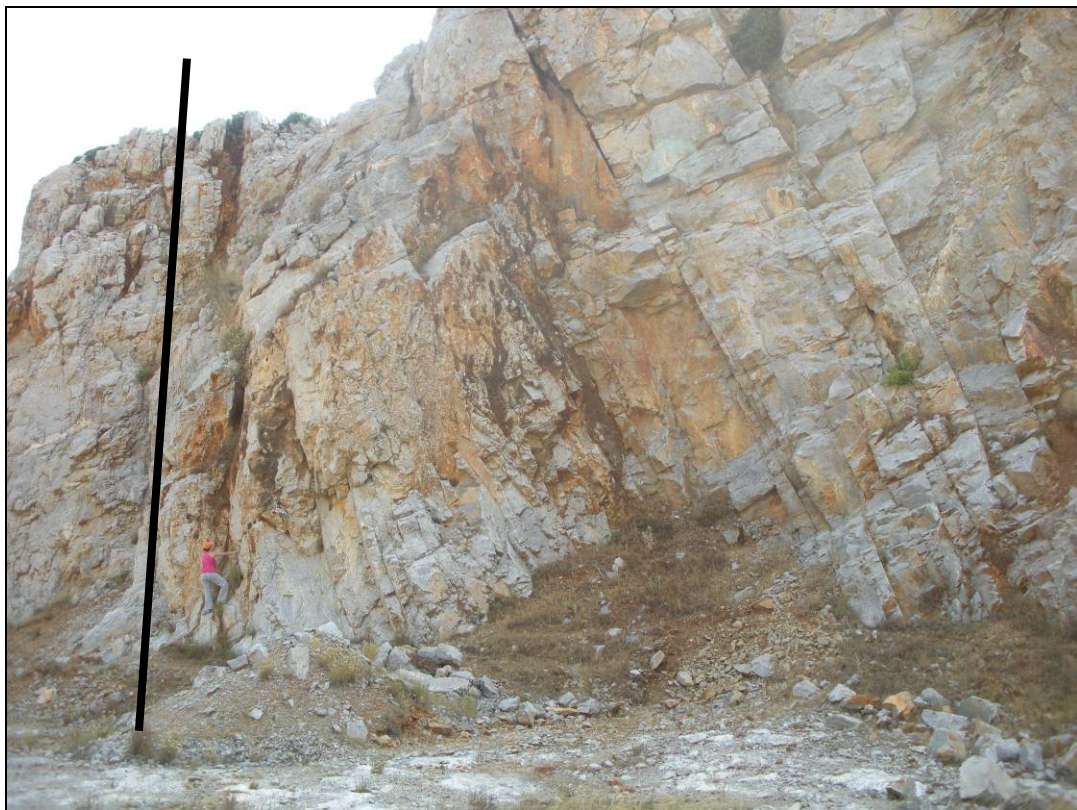
Η ελάχιστη κλίση των στρωμάτων του ασβεστολίθου όπως και η απουσία πτυχών, είναι γεγονότα που δείχνουν την ανυπαρξία συμπιεστικών δυνάμεων στην περιοχή και συνεπώς ο κατακερματισμός πρέπει να οφείλεται σε εσωτερικές τάσεις μέσα στο σχηματισμό (ΧΡΗΣΤΑΡΑΣ, 1984).



Φωτ.4 Άποψη της στρώσης των ασβεστολίθων στο όρος Κατσίκας.



Φωτ.5 Μεταπτωτικό ρήγμα και δευτερεύον αντιθετικό σε λατομείο νότια του όρους Κατσίκια με στοιχεία $300^{\circ}/75^{\circ}$ (Διεύθυνση κλίσης / κλίση)



Φωτ.6 Μεταπτωπικό ρήγμα σε λατομείο νότια του όρους Κατσίκια

3. Καρστική γεωμορφολογία

3.1 Γενικά

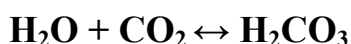
Καρστ είναι ο γεωμορφολογικός όρος ο οποίος χαρακτηρίζει τα εσωτερικά χαρακτηριστικά που δημιουργούνται στα ανθρακικά πετρώματα εξαιτίας της διαλυτικής δράσης του νερού (ΔΕΡΜΙΤΖΑΚΗΣ, 1994).

Πρώτη αναφορά για το Καρστ έγινε στην περιοχή της Σλοβενίας Kras ή Karst που σημαίνει βραχώδης περιοχή.

3.2 Καρστική Διάβρωση

Το νερό όταν εμπλουτίζεται με διάφορα συστατικά όπως CO_2 , γίνεται πολύ ισχυρό διαλυτικό μέσο. Το CO_2 που προέρχεται κυρίως από την ατμόσφαιρα, κατά την πτώση της βροχοσταγόνας και το έδαφος ισχυροποιεί τη δράση του νερού και συντελεί στη χημική αποσάθρωση επιδεκτικών πετρωμάτων, όπως είναι τα ανθρακικά. Κατά τη χημική αποσάθρωση των ανθρακικών πετρωμάτων τα άλατα του ασβεστίου και μαγνησίου μετατρέπονται σε διαλυτά όξινα ανθρακικά άλατα. Ο όρος καρστική διάβρωση περιγράφει τον τρόπο διάλυσης των ανθρακικών πετρωμάτων. Το νερό επίσης μπορεί να εμπλουτιστεί και με H_2S .

Όσο περισσότερο είναι το CO_2 στο νερό, τόσο πιο ισχυρός διαλύτης γίνεται. Αυτό συμβαίνει μέχρι το νερό να κορεστεί σε CO_2 . Η αντίδραση διάλυσης του διοξειδίου του άνθρακα που πραγματοποιείται στο νερό είναι:



Το όξινο ανθρακικό διάλυμα που εισέρχεται στην ανθρακική μάζα μεταβάλλει το ανθρακικό ασβέστιο σε δισανθρακικό ασβέστιο διαλυτό στο νερό και πολύ ασταθές.



Αν έχουμε περίσσεια ποσότητα CO_2 στο νερό, η παραπάνω αντίδραση μετατοπίζεται προς τα δεξιά και αυξάνεται η σε διάλυση ποσότητα του $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. Αντίθετα, διαφυγή CO_2 από το διάλυμα προκαλεί τη μετατροπή του $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ σε αδιάλυτο CaCO_3 .

Ο κορεσμός των νερών σε διαλυμένο CaCO_3 στη φύση γίνεται σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα και κυρίως σε νερά που κυκλοφορούν μέσα σε πόρους και μικρορωγμές. Στις μικρορωγμές τα νερά κορένονται σε

CaCO_3 σε μικρές σχετικά αποστάσεις. Έτσι δεν μπορούν παραπέρα να διαλύσουν ανθρακικό ασβέστιο παρά μόνο αν αλλάξουν ορισμένες συνθήκες (ΒΟΥΒΑΛΙΔΗΣ, 2002). Καρστική χαρακτηρίζεται μία περιοχή όταν ο κύριος παραγοντας της διαμόρφωσης του επιφανειακού ανάγλυφου είναι η διάλυση.

Για να δημιουργηθούν υπόγεια έγκοιλα και σπήλαια στο εσωτερικό της ανθρακικής μάζας θα πρέπει να υπάρξουν στο εσωτερικό νερά ακόρεστα σε CaCO_3 . Ακόρεστα νερά δημιουργούνται όταν δύο κορεσμένα νερά αναμειγνύονται μεταξύ τους και δημιουργούν ένα τρίτο διάλυμα. Το νέο διάλυμα αυτό για κάποιο μικρό χρονικό διάστημα παραμένει ακόρεστο. Έτσι για να κορεστεί σε CaCO_3 διαλύει περαιτέρω τμήμα του ανθρακικού πετρώματος κοντά στο σημείο που έχει δημιουργηθεί. Με τη διαρκή ανάμειξη ακόρεστων και κορεσμένων νερών έχουν τη διεύρυνση των εγκοίλων. Η ζώνη ανάμειξης των νερών βρίσκεται πολύ κοντά ή ταυτίζεται με την επιφάνεια του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα. Όταν η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα πέσει δημιουργούνται ζώνες υπόγειων εγκοίλων μέσα στο ασβεστολιθικό όγκο.

Παράγοντες που επηρεάζουν την διάλυση των ασβεστόλιθων είναι (ΒΟΥΒΑΛΙΔΗΣ, 2002):

- **Η θερμοκρασία:** Η διαλυτική ικανότητα του ασβεστόλιθου αυξάνεται με την πτώση της θερμοκρασίας ενώ σε αύξηση της θερμοκρασίας η αντίδραση μετατοπίζεται προς την απόθεση ανθρακικού ασβεστίου και μείωση της διαλυτικής ικανότητας του νερού.
- **Η πίεση:** Όταν αυξάνεται η μερική πίεση του CO_2 στο νερό τότε αυξάνεται και η διαλυτική του ικανότητα. Το κρύο νερό χειμερινών βροχοπτώσεων είναι πλουσιότερο σε διοξείδιο του άνθρακα και συνεπώς η επιφανειακή διάλυση των ασβεστόλιθων είναι μεγαλύτερη στις ψυχρές περιοχές παρά στις θερμές.
- **Παρουσία ιόντων:** Όταν στο νερό υπάρχουν ορισμένα ιόντα σε κάποιες αναλογίες η διαλυτική του ικανότητα μεταβάλλεται. Έτσι η παρουσία ιόντων Mg^+ και Na^+ αυξάνει τη διαλυτική ικανότητα ενώ η παρουσία SO_4^{-2} την ελαττώνει.

