

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Η ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ



ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΣΠΟΥΔΑΣΤΩΝ:

ΧΑΛΚΙΑΔΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ
ΚΑΡΑΜΠΑΤΣΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:
ΣΑΡΑΝΤΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ

ΠΑΤΡΑ - ΜΑΪΟΣ 2011

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η ανάγκη για τον προσδιορισμό της θέσης του στο σύμπαν, ξεκίνησε για τον άνθρωπο από τα προϊστορικά κιόλας χρόνια. Οι άνθρωποι της παλαιολιθικής εποχής αναπαριστούσαν τις διαδρομές που ακολουθούσαν καθημερινά για το κυνήγι τους σε χάρτες επάνω στους βράχους των σπηλαίων. Οι αρχαίοι Έλληνες και Αιγύπτιοι, μελετούσαν τα άστρα στην προσπάθεια τους να χαρτογραφήσουν τον τότε γνωστό κόσμο. Εκείνη την περίοδο ήταν που γεννήθηκε και η γεωμετρία, ο ακρογωνιαίος λίθος των μεθόδων μέτρησης που εξελίχθηκαν αργότερα. Με την ανάπτυξη της γεωμετρίας, οι μετρήσεις ξεκίνησαν να γίνονται πιο συστηματικές και ποσοτικοποιημένες. Ο Αριστοτέλης αναφέρεται χαρακτηριστικά στον ‘μετρητή της γης’ ως *γαιοδέτη*, και ορίζει τη γεωδαισία ως την πρακτική εφαρμογή της γεωμετρίας, αντιδιαστέλλοντας την με την θεωρητική γεωμετρία. Οι μετρήσεις των αρχαίων μοιάζουν σήμερα εξαιρετικά ακριβείς, ειδικά εάν λάβουμε υπόψη μας τα μέσα που είχαν στη διάθεσή τους. Τις ίδιες μεθόδους ακολουθούσαν και άλλοι αρχαίοι λαοί, όπως οι Βαβυλώνιοι, οι Κινέζοι και λίγο αργότερα οι Άραβες.

Σύντομα, όμως, δημιουργήθηκε η ανάγκη για την πραγματοποίηση πιο ακριβών μετρήσεων, και κάπως έτσι ξεκίνησε η κατασκευή οργάνων μέτρησης, τα οποία με τον καιρό εξελίχθηκαν στα γνωστά σε εμάς σήμερα, **όργανα τοπογραφίας**.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματεύεται την εξέλιξη των οργάνων της τοπογραφίας στο πέρασμα των αιώνων. Η ακρίβεια των μετρήσεων που πραγματοποιούν τα όργανα αυξάνεται ολοένα και περισσότερο όσο πλησιάζουμε χρονολογικά τη σημερινή εποχή. Από απλά χειροποίητα όργανα, όπως το αλφάδι, ο διαβήτης ή ακόμη και απλές κατασκευές φτιαγμένες μονάχα με ένα νήμα και ένα βαρίδιο, έχουμε φτάσει σήμερα σε απόλυτα ψηφιοποιημένα όργανα, όπως laser χωροβάτες, το Παγκόσμιο Δορυφορικό Σύστημα NAVSTAR(GPS) κ.α

Η ιστορική εξέλιξη των οργάνων της τοπογραφίας είναι ένα θέμα που παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, καθώς μέσα από την μελέτη αυτής της πορείας στο πέρασμα των αιώνων, θα παρατηρήσουμε πως η εξέλιξη της επιστήμης συμβάδιζε πάντα με την εξέλιξη του πολιτισμού των λαών. Ο άνθρωπος είναι *homo sapiens* (άνθρωπος του πνεύματος), και πάντα ένιωθε μία ενδεδειγμένη ανάγκη για εξερεύνηση, για τη μελέτη του αγνώστου. Αυτή η ενδεδειγμένη επιθυμία ήταν πάντα ο οδηγός του στην εξέλιξη, στην έρευνα, και εκείνη τον έχει οδηγήσει στην επίτευξη όλων των τεχνολογικών θαυμάτων που χρησιμοποιούμε σήμερα σε κάθε πτυχή της ζωής μας, συμπεριλαμβανομένων και των τοπογραφικών οργάνων τα οποία θα μελετήσουμε στην παρούσα μελέτη.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η τοπογραφία είναι η επιστήμη που βοηθά στην απεικόνιση της θέσης ενός σημείου στο χώρο. Ετυμολογικά, η προέλευση της λέξης προκύπτει από το συνδυασμό των λέξεων 'τόπος' και 'γεωγραφία'. Καθίσταται, έτσι, εύκολο στον αναγνώστη να αντιληφθεί το αντικείμενο της τοπογραφίας, την τοποθέτηση, δηλαδή, ενός σημείου, στον γεωγραφικό χώρο. Το πλαίσιο αναφοράς ποικίλει ανάλογα με τους σκοπούς του τοπογράφου. Μπορεί να είναι μία πόλη, μία χώρα, μία ήπειρος, ολόκληρη η Γη, ακόμη και το σύμπαν (αυτό συμβαίνει στην περίπτωση αστρονομίας, μίας επιστήμης η οποία μοιράστηκε πολλές κοινές μεθόδους μετρήσεων με την τοπογραφία στην πορεία των αιώνων).

Η εφαρμογή των τοπογραφικών μεθόδων μέτρησης στην καθημερινότητα του ανθρώπου βοήθησαν από την αρχαιότητα μέχρι και σήμερα στην κατασκευή κάθε είδους τεχνικών έργων και την κατάρτιση κάθε λογής γραπτών κειμένων που αφορούσαν την κατανόηση της μορφής της γης από τον άνθρωπο. Από τις μεγαλοπρεπείς πυραμίδες της Αιγύπτου, στο Σινικό Τείχος, φράγματα, γέφυρες, ναούς, δρόμους, τη σύνταξη κτηματολογίων, τη χαρτογράφηση και τόσα άλλα αξιομνημόνευτα έργα. Η παρούσα μελέτη πραγματοποιεί μνεία σε πλήθος από αυτά τα έργα, ώστε ο αναγνώστης να μπορέσει να σχηματίσει μία πλήρη εικόνα της σπουδαιότητας της τοπογραφίας ως επιστήμης.

Η εξέλιξη της επιστήμης, ωστόσο, είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την εξέλιξη των οργάνων μέτρησης που ο τοπογράφος έχει στη διάθεση του. Αυτό είναι και το θέμα που πραγματεύεται η παρούσα μελέτη. Η ροή της μελέτης ακολουθεί χρονολογική πορεία, ξεκινώντας από τα αρχαία χρόνια, προχωρώντας σταδιακά προς τον 21^ο αιώνα, επιβραδύνοντας στα σημεία εκείνα τα οποία κρίνονται ως τα πιο σημαντικά. Η εξέλιξη των οργάνων ακολουθούσε πάντοτε τις ανάγκες του ανθρώπου για τον προσδιορισμό της ατομικής ιδιοκτησίας, την προστασία των εδαφών ενός κράτους, την επεκτατική πολιτική άλλων κρατών, τις εξερευνήσεις. Όσο πιο απαιτητικές ήταν αυτές οι ανάγκες, όσο η απόλυτη ακρίβεια των μετρήσεων γινόταν ολοένα και περισσότερο απαραίτητη, τόσο τα τοπογραφικά όργανα εξελίσσονταν, προσαρμόζονταν στην κάθε εποχή.

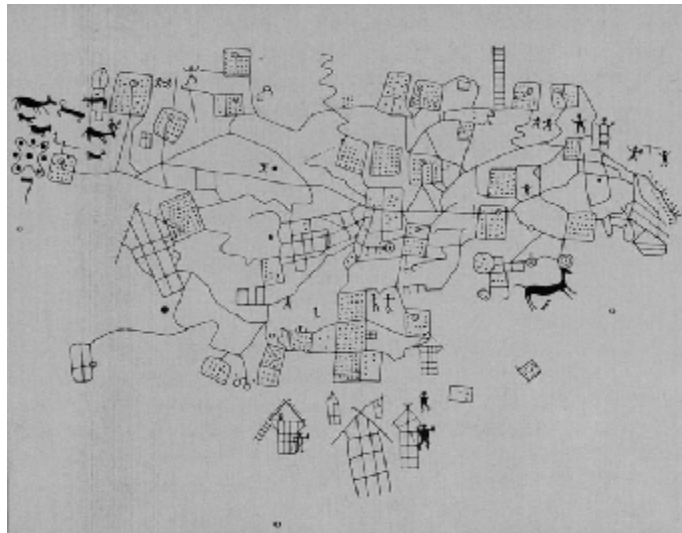
Στην παρούσα μελέτη, η παρουσίαση των τοπογραφικών οργάνων πραγματοποιείται σε συνδυασμό με την παράθεση φωτογραφικού υλικού ώστε να αναγνώστης να μπορέσει να κατανοήσει πλήρως την εξέλιξη των οργάνων, τις προσθήκες και την προσαρμογή τους στις νέες, κάθε φορά, ανάγκες.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	4
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
1. ΤΑ ΠΡΩΤΑ ΟΡΓΑΝΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ	9
i. ΟΙ ΑΡΧΑΙΟΙ ΑΙΓΥΠΤΙΟΙ.....	9
ii. ΟΙ ΑΡΧΑΙΟΙ ΕΛΛΗΝΕΣ	12
iii. ΟΙ ΑΡΧΑΙΟΙ ΡΩΜΑΙΟΙ	22
iv. ΑΛΛΟΙ ΑΡΧΑΙΟΙ ΛΑΟΙ.....	29
• ΟΙ ΒΑΒΥΛΩΝΙΟΙ	29
• ΟΙ ΚΙΝΕΖΟΙ.....	31
• ΟΙ ΑΡΑΒΕΣ.....	34
2. ΑΠΟ ΤΟ ΜΕΣΑΙΩΝΑ ΣΤΗΝ ΑΝΑΓΕΝΝΗΣΗ.....	36
i. ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΟ ΓΕΩΠΟΛΙΤΙΚΟ ΣΚΗΝΙΚΟ	37
ii. ΝΕΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ.....	39
3. 18 ^{ος} ΑΙΩΝΑΣ – Ο ΠΡΟΔΡΟΜΟΣ ΤΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΕΠΑΝΑΣΤΑΣΗΣ	42
4. ΤΟ ΠΕΡΑΣΜΑ ΑΠΟ ΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΕΠΑΝΑΣΤΑΣΗ ΣΤΟΥΣ ΠΟΛΕΜΟΥΣ.....	48
i. 19 ^{ος} ΑΙΩΝΑΣ.....	48
ii. 20 ^{ος} ΑΙΩΝΑΣ.....	50
5. Η ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΕΠΟΧΗ	54
i. 21 ^{ος} ΑΙΩΝΑΣ.....	55
ii. ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ	58
• Μετροταινία.....	58
• Αποστασιόμετρα	59
• Όργανο EDM.....	59
• Γεωδαιτικοί Δέκτες GPS	60
• Ο Θεοδόλιχος.....	61
• Ο Χωροβάτης.....	65
• Γεωδαιτικός Σταθμός	66
• Τρισδιάστατοι Ανιχνευτές Laser (3D laser scanner)	67
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	72
ΙΣΤΟΤΟΠΟΙ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ.....	74

