

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ: ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΚΗ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΤΗΣ  
ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Β-ΒΑ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ  
ΤΗΣ ΠΑΤΡΑΣ**

**Σπουδαστές:**

Λευθεριώτη Έλενα

Ξυλούρη Ζαφειρένια

Τρίμης Θεόδωρος

**Εισηγητής:**

Χαραλαμπόπουλος Σταύρος

- Πάτρα 2008 -

## **ΠΡΟΛΟΓΟΣ**

Στα πλαίσια της πτυχιακής εργασίας του τμήματος πολιτικών έργων υποδομής της σχολής τεχνολογικών εφαρμογών του Α.Τ.Ε.Ι Πάτρας εκπονήθηκε η εργασία με τίτλο «Φωτογραμμετρική αποτύπωση της γεωμορφολογίας της περιοχής Β-ΒΑ της πόλης της Πάτρας».

Ευχαριστούμε θερμά τον εισηγητή της πτυχιακής μας εργασίας κ. Χαραλαμπίτση Σταύρο.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

|        |  |    |
|--------|--|----|
| i.     | ΣΥΝΤΟΜΗ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....   | 5  |
| ii.    | ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑΣ.....   | 7  |
| iii.   | ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....   | 9  |
| iii.1. | ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΕΙΣ ΑΡΧΕΣ ΤΩΝ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΩΝ<br>ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....                               | 9  |
| iii.2. | ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΚΑΤΑΓΡΑΦΙΚΩΝ<br>ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....                          | 11 |
| iii.3. | ΕΣΤΙΑΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ – ΜΕΓΕΘΟΣ – ΓΩΝΙΑ ΚΑΛΥΨΗΣ –<br>ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΠΡΟΒΟΛΗ.....                | 12 |
| iii.4. | ΟΡΙΣΜΟΣ & ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ<br>ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ.....  | 15 |
| iv.    | ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ<br>ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ.....  | 17 |
| v.     | ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΣ<br>ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ.....   | 20 |
| v.1.   | ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΣ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ<br>ΛΗΨΗΣ.....                                 | 20 |
| v.2.   | ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΣ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΜΙΑΣ ΜΕΤΡΗΤΙΚΗΣ<br>ΛΗΨΗΣ.....                             | 21 |
| v.3.   | Η ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ<br>ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ.....                                | 22 |
| vi.    | ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ.....   | 24 |
| vi.1.  | ΧΡΩΜΑΤΑ & ΦΙΛΤΡΑ.....  | 24 |
| vi.2.  | ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ<br>ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ.....   | 26 |
| vi.3.  | ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΠΟΥ ΕΠΙΔΡΑ ΣΤΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ<br>ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑΣ.....                           | 29 |
| vii.   | ΕΠΙΔΡΑΣΗ & ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΑΠΟ ΚΑΜΠΥΛΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΓΗΣ.....                                     | 31 |
| viii.  | ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΑ ΟΡΙΑ ΑΣΤΙΚΗΣ & ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ<br>ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....                          | 32 |
| ix.    | ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ<br>ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ Β–ΒΑ ΤΗΣ ΠΑΤΡΑΣ..... | 36 |
| ix.1.  | ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....  | 36 |
| ix.2.  | ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ.....   | 36 |
| ix.3.  | ΕΠΙΓΕΙΑ ΣΗΜΕΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ GCP.....  | 37 |
| ix.4.  | ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑ ΜΕ RESAMPLING.....  | 38 |
| ix.5.  | ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΩΣΑΪΚΟΥ &<br>CONTRAST.....   | 40 |
| ix.6.  | ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΟΔΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ, ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗΣ<br>ΓΡΑΜΜΗΣ, ΡΕΜΑΤΩΝ & ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ.....      | 40 |
| x.     | ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....  | 46 |

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή με θέμα «Φωτογραμμετρική αποτύπωση της γεωμορφολογίας της περιοχής Β-ΒΑ της πόλης της Πάτρας» , έχει ως σκοπό την δημιουργία χάρτη της περιοχής αυτής που αποτυπώνει πληροφορίες τις οποίες μπορούν να αντλήσουν και να επεξεργαστούν άνθρωποι διάφορων ειδικοτήτων όπως μηχανικοί, τοπογράφοι, γεωλόγοι κ.τ.λ. Στα κεφάλαια που ακολουθούν γίνεται μια σύντομη ιστορική ανασκόπηση και παραθέτονται βασικές έννοιες φωτογραφίας και φωτογραφικών συστημάτων. Γίνεται επίσης αναφορά στις δυνατότητες εφαρμογών καθώς και στον τρόπο λήψης κατακόρυφων αεροφωτογραφιών όπου γίνεται λόγος για τον εσωτερικό προσανατολισμό της μηχανής λήψης, της μετρητικής λήψης και την αποκατάσταση αυτού. Παραθέτονται πληροφορίες για τα φίλτρα που χρησιμοποιούνται για να δώσουν ένα διαφορετικό αποτέλεσμα σε αεροφωτογραφίες που έχουν τραβηχτεί με ασπρόμαυρο φίλτρο. Εν συνεχεία, παρατηρούμε πως η καμπυλότητα της γης επιδρά στην λήψη των φωτογραφιών καθιστώντας αναγκαία την διόρθωση αυτών. Ακολουθούν εφαρμογές στα όρια αστικής και περιφερειακής περιοχής και τέλος γίνεται ανάλυση των εργασιών που πραγματοποιήθηκαν για την ολοκλήρωση του τεχνικού μέρους της εργασίας.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η λέξη φωτογραμμετρία δημιουργήθηκε στην Ευρώπη και προέρχεται από τις τρεις ελληνικές λέξεις φως γράμμα και μέτρο. Στην ουσία δηλώνει την γραφική μέτρηση χρησιμοποιώντας το φως. Σύμφωνα με την αμερικάνικη ένωση φωτογραμμετρίας και τηλεπισκόπησης η φωτογραμμετρία ορίζεται ως « τεχνική της εξαγωγής αξιόπιστης πληροφορίας σχετικά με τα φυσικά αντικείμενα και το περιβάλλον μέσα από διαδικασίες καταγραφής, μέτρησης και ερμηνείας φωτογραφικών εικόνων και προτύπων εκπεμπόμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και άλλων φαινομένων».

Σαν τεχνική έχει πολλές ομοιότητες με άλλες αντίστοιχες τεχνικές που εφαρμόζονται από άλλες επιστήμες του κλάδου του αγρονόμου και τοπογράφου μηχανικού, όπως η τοπογραφία η γεωδαισία, η χαρτογραφία και η τηλεπισκόπηση. Υπάρχουν και πολλές διαφορές μεταξύ τους και αν εξαιρέσουμε τις διαφορές στις διαδικασίες και τις μεθοδολογίες που ακολουθούνται, παραμένει μια σημαντική διαφορά που χαρακτηρίζει την φωτογραμμετρία και συνίσταται στο γεγονός ότι οι φωτογραμμετρικές γίνονται έμμεσα και όχι άμεσα. Με άλλα λόγια στην φωτογραμμετρία η διαδικασία των παρατηρήσεων και η διαδικασία των μετρήσεων είναι δυο χρονικά και τοπικά διακεκριμένες διαδικασίες.

Ένα άλλο γεγονός που χαρακτηρίζει την φωτογραμμετρία είναι η στενή της σχέση με την ανάπτυξη της τεχνολογίας έτσι η φωτογραμμετρικές τεχνολογίες αναμορφώθηκαν, σε πολλές περιπτώσεις ριζικά, και συνεχίζουν να αναμορφώνονται ακολουθώντας στενά την άνοδο της τεχνολογίας της ψηφιακής τεχνολογίας.

Η σημερινή διεύρυνση του γνωστικού πεδίου της φωτογραμμετρίας έχει τα εξής αποτελέσματα: να είναι ασαφή τα όρια ανάμεσα στην φωτογραμμετρία και την τηλεπισκόπηση και να απαιτείται, από μέρους των φωτογραμμετρών, η γνώση εκπαίδευση και συνεχής ενημέρωση πάνω σε μια

ευρεία πλατφόρμα θεμάτων, συμπεριλαμβανομένων της επεξεργασίας ψηφιακών εικόνων, των συστημάτων πληροφοριών, κ.λ.π.

## 1. ΣΥΝΤΟΜΗ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ



**Εικόνα 1.** Η πρώτη πλάγια αεροφωτογραφία.

Πάρθηκε από αερόστατο πάνω από την Βοστώνη το 1860

Παρόλο που ακόμα και πριν από την ανακάλυψη της φωτογραφίας (Niepce, Daguerre, Arago 1839) ο J. H. Lambert είχε δημοσιεύσει τις βασικές αρχές της θεωρίας της Φωτογραμμετρίας, ιδρυτής της θεωρείται ο Γάλλος Συνταγματάρχης A. Laussedat. Το 1859 παρουσίασε ενώπιον μιας επιτροπής της Ακαδημίας Επιστημών των Παρισίων, τρόπο προσδιορισμού των

συντεταγμένων ενός αντικειμένου με εμπροσθοτομία στον χώρο, από δυο φωτογραφικές λήψεις. Την ίδια περίπου εποχή ο A. Meydenbauer διεξήγαγε επιτυχή πειράματα στην Γερμανία για την εφαρμογή της Φωτογραμμετρίας στις αποτυπώσεις κτιρίων.

Στην Αυστρία η Φωτογραμμετρία εφαρμόζεται από το 1887. Την εποχή αυτή οι μηχανικοί Hafferl και Maurer κατασκεύασαν ένα φωτογραμμετρικό όργανο λήψεων για εφαρμογές στην Υδραυλική και Οδοποιία, που ονομάστηκε "Φωτογραμμέτρης".

Μετά την εισαγωγή της Στερεοφωτογραμμετρίας από τον C. Pulfrich (1901), ανοίχτηκε ο δρόμος για την ιδιοφυή εφεύρεση του E. Von Orei (1909), με την οποία για πρώτη φορά πραγματοποιήθηκε συνεχής απόδοση γραμμών οριζοντιογραφίας και ισοϋψών.

Μετά από έρευνες των T. Scheimpflug, M. Gasser, U. Nistri και R. Hugerschoff, το 1923 ο W. Bauersfeld με την κατασκευή του Στερεοπλανιγράφου, κατόρθωσε τη μεταφορά αυτής της αρχής απόδοσης από επίγειες λήψεις, όπου αρχικά είχε εφαρμοστεί σε αεροφωτογραφίες.

Τις επόμενες δεκαετίες πολλοί οπτικομηχανικοί κατασκευαστικοί οίκοι εισήγαγαν στην αγορά ολοένα και καλύτερα φωτογραμμετρικά όργανα απόδοσης και μηχανές λήψης. Παράλληλα και κυρίως οι S. Finsterwalder και O.V. Gruber διατύπωσαν τις θεωρητικές αρχές για μια συμφέρουσα χρήση και ευρεία εφαρμογή αυτών των οπτικομηχανικών οργάνων απόδοσης.

Παρόλο που οι T. Scheimpflug (1897), L. Vietoris (1924) και O. Lacmann (1929), είχαν κάνει ενδιαφέρουσες έρευνες και πειράματα για την παραγωγή ορθοφωτογραφιών από αεροφωτογραφίες, η εμπορική αξιοποίηση του φωτογραφικού αυτού μετασχηματισμού επετεύχθη από τον Αμερικανό R. K. Bean το 1955.

Με την εξέλιξη της ηλεκτρονικής τεχνολογίας στην πληροφορική, επέρχεται μια μεγάλη αλλαγή στη Φωτογραμμετρία. Τη θέση οπτικομηχανικών μερών παίρνουν όλο και συχνότερα υπολογιστές. Ακόμα σε πολλές περιπτώσεις μεγάλα μέρη της διαδικασίας φωτογραμμετρικής απόδοσης εκτελούνται από ηλεκτρονικούς υπολογιστές.

## 2. ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑΣ

Οι αεροφωτογραφίες λαμβάνονται από αεροσκάφη (εικόνα 2 , εικόνα 3) που πετούν με σχετικά μεγάλες ταχύτητες (40-220 m/s ή 150-800 km/h), και κατά ένα μέρος σε μεγάλα ύψη πτήσης. Οι μεγάλες αυτές ταχύτητες επιβάλλουν μικρούς χρόνους έκθεσης ( $1/250 - 1/1000$  s), με συνέπεια ο διαθέσιμος φωτισμός να είναι λίγος. Με τη διέλευση της ακτινοβολίας μέσα από τα ατμοσφαιρικά στρώματα προκαλείται μεγάλη μείωση των διαφορών της εντάσεως της ακτινοβολίας (contrast) και μεταβολή των χρωμάτων. Οι αεροφωτογραφήσεις συνδέονται επομένως στην πράξη με πολλά τεχνικά προβλήματα, πχ. προβλήματα που αφορούν στην ευκρίνεια ή την πιστότητα των φακών.



