

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ Κ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : ΚΑΘ. Κ. ΒΟΥΒΑΛΙΔΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΧΡΗΣΗ ΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ
ΣΠΗΛΑΙΟΓΕΝΕΤΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΣΕ ΣΠΗΛΑΙΑ ΤΗΣ Β. ΕΛΛΑΔΟΣ



ΒΑΣΙΛΩΝΙΚΟΛΟΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ

ΦΟΙΤΗΤΗΣ

Α.Ε.Μ.3533

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2013

Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ Κ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : ΚΑΘ. Κ. ΒΟΥΒΑΛΙΔΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΧΡΗΣΗ ΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ
ΣΠΗΛΑΙΟΓΕΝΕΤΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΣΕ ΣΠΗΛΑΙΑ ΤΗΣ Β. ΕΛΛΑΔΟΣ**

ΒΑΣΙΛΟΝΙΚΟΛΟΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ

ΦΟΙΤΗΤΗΣ

A.E.M.3533

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2013

Η φωτογραφία εξωφύλλου είναι από τον κύριο διάδρομο του σπηλαίου
της Αλιστράτης.

Π Ρ Ο Λ Ο Γ Ο Σ - Ε Υ Χ Α Ρ Ι Σ Τ Ι Ε Σ

Η παρούσα εργασία έγινε στα πλαίσια του μαθήματος «ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ» και περιλαμβάνει πρωτότυπα στοιχεία από έρευνα πεδίου. Επιβλέπων αυτής της εργασίας είναι ο καθηγητής κ. Κ. Βουβαλίδης.

Το αντικείμενο της εργασίας αφορά τον προσδιορισμό σπηλαιογενετικών διεργασιών σε σπήλαια της Β. Ελλάδος με την χρήση μορφομετρικών δεικτών και έχει ως σκοπό την διερεύνηση των διεργασιών που επηρεάζουν το σχήμα, την έκταση, και την μορφολογία τριών σπηλαίων στην Βόρεια Ελλάδα. Επίσης στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκαν τα μορφομετρικά χαρακτηριστικά των σπηλαίων με την μέτρηση και τον υπολογισμό μορφομετρικών παραμέτρων και δεικτών αξιοποιώντας την τεχνολογία των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επίκουρο καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Βουβαλίδη που μου ανέθεσε αυτήν την εργασία, για το ενδιαφέρον του και τις χρήσιμες συζητήσεις που είχαμε. Επίσης ευχαριστώ θερμά τον φίλο και συνάδελφο υποψήφιο διδάκτορα και σπηλαιολόγο Πέννο Χρήστο για την σημαντική του βοήθεια σε θέματα που αφορούν το υπολογιστικό μέρος της εργασίας, την καθοδήγηση του στους χάρτες αλλά και για τις χρήσιμες συμβουλές του. Ευχαριστώ την Εφορεία Παλαιοανθρωπολογίας – Σπηλαιολογίας Βορείου Ελλάδος και ειδικά την κ. Άννα Παντή για την χρήσιμη βοήθεια της, και την προσφορά της όπου χρειάστηκε.

Τέλος ευχαριστώ θερμά τα μέλη του σπηλαιολογικού συλλόγου «ΠΡΩΤΕΑ» για την συμπαράσταση τους κατά την διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας μου και την αρωγή τους όποτε και όταν χρειάστηκε για τις επισκέψεις μου στα σπήλαια.

Η διπλωματική εργασία αφιερώνεται στους γονείς μου,
Αθανάσιο και Γεωργία για τους κόπους τους και για τα
εφόδια που μου έδωσαν στον δύσκολο αυτό δρόμο της
ζωής μου.

Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

1. <u>Εισαγωγή</u>	
1.1 Γενικά στοιχεία	6
1.2 Μορφομετρία και μορφομετρικοί δείκτες	8
1.3 Ψηφιακή επεξεργασία των ερευνητικών δεδομένων των σπηλαίων	9
1.4 Μορφομετρία και γεωλογική δομή	12
1.5 Γεωγραφική θέση των σπηλαίων που επιλέχθηκαν	13
1.6 Γεωλογία περιοχής των σπηλαίων που επιλέχθηκαν	18
2. <u>Μεθοδολογία</u>	
2.1 Γενικά στοιχεία	20
2.2 Χρήση προγραμμάτων	21
2.3 Χάρτες σπηλαίων – κατόψεις	22
3. <u>Αποτελέσματα</u>	
3.1 Σπήλαιο Αγίου Γεωργίου Κιλκίς	24
3.2 Σπήλαιο Αλιστράτης Σερρών	32
3.3 Σπήλαιο Μαρώνειας Κομοτηνής	40
4. <u>Συμπεράσματα</u>	49
<u>Βιβλιογραφία</u>	51

1 . Ε Ι Σ Α Γ Ω Γ Η

1.1 Γενικά στοιχεία

Η φύση ευεργέτησε την Ελλάδα σε αριθμό και ποικιλία σπηλαίων. Με την βοήθεια του νερού αξιοποίησε το ελληνικό υπέδαφος, όπου τα πετρώματα του είναι κατά 70% ανθρακικά, για να δημιουργήσει ένα εύρος από διαφορετικά σπήλαια: λιμναία, χερσαία, οριζόντια, κατακόρυφα, βάραθρα και υπόγεια ποτάμια.

Ένα σπήλαιο συνήθως περιγράφεται ως η μικρή ή η μεγάλη φυσική κοιλότητα της γης, οριζόντια ή κατακόρυφη, που διανοίχτηκε κυρίως υπό την επίδραση του νερού. Είναι γνωστή η μεγάλη διαβρωτική επίδραση του νερού, η οποία είναι πιο δραστική σε ορισμένα πετρώματα, όπως π.χ. είναι ο ασβεστόλιθος, ο οποίος καλύπτει το 60% της Ελλάδας. Το νερό διεισδύει στα πετρώματα αυτά, διευρύνει τις σχισμές και με το πέρασμα του χρόνου σχηματίζει υπόγεια πολύπλοκα δίκτυα κενών, τα οποία συνεχώς διευρύνονται και σχηματίζουν υδάτινες λεκάνες και σπήλαια διαφόρων σχημάτων και μεγεθών. Σχηματίζονται στο εσωτερικό της ασβεστολιθικής μάζας, εξαιτίας της καρστικής διάβρωσης που διαλυτοποιεί το CaCO_3 και το απομακρύνει με την ροή του υπογείου νερού. Όμως το νερό που εισέρχεται στην ανθρακική μάζα από τις σχισμές και τις διακλάσεις της, πολύ γρήγορα καθίσταται κορεσμένο σε ανθρακικό ασβέστιο με αποτέλεσμα να μην μπορεί να διαλύσει παραπάνω ποσότητα ανθρακικού ασβεστίου. Για να δημιουργήσουν αυτά τα κορεσμένα νερά ένα σπήλαιο στο βάθος της μάζας του πετρώματος, θα πρέπει να μετατραπούν σε ακόρεστα στο συγκεκριμένο σημείο και να αποσπάσουν (διαλυτοποιήσουν) τμήμα της ανθρακικής μάζας. Κάτι τέτοιο μπορεί να συμβεί όταν δυο κορεσμένα διαλύματα μέσα από τις διακλάσεις του πετρώματος ενωθούν και σχηματίσουν ένα νέο διάλυμα το οποίο για πολύ λίγο είναι ακόρεστο. Το ακόρεστο αυτό διάλυμα θα διαλύσει τμήμα του πετρώματος και θα το απομακρύνει σχηματίζοντας στο σημείο εκείνο ένα υπόγειο έγκοιλο. Τα περισσότερα σπήλαια αποτελούνται από ακανόνιστες αίθουσες, που επικοινωνούν με στοές, ενώ πολλά περιέχουν καταρράκτες και λίμνες (Βαξεβανόπουλος, 2006).

Ο Curl (1964, 1966) πρότεινε τον όρο «κατάλληλο» σπήλαιο για να δηλώσει μια τρύπα που είναι αρκετά μεγάλη για τους ανθρώπους να εισέλθουν και «κανονική είσοδο», την είσοδο για τα φυσικά πρόσωπα. Το γεγονός ότι όλα σχεδόν τα γνωστά σπήλαια είναι κατάλληλα σπήλαια με τις κατάλληλες εισόδους είναι μια προφανής, αλλά σημαντική έννοια και δεν μπορεί να αγνοηθεί, διότι οι ορισμοί αυτοί είναι προφανώς ανθρωποκεντρικοί και αυθαίρετοι και δεν έχουν καμία επιστημονική έννοια (White, 1988). Αυτή η διαφορά οδηγεί στο να διευκρινιστεί ότι η κάθε προσπάθεια να περιγραφούν τα

σπήλαια, από μορφολογική άποψη, χρειάζεται έναν σαφή ορισμό του τι εννοούμε με τον όρο «σπήλαιο» και του συντελεστή κλίμακας της περιγραφής.

Η κατανομή του μήκους των καρστικών σπηλαίων προκύπτει από την προσέγγιση μιας εκθετικής συνάρτησης, εάν τα σπήλαια χωρίς εισόδους (μη κατάλληλα σπήλαια) περιλαμβάνονται στην συνάρτηση (Curl, 1964). Η επίπτωση του νόμου της κατανομής είναι ότι το μήκος των σπηλαίων είναι μια αναλλοίωτη κλίμακα-παράμετρος και έτσι συνδέεται στενά με τα αυτό-όμοια fractals (Curl, 1986). Αυτή η κυριότητα προσφέρει επίσης την ιδιότητα να εκτιμηθεί ότι ο αριθμός, το μήκος ή ο όγκος των μη κατάλληλων σπηλαίων σε μια περιοχή ή γύρω από μη κατάλληλα σπήλαια συνδέονται με ένα εξερευνημένο σπήλαιο (Finnesand & Curl, 2009, Lauritzen et. al., 2013).

Μάλιστα το τμήμα του σπηλαίου που μπορεί άμεσα να διερευνηθεί είναι συνήθως ένα ελάχιστο μέρος του συνόλου του υπόγειου δικτύου των κενών, γιατί κάποια εμπόδια συνήθως σταματούν την εξερεύνηση. Για τον λόγο αυτό, μόνο ένα μικρό μέρος των σπηλαίων μπορούν να θεωρηθούν καλά εξερευνημένα και μόνο σε αυτές τις περιπτώσεις μπορεί να διενεργηθεί μια αξιόπιστη μορφομετρική ανάλυση ενός και μόνο συστήματος. Γενικότερα, μπορεί να ληφθεί υπόψη ένα μεγάλο μέρος του πληθυσμού των σπηλαίων της προσδιορισθείσας καρστικής έκτασης, για να σκιαγραφηθεί μια στατιστικά σημαντική περιγραφή της ανάπτυξης του σπηλαίου.

Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί το γεγονός ότι διαφορετικές διεργασίες μπορούν να σχηματίσουν σπήλαια και, κατά συνέπεια, αυτή η γενική λέξη συλλέγει πολύ διαφορετικά «μορφολογικά» αντικείμενα, που έχουν ως μοναδικό κοινό χαρακτηριστικό την απουσία φωτός. Παρόλα αυτά τα περισσότερα σπήλαια σχηματίζονται λόγω των διεργασιών της διάλυσης και εξελίσσονται μέσα σε διαλυτά πετρώματα, όπως ο ασβεστόλιθος, ο γύψος, ο δολομίτης (καρστικά σπήλαια). Τα σπήλαια είναι συνήθως ένα περίπλοκο και τρισδιάστατο σύστημα διασυνδεδεμένων κενών, των οποίων η λειτουργία τους είναι ή ήταν, να μεταφέρουν το νερό σε ένα ή περισσότερα συστήματα κενών (Palmer 1991, Ford και Williams 2007, De Waele, και Piccini, 2008). Τα υπογενή σπήλαια έχουν διαφορετική προέλευση και οφείλονται σε βαθιά υπόγεια νερά τα οποία ανεβαίνουν από κάτω προς τα πάνω, από αρτεσιανό ή κατακόρυφης ροής νερό (Klimchouk, 2007).

Όπως έχει αναφερθεί, διαφορετικές διεργασίες μπορούν να σχηματίσουν σπήλαια, αλλά όλες αυτές οι διεργασίες έχουν κοινό παρανομαστή την σπηλαιογένεση. Με τον όρο σπηλαιογένεση, εννοούμε το σύνολο των φυσικοχημικών και βιολογικών φαινομένων, που γίνονται η αιτία δημιουργίας του πρώτου μικρού εγκοίλου μέσα σε ένα πέτρωμα, το οποίο με την πάροδο του χρόνου θα εξελιχθεί σε σπήλαιο. Ήδη από το 1726 άρχισαν να διατυπώνονται οι

πρώτες σπηλαιογενετικές θεωρίες. Σκοπός όλων αυτών των θεωριών είναι να δώσουν μια εξήγηση για την γένεση και την εξέλιξη, κυρίως, του καρστικού φαινομένου.

Ανάλογα με τα αίτια που προκάλεσαν την σπηλαιογένεση αλλά και ανάλογα με το πέτρωμα μέσα στο οποίο δημιουργήθηκε το έγκοιλο, μπορούν να καταταχτούν σε διαφορετικές σπηλαιογενετικές κατηγορίες.

- Σπηλαιογένεση λόγω κατακρημνίσεων – κατολισθήσεων.
 - Σπηλαιογένεση λόγω τεκτονικών φαινομένων.
 - Σπηλαιογένεση λόγω αιολικών φαινομένων.
 - Σπηλαιογένεση λόγω μηχανικής διάβρωσης του ύδατος επί των πετρωμάτων.
 - Σπηλαιογένεση λόγω χημικής διάβρωσης του ύδατος επί των πετρωμάτων.
 - Σπηλαιογένεση σε τραβερτίνη.
 - Σπηλαιογένεση σε ηφαιστειακά πετρώματα.
 - Σπηλαιογένεση σε πάγο.
 - Τεχνητή σπηλαιογένεση.
- (Γιαννόπουλος, 2000)

Είναι πολύ σημαντική η γνώση των κατηγοριών αυτών μιας και η συγκεκριμένη έρευνα γίνεται για τον προσδιορισμό της σπηλαιογένεσης σε τρία σπήλαια της Β. Ελλάδος. Στην παρούσα διπλωματική εργασία, θα δοθεί έμφαση και θα αναλυθεί πώς με την χρήση ορισμένων μορφομετρικών δεικτών και μορφομετρικών παραμέτρων μπορούμε να προσδιορίσουμε τις διαδικασίες γένεσης του.

1.2 Μορφομετρία και μορφομετρικοί δείκτες

Οι μορφομετρικοί δείκτες έχουν προταθεί αρκετές φορές ως το πιο σημαντικό εργαλείο για την λήψη μιας ποσοτικής ανάλυσης των χαρακτηριστικών του τοπίου. Για παράδειγμα, διάφορες μέθοδοι έχουν προταθεί για τον ποσοτικό προσδιορισμό των χαρακτηριστικών του δικτύου αποχέτευσης (Strahler, 1957) ή το σχήμα των πρανών (Strahler, 1952 και Ohmori, 1993) μέσα από την ανάλυση των τοπογραφικών χαρτών. Πριν από την χρήση των υπολογιστών και των διανυσματικών χαρτών, οι διαδικασίες που απαιτούνταν για μια εκτενή μελέτη είχαν επηρεαστεί σε μεγάλο βαθμό από τον συντελεστή κλίμακας, την ακρίβεια του χάρτη και από την προσωπική ερμηνεία του χαρτογράφου. Η δυνατότητα χρήσης ενός ψηφιακού μοντέλου εδάφους (DEM), που προέρχονται από αεροφωτογραφίες ή ραντάρ τηλεπισκόπησης επιτρέπει να χρησιμοποιούνται αυτόματες διαδικασίες και μειώνεται η υποκειμενικότητα των μορφομετρικών ερευνών μέσω της στατιστικής

ανάλυσης των αποτελεσμάτων. Σίγουρα, οι μορφομετρικοί δείκτες μεταφέρουν την γεωμορφολογία έξω από τις «ποιοτικές» επιστήμες και επιτρέπει μια πιο αντικειμενική σύγκριση και ερμηνεία των γεωμορφών.

Οι μορφομετρικοί δείκτες αποτελούν ουσιαστικά την ταυτότητα του σπηλαίου, είναι δηλαδή οι αναλογίες των σπηλαίων, όπως μήκος και πλάτος διαδρόμων, συνολικό μήκος σπηλαίου, περίμετρος σπηλαίου, ύψος οροφής, πλάτος εισόδου του σπηλαίου, εμβαδόν και όγκο σπηλαίου. Μερικοί από αυτούς τους δείκτες σε συνδυασμό με την χρήση των υπολογιστών και των προγραμμάτων G.I.S. προσφέρουν πολλά στοιχεία για τις διεργασίες της σπηλαιογένεσης κάθε σπηλαίου.

Σήμερα, με την χρήση των υπολογιστών και των ψηφιακών τεχνικών, για την επεξεργασία της έρευνας, επιτρέπεται να πραγματοποιηθεί εύκολα μορφομετρική ανάλυση στα σπήλαια και στα συστήματα καρστ. Οι μορφομετρικοί δείκτες έχουν προταθεί από πολλούς συγγραφείς, προκειμένου να περιγράψουν τα γενετικά χαρακτηριστικά κάποιων συγκεκριμένων ειδών σπηλαίων, όπως εκείνων των παράκτιων, υπογενών, και καρστικών. Μεγάλα συστήματα σπηλαίων μπορούν να αναλυθούν με την ανάπλαση ενός 3D μοντέλου. Το ψηφιακό μοντέλο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί, για να αξιολογηθεί ο ρόλος των τεκτονικών δομών στα σπήλαια ή τα στάδια εξέλιξης μέσω της αναγνώρισης συγκεκριμένων επιπέδων, όπου τα επί-φρεάτια περάσματα είναι πιο ανεπτυγμένα. Τα επίπεδα αυτά είναι πολύ σημαντικά όταν ο λιθολογικός έλεγχος ή ο έλεγχος των δομών του σπηλαίου μπορεί να μην συμπεριληφθεί στην έρευνα. Μερικοί μορφομετρικοί δείκτες, που λαμβάνονται από τις αναλογίες των απλών παραμέτρων - διαστάσεων των σπηλαίων, επιτρέπουν την στατιστική ανάλυση των μεγάλων βάσεων δεδομένων, που συλλέγονται στο πλαίσιο των σπηλαιολογικών περιφερειακών απογραφών, στην προσπάθεια να αναγνωρίσουν διαφορετικούς πληθυσμούς στην γεωμορφολογία των σπηλαίων.

Στην παρούσα εργασία γίνεται προσπάθεια να εισαχθεί η μορφομετρία και οι μορφομετρικοί δείκτες στην μελέτη των σπηλαίων και στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων για τις διεργασίες εκείνες που συνέβαλαν στην γένεση τους.

