

# Η Φωτογραμμετρία ως μετρητικό εργαλείο

του Α. Γεωργόπουλου\*

## 1. ΓΝΩΡΙΜΙΑ

### 1.1 Θεμελιώδεις έννοιες

Στη διάρκεια των τελευταίων πενήντα χρόνων, αλλά ιδιαίτερα την τελευταία δεκαετία με την ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών, η επιστήμη της Φωτογραμμετρίας αναπτύχθηκε σε ένα πεδίο σημαντικής τεχνικής και επαγγελματικής οπουδιότητας, τόσο στο εξωτερικό όσο και στη χώρα μας. Η εντυπωσιακή αυτή εξέλιξη δημιούργησε αφ' ενός ένα κενό στην πληροφόρηση των άλλων Επιστημών και ειδικότερα Μηχανικών, που θα μπορούσαν να επωφεληθούν από την εφαρμογή της Φωτογραμμετρίας στον τομέα τους, και αφ' ετέρου το πρόβλημα της απλοποίησης του θέματος στο ακροατήριο αυτό των Μηχανικών και άλλων Επιστημών εκ μέρους του Τοπογράφου Φωτογραμμέτη Μηχανικού.

Είναι γεγονός ότι σε πολλές περιπτώσεις αρκεί μόνο να δοθεί στον ενδιαφερόμενο μια γενική εικόνα και εκτίμηση του θέματος με απλά και κατανοητά λόγια, ώστε να μη δημιουργηθούν περίπλοκα προβλήματα και παρεξήγηση εννοιών. Το άρθρο αυτό έχει ως στόχο να παρουσιάσει απλοποιημένες τις βασικές έννοιες της Φωτογραμμετρίας και ορισμένες εφαρμογές της τεχνικής αυτής, ώστε να βοηθηθούν οι άλλοι Μηχανικοί και Επιστήμονες να αντιληφθούν τη χρησιμότητα και σημασία της για τον δικό τους κλάδο.

Η Διεθνής Εταιρεία Φωτογραμμετρίας και Τηλεπισκόπησης (ISPRS) ορίζει την Φωτογραμμετρία ως

"την Τέχνη, Τεχνική και Επιστήμη απόκτησης αξιόπιστων πληροφοριών για φυσικά αντικείμενα και το περιβάλλον μέσα από διαδικασίες καταγραφής, μέτρησης και ερμηνείας φωτογραφικών εικόνων και προτύπων εκπαιδευμένης ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας και άλλων φαινομένων".

Είναι φανερό ότι ο ορισμός αυτός δεν μας περιορίζει σε κάποιο συγκεκριμένο είδος φωτογραφίας (πχ. αεροφωτογραφία) ούτε σε κάποια συγκεκριμένη εφαρμογή (πχ. χαρτογράφηση). Γενικά η Φωτογραμμετρία είναι μία μεθοδολογία, ένα εργαλείο για εκτέλεση μετρήσεων στο χώρο, μετρήσεων δηλαδή που αφορούν αντιληπτές διαστάσεις, γεωμετρικά μεγέθη. Με απλά λόγια, μεγέθη όπως μήκος, εμβαδόν, όγκο, μέγεθος, σχήμα, θέση, διεύθυνση κλπ., σε αντίθεση με μεγέθη όπως πίεση, τάση,

ταχύτητα. Συχνά πάντως, οι χωρικές αυτές μετρήσεις είναι συσχετισμένες με τον προσδιορισμό άλλων μεταβλητών, όπως πχ. ο προσδιορισμός της ταχύτητας από τη μέτρηση απόστασης και χρόνου.

Με βάση αυτά που ειπώθηκαν παραπάνω, μπορεί να θεωρηθεί η Φωτογραμμετρία ως το εργαλείο μέτρησης και αποτύπωσης ενός αντικειμένου ή φαινομένου που φωτογραφήθηκε. Συμπερασματικά, οτιδήποτε είναι δυνατόν να φωτογραφηθεί, μπορεί και να αποτυπωθεί.

Ουσιαστικά η Φωτογραμμετρία είναι μια αναλογική συγκριτική διαδικασία. Με τον όρο αυτό εννοείται ότι γίνεται αντικατάσταση του αντικειμένου που εξετάζεται, από κάποιο άλλο φυσικό σύστημα. Είναι γεγονός άλλωστε, ότι η χρήση μηχανικών, υδραυλικών, ηλεκτρικών ή και αναλυτικών αναλόγων είναι αρκετά συνηθισμένη στην πρακτική των Μηχανικών σήμερα, ιδιαίτερα για την μελέτη και μέτρηση αντικειμένων ή φαινομένων που παρουσιάζουν ενδιαφέρον.

Πιο ειδικά μετράται ένα ακριβές τριδιάστατο μοντέλο του αντικειμένου. Με άλλα λόγια δημιουργείται ένα μοντέλο, πιστό αντίγραφο της πραγματικότητας, και μετράται αυτό αντί για το ίδιο το αντικείμενο που ενδιαφέρει. Το μοντέλο αυτό μπορεί να είναι οπτικό ή οπτικομηχανικό ή ακόμη και καθαρά αναλυτικό (μαθηματικό) μοντέλο.

### 1.2 Πεδία εφαρμογής

Συνοψίζοντας, η Φωτογραμμετρία είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση κάθε αντικειμένου ή φαινομένου που μπορεί να φωτογραφηθεί. Συνήθως η Φωτογραμμετρία πλεονεκτεί σε περιπτώσεις που η άμεση μέτρηση του αντικειμένου είναι σχεδόν αδύνατη, δύσκολη ή αντιοικονομική.