**Εικόνα 2.** Δικινητήριο αεροπλάνο με φωτογραφικά εξαρτήματα





**Εικόνα 3.** Ελαφρό μονοκινητήριο αεροπλάνο τύπου Cessna

### 3. ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

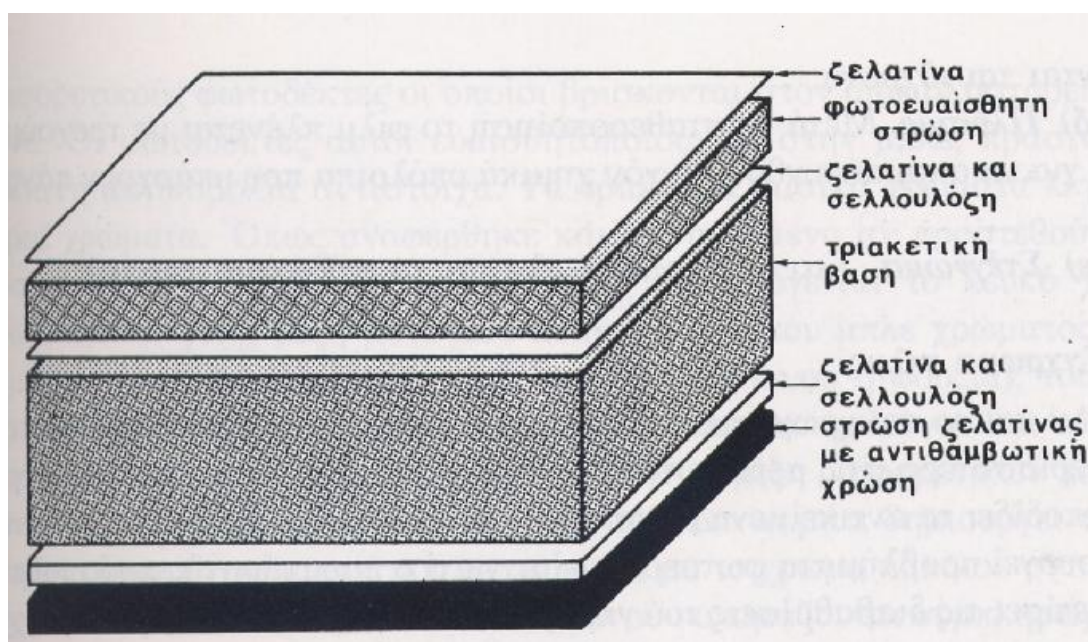
#### 3.1. ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΕΙΣ ΑΡΧΕΣ ΤΩΝ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Μια από τις πιο κοινές, πολλαπλώς χρήσιμη και οικονομική μορφή για ελάχιστη αίσθηση του χώρου είναι η εναέρια φωτογραφία. Τα βασικά πλεονεκτήματα της εναέριας φωτογραφίας που αφορούν την πάνω από το έδαφος παρακολούθηση περιλαμβάνουν:

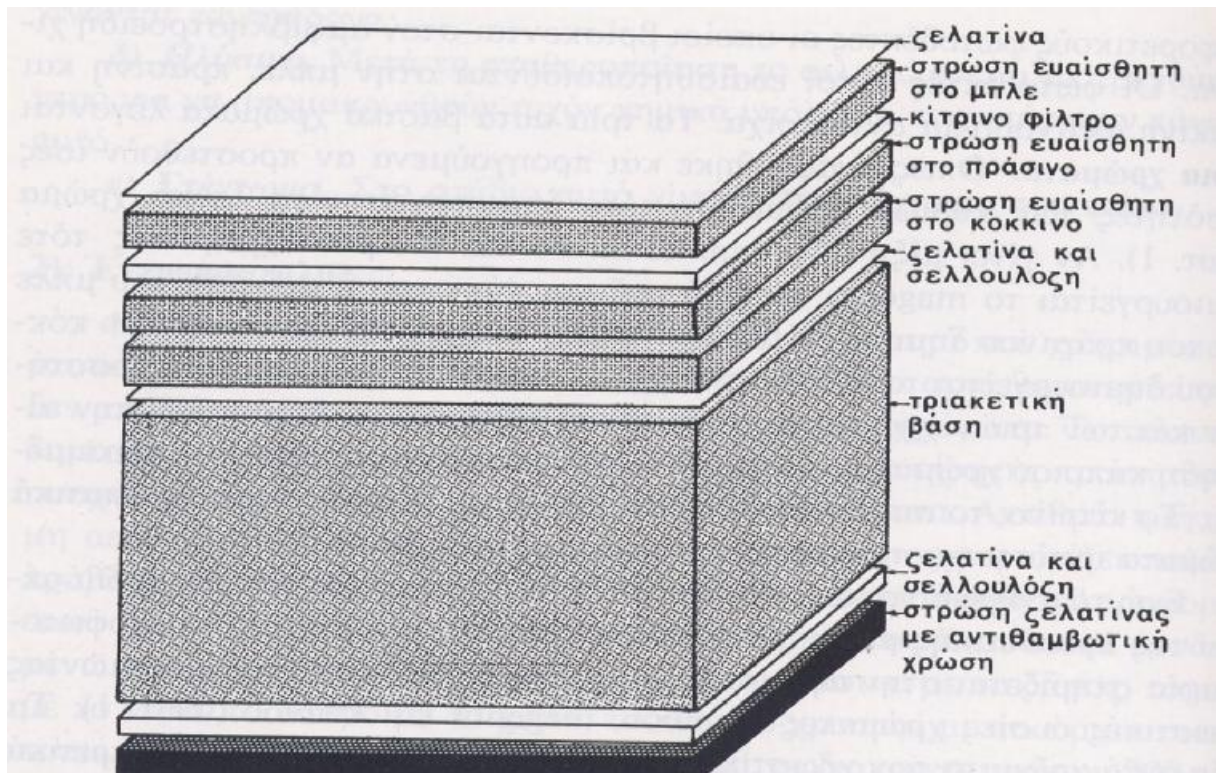
1. Αποδεδειγμένο πλεονέκτημα σημείου. Η εναέρια φωτογραφία δίνει μια θέα όπως αυτή των πουλιών για μεγάλες περιοχές κάνοντας μας ικανούς να βλέπουμε γήινες επιφανειακές φιγούρες στο διαστημικό τους πρίσμα. Εν ολίγης οι εναέριας φωτογραφίες μας επιτρέπουν να βλέπουμε μια «μεγάλη εικόνα» στην οποία αντικείμενα που μας ενδιαφέρουν παραμένουν. Είναι συχνά δύσκολο, εάν όχι αδύνατο, να αποκτήσουμε αυτή την εικόνα του περιβάλλοντος μέσα από επίγεια παρατήρηση. Με τις εναέριας φωτογραφίες βλέπουμε επίσης την «ολοκληρωμένη εικόνα» από όλες τις παρατηρηθήσες επιφανειακές γήινες φιγούρες που έχουν καταγραφεί ταυτόχρονα. Διαφορετική τελείως πληροφορία μπορεί να αποσπαστεί από διαφορετικούς παρατηρητές της φωτογραφίας. Ο υδρολόγος ίσως να επικεντρωθεί στην επιφάνεια των υγρών σωμάτων, ο γεωλόγος στην βάση κατασκευής, ο γεωπόνος στο έδαφος ή στη βοσκή κοκ.
2. Επιδεξιότητα να σταματά η δράση. Σε αντίθεση με το ανθρώπινο μάτι, οι φωτογραφίες μπορούν να μας δώσουν μια στιγμιαία εικόνα από μια δυναμική δράση. Για παράδειγμα οι εναέριας φωτογραφίες είναι πολύ χρήσιμες στη μελέτη δυναμικών φαινομένων όπως οι πλημμύρες, την κίνηση των πληθυσμών άγριας ζωής, την κίνηση των αυτοκινήτων, διαρροές πετρελαίου και φωτιές δασών.
3. Μόνιμη εγγραφή. Οι εναέριας φωτογραφίες είναι ουσιαστικά μόνιμες εγγραφές από υπαρκτές καταστάσεις . Όπως επίσης , οι εγγραφές αυτές μπορούν να μελετηθούν με άνεση στο γραφείο σε αντίθεση με τις συνθήκες που επικρατούν στο ύπαιθρο. Μια και μόνο εικόνα μπορεί να μελετηθεί από ένα μεγάλο αριθμό χρηστών . Οι αεροφωτογραφίες μπορούν επίσης να

συγκριθούν με παρόμοια παλαιότερα δεδομένα , ώστε οι αλλαγές στη διάρκεια του χρόνου γίνονται εύκολα αντιληπτές .

4. Διευρυμένη φασματική ευαισθησία . Ένα φιλμ μπορεί να «δει» και να γράψει πάνω από ένα μήκος κύματος μιας ζώνης , σχεδόν σαν σε πίνακα , απ'ότι το ανθρώπινο μάτι (0,3 με 0,9  $\mu\text{m}$  έναντι σε 0,4 με 0,7  $\mu\text{m}$ ) . Με τη φωτογραφία οι αόρατες UV και near IR μπορούν να ανιχνευτούν και μεταγενέστερα να καταγραφούν σε μορφή από ορατή εικόνα; Ναι από εδώ και στο εξής μπορούμε να δούμε φαινόμενα που το μάτι δε μπορεί να δει .
5. Αυξημένη ανάλυση φάσματος και γεωμετρική ακρίβεια . Με την κατάλληλη επιλογή κάμερας , φιλμ (σχ. 1, σχ. 2) και των διαφόρων παραμέτρων πτήσης είμαστε ικανοί να εγγράψουμε περισσότερες λεπτομέρειες του χώρου σε μια φωτογραφία απ'ότι μπορούμε να δούμε με αβοήθητο μάτι . Αυτή η λεπτομέρεια γίνεται διαθέσιμη σε μας παρακολουθώντας φωτογραφίες υπό μεγέθυνση. Με τις κατάλληλες παραπομπές και δεδομένα εδάφους, μπορούμε επίσης να εξασφαλίσουμε ακριβής μετρήσεις για θέσεις, αποστάσεις, διευθύνσεις, περιοχές, ύψη, λόφους και πλαγιές από τις αεροφωτογραφίες. Στην πραγματικότητα οι περισσότερες αποτυπώσεις και τοπογραφικοί χάρτες έχουν ήδη παραχθεί χρησιμοποιώντας μετρήσεις που έχουν αποσπαστεί από εναέριες φωτογραφίες.



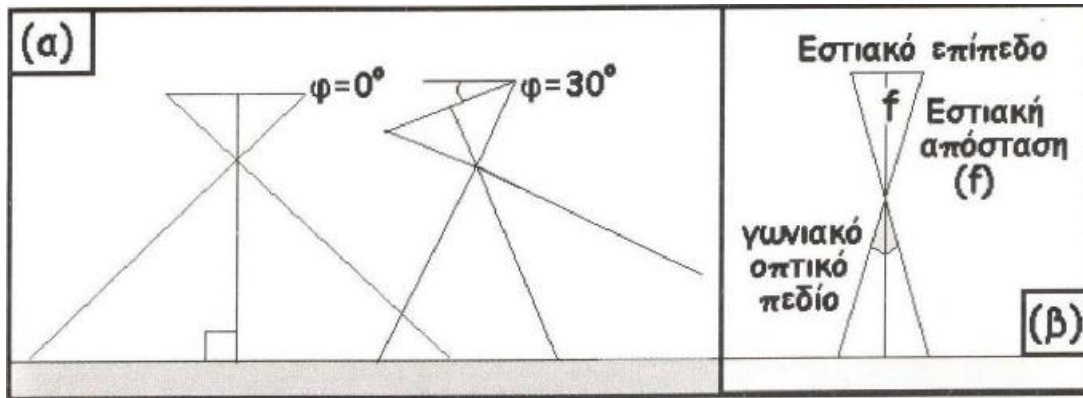
**Σχήμα 1.** Διατομή ασπρόμαυρου φιλμ



**Σχήμα 2.** Διατομή έγχρωμου φιλμ

### 3.2. Χαρακτηριστικά Φωτογραφικών Καταγραφικών Συστημάτων

Στις κατακόρυφες φωτογραφίες ο οπτικός άξονας της μηχανής είναι κατακόρυφος ή έχει κλίση  $< 3^\circ$ . Στις κεκλιμένες φωτογραφίες ο οπτικός άξονας έχει κλίση μέχρι  $45^\circ$ , ενώ στις πλάγιες (η κλίση είναι  $> 45^\circ$ ) απεικονίζεται ο ορίζοντας του τοπίου (Σχήμα 3α). Οι κατακόρυφες φωτογραφίες λαμβάνονται συνήθως με 60% επικάλυψη δημιουργώντας στερεοζευγάρια. Η επικάλυψη δημιουργεί το φαινόμενο της παράλλαξης κάνοντας δυνατό τον υπολογισμό της τρίτης διάστασης.



**Σχήμα 3.** α) σχετικές (ως προς τον ορίζοντα) θέσεις του οπτικού άξονα της μηχανής, β) εστιακή απόσταση (focal length), μέγεθος (focal plan), γωνιακό οπτικό πεδίο (angle of coverage)

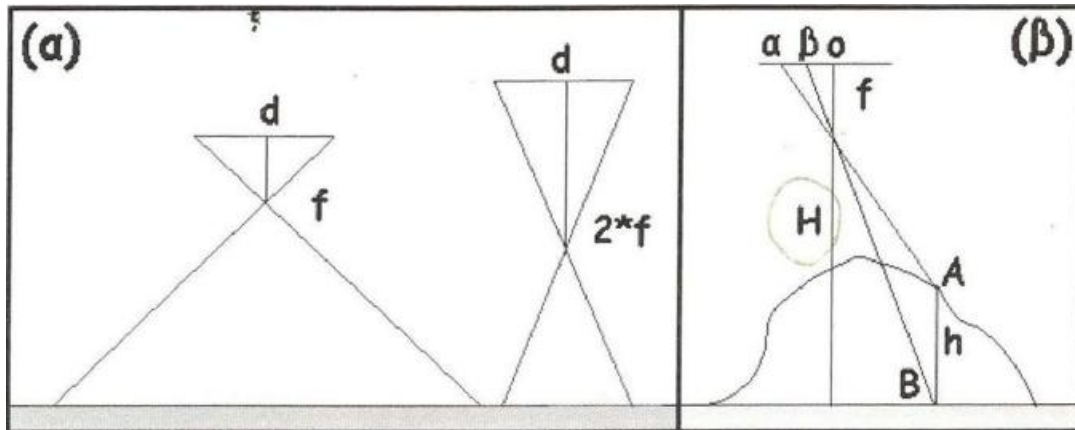
Τα κύρια μέρη μια φωτογραφικής μηχανής είναι το σώμα της μηχανής, ο φακός ή το σύστημα φακών (το εστιακό επίπεδο-εστιακή απόσταση), το διάφραγμα, το είδος του φιλμ, το φίλτρο και ο μηχανισμός κίνησης του φιλμ.

### 3.3. Εστιακή Απόσταση – Μέγεθος – Γωνία Κάλυψης – Κεντρική Προβολή

Η ενεργός επιφάνεια του εστιακού επιπέδου της φωτογραφικής μηχανής είναι συνήθως τετράγωνη, λέγεται μέγεθος (format) και ρυθμίζει το μέγιστο χρησιμοποιούμενο μέγεθος αρνητικού φιλμ (τις διαστάσεις των αεροφωτογραφιών που προκύπτουν). Η διακριτική ικανότητα ενός φακού σε μια συνήθη αεροφωτογραφική μηχανή είναι από 35 μέχρι 50 ζευγάρια γραμμών ανά χιλιοστό. Η διακριτική ικανότητα δεν είναι ομοιόμορφη αλλά μειώνεται από το κέντρο του εστιακού επιπέδου προς τα άκρα.