1.3 Ψηφιακή επεξεργασία των ερευνητικών δεδομένων των σπηλαίων

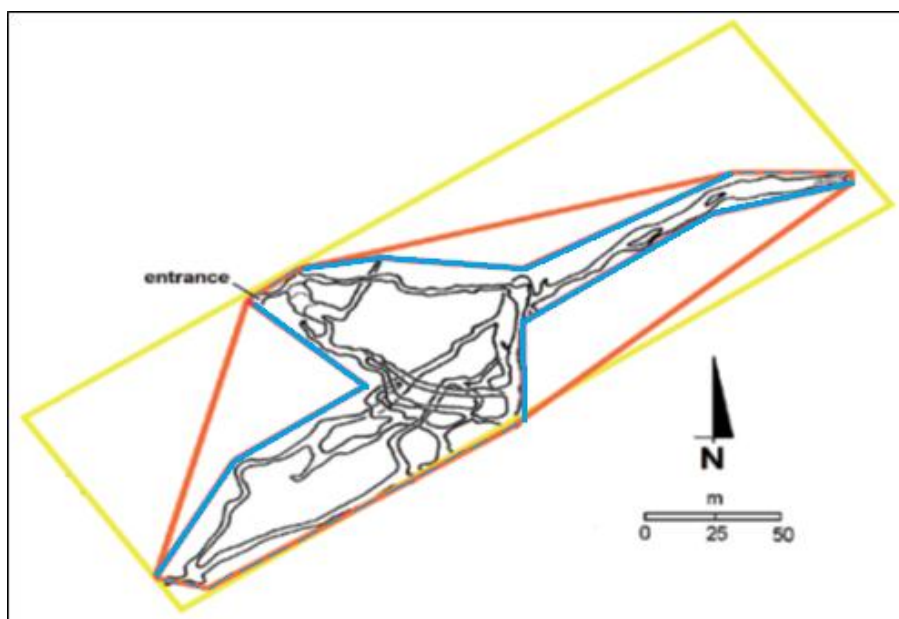
Μια χαρτογράφηση σπηλαίου διενεργείται, συνήθως, με τη χρήση πυξίδας, κλισίμετρου και μετροταινίας ή πιο σύγχρονα πλέον ενός αποστασιόμετρου, δηλαδή μια συσκευή λέιζερ. Η χρήση του αποστασιόμετρου επιτρέπει την εύκολη και γρήγορη μέτρηση της ενεργού διατομής των αγωγών σε κάθε σταθμό της έρευνας. Τα στοιχεία της έρευνας μπορούν να υποβληθούν σε επεξεργασία με ειδικό λογισμικό, το οποίο συναινεί για να δημιουργηθεί ένα 3D

μοντέλο του σπηλαίου και να εξαχθούν αυτόματα μερικές από τις πιο συνήθεις διαστάσεις και παραμέτρους του σπηλαίου όπως: συνολικό μήκος, οριζόντιο μήκος, βάθος, επιφάνεια, εμβαδόν, όγκο, πυκνότητα όγκου (πορώδες σπηλαίου). Δυστυχώς, τα περισσότερα από τα σπήλαια που έχουν εξερευνηθεί κατά το παρελθόν δεν έχουν υποστεί ψηφιακή επεξεργασία, ωστόσο με κάποιες απλές διαδικασίες γνωστοποιείται τουλάχιστον η έκταση και ο όγκος του σπηλαίου από την ανάλυση του χάρτη σε έντυπη μορφή και προφίλ.

Οι μετρήσεις αυτές προσφέρουν την δυνατότητα να απεικονιστούν οι μετρήσεις σε έναν χάρτη, ο οποίος ονομάζεται χάρτης σπηλαίου και έχει την μορφή της κάτοψης ενός σπηλαίου, ο οποίος βοηθάει στην απόκτηση των μορφομετρικών δεικτών που είναι απαραίτητοι για αυτή την έρευνα.

Ο Klimchouk (2003) πρότεινε ορισμένες παραμέτρους, για να συγκρίνει σπήλαια από την συνολική επιφάνεια των διαδρόμων και των αιθουσών τους και από το σύνολο του όγκου των κενών. Μερικές παράμετροι, συνήθως, δεν περιγράφονται στις λεπτομέρειες των σπηλαίων, έτσι το είδος της ανάλυσης αυτής απαιτεί ειδική επεξεργασία της έρευνας του σπηλαίου. Η περιοχή του σπηλαίου μπορεί να μετρηθεί από τους χάρτες, ενώ ο όγκος μπορεί να βρεθεί από την άθροιση των επιμέρους όγκων των τμημάτων του σπηλαίου και καθορίζεται από την αρχική μέτρηση του μήκους, πλάτους και ύψους, σε κάθε σταθμό της έρευνας του σπηλαίου. Ο όγκος του σπηλαίου είναι δύσκολο να εκτιμηθεί χωρίς 3D επεξεργασία μιας επιφάνειας του σπηλαίου. Μια πρόχειρη εκτίμηση μπορεί να ληφθεί από την περιοχή, πολλαπλασιάζοντας με το μέσο ύψος, το οποίο μπορεί να εκτιμηθεί με την διαχρονική εικόνα του σπηλαίου.

Το «cave field» είναι η περιοχή του πολυγώνου γύρω από τον χάρτη, όπου σχεδιάζεται και παρέχει ένα μέτρο της επιφάνειας, που καταλαμβάνεται από ένα σπήλαιο. Η μέθοδος, με την οποία υπολογίζετε η περιοχή αυτή του σπηλαίου είναι πολύ σημαντική. Ο απλούστερος τρόπος είναι να εξεταστεί το μικρότερο ορθογώνιο, που περιλαμβάνει το σύνολο του σχεδίου του σπηλαίου. Ο Finnesand και ο Curl, (2009) ορίζουν το «ελάχιστο οριζόντιο πεδίο πολυγώνου», έτσι ώστε κάθε τμήμα γραμμής του πολυγώνου να είναι όσο το δυνατόν περισσότερο. Ο Klimchouk, (2003) χρησιμοποιεί περισσότερα πολύγωνα προκειμένου να προσεγγίσει πολύπλευρα το σπήλαιο. Μια άλλη δυνατότητα είναι να εξεταστεί το μικρότερο κυρτό πολύγωνο που λαμβάνεται για να ενώσει τα πιο εξωτερικά σημεία του σπηλαίου στον χάρτη (Σχήμα 1).



Σχήμα 1. Τρεις προτεινόμενοι τρόποι μέτρησης του (cave field) (Piccini, 2011).

Στο σχήμα 1 παρατηρούνται 3 διαφορετικές περιπτώσεις πεδίων σπηλαίου ή «cave field». Το κίτρινο χρώμα είναι το ελάχιστο ορθογώνιο, που καλύπτει το χάρτη του σπηλαίου, το πορτοκαλί χρώμα είναι το ελάχιστο κυρτό πολύγωνο και τέλος το μπλε χρώμα είναι η καλύτερη τοποθέτηση του πολυγώνου, που οριοθετείτε στον χάρτη του σπηλαίου.

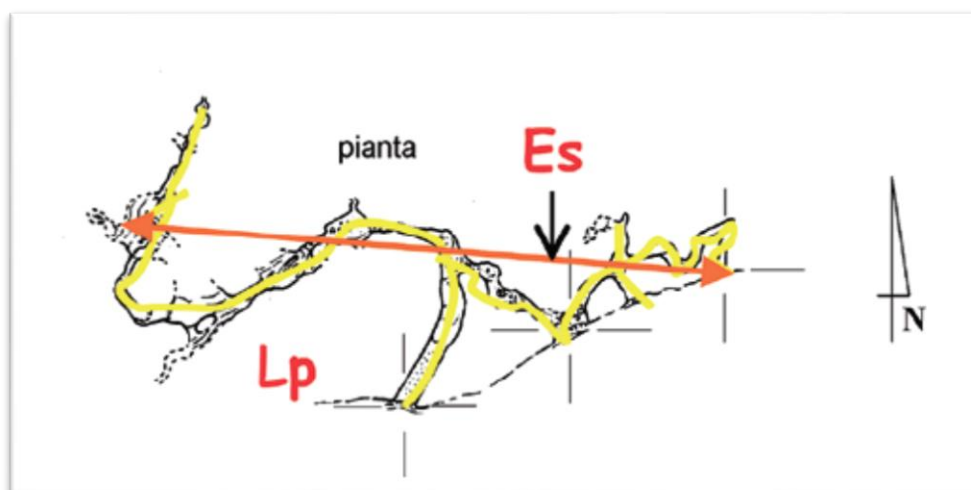
Όπως φαίνεται από το παραπάνω σχήμα, το πολύγωνο μπορεί να γίνει με πολλούς τρόπους και τα πεδία του σπηλαίου μπορούν να κυμανθούν συνήθως εντός του 30%.

Στην συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιούνται οι μορφομετρικοί δείκτες, που έχουν προταθεί από τον Piccini, (2011), τον Klimchouk, (2003) και τους Frumkin & Fischhendler, (2005):

<u>Μορφομετρικός δείκτης</u>	<u>Περιγραφή</u>
A/P	Όπου A είναι η περιοχή του σπηλαίου (cave area) και P η περίμετρος του.
S/L	Όπου S είναι ο μικρός άξονας σε μια αίθουσα και L ο μεγάλος άξονας.
EW/IW	Όπου EW είναι το πλάτος της εισόδου του σπηλαίου και IW είναι το πλάτος μιας οποιαδήποτε αίθουσας μέσα στο σπήλαιο.
L/W	Όπου L είναι το συνολικό μήκος σπηλαίου και W το μ. ο. πλάτους των αιθουσών του σπηλαίου.

Cave field	Πεδίο σπηλαίου ή το τμήμα εκείνο του σπηλαίου που περιβάλλει με τον πιο ακριβή τρόπο το σπήλαιο.
Box fill	Είναι το ποσοστό που υπολογίζεται αν διαιρέσουμε το μικρό τμήμα του σπηλαίου με το cave field
Lp	Το συνολικό μήκος της κάτοψης όλων των περασμάτων του σπηλαίου.
Es	Η οριζόντια απόσταση των δύο πιο μακρινών σημείων του σπηλαίου.

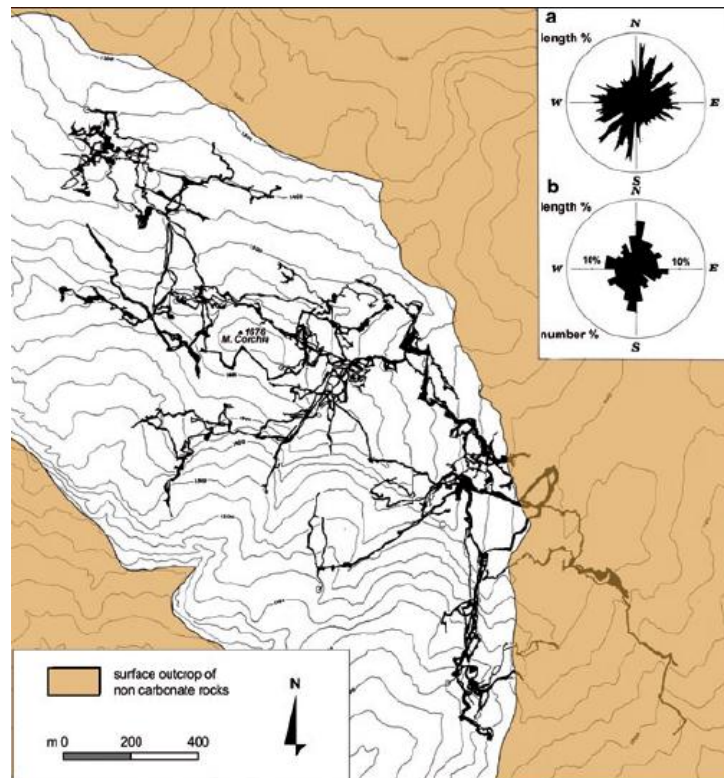
Πίνακας 1. Μορφομετρικοί δείκτες



Σχήμα 2. Παράδειγμα μορφομετρικών δεικτών Lp και Es που λαμβάνονται από ένα χάρτη σπηλαίου (Piccini, 2011).

1.4 Μορφομετρία και γεωλογική δομή

Η γεωλογική δομή μιας περιοχής καθορίζει το δίκτυο των λιθολογικών ασυνεχειών (διακλάσεις, σπασίματα και ρήγματα), οι οποίες είναι πιθανοί τρόποι για την υπόγεια ροή του νερού (Dreybrodt & Siemers 2000, Klimchouk & Ford 2000,). Ορισμένοι συγγραφείς (Eraso & Herrero 1986) έχουν προβλέψει την εξέλιξη των συστημάτων του σπηλαίου μέσα από μια δομική ανάλυση των βραχομαζών. Η ανάλυση των κατευθύνσεων των περασμάτων μέσα σε ένα σπήλαιο, επιτρέπει εύκολα να αναγνωριστεί ο ρόλος των κάθετων ασυνεχειών, όπως οι διακλάσεις, τα σπασίματα ή τα ρήγματα, μέσω της κατανομής της συχνότητας των κατευθύνσεων της έρευνας. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων με την βοήθεια της τεχνολογίας παρέχουν τα ροδοδιαγράμματα, τα οποία μπορούν να συγκριθούν με την μέση κατεύθυνση των τεκτονικών γραμμώσεων. Πολλές μελέτες δείχνουν μια σαφή συσχέτιση μεταξύ των διόδων του σπηλαίου, των διακλάσεων και των ρηγμάτων του δικτύου (Deike 1969, Piccini 1992, Hauselmann et al 1999,).



Σχήμα 3. Κάτοψη σπηλαίων του συστήματος σπηλαίων της Corchia στην Τοσκάνη.

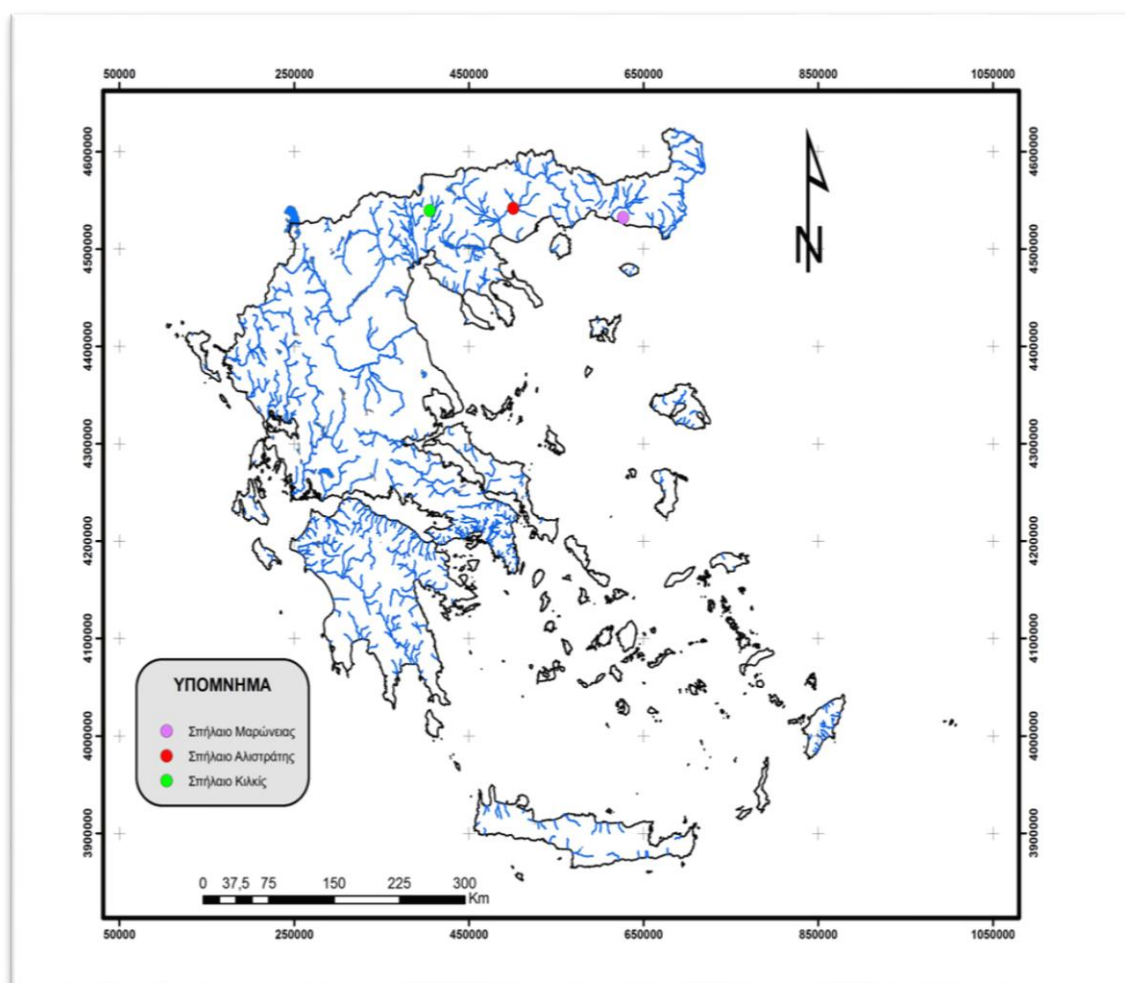
a) Γράφημα που δείχνει τις κατευθύνσεις των περασμάτων των σπηλαίων. b) Ροδοδιάγραμμα του μήκους % (άνω ημικύκλιο) και του αριθμού % των διαδρόμων των σπηλαίων (Piccini, 1992).

Βάσει αυτών των στοιχείων γίνεται προσπάθεια να καθοριστεί η σχέση των κατευθύνσεων των σπηλαίων με το τεκτονικό περιβάλλον της περιοχής (ρήγματα), με σκοπό να διερευνηθεί ο ρόλος του, στις σπηλαιογενετικές διεργασίες.

1.5 Γεωγραφική θέση των σπηλαίων που επιλέχτηκαν

Στην παρούσα διπλωματική άσκηση επιλέχτηκαν να μελετηθούν τα συγκεκριμένα σπήλαια από την Β. Ελλάδα:

1. Σπήλαιο Αγίου Γεωργίου Κιλκίς.
2. Σπήλαιο Αλιστράτης Σερρών.
3. Σπήλαιο κύκλωπα πολύφημου Μαρώνειας Κομοτηνής.



Σχήμα 4. Γεωγραφικός χάρτης της Ελλάδας με την απεικόνιση των σπηλαίων που χρησιμοποιήθηκαν.

Το αξιοποιημένο σπήλαιο Αγίου Γεωργίου (Εικ. 1-2) ανήκει στο νομό του Κιλκίς της Μακεδονίας, απέχει 48 χλμ από την πόλη της Θεσσαλονίκης και βρίσκεται στο ομορφότερο σημείο της πόλης του Κιλκίς, στον λόφο του Αγίου Γεωργίου. Ανακαλύφθηκε γύρω στο 1925 από ένα λατόμο τον Γεώργιο Παυλίδη. Το 1960 έγινε η πρώτη χαρτογράφηση από την Πρόεδρο της Ελληνικής Σπηλαιολογικής Εταιρίας (Ε.Σ.Ε.) Άννα Πετροχείλου και άνοιξε για το κοινό το 1986.



Εικ. 1. Τουριστική είσοδος του Σπηλαίου Αγ. Γεωργίου.

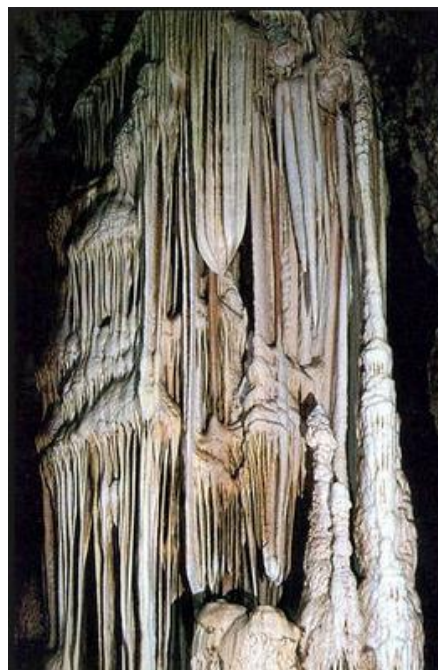


Εικ. 2. Τμήμα από το Εσωτερικού του σπηλαίου του Αγ. Γεωργίου.