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αδυναμία εποπτείας του γεωγραφικού χώρου οδήγησε από πολύ νωρίς τον άνθρωπο στις πρώτες προσπάθειες οπτικής αναπαράστασης και πρόχειρης μέτρησης του κόσμου γύρω του. Η γνώση της θέσης του σε κάθε του δραστηριότητα ήταν επίσης σημαντική σε ότι αφορούσε στη φυσική επιβίωσή τους. Έτσι, από την παλαιολιθική κιάλας εποχή, παρατηρούμε σε τοιχογραφίες που έχουν ανακαλυφθεί, αποτυπώσεις τοπίων και χαράξεις διαδρομών στην πιο απλοϊκή τους μορφή. Παρά την απλοϊκότητα τους, όμως, εμφανίζουν στοιχεία ακρίβειας και συστηματικότητας, υποδεικνύοντας ότι ο άνθρωπος από τότε είχε αρχίσει να αντιλαμβάνεται τις διαστάσεις των αντικειμένων γύρω του, να προσδιορίζει τα αντικείμενα αυτά στο χώρο και στη συνέχεια να καταγράφει αυτό που βλέπει. Θα μπορούσε κάποιος να χαρακτηρίσει αυτή τη μέθοδο ως την πρώιμη εμφάνιση της επιστήμης της τοπογραφίας.



Πετρογλυφικό τοπογράφημα της Bedolina, δείγμα προϊστορικού χάρτη

Από τα αρχαία χρόνια η τοπογραφία αναπτύχθηκε ως μια εφαρμοσμένη επιστήμη. Από την αρχή της ιστορίας ο άνθρωπος κατανόησε τις πιο στοιχειώδεις γεωμετρικές έννοιες: την οριζόντια και κατακόρυφη ευθεία και το οριζόντιο επίπεδο. Οι πρώτες μονάδες μέτρησης μηκών βασίστηκαν στις διαστάσεις των μελών του ανθρώπινου σώματος. Με την ανάπτυξη του πολιτισμού και για τις ανάγκες κατασκευής οικοδομημάτων και τεχνικών έργων επινοήθηκαν τα πρώτα τοπογραφικά όργανα: Σχοινιά με κόμπους για τη μέτρηση του μήκους, ώστε να μετράται το μέγεθος των αγρών για διανομή και φορολόγηση, νήμα της στάθμης για το κτίσιμο κατακόρυφων τοίχων, όργανα χάραξης ορθών γωνιών για την κατασκευή κτιρίων, καθώς και όργανα ελέγχου οριζοντιότητας επιπέδων και μέτρησης υψομετρικών διαφορών για την κατασκευή αρδευτικών δικτύων, καναλιών και αγωγών ύδρευσης.

Η εξέλιξη αυτή της τοπογραφίας καθώς διανύουμε τα αρχαία χρόνια, οφείλεται στην επιθυμία του ανθρώπου για τον προσδιορισμό του χώρου η οποία γίνεται ολοένα και πιο έντονη. Η επιθυμία αυτή συνδέεται συχνά με την ανάπτυξη των θρησκευτικών δοξασιών, των μύθων και το ρόλο του σύμπαντος σε αυτά. Οι μύθοι αυτοί διαμόρφωναν την κοσμολογία των αρχαίων λαών. Ισχυρό παράδειγμα των μετρήσεων των αρχαίων αποτελούν οι πυραμίδες της Αιγύπτου, οι οποίες, αν και χτισμένες χιλιάδες χρόνια πριν, φαίνεται να έχουν εξαιρετική γεωμετρική συμμετρία.

Στη συνέχεια του ρου της ιστορίας, και κατά τα ρωμαϊκά χρόνια, δεν παρατηρούνται ιδιαίτερες προσθήκες στα τοπογραφικά όργανα, όμως παρατηρούνται συστηματικότερες μετρήσεις. Κατά τη ρωμαϊκή εποχή είναι που καθιερώνεται το επάγγελμα του τοπογράφου.

Μετά την πτώση της ρωμαϊκής αυτοκρατορίας, ακολουθεί ο μεσαίωνας, όπου γίνονται εμφανείς οι επιδράσεις της θρησκοληψίας σε όλες τις επιστήμες. Παρατηρούμε την επικράτηση του σκοταδισμού και στην επιστήμη της τοπογραφίας, με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν ουσιαστικές προσθήκες. Το σκοτάδι του μεσαίωνα διαδέχεται το φως της Αναγέννησης, οπότε και όλες οι επιστήμες γνωρίζουν άνθιση. Εκείνη την εποχή αρχίζει στην Ευρώπη η χρησιμοποίηση διαφόρων νέων οργάνων. Μεταξύ αυτών, συμπεριλαμβάνεται και ο αστρολάβος όργανο το οποίο επαναχρησιμοποιείται για πρώτη φορά μετά την αρχαιότητα οπότε και εξυπηρετούσε αστρονομικές παρατηρήσεις. Ο αστρολάβος προσαρμόζεται πλέον κατάλληλα ώστε να χρησιμοποιείται για τοπογραφικές μετρήσεις. Άλλα όργανα που χρησιμοποιούνται στις τοπογραφικές μετρήσεις κατά την Αναγέννηση είναι τα ορθόγωνα και οι μαγνητικές πυξίδες. Κατά την Αναγέννηση κατασκευάζεται και χρησιμοποιείται για πρώτη φορά ο θεοδόλιχος. Η ανάπτυξη της ναυσιπλοΐας για εξερευνητικούς αλλά και εμπορικούς σκοπούς, και η θαλάσσια σύνδεση της Ευρώπης και της Ανατολής οδηγεί στην σημαντική διάδοση των επιστημονικών γνώσεων, αλλά και στην ανάπτυξη της χαρτογραφίας.

Στη συνέχεια, και με την έκρηξη της βιομηχανικής επανάστασης, αρχίζει να μαζικοποιείται η παραγωγή τοπογραφικών οργάνων, να χρησιμοποιούνται νέα υλικά (κυρίως μέταλλο) και τα όργανα μέτρησης να γίνονται περισσότερο ακριβή. Η τοπογραφία διδάσκεται πλέον στα πανεπιστήμια, αναγνωριζόμενη πλέον ως ξεχωριστή επιστήμη και όχι απλά ως κλάδος της αρχαίας γεωδαισίας ή της γεωμετρίας. Κατασκευάζονται θεοδόλιχοι και χωροβάτες υψηλής ακριβείας, λινές και μεταλλικές μετροταινίες, κανόνες και ειδικά σύρματα για τη μέτρηση του μήκους. Όπως είναι αναμενόμενο, η εξέλιξη και η ανάπτυξη των διαφόρων κρατών δημιουργεί συνεχώς και μεγαλύτερες ανάγκες τοπογραφικών σχεδίων, χαρτών και ειδικών μετρήσεων.

