

## Η ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΣΑΡΩΣΗΣ ΩΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΣΤΗΝ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΣΠΗΛΑΙΩΝ. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΣΠΗΛΑΙΟ ΑΓ. ΓΕΩΡΓΙΟΥ ΚΙΛΚΙΣ

Παγούνης Β., Καλυκάκης Σ. και Μπιζιά Π.

*Εργαστήριο Τοπογραφίας, Τμήμα Τοπογραφίας, Τ.Ε.Ι. Αθηνών*

Χ. Παπαδόπουλος

*ΗCB ΕΠΕ, Αντιφίλου 3, Αθήνα*

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η συστηματική μελέτη των σπηλαίων απαιτεί την ύπαρξη αξιόπιστου και λεπτομερούς υποβάθρου σε κατάλληλη μορφή και κλίμακα έτσι ώστε να ικανοποιεί οποιοδήποτε γνωστικό αντικείμενο των γεωεπιστημών (γεωλογία, σπηλαιολογία, παλαιοντολογία, στατική, κ.α.). Η σύνθετη γεωμετρία καθώς και η πολυπλοκότητα των σχηματισμών είναι τα κύρια χαρακτηριστικά που καθιστούν την καταγραφή, αποτύπωση και τεκμηρίωση ενός σπηλαίου επίπονη και ιδιαίτερα δύσκολη διαδικασία.

Οι ιδιότυπες συνθήκες που επικρατούν στα σπήλαια καθιστούν τις κλασσικές μεθόδους αποτύπωσης (τοπογραφικές – φωτογραμμετρικές) χρονοβόρες και οικονομικά ασύμφορες. Στις τοπογραφικές μεθόδους είναι αδύνατο να αποτυπωθούν όλα τα σημεία ενός πολύπλοκου ανάγλυφου ενώ στην φωτογραμμετρία αν και η καταγραφή του χώρου είναι πιο εύκολη, οι πληροφορίες που εξάγονται δεν έχουν την απαιτούμενη ακρίβεια.

Η χρήση της τρισδιάστατης σάρωσης αποτελεί μια εναλλακτική μεθοδολογία και ένα σημαντικό εργαλείο στις αποτυπώσεις σπηλαίων. Η σύγχρονη αυτή μέθοδος δίνει την δυνατότητα παραγωγής τρισδιάστατων ψηφιακών μοντέλων, παρέχοντας υψηλή ακρίβεια, ταχύτητα, ευκολία στη μοντελοποίηση και μείωση του κόστους παραγωγής συγκριτικά με τις κλασσικές μεθόδους αποτύπωσης.

Το σύστημα σάρωσης προσδιορίζει την τρισδιάστατη γεωμετρία των φυσικών επιφανειών η οποία απεικονίζεται σε μορφή πυκνών σημείων (point cloud). Κατά τη διάρκεια της σάρωσης χιλιάδες μεμονωμένες τρισδιάστατες μετρήσεις εμφανίζονται δημιουργώντας σε πραγματικό χρόνο μια τρισδιάστατη απεικόνιση της λήψης. Επιπλέον, με την καταγραφή της τιμής της έντασης της επιστρεφόμενης ακτινοβολίας, προκύπτει χρήσιμη πληροφορία για την υφή της επιφάνειας των σχηματισμών των σπηλαίων.

Στην εργασία αυτή διερευνούνται οι δυνατότητες και οι προϋποθέσεις εφαρμογής της μεθοδολογίας της τρισδιάστατης σάρωσης στις αποτυπώσεις σπηλαίων και παρουσιάζεται εφαρμογή της μεθόδου που πραγματοποιήθηκε σε τμήμα του σπηλαίου Αγ. Γεωργίου Κιλκίς.

### 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η καταγραφή των σπηλαίων, στην πρώτη φάση που ακολουθεί την ανακάλυψή τους, μπορεί να γίνει με τη χρήση απλών μέσων όπως κλισίμετρα, μετροταινίες. Η συστηματική όμως μελέτη των σπηλαίων απαιτεί την ύπαρξη αξιόπιστου και λεπτομερούς υποβάθρου σε κατάλληλη μορφή και κλίμακα έτσι ώστε να ικανοποιεί οποιοδήποτε γνωστικό αντικείμενο των γεωεπιστημών (γεωλογία, σπηλαιολογία, παλαιοντολογία, στατική, κ.α.) (Δογγούρης 1986, Κοντογιάννης 2001).