Το αξιοποιημένο σπήλαιο της Αλιστράτης (Εικ. 3-4) βρίσκεται στην περιοχή «Πετρωτό» στον νομό Σερρών, 50 χλμ νότιο-ανατολικά από την πόλη των Σερρών, 25 χλμ νότιο-δυτικά από την πόλη της Δράμας και 65 χλμ βόρειο-δυτικά από την πόλη της Καβάλας 5,5 χλμ νότιο-ανατολικά της κοινότητας Αλιστράτης και 1 χλμ περίπου νότιο-δυτικά από την κορυφή του λόφου «Περιστεριώνα». Το σπήλαιο ανακαλύφθηκε το 1958. Έγινε γνωστό στις 19 Μαΐου 1975 στη Ε.Σ.Ε. έπειτα από σχετικό έγγραφο της Κοινότητας Αλιστράτης. Οι εργασίες αξιοποίησής του ξεκίνησαν από τα μέσα της δεκαετίας του '80 και το 1997 η λειτουργία του ανατέθηκε από το ΥΠ.ΠΟ. σε τοπικούς φορείς της Αλιστράτης.



Εικ. 3. Τμήμα του διαδρόμου του σπηλαίου της Αλιστράτης.



Εικ. 4. Σπηλαιόθεμα από το σπήλαιο Αλιστράτης.

Στο νομό Ροδόπης, περίπου 30χλμ. νότια της Κομοτηνής, ανάμεσα στον οικισμό Προσκυνητές και το χωριό Μαρώνεια, στο όρος Ίσμαρος, στην περιοχή που είναι γνωστή ως «Κουφού το Πλάι», βρίσκεται το σπήλαιο της Μαρώνειας. Το σπήλαιο κύκλωπα «Πολυφήμου» (εικ. 5-6) βρίσκεται βόρεια της Μαρώνειας του νομού Κομοτηνής, 2,5 χλμ βόρειο- δυτικά του οικισμού της Μαρώνειας και 1 χλμ ανατολικά του οικισμού των Προσκυνητών σε υψόμετρο 176μ από την επιφάνεια της θάλασσας. Το σπήλαιο δεν είναι αξιοποιημένο. Οι πρώτες ανασκαφικές έρευνες πραγματοποιήθηκαν κατά το 1969 και 1971 υπό την επίβλεψη του Ευ. Τσιμπίδη-Πεντάζου. Από το 2006 και εξής ανασκάπτεται από την Εφορεία Παλαιοανθρωπολογίας και Σπηλαιολογίας Β. Ελλάδος στο πλαίσιο της ανάδειξής του από την Περιφέρεια Ανατολικής Μακεδονίας-Θράκης. Το

σπήλαιο του «Κύκλωπα Πολυφήμου» αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα πολιτισμικά – ιστορικά μνημεία της Περιφέρειας Ανατολικής Μακεδονίας – Θράκης, αλλά και ολόκληρης της περιοχής των Βαλκανίων. Παρά την ομολογουμένως τεράστια αξία του, το σπήλαιο αυτό παραμένει αναξιοποίητο και απροστάτευτο, χωρίς να έχουν γίνει οι απαραίτητες μελέτες για την ανάδειξη του.

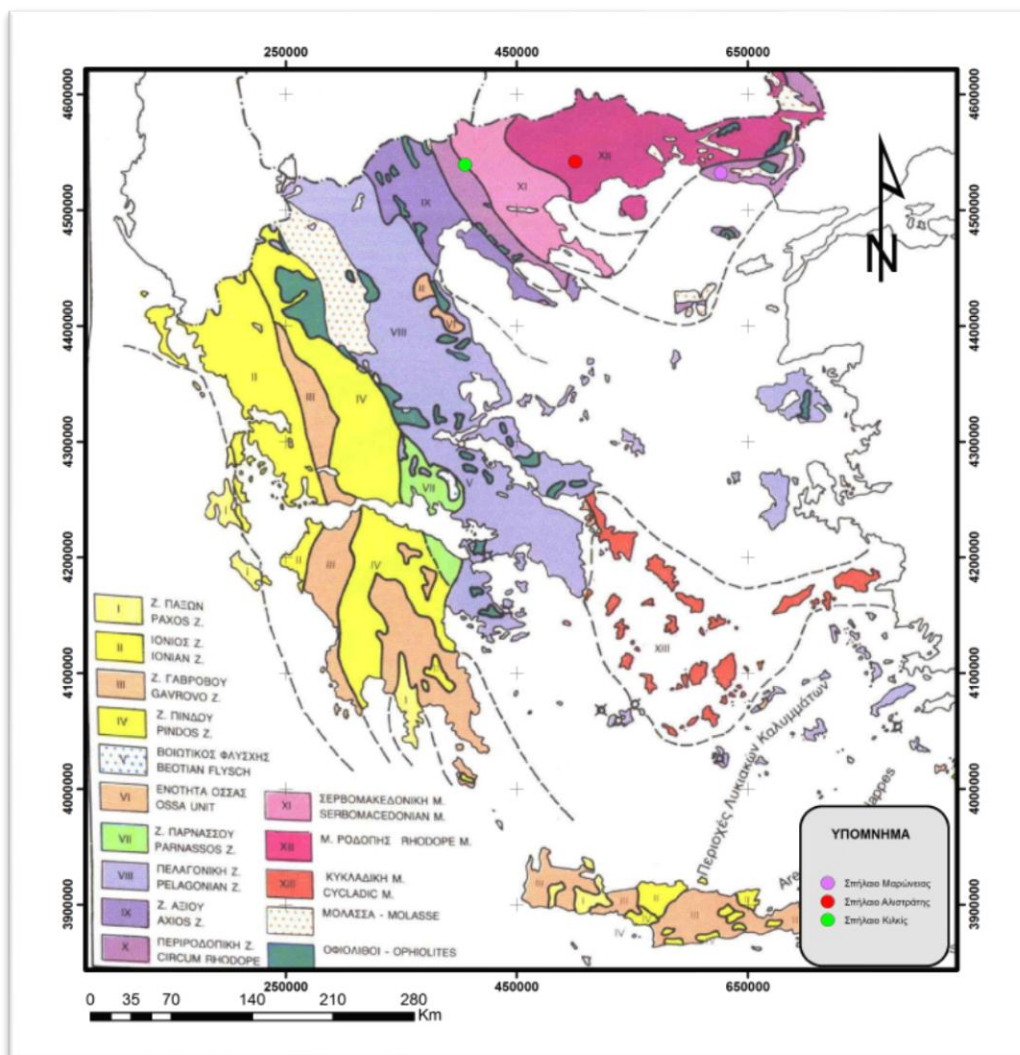


Εικ. 5 Φωτογραφία από την φυσική είσοδο του σπηλαίου.



Εικ. 6 Φωτογραφία από το εσωτερικό του σπηλαίου. (Εδώ απεικονίζεται ο δίσκος της Μαρώνειας)

1.6 Γεωλογία περιοχής στα σπήλαια που επιλέχθηκαν



Σχήμα 5. Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος με την απεικόνιση των σπηλαίων που επιλέχθηκαν, με βάση τις γεωλογικές ζώνες της Ελλάδος (μορφοποιημένος από ΙΓΜΕ 1980).

Τα σπήλαια της Μαρώνειας στην Κομοτηνή και της Αλιστράτης Σερρών γεωλογικά τοποθετούνται στην μάζα της Ροδόπης. Στην μάζα της Ροδόπης ανήκει η Θράκη, η Ανατολική Μακεδονία με δυτικό όριο την γραμμή του Στρυμώνα ποταμού, ή Θάσος και ένα τμήμα της Βουλγαρίας. Κυριαρχείται από κρυσταλλοσχιστώδη και πυριγενή πετρώματα. Τα πετρώματα που αντιπροσωπεύουν την μάζα της Ροδόπης και βρίσκονται στις 2 τεκτονικές μονάδες της, Σιδηρόνερου και Παγγαίου είναι μάρμαρα, γνέυσιοι, μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι και σχιστόλιθοι (Μουντράκης, 1985). Αν και αποτελεί μια ιδιαίτερη περίπτωση η γεωτεκτονική τοποθέτηση του σπηλαίου της Μαρώνειας καθώς μπορεί να τοποθετηθεί και στην Περιοδοποική ζώνη της Θράκης (Μέλφος, et. al., 2005)

Το σπήλαιο του Αγίου Γεωργίου στο Κιλκίς γεωλογικά τοποθετείται στην Σερβομακεδονική μάζα. Η Σερβομακεδονική μάζα εκτείνεται δυτικά από την μάζα της Ροδόπης και περιλαμβάνει τις περιοχές μεταξύ του ποταμού Στρυμόνα και της ζώνης του Αξιού. Κυριαρχείται από κρυσταλλοχιστώδη πετρώματα και μαζί με την μάζα της Ροδόπης οριοθετούν την Ελληνική ενδοχώρα με παλιές ηπειρωτικές μάζες τμήματα της Λαυρασίας. Τα πετρώματα που αντιπροσωπεύουν την Σερβομακεδονική και στις 2 ενότητες, την σειρά Κερδυλλίων και Βερτίσκου είναι μάρμαρα σε διάφορους ορίζοντες βάθους, γνέυσιοι, μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι και ορισμένα μεταμορφωμένα (Μουντράκης, 1985).

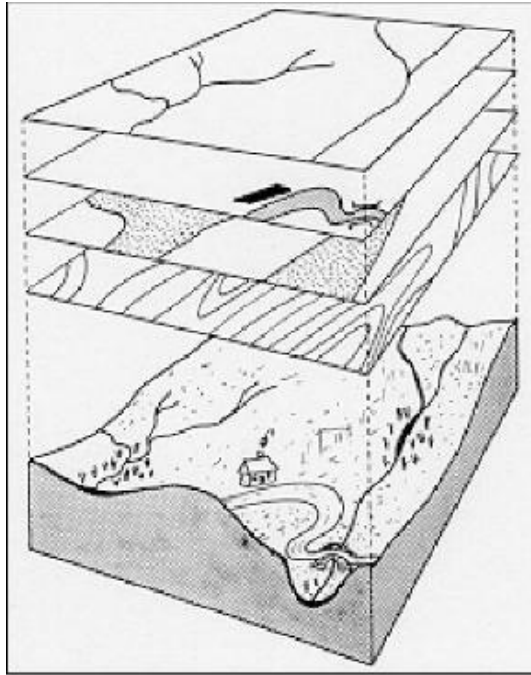
2 . Μ Ε Θ Ο Δ Ο Λ Ο Γ Ι Α

2.1 Γενικά στοιχεία

Στην παρούσα διπλωματική άσκηση χρησιμοποιήθηκαν τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών/ΓΣΠ (Geographical Information Systems/GIS). Τα GIS είναι ένα «δυναμικό εργαλείο» συλλογής, αποθήκευσης, διαχείρισης, ανάκτησης, μετασχηματισμού και απεικόνισης χωρικών δεδομένων, σχετικών με φαινόμενα που απαντούν/εξελισσονται στον πραγματικό κόσμο (Goodchild 1985, Burrough 1992, Burrough και McDonnell 2000)

Πρόκειται για ένα ευρύ ορισμό που αναφέρεται σε όλα εκείνα τα συστήματα, τα οποία ασχολούνται με την λήψη αποφάσεων σε γεωγραφικά θέματα με την χρήση ή μη Η/Υ. Ωστόσο, σήμερα δεν θα μπορούσε να γίνει διαχωρισμός η έννοια του GIS από την χρήση της εξελιγμένης τεχνολογίας, τόσο των Η/Υ, όσο και των περιφερειακών τους συσκευών, για την αυτόματη συλλογή της πληροφορίας, την διαλογική (interactive) επεξεργασία και διαχείριση/ανάλυση της, καθώς και την απόδοση της.

Η λειτουργία των GIS στηρίζεται σε μια βάση δεδομένων (database), η οποία αποτελείται από μια σειρά πληροφοριακών επιπέδων, τα οποία αφορούν την ίδια γεωγραφική περιοχή. Η βάση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί από διάφορους χρήστες για την κάλυψη πληροφοριακών αναγκών (σχήμα 6). Το κάθε ένα από τα επίπεδα αυτά, περιλαμβάνει είτε μη επεξεργασμένα δεδομένα, όπως: τοπογραφικά, δορυφορικά κτλ., είτε θεματικές πληροφορίες, όπως: είδος βλάστησης, τύπος εδαφών, κλίση και έκθεση του αναγλύφου, αποτελέσματα ταξινόμησης δορυφορικών δεδομένων κλπ. Όλα, τα παραπάνω είναι αυστηρά προσανατολισμένα σε ένα κοινό γεωγραφικό σύστημα, ώστε να καθίσταται δυνατός ο συνδυασμός ορισμένων από αυτών, ανάλογα με τις επιθυμίες του κάθε χρήστη. Θα πρέπει να τονιστεί ότι όλα τα δεδομένα και οι πληροφορίες είναι σε ψηφιακή μορφή και η επεξεργασία τους γίνεται με ειδικά προγράμματα (Καρτέρης 1994).



Σχήμα 6. Ο πραγματικός κόσμος απεικονίζεται από μια σειρά επιπέδων πληροφοριών, σε κάθε ένα από τα οποία απεικονίζεται μόνο μια άποψη της πραγματικότητας (πχ τοπογραφία, εδαφικός τύπος, δρόμοι, ποτάμια κτλ) (Burrough, 1992).

Ο αντικειμενικός σκοπός της συλλογής και αποθήκευσης των δεδομένων σε μια βάση είναι η συσχέτιση γεγονότων και καταστάσεων, τα οποία προηγούμενως ήταν χωριστά.

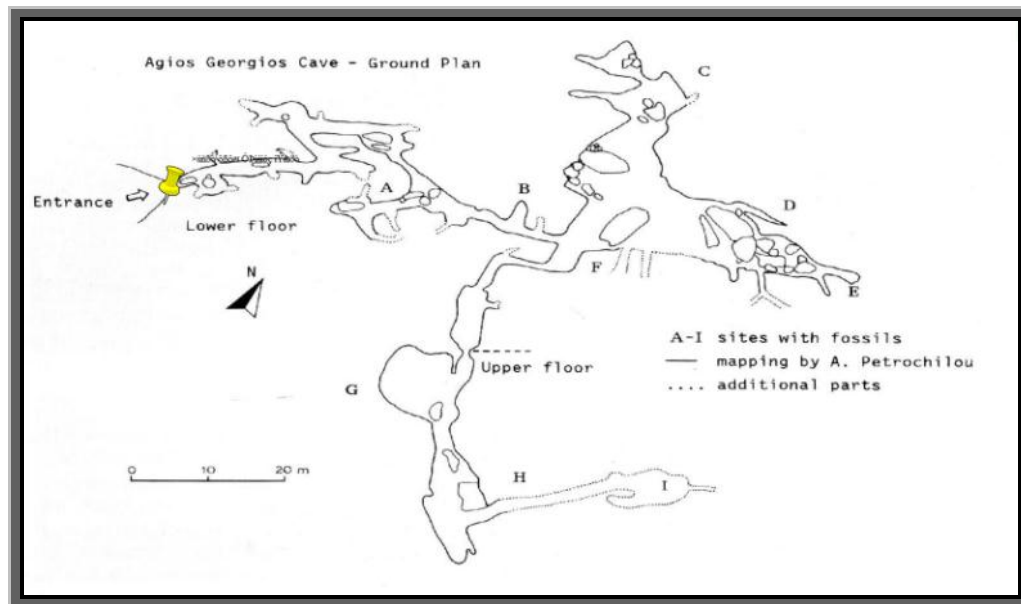
2.2 Χρήση προγραμμάτων

Στην παρούσα διπλωματική άσκηση, αφού πρώτα εισήχθησαν οι κατόψεις σπηλαίων στο λογισμικό Global Mapper πραγματοποιήθηκε η γεωαναφορά τους με την μέθοδο GCP (Ground Control Points). Έπειτα, με τους ψηφιακούς χάρτες των σπηλαίων που πήραμε, και με την βοήθεια του προγράμματος αλλά και των μορφομετρικών δεικτών που πήραμε από κάθε σπήλαιο, ήταν εφικτό να αποκωδικοποιηθεί η ταυτότητα του κάθε σπηλαίου, να γίνουν οι μετρήσεις εκείνες που θα βοηθήσουν και στην συνέχεια θα δώσουν τα αποτελέσματα, ώστε να βγει ένα σαφές συμπέρασμα, για τον σκοπό της μελέτης.

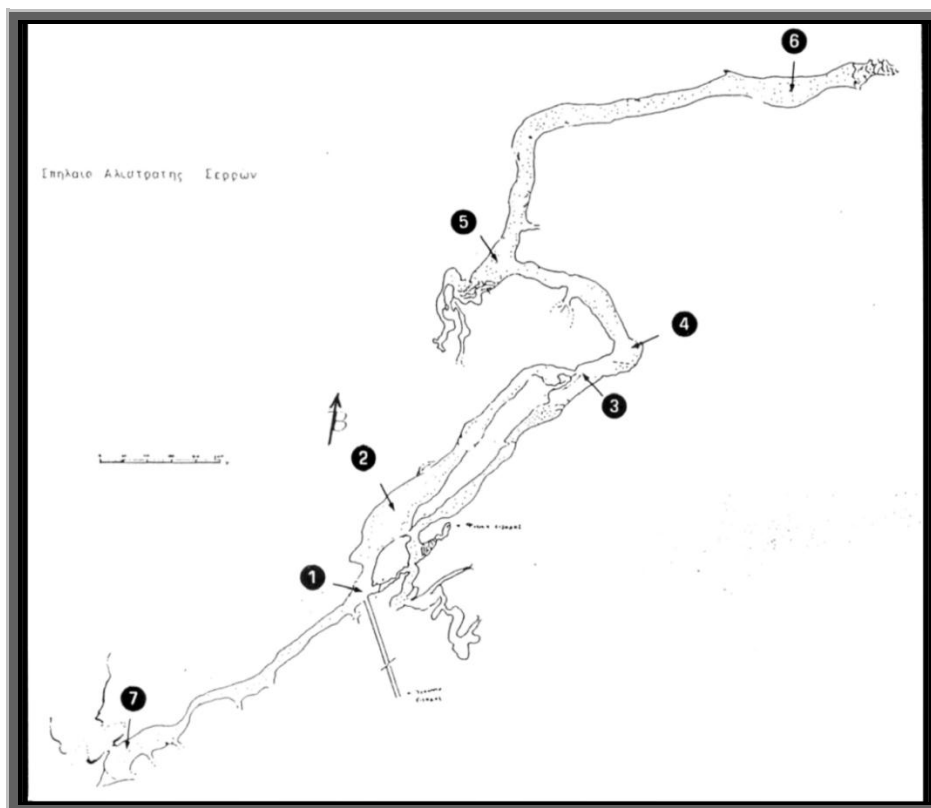
Ακόμα ένα πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε είναι το Rozeta, στο οποίο εισάχθηκαν τα ρήγματα, τα οποία ψηφιοποιήσαμε από τα φύλλα του ΙΓΜΕ, Κιλκίς, Νικήσιανης, Προσοτσάνης, Ροδολίβους και το φύλλο Χέρσος σε κλίμακα 1: 50.000 που βρίσκονται στον ευρύ χώρο των σπηλαίων ή τέμνουν τα σπήλαια, αλλά και την διεύθυνση των διαδρόμων των σπηλαίων, ώστε να γίνει μια συσχέτιση και να αξιολογηθεί αν υπάρχει κάποια σχέση μεταξύ τους ως προς την διαδικασία γένεσης των σπηλαίων.