Η μετάβαση στον 20^ο αιώνα συμβαδίζει με τους παγκοσμίους πολέμους. Οι πόλεμοι οδηγούν στην ενίσχυση των ερευνητικών δραστηριοτήτων σε όλα τα επιστημονικά πεδία, συμπεριλαμβανομένης της τοπογραφίας. Η έκδοση βιβλίων πληθαίνει, ωστόσο η συνεργασία μεταξύ των διαφόρων κρατών σε γεωδαιτικά και τοπογραφικά θέματα δεν είναι η καλύτερη κατά το διάστημα του μεσοπολέμου. Κατά τον Α΄ Παγκόσμιο Πόλεμο αυτοματοποιούνται οι χωροβάτες και οι θεοδόλιχοι, ενώ κατά το Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο εισάγεται για πρώτη φορά η ηλεκτρομαγνητική μέτρηση των αποστάσεων, η μέτρηση δηλαδή μηκών με τη βοήθεια οργάνων που εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Μετά το τέλος των πολέμων, και όσο πλησιάζουμε την σημερινή εποχή, η εξέλιξη των τοπογραφικών οργάνων είναι αλματώδης. Ο σύγχρονος τοπογράφος έχει να επιλέξει ανάμεσα από μία μεγάλη ποικιλία οργάνων, τα οποία του προσφέρουν υψηλή ακρίβεια. Τέτοια όργανα είναι οι Γεωδαιτικοί Σταθμοί (Total Station), Ταχύμετρα, Χωροβάτες και πληθώρα άλλων οργάνων υψηλής τεχνολογίας.

Η τεχνολογική ανάπτυξη και εξέλιξη των τοπογραφικών οργάνων καθώς και των προγραμμάτων επεξεργασίας των μετρήσεων αύξησε σε μεγάλο βαθμό την αξιοπιστία και ακρίβεια τόσο των μετρήσεων όσο και των αποτελεσμάτων που λαμβάνουμε.

Περνώντας από την παλαιολιθική εποχή στα αρχαία χρόνια, από εκεί στο μεσαίωνα και την αναγέννηση για να φτάσουμε μέχρι τη σύγχρονη εποχή, ο τρόπος μέτρησης των αποστάσεων και της αποτύπωσης των αντικειμένων έχει διαφοροποιηθεί πλήρως, γνωρίζοντας σημαντική εξέλιξη. Μέσω της εξέλιξης αυτής, γεννήθηκε η επιστήμη της τοπογραφίας όπως τη γνωρίζουμε σήμερα.

Η ιστορική εξέλιξη των οργάνων της τοπογραφίας, όπως εν συντομία παρουσιάστηκε σε αυτήν την εισαγωγή, θα αναλυθεί στην πορεία της παρούσας μελέτης. Η αναφορά στην εξέλιξη των οργάνων θα ακολουθήσει χρονολογική σειρά, με σημείο εκκίνησης της αρχαιότητα. Στη συνέχεια ακολουθεί συνοπτική παρουσίαση των κεφαλαίων που δομούν την πτυχιακή μας.

Κεφάλαιο πρώτο: Τα πρώτα όργανα τοπογραφίας

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται αναφορά σε όλους τους σπουδαίους λαούς που ήκμασαν κατά την αρχαιότητα και είχαν συμβολή στην ιστορική εξέλιξη των οργάνων της τοπογραφίας. Πιο συγκεκριμένα γίνεται αναλυτική αναφορά στους Αιγυπτίους, στους Έλληνες, στους Ρωμαίους, και πιο περιληπτική αναφορά σε λαούς οι οποίοι δεν συνέδραμαν τόσο ενεργά (ή τουλάχιστον δεν υπάρχουν ικανά στοιχεία που να το αποδεικνύουν), όπως οι Βαβυλώνιοι, οι Κινέζοι και οι Άραβες.

Κεφάλαιο δεύτερο: Από το Μεσαίωνα στην Αναγέννηση

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται σε αντιδιαστολή η ελάχιστη παραγωγικότητα και συνεισφορά του Μεσαίωνα στην εξέλιξη της τοπογραφίας και η φωτεινή περίοδος της Αναγέννησης, κατά την οποία οι λαμπροί επιστήμονες αφέθηκαν να ερευνήσουν χωρίς λογοκρισία.

Κεφάλαιο τρίτο: 18^{ος} αιώνας – ο πρόδρομος της βιομηχανικής επανάστασης

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούμε κυρίως στην εξέλιξη των σημαντικών τοπογραφικών οργάνων, τον θεοδόλιχο και τον χωροβάτη. Τα όργανα αυτά εξελίχθηκαν τον 18^ο αιώνα χρησιμοποιώντας τη γνώση που γεννήθηκε τη λαμπρή περίοδο της Αναγέννησης. Αναφορές πραγματοποιούνται και σε μερικά επιπλέον όργανα τα οποία έκαναν την εμφάνιση τους αυτήν την περίοδο.

Κεφάλαιο τέταρτο: Το πέρασμα από τη βιομηχανική επανάσταση στους Πολέμους

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μία επισκόπηση της περιόδου που μεσολάβησε από την απαρχή της βιομηχανικής επανάστασης και μέχρι το τέλος των Παγκοσμίων Πολέμων. Η βιομηχανική επανάσταση έχει συνδεθεί με μία εποχή κατά την οποία οι επιστήμες ανθούσαν και ο άνθρωπος κατασκεύασε σημαντικά επιτεύγματα της σύγχρονης μηχανικής, όπως το τρένο. Σημαντική ήταν η εξέλιξη των φυσικών επιστημών και κατά τη διάρκεια των Παγκοσμίων Πολέμων, οπότε και η γεωπολιτική εικόνα του κόσμου άλλαξε δραματικά. Χαρακτηριστικό γνώρισμα της εποχής ήταν η στρατολόγηση μεγάλων επιστημόνων από τους κατακτητές για τη διεξαγωγή πειραμάτων, όπως για παράδειγμα η κατασκευή της ατομικής βόμβας.

Κεφάλαιο πέμπτο: Η σύγχρονη εποχή

Η επιστήμη της τοπογραφίας έχει εξελιχθεί σημαντικά από το δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα έως και σήμερα. Οι μετρήσεις έχουν πλέον αυτοματοποιηθεί και έχουν γίνει πιο ακριβείς. Ο σύγχρονος τοπογράφος έχει πλέον στη διάθεση του όργανα όπως ο γεωδαιτικός σταθμός, ο χωροβάτης, το ταχύμετρο, το GPS κ.α. που τελειοποιούν και διευκολύνουν κατά πολύ τις μετρήσεις που πραγματοποιεί.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

1. ΤΑ ΠΡΩΤΑ ΟΡΓΑΝΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ

Τα πρώτα όργανα τοπογραφίας επινοήθηκαν και κατασκευάστηκαν κατά την αρχαιότητα. Στην πλειοψηφία τους ήταν όργανα μέτρησης αποστάσεως και εξυπηρετούσαν κυρίως τις ανάγκες της χαρτογράφησης του τότε γνωστού κόσμου, προς εξυπηρέτηση της ναυσιπλοΐας, είτε για εμπόριο, είτε για εξερεύνηση, είτε για εξυπηρέτηση της επεκτατικής πολιτικής.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα πρώτα όργανα τοπογραφίας που επινοήθηκαν και κατασκευάστηκαν κατά την αρχαιότητα. Θα αναφερθούμε σε κάθε λαό ξεχωριστά, τοποθετώντας τους χρονολογικά.

i. ΟΙ ΑΡΧΑΙΟΙ ΑΙΓΥΠΤΙΟΙ

Όπως υποδεικνύουν τα ιστορικά βιβλία, η Αίγυπτος είναι η πατρίδα των πρώιμων τοπογραφικών μετρήσεων με συστηματικό τρόπο. Ο λόγος για τον οποίο η τοπογραφία ήταν τόσο απαραίτητη για τους αρχαίους Αιγυπτίους, ήταν κυρίως οι ετήσιες πλημμύρες, οι οποίες έθαβαν ή κατέστρεφαν τα σημάδια οριοθέτησης των ιδιωτικών αγροτεμαχίων, τα οποία έπρεπε να επανατοποθετούνται κάθε φορά μετά από τις πλημμύρες ώστε να προσδιορίζουν τις ατομικές ιδιοκτησίες γης. Όπως αναφέρει χαρακτηριστικά ο Ηρόδοτος:

Λένε ότι αυτός ο Βασιλιάς μοίρασε τη χώρα σε όλους τους Αιγυπτίους δίνοντας στον καθένα έναν ίσο τετράγωνο κλήρο για τον οποίο θα πληρώνει ετήσιο φόρο και με αυτό τον τρόπο δημιούργησε εισοδήματα. Και όποιος έχανε από πλημμύρα μέρος της γης του, πήγαινε στον Βασιλιά και έλεγε τι είχε συμβεί. Τότε ο Βασιλιάς έστελνε ανθρώπους που εξέταζαν και μετρούσαν το τμήμα κατά το οποίο μειώθηκε η γη, ώστε να πληρώνει αναλογικά μικρότερο φόρο από εκείνον που αρχικά του είχε επιβληθεί. Έτσι νομίζω βρέθηκε η γεωμετρία και ήλθε στην Ελλάδα.

Ηρόδοτος, ΙΣΤΟΡΙΑΙ, ΙΙ-109

Εκινώντας από εκεί, η αιγυπτιακή τοπογραφία εξελίχθηκε ακόμη περισσότερο, γεγονός το οποίο αποδεικνύεται από την απόλυτη γεωμετρική ακρίβεια της κατασκευής των πυραμίδων, σημάδια αρχιτεκτονικών μετρήσεων στους τάφους και ένα πλήθος σχεδίων που έχουν ανακαλυφθεί, τα οποία αποκαλύπτουν πως οι αρχαίοι αιγύπτιοι τοπογράφοι-μηχανικοί πραγματοποιούσαν μελέτες πριν υλοποιήσουν ένα έργο.