Για την ολοκληρωμένη τεκμηρίωση των σπηλαίων είναι αναγκαία η εφαρμογή τοπογραφικών μεθόδων, προσαρμοσμένων κάθε φορά στις ιδιαιτερότητες του αντικειμένου. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας δίνεται η δυνατότητα δημιουργίας τρισδιάστατων διαγραμμάτων των σπηλαίων (Horrocks 2002, Wierzbinski 1999).

## 2 ΑΠΟΤΥΠΩΣΕΙΣ ΣΠΗΛΑΙΩΝ

Για την συστηματική μελέτη και επέμβαση στα σπήλαια απαιτείται ένα λεπτομερειακό υπόβαθρο τεκμηρίωσης-αποτύπωσης της γεωμετρίας και μορφής τους. Οι κατηγορίες μελετών ανά γνωστικό αντικείμενο και τομέα μπορούν να χωριστούν όπως παρακάτω:

- Γεωλογικές μελέτες,
- Στατικές μελέτες,
- Μελέτες αξιοποίησης και ανάδειξης των σπηλαίων,
- Αρχαιολογικές και παλαιοντολογικές μελέτες.

Η αποτύπωση ενός σπηλαίου περιέχει τα στοιχεία εκείνα που είναι χρήσιμα στις παραπάνω κατηγορίες μελετών. Έτσι, οι απαιτήσεις σε ότι αφορά το θεματικό περιεχόμενο και την ακρίβεια της αποτύπωσης διαφέρουν ανάλογα με το είδος της μελέτης.

Για την ολοκληρωμένη τεκμηρίωση ενός σπηλαίου και κάλυψη των αναγκών του μεγαλύτερου ποσοστού των χρηστών, ορίζεται ένα ελάχιστο περιεχόμενο των προς αποτύπωση σπηλαίων με βάση το οποίο ορίζεται και η μεθοδολογία αποτύπωσης που ακολουθείται. Έτσι λοιπόν η αποτύπωση των σπηλαίων περιλαμβάνει κατ' ελάχιστο τα εξής:

- Οριζοντιογραφική και υψομετρική ένταξη στο κρατικό γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς,
- Αποτύπωση του υπερκείμενου του σπηλαίου εδάφους,
- Οριζόντιες τομές του σπηλαίου σε διάφορα ύψη,
- Κατακόρυφες κατά μήκος και εγκάρσιες τομές σε διάφορες θέσεις,
- Οριζοντιογραφική αποτύπωση του δαπέδου του σπηλαίου.

Η κλίμακα αποτύπωσης που χρησιμοποιείται τις περισσότερες φορές είναι η 1:500. Σε πολλές περιπτώσεις όμως επιλέγεται μικρότερη κλίμακα (1:1000), όπως σε πολύ μεγάλα σπήλαια ή μεγαλύτερες κλίμακες (1:200, 1:100) για την ανάγκη στατικών μελετών στα σπήλαια ή ακόμα μεγαλύτερη (1:50, 1:20) σε περιπτώσεις ειδικών μελετών ή αρχαιολογικών τεκμηριώσεων (Δογγούρης 1986).

Οι αποτυπώσεις σπηλαίων ανήκουν στην κατηγορία των υπόγειων αποτυπώσεων. Πραγματοποιούνται σε ένα ιδιότυπο περιβάλλον, σε ότι αφορά όχι μόνο τις συνθήκες του ίδιου του σπηλαίου (δυσμενείς συνθήκες φωτισμού, υγρασίας κ.α.) αλλά επίσης και τις δυσκολίες που προκύπτουν από την τοποθέτηση των οργάνων και την κυκλοφορία του συνεργείου λόγω περιορισμένου χώρου. Η εξάρτηση του εσωτερικού με το εξωτερικό δίκτυο (κρατικό σύστημα αναφοράς) αποτελεί μια επίπονη διαδικασία. Συνήθως, λόγω των μεγάλων κλίσεων στο εσωτερικό των σπηλαίων η χρήση γεωμετρικής χωροστάθμησης είναι αδύνατη και άλλες μέθοδοι υψομετρίας εφαρμόζονται. Επίσης, λόγω του ότι τα σπήλαια συνήθως έχουν μια είσοδο το υπόγειο τοπογραφικό δίκτυο είναι προσανατολισμένα και εξαρτημένα στο ένα μόνο άκρο.

Όλα τα παραπάνω καθιστούν την καταγραφή, αποτύπωση και τεκμηρίωση ενός σπηλαίου επίπονη και ιδιαίτερα δύσκολη διαδικασία.