3.3 Καρστικές Μορφές

Οι καρστικές μορφές που δημιουργούνται κατανέμονται σε επιφανειακές και υπόγειες. Συγκεκριμένα κατανέμονται ως εξής:

➤ Επιφανειακές Καρστικές Μορφές

Γλυφές

Είναι αυλακώσεις που παρατηρούνται πάνω στην επιφάνεια του ασβεστολίθου από τη διαλυτική δράση του νερού και είναι οι πιο συνηθισμένες από τις επιφανειακές καρστικές μορφές. Το βάθος τους κυμαίνεται από μερικά χιλιοστά έως μερικές δεκάδες εκατοστά. Τα επιφανειακά νερά που σχηματίζουν τις γλυφές σχεδόν πάντα καταλήγουν σε σημεία όπου διεισδύουν στη μάζα του πετρώματος. Ανάλογα με το μέγεθος, τη μορφή και τον τρόπο δημιουργίας τους, διακρίνονται σε:

➤ **Δακτυλιογλυφές:** δημιουργούνται σε κεκλιμένες επιφάνειες και δίνουν την εντύπωση νευρώσεων των φύλλων και έχουν τη μορφή αποτυπωμάτων δακτύλων που τραβήχτηκαν ή σύρθηκαν στον ασβεστόλιθο όταν αυτός βρισκόταν σε πλαστική κατάσταση. Οι διαστάσεις είναι σχετικά μικρές.

➤ **Αμαξοτροχιές:** αναπτύσσονται κατά μήκος του δικτύου των διακλάσεων του πετρώματος και χωρίζονται μεταξύ τους με ράχες που παρουσιάζουν οδοντωτή μορφή. Έχουν μεγαλύτερο μέγεθος από τις δακτυλιογλυφές ενώ εμφανίζονται σε ασβεστολίθους με μικρότερη κλίση.

Καρστικά φρέατα ή χύτρες

Είναι μικρές ή μεγάλες κοιλότητες, διαφόρου σχήματος, που δίνουν τη μορφή φρεάτων μέσα στα οποία συγκεντρώνονται τα αδιάλυτα υλικά της καρστικής διάβρωσης. Το εύρος τους ποικίλει και πολλές φορές υπερβαίνει τα 100 μέτρα, ενώ το βάθος τους μπορεί να φτάσει έως τα βαθύτερα τμήματα της ασβεστολιθικής μάζας. Συχνά βρίσκονται και σε επικοινωνία με το υπόγειο καρστ (ΒΟΥΒΑΛΙΔΗΣ, 2002).

Δολίνες

Χαρακτηρίζονται κλειστές λεκάνες, κυκλικού ή ελλειπτικού σχήματος. Το πλάτος κυμαίνεται από 20 έως εκατοντάδες μέτρα ενώ το βάθος τους από 2 έως 100 μέτρα. Ο πυθμένας των δολινών είναι σχετικά επίπεδος και καλύπτεται και αυτός και τα εσωτερικά πρανή από χημικά ιζήματα. Συνήθως σχηματίζεται βλάστηση και λόγω των ιζημάτων στον πυθμένα η υπόγεια απορροή φράζεται με αποτέλεσμα το να

δημιουργούνται τέλματα. Οι δολίνες εμφανίζονται άλλοτε μεμονωμένες και άλλοτε σε αποικίες.

Ανάλογα με το σχηματισμό τους διακρίνονται σε:

- **Εγκατακρημνισιγενείς:** όταν προέρχεται από την κατάρρευση της οροφής ενός σπηλαίου
- **Χοανοειδείς:** όταν προέρχονται από την χημική διάλυση των πετρωμάτων.

Ουβάλες

Σχηματίζονται όταν γειτονικές δολίνες συνενωθούν μεταξύ τους. Η έκταση τους κυμαίνεται από μερικές εκατοντάδες τετραγωνικά μέτρα έως και μερικά τετραγωνικά χιλιόμετρα.

Πόλγες

Είναι ευδιάκριτες κλειστές κοιλότητες-λεκάνες με σχήμα κυρίως ελλειπτικό. Έχουν συνήθως μεγάλη επιφάνεια, που κυμαίνεται από λίγα έως εκατοντάδες τετραγωνικά χιλιόμετρα. Περιβάλλονται παντού από όρη και βρίσκονται σε διάφορα υψόμετρα, από πολύ κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας έως και πάνω από 1000 μέτρα.

➤ Υπόγειες καρστικές μορφές

Οι υπόγειες καρστικές μορφές είναι οι καταβόθρες, οι μικροί και μεγάλοι οχετοί, τα σπήλαια και τα έγκοιλα. Σχηματίζονται από την είσοδο του επιφανειακού νερού προς το εσωτερικό του πετρώματος και αποτελούν το δευτερογενές πορώδες.

Η μορφή τους εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από παράγοντες, όπως ο τύπος της ροής του υπόγειου νερού, την τεκτονική (διακλάσεις, διαστρώσεις κλπ.), τη λιθολογία και το χημισμό του νερού κ.λπ.

Καταβόθρες

Είναι καρστικοί αγωγοί ή έγκοιλα, που ανεβαίνουν μέχρι την επιφάνεια του εδάφους κατακόρυφα ή με μεγάλη κλίση. Βρίσκονται συνήθως στον πυθμένα ή τα περιθώρια μικρών και μεγάλων καρστικών βυθισμάτων ή λεκανών και δέχονται μόνιμα ή περιοδικά επιφανειακά και υπόγεια νερά. Προχωρούν στο εσωτερικό των ασβεστολιθικών πετρωμάτων και σχηματίζουν ένα σύστημα αγωγών και οχετών με πολύπλοκο προσανατολισμό. Τα εισερχόμενα στις καταβόθρες νερά, εξαφανίζονται προς τα βαθύτερα σημεία προς άγνωστες συχνά κατευθύνσεις.

Τα σπήλαια είναι υπόγειοι χώροι με μεγάλες διαστάσεις και επικοινωνία με την ατμόσφαιρα, μέσω εισόδου, ώστε να είναι προσπελάσιμο από τον άνθρωπο. Σχηματίζονται στο εσωτερικό της ασβεστολιθικής μάζας, εξ' αιτίας της καρστικής διάβρωσης που διαλυτοποιεί το CaCO_3 και το απομακρύνει με την ροή του υπόγειου νερού. Το νερό εισέρχεται στην ανθρακική μάζα από τις σχισμές και τις διακλάσεις της. Πολύ γρήγορα όμως το νερό αυτό καθίσταται κορεσμένο σε ανθρακικό ασβέστιο με αποτέλεσμα να μην μπορεί να διαλύσει παραπάνω ποσότητα ανθρακικού ασβεστίου. Στη συνέχεια αναμιγνύεται με ακόρεστα νερά και συνεχίζει να διαλυνει τμήματα του ανθρακικού πετρώματος μέχρι να επέλθει πάλι κορεσμός. Με τη συνεχή απομάκρυνση τμημάτων του πετρώματος λόγω διάλυσης στο σημείο εκείνο δημιουργείται ένα υπόγειο έγκοιλο.

Μέσα στα σπήλαια σχηματίζονται διάφοροι σχηματισμοί από την απόθεση του CaCO_3 από τους οποίους οι πιο σπουδαίοι είναι οι σταλακτίτες και οι σταλαγμίτες.

4. Σπηλαιογένεση

4.1 Γενικά

Κατά το πρώτο μισό του 20^{ου} αιώνα πολλοί σπηλαιολόγοι και γεωμορφολόγοι μελέτησαν το θέμα της σπηλαιογένεσης, δηλαδή της δημιουργίας και εξέλιξης των σπηλαίων. Αναπτύχθηκαν έτσι τρεις βασικές θεωρίες για το πρόβλημα της γένεσης των σπηλαίων, οι οποίες ουσιαστικά τοποθετούσαν υδρογεωλογικά την περιοχή όπου λαμβάνει χώρα η σπηλαιογένεση. Οι περιοχές αυτές είναι: (FORD, 2003 από ΒΑΞΕΒΑΝΟΠΟΥΛΟΣ, 2003)

1. Ζώνη κατείσδυσης (Vadose Zone):

Κάποιες πρώιμες απόψεις θεωρούσαν ότι το μεγαλύτερο ποσοστό της σπηλαιογένεσης γίνεται πάνω από το επίπεδο του υδροφόρου ορίζοντα, όπου οι ταχύτητες του νερού είναι μεγαλύτερες. Έτσι, υπόγειοι ποταμοί, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από υψηλές ταχύτητες ροής, προκαλούν ισχυρή μηχανική διάβρωση στα πετρώματα και ταυτόχρονη διάλυση του ανθρακικού πετρώματος. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται οι μεγάλες σπηλαιώδεις μορφές. Αργότερα σημειώθηκε ότι η ροή μέσα στα σπήλαια και τους αγωγούς είναι τόσο μεγάλη έτσι ώστε το επίπεδο του υδροφόρου, ως κορεσμένης επιφάνειας, να μη παίζει τόσο σημαντικό ρόλο στα καρστικά σπήλαια. Σήμερα όμως είναι γνωστό ότι μικρό ποσοστό σπηλαίων δημιουργείται στη ζώνη κατείσδυσης. Σπήλαια σε αυτή τη ζώνη

δημιουργούνται κυρίως σε περιοχές έντονης ανύψωσης. Η δημιουργία τους σχετίζεται κυρίως με τη διείδυση σε αυτά ποταμών.

2. Βαθεία Φρεατική Ζώνη (Deep Phreatic Zone):

Η άποψη αυτή υποστηρίζει ότι η έναρξη της δημιουργίας και η αύξηση του μεγέθους των σπηλαιωμάτων, δηλαδή των μικρών εγκοίλων, γίνεται σε τυχαίο βάθος κάτω από την επιφάνεια του υδροφόρου ορίζοντα, κυρίως στη βαθιά φρεατική ζώνη (από FORD 2003). Η αύξηση του μεγέθους τους οφείλεται στη διάβρωση του αργά κινούμενου νερού της φρεατικής ζώνης. Ακολουθεί ένας δεύτερος κύκλος σπηλαιογένεσης όταν ταπεινώνεται ο υδροφόρος ορίζοντας και επιτρέπεται στο νερό της κατείδυσης και στον αέρα να εισέλθει στα σπηλαιώματα. Σε αυτόν το δεύτερο κύκλο είναι δυνατό ποταμοί επιφανειακοί να εισέλθουν στα σπήλαια και να αλλάξουν τη μορφολογία του σπηλαίου με διάβρωση και απόθεση.