- Το επίπεδο στο οποίο τοποθετείται το φιλμ και σχηματίζεται το είδωλο του αντικειμένου λέγεται εστιακό επίπεδο ενώ η απόστασή του από το κέντρο του φακού λέγεται εστιακή απόσταση (Σχήμα 3β). Η εστιακή απόσταση των αεροφωτογραφικών μηχανών κυμαίνεται από 36mm μέχρι 300mm. Η εστιακή απόσταση και το μέγεθος του φιλμ καθορίζει την περιοχή του εδάφους που απεικονίζεται στο εστιακό επίπεδο.
- Η εστιακή απόσταση σε συνδυασμό με το μέγεθος επιδρούν στην οπτική γωνία (γωνία κάλυψης του φακού). Για συγκεκριμένο μέγεθος αεροφωτογραφιών όσο μεγαλύτερη είναι η εστιακή απόσταση τόσο

μικρότερη είναι η οπτική του γωνία (Σχήμα 3β). Δηλαδή αεροφωτογραφίες που θα ληφθούν από το ίδιο ύψος με φακό μεγαλύτερης εστιακής απόστασης θα καλύπτουν μικρότερη εδαφική επιφάνεια από τις αντίστοιχες που έχουν ληφθεί με φακό μικρότερης εστιακής απόστασης (Σχήμα 4α). Η οπτική γωνία θεωρείται κανονική όταν η εστιακή απόσταση του φακού ισούται με τη διαγώνιο του φιλμ.



**Σχήμα 4.** α) η επίδραση της εστιακής απόστασης στην οπτική γωνία. β) η κορυφή του λόφου (Α) μετατοπίζεται ακτινικά ως προς το πρωτεύων σημείο της φωτογραφίας (ο), κατά απόσταση  $d=ab$  σε σχέση με τη βάση του (Β).

Το μοντέλο της κεντρικής προβολής αναπαριστά την αντιστοιχία του φωτογραφικού ειδώλου σε σχέση με τη γήινη επιφάνεια (Σχήμα 4β) το οποίο προσδιορίζει ότι:

1. Η κλίμακα της φωτογραφίας σε ένα σημείο Α της φωτογραφίας ορίζεται από τον τύπο:

$$K\left(\frac{1}{r}\right) = \frac{f}{H-h}$$

Όπου  $f$  η εστιακή απόσταση του καταγραφικού συστήματος,  $H$  το ύψος από την επιφάνεια και  $h$  το ύψος της επιφάνειας στο σημείο Α

2. Η θέση του σημείου Α με υψόμετρο  $h$  από την επιφάνεια μετατοπίζεται (τοπογραφική εκτροπή) ακτινικά κατά απόσταση  $d$ , ως προς το πρωτεύον σημείο της φωτογραφίας (ο) σε σχέση με τη βάση του Β (Σχήμα 4β). Η Τοπογραφική εκτροπή ( $d=ab$ ) αυξάνει ανάλογα με το ύψος του αντικειμένου ( $h$ ) και την ακτινική του απόσταση ( $r=ao$ ) από το

πρωτεύον εικονοσημείο ενώ είναι αντιστρόφως ανάλογη του ύψους πτήσης (H) από τη βάση του αντικειμένου σύμφωνα με τον τύπο:

$$d = r \cdot \frac{h}{H}$$

Τα προβλήματα που προκαλεί σχετίζονται με τη μη ορθογραφική θέση των περισσοτέρων σημείων του ανάγλυφου και με την παραμόρφωση του σχήματος και των διαστάσεων των αντικειμένων.

Σ ορεινές περιοχές χρησιμοποιούνται συνήθως φακοί με μεγαλύτερη εστιακή απόσταση (305 mm) για να μειώνεται το μέγεθος της τοπογραφικής εκτροπής. Αντίθετα σε επίπεδες περιοχές χρησιμοποιούνται φακοί με μικρότερη εστιακή απόσταση γιατί έτσι μεγαλώνει το μέγεθος της τοπογραφικής εκτροπής (πολύ σημαντικό στοιχείο σε μια περιοχή που παρατηρούνται μικρές διαφορές στο υψόμετρο των αντικειμένων). Επιπλέον μειώνεται το κόστος της αεροφωτογράφισης αφού η περιοχή καλύπτεται με μικρότερο αριθμό φωτογραφιών. Η σχέση μεταξύ οπτικής γωνίας και επιφάνειας που καλύπτεται στο έδαφος δίνεται από τη σχέση:

$$q = 2 \cdot \text{TAN}^{-1} \left( \frac{w}{2 \cdot f} \right) \quad D = 2 \cdot H \cdot \text{TAN} \left( \frac{q}{2} \right)$$

όπου: q=οπτική γωνία, f=εστιακή απόσταση, w=πλάτος φιλμ, D=πλάτος λωρίδας στο έδαφος, H=ύψος αεροσκάφους.

Το γωνιακό οπτικό πεδίο ενός κανονικού φακού αεροφωτογραφικής μηχανής (f=209 mm) μεγάλου μεγέθους (23cm\*23cm) είναι περίπου 70°. Φακοί με εστιακή απόσταση ίση με 152mm έχουν γωνία κάλυψης 90° και καλούνται ευρυγώνιοι (Πίνακας 1).

**Πίνακας 1.** Κατηγορίες φωτογραφικών μηχανών ανάλογα με την εστιακή απόσταση – γωνιακό εύρος.

| Τύπος           | Μέση Εστιακή Απόσταση | Μέγιστο Γωνιακό Εύρος |
|-----------------|-----------------------|-----------------------|
| Κανονικός       | 300 mm                | 57°                   |
| Ευρυγώνιος      | 150 mm                | 94°                   |
| Υπέρ-Ευρυγώνιος | 88 mm                 | 123°                  |

### 3.4. ΟΡΙΣΜΟΣ & ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

Με τη βοήθεια της Φωτογραμμετρίας προσδιορίζεται η θέση και η μορφή αντικειμένων στον χώρο από φωτογραφίες. Τα αποτελέσματα μιας φωτογραμμετρικής απόδοσης μπορούν να είναι:

- **Αριθμοί:** συντεταγμένες σημείων των αντικειμένων που φωτογραφήθηκαν, σε ένα τρισδιάστατο σύστημα αναφοράς (αναλυτικός προσδιορισμός σημείων).
- **Σχέδια:** χάρτες και διαγράμματα που περιέχουν οριζοντιογραφική και υψομετρική πληροφορία ή οποιασδήποτε άλλης μορφής γραφική απεικόνιση των αντικειμένων.
- **Φωτογραφίες:** κυρίως μετασχηματισμένες φωτογραφικές λήψεις (ορθοφωτογραφίες), ορθοφωτοχάρτες αλλά επίσης και φωτογραφικές συνθέσεις και απεικονίσεις.

Εκτός από τη γεωμετρική ανάπλαση των φωτογραφηθέντων αντικειμένων, σε πολλές περιπτώσεις ενδιαφέρει επίσης και η ποιοτική πληροφορία που προσφέρει μια φωτογραφική λήψη. Τα αποτελέσματα μιας τέτοιας Φωτοερμηνείας είναι η ταξινόμηση των αντικειμένων ή μερών τους με βάση διάφορα κριτήρια.

Η Φωτογραμμετρία επιτρέπει την ανάπλαση των αντικειμένων και τον προσδιορισμό ορισμένων χαρακτηριστικών τους χωρίς την αναγκαιότητα φυσικής επαφής με το εκάστοτε αντικείμενο. Αυτός ο τρόπος απόκτησης γεωμετρικών και ποιοτικών πληροφοριών αναφέρεται σήμερα σαν Τηλεπισκόπηση (Remote Sensing).

Η βασική εφαρμογή της Φωτογραμμετρίας είναι η δημιουργία τοπογραφικών υπόβαθρων σε μορφή γραφικών χαρτών ή ορθοφωτοχαρτών. Στην περίπτωση που η φωτογραμμετρική απόδοση γίνεται με τη βοήθεια σύγχρονων οργάνων απόδοσης, δημιουργείται σαν παραπροϊόν της όλης διαδικασίας απόδοσης το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DTM = Digital Terrain Model), ένα προϊόν πολύ σημαντικής αξίας με πολλαπλές δυνατότητες χρησιμοποίησης. Σε ένα τέτοιο DTM είναι αποθηκευμένες πληροφορίες για τη μορφή και τη χρήση της γήινης επιφάνειας. Η επεξεργασία των στοιχείων



αυτών μπορεί να γίνει κατά ποικίλους τρόπους, με τη βοήθεια ηλεκτρονικών υπολογιστών και ειδικών λογισμικών.

Η κατασκευή και χρήση φωτογραμμετρικών μηχανών λήψης για τη Φωτογραμμετρία κοντινών αποστάσεων (απόσταση λήψης μεταξύ 1m και 100m) και ιδιαίτερα των μετρητικών στερεομηχανών λήψης κατέστησε δυνατή την εφαρμογή της Φωτογραμμετρίας σε νέους τομείς όπως: Αρχιτεκτονική, Διατήρηση Μνημείων, μετρήσεις ακριβείας κτηρίων και άλλων τεχνητών αντικειμένων και κατασκευών, μετρήσεις ελέγχου κατασκευών και ελέγχου ζημιών, μέτρηση και επιμέτρηση τεχνητών και μηχανικών ομοιωμάτων (μοντέλων), μετρήσεις παραμορφώσεων, μέτρηση και διαχρονική παρακολούθηση δυναμικών φαινομένων και πολλά άλλα.

Πρέπει τέλος να αναφερθεί ότι με τη βοήθεια σύνθετων μαθηματικών αλγορίθμων είναι δυνατή η μετρητική επεξεργασία ακόμη και λήψεων από ερασιτεχνικές φωτογραφικές μηχανές. Επειδή η επίλυση αυτών των αλγορίθμων απαιτεί μεγάλους υπολογιστικούς χρόνους, για την επεξεργασία τέτοιων λήψεων είναι αναγκαίοι ηλεκτρονικοί υπολογιστές μεγάλου δυναμικού. Αυτή η τεχνική φωτογραμμετρικής απόδοσης χρησιμοποιείται στην πράξη, σχεδόν αποκλειστικά, για την ανάπλαση και απόδοση οδικών ατυχημάτων.

#### 4. ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ

Οι περισσότερες κατακόρυφες εναέριες φωτογραφίες έχουν τραβηχτεί με καρέ κάμερας κατά μήκος των γραμμών πτήσης. Η γραμμή που ανιχνεύεται στο έδαφος ακριβώς κάτω από το αεροσκάφος κατά την διάρκεια της απόκτησης της φωτογραφίας καλείται κατώτερη γραμμή. Αυτή η γραμμή συνδέει το κέντρο των απεικονίσεων από τις κατακόρυφες φωτογραφίες. Το σχήμα 5 & 6 διευκρινίζει τον τυπικό τύπο κάλυψης φωτογραφίας κατά μήκος μιας γραμμής πτήσης. Επιτυχείς φωτογραφίες έχουν γενικά τραβηχτεί μερικούς βαθμούς από το τέλος της περιοχής. Όχι μόνο αυτός ο τρόπος εξασφαλίζει ολική κάλυψη κατά μήκος μιας γραμμής πτήσης, αλλά τουλάχιστον 50% είναι απαραίτητη για ολική στερεοσκοπική κάλυψη της μελετώμενης περιοχής. Η στερεοσκοπική κάλυψη έγκειται στο συνδυασμό ζευγαριών των κατακόρυφων αεροφωτογραφιών που ονομάζονται στερεοζεύγη. Τα στερεοζευγάρια παρέχουν δυο διαφορετικές οπτικές της περιοχής του εδάφους στην περιοχή που είναι το τελείωμα τους. Όταν οι όψεις δομούν ένα στερεοζεύγος παρακολουθούνται μέσα από ένα στερεοσκόπιο, κάθε μάτι ψυχολογικά κατέχει το πλεονεκτικό σημείο από το οποίο η αντίστοιχη όψη του στερεοζεύγους είχε τραβηχτεί κατά την πτήση. Το αποτέλεσμα είναι η αίσθηση τριών διευθύνσεων στερεού μοντέλου.

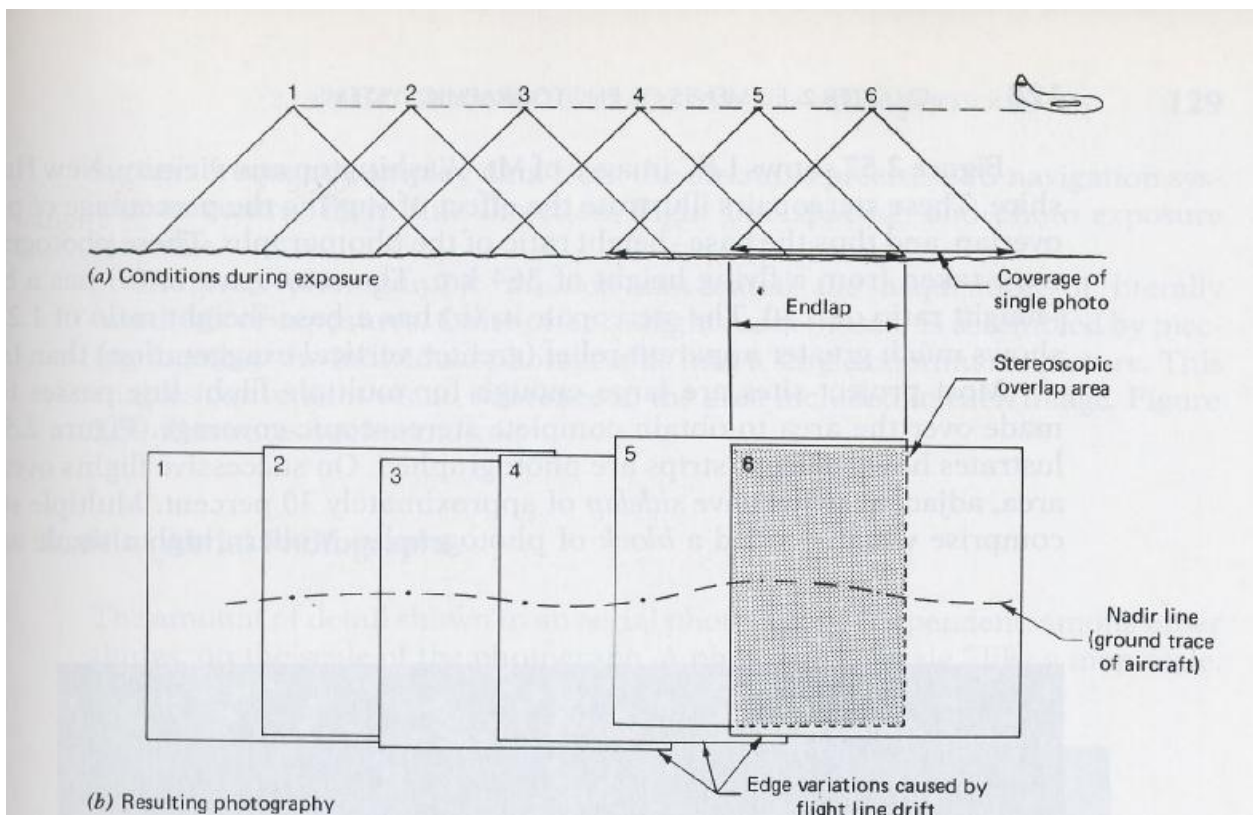
Όπως έχει ήδη αναφερθεί οι περισσότερες μορφές των εναέριων φωτογραφιών ερμηνεύουν τελικά την χρήση της στερεοσκοπικής κάλυψης και της στέρεο-παρατήρησης.