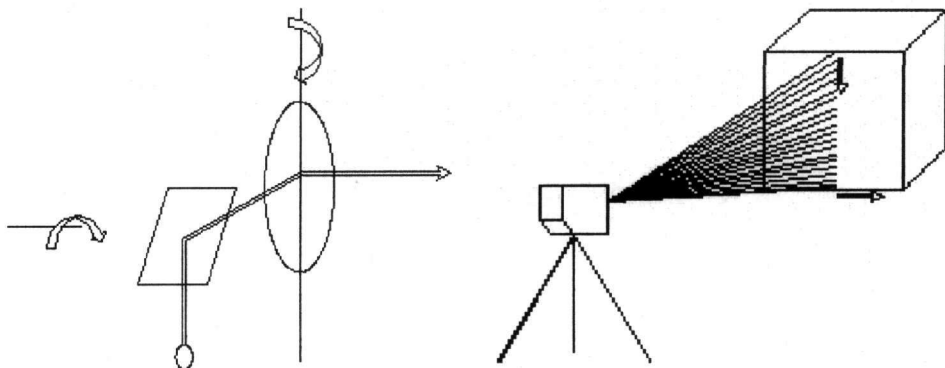
## 3 ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΣΑΡΩΣΗΣ

Ένας τρισδιάστατος σαρωτής είναι οποιαδήποτε συσκευή που συλλέγει συντεταγμένες τριών διαστάσεων ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) αυτόματα και συστηματικά, μιας συγκεκριμένης περιοχής ή ενός αντικείμενου, με υψηλό ρυθμό συλλογής σημείων και πετυχαίνοντας αποτελέσματα (3D model) σε πραγματικό χρόνο.

Οι επίγειοι σαρωτές ανάλογα με την αρχή που χρησιμοποιούν για την μέτρηση αποστάσεων σαρωτή-στόχου διακρίνονται σε:

1. Time of flight σαρωτές (TOF)
  - Ranging σαρωτές
  - Phase comparison σαρωτές
2. Triangulation σαρωτές

Στη συγκεκριμένη μελέτη θα αναφερθούμε σε σύστημα σάρωσης TOF. Πρόκειται για ένα φορητό σύστημα, που η λειτουργία του βασίζεται στην εκπομπή και λήψη ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.



Σχήμα 1. Σύστημα λειτουργίας τρισδιάστατου σαρωτή.

Ο σαρωτής εκπέμπει παλμούς λέιζερ. Το παλλόμενο λέιζερ σχηματίζει μια δέσμη η οποία υλοποιεί ένα κατακόρυφο επίπεδο που καθοδηγείται στο χώρο από ένα σύστημα περιστρεφόμενων καθρεφτών, που βρίσκονται στο εσωτερικό του. Η δέσμη της ακτινοβολίας κινείται κατά την οριζόντια έννοια εντός μιας γωνίας (εύρος σάρωσης) (Σχ. 1). Το εύρος της γωνίας δέσμης ορίζει το οπτικό πεδίο του σαρωτή και καθορίζεται από τον κατασκευαστή.

Όταν η δέσμη προσπίπτει στο αντικείμενο, ανακλάται και επιστρέφει στο δέκτη όπου και καταγράφεται ο χρόνος μετάβασης-επιστροφής της καθώς και η τιμή  $I$  της έντασης της επιστρεφόμενης ακτινοβολίας. Τα δεδομένα αυτά καταγράφονται στην καταγραφική μονάδα του σαρωτή και μεταφέρονται στη μονάδα ελέγχου όπου και επεξεργάζονται. Η σάρωση του προς αποτύπωση αντικειμένου προκύπτει σαν διαδοχική σειρά στηλών διαδοχικών σημείων που σχηματίζουν μια τρισδιάστατη εικόνα.

Οι σαρωτές καταγράφουν στην καταγραφική τους μονάδα τα παρακάτω στοιχεία :

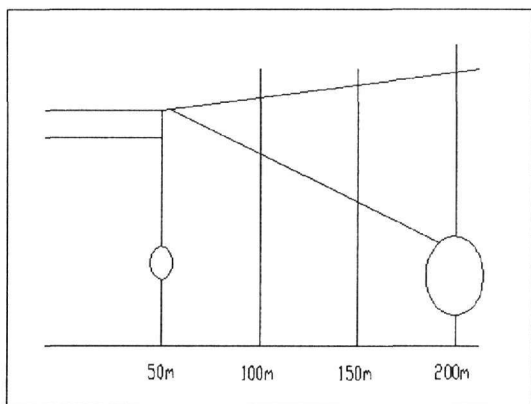
1. χρόνο μετάβασης - επιστροφής του σήματος εκπομπής
2. γωνίες σάρωσης - οι γωνίες με τις οποίες εκπέμπεται η δέσμη από το σαρωτή (κατακόρυφη γωνία)
3. ένταση  $I$  της επιστρεφόμενης ακτινοβολίας.