Το μοντέλο αυτό της σπηλαιογένεσης στηρίζεται κυρίως σε εμπειρικές παρατηρήσεις σπηλαιολόγων, μιας και πλήθος σπηλαίων εμφάνιζαν μορφές δημιουργημένες στη βαθιά φρεατική ζώνη. Από τη γνώση που αποκτήθηκε αργότερα εξάγεται το συμπέρασμα πως λίγα είναι τα συστήματα αγωγών που έχουν δημιουργηθεί σε αυτή τη ζώνη και έχουν μελετηθεί και εξερευνηθεί πλήρως. Κι αυτό γιατί τα υφιστάμενα σπήλαια που συνεχίζουν να δημιουργούνται είναι πληρωμένα από το νερό ενώ όσα έχουν αποστραγγιστεί και αποκαλυφθεί έχουν χάσει τα στοιχεία της φρεατικής τους προέλευσης είτε από πλήρωση με κλαστικά υλικά είτε από την καταστροφή που προκαλεί το νερό της ζώνης κατείδυσης.

3. Επιφάνεια Υδροφόρου Ορίζοντα -Ρηγή Φρεατική Ζώνη:

Και οι δύο προηγούμενες θεωρίες δεν έλαβαν υπόψη τους τη σημασία του εμπλουτισμένου σε διάφορες ενώσεις νερού. Αρκετοί ερευνητές υποστήριξαν την ιδέα ότι το ταχέως κινούμενο ύδωρ στην επιφάνεια του υδροφόρου ορίζοντα είναι υπεύθυνο για τη δημιουργία των περισσότερων καρστικών σπηλαίων (από FORD, 2003). Η διακύμανση του υδροφόρου ορίζοντα κυμαίνεται ανάλογα με τον όγκο του υπογείου νερού και η κύρια σπηλαιογένεση γίνεται σε αυτή τη ζώνη με μικρότερες ζώνες πάνω και κάτω από την επιφάνεια του υδροφόρου. Ωστόσο η επιφάνεια του υδροφόρου ορίζοντα θα πρέπει να μένει σχετικά στο ίδιο επίπεδο για αρκετό χρονικό διάστημα. Στη ζώνη κατείδυσης η σπηλαιογένεση είναι μικρότερου βαθμού και απλά τροφοδοτεί με νερό τη φρεατική.

Παρόλο που οι περισσότεροι σπηλαιοεξερευνητές θα δέχονταν και τις τρεις θεωρίες ως εφαρμόσιμες σε διάφορα σπήλαια, το περισσότερο αποδεκτό είναι ότι η δημιουργία των σπηλαίων σχετίζεται με τον υδροφόρο ορίζοντα.

Όλες οι καρστικές περιοχές παρουσιάζουν χαρακτηριστικά και από τις τρεις ζώνες. Τα τοπογραφικά, γεωγραφικά χαρακτηριστικά, οι υδρογεωλογικές και τεκτονικές συνθήκες μιας περιοχής συνθέτουν ένα μεγάλο πρόβλημα όσον αφορά τη σπηλαιογένεση. Καμία θεωρία δεν είναι δυνατό να είναι εφαρμόσιμη σε όλα τα σπήλαια. Αφού οι γεωλογικές παράμετροι δεν μπορεί να είναι απολύτως ίδιες σε δύο διαφορετικές περιοχές, τότε δεν είναι δυνατό να υπάρξει μια γενική θεωρία σπηλαιογένεσης. Παρά το γεγονός ότι πολλοί παράγοντες μπορεί να μοιάζουν σε πολλές περιοχές ή και να είναι ακριβώς ίδιοι, η σπηλαιογενετική ιστορία θα εξαρτηθεί από το πόσο επηρεάζει ο καθένας τους τη σπηλαιογένεση. Ωστόσο, είναι δυνατό να δημιουργηθούν κάποια γενικευμένα μοντέλα για περιοχές με ίδιες γεωλογικές παραμέτρους.

4.2 Παράγοντες Σπηλαιογένεσης

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη σπηλαιογένεση σε μια καρστική περιοχή είναι (ΒΑΞΕΒΑΝΟΠΟΥΛΟΣ, 2003):

➤ *Υδρογεωλογικές Συνθήκες:*

Το ποσό των κατακρημνισμάτων που κατεισδύουν στο υπόγειο καρστικό σύστημα ελέγχεται από τις υδρογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή. Τόσο η κατανομή του καρστικού υδροφορέα όσο και η γειτνίασή του με άλλους υδροφορείς αποτελεί σημαντικό παράγοντα της εξέλιξης και επέκτασης του υπογείου καρστ. Ο ρόλος του επικάρστ είναι βασικός στη γένεση σπηλαίων στη ζώνη κατείσδυσης αλλά και στη τροφοδοσία των φρεατικών αγωγών. Ο τρόπος που θα κινηθεί το υπόγειο νερό ελέγχεται από την υδρογεωλογία του ευρύτερου καρστ αλλά και από τη λιθολογία και την τεκτονική δομή της περιοχής.

➤ *Λιθολογία:*

Η σύσταση του μητρικού πετρώματος αποτελεί βασικό παράγοντα στη σπηλαιογένεση. Η διάλυση είναι πιο έντονη στους ασβεστόλιθους με υψηλά ποσοστά σε CaCO_3 σε σύγκριση με άλλα ανθρακικά πετρώματα. Ο δολομίτης ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) είναι λιγότερο διαλυτός από τον ασβεστίτη. Έτσι, η παρουσία του είναι δυνατό να περιορίσει τη σπηλαιογένεση ή ακόμα και να τη σταματήσει (KLIMCHOUK & FORD 2000). Επίσης η παρουσία ορυκτών της αργίλου στον ασβεστόλιθο σε ποσοστά πάνω από 20 με 30% διαμορφώνουν μικρές υπόγειες καρστικές μορφές. Γενικά η απουσία αργίλου ή κλαστικών υλικών στον ασβεστόλιθο και η συνεχής στρωμάτωσή του από 10 έως 100m σχετίζεται με τη δημιουργία μεγάλων σπηλαίων. Ο βαθμός κρυσταλλικότητας του πετρώματος είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει τη σπηλαιογένεση. Έχει παρατηρηθεί ότι ο κρυσταλλικός ασβεστίτης σε μάρμαρα διαλύεται πιο δύσκολα απ' ότι ο ασβεστόλιθος.

➤ **Τεκτονικές Συνθήκες:**

Εκτός από τη λιθολογία, η σπηλαιογένεση επηρεάζεται από το ολικό πορώδες του πετρώματος, έναν παράγοντα που καθορίζει το βαθμό και την ένταση των κενών στη μάζα του πετρώματος. Για τα ρωγμώδη πετρώματα, όπως είναι τα ανθρακικά, το πορώδες ρυθμίζεται από την πυκνότητα των ρωγμών, το άνοιγμά τους καθώς και από την πυκνότητα και το μέγεθος εγκοίλων στη μάζα τους (ΣΟΥΛΙΟΣ 1986). Το πορώδες και ειδικά το ενεργό πορώδες παίζει σημαντικό ρόλο στην κίνηση του υπογείου νερού. Η τεκτονικές συνθήκες, όμως, είναι αυτές που ελέγχουν κατά κόρον το πορώδες των ανθρακικών πετρωμάτων.

Τελευταία ερευνάται η συμβολή της συμπύκνωσης στη γένεση των σπηλαίων, δηλαδή του ποσοστού των υδρατμών του αέρα που συμπυκνώνεται μέσα στο σπήλαιο οδηγώντας σε διάλυση και απόθεση του CaCO_3 .

4.3 Υπογενή Σπήλαια

Για τα υπογενή σπήλαια δίνονται πλέον στη βιβλιογραφία αρκετοί ορισμοί με βάση είτε το χημισμό του νερού είτε το υδρογεωλογικό καθεστώς. Ο KLIMCHOUK (2007) κάνει μία σχετική ανασκόπηση. Γενικά, ένας ευρέως αποδεκτός ορισμός θεωρεί ότι υπογενή είναι τα σπήλαια που προέρχονται από νερά τα οποία απέκτησαν τη διαβρωτική τους ικανότητα σε βάθος στα πετρώματα και όχι στο έδαφος ή την ατμόσφαιρα.

Η παρουσία H_2S στο νερό ισχυροποιεί τη διαλυτική δράση ανερχομένων διαλυμάτων, τα οποία είναι υπεύθυνα για τη δημιουργία των υπογενών σπηλαίων (Hypogenic Caves). Στα διαλύματα που προέρχονται από το εσωτερικό του πετρώματος και όχι από την κατείσδυση όμβρου περιέχεται σε αέρια φάση H_2S και CO_2 . Το H_2S προκαλεί απανωτές φυσικοχημικές διαδικασίες διάβρωσης του πετρώματος και απόθεσης του διαβρωμένου υλικού, σε αντίθεση με το CO_2 που διαβρώνει μόνο σε μικρή κλίμακα (FORTI *et al.*, 2002).