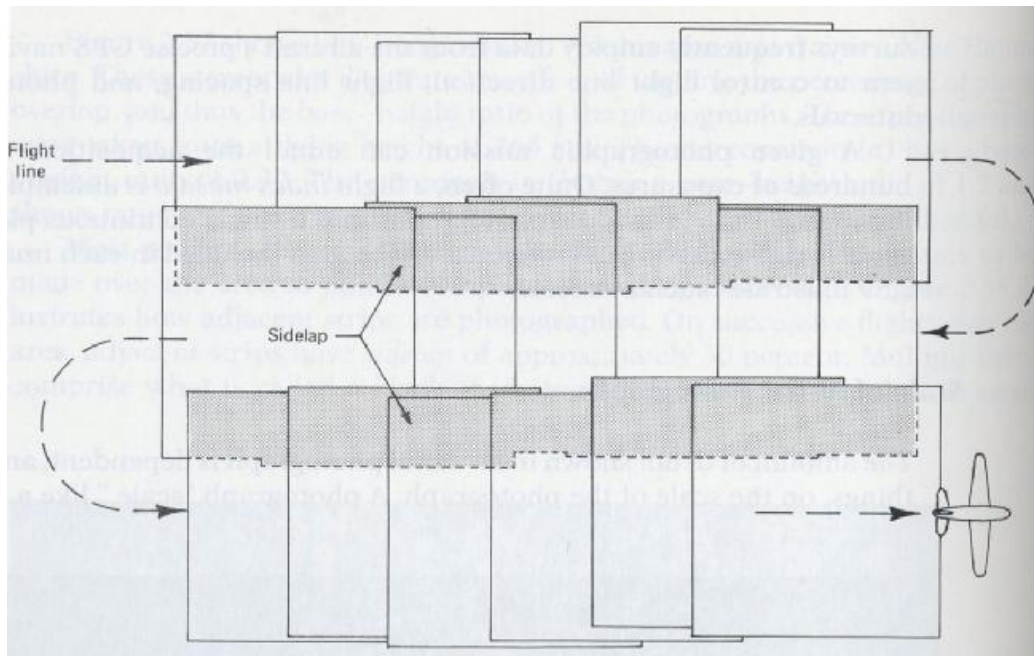
Επιτυχείς φωτογραφίες κατά μήκος μιας αερογραμμής έχουν τραβηχτεί με παρέμβαση η οποία ρυθμίζεται από την κάμερα κατά τακτά χρονικά διαστήματα. Η περιοχή η οποία περιλαμβάνεται στη ζώνη των επιτυχημένων φωτογραφιών καλείται στερεοσκοπική περιοχή. Τυπικά, επιτυχείς φωτογραφίες έχουν ως περιεχόμενο το 55 έως 65% καλυπτόμενο για να σιγουρέψουν τουλάχιστον 50% της τελικής επικάλυψης πάνω από μεταβλητό έδαφος σε αντίθεση με την ένωση της κλίσης.

Η εικόνα 4 διευκρινίζει την σχέση κάλυψης του εδάφους από επιτυχές είδος φωτογραφίας, ένα στερεοζεύγος έχει προσεγγιστικά ένα 60% της συμπλεκόμενης στερεοσκοπικής περιοχής.

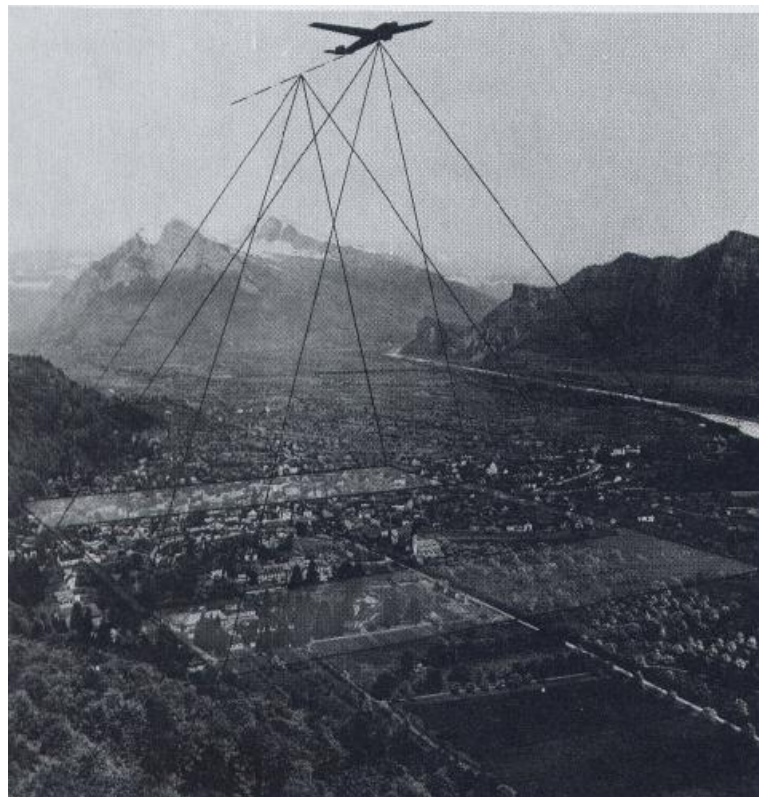
Η επί το έδαφος απόσταση ανάμεσα στο κέντρο της φωτογραφίας την στιγμή της διεξαγωγής καλείται air base. Η αναλογία ανάμεσα στην air base και στο ύψος πτήσης πάνω από το έδαφος προσδιορίζει την κάθετη ακριβής αναλογία της ερμηνείας της φωτογραφίας. Η μεγαλύτερη από βάση-ύψος αναλογία, η μεγαλύτερη κάθετη ακρίβεια.

Οι περισσότερες εργασίες είναι αρκετά μεγάλες για να μεγεθύνουν τη γραμμή πτήσης ώστε να μπορεί να παρατηρηθεί ολοκληρωμένα η στερεοσκοπική κάλυψη. Το σχήμα 5, 6 και η εικόνα 4 δείχνει πως συνδυάζονται οι διαδρομές της πτήσης που φωτογραφήθηκαν. Στις επιτυχημένες πτήσεις πάνω από μια περιοχή, η διαδρομή των αερογραμμών έχει πλάγια κάλυψη σε αναλογία 30%. Πολλαπλές αναλυτικές λωρίδες είναι αυτό που ονομάζεται block από φωτογραφίες.





**Σχήμα 5 & 6.** Φωτογραφική επικάλυψη κατά μήκος γραμμής πτήσης



**Εικόνα 4.** Πραγματοποίηση διαδοχικών φωτογραφιών, που αποδίδουν ένα στερεοζεύγος.

## 5. ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΣ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ

### 5.1. Ο ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΣ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΛΗΨΗΣ

Κάθε μετρητική μηχανή πρέπει να ελέγχεται (καλιμπράρεται) εκ νέου σε τακτά χρονικά διαστήματα, περίπου κάθε χρόνο, ανάλογα με τη χρήση. Επειδή οι αεροφωτογραμμετρικές μηχανές είναι πολύ βαριές, είναι πιθανή κάποια ζημιά κατά τη μεταφορά ή την τοποθέτησή τους. Εκτός αυτού, οι μηχανές υπόκεινται σε μεγάλες διαφορές θερμοκρασίας.

Εάν η επιπεδότητα του φιλμ επιτυγχάνεται με αναρρόφηση και πίεση μέσω πλάκας μέσα στην κασέτα του φιλμ, όπως στις αεροφωτογραμμετρικές μηχανές, τότε θα πρέπει να συμπεριληφθεί στο καλιμπράρισμα και η κασέτα αυτή.

Μεταξύ της θερμοκρασίας αποθήκευσης και της θερμοκρασίας λειτουργίας της μηχανής στα 7000 m με ανοιχτή την καταπακτή του αεροπλάνου (εικόνα 5), μπορεί να αναπτυχθούν διάφορες θερμοκρασίες μέχρι και 50 K, που επιδρούν στη μηχανή ακόμα και στον σχετικά μικρό χρόνο της μιας ώρας. Συνεπώς η μηχανή, τα οπτικά και τα φίλτρα λειτουργούν σε διαφορετικές θερμοκρασίες από αυτές κατά το καλιμπράρισμα. Για εργασίες με αυξημένες απαιτήσεις ακριβείας μπορεί, πριν ή και μετά την πτήση, να παίρνονται λήψεις καλιμπραρίσματος πάνω από πεδία ελέγχου με πολλά προσημασμένα σημεία και κάτω από συνθήκες πτήσης, παρόμοιες με αυτές της λήψης. Επίσης, και οι μετρητικές μηχανές για εγγύς Φωτογραμμετρία καλιμπράρονται με βάση λήψεις τρισδιάστατων πεδίων ελέγχου.



**Εικόνα 5.** Το εσωτερικού αεροπλάνου στο οποίο διακρίνονται το τηλεσκόπιο και η μετρική αεροφωτογραφική μηχανή τοποθετημένη στην ειδική θέση του πατώματος.

## 5.2. Ο ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΣ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΜΙΑΣ ΜΕΤΡΗΤΙΚΗΣ ΛΗΨΗΣ

Η εικόνα που έχει ληφθεί με μια καλιμπραρισμένη μηχανή, μετά την έκθεση, φέρεται στον σκοτεινό θάλαμο, εμφανίζεται, στερεώνεται, υγραίνεται, στεγνώνεται και, αργότερα, αποθηκεύεται κάτω από διάφορες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας. Τα διαθετικά και οι εκτυπώσεις που παράγονται από τα αρνητικά θα πρέπει να υποστούν τις ίδιες φωτογραφικές διαδικασίες.

Κατά τη μετρητική απόδοση είναι αναγκαίο να ληφθεί μέριμνα για τις μεταβολές κλίμακας και μορφής της μετρητικής εικόνας, που οφείλονται στις παραπάνω διαδικασίες. Οι μεταβολές αυτές διαφέρουν ανάλογα με το φωτογραφικό υλικό που χρησιμοποιείται και κυρίως εξαρτώνται από το φορέα της φωτοευαίσθητης επιφάνειας που πρέπει να μην επηρεάζεται από τα χημικά και να είναι εξαιρετικά διαφανής.

Ως φορείς χρησιμοποιούνται στη Φωτογραμμετρία γυάλινες πλάκες και φιλμ. Οι γυάλινες πλάκες χρησιμοποιούνται στην αεροφωτογραμμετρία πια μόνο σε εξαιρετικές περιπτώσεις, πχ. για πειραματικούς ελέγχους. Το γυαλί είναι βαρύ, σχετικά μη επίπεδο, αλλά σταθερό, κάμπτεται όμως με την πίεση. Η προσκόλληση της φωτοευαίσθητης επιφάνειας είναι πιο αδύνατη απ' ότι

στο φιλμ, και γι' αυτό παρουσιάζονται μεγαλύτερες μετατοπίσεις. Κατά τη διάρκεια του στεγνώματος μπορεί η δημιουργία σταγόνων να προκαλέσει επιφανειακές τάσεις που με τη σειρά τους να γίνουν αιτία για μετατοπίσεις της τάξεως των  $\pm 20$   $\mu\text{m}$ . Η δημιουργία σταγόνων μπορεί να αποφευχθεί αν κατά το τελευταίο ξέβγαλμα χρησιμοποιηθεί ειδικό υγρό.

Στην επίγεια Φωτογραμμετρία, όπου οι διαστάσεις αρνητικού είναι μικρότερες, χρησιμοποιούνται κυρίως γυάλινες πλάκες, διότι συνήθως χρειάζεται μικρότερος αριθμός λήψεων. Πρόσφατα παρουσιάστηκε μια σειρά από επίγειες μηχανές λήψης εξοπλισμένες με κασέτες για φιλμ. Τα φιλμ είναι λιγότερο σταθερά. Οι μεταβολές εξαρτώνται από: θερμοκρασία, σχετική υγρασία, επεξεργασία, αποθήκευση, ηλικία. Διακρίνονται σε προσωρινές και μόνιμες μεταβολές, και ειδικότερα οι τελευταίες σε σύμμορφες και μη σύμμορφες μεταβολές κλίμακας καθώς και ακανόνιστες μεταβολές μορφής.

### 5.3. Η ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ

Εξετάζει τη διαδικασία ανάπτυξης της δέσμης λήψης από τη μετρητική εικόνα. Το μεγαλύτερο μέρος των παραμορφώσεων της εικόνας είναι κανονικές. Συνεπώς, όταν μεταβάλλεται το μέγεθος της εικόνας, πρέπει ανάλογα να μεταβάλλεται και η σταθερά της μηχανής.

Από το πιστοποιητικό ελέγχου της μηχανής (προσοχή στην ημερομηνία καλιμπραρίσματος) λαμβάνονται οι αρχικές αποστάσεις των εικονοσημάτων (πλευρές ή/και διαγώνιοι) και συγκρίνονται με τα αντίστοιχα πραγματικά μήκη, τα οποία μετρώνται

α) είτε με γυάλινο κανόνα

β) είτε με τη βοήθεια συντεταγμενογράφου με σκοπευτικό μικροσκόπιο.