Παρακάτω δίνονται ενδεικτικά κατηγορίες αντικειμένων, για τη μελέτη των οποίων κανείς αξίζει να εφαρμόσει τη Φωτογραμμετρία:

1. Αντικείμενο πολύ μεγάλο (πχ. τμήμα της γήινης επιφάνειας)
2. Αντικείμενο πολύ μικρό (πχ. κρύσταλλος φωτογραφημένος με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο)
3. Αντικείμενο κινητό (πχ. κατασκευή που βρίσκεται κάτω από δυναμική φόρτιση)
4. Αντικείμενο μεταβλητό (πχ. κάποιο υδραυλικό φαινόμενο ή μελέτη παγετών)

(\*) Ο Α. Γεωργόπουλος είναι Επικ. Καθηγητής στο Τμ. Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ.



5. Αντικείμενο απρόσιτο (πχ. τρούλος εκκλησίας)

6. Αντικείμενο πολύπλοκο (πχ. ανθρώπινο σώμα)

Φυσικά ένα αντικείμενο θα μπορούσε να ανήκει ταυτόχρονα σε περισσότερες από μία από τις παραπάνω κατηγορίες. Μαζί με αυτές θεωρείται σκόπιμο να αναφερθούν και μερικές άλλες, που όμως δεν αφορούν τη φύση του αντικειμένου, αλλά τις ανάγκες που παρουσιάζονται κατά τη μελέτη κάποιου τεχνικού προβλήματος. Η Φωτογραμμετρία λοιπόν εφαρμόζεται και όταν:

α. Απαιτούνται ισοϋψείς καμπύλες της επιφάνειας του αντικειμένου ή γενικότερα αναπαράσταση του αναγλύφου του αντικειμένου, συνήθως με μαθηματικό τρόπο δηλαδή με ένα Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους.

β. Δεν είναι σίγουρο αν οι μετρήσεις θα χρειαστούν ή όχι.

γ. Δεν είναι γνωστό από πριν ποιές μετρήσεις θα χρειαστούν και πότε.

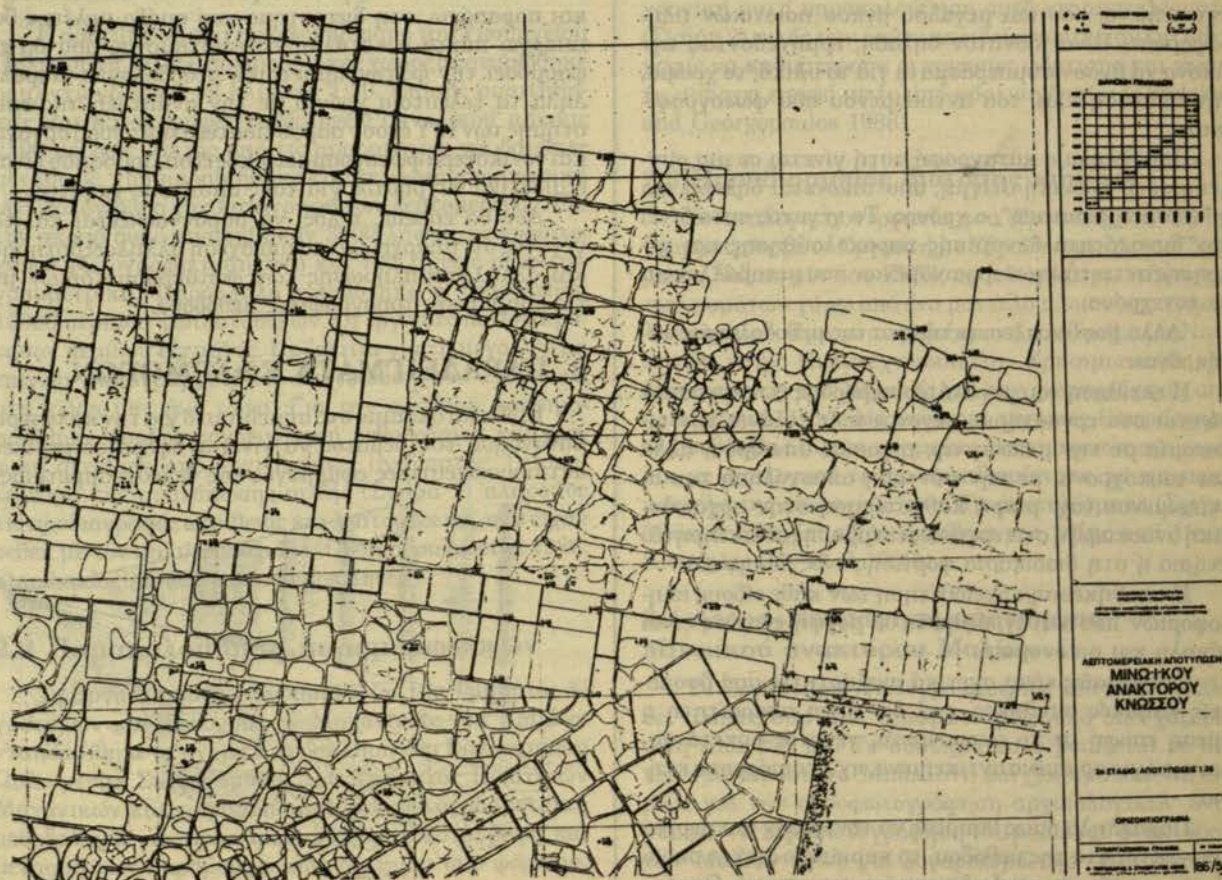
Στη χώρα μας πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στις τελευταίες αυτές κατηγορίες με απώτερο στόχο την δημιουργία ενός φωτογραφικού και ταυτόχρονα μετρητικού αρχείου όλων των μνημείων, θησαυρών της αρχαίας και νεώτερης πολιτιστικής μας κληρονομιάς, ώστε να υπάρχουν όλα τα απαραίτητα τεχνικά στοιχεία

για να αντιμετωπιστεί κάθε επακόλουθο ενδεχόμενη ξαφνική καταστροφή.