2.3 Χάρτες σπηλαίων-κατόψεις

Οι 3 χάρτες με τις κατόψεις των σπηλαίων:



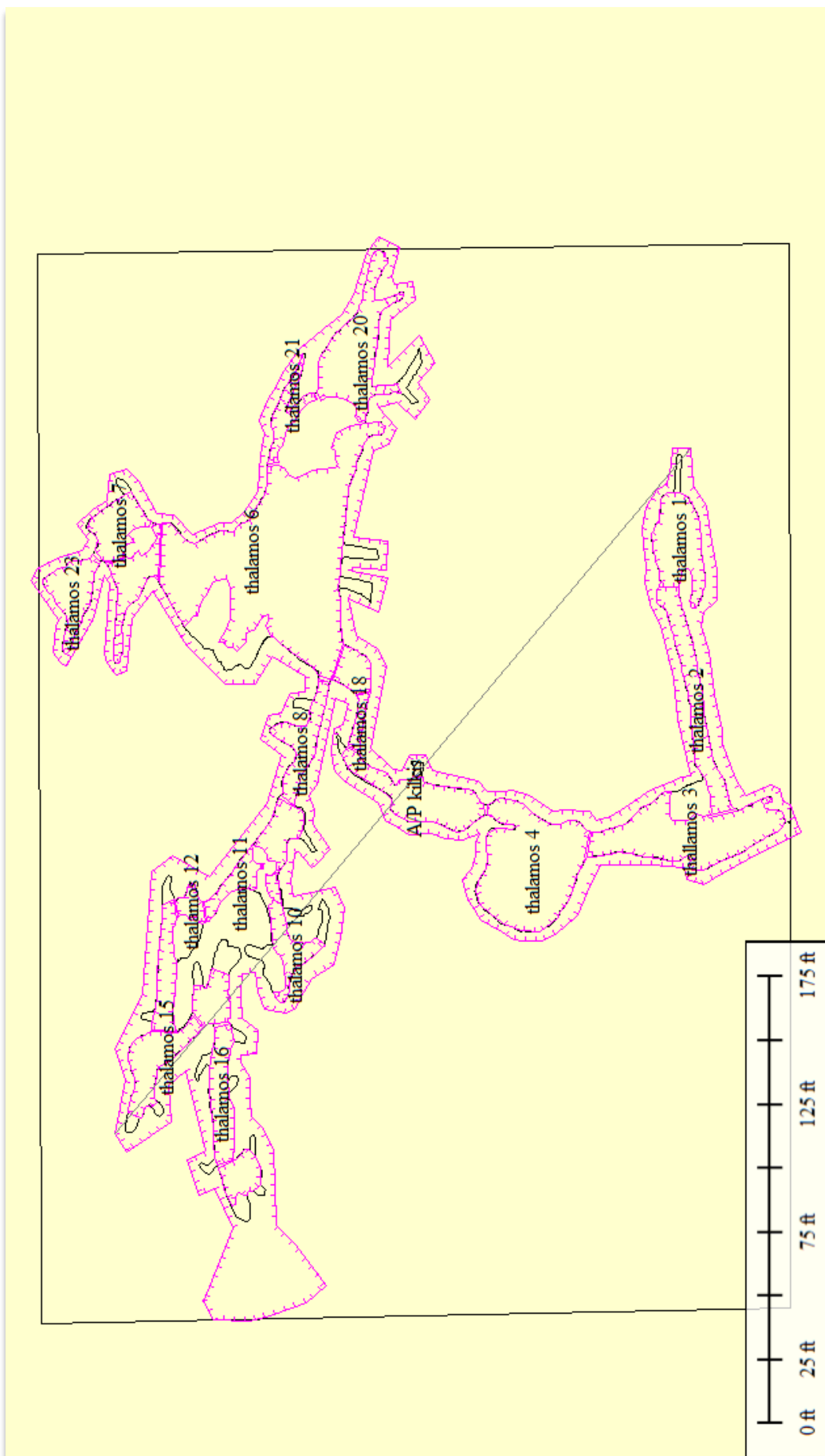
1. Χάρτης σπηλαίου-κάτοψη σπηλαίου Αγίου Γεωργίου Κιλκίς (Τσουκαλά).



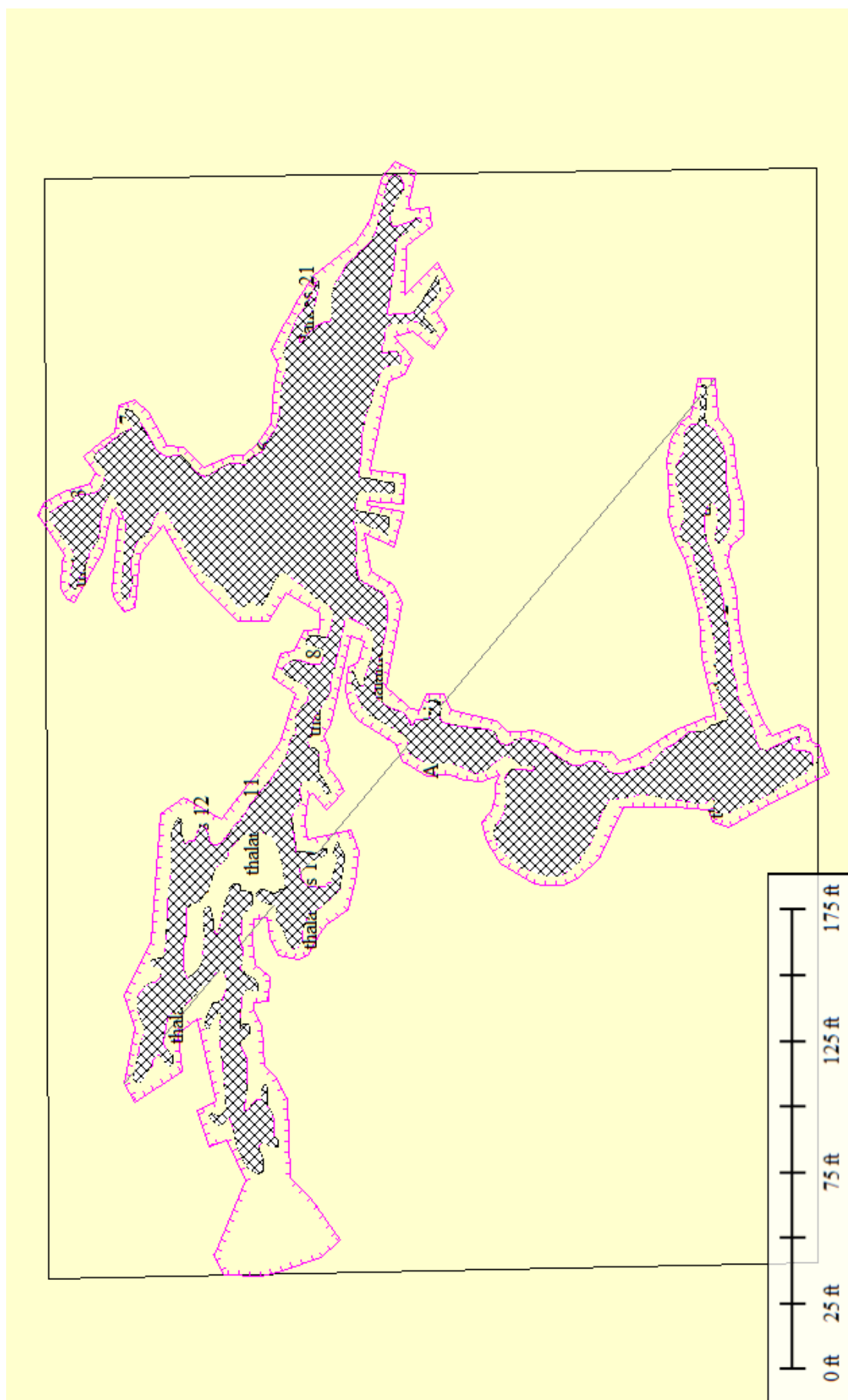
2. Χάρτης σπηλαίου-κάτοψη σπηλαίου Αλιστράτης Σερρών (Γιαννόπουλος).



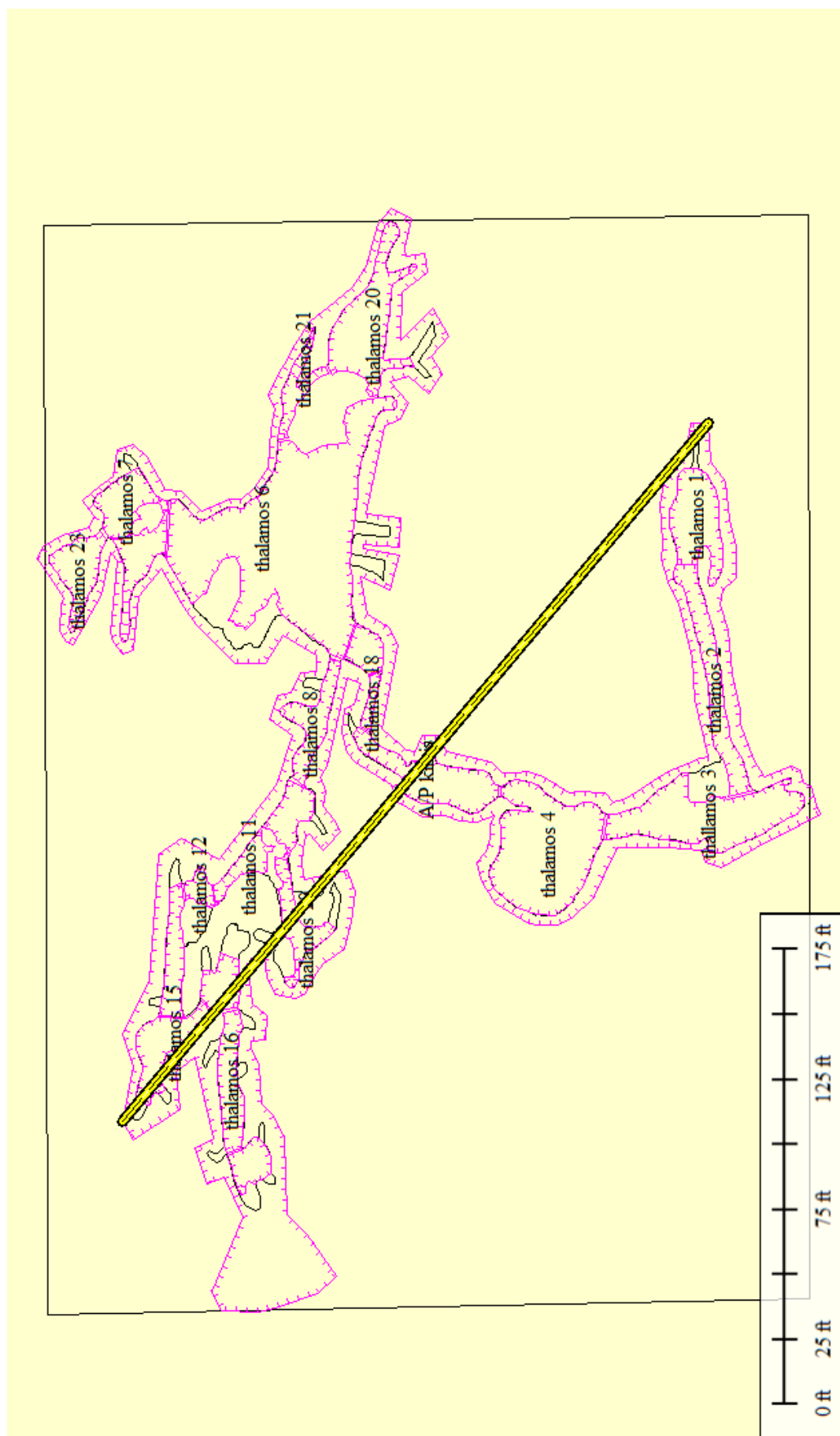
3. Χάρτης σπηλαίου-κάτοψη σπηλαίου κύκλωπα πολύφημου Μαρώνειας Κομοτηνής (Βαξεβανόπουλος).



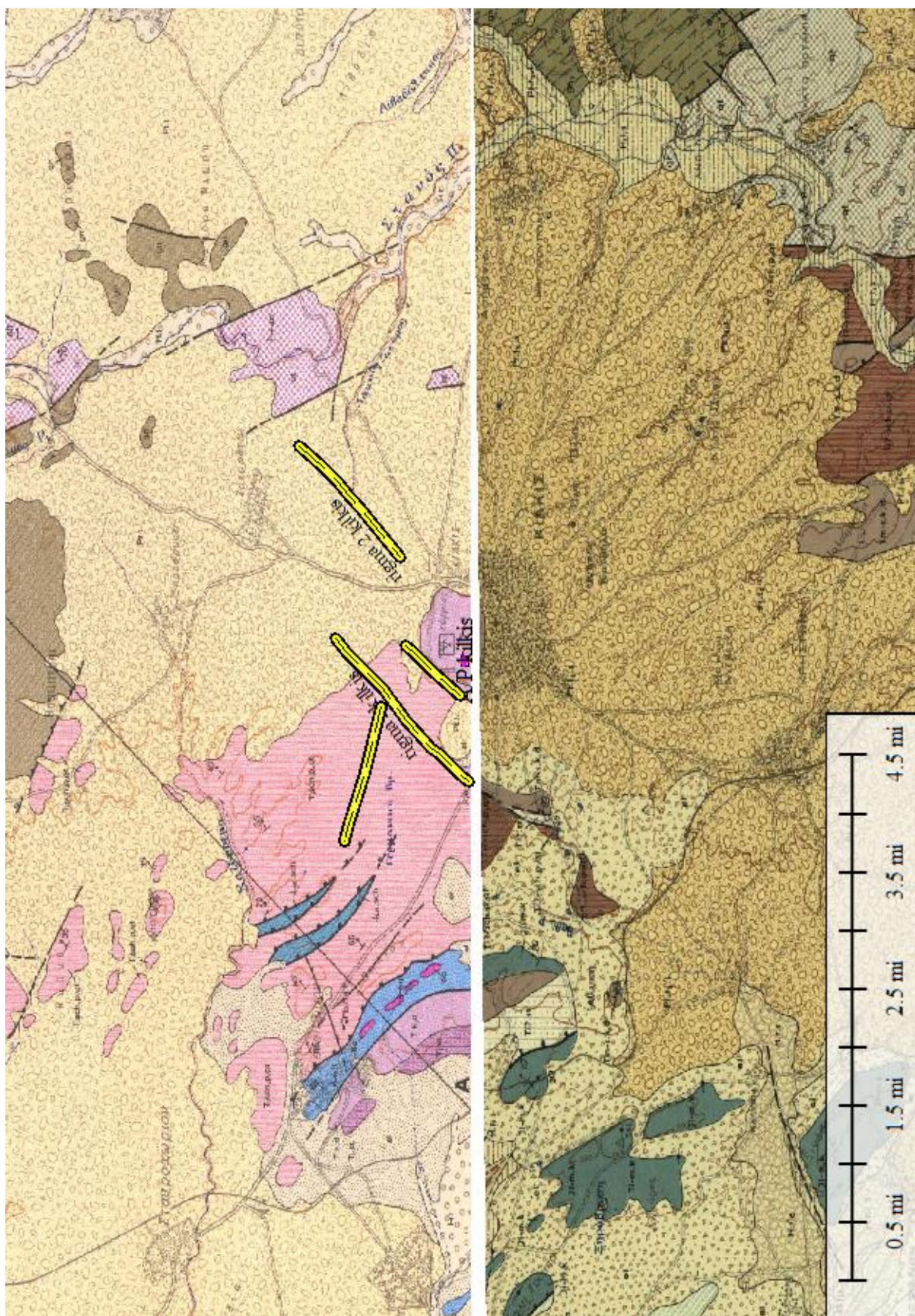
Σχήμα 8. Απεικόνιση θαλάμων του σπηλαίου.



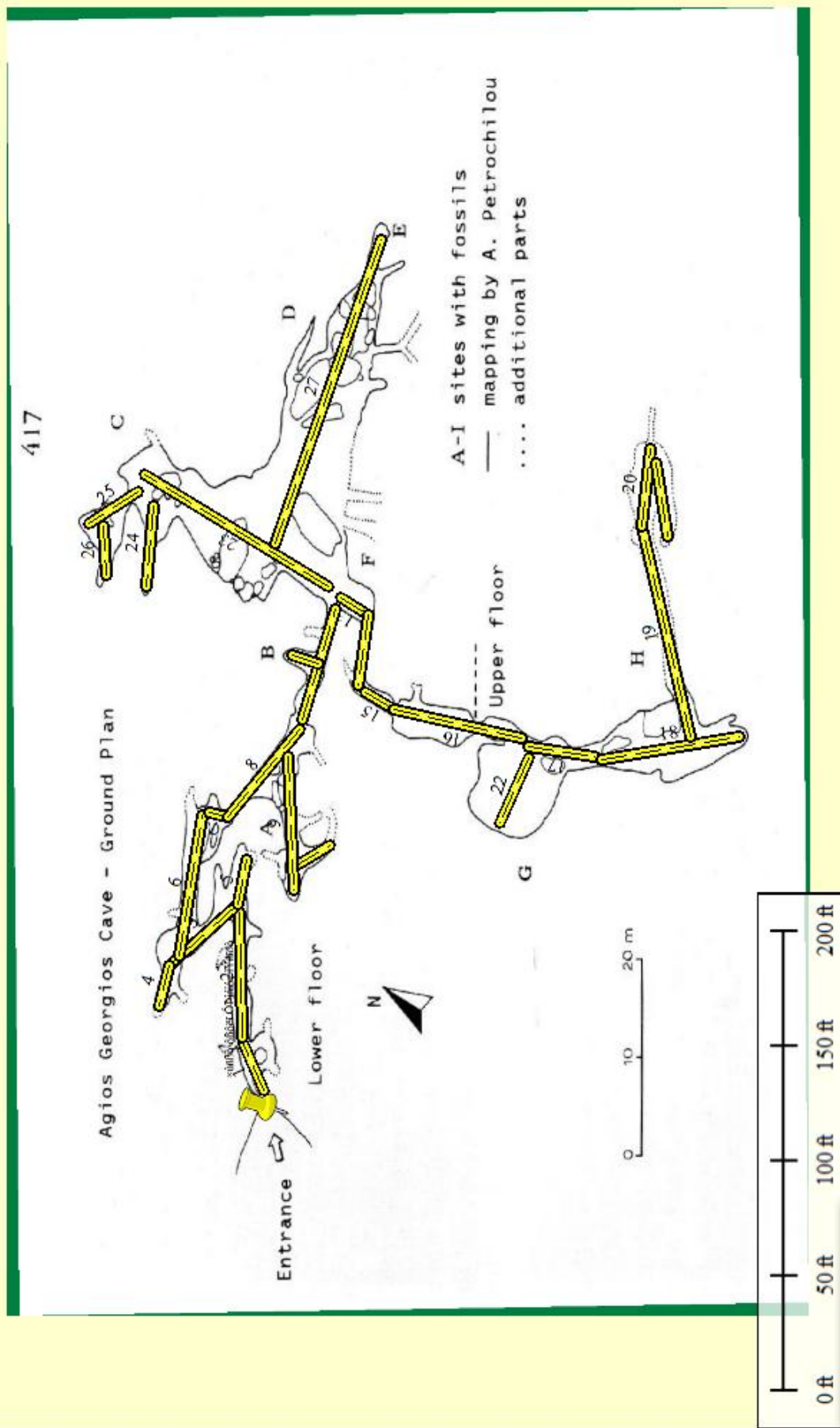
Σχήμα 9. Απεικόνιση Α/Ρ ή cave field του σπηλαίου.