Τρανή απόδειξη των ανωτέρω, αποτελεί η Μεγάλη Πυραμίδα του Χέοπος στη Γκίζα, η οποία κτίστηκε γύρω στα 2700 π.Χ., σύμφωνα με μια αναφορά του Ηρόδοτου, με μήκος περίπου 230 και ύψος περίπου 146 μέτρα. Το σχεδόν τέλειο τετραγωνικό σχήμα της (η μέγιστη απόκλιση των πλευρών είναι της τάξης των δύο εκατοστών), ο ακριβής προσανατολισμός της (τρία πρώτα λεπτά της μοίρας απόκλιση βορειοδυτικά) και η οριζοντίωση της βάσης της, επιβεβαιώνουν την τοπογραφική κατάρτιση των κατασκευαστών της. Ενδιαφέροντα στοιχεία υπάρχουν και στις διαστάσεις αυτής της πυραμίδας: Η περίμετρος της (921,46 μέτρα) διαιρούμενη με το διπλάσιο του ύψους της (293,46) δίνει την τιμή 3,14, αριθμό πολύ κοντά στο "π".



Παράσταση στους τοίχους ενός τάφου στη Σαχάρα. Στην εικόνα δύο άτομα μετρούν το σπαρμένο χωράφι, ώστε να υπολογισθεί η σοδειά. Τρεις γραφείς ελέγχουν το τεντωμένο σχοινί ενώ ένας ηλικιωμένος που περπατά με τη βοήθεια ενός παιδιού πιστοποιεί τα όρια.

Οι αρχαίοι Αιγύπτιοι τοπογράφοι χρησιμοποιούσαν τους 'προγόνους' των σημερινών τοπογραφικών οργάνων για τη διεξαγωγή μετρήσεων. Ένα συνεργείο κατασκευαστών θα χρησιμοποιούσε σχοινιά για να μετράει αποστάσεις, όργανα χωροθέτησης και απλά εργαλεία καθορισμού σημείων. Οι μονάδες μέτρησης που χρησιμοποιούντο εκείνη την εποχή σχετίζονταν με διάφορα μέρη του ανθρωπίνου σώματος. Η κυριότερη μονάδα μήκους των Αιγυπτίων ήταν ο βασιλικός πήγης (0,524 μέτρα) και βασική του υποδιαίρεση ο δάκτυλος (0,0187 μέτρα). Με βάση το δάκτυλο υπολογίζονται τα εξής μέτρα: η παλάμη (4 δάκτυλοι), το χέρι (5 δάκτυλοι), μικρή σπιθαμή (12 δάκτυλοι), μεγάλη σπιθαμή (14 δάκτυλοι), μικρός πήγης (14 δάκτυλοι), κ.α.

Η μετρητική ταινία των αρχαίων Αιγυπτίων (ο παλαιός όρος για τους τοπογράφους ήταν «harpedonaptae», αρπεδονάπτης - αρπεδώνη + άπτω, ή εκείνος που τεντώνει το σχοινί) χρησιμοποιούταν για τη μέτρηση αποστάσεων. Τεντωνόταν ανάμεσα σε δύο πασσάλους και συνήθως έδεναν κόμπους στο ενδιάμεσο για να ορίζουν συγκεκριμένα σημεία. Το σχοινί μετά τη μέτρηση επεξεργαζόταν ειδικά για να μην αλλοιώνεται το μήκος του, συνήθως με την επάλειψη ενός ειδικού μίγματος κεριού μέλισσας και ρετσινιού. Οι μετρήσεις που λάμβαναν με τη συγκεκριμένη μέθοδο ήταν αρκετά ακριβείς για την απλότητα της, ωστόσο ήταν εύχρηστη στη μέτρηση μονάχα σχετικά κοντινών αποστάσεων

Το αλφάδι ήταν άλλο ένα τοπογραφικό όργανο το οποίο χρησιμοποιούσαν οι αρχαίοι Αιγύπτιοι. Επρόκειτο για ένα όργανο που προσέφερε στο χρήστη τη δυνατότητα να ορίσει μία τέλεια κάθετη στο επίπεδο ευθεία. Οι αρχαίοι Αιγύπτιοι προσπάθησαν να εκμεταλλευτούν αυτή την ακρίβεια του αλφαδιού σε όσες περισσότερες εφαρμογές μπορούσαν – στην αστρονομία, τη ναυσιπλοΐα, την τοπογραφία και την κατασκευή κτηρίων.



Το αλφάδι.

Όργανο χωροστάθμησης που βρέθηκε σε τύμβο στις Θήβες και χρονολογείται στα χρόνια του Ραμσή II.

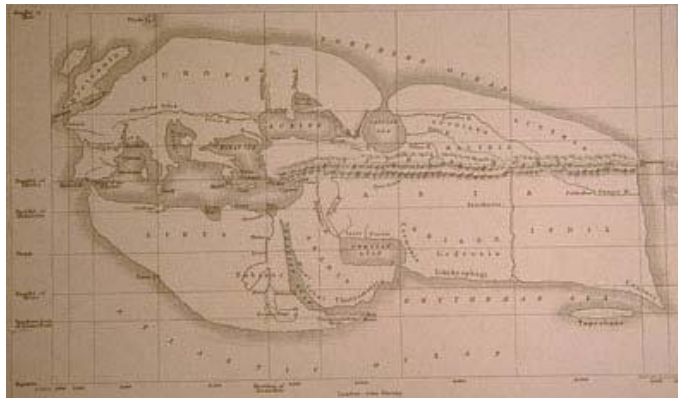
Ο σταυροειδής γνώμονας, η πρώτη μορφή του αστερίσκου, εμφανίζεται στην Αίγυπτο από τους ελληνοιστικούς χρόνους και μετά, για να συνδυάσει και να αξιοποιήσει καλύτερα το αλφάδι στη χάραξη ευθυγραμμίων και κάθετων γραμμών. Αποτελείται, στην πρώτη του απλοϊκή μορφή, από δύο ζευγάρια νημάτων της στάθμης που κρέμονται από τα άκρα δύο κάθετα τεμνόμενων ράβδων. Το όργανο τελειοποιήθηκε στη συνέχεια από τους Έλληνες και πέρασε μέσω των Ετρούσκων στους Ρωμαίους ως Γκρόμα.

Μπορεί οι αρχαίοι Αιγύπτιοι να μην χρησιμοποίησαν πολύ εξελιγμένα όργανα μέτρησης και χωροθέτησης, όμως ήταν σίγουρα αποτελεσματικά. Η παρακαταθήκη τους για τις επόμενες γενεές τοπογράφων ήταν σίγουρα σημαντική. Ο τρόπος και η ακρίβεια κατασκευής των πυραμίδων παραμένει έως και σήμερα ένα αξιοθαύμαστο φαινόμενο.

ii. ΟΙ ΑΡΧΑΙΟΙ ΕΛΛΗΝΕΣ

Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιάσουμε την ιστορική αναδρομή στα όργανα και στις μεθόδους της τοπογραφίας, της πρώτης γεωμετρίας κατά τον Ηρόδοτο ή της γεωδαισίας κατά τον Αριστοτέλη, κατά τα αρχαία έως και τα ελληνιστικά χρόνια.

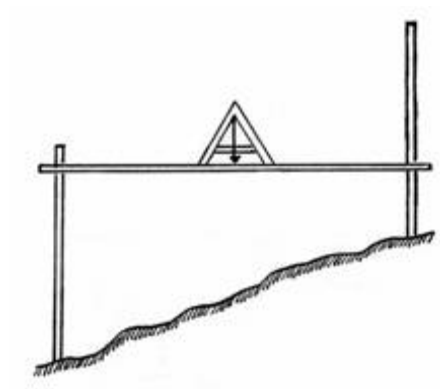
Κατά την κλασσική και την ελληνιστική περίοδο οι Έλληνες ανέπτυξαν και διέδωσαν σημαντικά τη Γεωμετρία, τα Μαθηματικά, την Αστρονομία, τη Χαρτογραφία, αλλά και την εφαρμοσμένη Τοπογραφία. Οι Έλληνες χρησιμοποιούσαν διάφορα απλά τοπογραφικά όργανα: Τον αστέρα για τη χάραξη ορθών γωνιών, σχοινιά για τη μέτρηση μηκών και σταδίες για τη διευκόλυνση προσδιορισμού υψομετρικών διαφορών. Χρησιμοποιούσαν επίσης τον αστρολάβο για αστρονομικές μετρήσεις. Την περίοδο αυτή ο Ερατοσθένης, που θεωρείται ο πρώτος Γεωδαίτης, προσδιόρισε το μήκος της περιμέτρου της Γης με τη μέτρηση του πλάτους μεταξύ Αλεξάνδρειας και Ασουάν.



Χάρτης του Ερατοσθένη (194 π.Χ.)

Σύμφωνα με τους Έλληνες συγγραφείς, τον Ηρόδοτο, τον Ήρωνα, τον Στράβωνα, τον Πρόκλο κ.ά., η γεωμετρία ως επιστήμη γεννήθηκε στην κοιλάδα του Νείλου και από εκεί μεταδόθηκε στην Ελλάδα. Βέβαια, με τον όρο γεωμετρία στα παραπάνω κείμενα υπονοείται η στοιχειώδης και πρακτική γεωμετρία, που ασκούσε το αιγυπτιακό ιερατείο για την εξυπηρέτηση μόνο πρακτικών αναγκών, κυρίως της μέτρησης της γης.