Ειδικότερα για τις επίγειες εφαρμογές στην αποτύπωση μνημείων κάθε είδους, πρέπει να τονιστεί ότι η Φωτογραμμετρία αποτελεί το καταλληλότερο εργαλείο με το οποίο ο μελετητής θα αποκτήσει ένα αξιόπιστο μετρητικό υπόβαθρο (σχέδιο, διάγραμμα, χάρτη) που κρίνεται σήμερα για απαραίτητο για να προχωρήσει στις επεμβάσεις του. Για το λόγο αυτό στην ομάδα μελέτης, που πρέπει να είναι διεπιστημονική, υπάρχει πάντοτε ο κατάλληλος επιστήμονας (συνήθως ο Τοπογράφος Μηχανικός) που θα εφαρμόσει με τον πιο ενδεδειγμένο τρόπο την μεθοδολογία αυτή.

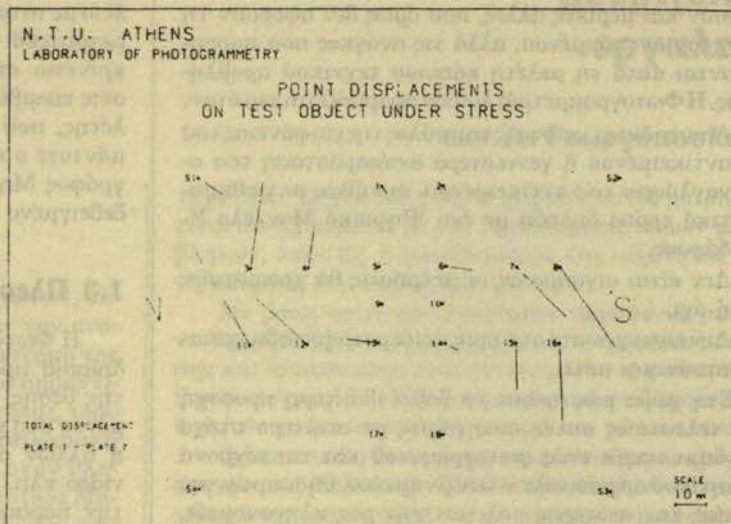
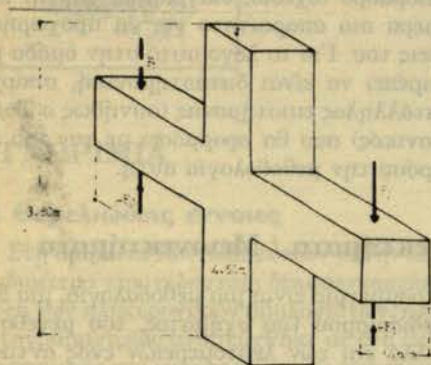
### 1.3 Πλεονεκτήματα / Μειονεκτήματα

Η Φωτογραμμετρία είναι μια μεθοδολογία, μια διαδικασία προσδιορισμού του σχήματος, του μεγέθους, της θέσης, αλλά και των λεπτομερειών ενός αντικειμένου στο χώρο, με τη βοήθεια φωτογραφικών λήψεων ή άλλων απεικονίσεων, δηλαδή ψηφιακών εικόνων, video κλπ. Σημαντικό πλεονέκτημα που απορρέει από την παραπάνω θέση είναι η ταυτόχρονη καταγραφή τόσο της απαραίτητης μετρητικής πληροφορίας για το



Σχήμα 1





Σχήμα 2.

αντικείμενο, όσο και μεγάλου όγκου ποιοτικών πληροφοριών. Είναι δυνατόν δηλαδή, ερμηνεύοντας την εικόνα να βγουν συμπεράσματα για το υλικό, το χρώμα, την σύσταση κλπ. του αντικειμένου που φωτογραφίζεται.

Παράλληλα η καταγραφή αυτή γίνεται σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή, αποτυπώνεται δηλαδή και η "τέταρτη διάσταση", ο χρόνος. Το γεγονός αυτό δίνει την δυνατότητα δυναμικής παρακολούθησης και μέτρησης αντικειμένων ή φαινομένων που μεταβάλλονται με τον χρόνο.

Άλλα βασικά πλεονεκτήματα της μεθοδολογίας αυτής είναι:

Η εκτέλεση του μεγαλύτερου μέρους των εργασιών γίνεται στο εργαστήριο, γεγονός που αυξάνει την οικονομία με την μείωση της εργασίας υπαίθρου, αλλά και ταυτόχρονα, με την σύντομη απασχόληση του αντικειμένου (πχ. μικρή καθυστέρηση στην αρχαιολογική ανασκαφή ή στις εργασίες επέμβασης σε διατηρητέο κτήριο ή στη διαδικασία φόρτισης ενός δοκιμίου).

Η αποθήκευση/αρχαιοθήτηση των κάθε είδους πληροφοριών που καταγράφηκαν σε μορφή εικόνας είναι εύκολη και οικονομική.

Οι εργασίες είναι σχετικά ανεξάρτητες από δυσμενείς καιρικές συνθήκες, ενώ δεν είναι απαραίτητη η άμεση επαφή με το αντικείμενο, γεγονός αρκετά σημαντικό για ορισμένα αντικείμενα, πχ. ετοιμόρροπα κτήρια.