Στις περισσότερες περιπτώσεις σπηλαιογένεσης η διαλυτική δράση των διαλυμάτων οφείλεται στην αρχική παρουσία του S^{2-} . Συνήθως δεν έχουν σχέση με τη διάλυση που πραγματοποιεί το εμπλουτισμένο σε CO_2 νερό στη ζώνη κατείσδυσης, αλλά κυρίως στη φρεατική ζώνη. Η δημιουργία των υπογενών σπηλαίων ισχυροποιείται στην επιφάνεια του υδροφόρου ορίζοντα όπου το νερό της κατείσδυσης αναμιγνύεται με το πλούσιο σε H_2S διάλυμα. Κύριο χαρακτηριστικό των υπογενών σπηλαίων είναι η λαβυρινθώδης δομή τους (maze caves). Συνήθως υπάρχει ένας κεντρικός αγωγός όπου πραγματοποιείται η κυρίως διάλυση λόγω υπογενών διαλυμάτων. Ταυτόχρονα πραγματοποιείται διάλυση από τους υδρατμούς, που συγκρατούν CO_2 του αέρα και διαβρώνουν τα τοιχώματα του σπηλαίου.

Η πιο χαρακτηριστική μορφή διάλυσης είναι οι θόλοι (cupolas) που

δημιουργούνται στις οροφές των υπογενών σπηλαίων. Οι αδιέξοδοι διάδρομοι (blind passages) και οι αγωγοί τροφοδοσίας (feeders) αποδεικνύουν δράση υπογενών διαλυμάτων. Επιπλέον, το CaCO_3 της διάλυσης των τοιχωμάτων μεταφέρεται προς τα κάτω με το τριχοειδές νερό και δημιουργεί σπηλαιοθέματα, κυρίως κοραλλοειδή.

4.4 Χαρακτηριστικά υπογενών σπηλαίων

Cupolas

Είναι κοιλότητες από διάλυση με σχήμα τρούλου, κυκλική έως ελλειπτική κάτοψη και μέγιστη διάμετρο $>1,5$ m (Osborne, 2004).

Τα «cupolas» συναντώνται σε σπήλαια μέσα σε ασβεστόλιθο ή γύψο και έχουν αναφερθεί σε πολλά υπογενή σπήλαια του κόσμου, από την μελέτη των οποίων έχουν προκύψει αρκετοί μηχανισμοί δημιουργίας. Οι μηχανισμοί αυτοί όπως συνοψίζονται από τον Osborne (2004) είναι οι εξής:

- Διάλυση από θερμά/υδροθερμικά νερά (BAC-MOSZASWILL & RUDNICKI, 1978)
- Διάλυση από αργά ρεύματα περιστροφής (QUINF, 1973)
- Διάλυση από συμπιεσμένο αέρα (LISMONDE, 2000)
- Διάλυση από mixing corrosion (QUINF 1973, BÖGLI 1980)
- Διάλυση από ρεύματα εξαιτίας density gradients (CURL, 1996)
- Δομές εξόδου από αρτεσιανό νερό (KLIMCHOUK, 2000)
- Διάλυση από την συμπύκνωση των υδρατμών στα τοιχώματα (MUCKE *et al.*, 1995)
- Διάλυση από ανάμειξη αλμυρού και γλυκού νερού (MYLROIE *et al.*, 1995)
- Διάβρωση (DUNLOP, 1979)

Pendants

Τα «pendants» είναι υπολειμματικές μορφές διάλυσης που βρίσκονται στις οροφές των σπηλαίων και δημιουργούνται στη φρεατική ζώνη. Η συνήθης μορφή τους είναι περίπου κωνική, με την κορυφή στραμμένη προς το δάπεδο.

Feeders

Είναι οι βασικοί αγωγοί τροφοδοσίας του υπογενούς συστήματος διαμέσου των οποίων ανέρχονται τα ρευστά από τον υδροφόρο και είναι κατακόρυφοι ή σχεδόν κατακόρυφοι. Τέτοιοι αγωγοί συνήθως εμφανίζονται μεμονωμένοι αλλά μερικές φορές μπορεί να δημιουργούν ένα μικρό δίκτυο αγωγών.

Τα feeders συχνά είναι καλυμμένα με ιζήματα κι αυτό κάνει τον εντοπισμό τους πιο δύσκολο. Ωστόσο, σε μερικές περιπτώσεις μπορούν να εντοπιστούν όταν βρίσκονται στα περιθώρια των θαλάμων των σπηλαίων από την παρουσία καναλιών στα τοιχώματα.

Outlets

Είναι στην ουσία cupolas ή κατακόρυφοι αγωγοί στην οροφή των περασμάτων και των θαλάμων ενός επιπέδου του σπηλαίου και εκτείνονται προς τα πάνω, σε ένα υψηλότερο επίπεδο.

Maze pattern

Η λαβυρινθώδης δομή αναφέρεται σε σπήλαια με μεγάλο μήκος περασμάτων, με πολλές διασταυρώσεις μεταξύ τους και γενικά δαιδαλώδη διαμόρφωση. Η μορφολογία αυτή έχει θεωρηθεί χαρακτηριστική σε υπογενή σπήλαια.

Blind passages

Τα αδιέξοδα περάσματα έχουν περιορισμένη πλευρική ανάπτυξη, αλλά συνήθως έχουν επέκταση προς τα κάτω ή προς τα πάνω στο μητρικό πέτρωμα. Ωστόσο, συχνά είναι φραγμένα από κλαστικά υλικά στο κάτω μέρος καθιστώντας δύσκολη την παρατήρηση της συνέχειάς τους. Αποτελούν μέρος των λαβυρίνθων και χαρακτηριστικό το οποίο συναντάται σε σπήλαια υπογενούς προέλευσης.

5. Γνωστά σπήλαια της περιοχής μελέτης (Όρος Κατσίκια)

Σπήλαιο των Κόκκινων Πετρών (Πετραλώνων)

Το σπήλαιο των Κόκκινων Πετρών, ή σπήλαιο των Πετραλώνων όπως είναι ευρύτερα διαδεδομένο, πήρε το όνομα του από τα κόκκινα χρώματα που προσδίδουν στους σχηματισμούς του σπηλαίου τα εν διαλύσει οξείδια του σιδήρου τα οποία προέρχονται από τα υπερκείμενα βωξιτικά κοιτάσματα. Ανακαλύφθηκε στις 19 Μαΐου του 1959 από δύο νέους του χωριού των Πετραλώνων, τον Χρ. Σαρηγιαννίδη και τον Β. Γιαννακόπουλο, στην προσπάθεια τους να βρουν νερό.

Το σπήλαιο είναι στους δυτικούς πρόποδες του όρους Κατσίκια και σε υψόμετρο περίπου 300 m. Αναπτύσσεται κυρίως οριζόντια και η έκταση του είναι 11.688 km².

Οι κύριοι κλάδοι συντίθεται από διαδοχικούς θαλάμους του σπηλαίου

οι οποίοι έχουν διέυθυνση BA-NA και συνδέονται μεταξύ τους με διαδρόμους διέυθυνσης BD-NA. (ΚΟΥΦΟΣ & ΤΣΟΥΚΑΛΑ, 2007)

Η αρχική είσοδος του σπηλαίου ήταν μία τρύπα σ' ένα σημείο της οροφής, σχεδόν κυκλική με μεγάλη διάμετρο. Αυτό φαίνεται από την ύπαρξη στο σημείο εκείνο ενός μεγάλου κώνου κορημάτων, ο οποίος σήμερα είναι καλυμμένος με σταλαγμιτικό υλικό αλλά διατηρεί τη μορφή του (ΚΟΥΦΟΣ & ΤΣΟΥΚΑΛΑ, 2007).

Το σπήλαιο των Πετραλώνων έχει χαρακτηριστεί υπογενές. Τα στοιχεία που μας οδηγούν στο συμπέρασμα αυτό είναι η λαβυρινθώδης δομή τα αδιέξοδα περάσματα, τα cupolas στην οροφή (Φωτ.7), τα pendants, τα feeders (Φωτ.8) και τα half tubes (Φωτ.9) (LAZARIDIS, 2009).

Το σπήλαιο διαθέτει μία πλούσια ποικιλία σπηλαιοθεμάτων όπως σταλαγμίτες, σταλακτίτες, εκκεντρίτες ή ελικτίτες, κολόνες ποικίλων διαστάσεων, ασβεστιτικοί δίσκοι και κοράλλια των σπηλαίων.



Σχήμα 3. Σκαρίφημα του σπηλαίου των Κόκκινων Πετρών (ΚΟΥΦΟΣ & ΤΣΟΥΚΑΛΑ, 2007)



Φωτ.7 Cupolas στην οροφή του
σπηλαίου (LAZARIDIS, 2009)

Φωτ.8 Feeder (1)
(LAZARIDIS, 2009)





Φωτ.9 Half tube στην οροφή του
σπηλαίου που συνδέεται με cupolas
(2) (LAZARIDIS, 2009)

6. Μεθοδολογία

Στο πρώτο στάδιο αυτής της εργασίας κάναμε μία βιβλιογραφική έρευνα σχετικά με τη γεωλογία της περιοχής καθώς επίσης και την γεωτεκτονική τοποθέτηση και εξέλιξη της περιοχής ενώ στις 1 Ιουλίου 2009 επισκεφτήκαμε την περιοχή, την περπατήσαμε και καταγράψαμε τις καρστικές μορφές που εντοπίσαμε. Στην συνέχεια επισκεφτήκαμε δυο λατομεία νότια του όρους Κατσίκια και πραγματοποιήσαμε μετρήσεις στα διάφορα ρήγματα και επιφάνειες που εντοπίσαμε.

Στις 27 Οκτωβρίου 2010 επισκεφτήκαμε για δεύτερη φορά την περιοχή όπου κατευθυνθήκαμε προς τις θέσεις εκείνες όπου υποδεικνύονται στο χάρτη τα βωξιτικά κοιτάσματα. Επίσης εντοπίσαμε την είσοδο του σπηλαίου των Νυχτερίδων.

Στις 10 Δεκεμβρίου 2009 επισκεφτήκαμε το σπήλαιο των Νυχτερίδων το οποίο εξερευνήσαμε. Η είσοδος του σπηλαίου των Νυχτερίδων βρίσκεται Νοτιοανατολικά του χωριού Πετράλωνα Χαλκιδικής και 500 μέτρα νότια του σπηλαίου των Κόκκινων Πετρών.