Η ολική διαστροφή μιας μετρητικής εικόνας περιλαμβάνει την οπτική διαστροφή, τις ακανόνιστες φωτογραφικές παραμορφώσεις και τα ακτινικά σφάλματα λόγω επιπεδότητας του φιλμ (κατά τη λήψη και την εκτύπωση). Για εικόνες που έχουν υποστεί επαγγελματική και επιμελημένη επεξεργασία, η ολική διαστροφή είναι και αυτή μικρότερη από 20 $\mu\text{m}$ , με συνέπεια, στην

πράξη της μη αναλυτικής Φωτογραμμετρίας να μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα, όπως η αποχή των πρωτευόντων σημείων  $H_A$  ή  $H_S$  από το εικονοκέντρο  $M$ .

Στην πράξη της μη αναλυτικής Φωτογραμμετρίας, το προβολικό κέντρο λαμβάνεται σε απόσταση  $c$  από το εικονοκέντρο, γεγονός που έχει μικρές επιπτώσεις στην ακρίβεια της απόδοσης για επίπεδα εδάφη. Αντίθετα, για ορεινά εδάφη προκαλεί παραμόρφωση στην κλίμακα των υψομέτρων και ανεξέλεγκτες παραμορφώσεις στο μοντέλο. Συνεπώς για εδάφη με έντονο ανάγλυφο πρέπει να χρησιμοποιείται πάντοτε η  $C_{red}$ .

Κατά την απόδοση, συνήθως οι μετρητικές λήψεις τοποθετούνται πάνω στις γυάλινες πλάκες των εικονοφορέων, οι οποίες έχουν χαραγμένες επισημάνσεις (γραμμές ή σταυρούς). Η μετρητική εικόνα τοποθετείται με τη φωτοευαίσθητη επιφάνεια προς τα κάτω και κατόπιν μετατοπίζεται και περιστρέφεται κάτω από μια δεύτερη γυάλινη πλάκα, έως ότου δύο απέναντι εικονοσήματα να συμπέσουν με τις αντίστοιχες επισημάνσεις. Παράλληλα μοιράζεται το εναπομένον σφάλμα συμμετρικά μεταξύ των άλλων δύο. Η συστηματοποίηση αυτής της διαδικασίας κέντρωσης διευκολύνει την επανάληψη της απόδοσης με τον ίδιο εσωτερικό προσανατολισμό.

Τα εναπομένοντα σφάλματα στα σημεία κέντρωσης παραμένουν γενικά μικρότερα από 0,2 mm. Εκτός από αυτό, λαμβάνεται μέριμνα κατά την κέντρωση ώστε τα  $H_A$  και  $H_S$  να ευρίσκονται μέσα σε μια περιφέρεια διαμέτρου 0,02 mm γύρω από το  $M$ , που είναι μια τάξη μεγέθους καλύτερη από τη σύμπτωση των εικονοσημάτων.

Για την αριθμητική απόδοση των μετρητικών εικόνων, ο εσωτερικός προσανατολισμός αποκαθίσταται με τη βοήθεια μετασχηματισμού μεταξύ των πραγματικών και των καλιμπραρισμένων εικονοσυντεταγμένων των εικονοσημάτων. Με τον τρόπο αυτό εξαλείφονται τα κανονικά μέρη των παραμορφώσεων της εικόνας. Επίσης εξαλείφεται και το μέσο ακτινικό μέρος της οπτικής διαστρόφης (ή κάθε άλλο είδος διαστρόφης). Στις εξισώσεις απεικόνισης εισέρχονται πάντοτε οι διορθωμένες εικονοσυντεταγμένες.



## 6. ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ

### 6.1. ΧΡΩΜΑΤΑ & ΦΙΛΤΡΑ

Το ορατό φως περιλαμβάνει κυρίως ακτινοβολίες μήκους κύματος από 400-700 nm. Αν διαιρεθεί το λευκό φως σε τρεις γειτονικές περιοχές με ίσο μήκος κύματος περίπου 100 nm, λαμβάνονται τα τρία βασικά προσθετικά χρώματα μπλε, πράσινο, κόκκινο. Η ανάμιξη δύο βασικών προσθετικών χρωμάτων δίνει τα τρία βασικά αφαιρετικά χρώματα κυανό, κίτρινο, και πορφυρό (magenta), τα οποία ονομάζονται έτσι, διότι μπορούν να προκύψουν και με την αφαίρεση ενός βασικού προσθετικού χρώματος από το συνολικό λευκό φως:

Κυανό = μπλε + πράσινο = λευκό – κόκκινο

Κίτρινο = πράσινο + κόκκινο = λευκό – μπλε

Πορφυρό = κόκκινο + μπλε = λευκό – πράσινο

Τέτοιου είδους χρωματικές αφαιρέσεις επιτυγχάνονται με τη βοήθεια φίλτρων (εικόνα 6 a, b, c, d). Τα φίλτρα αυτά απορροφούν μια περιοχή του φάσματος και επιτρέπουν τη διέλευση του υπόλοιπου τμήματος της ακτινοβολίας. Η περιοχή που απορροφάτε αντιστοιχεί στο συμπληρωματικό χρώμα της διερχόμενης ακτινοβολίας. Ο χαρακτηρισμός ενός έγχρωμου φίλτρου δίνεται με βάση το χρωματικό αποτέλεσμα του διερχόμενου τμήματος του λευκού φωτός. Η ανάμιξη δύο συμπληρωματικών χρωμάτων που λαμβάνεται με την ταυτόχρονη προβολή τους, δίνει και πάλι το λευκό φως. Το λευκό χρώμα λαμβάνεται φυσικά και με την ταυτόχρονη προβολή των τριών βασικών προσθετικών (ή και των τριών βασικών αφαιρετικών) χρωμάτων:

Μπλε + κίτρινο = λευκό

Πράσινο + πορφυρό = λευκό

Κόκκινο + κυανό = λευκό

Μπλε + πράσινο + κόκκινο = λευκό

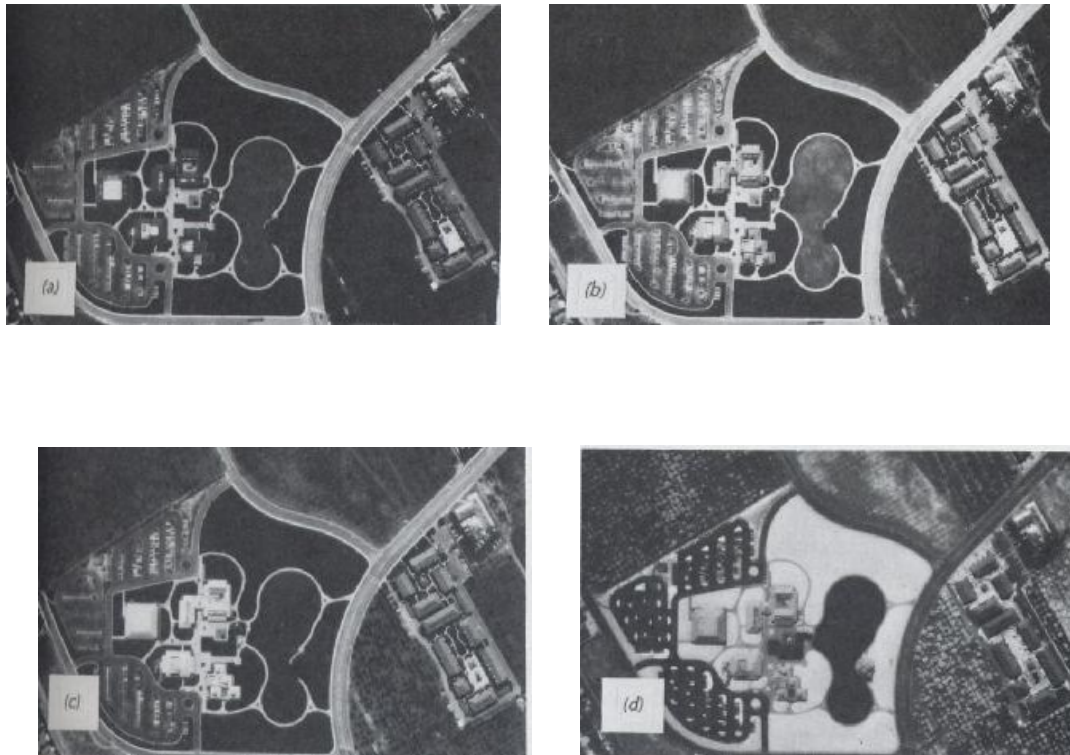
Κίτρινο + πορφυρό + κυανό = λευκό

Κάθε έγχρωμο φίλτρο ενός βασικού αφαιρετικού χρώματος απορροφά το συμπληρωματικό του βασικό προσθετικό χρώμα και επιτρέπει τη διέλευση των δύο άλλων βασικών προσθετικών χρωμάτων. Επομένως ένα κίτρινο φίλτρο πχ. επιτρέπει τη διέλευση της πράσινης και κόκκινης ακτινοβολίας. Ο συνδυασμός έγχρωμων φίλτρων δύο βασικών αφαιρετικών χρωμάτων (πχ. κυανού και πορφυρού) επιτρέπει τη διέλευση εκείνου του βασικού προσθετικού χρώματος από το μείγμα του λευκού φωτός, που είναι κοινό και για τα δύο φίλτρα (στο παραπάνω παράδειγμα το μπλε).

Τα προτασόμενα φίλτρα χρησιμοποιούνται στην πράξη για να εμποδίζουν ανεπιθύμητες ακτινοβολίες να διαπεράσουν από τον φακό της μηχανής λήψης ή να προσπέσουν στη φωτοευαίσθητη επιφάνεια του φιλμ (πχ. υπεριώδη απαγορευτικά φίλτρα σε ορεινές περιοχές, κίτρινα φίλτρα για λήψεις μέσα από διάχυτη ατμόσφαιρα. Στην περίπτωση λήψεων με ασπρόμαυρο υπέρυθρο φιλμ πρέπει να απορροφάτε όλο το φάσμα του ορατού φωτός, έτσι ώστε μόνο η υπέρυθρη ακτινοβολία να συμβάλλει στη δημιουργία της εικόνας.

Τα φίλτρα υψηλής ποιότητας εμποδίζουν με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια τη διέλευση εκείνης της ακτινοβολίας, που έχει μήκος κύματος μικρότερο από μια ορισμένη τιμή (δηλαδή η καμπύλη διαπερατότητας είναι σχεδόν κατακόρυφη). Ακόμα πρέπει, τόσο η απορρόφηση της ανεπιθύμητης, όσο και η διαπερατότητα της επιθυμητής ακτινοβολίας, να είναι οι μεγαλύτερες δυνατές.

Ιδιαίτερα σε φίλτρα που χρησιμοποιούνται για υπερευρυγώνιες λήψεις, προστίθεται στην επιφάνειά τους μια γκριζα στρώση, της οποίας η πυκνότητα μειώνεται προς την περιφέρεια του φίλτρου. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται μια εξομάλυνση της φωτεινότητας στο επίπεδο της εικόνας, η οποία επιδρά αντίθετα στη γνωστή μείωση της φωτεινότητας προς τα άκρα μιας φωτογραφικής λήψης, καθώς επίσης στη σκέδαση και στο φαινόμενο της βινιέτας για τις ακραίες ακτίνες (μηχανικός περιορισμός μιας δέσμης ακτινών που προσπίπτουν με κλίση στο επίπεδο της εικόνας).



**Εικόνα 6.** Αεροφωτογραφίες που έχουν τραβηχτεί με ασπρόμαυρο φιλμ και έχουν φιλτραριστεί σε τέσσερα διαφορετικά φίλτρα α) μπλε, β) πράσινο, γ) κόκκινο, δ) υπέρυθρες

## 6.2. ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ

Τα γαλακτώματα είναι δυνατόν να ευαισθητοποιηθούν σε ακτινοβολίες συγκεκριμένου εύρους κύματος με την προσθήκη διαφόρων χημικών ουσιών (συνήθως καταλυτών), με αποτέλεσμα να μην παρουσιάζουν την ίδια ευαισθησία για ακτινοβολία οποιουδήποτε μήκους κύματος. Η φασματική ευαισθησία  $S_\lambda$  (spectral sensitivity) δίνεται συνήθως για  $\Delta D = 1.0$ .

Τα ορθοχρωματιστά υλικά, ενώ δεν συνιστώνται για αεροφωτογραφήσεις, χρησιμοποιούνται κατά προτίμηση για επίγειες λήψεις, επειδή μπορούν να εμφανιστούν κατά την εργασία υπαίθρου σε κίτρινο ή κόκκινο φως, ακόμη και σε αυτοσχέδιους σκοτεινούς θαλάμους.