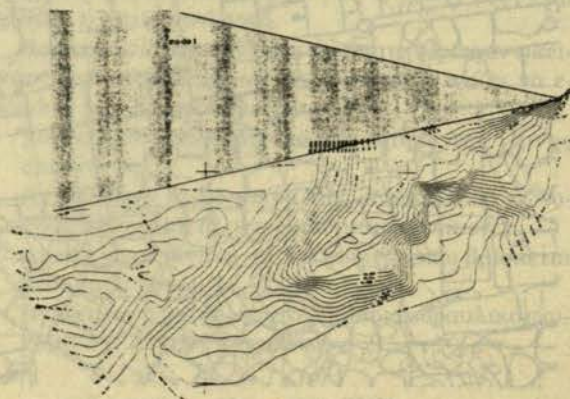
Παράλληλα όμως θάπρεπε να τονιστούν και μερικά μειονεκτήματα της μεθόδου, το κυριότερο από τα οποία είναι η απαίτηση σε εξειδικευμένο προσωπικό. Ωστόσο αυτό δεν είναι πια άξιο λόγου, μια και, όπως αναφέρθηκε

και παραπάνω, στη διεπιστημονική ομάδα μελέτης θα υπάρχει πάντα ο κατάλληλος επιστήμονας που θα εφαρμόσει την φωτογραμμετρική μεθοδολογία. Παράλληλα τα τελευταία χρόνια με την ανάπτυξη της επιστήμης των Η/Υ έχουν παρουσιαστεί στην αγορά όργανα και γενικότερα φωτογραμμετρικές εξοπλισμούς που είναι εξαιρετικά εύχρηστος για τους αμύητους χρήστες.

Δεν θα έπρεπε, τέλος, να παραγνωρίζεται και το γεγονός ότι υπάρχει πάντα μια σχέση αλληλοεξάρτησης και αλληλοσυμπλήρωσης των φωτογραμμετρικών με τις συμβατικές τοπογραφικές μεθόδους.

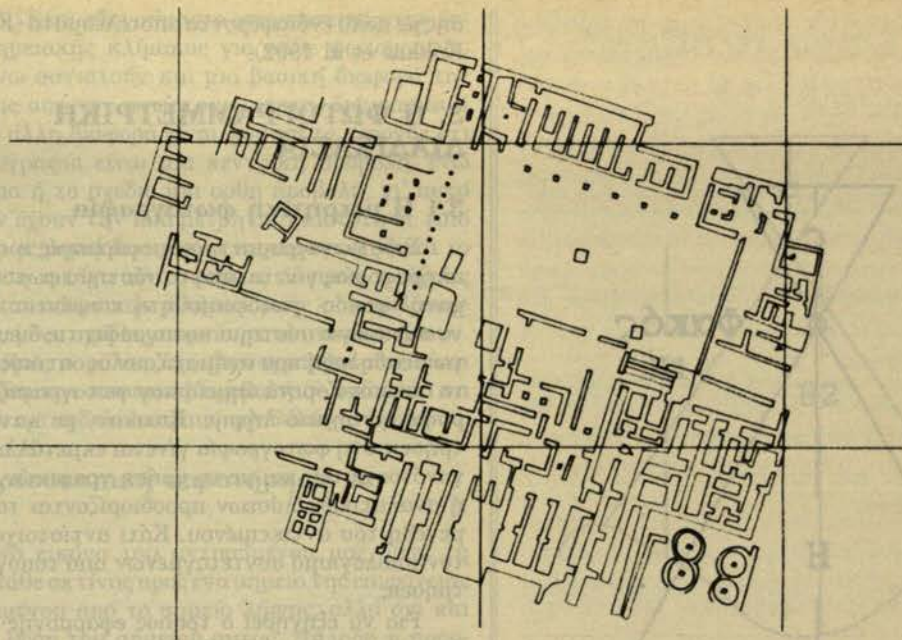
## 2. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

Κρίνεται σκόπιμο στο σημείο αυτό για την καλύτερη κατανόηση του θέματος να γίνει αναφορά σε μερικές αντιπροσωπευτικές εφαρμογές της Φωτογραμμετρίας.



Σχήμα 3.





Σχήμα 4

## 2.1 Λεπτομερής αποτύπωση του Μινωικού ανακτόρου της Κνωσού

Η αποτύπωση έγινε για λογαριασμό του Υπουργείου Πολιτισμού. Ολος ο αρχαιολογικός χώρος αποτυπώθηκε οριζοντιογραφικά σε κλίμακα 1:20. Επίσης απαιτήθηκαν και κατακόρυφες τομές/όψεις συνολικού μήκους 2500 μέτρων. Εκτός από τις απαραίτητες γεωδαιτικές μετρήσεις, χρησιμοποιήθηκε κυρίως φωτογραμμετρική μεθοδολογία για την καταγραφή των λεπτομερειών. Για τον σκοπό αυτό απαιτήθηκαν 3000 λήψεις με ερασιτεχνική φωτογραφική μηχανή και 700 λήψεις με φωτογραμμετρική. Παράλληλα χρειάστηκε η τοποθέτηση 10000 περίπου φωτοσταθερών. Οι εργασίες πεδίου κράτησαν περίπου έξι μήνες. Πρόκειται για τη μεγαλύτερη επίγεια φωτογραμμετρική αποτύπωση που έχει γίνει στη χώρα μας έως τώρα. Για την απόδοση χρησιμοποιήθηκε κυρίως μονοεικονική μεθοδολογία και γραφική σχεδίαση από αρχιτέκτονες σχεδιαστές. Το αποτέλεσμα της αποτύπωσης αυτής (Σχήμα 1) πληρούσε τις προδιαγραφές ακρίβειας και λεπτομέρειας, που είχαν τεθεί, με τον καλύτερο τρόπο (Georgopoulos et al 1986, Stambouloglou & Georgopoulos 1986).