Από τα στοιχεία αυτά προκύπτουν: η απόσταση σαρωτή-σημείου, οι πολικές συντεταγμένες των σημείων της επιφάνειας που σαρώνεται, και η τιμή της έντασης  $I$  της επιστρεφόμενης ακτινοβολίας. Από τις πολικές συντεταγμένες υπολογίζονται στη συνέχεια αυτόματα οι καρτεσιανές συντεταγμένες  $(x, y, z)$  των σημείων του προς αποτύπωση αντικειμένου στο τρισσορθογώνιο σύστημα του σαρωτή. Έτσι, σε κάθε σημείο αντιστοιχεί η πληροφορία  $(x, y, z, I)$ , με συνέπεια να ορίζεται η θέση καθώς και η υφή του. Τα σημεία του αντικειμένου που αποτυπώνονται με την τεχνική της σάρωσης, παρουσιάζονται ενιαία με τη μορφή ενός νέφους σημείων (point cloud) που σχηματίζει και αποδίδει με ακρίβεια την τρισδιάστατη γεωμετρία του αντικειμένου που σαρώνεται.

Η απόδοση της τρισδιάστατης γεωμετρίας με νέφος σημείων και όχι με μεμονωμένα σημεία όπως γίνεται στις κλασσικές μεθόδους αποτύπωσης, αποδίδει όλες τις λεπτομέρειες της επιφάνειας που σαρώνεται, χωρίς κενά και ανακρίβειες, σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Με τη χρήση της τρισδιάστατης σάρωσης μπορεί κανείς να αποτυπώσει περισσότερα των 40 εκατομμυρίων σημείων μέσα σε μια ημέρα, κάτι αδιανόητο για τις κλασσικές μεθόδους αποτύπωσης. Το νέφος σημείων ενός αντικειμένου που έχει σαρωθεί αποτελεί δεδομένα έτοιμα για μετρήσεις από σημείο σε σημείο (αποστάσεις-γωνίες), τρισδιάστατη αναπαράσταση, μοντελοποίηση, παραγωγή ισούψων, αλλά και για εφαρμογές σε προγράμματα CAD (Boehler 2002).

### 3.1 Ακρίβεια των μετρήσεων

Η απόσταση του συστήματος από το προς αποτύπωση αντικείμενο κυμαίνεται από 1 – 200m. Ο ρυθμός σάρωσης του προς αποτύπωση αντικειμένου είναι της τάξης των 1000 σημείων ανά δευτερόλεπτο. Οι διαστάσεις της κουκίδας (spot) της δέσμης του παλλόμενου laser είναι 6mm σε απόσταση 50m ενώ σε αποστάσεις μεγαλύτερες των 50m η κουκίδα μεγαλώνει ανάλογα με την απόσταση (Σχ. 2).



Σχήμα 2. Διάγραμμα μεταβολής διάστασης κουκίδας της δέσμης του laser

Η ακρίβεια μέτρησης των αποστάσεων είναι της τάξης των  $\pm 4\text{mm}$ , ενώ η ακρίβεια μέτρησης των γωνιών είναι της τάξης των  $\pm 60\text{mrad}$ . Οι μοντελοποιημένες επιφάνειες προκύπτουν με ακρίβεια  $\pm 2\text{mm}$ . Με την ολοκλήρωση της σάρωσης ενός αντικειμένου προκύπτει το νέφος σημείων που αποτυπώνει τη γεωμετρία του στο χώρο. Με την καταγραφή της τρισδιάστατης γεωμετρίας του αντικειμένου, οι πολικές συντεταγμένες των σημείων της επιφάνειάς του αναφέρονται με αρχή του συστήματος τη θέση του σαρωτή, η οποία αποτελεί και την αρχή του συστήματος συντεταγμένων (Τσάμου 2003).