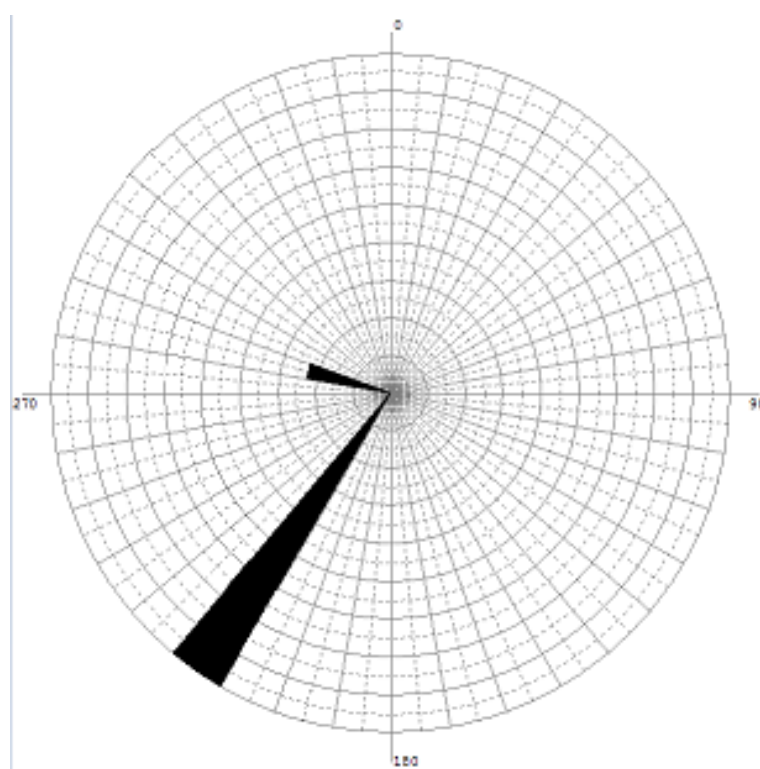
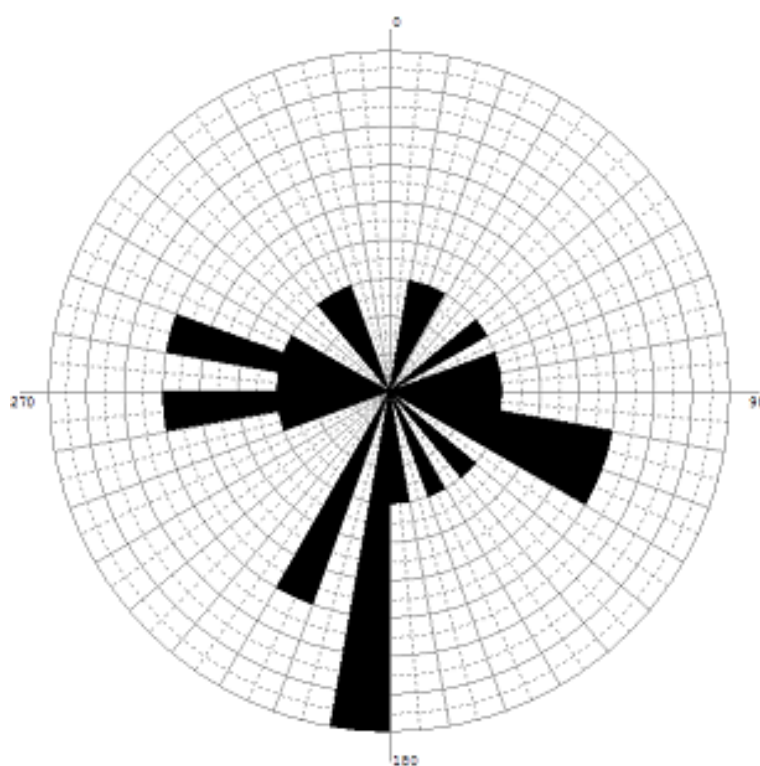
Σχήμα 10. Απεικόνιση του παραμέτρου Es.



Σχήμα 11. Απεικόνιση των ρηγμάτων στο ευρύ χώρο του σπηλαίου.



Σχήμα 12. Απεικόνιση των κατευθύνσεων των διαδρόμων του σπηλαίου.



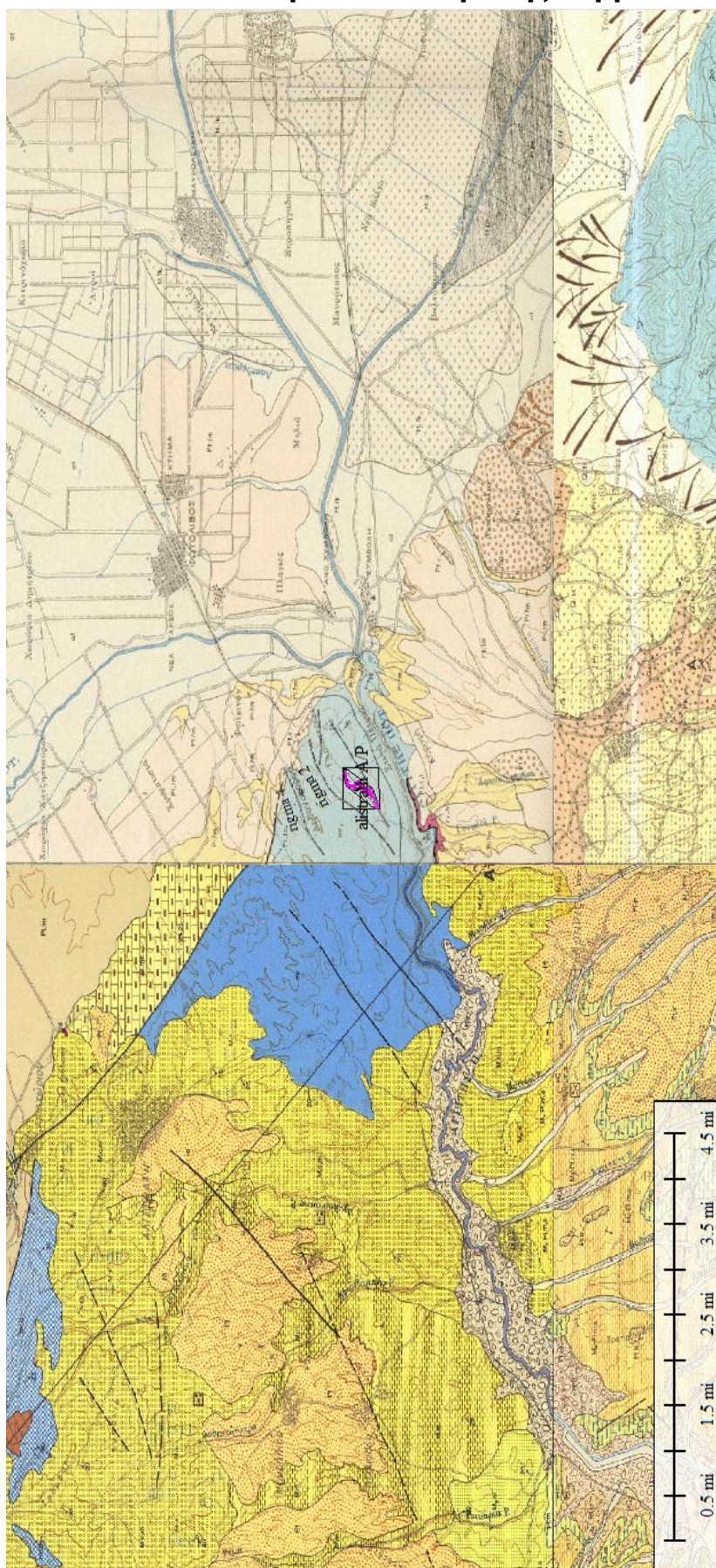
Πάνω: Ροδοδιάγραμμα των κατευθύνσεων του σπηλαίου.

Κάτω: Ροδοδιάγραμμα των ρηγμάτων.

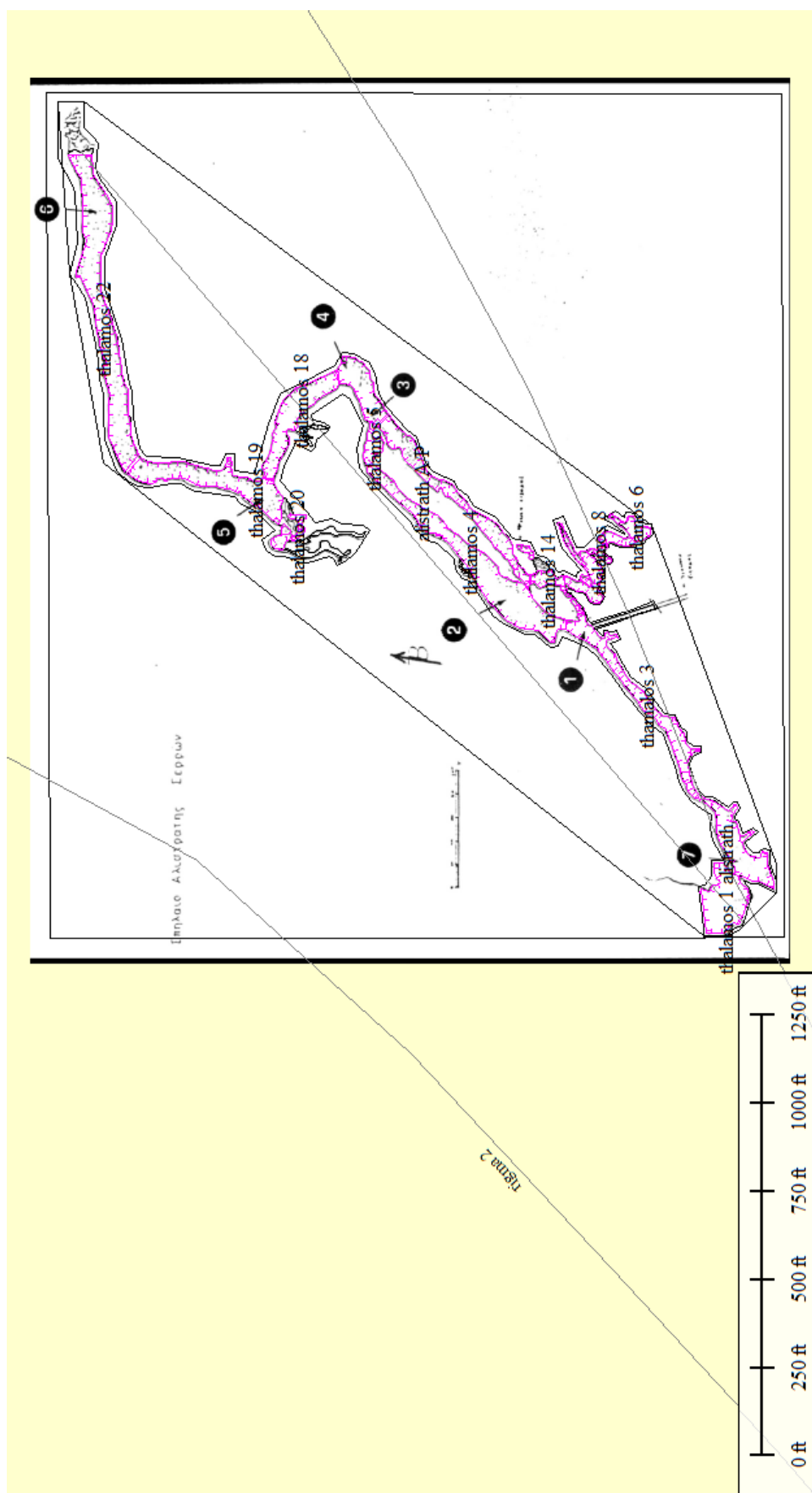
<Feature Name>	<Feature Type>	BEARING	ENCLOSED AREA	Ew/Lw	L	Lw	LENGTH	LP/ES	PERIMETER
A/P Kilis	Unknown Area Type	137° 57' 9.0"	1174.8 sqm	0.4040	310.471	65.97	92.423 m	3.3	742.07 m
Es	Unclassified Line Feature								
ekswniko meros	Unknown Area Type		8623.6 sqm						372.65 m
eswniko meros spilaou	Anchorage Area		2081.4 sqm						624.66 m
igma 1 Kilis	Unclassified Line Feature	215° 05' 0.1"					909.29 m		
igma 2 Kilis	Unclassified Line Feature	219° 51' 32.2"					1.809 km		
igma 3 Kilis	Unclassified Line Feature	219° 23' 16.1"					2.351 km		
igma 4 Kilis	Unclassified Line Feature	290° 01' 30.1"					1.488 km		
thalamos 1	Anchorage Area		42.964 sqm						31.885 m
thalamos 10	Anchorage Area		22.726 sqm						36.064 m
thalamos 11	Anchorage Area		13.94 sqm						22.418 m
thalamos 12	Anchorage Area		7.507 sqm						12.635 m
thalamos 13	Anchorage Area		23.203 sqm						28.632 m
thalamos 14	Anchorage Area		17.181 sqm						18.139 m
thalamos 15	Anchorage Area		31.626 sqm						30.73 m
thalamos 16	Anchorage Area		28.801 sqm						29.58 m
thalamos 17	Anchorage Area		15.421 sqm						16.627 m
thalamos 18	Anchorage Area		5.735 sqm						13.711 m
thalamos 19	Anchorage Area		13.627 sqm						14.551 m
thalamos 2	Anchorage Area		42.33 sqm						49.761 m
thalamos 20	Anchorage Area		61.834 sqm						53.19 m
thalamos 21	Anchorage Area		15.236 sqm						31.094 m
thalamos 22	Anchorage Area		25.9 sqm						35.372 m
thalamos 23	Anchorage Area		27.298 sqm						25.469 m
thalamos 4	Anchorage Area		110.6 sqm						47.578 m
thalamos 5	Anchorage Area		47.539 sqm						41.111 m
thalamos 6	Anchorage Area		268.24 sqm						103.26 m
thalamos 7	Anchorage Area		25.717 sqm						23.053 m
thalamos 8	Anchorage Area		26.169 sqm						32.878 m
thalamos 9	Anchorage Area		19.3 sqm						20.316 m
thalamos 3	Anchorage Area		85.896 sqm						58.321 m

Πίνακας 2. Παράμετροι από το σήλαιο.