Από τα πολύ παλιά χρόνια οι Έλληνες οριοθετούσαν τα χωράφια τους με πέτρες και ορόσημα (τους ούρους, όπως αναφέρει ο Ηρόδοτος) που προστατεύονταν από το θεό Ερμή. Ερμής σημαίνει το πνεύμα του έρματος (ερμάς, ερμαίον ή ερμαίος λόφος: σωρός από πέτρες). Τέτοιοι σωροί κατασκευάζονταν από τους προϊστορικούς χρόνους πάνω από τους τάφους, ως σημεία διαχωρισμού περιουσιών, όρια εκτάσεων και διαφόρων περιοχών καθώς και στις διασταυρώσεις των δρόμων. Στην ιστορία της ελληνικής αρχιτεκτονικής και των επιστημών γενικότερα μέχρι τους ελληνοιστικούς χρόνους το έργο του “τοπογράφου” δεν αναφέρεται. Όμως τα αρχαία θέατρα χτίστηκαν με βάση γεωμετρικά σχέδια, όπου κυριαρχεί ο συνδυασμός του κύκλου με ισόπλευρο και ισοσκελές τρίγωνο και με τετράγωνο. Η κατασκευή τους γινόταν με τέτοιο τρόπο ώστε να ενισχύεται η ακουστική τους. Τα μεγάλα τείχη των Αθηνών συμπεριλαμβάνονται στα μεγάλα έργα της Εποχής του Περικλέους, όπως επίσης και η κατασκευή του λιμένα του Πειραιώς και το πολεοδομικό σχέδιο της πόλης αυτής. Το σχέδιο εκπονήθηκε από τον Ιππόδαμο τον Μιλήσιο, που προσκλήθηκε στην Αθήνα από τον Περικλή γι’ αυτόν ακριβώς το λόγο.



Ο διαβήτης (διαβαίνω: στέκομαι όρθιος με ανοικτά πόδια), όργανο χωροστάθμησης. Θεωρείται επινόηση του Θεόδωρου, από τη Σάμο. Πρόκειται για ξύλινο πιθανώς όργανο σχήματος Άλφα, από την κορυφή του οποίου κρέμεται λιναίη. Ο Θέων της Αλεξάνδρειας ονομάζει το ίδιο όργανο αλφάριον και ο Ευστράτιος αργότερα αλφάδιον απ’ όπου και ο σημερινός όρος αλφάδι. Άλλα όργανα που χρησιμοποιούσαν τότε για χωροστάθμηση ήταν οι γνώμονες σχήματος Τ ή Γ σε συνδυασμό με λιναίη.

Κατά την αρχαιότητα, οι Έλληνες κατασκεύαζαν πλήθος ακόμη μεγάλων τεχνικών έργων, όπως το όρυγμα της Σάμου το 500π.Χ., γέφυρα στο Βόσπορο. Εκείνη την περίοδο πραγματοποιείται και ο αρχικός σχεδιασμός της διανοίξεως της διώρυγας της Κορίνθου από τον τύραννο Περίανδρο. Όλα τα παραπάνω προϋποθέτουν εξελιγμένες τοπογραφικές μεθόδους και αποδεικνύουν ότι οι μέθοδοι οριοθέτησης της γης και οι ανεπτυγμένες τεχνικές αποτύπωσης και χάραξης αναπτύχθηκαν από τους Έλληνες, πέρασαν στους Ετρούσκους και στη συνέχεια στους Ρωμαίους.

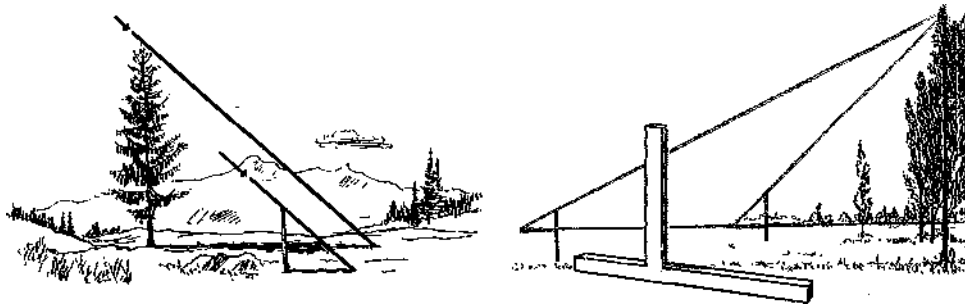
Όπως στην Αίγυπτο, έτσι και στην αρχαία Ελλάδα, οι μονάδες μέτρησης που χρησιμοποιούντο ήταν βασισμένες σε τμήματα του ανθρωπίνου σώματος, με τους Έλληνες να χρησιμοποιούν κυρίως τον «που», δηλαδή το πόδι. Το μέγεθος του δεν ήταν σταθερό, αλλά εξαρτιόταν από το σημείο από όπου γινόταν η μέτρηση στον Εκατόμπεδο του Παρθενώνα. Το μήκος του ποδός αντιστοιχεί σε μήκος μεταξύ 0,3083 και 0,2957 μ. Υποδιαίρεση του ποδός ήταν ο δάκτυλος, 1/16 του ποδός. Παράγωγες μονάδες του δάκτυλου ήταν ο παλαιστής ή παλαστής, ο λιχάς, το ορθόδωρο, η σπιθαμή, η πυγμή, ο πυγών και ο πήχυς. Παράγωγες μονάδες του πόδα ήταν το απλό και το διπλό βήμα, η οργυιά, η άκαινα, το πλέθρο και το στάδιο.

Τα πρώτα χειροπιαστά ευρήματα σχετικά με την εξέλιξη της τοπογραφίας στην αρχαία Ελλάδα, βρέθηκαν στην Ηράκλεια (πόλη της Λευκανίας στη νότια Ιταλία). Δύο χάλκινες πινακίδες των αρχών του 3ου αι. π.Χ. καταγράφουν την παρουσία των ναών του Διονύσου και της Αθηνάς. Μια ομάδα οριοθετών (οι οριστάι) μέτρησε τη γη και τοποθέτησε πέτρινα ορόσημα.

Οι «γεωδαίτες», κατά τον Αριστοτέλη, ασχολούνται με τη μέτρηση, τον χωρισμό των γαιών κυρίως σε ορθογώνια σχήματα, καθώς και τις χαράξεις των τεχνικών έργων. Έχουν ευθύνη να δίνουν πληροφορίες, όπως για παράδειγμα το πλάτος ενός ποταμού που πρέπει να περάσουν ή το ύψος των τειχών μιας πόλης που πρέπει να καταλάβουν τα ελληνικά στρατεύματα, μετρούν αποστάσεις και σχεδιάζουν χάρτες. Οι χαρτογράφοι (χωρογράφοι ή γεωγράφοι) κατασκευάζουν χάρτες ευρύτερης περιοχής, απεικονίζουν μέχρι και όλη την οικουμένη. Εισάγουν την έννοια των συντεταγμένων, του γεωγραφικού μήκους ή πλάτους, που τις προσδιορίζουν με συνδυασμούς αστρονομικών και επίγειων παρατηρήσεων. Παράλληλα ασχολούνται με το σχήμα της γης, τη μέτρηση της περιμέτρου της και τη μέτρηση υψών από απόσταση. Τα όργανα που χρησιμοποιούν είναι οι διάφορες μορφές του γνώμονα, η μετρητική αλυσίδα, το σχοινίο ή η αρπεδόνη, ο αστερίσκος και αργότερα, στα ελληνιστικά χρόνια, η διόπτρα και το οδόμετρο.

Ο Θαλής ο Μιλήσιος κατάφερε να μετρήσει με μαθηματική ακρίβεια το ύψος των πυραμίδων της Αιγύπτου, χρησιμοποιώντας απλώς μία ράβδο, εκμεταλλευόμενος τον σταθερό λόγο που υπάρχει μεταξύ του ύψους ενός αντικειμένου και της σκιάς που ρίχνει στο έδαφος. Μία γραπτή μαρτυρία αναφέρει για το γεγονός: «Ο Ιερόνυμος λέει ότι κατάφερε (ο Θαλής) να μετρήσει το ύψος των πυραμίδων μετρώντας το μήκος της σκιάς τους τη στιγμή που οι σκιές μας είναι ίσες με το ύψος μας»¹.

¹ Αναφέρεται από τον Διογένη τον Λαέρτιο και αποδίδεται σε μαρτυρία του Ιερόνυμου, μαθητή του Αριστοτέλη

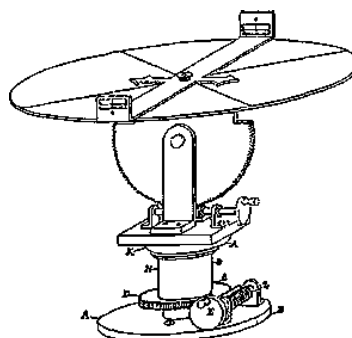


Η μέτρηση του ύψους ή της απόστασης με τη βοήθεια ράβδου ή γνώμονα σχήματος T

Μία από τις πιο σημαντικές συμβολές αρχαίου Έλληνα στην ανθρωπότητα μέχρι σήμερα, ήταν εκείνη του Πυθαγόρα για το διάσημο θεώρημα του. Το Πυθαγόρειο Θεώρημα έπαιξε καθοριστικό ρόλο στη διεξαγωγή συστηματικών μετρήσεων ακριβείας με απλά μέσα. Τόσο οι αρχαίοι Αιγύπτιοι, όσο και οι Ρωμαίοι, οι Κινέζοι και άλλοι λαοί πέραν των Ελλήνων εφάρμοσαν τις αρχές του Πυθαγόρα για να μετρήσουν γωνίες, και να ορίσουν τη θέση διαφόρων σημείων στο χώρο, καθώς και αποστάσεις μεταξύ σημείων.