Στις περισσότερες από τις εφαρμογές προκύπτει η ανάγκη για ένταξη των συντεταγμένων των σημείων του αντικειμένου σε ενιαίο σύστημα αναφοράς. Απαιτείται δηλαδή η γεωαναφορά του αντικειμένου, προκειμένου να μπορεί να χρησιμεύσει και σε άλλες εφαρμογές. Για την ένταξη μιας σάρωσης σε ένα σύστημα αναφοράς, αρκεί να υπολογίσουμε στο επιθυμητό σύστημα τις θέσεις κάποιων σημείων του αντικειμένου.

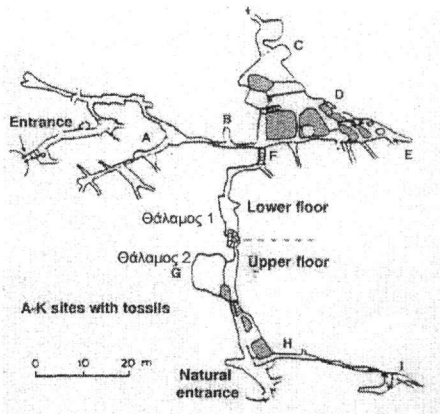
Υπάρχουν δύο τρόποι για την ένωση των σαρώσεων. Σύμφωνα με τον πρώτο γίνεται χρήση ειδικών στόχων στο πεδίο, ενώ με τον δεύτερο τρόπο γίνεται χρήση ομόλογων σημείων των επικαλυπτόμενων περιοχών στις γειτονικές σαρώσεις. Η επιλογή του τρόπου για την ένωση των σαρώσεων εξαρτάται από τις δυνατότητες που παρέχει ο σαρωτής, το λογισμικό που τον συνοδεύει, αλλά και τις απαιτήσεις ακριβείας του τελικού προϊόντος. Στην περίπτωση που η έκταση ή η τοποθέτηση ή ιδιομορφία του υπό μελέτη αντικειμένου είναι τέτοια, ώστε να απαιτείται η σάρωσή του από πολλές πλευρές-όψεις ώστε να αποδοθεί η γεωμετρία του, η ένταξη των πολλαπλών σαρώσεων σε ενιαίο σύστημα αναφοράς πραγματοποιείται με την ένταξη των θέσεων σημείων του αντικειμένου στο σύστημα συντεταγμένων, για κάθε σάρωση.

#### 4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΤΟ ΣΠΗΛΑΙΟ ΑΓ. ΓΕΩΡΓΙΟΥ ΚΙΛΚΙΣ

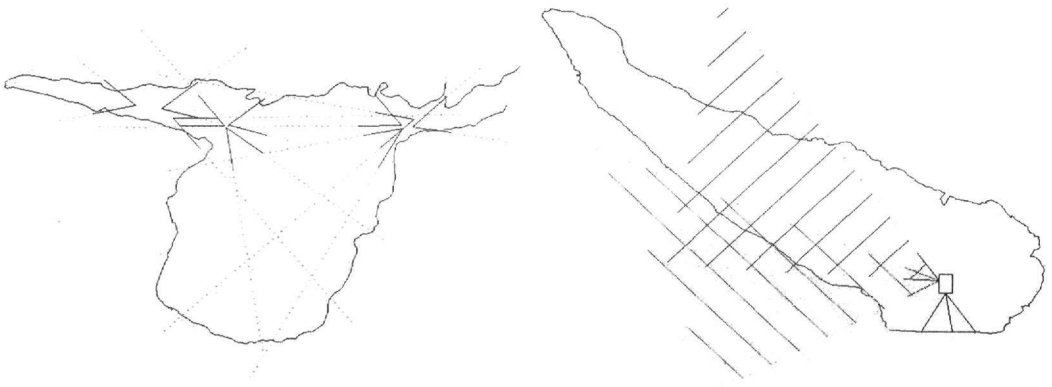
Το σπήλαιο βρίσκεται στο λόφο του Αγίου Γεωργίου στην πόλη του Κιλκίς. Ανακαλύφθηκε τυχαία το 1925 και το 1960 έγινε η πρώτη χαρτογράφηση του από την Άννα Πετροχείλου. Το 1977 αρχίζουν οι εργασίες αξιοποίησης του σπηλαίου, ενώ το 1986 το σπήλαιο άνοιξε για το κοινό.

Το σπήλαιο παρουσιάζει έναν πρωτότυπο σχηματισμό (κατακόρυφη διάνοιξη), με διακλαδώσεις που σε παράλληλες και κάθετες διευθύνσεις παρουσιάζουν ψηλές οροφές και στενούς διαδρόμους. Αποτελείται από δύο ορόφους, με μήκος 500 μέτρα και έκταση που υπερβαίνει συνολικά τα 1600 τετραγωνικά μέτρα.