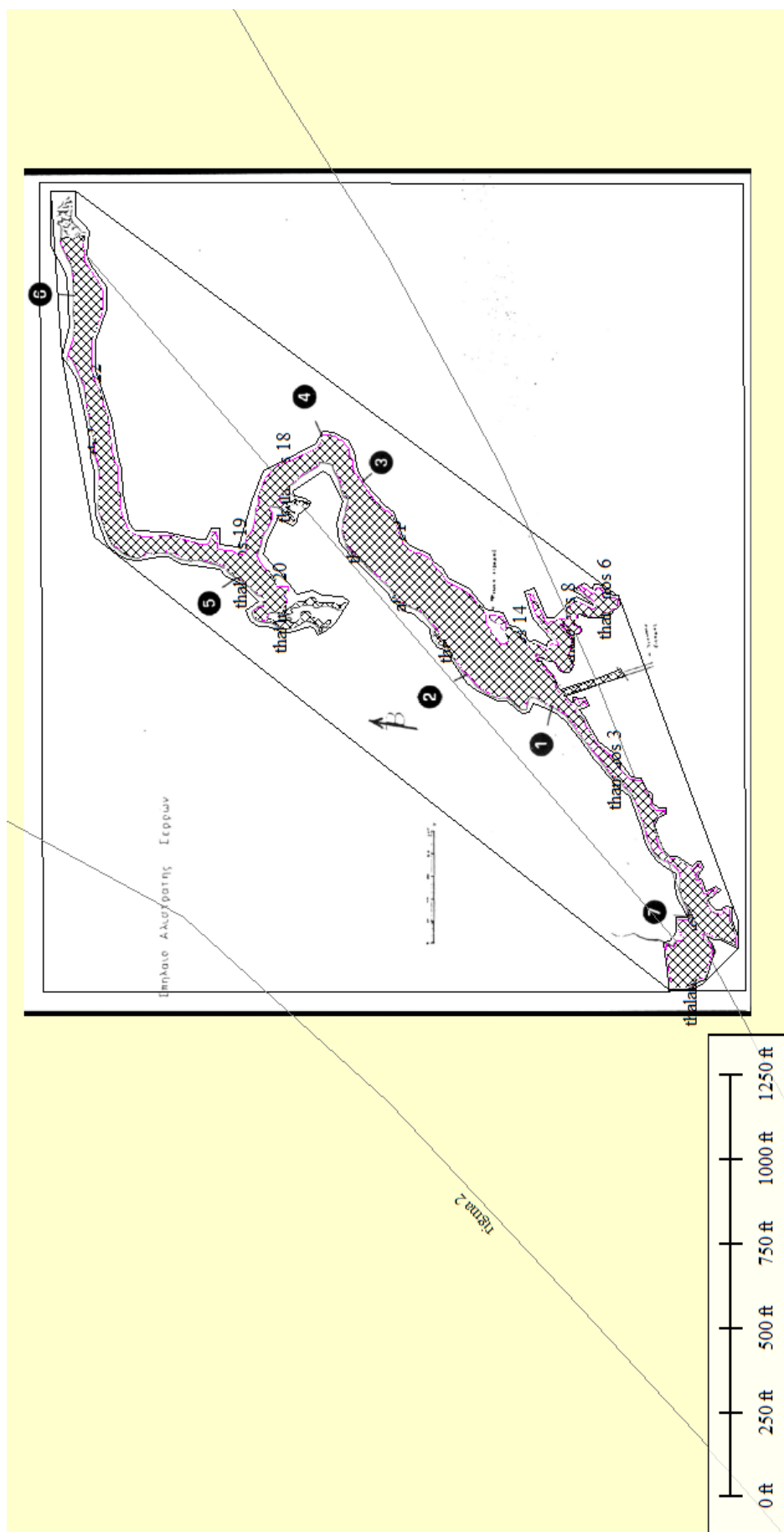
3.2 Σπήλαιο Αλιστράτης Σερρών



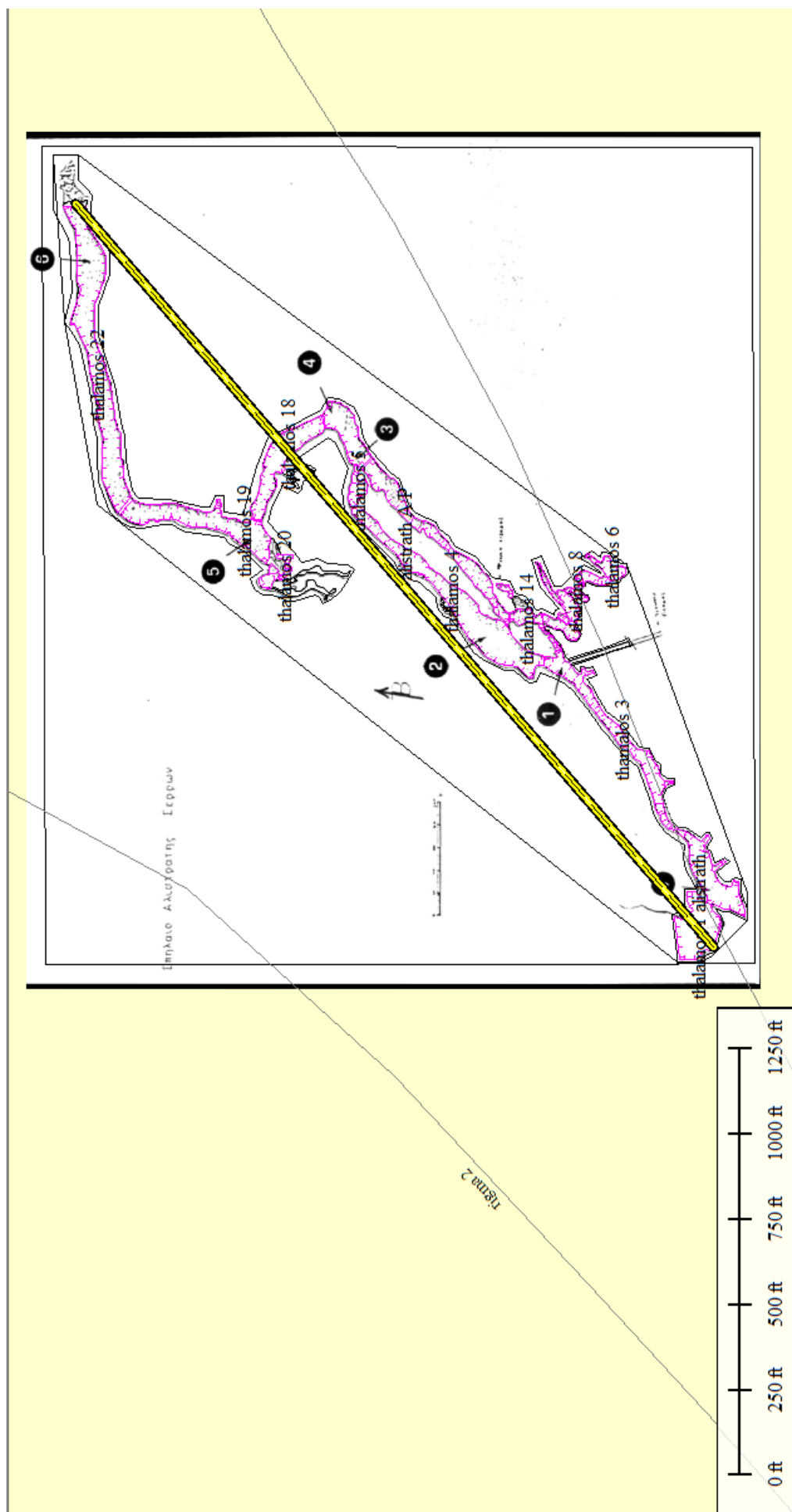
Σχήμα 13. Γεωλογικός χάρτης, όπου απεικονίζεται γεωαναφερίμενο το σπήλαιο της Αλιστράτης.



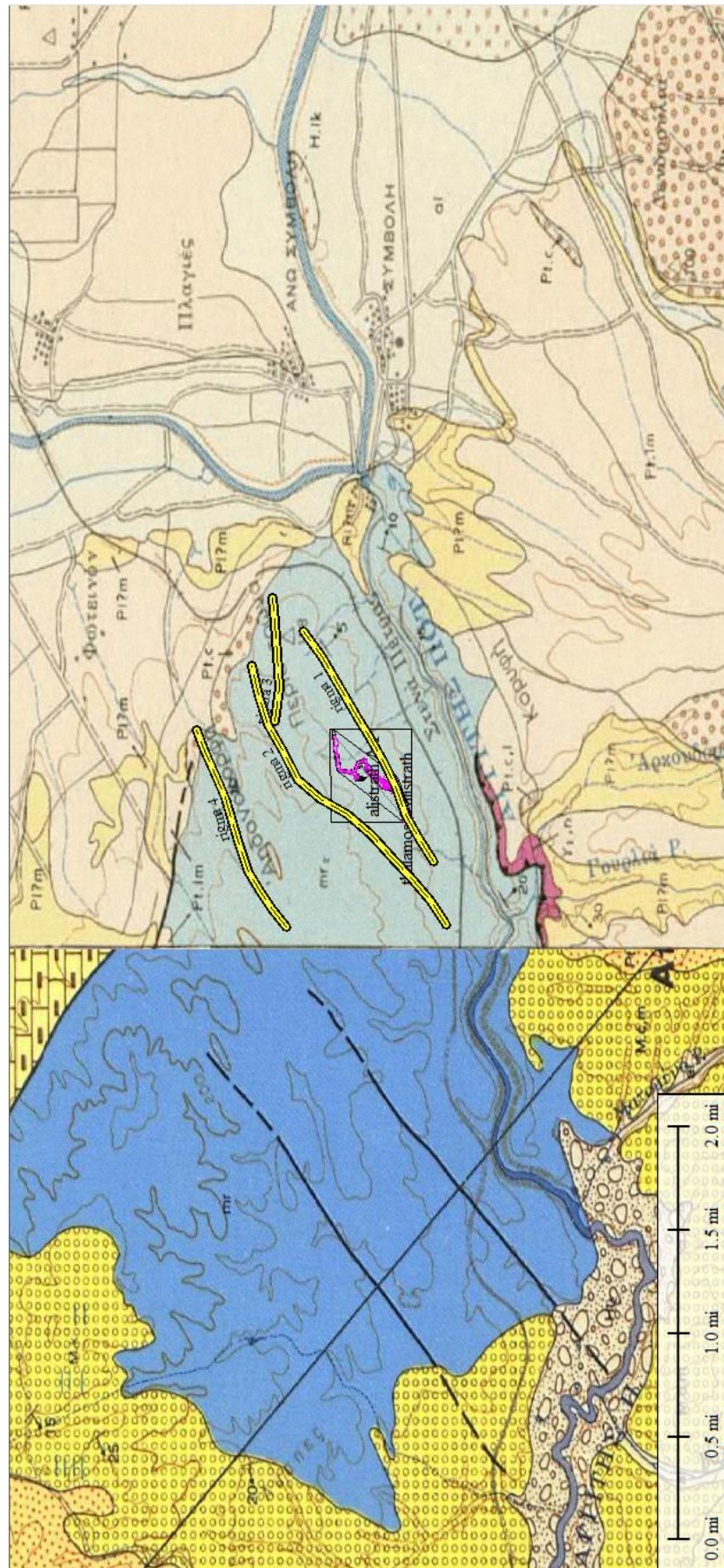
Σχήμα 14. Απεικόνιση των θαλάμων.



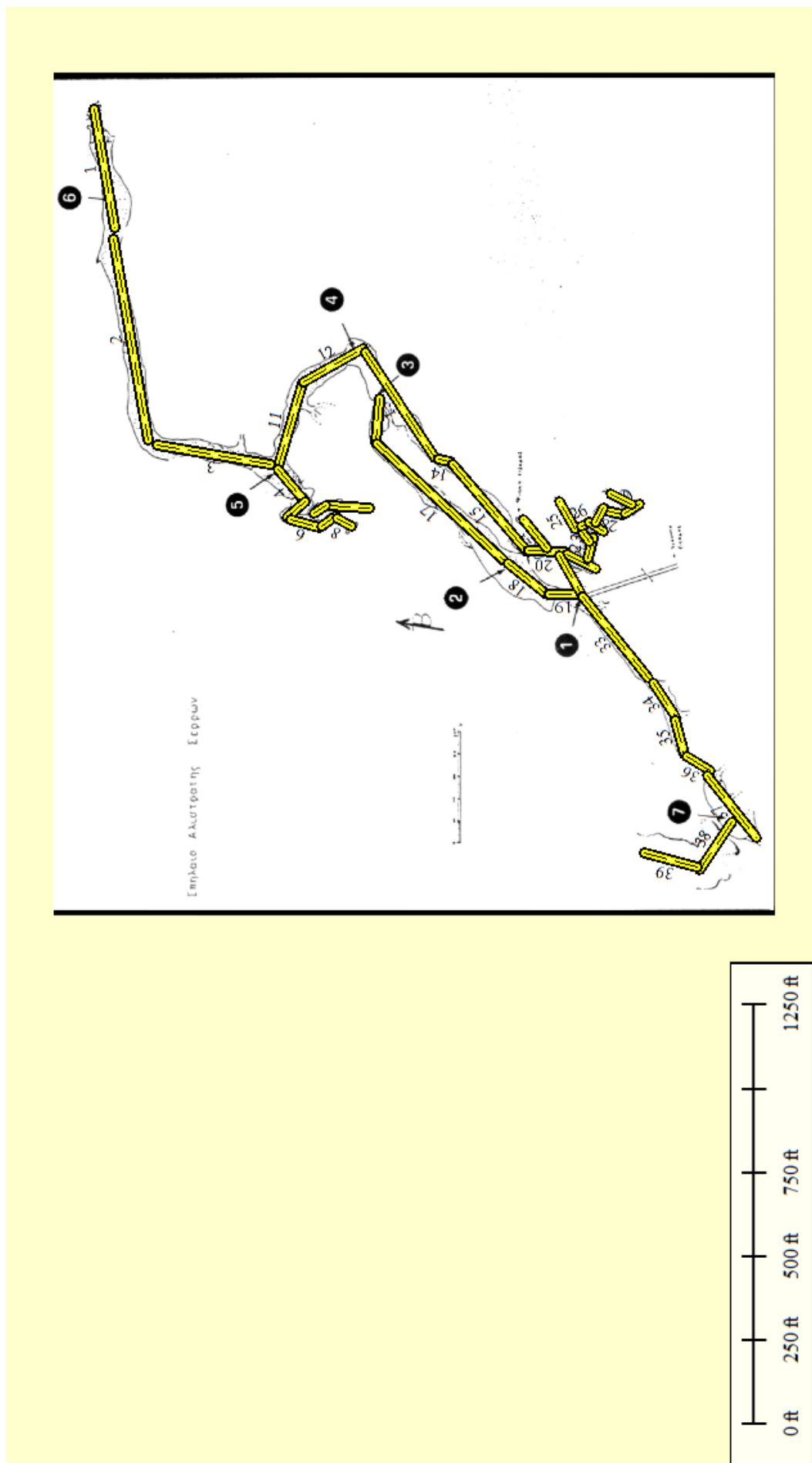
Σχήμα 15. Απεικόνιση των Α/Ρ ή cave field.



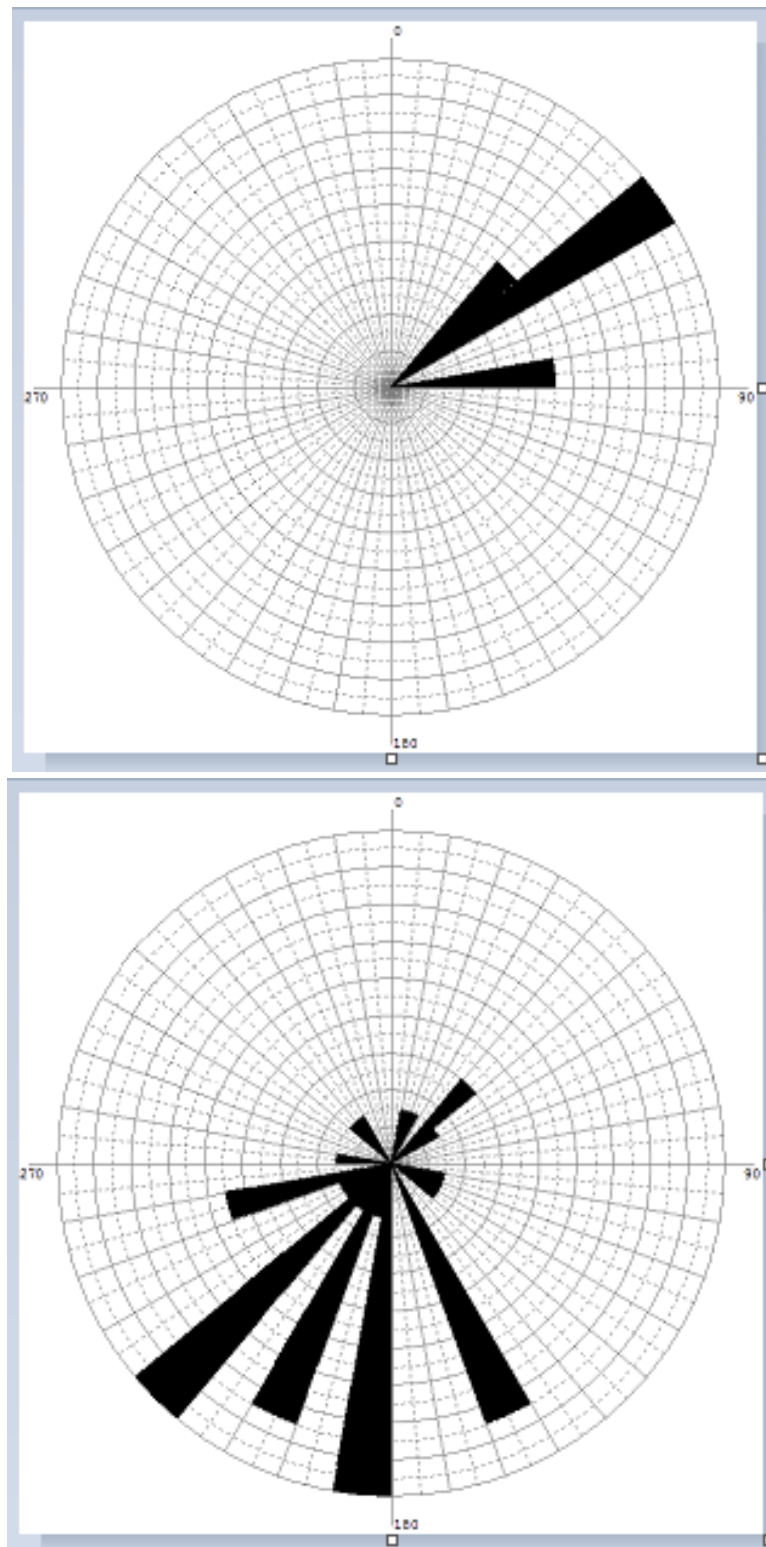
Σχήμα 16. Απεικόνιση παραμέτρου Es.



Σχήμα. 17. Απεικόνιση ρηγμάτων στον ευρύ χώρο του σπηλαιίου.



Σχήμα 18. Απεικόνιση των κατευθύνσεων των διαδρόμων του σπηλαίου.

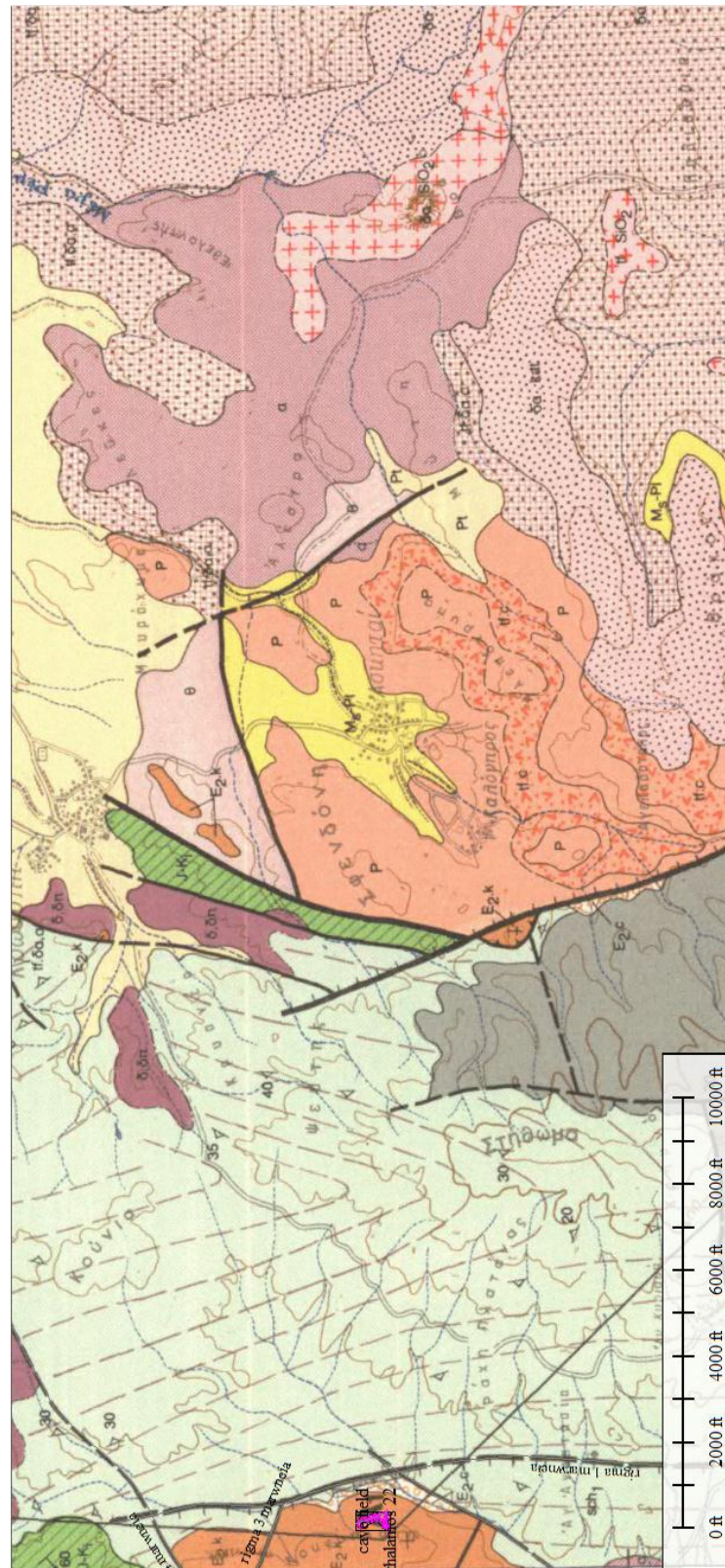


Πάνω: Ροδοδιάγραμμα ρηγμάτων.
 Κάτω: Ροδοδιαγραμμα κατευθύνσεων διαδρόμων.