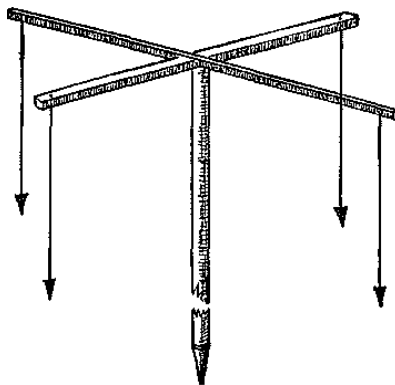
Ένα από τα τεχνικά έργα της αρχαιότητας κατά την κατασκευή του οποίου γίνεται χρήση της μέχρι τότε γεννηθείσης γνώσης, είναι το όρυγμα της Σάμου, όπως προαναφέραμε, ή Ευπαλίνειο Όρυγμα. Το υδραυλικό έργο που ανέλαβε ο Ευπαλίνος έχει συνολικό μήκος 1800 μέτρα. Σκοπός του είναι να διανοίξει έναν αγωγό ύδρευσης διαμέσου του όρους Άμπελος, για την υδροδότηση της πρωτεύουσας της Σάμου. Η σήραγγα που διανοίχτηκε μέσα στο βουνό Άμπελος, διατομής 1,80 μέτρων περίπου και μήκους 1036 μέτρων, ήταν και το σημαντικότερο τμήμα του έργου. Η εκσκαφή της ξεκίνησε ταυτόχρονα από τις δύο μεριές του βουνού και τα δύο συνεργεία χρειάστηκαν λιγότερο από 10 χρόνια για να ολοκληρώσουν το δύσκολο έργο τους. Οι δύο ομάδες συναντήθηκαν στο κέντρο με ελάχιστη απόκλιση, παρόλο που η μία (η βόρεια) υποχρεώθηκε να αποκλίνει από την ευθεία γραμμή, πιθανώς λόγω της σαθρότητας των πετρωμάτων σ' εκείνο το σημείο και συνέχισε διαγράφοντας τεθλασμένη γραμμή.

Η μόνη μαρτυρία για τον προσανατολισμό σήραγγας κατά τη χάραξη της δίνεται από τον Ήρωνα στο σύγγραμμα «Περί διόπτρας».



Η διόπτρα του Ήρωνος

Χρησιμοποιείται ένα σύστημα ορθογωνίων συντεταγμένων που δημιουργείται με μια περιμετρική του βουνού όδευση με ορθές γωνίες. Φαίνεται απίθανο να διατηρήθηκε στην προφορική παράδοση για έξι αιώνες η τεχνική της χάραξης ώστε να πρόκειται για την ίδια σήραγγα. Όμως είναι το ίδιο περίεργο πως ο Ήρων, ένας μεγαλοφυής μηχανικός ο οποίος τελειοποίησε τη διόπτρα φτάνοντας στη μορφή του σημερινού θεοδόλιχου να δίνει τη λύση χρησιμοποιώντας ένα τέτοιο όργανο για τη χάραξη μόνο ορθών γωνιών. Στην εφαρμογή αυτή ο Ήρων αντικατέστησε με τη διόπτρα τον αστέρα, όργανο που αργότερα ονομάστηκε από τους Ρωμαίους γκρόμα και που ο Ήρων το περιγράφει τονίζοντας τα μειονεκτήματά του.



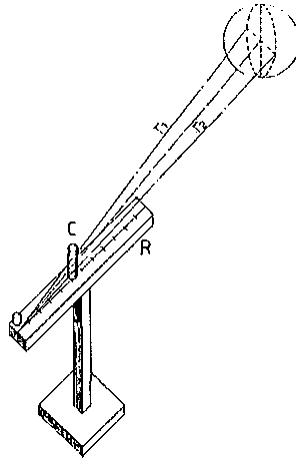
Αστερίσκος: Προήλθε από τον γνώμονα σχήματος Γ που το χρησιμοποιούσαν οι Έλληνες και άλλοι λαοί. Σε απλοϊκή μορφή το κατασκεύασε κάποιος Έλληνας μηχανικός στην Αλεξάνδρεια των ελληνιστικών χρόνων για τη χάραξη κάθετων ευθειών και εξελίχθηκε στη συνέχεια από τους Έλληνες. Στην αρχή αποτελούνταν από δύο μεταλλικούς κανόνες σε σχήμα σταυρού, τοποθετημένους κατάλληλα πάνω σε στύλο. Από κάθε άκρο του σταυρού κρεμόταν μια λιναίη. Η σκόπευση γινόταν με τη βοήθεια μιας κινητής λιναίης που κρατούσε ο παρατηρητής στο χέρι του

Κατά την κλασική περίοδο, την περίοδο της μεγάλης ακμής των επιστημών και του πολιτισμού στην αρχαία Ελλάδα, τα κείμενα πληθαίνουν. Ο κόσμος είναι εξοικειωμένος με γεωγραφική απεικόνιση του κόσμου, όπως φαίνεται στις Νεφέλες, όπου ο Αριστοφάνης δίνει και τον ορισμό της γεωμετρίας ως της επιστήμης που ασχολείται με τη μέτρηση όλης της γης. Δημιουργείται η Ακαδημία του Πλάτωνα, όπου η γεωμετρία έχει τη σημαντικότερη θέση. Τότε είναι που ο Αριστοτέλης ορίζει τον «γεωδέτη» όπως είδαμε σε προγενέστερο σημείο της παρούσης ενότητας.

Στη συνέχεια έρχεται η μεγαλεπήβολη εκστρατεία του Μεγάλου Αλεξάνδρου, και γεννάται η ανάγκη για τη σύνταξη χαρτών, τη μέτρηση μεγαλύτερων αποστάσεων, αποστολή την οποία αναλαμβάνει να οργανώσει ο δάσκαλος του Μεγάλου Αλεξάνδρου, Αριστοτέλης, συγκροτώντας μία ομάδα αποτελούμενη από επιστήμονες όπως ο Πλίνιος, ο Διόγνητος, ο Βαίτονας, και ο Αμύντας. Ακολουθεί ο Πυθέας από τη Μασσαλία, θαλασσοπόρος ο οποίος χρησιμοποίησε το γνώμονα για να προσδιορίσει τη θέση των πόλεων που συναντούσε. Εκείνη την περίοδο αρχίζουν να ορίζονται σαφείς κανόνες της επιστήμης της γεωδαισίας και της χαρτογραφίας.

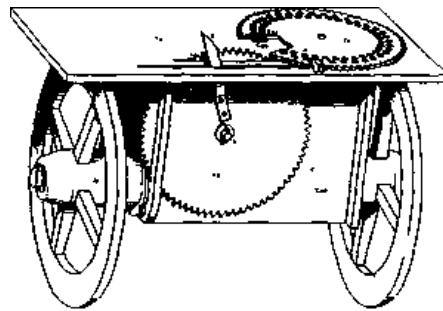
Κατά τα ελληνιστικά χρόνια, οι σχέσεις της Ελλάδας με την Αίγυπτο εντατικοποιούνται και παρατηρείται έντονη μεταφορά γνώσεων. Το 300 περίπου π.Χ. ιδρύεται το Μουσείο της Αλεξάνδρεια, ιερό οικοδόμημα προς τιμήν των Μουσών και συγχρόνως επιστημονικό ίδρυμα. Περιγράφεται από τους συγγραφείς της εποχής εκείνης ως ένα γιγαντιαίο κτήριο, με πολλούς χώρους και στοές, με πολλά εργαστήρια εξοπλισμένα με όργανα, με ξενώνες για να κοιμούνται και να τρώνε οι επιστήμονες και με μια μεγάλη έκταση γεμάτη δένδρα για να περπατούν και να συζητούν. Εκεί έδρασαν σημαντικοί Έλληνες επιστήμονες, όπως ο Ερατοσθένης και ο Ίππαρχος, ή ο Ευκλείδης, ο Αρχιμήδης και ο Απολλώνιος, ο Πτολεμαίος και ο Ήρων. Εκεί κατασκευάστηκαν και ακριβή μετρητικά όργανα: Διόπτρες, χωροβάτες, οδόμετρα, αστρολάβοι, υδραυλικά ωρολόγια και ζυγοί ακριβείας.

Στο έργο του Ευκλείδη «*Οπτικά*», αναφέρονται απλές προτάσεις που έχουν εφαρμογή στη μέτρηση υψομετρικών διαφορών και αποστάσεων με τη βοήθεια κατόπτρων. Ένα διαφορετικό όργανο από εκείνα που χρησιμοποιούταν εκείνη την εποχή (τα ηλιακά ρολόγια, τους γνώμονες και τις κλεψύδρες), ήταν η ράβδος του Αρχιμήδη. Ο Αρχιμήδης χρησιμοποίησε τη ράβδο για τον υπολογισμό των αποστάσεων των πλανητών και του ήλιου από τη γη. Το όργανο ήταν μια ξύλινη ράβδος κατά μήκος της οποίας γινόταν η σκόπευση, με ένα μικρό κύλινδρο προσαρμοσμένο πάνω της. Καθώς παρατηρούσε κανείς τον ήλιο, για παράδειγμα, μετακινούσε τον κύλινδρο μέχρι να τον κρύψει. Με τη βοήθεια των ομοίων τριγώνων και γνωρίζοντας την απόσταση γης-ήλιου, προέκυπτε η διάμετρος του.