Οι σαρώσεις για τη δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου έγινε σε τμήμα του σπηλαίου. Συγκεκριμένα αποτυπώθηκαν δύο θάλαμοι του σπηλαίου, ο θάλαμος του «Ναού» και των «Κοραλλένιων Διαμερισμάτων» (Πετροχείλου 1985) (Σχ. 3). Για την τρισδιάστατη αποτύπωση των θαλάμων πραγματοποιήθηκαν συνολικά 42 σαρώσεις. Στο σχήμα 4 δίνεται σχηματικό παράδειγμα της θέσης και του τρόπου σάρωσης.



Σχήμα 3. Διάγραμμα σαρώσεων σε κάτοψη και όψη



Σχήμα 4. Σχηματικό παράδειγμα σαρώσεων σε κάτοψη και όψη

Η ανάλυση της σάρωσης ήταν 1000x1000. Δηλαδή σαρώθηκαν 1000x1000 σημεία οριζόντια και κατακόρυφα, κάτι που αντιστοιχεί σε ένα μέσο βήμα 3x4mm. Ο χρόνος ολοκλήρωσης κάθε σάρωσης καθορίστηκε από το μέγεθος του τμήματος του αντικειμένου που σαρωνόταν. Ο μέσος χρόνος σάρωσης ήταν περίπου 15 λεπτά.

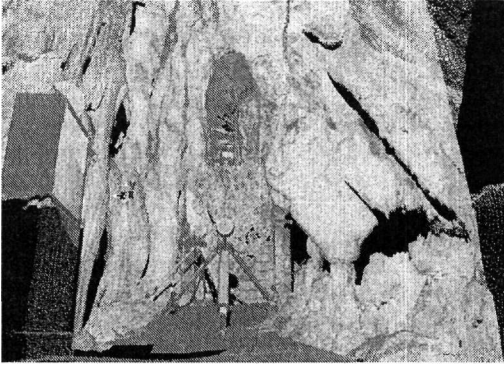
Κατά την διάρκεια των σαρώσεων υπήρχε η δυνατότητα σε πραγματικό χρόνο "περιήγησης" στο προς σάρωση αντικείμενο, με αποτέλεσμα σε περίπτωση εντοπισμού κενών ή ανεπαρκούς κάλυψης, να επαναληφθεί η σάρωση των τμημάτων αυτών. Η εργασία στο πεδίο ήταν διάρκειας 23 ωρών.

Οι σαρώσεις ενώθηκαν μεταξύ τους με τη μέθοδο των ομολόγων σημείων. Λόγω της πολυπλοκότητας των σχηματισμών στους θαλάμους του σπηλαίου, για την ένωση των σαρώσεων χρησιμοποιήθηκαν και σφαιρικοί στόχοι (tie points) ώστε να εξασφαλίζεται η "σκόπηση" του ίδιου σημείου. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι τιμές των μέσων τετραγωνικών σφαλμάτων για τις ενώσεις κάθε σάρωσης.

Πίνακας 1. Τιμές μέσων τετραγωνικών σφαλμάτων ένωσης σαρώσεων

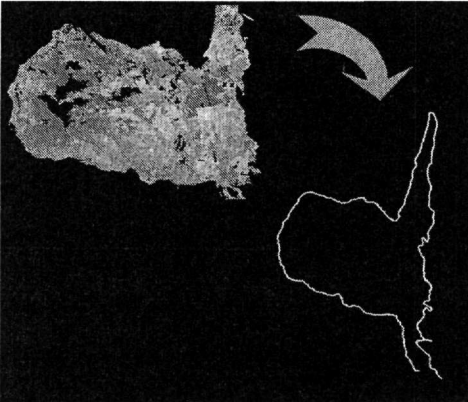
Registration	RMS (m)	Min (m)	Max (m)	Std Dev (m)	Avg (m)
Θάλαμος 1	0.0121	$1.5 \times 10^{-3}$	0.060	0.009	0.007
Θάλαμος 2	0.0207	$5.0 \times 10^{-3}$	0.050	0.012	0.016

Δημιουργήθηκαν δύο αρχεία νέφους σημείων για κάθε ένα θάλαμο. Το σύνολο των σαρώσεων αποτελεί ένα αρχείο 865 MB και περιέχει 15.190.185 σημεία ο πρώτος θάλαμος (Σχ. 5) και 19.341.396 ο δεύτερος.