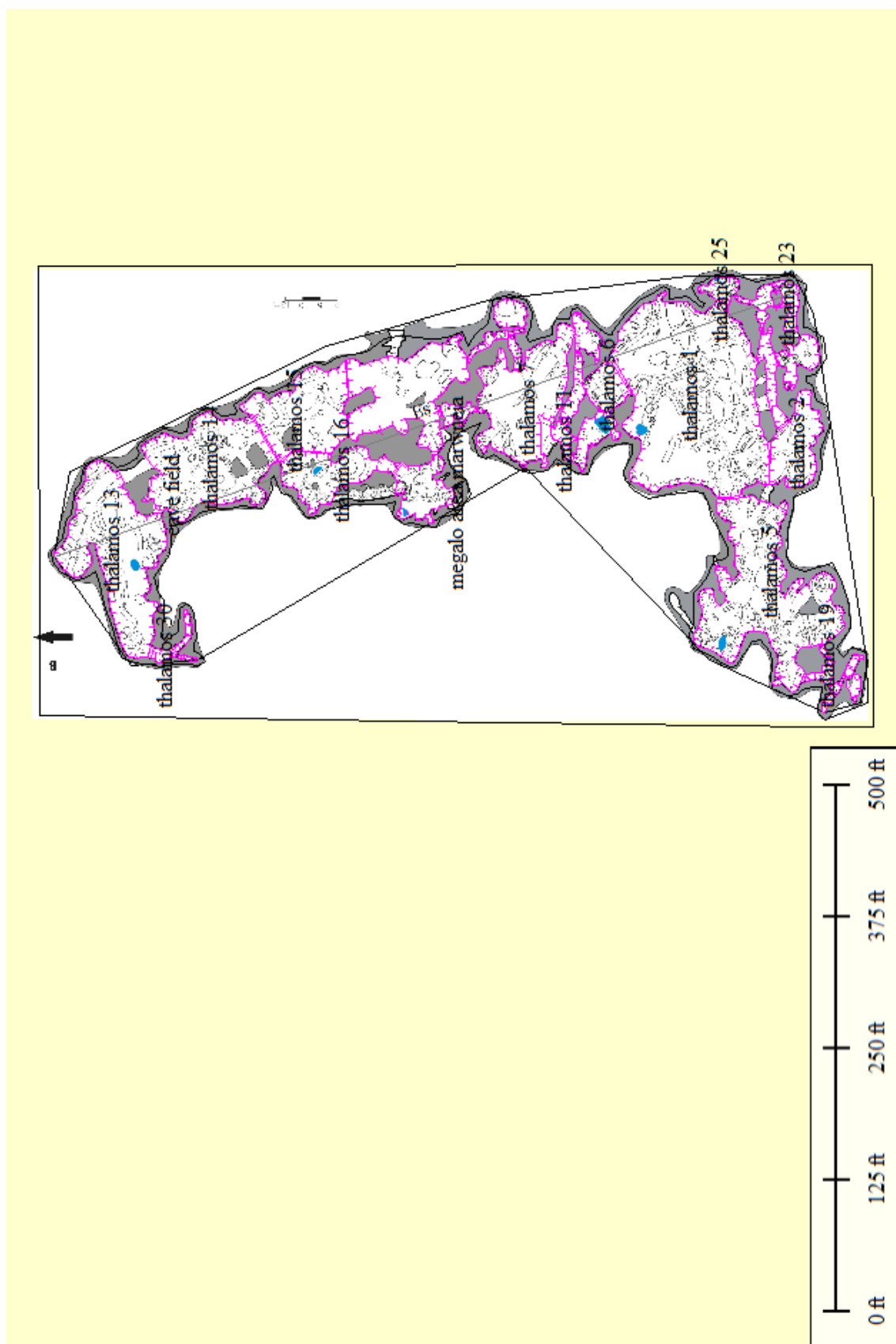
<Feature Name>	<Feature Type>	BEARING	ENCLOSED AREA	EW/LW	L	L/W	LENGTH	PERIMETER	S/L
Es	Unclassified Line Feature	41° 22' 45.3"							
alistrath A/P	Unknown Area Type		21418 sq m	0.9478	1.689	128.05	758.05 m	3.425 km	
endiamoso area alistrath	Unknown Area Type		131960 sq m					1.763 km	
megalo area alistraths	Unknown Area Type		349124 sq m					2.37 km	
mikro area alistrath	Unknown Area Type		33225 sq m					3.001 km	
rigma 1	Unclassified Line Feature	53° 20' 3.9"					1.7 km		
rigma 2	Unclassified Line Feature	45° 12' 39.4"					2.216 km		
rigma 3	Unclassified Line Feature	88° 31' 24.4"					724.86 m		
rigma 4	Unclassified Line Feature	58° 58' 41.4"					1.363 km		
thalamos 1 alistrath	Anchorage Area		1218.7 sq m					157.9 m	0.6317
thalamos 10	Anchorage Area		114.82 sq m					78.647 m	0.1186
thalamos 11	Anchorage Area		42.41 sq m					28.215 m	0.4504
thalamos 12	Anchorage Area		243.08 sq m					89.662 m	0.3524
thalamos 13	Anchorage Area		46.053 sq m					45.877 m	0.2603
thalamos 14	Anchorage Area		231.38 sq m					89.776 m	0.3521
thalamos 15	Anchorage Area		60.41 sq m					42.375 m	0.2842
thalamos 16	Anchorage Area		1448.3 sq m					371.51 m	0.0937
thalamos 17	Anchorage Area		849.33 sq m					140.68 m	0.3289
thalamos 18	Anchorage Area		1251.9 sq m					224.85 m	0.1927
thalamos 19	Anchorage Area		1791 sq m					333.22 m	0.1638
thalamos 2 alistrath	Anchorage Area		1170.3 sq m					249.47 m	0.2289
thalamos 20	Anchorage Area		108.22 sq m					68.834 m	0.3948
thalamos 21	Anchorage Area		156.98 sq m					56.343 m	0.6259
thalamos 22	Anchorage Area		3477 sq m					479.07 m	0.1254
thalamos 4	Anchorage Area		2809.9 sq m					435.81 m	0.1552
thalamos 5	Anchorage Area		253.23 sq m					82.225 m	0.5477
thalamos 6	Anchorage Area		249.52 sq m					94.663 m	0.3058
thalamos 7	Anchorage Area		178.8 sq m					71.543 m	0.2654
thalamos 8	Anchorage Area		99.103 sq m					65.395 m	0.4876
thalamos 9	Anchorage Area		212.6 sq m					69.792 m	0.4401

Πίνακας 3. Απεικόνιση παραμέτρων του σπηλαίου.

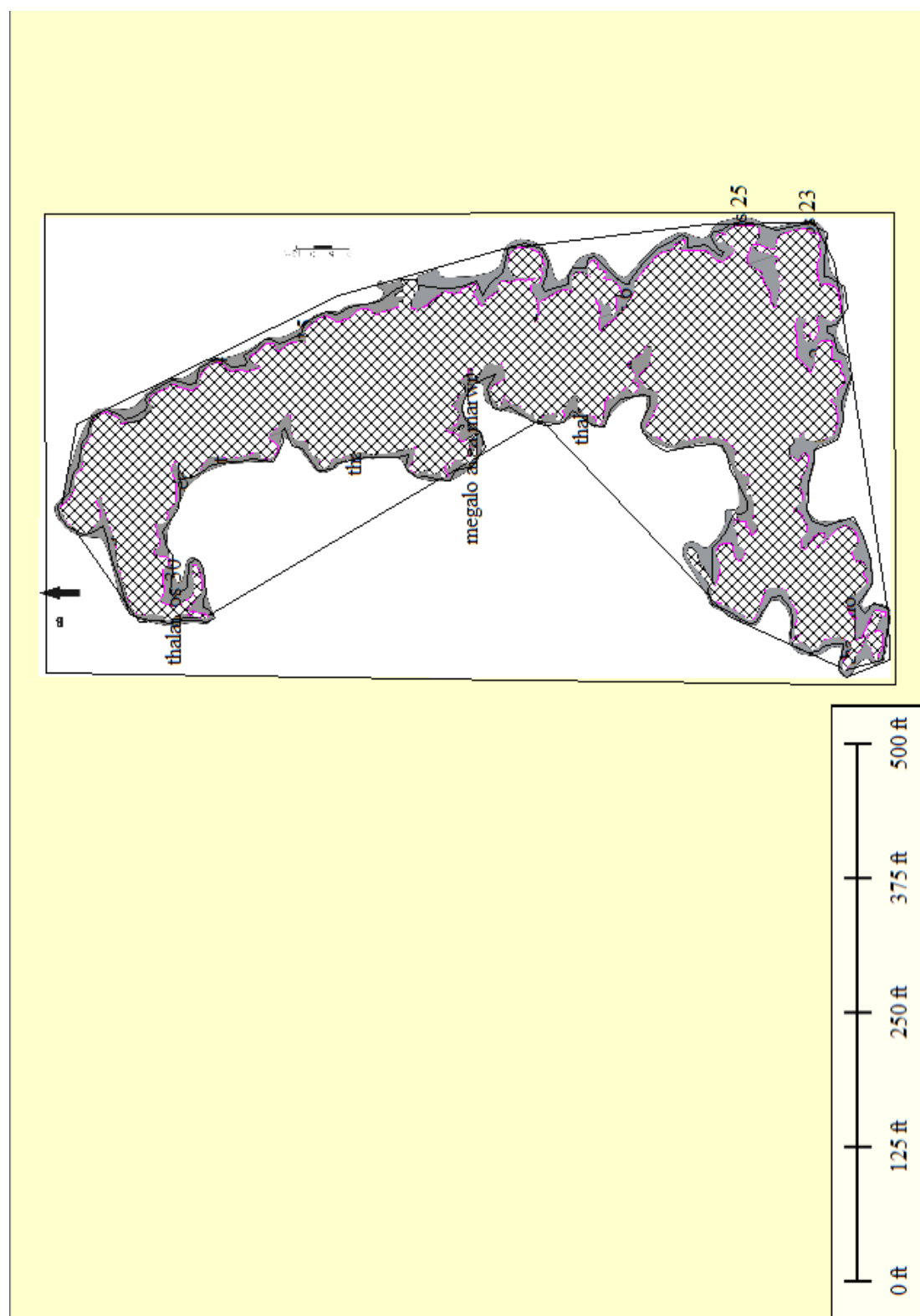
3.3 Σπήλαιο Μαρώνειας Κομοτηνής



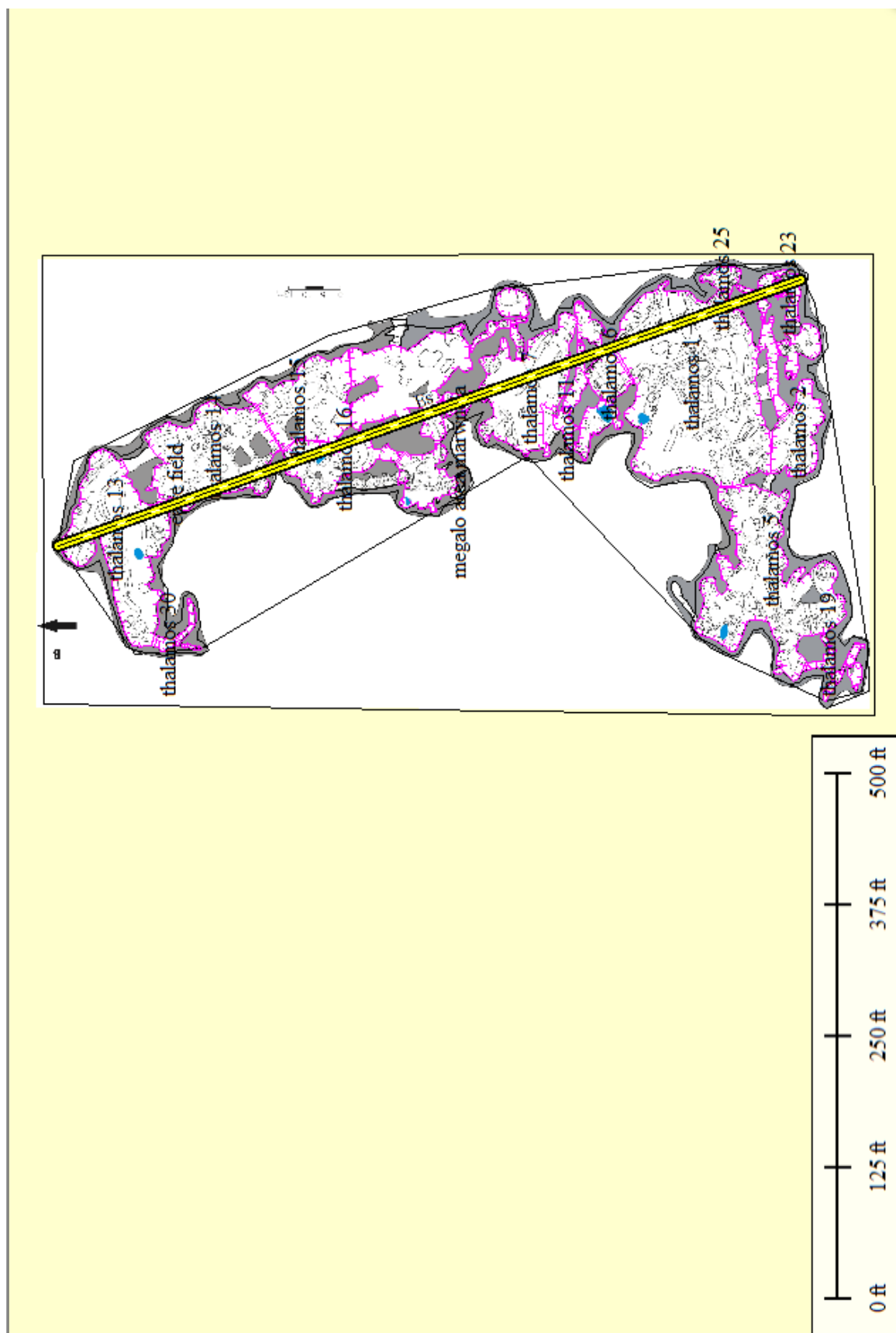
Σχήμα 19. Γεωλογικός χάρτης, όπου απεικονίζεται γεωαναφεμένο το σπήλαιο της Μαρώνειας.



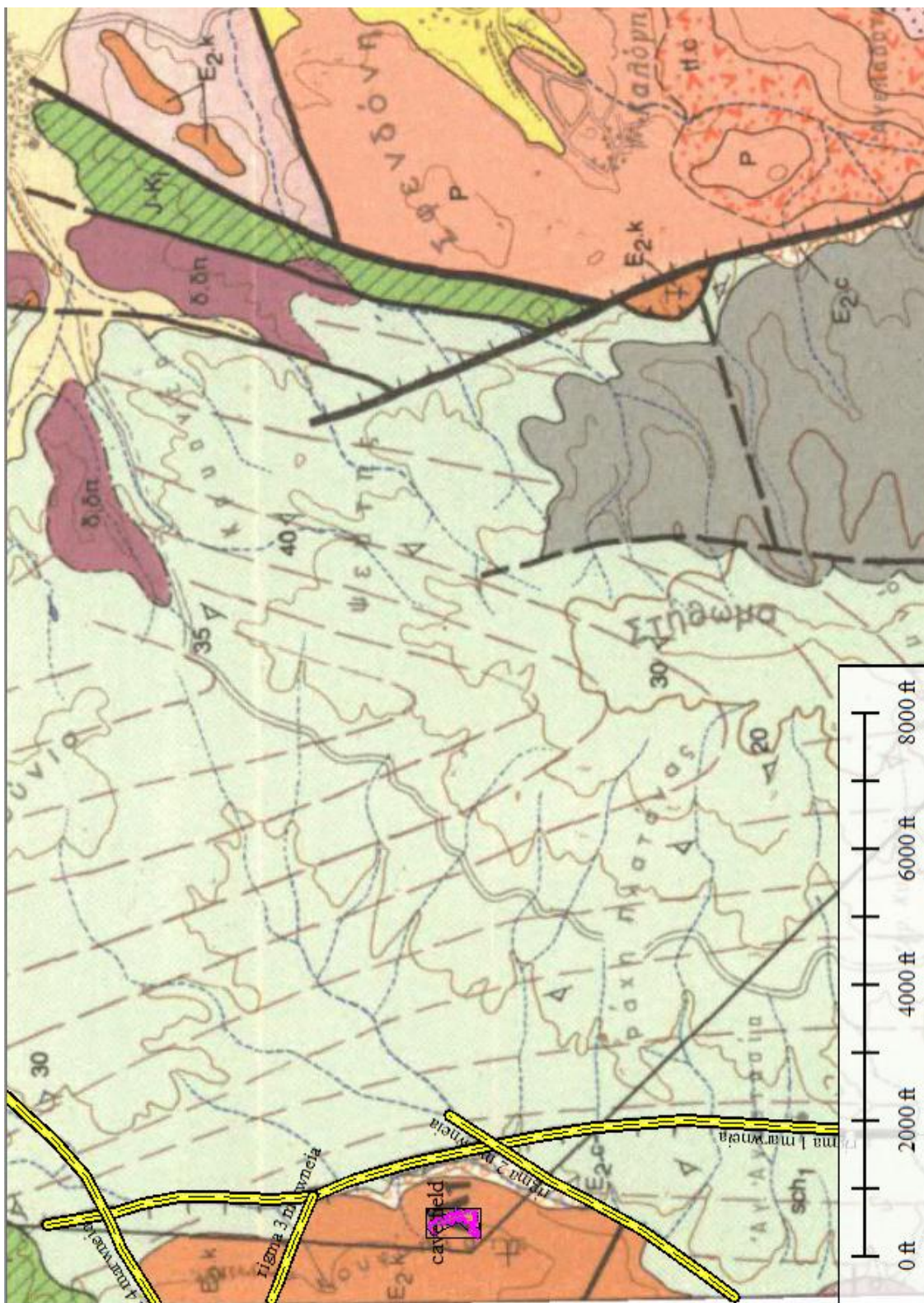
Σχήμα 20. Απεικόνιση θαλάμων.



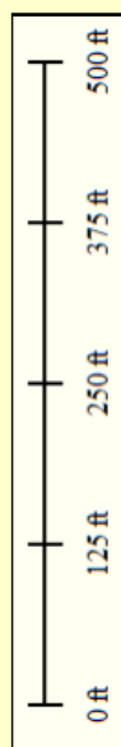
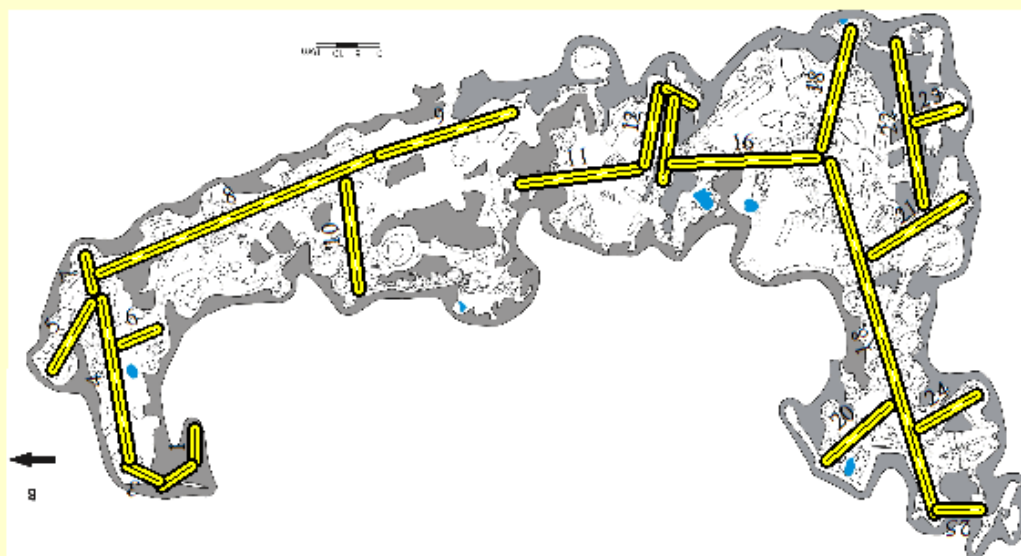
Σχήμα 21. Απεικόνιση των Α/Ρ ή cave field.