Αναπαράσταση της ράβδου του Αρχιμήδη.

Στον Αρχιμήδη αποδίδεται και η κατασκευή του οδομέτρου, όργανο μέτρησης αποστάσεων περίπου ίδιο με το σημερινό, που αναφέρεται για πρώτη φορά από τον Βιτρούβιο, περιγράφεται όμως λεπτομερώς από τον Ήρωνα τον Αλεξανδρέα.



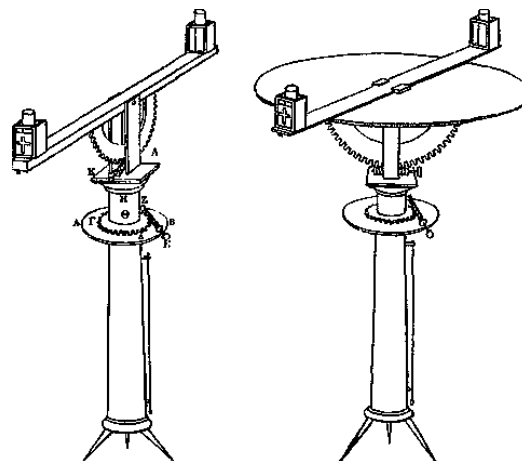
Αναπαράσταση του οδομέτρου από τις περιγραφές του Βιτρούβιου

Ο Ήρωνας υπήρξε πολυγραφότατος και συνέταξε σπουδαία κείμενα, όπως τις πραγματείες *Πνευματικά* και *Αυτοματοποιητική*, όπου δίνονται σημαντικές και ποικίλες εφαρμογές της υδροστατικής και αεροστατικής, καθώς και της πίεσης του ατμού, την πραγματεία *Βαρουλκός*, που αφορά στην άρση βαρών με τη βοήθεια μοχλών και οδοντωτών τροχών, τα *Κατοπτρικά*, που περιέχει αρκετές προτάσεις οι οποίες απαντούν και στο ομώνυμο έργο που αποδίδεται στον Ευκλείδη, τα *Μετρικά* που περιέχει διάφορες μετρήσεις γεωμετρικών σχημάτων, από το τρίγωνο μέχρι τη σφαίρα, καθώς και κανόνες για τον υπολογισμό επιφανειών και όγκων με αριθμητικά παραδείγματα, τις συλλογές *Ορισμοί*, *Γεωμετρικά*, *Γεωδαισία* και *Στερεομετρικά*.

{...} Η γεωδαισία είναι επιστήμη διαιρετική και συνθετική των μεγεθών και των σχημάτων του αισθητού (αντιληπτού) κόσμου {...} Χρησιμοποιεί όργανα, για μεν τις μετρήσεις των αγρών τις διόπτρες, ενώ τον κανόνα, τη στάθμη, τον γνώμονα και τα παρόμοια για τις μετρήσεις αποστάσεων και υφών, άλλοτε με τη σκιά, άλλοτε πάλι με σκόπευση και μερικές φορές για τη λύση αυτών των προβλημάτων χρησιμοποιεί τις ανακλάσεις του φωτός. Όπως ο γεωμέτρης χρησιμοποιεί νοητές γραμμές, έτσι ο γεωδαίτης χρησιμοποιεί τις αντιληπτές {...} Η γεωδαισία διαιρεί ακό- μη (τη γη) όχι μόνο σε ίσα τμήματα, αλλά και σε λόγους και αναλογίες και πολλές φορές σύμφωνα με την αξία των αγρών.

Ἦρων ο Αλεξανδρέας

Το σημαντικότερο, ωστόσο, έργο του Ἦρωνος το οποίο συνέβαλε ουσιαστικά στη γνώση της γεωμετρίας, είναι το κείμενο *Περί διόπτρας*. Στον πρόλογο του παρουσιάζεται ω το πρώτο εγχειρίδιο «διοπτρικής», επιστήμης που ασχολείται με τις μεθόδους της πρακτικής γεωμετρίας σε συνδυασμό με τη χρήση της διόπτρας, σημαντικού οργάνου εκείνης της εποχής, ανάλογου με τον σημερινό θεοδόλιχο.



Διόπτρα, ο πρόδρομος του θεοδόλιχου

Με την πάροδο του χρόνου, η διόπτρα εξελίσσεται στον γνωστό σήμερα *χωροβάτη*, εξέλιξη η οποία προέκυψε λόγω της μη βαθμολόγησης της διόπτρας και την αδυναμία της να δώσει ακριβείς μετρήσεις επιγείως. Έτσι, η διόπτρα χρησιμοποιείται πλέον σε συνδυασμό με τη σταδία που τη συνοδεύει, εφαρμόζοντας τεχνική ίδια με εκείνη της γεωμετρικής χωροστάθμησης μεταξύ των δύο σημείων, όπου όλα τα ενδιάμεσα σημεία σημαίνονται ειδικά και η υψομετρική διαφορά υπολογίζεται ως η διαφορά μεταξύ των αναβάσεων (θετικών υψομετρικών διαφορών) και καταβάσεων (αρνητικών υψομετρικών διαφορών).

Ο πατέρας της χαρτογράφησης, ο Ερατοσθένης, στην προσπάθεια του να υπολογίσει την περίμετρο της Γης, κατασκεύασε βαθμολογημένα όργανα προκειμένου να αυξήσει την ακρίβεια των παρατηρήσεων του. Σε αυτή του την προσπάθεια χρησιμοποιεί την έως τότε αποκτηθείσα γνώση της γεωμετρίας και θεμελιώνει την τριγωνομετρία. Κατασκεύασε μοντέλα όπως η ουράνια σφαίρα, επί την οποία στη συνέχεια τοποθέτησε τα αστέρια που ο ίδιος προσδιόρισε. Εκτός από τη δίοπτρα, που αποτελεί βελτίωση της ράβδου του Αρχιμήδη, θεωρείται ότι κατασκεύασε τον επίπεδο αστρολάβο και ότι εκείνος επινόησε τη στερεογραφική προβολή.

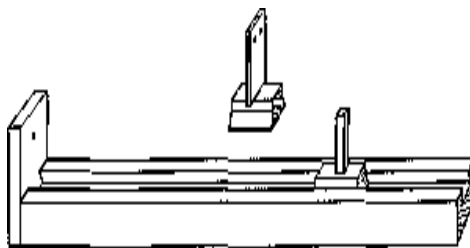
Ο Πτολεμαίος στο έργο του περιγράφει επτά όργανα: τη δίοπτρα (του Ίππαρχου), τον επίπεδο αστρολάβο, τον σφαιρικό αστρολάβο (ή κρικωτή σφαίρα) για τη μέτρηση των θέσεων των αστερών, τον παραλλακτικό κανόνα και τον τετράντα (ή τεταρτοκύκλιο ή πλινθίς) για τη μέτρηση κατακόρυφων γωνιών, τον ισημερινό κύκλο για τον προσδιορισμό του χρόνου των ισημεριών και το μεσημβρινό ή τροπικό κύκλο για τον προσδιορισμό του ύψους του ήλιου κατά τη μεσουράνηση. Το πιο διάσημο από τα όργανα που επινοήθηκαν και κατασκευάστηκαν από τον Πτολεμαίο, και ίσως το διασημότερο στην ιστορία των οργάνων μέτρησης, είναι ο (επίπεδος) αστρολάβος ή επιπεδοσφαίριον, ή όπως το ονομάζει ο Πρόκλος, ο μικρός αστρολάβος.



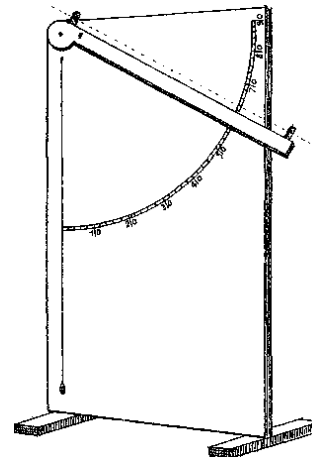
Ο Πτολεμαίος με τον Αστρολάβο

Ο Ίππαρχος κατασκεύασε την πλινθί, ή τετράντα, όργανο το οποίο είχε εφαρμογή στην αστρονομία και την τετράπηχη δίοπτρα. Η πλινθίς αποτελείται από ένα κομμάτι ξύλου ή μαρμάρου, σχήματος ορθογωνίου παραλληλεπίπεδου. Στη μία πλευρά του χαράσσεται τεταρτοκύκλιο και βαθμονομείται. Στο πάνω και κάτω άκρο του τεταρτοκυκλίου πακτώνονται δύο ξύλινοι πείροι. Ο πάνω πείρος χρησιμοποιείται ως γνωμών, η σκιά του οποίου περιστρέφεται πάνω στο βαθμολογημένο τεταρτοκύκλιο.

Το όργανο προσανατολίζεται στη διεύθυνση του βορρά και κατακορυφώνεται με τη βοήθεια νήματος της στάθμης που κρέμεται από τον πάνω πείρο και ακουμπά ελαφρά τον κάτω. Το γεωγραφικό πλάτος προκύπτει ως ο μέσος όρος των ενδείξεων της σκιάς του γνώμονα κατά το θερινό και χειμερινό ηλιοστάσιο (ισημερία).