Τον Ιανουάριο του 2011 επισκεφτήκαμε ξανά το σπήλαιο και με τη βοήθεια μελών του τοπικού τμήματος Βορείου Ελλάδος της Ε.Σ.Ε το χαρτογραφήσαμε. Για τη χαρτογράφηση χρησιμοποιήθηκε η ακτινωτή μέθοδος κι ο χάρτης σχεδιάστηκε σε Autocad. Στη συνέχεια φωτογραφήσαμε και καταγράψαμε γεωμορφές από απόθεση, γεωμορφές από διάλυση και γεωμορφές που σχετίζονται με τη στατικότητα του σπηλαίου και τις καταρρεύσεις. Τέλος συγκρίναμε τις γεωμορφές που εντοπίσαμε στον σπήλαιο των Νυχτερίδων με αντίστοιχα του σπηλαίου των Πετραλώνων.

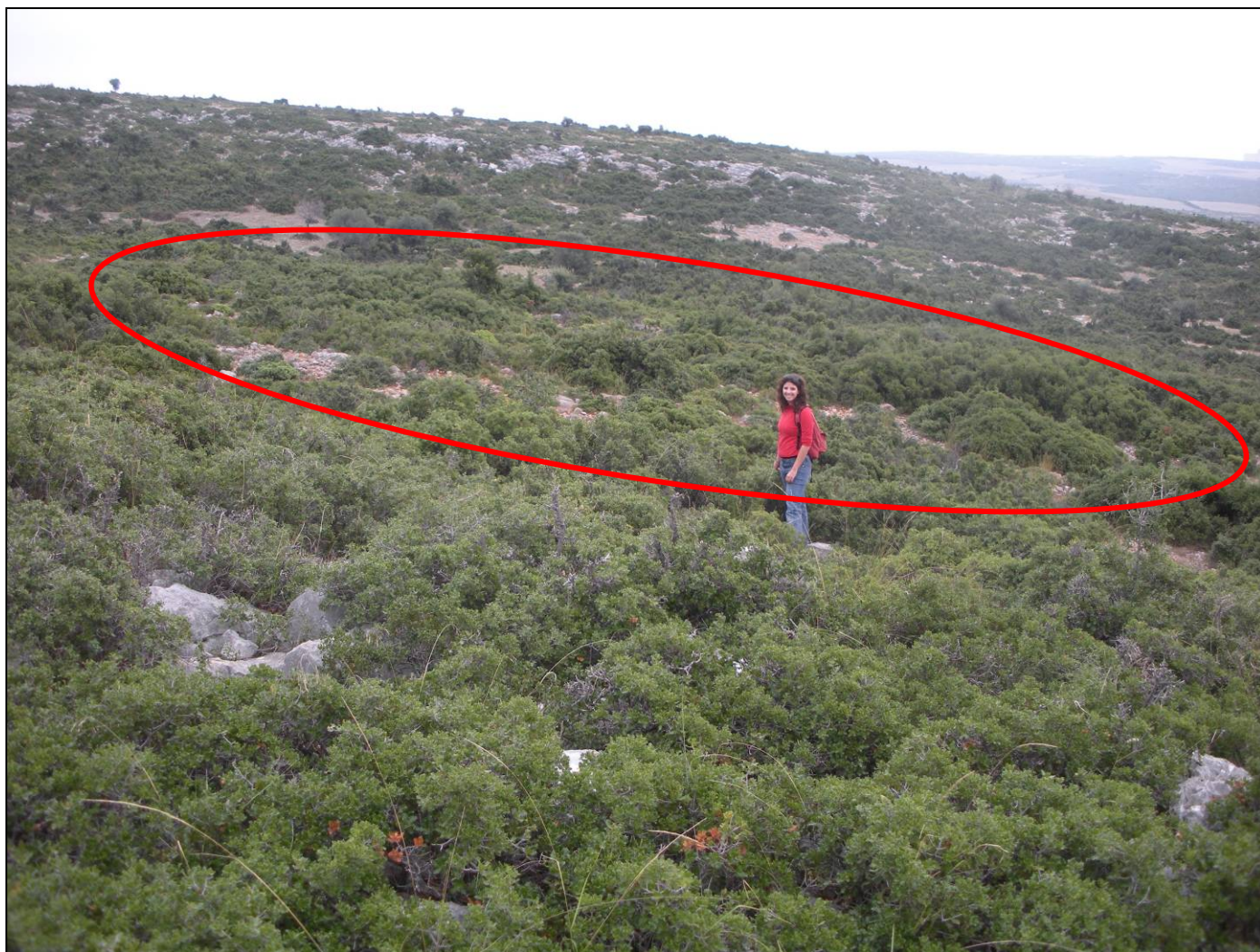
7. Αποτελέσματα

7.1 Επιφανειακές καρστικές μορφές

Στην περιοχή μελέτης πάνω σε ασβεστολιθικό υπόβαθρο έχουν αναπτυχθεί τόσο επιφανειακές όσο και υπόγειες καρστικές μορφές.

Οι πιο ευρέως συναντώμενες καρστικές μορφές τόσο στο ανατολικό όσο και στο δυτικό τμήμα του όρους Κατσίκας στην είναι οι δακτυλιογλυφές. Είναι βαθιές ή αβαθείς αύλακες με ομαλούς πυθμένες και αιχμηρές ακμές. Στην περιοχή μελέτης έχουν βάθος 0,5-1 cm, πλάτος 1-2 cm και μήκος μέχρι και 54 cm. Συναντώνται σε ομάδες με παράλληλη ή και διακλαδιζόμενη ανάπτυξη οι οποίες έχουν αφετηρία διακλάσεις ή σχισμές του πετρώματος.

Μεγάλες επιφανειακές καρστικές μορφές δεν παρατηρήθηκαν όπως πόλγες, ουβάλες εκτός από μία ρηχή σχετικά δολίνη στα νοτιοδυτικά του όρους Κατσίκας (Φωτ.18).



Φωτ.18 Δολίνη στην νοτιοδυτική παρυφή του όρους Κατσίκας

7.2 Σπήλαιο Νυχτερίδων Πετραλώνων Χαλκιδικής

7.2.1 Περιγραφή του Σπηλαίου

Το σπήλαιο εμφανίζει σε κάτοψη ανάλογη μορφολογία με αυτήν του σπηλαίου των Πετραλώνων, δηλαδή λαβυρινθώδη (Σχήμα 4 & 5). Η ανάπτυξη του κατά τον άξονα B-N είναι σχεδόν 100 μέτρα και κατά A-Δ περίπου 30 μέτρα. Τα περάσματα και οι θάλαμοι του σπηλαίου εμφανίζουν σχήματα διατομών που καθορίζονται από τις εκτεταμένες καταρρεύσεις τμημάτων της οροφής. Οι περισσότεροι θάλαμοι διαχωρίζονται μεταξύ τους από τους ογκόλιθους έχουν καταρρεύσει. Ωστόσο, σε πολλά περάσματα είναι ευδιάκριτη η εξαρτημένη σχέση μεταξύ της διεύθυνσης ανάπτυξής τους και του σχήματός τους με τις διακλάσεις του πετρώματος (fracture guided passages).

Η είσοδος του σπηλαίου είναι βαραθρώδης με βάθος 4,35 m. Στα τοιχώματα του βαράθρου διακρίνουμε σπογγώδη υφή (Φωτ.10) η οποία όμως δεν είναι δείκτης για τον τρόπο σπηλαιογένεσης διότι τη βρίσκουμε πάνω στις αποθέσεις ασβεστίτη και όχι στο μητρικό πέτρωμα. Στο χώρο της εισόδου σχηματίζεται ένας μικρός θάλαμος στην οροφή του οποίου εμφανίζονται cupolas. Στο δυτικά του θαλάμου αυτού υπάρχει ένα μικρών διαστάσεων πέρασμα που οδηγεί στους μεγαλύτερους χώρους του σπηλαίου. Εκεί υπάρχει απόθεση κλαστικών υλικών που πέφτουν από την είσοδο, ενώ τα υλικά συνεχίζουν την πορεία τους προς το εσωτερικό του σπηλαίου σχηματίζοντας ένα μεγάλο κώνο κορημάτων (Φωτ.11).

Η πρώτη αίθουσα του σπηλαίου χαρακτηρίζεται από καταρρεύσεις και ο λιθωματικός διάκοσμος είναι αρκετά περιορισμένος. Συναντάμε κυρίως κοράλλια των σπηλαίων στα περιθώρια του θαλάμου και σε περάσματα που σχηματίζονται στο χαμηλότερο επίπεδο (Φωτ.12), ανάμεσα σε ογκόλιθους που προέρχονται από τις καταπτώσεις.

Στα νότια βρίσκεται μία στενή δίοδος που οδηγεί στον μεγαλύτερο θάλαμο του σπηλαίου. Η δίοδος αυτή χαρακτηρίζεται από την παρουσία πηγαδιών, ανάμεσα σε ογκόλιθους. Νοτιοδυτικά της διόδου αυτής υπάρχει άλλη ένας μικρός θάλαμος όπου με παρόμοια χαρακτηριστικά.