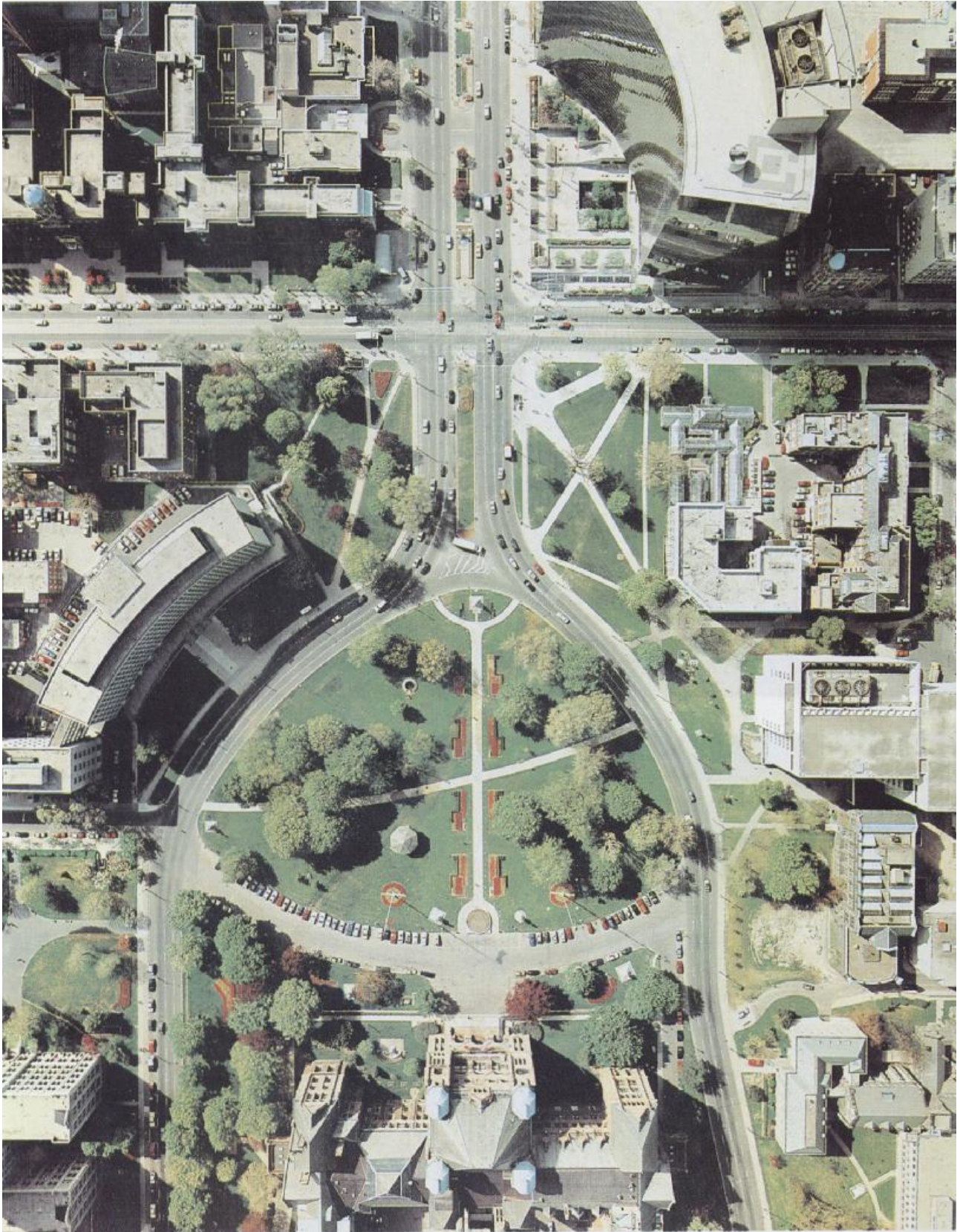
Τα παγχρωματικά γαλακτώματα αποδίδουν όλο το φάσμα του ορατού φωτός στους αντίστοιχους φυσικούς του ασπρόμαυρους τόνους και πρέπει να εμφανίζονται σε απόλυτο σκοτάδι.

Τα υπέρυθρα ασπρόμαυρα φιλμ, σε περίπτωση που είναι επιθυμητό να εμφανιστεί μόνο η υπέρυθρη ακτινοβολία, πρέπει να εκτίθενται στο φως με υπέρυθρα φίλτρα, διότι είναι ευαίσθητα και αυτά στις ακτινοβολίες από μπλε μέχρι κόκκινο. Η εμφάνιση πρέπει να εκτελείται και εδώ σε απόλυτο σκοτάδι.

Τα έγχρωμα και τα υπέρυθρα φιλμ χρησιμοποιούνται συνήθως στη Φωτοερμηνεία. Για μετρητική φωτογραμμετρική απόδοση είναι κατάλληλα τα φιλμ όλων των τύπων, εφόσον διαθέτουν λεπτές στρώσεις λεπτόκοκκου γαλακτώματος. Στη Φωτογραμμετρία ακριβείας όμως εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται ασπρόμαυρα φιλμ μέσης ευαισθησίας.

Το ανθρώπινο μάτι μπορεί να διακρίνει πολύ περισσότερους έγχρωμους παρά ασπρόμαυρους τόνους. Επομένως οι έγχρωμες λήψεις "περιέχουν" σημαντικά περισσότερες πληροφορίες απ' ότι οι ασπρόμαυρες (εικόνα 7). Για το λόγο αυτό είναι προτιμότερο, ιδιαίτερα για εργασίες Φωτοερμηνείας, να γίνονται έγχρωμες λήψεις αφού και η διαφορά κόστους από τις ασπρόμαυρες είναι σχετικά μικρή.

Η χρησιμοποίηση έγχρωμων λήψεων διευκολύνει επίσης κάθε είδους στερεοφωτογραμμετρική απόδοση.



**Εικόνα 7.** Μεγάλης κλίμακας αεροφωτογραφία αστικής περιοχής.

### 6.3. ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΠΟΥ ΕΠΙΔΡΑ ΣΤΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑΣ

Τι είναι η ένταση φωτισμού  $E$  σε μια αεροφωτογραφία; Από τη συνολική κοσμική ηλιακή ακτινοβολία αντανακλάται, με την είσοδο στην ατμόσφαιρα, περίπου το ένα τρίτο της στο διάστημα. Το υπόλοιπο τμήμα της υφίσταται τη συνολική ατμοσφαιρική εξασθένιση (δηλαδή το άθροισμα της ατμοσφαιρικής απορροφήσεως και της σκεδάσεως) που οφείλεται στα μόρια και στα σωματίδια του αέρα. Τα αιωρούμενα στον αέρα σωματίδια είναι η αιτία της ακτινοβολίας λόγω σκεδάσεως με αποτέλεσμα το γαλάζιο χρώμα του ουρανού (ουράνια ακτινοβολία). Ένα τμήμα της γήινης επιφάνειας φωτίζεται τελικά από το υπόλοιπο της ηλιακής ακτινοβολίας  $S_0$  με ζενίθια απόσταση  $Z_E$  και από την ουράνια ακτινοβολία  $H_i$  ( $S_0 + H_i =$  συνολική ακτινοβολία). Η αναλογία των δύο τμημάτων της συνολικής ακτινοβολίας για ύψος  $50^\circ$  είναι  $S_0/H_i = 3/1$  με ανέφελο ουρανό και περίπου  $1/30$  για ελαφρά διάχυτη ατμόσφαιρα.

Κάτω από ένα αδιαπέραστο στρώμα από σύννεφα, αιωρούμενο σε μεγάλο ύψος, μπορούν να γίνουν φωτογραφικές λήψεις. Σε αυτή την περίπτωση, η υψηλότερη σκέδαση "φωτίζει" μεν τις σκιές, εξασθενίζει όμως τις διαφορές εντάσεως της ακτινοβολίας (κοντράστ), πράγμα που επιδρά αρνητικά στην ακρίβεια των μετρήσεων στην αεροφωτογραφία. Συνεπώς, για το καλύτερο κοντράστ, χρησιμοποιούνται διάφορα κίτρινα φίλτρα, ανάλογα με το ποσοστό διαχύσεως της ατμόσφαιρας.

Το έδαφος απορροφά ένα μέρος της ακτινοβολίας και ανακλά το υπόλοιπο με ζενίθια απόσταση  $Z_R$  στην κατεύθυνση της μηχανής λήψης. Το υπόλοιπο αυτό τμήμα αναμιγνύεται και πάλι με την ακτινοβολία της ατμόσφαιρας (ακτινοβολία λόγω σκεδάσεως) και υφίσταται νέα εξασθένιση λόγω της ατμόσφαιρας και των σωματιδίων του αέρα, που μεσολαβούν μεταξύ φωτογραφιζόμενης γήινης επιφάνειας και μηχανής λήψης. Το τελικό σήμα πρέπει ακόμα να περάσει από το κίτρινο φίλτρο, για το μεγαλύτερο δυνατό αποκλεισμό της γαλάζιας ακτινοβολίας της ατμόσφαιρας, και από τους 12-15 φακούς του οπτικού συστήματος της μηχανής λήψης. Οι επιφάνειες κάθε φακού του οπτικού συστήματος έχουν ειδικές επιστρώσεις μειώσεως του βαθμού ανακλάσεως των, οι οποίες εξασφαλίζουν ουσιαστική καλυτέρευση της διαφάνειας (επομένως και της διαπερατότητας) του οπτικού συστήματος και του κοντράστ

της

εικόνας.

## 7. ΕΠΙΔΡΑΣΗ & ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΑΠΟ ΚΑΜΠΥΛΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΓΗΣ

Η καμπυλότητα τη Γης δεν είναι σφάλμα της Φωτογραμμετρίας, αλλά γενικά ένα πρόβλημα ορισμού των συστημάτων αναφοράς. Η Φωτογραμμετρία παρέχει συντεταγμένες σε ένα τρισδιάστατο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων. Στο σύστημα αυτό (XYZ) προσδιορίζονται τα σημεία του αντικειμένου με ορθή προβολή τους στο εκάστοτε επίπεδο συντεταγμένων. Αντίθετα, τα υψόμετρα του εδάφους στην τοπογραφία αναφέρονται στο γήινο ελλειψοειδές και οι συντεταγμένες XY είναι ισχυρά παραμορφωμένες λόγω του μαθηματικού μετασχηματισμού του ελλειψοειδούς σε επίπεδο. Συνεπώς, από τις γεωδαιτικές συντεταγμένες των φωτοσταθερών θα πρέπει αρχικά να παραχθούν τρισδιάστατες καρτεσιανές συντεταγμένες, πριν χρησιμοποιηθούν από τη Φωτογραμμετρία.

Αρχικά εξετάζεται η επίδραση της καμπυλότητας της Γης από κοινού με την κατακόρυφες λήψεις. Εάν ληφθεί υπόψη μια ακρίβεια στα υψόμετρα των φωτογραμμετρικά προσδιορισμένων σημείων μεταξύ 0.006 έως 0.013 % του ύψους πτήσης τότε, για μέγιστες απαιτήσεις ακριβείας (0.006%) πρέπει η καμπυλότητα της Γης να λαμβάνεται υπόψη σε κλίμακες πάνω από 1:6000 για υπερευγώνιους, πάνω από 1:10000 για ευρυγώνιους και πάνω από 1:20000 για κανονικούς φακούς.



## **8. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΑ ΟΡΙΑ ΑΣΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ**

Τα σχέδια πόλης και τα σχέδια της περιφέρειας απαιτούν την συνεχή ανανέωση δεδομένων για την αποτύπωση της κυβερνητικής τακτικής αλλά και των προγραμμάτων. Αυτές οι τακτικές και τα προγράμματα ίσως να ποικίλουν κοινωνία, την οικονομία και την κουλτούρα της επικράτειας ως το σύμπλεγμα του περιβάλλοντος και των φυσικών πηγών του σχεδίου. Ο ρόλος των δημιουργών σχεδίων γίνεται ιδιαίτερα πολύ πιο πολύπλοκος και επεκτείνεται σε μια ευρεία κλίμακα από δραστηριότητες. Κατά συνέπεια, υπάρχει μια αυξανόμενη ανάγκη για τους επιστήμονες που ασχολούνται με τον σχεδιασμό των σχεδίων να έχουν έγκαιρα, ακριβείς και προσιτού κόστους πηγές δεδομένων. Πολλά από αυτά τα δεδομένα είναι εύκολο να αντληθούν από την μελέτη των εναέριων φωτογραφιών. Για παράδειγμα από τις αεροφωτογραφίες μπορούμε να αξιολογήσουμε μια περιοχή για την καταλληλότητα της για τον σκοπό που εμείς την προορίζουμε. Ας σκεφτούμε το όφελος από την παρατήρηση αεροφωτογραφιών για την πληθυσμιακή εκτίμηση μιας περιοχής, τις μελέτες για την ποιότητα των σπιτιών, της κίνησης και των χώρων στάθμευσης, καθώς στην διαδικασία επιλογής μιας περιοχής μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τέτοιο μέγεθος εναέριας φωτογραφίας ώστε να εκτιμήσουμε τον τύπο σπιτιών της, αν δηλαδή υπάρχουν οικογένειες ενός-δύο-τριών ατόμων και ούτω καθεξής. Αλλά κριτήρια για τον διαχωρισμό μπορεί να είναι το μέγεθος ή το σχήμα των σπιτιών.

Για την ποιότητα των σπιτιών οι αεροφωτογραφίες μπορούν να μας βοηθήσουν για την διεξαγωγή μιας αναλυτικής μελέτης της κοινωνικής συμπεριφοράς σε βιολογικό και πολιτιστικό επίπεδο. Μια λογική εκτίμηση για την ποιότητα των κατοικιών μπορεί να ληφθεί από στατιστικές αναλύσεις από ένα περιορισμένο, προσεκτικά επιλεγμένο σύνολο από ποιοτικούς παράγοντες περιβάλλοντος. Τέτοιοι παράγοντες είναι το μέγεθος των σπιτιών, η συνολική έκταση, η πυκνότητα των κατοικιών, το σε πόση απόσταση από τον δρόμο βρίσκονται οι κατοικίες, το πλάτος των οδών και η κατάσταση τους, την κατάσταση των πεζοδρομιών και των πεζόδρομων, την παρουσία ή μη χώρων στάθμευσης και για την χρήση γης για βιομηχανία.

Οι έγχρωμες φωτογραφίες είναι ωφέλιμες στην μελέτη στην μελέτη για την ποιότητα των κατοικιών, εντούτοις οι μεγάλης κλίμακας φωτογραφίες υπεριώδους φιλμ είναι έξοχες για την εκτίμηση του περιβάλλοντος (χλόη, θάμνους και δέντρα).

Οι αεροφωτογραφίες μπορούν να συμβάλλουν στις μελέτες για την κίνηση των δρόμων και των χώρων στάθμευσης. Με τον παραδοσιακό τρόπο μέτρησης οχημάτων ανά χρονικά διαστήματα, από το έδαφος είχαμε πληροφορίες μόνο για συγκεκριμένα σημεία του δρόμου όπου γινόταν η μέτρηση για το αντίστοιχο χρονικό διάστημα. Με τις εναέριες φωτογραφίες έχουμε την κατανομή των οχημάτων κατά μήκος μεγάλου τμήματος ενός δρόμου για μια και μόνο στιγμή του χρόνου. Τα διαστήματα μεταξύ των αυτοκινήτων και οι περιοχές όπου υπάρχει κυκλοφοριακή συμφόρηση, μπορούν να υπολογιστούν από τις εναέριες φωτογραφίες.

Οι ταχύτητες των οχημάτων που υπερβαίνουν το όριο μπορούν να υπολογιστούν όταν είναι γνωστά η φωτογραφική κλίμακα και το χρονικό διάστημα μεταξύ των συνεχόμενων φωτογραφιών της κίνησης των οχημάτων.