## 2.2 Παρακολούθηση παραμορφώσεων

Το Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας του Τμήματος Αερονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του ΕΜΠ ανταποκρίθηκε σε σχετική πρόσκληση του Εργαστηρίου Ωπλισμένου Σκυροδέματος του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών και χρησιμοποίησε την φωτογραμμετρική μεθοδολογία για την παρακολούθηση, καταγραφή και μέτρηση των παραμορφώσεων δοκιμίου υπό φόρτιση. Η συμμετοχή της Φωτογραμμετρίας συνίστατο στον προσδιορισμό των επιφανειακών παραμορφώσεων και

μετατοπίσεων συγκεκριμένων σημείων του δοκιμίου καθ'όλη την διάρκεια των κύκλων φόρτισης. Η διαχρονική αυτή παρακολούθηση απέδωσε αποτελέσματα (Σχήμα 2) εντός των ορίων ακριβείας που είχαν ζητηθεί, χωρίς να καθυστερούν οι εργασίες φόρτισης και χωρίς να υπάρχει επαφή με το υπό φόρτιση δοκίμιο (Badekas and Georgopoulos 1988).

## 2.3 Προσδιορισμός διατομής κύματος

Σε ανάλογη συνεργασία του Εργαστηρίου Φωτογραμμετρίας με το Εργαστήριο Υδροδυναμικής του Τμήματος Ναυπηγών του ΕΜΠ, προσδιορίστηκε η διατομή των κυμάτων γύρω από ένα μοντέλο πλοίου σε κίνηση. Τα πειράματα έγιναν στην δεξαμενή του Τμήματος Ναυπηγών στην Πολυτεχνειούπολη. Χρησιμοποιήθηκαν δύο ερασιτεχνικές μηχανές για την φωτογράφιση από πολύ κοντά (1 m). Με διάφορες τεχνικές ξεπεράστηκε το πρόβλημα έλλειψης σημείων λεπτομερειών στο νερό, και με αναλυτικό τρόπο προσδιορίστηκε το ψηφιακό μοντέλο της επιφανείας του. Τα αποτελέσματα (Σχήμα 3) απεδείχθη ότι είχαν ακρίβεια της τάξης του 1 mm (Georgopoulos et al 1988).

## 2.4 Αεροφωτογράφιση αποτύπωση Μινωικού ανακτόρου Μαλίων

Το Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας του ΕΜΠ διαθέτει πλήρες σύστημα αεροφωτογράφισης από χαμηλά ύψη (έως 300 m). Το σύστημα αυτό βασίζεται σε κατάλληλο αερόστατο (Μπαλλόνι) και χρησιμοποιείται κυρίως για την αεροφωτογράφιση αρχαιολογικών ανασκαφών. Η αεροφωτογράφιση του μινωικού ανακτόρου των Μαλίων έγινε για λογαριασμό της Γαλλικής Αρχαιολογικής Σχολής στην Αθήνα. Ένα ζευγάρι από την αεροφωτογράφιση αυτή αποδόθηκε με την βοήθεια κα-



### 3. Η ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

#### 3.1 Η μετρητική φωτογραφία

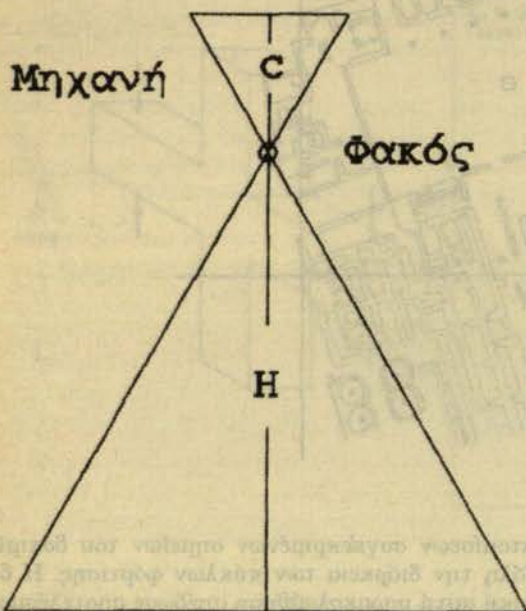
Στις φωτογραμμετρικές εφαρμογές η συλλογή της πληροφορίας γίνεται από το σύστημα φωτογραφική μηχανή - φακός- φωτοευαίσθητη επιφάνεια. Ουσιαστικά το παραπάνω σύστημα καταγράφει τις διευθύνσεις, τις γωνίες δηλαδή που σχηματίζουν οι οπτικές ακτίνες από τα απεικονιζόμενα σημεία που φωτογραφίζονται με κορυφή το σημείο λήψης. Κατόπιν, με κατάλληλες μετρήσεις στη φωτογραφία γίνεται εκμετάλλευση του γεγονότος αυτού και με τη χρήση γραφικών, μηχανικών ή αναλυτικών λύσεων προσδιορίζονται τα επιθυμητά μεγέθη του αντικειμένου. Κάτι αντίστοιχο δηλαδή με τον υπολογισμό συντεταγμένων από τοπογραφικές μετρήσεις.

Για να εξηγηθεί ο τρόπος εφαρμογής και η μεθοδολογία της Φωτογραμμετρίας στην εκτέλεση των μετρήσεων, είναι σκόπιμο να εξεταστεί πρώτα η φύση και η λειτουργικότητα της φωτογραφίας. Γεωμετρικά η φωτογραφία πλησιάζει σε μεγάλο βαθμό την προοπτική απεικόνιση (προβολή) του αντικειμένου που φωτογραφίζεται. Η υπόθεση αυτή θεωρείται ως μια καλή προσέγγιση για να εξυπηρετήσει την κατανόηση τουλάχιστον του προβλήματος.

Μια βασική ιδιότητα της φωτογραφίας, και ιδιαίτερα της μετρητικής, είναι ότι μας δίνει τη δυνατότητα να αναπαράγουμε με ακριβή μαθηματικό και φυσικό τρόπο το προοπτικό κέντρο, το σημείο σύγκλισης δηλαδή των ακτίνων που δημιουργήσαν τη συγκεκριμένη φωτογραφία. Αν αναπαράγουμε το σημείο αυτό μπορούμε να αναπλάσουμε τη δέσμη των ακτίνων και κατά συνέπεια τις σχετικές διευθύνσεις και γωνίες μεταξύ τους. Γι' αυτό θεωρείται η φωτογραφία ως μια καταγραφή ενός συνόλου διευθύνσεων ή γωνιών, και η φωτογραμμετρική μηχανή ως όργανο καταγραφής γωνιών.