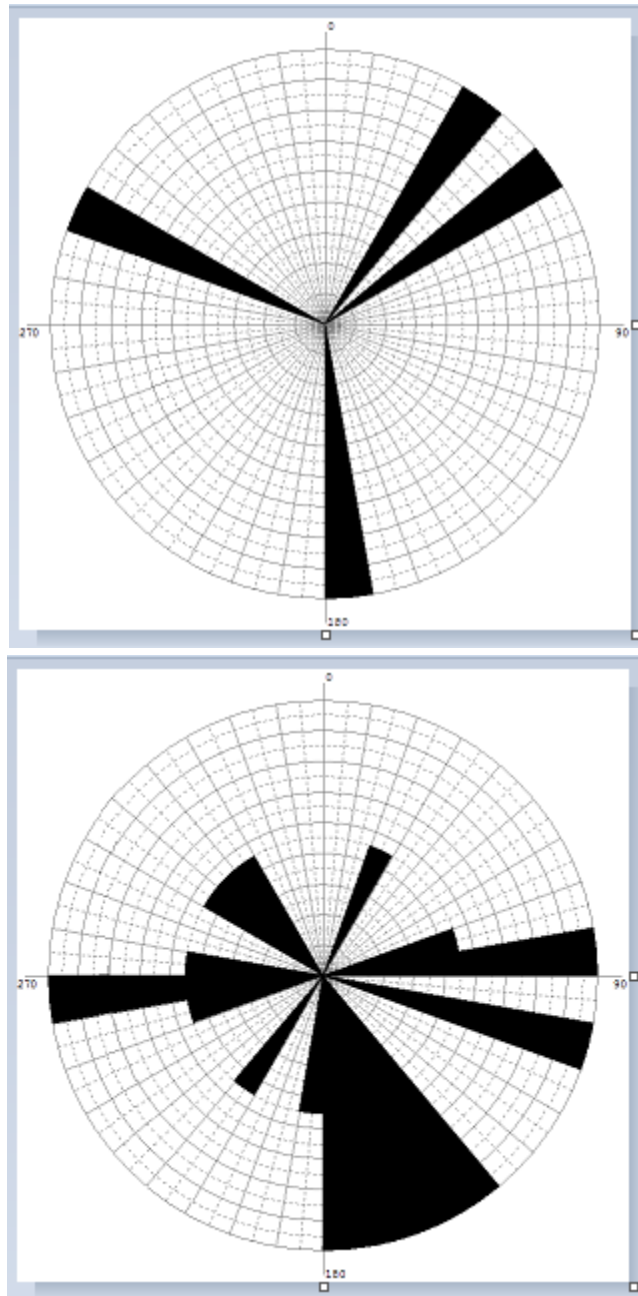
Σχήμα 22. Απεικόνιση παραμέτρου Es.



Σχήμα 23. Απεικόνιση ρηγματίων στον ευρύ χώρο του σπηλαίου.



Σχήμα 24. Απεικόνιση των κατευθύνσεων των διαδρόμων του σπηλαίου.



Πάνω: Ροδοδιάγραμμα ρηγμάτων.
 Κάτω: Ροδοδιάγραμμα κατευθύνσεων διαδρόμων.

<Feature Name>	<Feature Type>	BEARING	ENCLOSED_AREA	EW/LW	L	LW	LENGTH	PERIMETER	S/L
Es	Unclassified Line Feature	161° 15' 0.6"							
cave field	Unknown Area Type		9836 sq m	0.3840	609,113	54,75	229,23 m	1.54 km	
eridaneso area marwneia	Unknown Area Type		17170 sq m					665.18 m	
megalo area marwneia	Unknown Area Type		31926 sq m					747.8 m	
mikro area marwneia	Unknown Area Type		12082 sq m					993.6 m	
rigma 1 marwneia	Unclassified Line Feature	177° 48' 35.0"					8,716 km		
rigma 2 marwneia	Unclassified Line Feature	33° 32' 14.1"					1,519 km		
rigma 3 marwneia	Unclassified Line Feature	292° 50' 3.4"					502.89 m		
rigma 4 marwneia	Unclassified Line Feature	56° 10' 10.7"					2,436 km		
thalamos 1	Anchorage Area		1979.9 sq m					201.01 m	0.6810
thalamos 10	Anchorage Area		104.34 sq m					56.753 m	0.4733
thalamos 11	Anchorage Area		39.502 sq m					41.27 m	0.4282
thalamos 12	Anchorage Area		65.909 sq m					30.982 m	0.8651
thalamos 13	Anchorage Area		931.65 sq m					180.09 m	0.3774
thalamos 14	Anchorage Area		803.44 sq m					136.2 m	0.7330
thalamos 15	Anchorage Area		538.19 sq m					107.3 m	0.8796
thalamos 16	Anchorage Area		330.13 sq m					101.33 m	0.4466
thalamos 17	Anchorage Area		212.14 sq m					81.248 m	0.9398
thalamos 18	Anchorage Area		666.7 sq m					169.38 m	0.5708
thalamos 19	Anchorage Area		7.467 sq m					16.217 m	0.2404
thalamos 2	Anchorage Area		280.92 sq m					81.435 m	0.8421
thalamos 20	Anchorage Area		27.472 sq m					27.772 m	0.6635
thalamos 21	Anchorage Area		37.021 sq m					45.507 m	0.1271
thalamos 22	Anchorage Area		23.131 sq m					21.474 m	0.5925
thalamos 23	Anchorage Area		57.571 sq m					44.921 m	0.3407
thalamos 24	Anchorage Area		55.726 sq m					58.47 m	0.6912
thalamos 25	Anchorage Area		57.207 sq m					32.906 m	0.5908
thalamos 26	Anchorage Area		30.111 sq m					35.429 m	0.2433
thalamos 27	Anchorage Area		22.698 sq m					24.77 m	0.2458
thalamos 28	Anchorage Area		5.172 sq m					11.93 m	0.2036
thalamos 29	Anchorage Area		44.479 sq m					39.517 m	0.2594

Πίνακας 4. Απεικόνιση παραμέτρων σπηλαίου.

Από όλους τους παραπάνω χάρτες με τις κατόψεις των σπηλαίων, και για κάθε σπήλαιο συγκεντρώθηκαν τα αποτελέσματα των μετρήσεων τα οποία παραθέτονται:

1. Για το σπήλαιο του Αγίου Γεωργίου:

A/P	1,5
EW/IW	0,4040
L/W	65,97
Cave field	1174,8 sq m
Box fill	1,77
lp/Es	3,3

Πίνακας 4. Αποτελέσματα μορφομετρικών δεικτών

2. Για το σπήλαιο της Αλιστράτης Σερρών:

A/P	0,62
EW/IW	0,9478
L/W	128,05
Cave field	21418 sq m
Box fill	1,55
lp/Es	2,24

Πίνακας 5. Αποτελέσματα μορφομετρικών δεικτών Αλιστράτης.

3. Για το σπήλαιο της Μαρώνειας Κομοτηνής:

A/P	6,3
EW/IW	0,3840
L/W	54,75
Cave field	9836 sq m
Box fill	1,12
Lp/Es	2,6

Πίνακας 6. Αποτελέσματα μορφομετρικών δεικτών Μαρώνειας.

4 . Σ Υ Μ Π Ε Ρ Α Σ Μ Α Τ Α

Από όλα τα παραπάνω στοιχεία που μελετήθηκαν, μετρήθηκαν και αξιολογήθηκαν σε κάθε χάρτη σπηλαίου αλλά και από τα ροδοδιαγράμματα των κατευθύνσεων των διαδρόμων των σπηλαίων και των ρηγμάτων βγήκαν τα εξής συμπεράσματα:

1. Η χαμηλή τιμή του μορφομετρικού δείκτη A/P, και η υψηλή τιμή του δείκτη Box fill, (οι τιμές των οποίων αναφέρονται στον πίνακα 4.) του σπηλαίου του Αγίου Γεωργίου στο Κιλκίς μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι πρόκειται για ένα καρστικό σπήλαιο όπου η τελική μορφή του μας αποτυπώνει την ζώνη στην οποία πραγματοποιήθηκε η καρστικοποίηση, ή και γενικότερα η εξέλιξη του εγκοίλου. Η ζώνη στην οποία έγινε η καρστικοποίηση του σπηλαίου είναι η φρεατική ζώνη όπου το νερό πληρώνει όλες τις διακλάσεις του πετρώματος. Δεν υπάρχει ελεύθερη οριζόντια κίνηση των υδάτων και η διάβρωση είναι κυρίως χημική (καρστικό φαινόμενο). Ένα επιπλέον στοιχείο που ενισχύει την ζώνη καρστικοποίησης προκύπτει από την μορφή της κάτοψης του σπηλαίου όπως φαίνεται στο σχήμα 8, με την δενδριτική μορφή που παρουσιάζει η ανάπτυξη του σπηλαίου. Στο σπήλαιο της Αλίστρατης οι μορφομετρικοί δείκτες A/P και Box fill έχουν ακόμα πιο χαμηλές τιμές από το σπήλαιο του Αγίου Γεωργίου (όπως φαίνεται στον πίνακα 5.) Οι τιμές των παραμέτρων αυτών σε συνδυασμό με την γενική μορφολογία του σπηλαίου (μορφή της κάτοψης του, που φαίνεται στο σχήμα 14) αποτελούν αδιάψευστα στοιχεία για τα αίτια της σπηλαιογένεσης του. Πρόκειται για ένα τμήμα που έχει απομείνει από ένα παλαιό καρστικό αγωγό. Έχει σχηματιστεί πιο συγκεκριμένα στην ζώνη οριζόντιας μετακίνησης ή ακόρεστη ζώνη όπου η κατακόρυφη ροή του νερού συναντάει τον υπόγειο υδροφόρο, σταματάει η κατακόρυφη ροή του νερού και η κίνηση γίνεται οριζόντια, σχηματίζοντας έναν υπόγειο καρστικό αγωγό. Η ταπείνωση του επιπέδου του υπόγειου υδροφορέα είχε σαν αποτέλεσμα την διακοπή της σπηλαιογένεσης. Παρατηρούμε ότι οι δείκτες μας έχουν αυτές τις τιμές επειδή τα σπήλαια είναι καρστικά και σχετίζονται με επιγενετικές διεργασίες σχηματισμού.

2. Στο σπήλαιο της Μαρώνειας στην Κομοτηνή παρατηρούμε ότι οι μορφομετρικοί δείκτες δεν συσχετίζονται με τις τιμές που παρατηρήσαμε στα 2 προηγούμενα σπηλαία, αλλά έχουν σημαντικές μεταβολές. Παρατηρούμε μια πολύ μεγάλη αύξηση της παραμέτρου A/P και μια μείωση της παραμέτρου Box fill (όπως φαίνονται στον πίνακα 6.). Οι μορφομετρικοί παράμετροι σε συνδυασμό με την κάτοψη του σπηλαίου όπως φαίνεται στο σχήμα 20, στο οποίο φαίνεται ξεκάθαρα η απουσία φρεάτιων περασμάτων, και το σπήλαιο

αυτό συνδέεται με αγωγούς που κυριαρχούνται από μια λαβυρινθώδη δομή, γεγονός το οποίο εύκολα διακρίνεται στην κάτοψη του σπηλαίου. Άρα πρόκειται για ένα καρστικό υπογενές σπήλαιο το οποίο έχει περάσει από την φρεατική φάση σπηλαιογένεσης, στην ζώνη κατείσδυσης. Η σπηλαιογένεση ακολούθησε τις επικρατούσες τεκτονικές ασυνέχειες και σήμερα συνεχίζεται πιθανώς στην φρεατία ζώνη, κάτω από την επιφάνεια του υδροφόρου ορίζοντα λόγω της δράσης των υπογενών διαλυμάτων. Παρατηρούμε ότι οι δείκτες έχουν αυτή την μεταβολή σε σχέση με τα 2 προηγούμενα σπήλαια, γιατί το σπήλαιο αυτό είναι καρστικό υπογενές, και σε αυτά τα σπήλαια παρατηρούνται τέτοιες τιμές των μορφομετρικών δεικτών. Τα συμπεράσματα μας επιβεβαιώνονται από παλαιότερες μελέτες στα σπήλαια αυτά (Μέλφος et. al., 2005, Γιαννόπουλος, 2000)

3. Παρατηρούμε από τα ροδοδιαγράμματα και των 3 σπηλαίων μας, ότι και στα 3 σπήλαια υπάρχει συσχέτιση των ρηγμάτων που βρίσκονται στον ευρύ χώρο των σπηλαίων με τις κατευθύνσεις των διαδρόμων όπου αναπτύσσονται τα σπήλαια. Στο σπήλαιο της Μαρώνειας παρατηρείται συσχέτιση, στην διεύθυνση μεταξύ των 2 κύριων συστημάτων, του προσανατολισμού των θαλάμων του σπηλαίου και των τεκτονικών γραμμών της ευρύτερης περιοχής. Το γεγονός αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το σπήλαιο δημιουργήθηκε κατά μήκος των τεκτονικών δομών. Αυτό ενισχύει και το συμπέρασμα ότι τα υπογενή καρστικά σπήλαια όπως προείπαμε ακολουθούν τις τεκτονικές δομές. Ακόμα και το σπήλαιο της Αλιστράτης ακλουθεί την διεύθυνση των ρηγμάτων 1 & 2 όπως φαίνεται στο σχήμα 17. Οι τεκτονικές δομές φαίνεται να επηρεάζουν σημαντικά την δημιουργία, και την εξέλιξη των σπηλαίων.

Εν κατακλείδι και με βάση όσα αναφέρθηκαν και μελετήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία, μπορούμε με βεβαιότητα να αναγνωρίσουμε την τεράστια συμβολή της μορφομετρίας, και των μορφομετρικών δεικτών στην μελέτη των διεργασιών της σπηλαιογένεσης για οποιοδήποτε σπήλαιο και γενικότερα για οποιαδήποτε γεωμορφή. Έτσι με περαιτέρω μελέτες και ένα μεγαλύτερο αριθμό αναλύσεων θα μπορούσε να επιτρέψει την χρήση αυτών των μορφομετρικών δεικτών, για την γενετική διάκριση των σπηλαίων και να δώσει ένα πολύτιμο εργαλείο για την μελέτη της εξέλιξης των καρστικών περιοχών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ:

Αστάρης Θ., 2007: Ψηφιακή χαρτογραφία και γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών.

Βαξεβανόπουλος Μ. , 2006: Τεκτονικές συνθήκες σπηλαιογένεσης στο σπήλαιο «Μελλισότρυπα» Κεφαλοβρύσου Ελασσόνας.

Βουβαλίδης Κ. , 2002: Μαθήματα Φυσικής Γεωγραφίας.

Γιαννόπουλος Β. , 2000: Συμβολή στην μελέτη σύγχρονων και παλαιών περιβαλλόντων των πλέων σημαντικών ελληνικών σπηλαίων.

Καρτέρης Μ. , 1994: Τηλεπισκόπηση φυσικών πόρων και Γεωγραφικά συστήματα Πληροφοριών, τόμος Ι, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, 278 σελ.

Μουντράκης Δ. , 1985: Γεωλογία Ελλάδας.

Μέλφος Β., Χατζηπέτρος Α., Χατζοπούλου Α., Βασιλειάδου Α., Λαζαρίδης Γ., Βαξεβανόπουλος Μ., Συρίδης Γ., Τσουκαλά Ε., Παυλίδης Σ., 2005: Γεωλογική, πετρολογική και παλαιοντολογική μελέτη του σπηλαίου της Μαρώνειας στους Ηωκαινικούς νομμουλιτοφόρους ασβεστόλιθους στην Θράκη.

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ:

Burrough, P.A., 1992: Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessement, Clarendon Press , Oxford 194 pp.

Burrough, P.A., and McDonell, A., 2000: Principles of Geographical Information Systems, Oxford University Press, New York 333 pp.

Curl, R.L., 1964: On the definition of a cave.- National Speleological Society Bull., 26, 1-6.

Curl, R.L., 1966: Caves as a measure of karst.- Journal of Geology, 74, 798-830.

De Waele, J. & L. Piccini, 2008: Speleogenesi e morfologia dei sistemi carsici in rocce carbonatiche.- In: Parise, M., Inguscio S. & A. Marangella (eds.) Atti 45° Corso CNSS-SSI "Geomorfologia carsica", Grottaglie, Bari, 2nd-3th February 2008, 23-74, Grottaglie.

Dreybrodt, W. & J. Siemers, 2000: Cave evolution on two-dimensional networks of primary fractures in limestone.

Eraso, A. & N. Herrero, 1986: Propuesta de un Nuevo método de deducción de las direcciones principales de drenaje en el karst.- pp. 93, Jumar, Madrid.

Goodchild, M. I. , 1985: Geographical Information Systems in Undergraduate Geography: A Contemporary Dilemma, The Operation Geographer, No. 8, pp. 34-38.

Finnesand, T. & R.L. Curl, 2009: Morphology of Tjoarvekrajgge, the longest cave of Scandinavia.- In: WhWhite, W.B. (ed.) Proc. 15th International Congress of Speleology, Kerville, Texas, 19th-26th July 2009, 2, 878-883, Kerville.

Ford, D.C. & P. Williams, 2007: Karst Hydrogeology and Geomorphology.- John Wiley & Sons Ltd, pp. 562, Chichester.

Frumkin, A. & I. Fischhhhendler, 2005: Morphometry and distribution of isolated caves as a guide for phreatic and confined paleohydrological conditions.- Geomorphology, 67, 457-471.

Klimchouk, A.B., 2003: Cave morphometry.- In: Gunn, J. (ed.) Encyclopedia of cave and karst science, Fitzroy Dearborn, pp. 1120-1125, New York.

Klimchouk, A.B. & D.C. Ford, 2000: Lithologic and structural controls of dissolutional cave development.- In: Klimchouk, A.B., Ford, D.C., Palmer, A.N. & W. Dreybrodt (eds.) Speleogenesis. Evolution of Karst Aquifers, Nat. Spel. Society, pp. 54-64, Huntsville, Alabama.

Klimchouk, A.B., 2007: Hypogene speleogenesis: hydrogeological and morphogenetic perspective.- National Cave and Karst Research Institute, Special Paper, pp. 106, Carlsbad, USA.

Ohmori, H., 1993: Changes in the hypsometric curve through mountain buildings resulting from concurrent tectonics and denudation.- Geomorphology, 8, 263-277.

Palmer, A.N., 1991: Origin and morphology of limestone caves.- Geological Society of America Bull., 103, 1-21.

Piccini, L. 2001: L'Analisi morfometrica delle grotte carsiche.- Atti 18° Congr. Nazionale Speleologia, 145-149.

Piccini L., 2011: Recent developments of morphometric analysis of karst caves

Strahler, A.N., 1952: Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topology.- Geological Society of America Bull., 63, 11, 1117-1142.

Strahler, A.N., 1957: Quantitative analysis of watershed geomorphology.- Transactions of the American Geophysical Journal, 8, 6, 913-920.

White, W. B., 1988: Geomorphology and Hydrology of karst terrains.- Oxford University Press, pp. 464, New York.

ΑΛΛΕΣ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ :

Αφιέρωμα : Ελλάδα η χώρα των σπηλαίων. Περιοδικό 7 ημέρες, εφημ. Καθημερινή 8/8/1993.

Ι.Γ.Μ.Ε. Γεωλογικός χάρτης Ελλάδος με κλίμακα 1:50.000 φύλλο Κιλκίς, Νικήσιανης, Προσοτσάνης, Ροδολίβους, και Χέρσου.