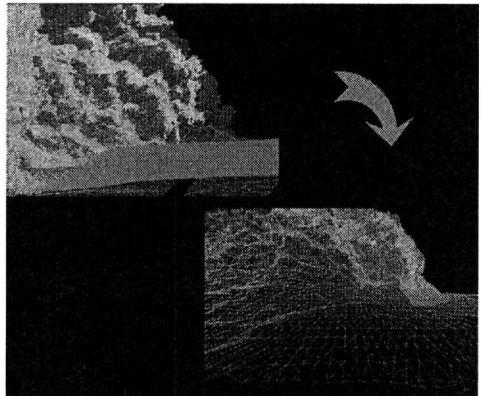


Σχήμα 5. Τρισδιάστατη απεικόνιση του θαλάμου «Ναός».

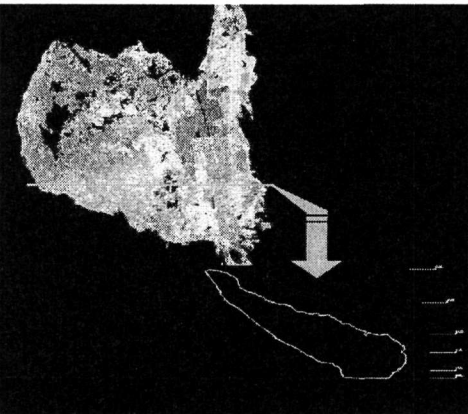
Από την αποτύπωση προέκυψε η οριζοντιογραφία των θαλάμων (Σχ. 6), κατακόρυφες κατά μήκος και εγκάρσιες τομές (Σχ. 8, 9), καθώς και δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου (Σχ. 7). Η επεξεργασία των αρχείων αυτών έγινε στο λογισμικό Cyclone 4.1 – CYRA Tech. Τα αποτελέσματα φαίνονται στα παρακάτω σχέδια.



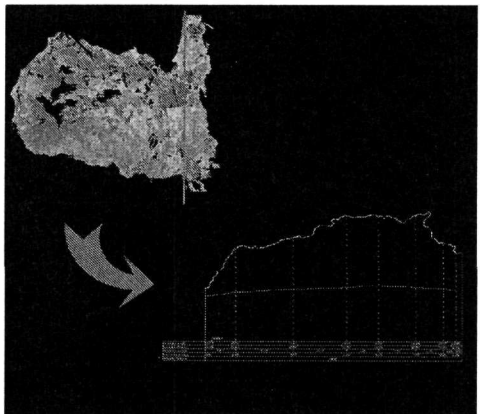
Σχήμα 6. Οριζοντιογραφία 2<sup>ου</sup> θαλάμου.



Σχήμα 7. Δημιουργία mesh σε τμήμα του 2<sup>ου</sup> θαλάμου.



Σχήμα 8. Δημιουργία εγκάρσιας τομής.



Σχήμα 9. Δημιουργία μηκοτομής.

## 5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα τελευταία χρόνια είναι πλέον επιτακτική η ανάγκη παραγωγής ψηφιακών τρισδιάστατων μοντέλων προκειμένου για τη μελέτη και έρευνα σύνθετων και πολύπλοκων αντικειμένων. Την ανάγκη αυτή έρχεται να καλύψει η μέθοδος της τρισδιάστατης σάρωσης, η οποία αποτελεί μια σύγχρονη, σε παγκόσμιο επίπεδο, μέθοδο. Με τη χρήση της τρισδιάστατης σάρωσης, μεγάλος αριθμός δεδομένων μπορούν να μετρηθούν με υψηλή ακρίβεια σε μικρό χρονικό διάστημα για την παραγωγή ψηφιακών τρισδιάστατων μοντέλων.

Μεταξύ των σημαντικών πλεονεκτημάτων της μεθόδου συγκαταλέγονται ο μικρός σχετικά χρόνος συλλογής και επεξεργασίας των δεδομένων και παραγωγής των προϊόντων καθώς και το χαμηλό κόστος παραγωγής τρισδιάστατης πληροφορίας, ενώ ένα από τα προβλήματα που παρουσιάζονται είναι ο μεγάλος όγκος των αρχείων που προκύπτουν.