Είναι φανερό ότι η καταγραφή ενός αντικειμένου σε μια φωτογραφία γίνεται υπό κάποια κλίμακα. Δηλαδή τα γραμμικά μεγέθη στη φωτογραφία έχουν κάποια σχέση αναλογίας προς τα αντίστοιχα μεγέθη στην πραγματικότητα. Είναι προφανώς πολύ χρήσιμο να ξέρουμε την σχέση αυτή, ώστε να μπορούμε να ανάγουμε τις μετρήσεις μας στη φωτογραφία σε πραγματικά μεγέθη. Ένας εύλογος τρόπος προσδιορισμού της κλίμακας είναι από την σχέση  $k = c/H$ , όπου  $c$  η απόσταση του οπτικού κέντρου του φακού από την φωτοευαίσθητη επιφάνεια και  $H$  η απόσταση του σημείου αυτού από το αντικείμενο (Σχήμα 5).

Αυτό βέβαια ισχύει στην περίπτωση που το αντικείμενο είναι επίπεδο ή σχεδόν επίπεδο, και ο άξονας λήψης είναι κάθετος σ' αυτό. Σε αντίθετη περίπτωση, όταν δηλαδή το αντικείμενο έχει έντονο ανάγλυφο, παρουσιάζεται το φαινόμενο να υπάρχουν περιοχές που απεικονίζονται με διαφορετική κλίμακα στο αντικείμενο



Σχήμα 5

τάλληλου φωτογραμμετρικού λογισμικού, που αναπτύχθηκε εξ ολοκλήρου στο Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας. Το λογισμικό αυτό σκοπό έχει να απλουστεύσει και να κάνει την φωτογραμμετρική διαδικασία προσιτή στον καθένα μη ειδικό. Ως αποτέλεσμα έχει την αυτοματοποίηση της απόδοσης σε περιβάλλον AutoCAD. Στο Σχήμα 4 φαίνεται η απόδοση του ανακτόρου (Σπίνου 1991, Georgopoulos and Spinou 1992).

#### 2.5 Αποτύπωση ξύλινων παραδοσιακών σκαφών

Από τα εκτεθέντα έως τώρα γίνεται φανερή η χρησιμότητα της Φωτογραμμετρίας για αντικείμενα των οποίων το σχήμα παρουσιάζει έντονο ανάγλυφο και εν γένει δεν ακολουθεί κάποιες μαθηματικές επιφάνειες (πχ. επίπεδο, κύλινδρος, σφαίρα κλπ.). Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου αντικειμένου αποτελούν και τα ξύλινα ψαράδικα καϊκια των οποίων η ναυπήγηση έχει σταματήσει πια στις μέρες μας. Τα σκάφη αυτά είναι εξαιρετά παραδείγματα παραδοσιακής ναυπηγικής και χρήζουν άμεσης καταγραφής και τεκμηρίωσης, αφού αποτελούν ουσιαστικά κομμάτι της εθνικής μας κληρονομιάς. Οι ναυπηγικές γραμμές ενός τέτοιου σκάφους προσδιορίστηκαν με διάφορες φωτογραμμετρικές μεθόδους και έγινε μια αξιολόγηση και σύγκριση των σύγχρονων και των παραδοσιακών μεθόδων αποτύπω-



νο (Σχήμα 6). Ετσι οδηγούμαστε αναγκαστικά στην έννοια της σημειακής κλίμακας για κάθε φωτογραφία. Τα παραπάνω συνιστούν και μια βασική διαφορά της φωτογραφίας από τον αντίστοιχο χάρτη, διάγραμμα ή σχέδιο. Μια άλλη διαφορά είναι φυσικά το γεγονός ότι η μεν φωτογραφία είναι μια κεντρική προβολή, ενώ το διάγραμμα ή το σχέδιο μια ορθή προβολή, γι' αυτό άλλωστε δεν έχουν την ίδια μετρητική πιστότητα. Από την άλλη όμως μεριά δεν πρέπει να παραγνωρίζεται το γεγονός ότι η εικόνα είναι φορέας άπειρου πλήθους ποιοτικών και ποσοτικών πληροφοριών που ουδέποτε ένας χάρτης ή ένα σχέδιο μπορούν να αναπαραστήσουν. Με απλά λόγια, ο ρόλος της Φωτογραμμετρίας είναι να μετατρέψει την κεντρική προβολή σε ορθή και να εξαγάγει την τρίτη διάσταση από την διδιάστατη εικόνα.

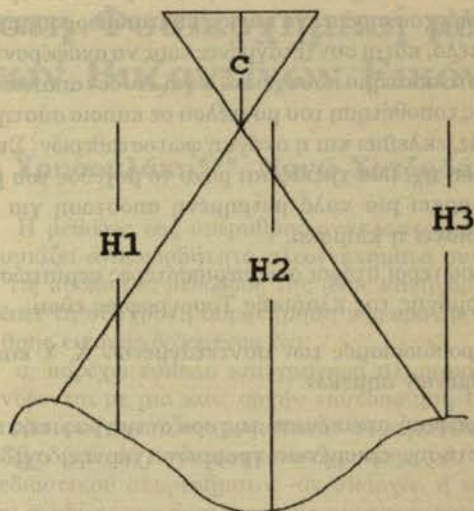
### 3.2 Η στερεοσκοπική παρατήρηση και μέτρηση