Εντούτοις, δεν είναι όλα τα οχήματα ορατά στις εναέριες φωτογραφίες. Για παράδειγμα στα τούνελ και στους κλειστούς χώρους στάθμευσης δεν είναι ορατά. Σε μια περιοχή με ψηλά κτίρια, δρόμους κοντά στην άκρη της φωτογραφίας μπορεί να είναι "κρυμμένα" οχήματα εξαιτίας της ακτινωτής προβολής των κτηρίων. Επιπροσθέτως ίσως να είναι δύσκολο να υπολογιστούν τα οχήματα σε περιοχές με σκιά από την υψηλή αντίθεση στο φιλμ.

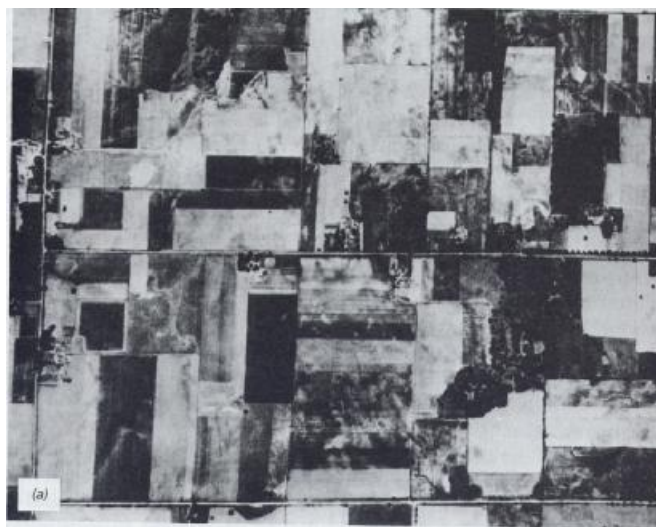
Η ερμηνεία των εναέριων φωτογραφιών μπορεί να συντελέσει σε ποικίλα προβλήματα για περιοχές, τοποθεσίες, όπως για χάραξη οδών, επιλογή τόπου υγειονομικής ταφής, επιλογή κατάλληλης περιοχής για δεντροφύτευση και δημιουργία πάρκων καθώς και για την τοποθέτηση τηλεπικοινωνιακών δικτύων. Η ίδια γενική διαδικασία επιλογής ακολουθείτε σε κάθε μια από αυτές τις διαδικασίες επιλογής. Καταρχήν οι παράγοντες που έχουν εκτιμηθεί στην διαδικασία επιλογής τοποθεσίας είναι ορισμένη. Ως φυσικά και πολιτιστικά χαρακτηριστικά θεωρούνται οικονομική, η κοινωνική και οι πολιτικοί παράγοντες. Τα αρχεία δεδομένων που περιέχουν πληροφορίες πάνω σε αυτούς τους τομείς είναι συγκεντρωμένα και εναλλακτικές τοποθεσίες έχουν αναλυθεί και έχει επιλεγεί η τελική τοποθεσία.

Η ερμηνεία των εναέριων φωτογραφιών και η φωτογραμμετρία είναι χρήσιμες στην στη συλλογή φυσικών και πολιτιστικών δεδομένων που ασχολούνται με τοπογραφία, γεωλογία, το είδος του εδάφους, τα πιθανά υλικά κατασκευών, βλάστηση, η χρήση της γης, υγροτόπους, ιστορικούς και αρχαιολογικούς χώρους και

φυσικές καταστροφές(σεισμοί, κατολίσθηση, πλημμύρες, ηφαίστεια και τσουνάμι ) .  
Η εργασία ανάλυσης των δεδομένων διευκολύνεται σε μεγάλο βαθμό με τη χρήση του G.I.S.

Ο εντοπισμός στις αστικές αλλαγές από τους χάρτες γίνεται ευκολότερος με την ερμηνεία εναέριων φωτογραφιών που έχουν τραβηχτεί σε πολλαπλά χρονικά διαστήματα (εικόνα 8 a,b,c,d).

Η ερμηνεία της αεροφωτογραφίας για τον εντοπισμό αλλαγών του σχεδίου πόλης και της ανάλυσης του μπορεί να διευκολυνθεί μέσω της χρήσης Zoom Transfer Score ως βοήθεια στη σύγκριση φωτογραφιών από δύο διαφορετικές ημερομηνίες ή μιας φωτογραφίας κι ενός χάρτη.





**Εικόνα 8.** Αεροφωτογραφίες του νοτιοδυτικού Madison Wisconsin που τραβήχτηκαν σε διαφορετικές χρονολογίες α)1937, b)1955, c)1968, d)1990

## 9. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ Β - ΒΑ ΤΗΣ ΠΑΤΡΑΣ.

### 9.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Χρησιμοποιήθηκαν δυο αεροφωτογραφίες της γεωγραφικής υπηρεσίας στρατού υπ' αριθμόν 216378 και 216397, ημερομηνία λήψεως 22/06/1992 και 23/06/1992 αντίστοιχα σε αναλογική μορφή, με κλίμακα 1 : 25000, υψόμετρο  $H = 3800$  m και focus  $F = 152,68$ . Οι αεροφωτογραφίες αυτές επικαλύπτονται και σκοπός μας είναι να τις χρησιμοποιήσουμε για να καλύψουμε την συγκεκριμένη περιοχή.

### 9.2. ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ

Σε αυτή τη φάση ορίζουμε στα πόσα dpi θα πρέπει να σαρώσουμε την αεροφωτογραφία και στα πόσα bit per pixel. Ας ορίσουμε αυτές τις δύο έννοιες:

ü dot per inches (dpi): σημαίνει πόσα τετραγωνάκια (pixels) ανά εκατοστό θα δημιουργηθούν κατά τη σάρωση της αεροφωτογραφίας. Στην πράξη τα τετραγωνάκια δίνονται ανά inches και όχι ανά εκατοστά. Αυτό σημαίνει ότι αν σαρώσω μια αεροφωτογραφία στα 300 dpi θα δημιουργηθούν 300 τετραγωνάκια ανά inch ( $1 \text{ inch} = 2,54 \text{ cm}$ ) ή καλύτερα 118,1102 τετραγωνάκια ανά cm.

Στην περίπτωση μας όπου η κλίμακα των αεροφωτογραφιών είναι 1:25000, (δηλαδή 1 cm στην α/φ αντιστοιχεί σε 250 m στο έδαφος), η διάσταση του pixel είναι :  $250/118 = 2,1 \text{ m}$ .

ü bits per pixel: προσδιορίζει πόσα bits θα χρησιμοποιηθούν για την αναπαράσταση της ψηφιακής τιμής(φωτεινότητα, χρώμα) που θα εμπεριέχεται σε κάθε τετραγωνάκι.

Η ψηφιοποίηση των φωτογραφιών έγινε σε scanner A3 με ανάλυση στα 300 dpi και στα 600 dpi από όπου διαπιστώθηκε ότι τα 300 dpi ήταν εξίσου ικανά να μας δώσουν την επιθυμητή – απαιτούμενη ανάλυση, καθότι τα 600

δρι δεν προσέφεραν ευκρινέστερη ανάλυση παρά μόνο καταλάμβαναν μεγαλύτερο αποθηκευτικό χώρο στον σκληρό δίσκο. Μετά την σάρωση αφαιρέθηκαν οι περιοχές που δεν μας αφορούσαν, με την βοήθεια του photoshop, και ιδίως οι υδάτινες περιοχές που καταλάμβαναν ένα μεγάλο μέρος των αεροφωτογραφιών.

### 9.3. ΕΠΙΓΕΙΑ ΣΗΜΕΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ GCP

Έγινε επιλογή καίριων σημείων που μπορούμε να διακρίνουμε ευκρινώς στις αεροφωτογραφίες, τα οποία ήταν προσπελάσιμα και εύκολα στον εντοπισμό τους στο ύπαιθρο, όπως διασταυρώσεις οδικών αρτηριών και κάποιων επιλεγμένων σημείων κατά μήκος της ακτογραμμής. Τα σημεία αυτά ονομάζονται σημεία επίγειου ελέγχου (ground control points) (εικόνες 10 & 11). Στη συνέχεια έγινε επίσκεψη στο ύπαιθρο και πάρθηκαν επιτόπου οι γεωγραφικές συντεταγμένες εικοσιτεσσάρων σημείων με συσκευή GPS χειρός της εταιρείας GARMIN (Πίνακας 2). Στον πίνακα αυτό υπολογίζεται ο γραμμικός μετασχηματισμός από τα ζεύγη των σημείων επίγειου ελέγχου, ελέγχεται το μέσο τετραγωνικό σφάλμα, απορρίπτονται σημεία με μεγάλο τετραγωνικό σφάλμα και υπολογίζεται εκ νέου ο μετασχηματισμός.

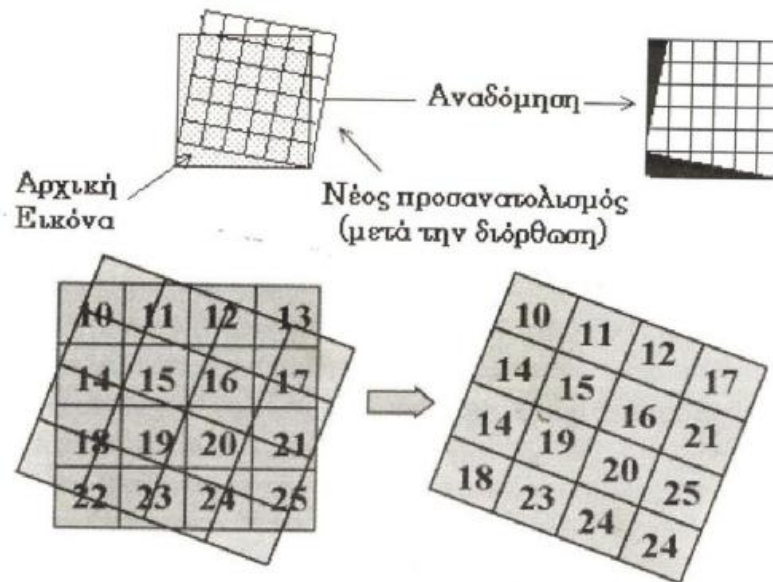
Πίνακας 2.

| no | Σημεία Επιγείου Ελέγχου (Μέτρηση με G.P.S.) |              |                           |             |
|----|---|--------------|---------------------------|-------------|
|    | Γεωγραφικές Συντεταγμένες                   |              | Μετατροπή σε Ε.Γ.Σ.Α. (m) |             |
|    | Φ   | Λ            | Ε                         | Ν           |
| 01 | 38°17'11,0"                                 | 021°46'41,1" | 305521,506                | 4239639,023 |
| 02 | 38°17'25,2"                                 | 021°47'03,9" | 306085,980                | 4240063,470 |
| 03 | 38°17'12,9"                                 | 021°47'13,9" | 306319,863                | 4239678,476 |
| 04 | 38°16'56,4"                                 | 021°47'26,4" | 306611,420                | 4239162,564 |
| 05 | 38°16'40,2"                                 | 021°47'27,9" | 306635,936                | 4238662.298 |
| 06 | 38°16'50,0"                                 | 021°47'15,7" | 306346,703                | 4238971.489 |
| 07 | 38°17'04,4"                                 | 021°47'00,3" | 305983,137                | 4239424.363 |
| 08 | 38°17'16,3"                                 | 021°47'31,6" | 306752,427                | 4239773.004 |
| 09 | 38°17'30,9"                                 | 021°47'55,6" | 307346,270                | 4240209.170 |
| 10 | 38°17'35,9"                                 | 021°47'24,0" | 306582,218                | 4240381.628 |
| 11 | 38°17'48,6"                                 | 021°47'44,4" | 307087,175                | 4240761.295 |
| 12 | 38°18'04,8"                                 | 021°47'49,3" | 307218,121                | 4241257.855 |

|                           |   |              |                              |             |
|---------------------------|---|--------------|------------------------------|-------------|
| 13                        | 38°18'15,1"                                 | 021°47'28,4" | 306718,001                   | 4241587.495 |
| no                        | Σημεία Επιγείου Ελέγχου (Μέτρηση με G.P.S.) |              |                              |             |
|                           | Γεωγραφικές<br>Συντεταγμένες                |              | Μετατροπή σε Ε.Γ.Σ.Α.<br>(m) |             |
|                           | <b>φ</b>                                    | <b>λ</b>     | <b>Ε</b>                     | <b>Ν</b>    |
| 14                        | 38°18'40,8"                                 | 021°47'29,0" | 306751,515                   | 4242379.405 |
| 15                        | 38°18'44,2"                                 | 021°47'54,1" | 307363,667                   | 4242469.665 |
| 16                        | 38°18'54,9"                                 | 021°48'23,1" | 308075,871                   | 4242782.759 |
| 17                        | 38°18'32,8"                                 | 021°48'07,4" | 307678,345                   | 4242110.543 |
| 18                        | 38°18'37,6"                                 | 021°47'02,6" | 306107,918                   | 4242296.113 |
| 19                        | 38°18'19,5"                                 | 021°46'36,2" | 305453,252                   | 4241753.547 |
| 20                        | 38°18'02,1                                  | 021°46'20,1" | 305049,233                   | 4241226.574 |
| 21                        | 38°18'03,2"                                 | 021°46'57,0" | 305946,446                   | 4241238.922 |
| 22                        | 38°17'49,1"                                 | 021°47'24,3" | 306599,237                   | 4240788.371 |
| 23                        | 38°17'18,0"                                 | 021°46'08,8" | 304741,908                   | 4239873.717 |
| 24                        | 38°17'44,4"                                 | 021°46'32,6" | 305339,758                   | 4240673.617 |
| Μέσο τετραγωνικό σφάλμα → |   |              |                              | <b>0,51</b> |

#### 9.4. ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑ ΜΕ RESAMPLING

Υλοποιήθηκε ο μετασχηματισμός για κάθε εικονοστοιχείο της αεροφωτογραφίας και έγινε αναδόμηση των ψηφιακών τιμών φωτεινότητας της προκύπτουσας εικόνας. Αυτό έγινε επειδή η θέση των αρχικών εικονοστοιχείων έχει προβληθεί σε διαφορετική θέση στην διορθωμένη εικόνα και γι' αυτό απαιτείται δειγματοληψία εκ νέου για να υπολογιστούν οι τιμές φωτεινότητας των εικονοστοιχείων της διορθωμένης εικόνας με βάση τις τιμές φωτεινότητας των εικονοστοιχείων του αρχικού καννάβου.