Ο μεγάλος θάλαμος εμφανίζει ιδιαίτερα ανώμαλο δάπεδο από ογκόλιθους, με έντονες υψομετρικές διαφορές κατά θέσεις (Φωτ.13). Κατά συνέπεια, όπως και στους προηγούμενους θαλάμους, η οροφή εμφανίζει περιορισμένο πλήθος και ποικιλία σπηλαιοθεμάτων. Κυρίως παρατηρούνται «νεαροί» σταλακτίτες. Στην κεντρικότερη περιοχή του θαλάμου εμφανίζονται επάνω στους ογκόλιθους σταλαγμίτες και κολώνες. Επίσης, τα τεμάχια που έχουν αποκολληθεί από την οροφή φέρουν πάνω τους σπασμένους σταλακτίτες και κουρτίνες. Συνεπώς, αφενός η πτώση των τμημάτων της οροφής συνέβη αρκετά μετά την εκκένωση του σπηλαίου από το φρεατικό νερό, εφόσον υπάρχουν σπηλαιοθέματα οροφής στους

ογκόλιθους και αφετέρου παρήλθε σημαντικός χρόνος από την πτώση τους με βάση την παρουσία σταλαγμιτών και κολώνων, μεγάλων διαστάσεων.

Στο νότιο τμήμα της μεγάλης αίθουσας εμφανίζεται ένας σημαντικών διαστάσεων κώνος κορημάτων. Πιθανόν να πρόκειται για μία «παλιά» είσοδο του σπηλαίου, η οποία λειτούργησε στο παρελθόν και τώρα έχει κλείσει, εφόσον πέρα από την μορφή της απόθεσης, τα ιζήματα είναι αλλόχθονα. Η διερεύνηση προς την κορυφή του κώνου έδειξε ότι καταλήγει πολύ κοντά στη επιφάνεια του εδάφους, όπου διακρίνονται ρίζες (Φωτ.14) Ανατολικά του κώνου υπάρχει ένα πέρασμα που οδηγεί στον νοτιότερο θάλαμο του σπηλαίου, η οποία είναι πλούσια τόσο σε σπηλαιοδιάκοσμο (Φωτ.15) όσο και σε ογκόλιθους.

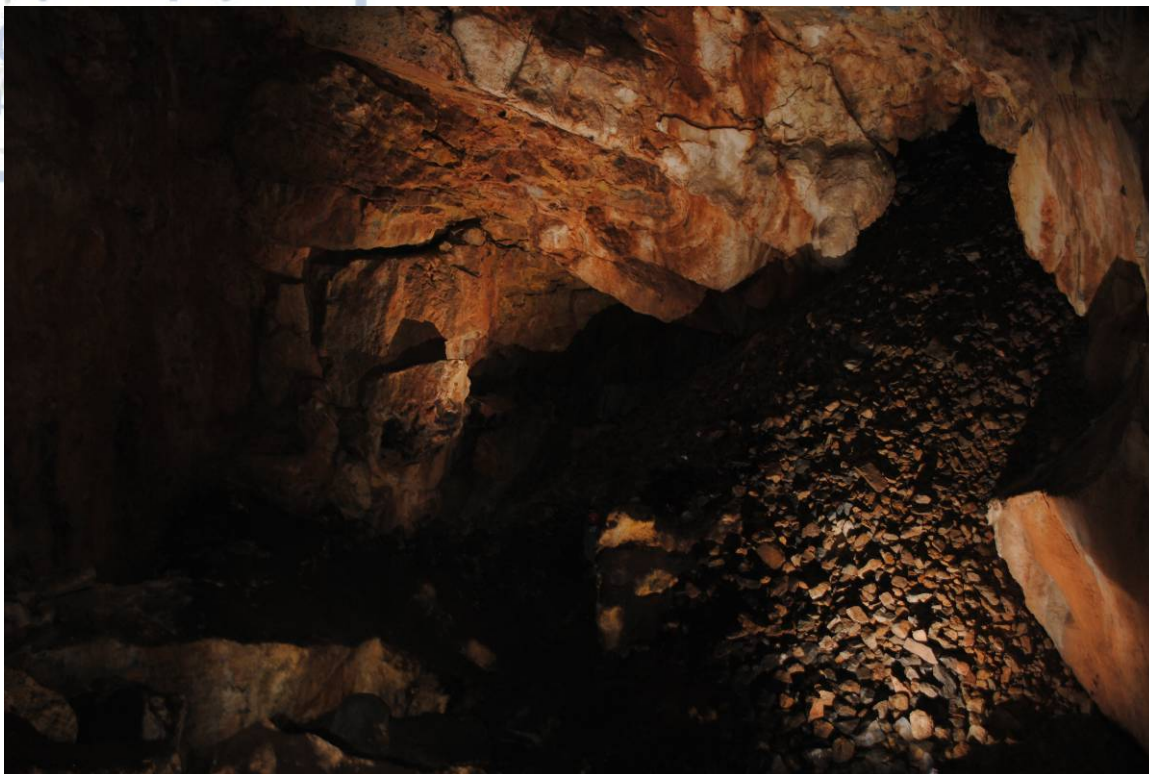
Αρκετοί μικροί θάλαμοι βρίσκονται στα περιθώρια του μεγάλου θαλάμου, οι οποίες είναι πλούσιες σε σπηλαιοθέματα, όπως σταλακτίτες, σταλαγμίτες, κοράλλια, εκκεντρίτες (φωτ.16), ελλικτίτες κολώνες και κουρτίνες. Ανάμεσα στα κοράλλια της οροφής να διακρίνονται σταλακτίτες (φωτ.17).

Πολλοί από τους θαλάμους επικοινωνούν με περάσματα μεταξύ τους. Μάλιστα κάποια περάσματα τέτοιου τύπου (ανάμεσα σε ογκόλιθους) εμφανίζουν μήκος αρκετών μέτρων και ενώνουν απομακρυσμένα σημεία του σπηλαίου μεταξύ τους. Για παράδειγμα ένα τέτοιο πέρασμα υπάρχει στο ΒΑ τμήμα της μεγαλύτερης αίθουσας, με ανάπτυξη προς νότο και πέρασ στον κώνο κορημάτων. Το πέρασμα αυτό είναι σχετικά στενό και γεμάτο με κοράλλια των σπηλαίων. Τέλος σε αρκετά σημεία του σπηλαίου παρατηρούνται στην οροφή και στα τοιχώματα στρώματα ασβεστίτη που σχηματίζουν τα σπηλαιοθέματα “mammillaries” ή “cave clouds”.

Σε αντίθεση με το σπήλαιο των Πετραλώνων, στο σπήλαιο των Νυχτερίδων δεν έχουν εντοπιστεί παλαιοντολογικά ευρήματα. Αυτό είναι πιθανό να οφείλεται στη μικρή ηλικία της κυρίας εισόδου του σπηλαίου και στη μικρή διάρκεια λειτουργίας της δεύτερης πιθανής παλαιάς εισόδου.



Φωτ.10 Σπογγώδης υφή στην είσοδο του σπηλαίου.



Φωτ.11 Κώνος κορημάτων στην παλιά είσοδο



Φωτ.12 Κοράλλια των σπηλαίων στην πρώτη αίθουσα



Φωτ.13 Καταρρεύσεις στον κύριο θάλαμο



Φωτ.14 Ρίζες στην παλιά είσοδο του σπηλαίου



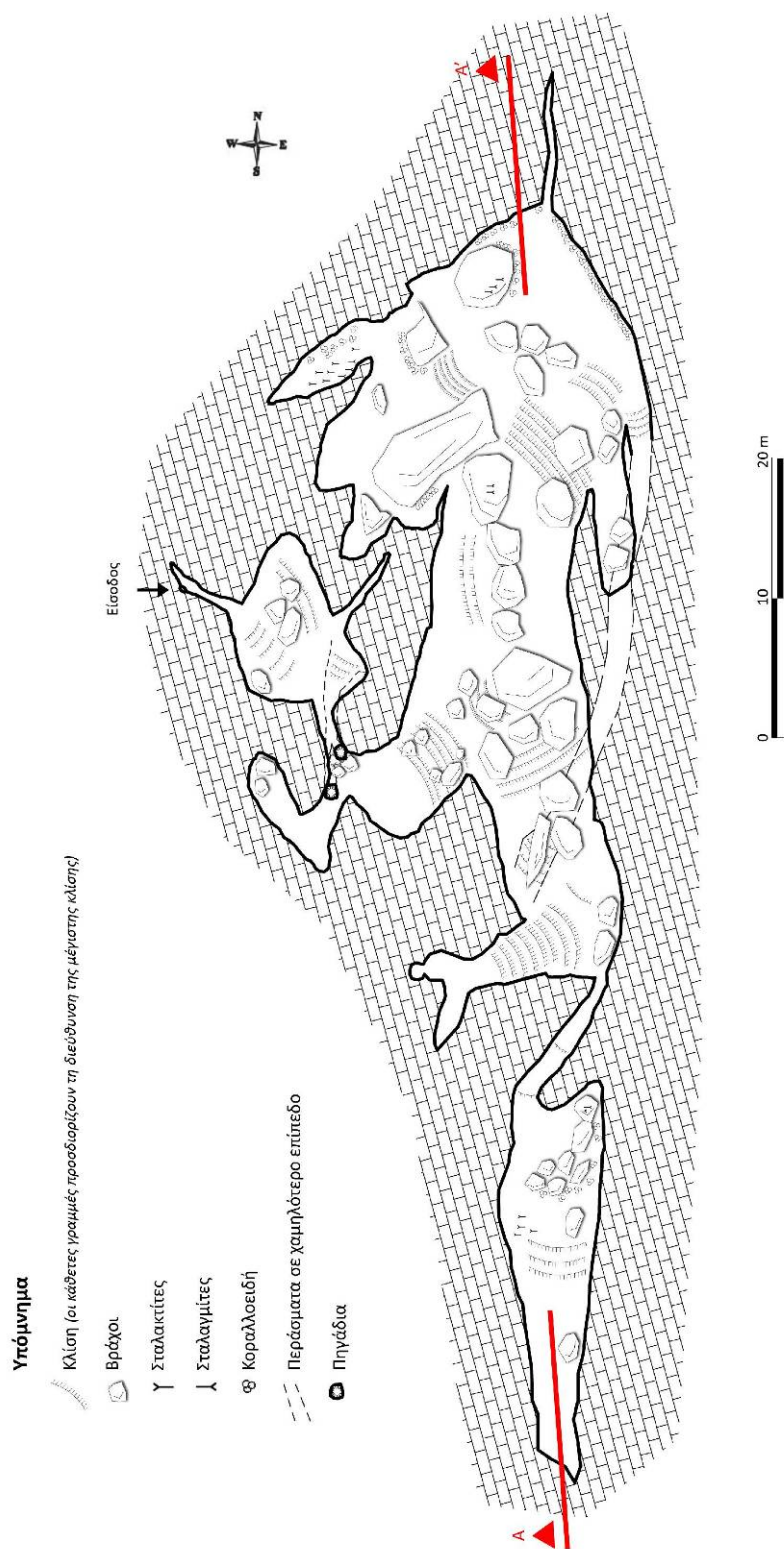
Φωτ.15 Άποψη από τον σπηλαιοδιάκοσμο στον νότιο θάλαμο