Μια μόνο εικόνα του αντικειμένου μας δίνει τη διεύθυνση κάθε ακτίνας προς ένα σημείο της επιφάνειας του αντικειμένου από το σημείο λήψης, αλλά όχι και την ακριβή θέση του σημείου αυτού. Δηλαδή η προοπτική απεικόνιση του χώρου σε ένα επίπεδο (τρεις διαστάσεις σε δύο) δεν είναι διαδικασία αντιστρέψιμη, αμφιμονοσήμαντη. Ένα σημείο στο χώρο είναι όμως δυνατόν να προσδιοριστεί ως τομή δύο διευθύνσεων. Για να μπορέσουμε να το επιτύχουμε αυτό θα πρέπει να έχουμε και ένα δεύτερο σύνολο διευθύνσεων προς το αντικείμενο, μια δεύτερη δηλαδή εικόνα. Χρειάζονται λοιπόν δυο εικόνες από διαφορετικά σημεία λήψης, δύο διαφορετικές δέσμες ακτίνων.

Είναι γνωστό και αποδεικνύεται εύκολα ότι η ανθρώπινη όραση λειτουργεί γεωμετρικά με τον ίδιο περιπού τρόπο. Κάθε μάτι είναι σαν μια φωτογραφική μηχανή που στέλνει μια εικόνα στον εγκέφαλο. Αυτός δέχεται δύο ξεχωριστές και διαφορετικές "φωτογραφίες" από δύο διαφορετικά "σημεία λήψης". Ετσι πετυχαίνεται η στερεοσκοπική αντίληψη που έχει ο άνθρωπος για το περιβάλλον του. Στην περίπτωση των δύο μηχανών ή ματιών εκτελείται κάποιος απλός Τριγωνισμός ή Εμπροσθοτομία (Σχήμα 7). Η απόσταση μεταξύ των σημείων λήψης ή των ματιών λέγεται βάση παρατήρησης. Τα σημεία που βρίσκονται σε διαφορετικές αποστάσεις μέσα στο χώρο "βλέπουν" τη βάση κάτω από διαφορετικές γωνίες.

Μπορούμε, λοιπόν, να μιμηθούμε τη λειτουργία της ανθρώπινης όρασης και να βάλουμε μπροστά σε κάθε μάτι την αντίστοιχη φωτογραφία από τα δύο σημεία λήψης, ώστε να υποχρεωθεί ο εγκέφαλος να συνδυάσει τις εικόνες και έτσι εμείς να "δούμε" στερεοσκοπικά το μοντέλο που ουσιαστικά δημιουργήσαμε. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται στερεοόραση και αποτελεί ένα σημαντικό μέρος της όλης φωτογραμμετρικής διαδικασίας, γιατί ακριβώς μας δίνει αυτήν την δυνατότητα και επιπλέον μας επιτρέπει να χρησιμοποιήσουμε αποδοτικά το μοντέλο μας.

Για την δημιουργία του μοντέλου χρησιμοποιείται κάθε φορά κατάλληλος φωτογραμμετρικός εξοπλισμός.



Σχήμα 6

Πρόκειται για ειδικά όργανα στερεοσκοπικής απόδοσης που διαθέτουν, συνήθως, δύο προβολείς για την επαναπροβολή των φωτογραφιών και την στερεοσκοπική παρατήρηση και μέτρηση του μοντέλου. Τα τελευταία χρόνια, με την ραγδαία εξέλιξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών, τα όργανα αυτά που ήταν δύσχρηστα και απαιτούσαν μεγάλο βαθμό εξειδίκευσης από τον χειριστή τους, αντικαθίστανται με γρήγορο ρυθμό από αντίστοιχα λογισμικά πακέτα. Ετσι η Φωτογραμμετρία γίνεται ολοένα και περισσότερο προσιτή και φιλική ακόμα και στους μη ειδικούς.

Το τριδιάστατο μοντέλο, που σχηματίζεται είτε με τη βοήθεια των δυο προβολέων, είτε αναλυτικά, δεν μπορεί να γίνει αντιληπτό με γυμνό μάτι. Και αυτό γιατί, όπως αναφέρθηκε στα παραπάνω, σε κάθε μάτι του παρατηρητή πρέπει να παρουσιάζεται ξεχωριστά και διαφορετική εικόνα. Ετσι στο ένα μάτι πρέπει να οδηγηθεί η εικόνα από τον πρώτο προβολέα και στο άλλο αυτή από τον δεύτερο. Αυτό συνήθως γίνεται με ειδικά όργανα που λέγονται στερεοσκόπια. Όταν γίνει αυτό, ο εγκέφαλος αυτόματα συνδέει τις δυο εικόνες σε ένα και μοναδικό τριδιάστατο (φανταστικό) μοντέλο.

Το μοντέλο αυτό θα ήταν άχρηστο για μετρητικούς σκοπούς, αν δεν ήταν γνωστή η κλίμακά του και η θέση του με την αναγκαία για κάθε περίπτωση ακρίβεια στο επιθυμητό σύστημα αναφοράς. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση ορισμένων σταθερών σημείων γνωστής θέσης στο χώρο του αντικειμένου. Η ανάγκη για αυτά τα σταθερά σημεία μπορεί να συγκριθεί με την αντίστοιχη ανάγκη της κλασσικής Τοπογραφίας.

Με λίγα λόγια για να τοποθετηθεί πλήρως το μοντέλο μέσα στο χωρικό σύστημα που έχει επιλεγεί, χρειά-



ζονται δύο σημεία γνωστής οριζοντιογραφικής θέσης και τρία γνωστής υψομετρικής, που σημαίνει ότι αρκούν δύο σημεία γνωστών X, Y και Z και ένα γνωστού υψομέτρου. Τα σημεία αυτά λέγονται φωτοσταθερά ή σημεία ελέγχου, πρέπει να κατανέμονται ισορροπημένα στο μοντέλο, και οι συντεταγμένες τους να αναφέρονται φυσικά στο σύστημα που έχει επιλεγεί. Αν δεν απαιτείται η πλήρης τοποθέτηση του μοντέλου σε κάποιο σύστημα αναφοράς, εκλείπει και η ανάγκη φωτοσταθερών. Στην περίπτωση πχ. που χρειάζεται μόνο το μέγεθος του μοντέλου, αρκεί μια καλά μετρημένη απόσταση για να προσδιοριστεί η κλίμακα.