**Σχήμα 7.** Μεταβολή του αρχικού καννάβου μετά την εφαρμογή του γραμμικού μετασχηματισμού (πάνω). Αναδόμηση των ψηφιακών τιμών της εικόνας με τη μέθοδο του εγγύτερου γείτονα.

Υπάρχουν τρεις εναλλακτικές μεθοδολογίες αναδόμησης (παρεμβολής) διαθέσιμες για την αναδόμηση των ψηφιακών τιμών της εικόνας:

α) Η μέθοδος της εγγύτερης γειτνίασης (γείτονα) στην οποία η τιμή φωτεινότητας του εικονοστοιχείου στον νέο κάνναβο είναι ίση με την τιμή φωτεινότητας του πλησιέστερου εικονοστοιχείου στον αρχικό κάνναβο.

β) Η μέθοδος της διγραμμικής παρεμβολής στην οποία η τιμή φωτεινότητας του εικονοστοιχείου στον νέο κάνναβο προκύπτει από την μέση τιμή της τιμής φωτεινότητας των τεσσάρων εγγύτερων εικονοστοιχείων του αρχικού καννάβου. Στις τιμές φωτεινότητας των τεσσάρων εικονοστοιχείων δίνεται βάρος που είναι αντιστρόφως ανάλογο της απόστασης τους από το εικονοστοιχείο του νέου καννάβου

γ) Η μέθοδος της κυβικής παρεμβολής στην οποία η τιμή φωτεινότητας προκύπτει από τα δεκαέξι εγγύτερα εικονοστοιχεία.

Οι συντρέχουσες προϋποθέσεις προκειμένου να υλοποιηθεί σωστά ο μετασχηματισμός είναι :

- Τα σημεία επίγειου ελέγχου να κατανέμονται ομοιόμορφα επάνω στην εικόνα,



- Να είναι γνωστό το μοντέλο της παραμόρφωσης της αεροφωτογραφίας(γραμμικό, πολυωνυμικό κ.α.).

Από τις τρεις μεθόδους επιλέχθηκε η δεύτερη της διγραμμικής παρεμβολής λόγω του ότι παρουσίασε το μικρότερο αποδεκτό σφάλμα.

#### 9.5. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΩΣΑΪΚΟΥ ΚΑΙ CONTRAST

Όντας πλέον οι δυο αεροφωτογραφίες στο ίδιο σύστημα αναφοράς εισήχθησαν στο πρόγραμμα idrisi από όπου με την κατάλληλη επεξεργασία δημιουργήθηκε το μωσαϊκό (εικόνα) στο οποίο, λόγω του διαφορετικού contrast των αρχικών φωτογραφιών, έγινε ομαλοποίηση της φωτεινότητας

#### 9.6. ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΟΔΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ, ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ, ΡΕΜΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ

Έχοντας το μωσαϊκό και με την βοήθεια του προγράμματος arc view παρήχθησαν δυο χάρτες. Στον πρώτο χάρτη αποτυπώνεται το οδικό δίκτυο η σιδηροδρομική γραμμή και τα ρέματα της περιοχής ενώ στο δεύτερο χάρτη αποτυπώνονται οι χρήσεις γης.



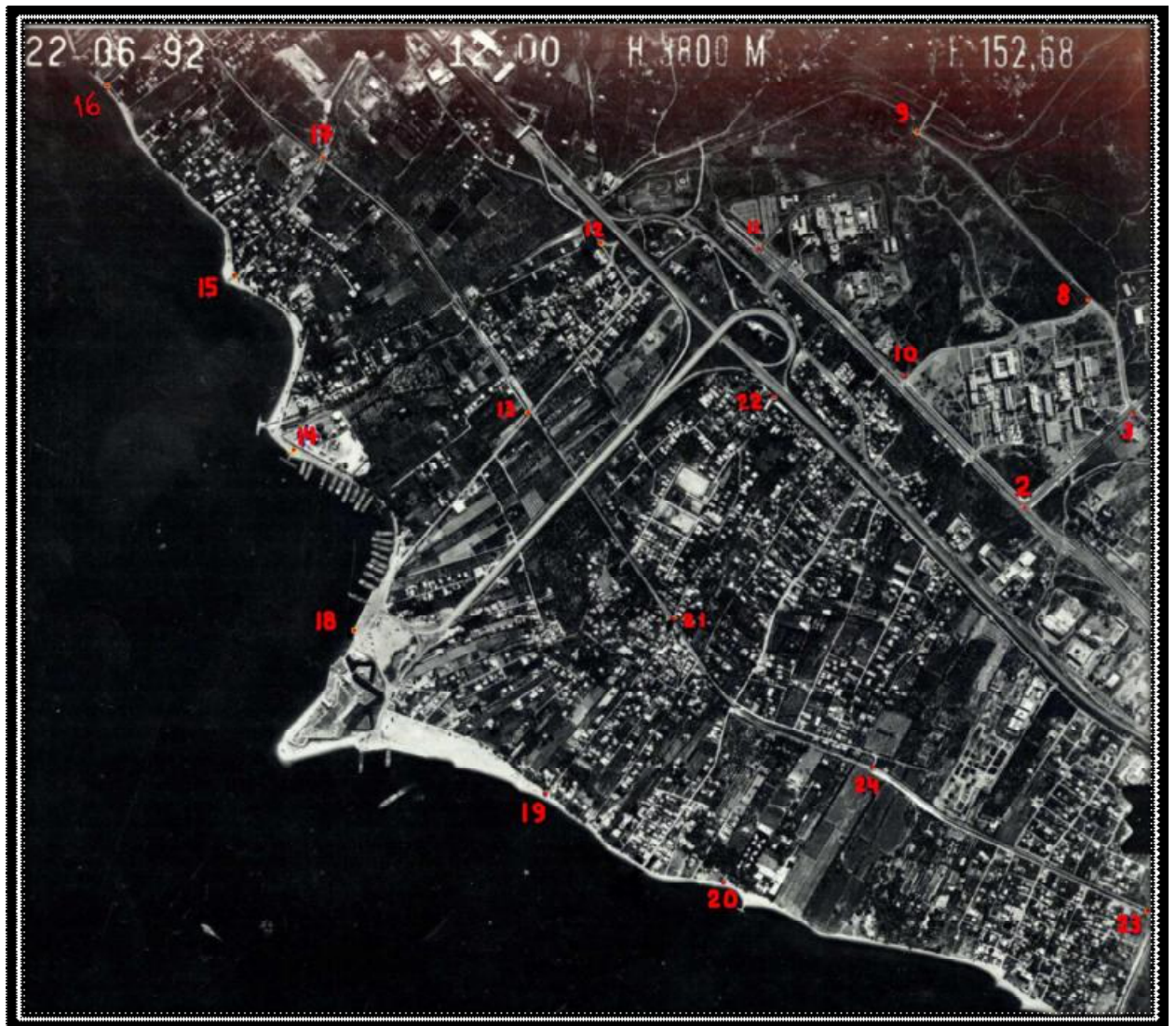
Εικόνα. 216378



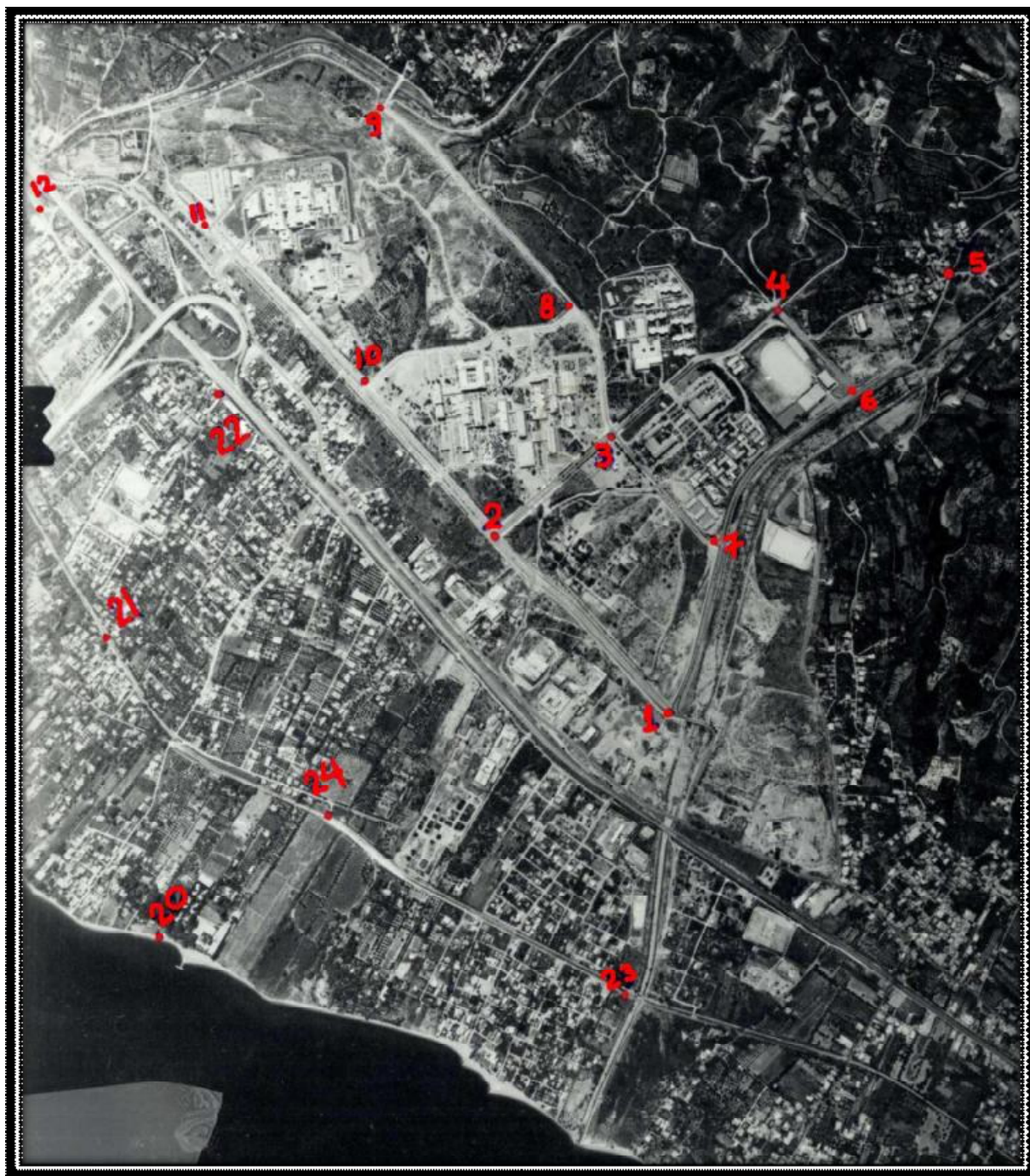
Εικόνα. 216397



Εικόνα 9. Μωσαϊκό



Εικόνα 10. Σημεία επίγειου ελέγχου στην αεροφωτογραφία 259



Εικόνα 11. Σημεία επίγειου ελέγχου στην αεροφωτογραφία 278

## 10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Η δυνατότητα ψηφιοποίησης των φωτογραφιών μας δίνει τη δυνατότητα να εργαστούμε με μεγαλύτερη ευκολία και εξοικονόμηση χρόνου απ' ότι στο παρελθόν όπου η όλη διαδικασία γινόταν δια χειρός.
2. Η χρήση των GPS για τη λήψη συντεταγμένων επίγειων σημείων είναι πλέον ευρέως διαδεδομένη. Έχει διαπιστωθεί ότι παρέχει αξιόπιστα και μεγάλης ακρίβειας αποτελέσματα, μέχρι συγκεκριμένης κλίμακας έργων και αντικαθιστά επάξια την μέχρι πρότινος επίπονη μέθοδο η οποία περιελάμβανε την χρήση τοπογραφικών οργάνων και χρονοβόρες υπολογιστικές διαδικασίες.
3. Η εξέλιξη της τεχνολογίας παίζει σημαντικό ρόλο στην ζωή του ανθρώπου. Θα γινόμασταν γραφικοί αν λέγαμε ότι η τεχνολογία αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινότητας μας είναι όμως η πραγματικότητα. Πιο συγκεκριμένα στην δουλειά ενός μηχανικού αποτελεί σημαντικό εφόδιο στην ταχύτερη, ευκολότερη και ακριβέστερη διεξαγωγή των εργασιών του.
4. Με τις κατάλληλες προϋποθέσεις δύναται η δημιουργία ενός αξιόπιστου χάρτη, ο οποίος παρέχει ποικίλες πληροφορίες όσον αφορά τις περιοχές που αποτυπώνει. Τέτοιες είναι, οδικό δίκτυο, η σιδηροδρομική γραμμή, τα ρέματα, οι δασικές εκτάσεις, οι κατοικημένες περιοχές, οι αγροτικές περιοχές και οι εμπορικές και βιομηχανικές ζώνες κ.λ.π.
5. Η όλη διαδικασία που περιγράφηκε και ακολουθήθηκε, μπορεί να επεκταθεί με την προσθήκη αεροφωτογραφιών των γειτονικών περιοχών και να επαναληφθεί. Επίσης, μπορεί να προστεθεί και η υψομετρική πληροφορία της περιοχής και να παραχθεί ένας τρισδιάστατος χάρτης. Αυτά τα στοιχεία μπορούν συνεχώς να εμπλουτίζονται με νέα δεδομένα και να δημιουργηθεί μια βάση δεδομένων με πληροφορίες αυτού του τύπου, έτοιμες προς χρήση από τον κάθε ενδιαφερόμενο.





## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΔΕΡΜΑΝΗΣ : Αναλυτική φωτογραμμετρία
2. Π. ΠΑΤΙΑΣ : Εισαγωγή στην φωτογραμμετρία , Θεσσαλονίκη 1991
3. ΓΙΩΡΓΟΣ ΧΑΡ. ΜΗΛΙΑΡΕΣΗΣ : Φωτοερμηνεία – Τηλεπισκόπηση, 2003
4. ΓΙΩΡΓΟΣ ΧΑΡ. ΜΗΛΙΑΡΕΣΗΣ : Ειδικές Εφαρμογές στο ArcGIS, 2006
5. BARRY F. KAVANAGH S.J. GLENN BIRD : Surveying principles and applications
6. AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERING : Photogrammetric mapping
7. AMERICA SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY : Manual of photogrammetry, fourth edition, 1980
8. KARL KRAUS: φωτογραμμετρία, 2003