Φωτ.16 Κοράλλια και εκκεντρίτες στη ΒΔ πλευρά του κεντρικού θαλάμου

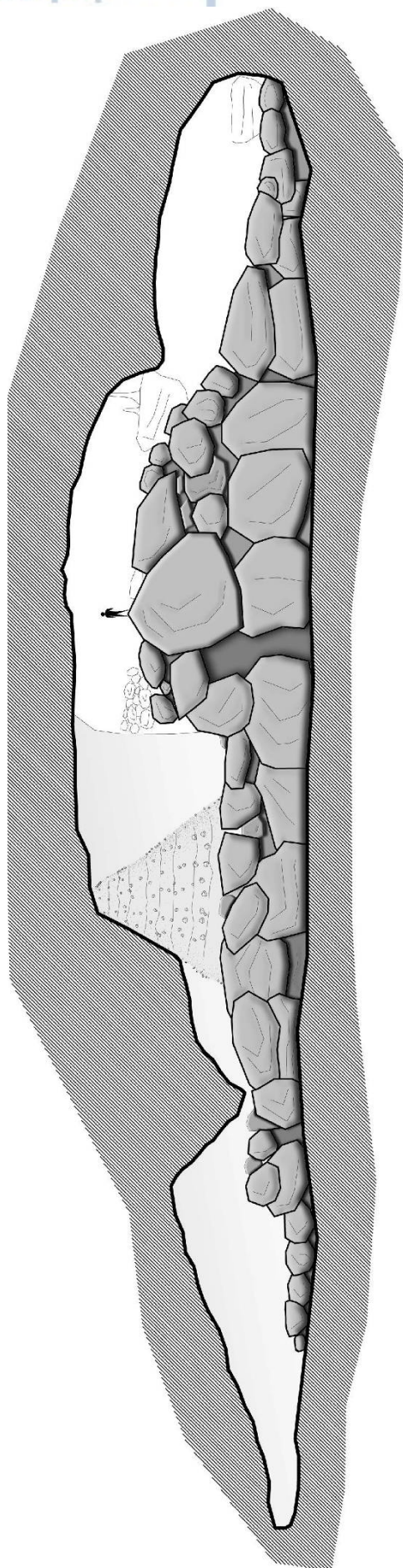


Φωτ.17 Άποψη από τον σπηλαιοδιάκοσμο στην ΒΔ πλευρά του κεντρικού θαλάμου



Σχήμα 4. Σκαρίοφμα του Σπηλαίου των Νυχτερίδων

N



Τομή Α-Α'

0 10 20 m

Σχήμα 5. Τομή μέσα στο σπήλαιο των Νυχτερίδων

7.2.2 Μορφολογικοί σχηματισμοί του Σπηλαίου

Η σπηλαιολογική έρευνα όπως αναφέρθηκε στη μεθοδολογία έδειξε τα εξής:

- Γλυφές οροφής – θόλοι (cupolas)

Στην οροφή του σπηλαίου των Νυχτερίδων συναντάμε αρκετά cupolas, κυρίως στον πρώτο θάλαμο και στην δυτική πλευρά του κεντρικού θαλάμου τα οποία έχουν δημιουργηθεί στο μητρικό πέτρωμα, όπως διακρίνεται όπως φωτογραφίες (Φωτ.19, 20). Συνεπώς μπορούν να θεωρηθούν αποτέλεσμα όπως κύριας φάσης της σπηλαιογένεσης.



Φωτ.19 Cupolas στην οροφή του σπηλαίου



Φωτ.20 Cupola στην οροφή του σπηλαίου

➤ Αγωγοί τροφοδοσίας (feeders)

Εξαιτίας της εκτεταμένης παρουσίας ογκολίθων στο δάπεδο, λόγω καταρρεύσεων, η εικόνα αγωγών τροφοδοσίας δεν είναι σαφής. Ωστόσο σε ορισμένες θέσεις ενδεχομένως υπάρχουν τέτοιες δομές σε συνάφεια και σχέση με αντίστοιχες των τοιχωμάτων και της οροφής.



Φωτ.21 “Side-feeder” στο τοίχωμα του σπηλαίου που συνδέεται με “cupola” στην οροφή

➤ Αγωγοί εξόδου (outlet)

Οι αγωγοί εξόδου είναι οι αγωγοί όπου το ανερχόμενο νερό κατευθύνεται σε άλλα επίπεδα του σπηλαίου. Η περιοχή της εισόδου του σπηλαίου, εμφανίζει την μορφολογία τέτοιων δομών και είναι το καλύτερο παράδειγμα για το σπήλαιο αυτό, αν και θα μπορούσε να αποτελεί ένα *cupola* το οποίο «τμήθηκε» από την επιφανειακή διάβρωση (μορφολογία).



Φωτ.22 Είσοδος του σπηλαίου των Νυχτερίδων

➤ Αδιέξοδα περάσματα (blind passages)

Παρότι είναι λίγα τα περάσματα που δεν έχουν επηρεαστεί από τις καταρρεύσεις είναι πολύ χαρακτηριστικά. Συνήθως βρίσκονται στα περιθώρια των θαλάμων του σπηλαίου και η ανάπτυξη όπως ακολουθεί χαρακτηριστικά τις διακλάσεις του ασβεστολίθου (fracture guided). Τα περάσματα αυτά διακόπτονται απότομα και δημιουργούν αδιέξοδα.



Φωτ.23 Αδιέξοδο πέραςμα στο βόρειο τμήμα του κύριου θαλάμου



Σχήμα 6. Με τους κόκκινους κύκλους σημειώνονται ορισμένα καλά διαμορφωμένα αδιέξοδα περάσματα

8. Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν οι ιδιαίτερες συνθήκες σπηλαιογένεσης στην ευρύτερη περιοχή των Πετραλώνων Χαλκιδικής.

Το Σπήλαιο των Νυχτερίδων έχει δημιουργηθεί στη φρεατική ζώνη. Μετά από επιτόπια έρευνα στο σπήλαιο καταγράφηκαν τα μορφολογικά χαρακτηριστικά που προσδίδουν χαρακτήρα υπογενούς προέλευσης (γλυφές οροφής-θόλοι, αγωγοί τροφοδοσίας, αγωγοί εξόδου).

Η μελέτη της κατόψης του σπηλαίου εμφανίζει ομοιότητες τόσο με το σπήλαιο των Πετραλώνων όσο με σπήλαια που εμφανίζουν λαβυρινθώδη δομή και έχουν θεωρηθεί υπογενή. Επιπλέον στην κατόψη είναι έντονη η παρουσία αδιέξοδων διαδρόμων. Τέλος, μία ισχυρή ένδειξη του μηχανισμού σπηλαιογένεσης που διαφέρει από την τυπική φρεατική είναι η απουσία μορφών διάλυσης από πλευρική ροή υπόγειου νερού (scallops).

Συγκεντρώνοντας τα παραπάνω μορφολογικά γνωρίσματα του Σπηλαίου των Νυχτερίδων, τόσο η λαβυρινθώδης μορφή της κάτοψης, όσο και οι δομές διάλυσης στην οροφή και τα τοιχώματα υποδεικνύουν ότι η σπηλαιογένεση συνέβη με μηχανισμούς δημιουργίας υπογενών σπηλαίων.

Το σπήλαιο των Πετραλώνων έχει χαρακτηριστεί υπογενούς προέλευσης (LAZARIDIS, 2009, VENI *et al.*, 2009) και η λαβυρινθώδης δομή είναι πιο χαρακτηριστική από το σπήλαιο των Νυχτερίδων.

Με βάση τα χαρακτηριστικά των σπηλαίων συμπεραίνουμε ότι η σπηλαιογένεση στην δυτική πλευρά του όρους Κατσίκας οφείλεται στη δράση ανερχόμενων διαλυμάτων από το εσωτερικό του πετρώματος.