Στη συγκεκριμένη εργασία διερευνούνται οι δυνατότητες εφαρμογής της μεθοδολογίας της τρισδιάστατης σάρωσης στις αποτυπώσεις σπηλαίων. Τα αποτελέσματα της παραπάνω εφαρμογής δείχνουν ότι η τρισδιάστατη σάρωση αποτελεί μια αξιόπιστη μέθοδο για τη δημιουργία τρισδιάστατου υποβάθρου προκειμένου να χρησιμοποιηθεί για την περαιτέρω μελέτη του σπηλαίου.

Η χρήση της τρισδιάστατης σάρωσης αποτελεί μια εναλλακτική μεθοδολογία και ένα σημαντικό εργαλείο. Παρόλα αυτά σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να θεωρηθεί ότι μπορεί ή πρέπει να αντικαταστήσει τις κλασικές μεθόδους αποτύπωσης. Ο συνδυασμός των μεθόδων της τοπογραφίας και της φωτογραμμετρίας με τη χρήση της 3D σάρωσης αποτελεί πρόκληση και ανάγκη για την εκτέλεση σύνθετων και ολοκληρωμένων εργασιών μέτρησης και απόδοσης τρισδιάστατης πληροφορίας.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστούμε τον Δήμο Κιλκίς και ιδιαίτερα τον Δήμαρχο κ. Δ. Τερζίδη, για τη φιλοξενία κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, καθώς και τον σπηλαιολόγο Β. Μακρίδη για την βοήθειά του και τις χρήσιμες πληροφορίες που μας παρέιχε σχετικά με την ιστορία του σπηλαίου.

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Boehler, W., Marbs, A., 2002, *3D Scanning Instruments*, ICOMOS/ISPRS, GREECE, 9pp.
- Δογγούρης, Σ., Ν., Μακρής, Γ., Ν., Μπαλοδήμος, Δ., Δ., 1986, *Αποτυπώσεις σπηλαίων, Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης και τεκμηρίωσης μνημείων και αρχαιολογικών χώρων*, ΚΕΔΑΚ-ΤΕΕ ΚΜ-ΣΑΤΜΒΕ, Θεσσαλονίκη, 188-222.
- Hogrocks, R., D., 2002, *Developing a cave potential map for South Dakota's wind cave using GIS*, ArcNews Online.
- Κοντογιάννη, Β., Α., Στείρος, Σ., Κ., 2001, *Γεωδαιτική μέθοδος παρακολούθησης των παραμορφώσεων σπηλαίων*, Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τόμος XXXIV/5, 1671-1677.
- Πετροχείλου, Α., 1985, *Τα σπήλαια της Ελλάδας*, εκδοτική Αθηνών.
- Τσάμου, Κ., 2003, *Συλλογή υψομετρικής πληροφορίας με χρήση σαρωτών εκπομπής δέσμης laser*, ΕΜΠ-TATM.
- Wierzbinski, B., 1999, *Out of the dark ages. New technology brings cave mapping into the 21<sup>st</sup> century*, Point of Beginning.

## ABSTRACT

### **THE USE OF THREE-DIMENSIONAL SCANNING AS METHODOLOGY OF 3D LASER SCANNING AT CAVES' SURVEYING. PRESENTATION AT AGIOS GEORGIOS CAVE OF KILKIS**

V. Pagounis, S. Kalikakis, P. Biza

*Laboratory of Survey, Department of Land Surveying, T.E.I. Athens*

H. Papadopoulos

*HCB, Antifilou 3, Athens*

The systematic study of the caves demands the existence of a reliable and detailed background at a suitable form and scale so as to satisfy any cognitional subject of the geosciences (geology, speleology, paleontology, statics, e.t.c). The composite geometry as well as the complexity of the schematisms is the main characteristics that make recording, surveying and validation of a cave an especially difficult procedure.

The faddish conditions that are carried out at caves make the classical - traditional surveying methods (topography – photogrammetry) time consuming and unprofitable procedures.

The use of three-dimensional scanning is not only an alternative methodology but also a significant tool at caves' surveying. With this up-to-date method there can be produced very fast 3D digital models of high accuracy, easy modeled, cost effective comparatively to the classic surveying methods.

With the 3D laser scanner the three dimensions of the surfaces are determined and represented as a point-cloud. During the scanning thousands of separate 3D points are measured and the 3D model of the scan is represented in real-time. Additionally, by the recording of the intensity of the reflected radiation, useful information can be obtained for the texture of the surface.

This paper deals with the study of the capabilities and the preconditions for the usage of the methodology of 3D laser scanning at caves' surveying. A case study of this methodology is represented that took place at a part of Agios Georgios cave , Kilkis region.