Οι απώτεροι στόχοι στις περισσότερες περιπτώσεις της εφαρμογής της κλασικής Τοπογραφίας είναι:

- α. Ο προσδιορισμός των συντεταγμένων X, Y και Z ορισμένων σημείων
- β. Η γραφική απεικόνιση της οριζοντιογραφικής τοποθέτησης ορισμένων γραμμών (χάρτης, σχέδιο) και
- γ. Η αναπαράσταση του αναγλύφου με κάποιο τρόπο (ισοϋψείς καμπύλες ή υψομετρικές διαφορές)

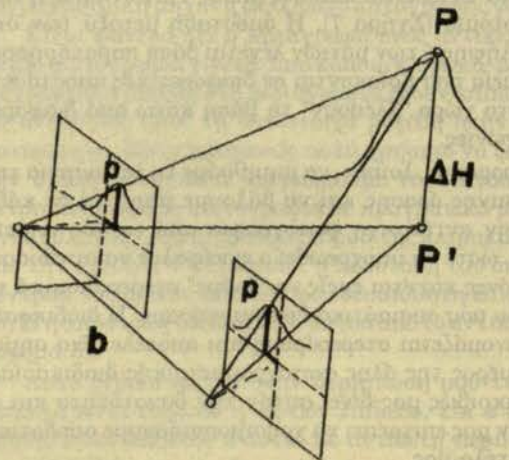
Με τη δημιουργία του φωτογραμμετρικού μοντέλου είναι δυνατόν να επιτευχθούν άμεσα οι παραπάνω στόχοι χωρίς τη μεσολάβηση μετρήσεων και υπολογισμών. Το πώς αυτό γίνεται κατορθωτό μπορεί εύκολα να αντιληφθεί κανείς, αν σκεφτεί ότι μέσα στο τριδιάστατο μοντέλο εισάγεται, με τη βοήθεια των φωτογραμμετρικών οργάνων, ένα σημείο αναφοράς, ορατό από τον παρατηρητή και με τη δυνατότητα ελεύθερης μετακίνησης μέσα στο χώρο του μοντέλου. Η θέση (X, Y, Z) του σημείου αυτού που λέγεται "ιπτάμενη μάρκα" είναι κάθε στιγμή γνωστή. Με την "τοποθέτηση" της μάρκας στα διάφορα σημεία του μοντέλου, μπορεί ο παρατηρητής να προσδιορίζει εύκολα τις συντεταγμένες τους στο επιθυμητό σύστημα αναφοράς. Με την σύνδεση μιας γραφίδας με τη μάρκα μέσω ενός παντογράφου, είναι δυνατόν να μεταφερθούν στο χαρτί και στην επιθυμητή κάθε φορά κλίμακα, όλες οι γραμμές και λεπτομέρειες που ενδιαφέρουν τον μελετητή.

#### 4. ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ

Δυστυχώς στη χώρα μας το μετρητικό εργαλείο Φωτογραμμετρία και οι πολλές του δυνατότητες είναι παραγνωρισμένες, κυρίως λόγω της έλλειψης ενημέρωσης των ενδιαφερόμενων χρηστών. Ωστόσο οι ικανότητες και η τεχνογνωσία των Ελλήνων συναδέλφων που εφαρμόζουν πρακτικά και σωστά την Φωτογραμμετρία είναι απεριόριστες. Απομένει, λοιπόν, στους ενδιαφερόμενους να αναζητήσουν την λύση στο πρόβλημά τους και να προσεγγίσουν με εμπιστοσύνη την ... μαγική αυτή επιστήμη !!

#### 5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Badekas, J., Georgopoulos, A., 1988. *Deformation Monitoring by means of monoscopic photography*. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.27, part B5, pp.17, July 1988.
2. Georgopoulos, A., Stambouloglou, E., Monachos, N., 1986. *The Photogrammetric Survey of an Archaeological Site: Photogrammetry unwinds Ariadne's Thread*. The Photogrammetric Record, 13(67), April 1986.
3. Georgopoulos, A., Badekas, J., Ioannidis, Ch., Potsiou, C., 1988. *Photogrammetric Wave Profile Determination*. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.27, part B5, pp.203212, July 1988.
4. Georgopoulos, A., Spinou, A., 1992. *FOTOCAD: A simple photogrammetric package for nonphotogrammetrists*. International Archives of Photogrammetry, Vol. 29(5), August 1992.
5. Κοκκάς, Τ., 1991. *Φωτογραμμετρική αποτύπωση παραδοσιακών σκαφών*. Διπλωματική εργασία, Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας, ΤΑΤΜ, ΕΜΠ.
6. Kokkas, T., Georgopoulos, A., Badekas J., Damianidis, K., Kostoulas, V., 1992. *Recording traditional ships*. International Archives of Photogrammetry, Vol. 29(5), August 1992.
7. Σπίνου, Α., 1991. *Αυτοματοποιημένη απόδοση στερεοσκοπικών λήψεων*. Διπλωματική εργασία, Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας, ΤΑΤΜ, ΕΜΠ.
8. Stambouloglou, E., Georgopoulos, A., 1986. *The Photogrammetric Survey of an archaeological site. Focus on special problems*. International Archives of Photogrammetry, Vol 26(5) Ottawa, July 1986.



Σχήμα 7