9. Παράρτημα

ΔΕΛΤΙΟ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ

Θέση: **Λατομείο 1**

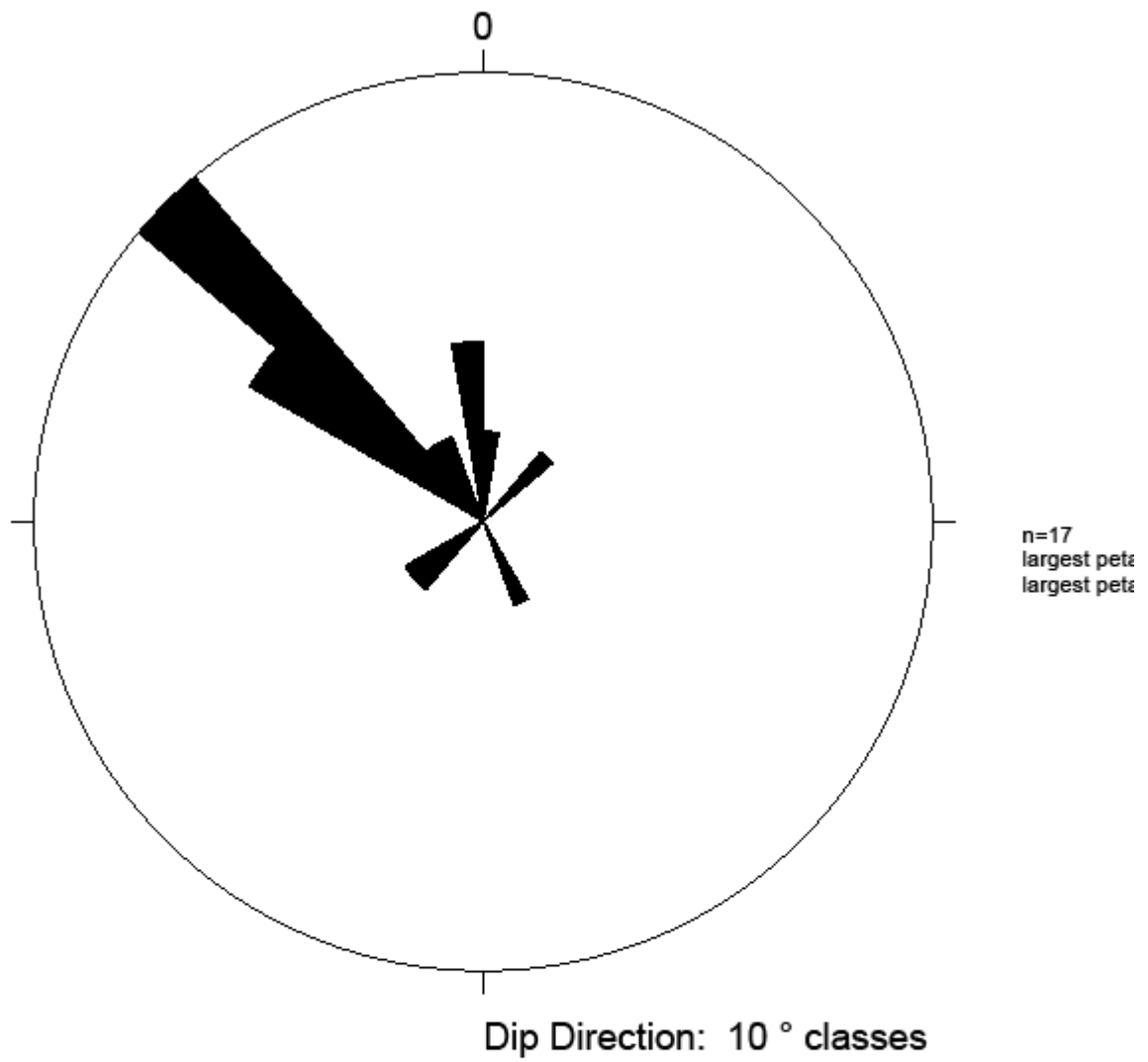
Λιθολογία: **Ανακρυσταλλωμένος
Ασβεστόλιθος**

Προσανατολισμός πορείας:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A/A	Είδος Ασυνέχειας	Διεύθυνση Κλίσης	Κλίση	GPS	Φωτογρα φίες	Άνοιγ μα (cm)	Υλικό πλήρωσης	Ασβεστιτικό Υλικό Πλήρωσης	Παρατηρήσεις
1	S	20	10				Όχι	Όχι	
2	j	320	75			1cm	Όχι	Όχι	
3	j	300	75				Όχι	Όχι	
4	j	312	80				Όχι	Όχι	
5	j	316	75				Όχι	Όχι	
6	j	318	80				Όχι	Όχι	
7	F	239	72	001		35cm	Ναι	Ναι	Δείγμα 1
8	F	225	72	002		35cm	Ναι	Ναι	Δείγμα 2
9	j	154	85				Όχι		
10	j	332	80	003			Ναι	Ναι	
11	j	310	80				Ναι	Ναι	
12	j	300	80				Όχι		
13	j	350	70				Όχι	Όχι	
14	j	358	65				Όχι		
15	j	360	80				Όχι		
16	F	305	80	004		30cm	Ναι	Ναι	
17	F	45	85	005		30cm	Ναι	Ναι	Διεισδύει άργιλος και μικρές λατύπες ασβεστιτικές και συγκολλούνται με ανθρακικό ασβέστιο (CaCO ₃)
18	F	315	75	006			Ναι		Ρεόλιθος Το ρήγμα γεμίζει με λατύπες

ΥΠΟΜΝ
ΗΜΑ

S: Στρώση, F: Ρήγμα, J: Διάκλαση



11. Βιβλιογραφία

- ΒΑΞΕΒΑΝΟΠΟΥΛΟΣ, Μ.,(2003).** Καρστικές μορφές στην εγγύτερη περιοχή των Πετραλώνων Χαλκιδικής με έμφαση το σπήλαιο των Νυχτερίδων. Διπλωματική εργασία, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.
- ΒΟΥΒΑΛΙΔΗΣ, Κ.,(2002).** Μαθήματα Φυσικής Γεωγραφίας. Θεσσαλονίκη.
- ΔΕΡΜΙΤΖΑΚΗΣ, Μ. & ΘΕΟΔΩΡΟΥ, Γ., (1994).** Γλωσσάριο Γεωλογικών Εννοιών
- Ι.Γ.Μ.Ε.** Γεωλογικός χάρτης Ελλάδος 1:50.000. Φύλλο Βασιλικά.
- ΚΟΥΦΟΣ, Γ. & ΤΣΟΥΚΑΛΑ, Ε.,(2007).** Πετράλωνα, ένα σπήλαιο, μια προ...ιστορία. Θεσσαλονίκη.
- ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ, Δ.,(1985).** Γεωλογία της Ελλάδας. Θεσσαλονίκη.
- ΠΕΤΡΟΧΕΙΛΟΣ, Ι.,(1960).** Το σπήλαιο των Νυχτερίδων. Αριθμός 1036. – Δελτίο Ελληνικής Σπηλαιολογικής Εταιρίας. Αθήνα.
- ΣΟΥΛΙΟΣ, Χ. Γ.,(1986).** Γενική Υδρογεωλογία, 1ος τόμος, University Studio Press. Θεσσαλονίκη. 161-166.
- ΧΑΤΖΗΖΑΧΑΡΙΑΣ, Π. & ΣΙΔΕΡΗΣ, Α.,(1987).** Μελέτη καρστικών φαινομένων βουνού Κατσίκας Χαλκιδική. Θεσσαλονίκη.
- ΧΡΗΣΤΑΡΑΣ, Β.,(1984).** Γεωλογία των βωξιτικών κοιτασμάτων του βουνού Κατσίκας(Χαλκιδική). Θεσσαλονίκη.
- AUDRA, P., MOCOCHAIN, L., BIGOT, J. & NOBECOURT, J., (2009).** The pattern of hypogenic caves. France.
- BAC-MOSZAWILL, M., & RUDNICKI, J., (1978).** O mozliwosei hydrothelmal genezy jaskini Dziura w Tarrach. Kras I speleologia. 2(XI): 84-91.
- BÖGLI, A. , (1980).** Karst hydrology and physical speleology, Springer Verlag, Berlin.
- CVIJIC, J.,(1918).** Hydrographie souterraine et evolution morphologique du karst. Recueilles Travaux de l'Institute de Geographic Alpine 6(4), 375-426.
- DUNLOP, B.T. (1979).** Jenolan Caves, 11th Edition.(New South Wales Department of Tourism, Sydney) 96p.
- FORD, D., C.,(2003).** Perspectives in karst hydrogeology and cavern genesis, Speleogenesis and evolution of karst Aquifers 1(1), Virtual Scientific Journal, www.speleogenesis.info, January, p.2.
- FORTI, P., GALDENZI, S., SARBU, S. M.,(2002).** The hypogenic caves: a powerful tool for the study of seeps and their environmental effects.
- KLIMCHOUK, B. A.-FORD, C. D.- PALMER N. A.- WOLFWANG DEYBRODT EDITORS,(2000).** Speleogenesis. Evolution of karst aquifers. Huntsville, Alabama.
- KLIMCHOUK, A., (2007).** Hypogene Speleogenesis: Hydrogeological and Morphogenetic Perspective.



- KOCKEL (1977).** Tectonic development of the Eastern Mediterranean region.
- LAZARIDIS, G., (2009).** Petralona Cave: Morphological analysis and a new perspective on its speleogenesis. In Klimchouk, S. & Ford, D., 2009. Hypogene Speleogenesis and Karst Hydrogeology of Artesian Basins. Ukrainian Institut of Speleology and Karstology, Special Paper 1, p. 233-239.
- LISMONDE, B.,(2000).** Corrosion des couples de plafond par la fluctuations de pression de l' air emprisonne. *Karstologia*. 35: 39-45
- MUCKE, B., VILKER, R. & WADEWITZ, S., (1983).** Cupola formation in occasionally inundated cave roofs. Proceedings of the Eropcean Regional Conference on Speleology, Sofia, Bulgaria 22-28 September 1980. 2:129-132.
- MYRLOIE, J.E., CAREW, J.L. & VACHER, H.I., (1995).**Karst development in the Bahamas and Bermuda. Geological Society of Amrica Special Paper. 300: 251-267.
- QUINF, Y., (1973).** Contribution a l' etude morfologique des couples. *Annales speleologie*. 28(4): 554-573
- OSBORNE, R.A.L.,(2004).** The troubles with cupolas, Sydney.
- VENI, G., POULIANOS, A.N.GOLUBOVIC-DELIGIANNI, M. & POULIANOS, N.A., 2009.** Preliminary hydrogeologic survey of Petralona Cave, Chalkidiki, Greece. Proceedings of the 15th International Congress of Speleology, 1717-1722.
- WHITE, W. & WHITE, E.,** Karst Hydrology. Concepts from the Mammoth Cave Area.