(α) η δίοπτρα του Ιππάρχου



(β) η πλίνθις ή τετράντας

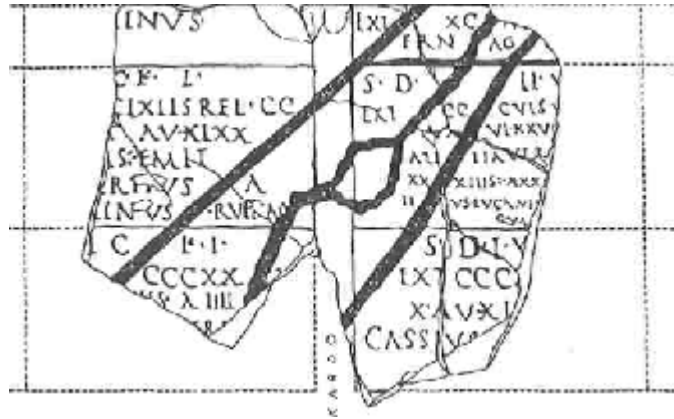
Από την εξέλιξη του οργάνου αυτού προέρχεται το τεταρτοκύκλιο ή τετράντας, ένα από τα κύρια γεωδαιτικά και αστρονομικά όργανα μέχρι τα σύγχρονα σχεδόν χρόνια. Η τετραπήχης δίοπτρα του Ιππάρχου αποτελούσε αστρονομικό όργανο για τη μέτρηση πολύ μικρών γωνιών, και αποτελεί βελτίωση της ράβδου του Αρχιμήδη. Ήταν μία ξύλινη ράβδος μήκους δύο μέτρων περίπου (τεσσάρων πήχεων) με δύο πλακίδια στο πάνω μέρος. Το ακίνητο πλακίδιο, το "προσοφθάλμιο", είχε μια τρύπα στη μέση για τη σκόπευση. Το κινητό πλακίδιο όταν σκέπαζε τον ήλιο ή τη σελήνη έδειχνε τη φαινόμενη γωνία. Το πλακίδιο αυτό αντικαταστάθηκε αργότερα από ένα μεγαλύτερο, ώστε να περιέχει δύο μικρές τρύπες για τη σκόπευση σημείων της περιφέρειας του ήλιου ή της σελήνης.

iii. ΟΙ ΑΡΧΑΙΟΙ ΡΩΜΑΙΟΙ

Σε αντίθεση με τους Έλληνες, φαίνεται πως οι Ρωμαίοι δεν ενδιαφέρονταν για θεωρητικές γεωδαιτικές μελέτες, αλλά για πρακτικές εφαρμογές. Δεν δημιούργησαν νέα τοπογραφικά όργανα, ούτε πρόσθεσαν σημαντικά στοιχεία στο θεωρητικό υπόβαθρο της Γεωδαισίας. Όμως, κατά τη ρωμαϊκή περίοδο οι τοπογραφικές μετρήσεις συστηματοποιήθηκαν και αποτέλεσαν τμήμα της ρωμαϊκής πρακτικής για στρατιωτικούς και πολιτικούς σκοπούς, αλλά και για την καλύτερη οργάνωση της αυτοκρατορίας. Ουσιαστικά το επάγγελμα του Τοπογράφου δημιουργήθηκε κατά τη ρωμαϊκή περίοδο. Οι Ρωμαίοι χρησιμοποιούσαν για τις μετρήσεις τους απλά τοπογραφικά όργανα των Ελλήνων και των Αιγυπτίων με κάποιες βελτιώσεις: σχοινιά, μετρητικές ράβδους και μπρούντζινα διαστημόμετρα για τη μέτρηση μηκών, την groma για τη χάραξη ορθών γωνιών και τον χωροβάτη (chorobates) για τη μέτρηση υψομετρικών διαφορών.

Οι Ρωμαίοι υιοθέτησαν τις ελληνικές μονάδες μέτρησης, αλλάζοντας μόνο την ονομασία ορισμένων από αυτές. Η βασική μονάδα ήταν ο πους με υποδιαίρεση τον δάκτυλο και τον παλαιστή. Ο πους ισοδυναμούσε με 0.273 μέτρα, όπως προκύπτει από τις διαστάσεις του ναού του Καπιτωλίου Διός. Οι κυριότερες μονάδες επιφανείας ήταν ο τετραγωνικός πους και το ρωμαϊκό πλέθρο ή τετραγωνικός κάλαμος.

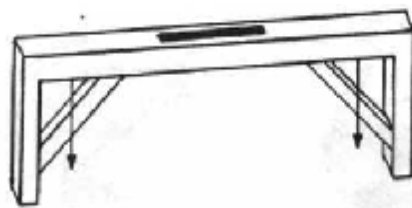
Χρησιμοποιώντας, όπως προαναφέραμε τη υπάρχουσα γνώση των Ελλήνων και των Αιγυπτίων, οι Ρωμαίοι συστηματοποιούν τις μετρήσεις και καταγράφουν τα δεδομένα που λαμβάνουν από αυτές. Στη ρωμαϊκή αυτοκρατορία συναντάμε επαγγελματίες τοπογράφους, εγχειρίδια τοπογραφίας, τοπογραφικά διαγράμματα, κτηματολόγια. Ο πρώτος συγγραφέας λατινικού τοπογραφικού εγχειριδίου υπήρξε ο Μάρκος Τερέντιος Βάρρων, ο μεγαλύτερος Ρωμαίος λόγιος, μαθητής στην Αθήνα του Αντίοχου από την Ασκάλωνα. Στις πόλεις της αρχαίας Ρώμης συναντάμε και πέτρινα ορόσημα, τους προδρόμους των σημερινών τριγωνομετρικών.



Μαρμάρινο τμήμα τοπογραφικού διαγράμματος ιδιοκτησίας, από κτηματολογικό διάγραμμα

Δύο γνωστοί Ρωμαίοι, ο Μάρκος Βιτρούβιος και ο Σέκτος Ιούλιος έγραψαν για τις πρακτικές της τοπογραφίας κατά τα χρόνια της δράσης του Ιησού. Συντάχθηκαν και άλλα αξιόλογα συγγράμματα σχετικά με την τοπογραφία εκείνη την περίοδο, τα οποία δυστυχώς χάθηκαν κατά τη μεγάλη πυρκαγιά της βιβλιοθήκης της Αλεξάνδρειας το 642 μ.Χ.

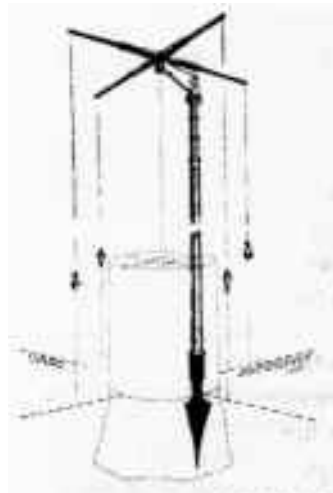
Ο Βιτρούβιος ήταν ένας διακεκριμένος αρχιτέκτονας, ο οποίος έγραψε το *De Architectura Libri Decem* (10 τόμοι) γύρω στο 20 π.Χ. Στο έργο του έκανε εκτενή αναφορά στο χωροβάτη, ένα όργανο το οποίο χρησιμοποιούταν για τη μέτρηση υψομετρικών διαφορών. Ο χωροβάτης ως όργανο χωροστάθμησης αναφέρεται από τον Βιτρούβιο και χρησιμοποιήθηκε για χωροσταθμίσεις στα υδραγωγεία.



Ο χωροβάτης του Βιτρούβιου

Η προέλευση του οργάνου είναι άγνωστη. Μελετώντας τα κείμενα του Βιτρούβιου, υποθέτουμε ότι δεν είναι δικιά του κατασκευή, αφού για τη χρήση που προτείνεται παρουσιάζει ως σύστημα χωροστάθμησης σημαντικά μειονεκτήματα: δεν αναφέρονται σταδίες ούτε περιγράφεται κάποιο σύστημα σκόπευσης και το ίδιο το όργανο είναι πολύ βαρύ και δύσχρηστο σε εδάφη με μεγάλες ανωμαλίες. Πιθανώς ο Βιτρούβιος να γνωρίζει ως αρχιτέκτονας τον χωροβάτη που χρησιμοποιείται στην οικοδομική και όχι για χωροσταθμίσεις μεγάλων αποστάσεων.

Ο Sextus Julius Frontinus, ήταν ένας διακεκριμένος μηχανικός, ο οποίος έγραψε το έργο De Aqui Urbis Romae Libri II Στο έργο αυτό γινόταν εκτενής αναφορά σχετικά με το σύστημα υδροδότησης της αρχαίας Ρώμης. Αυτό, όμως, που συνέβαλε στην εξέλιξη της επιστήμης της τοπογραφίας ήταν η σαφής διάκριση μεταξύ των πρακτικών που χρησιμοποιούσαν οι αγρομέτρες (agromensores – εκείνοι που μετρούσαν την έκταση των αγρών) και εκείνων που χρησιμοποιούσαν το γκρόμα (gromatici). Οι gromatici, ονομάστηκαν έτσι από την προτίμηση που έδειχναν στη χρήση του οργάνου groma, όργανο το οποίο οι Ρωμαίοι δανείστηκαν από τους Αιγυπτίους τοπογράφους μέσω των Ελλήνων. Το γκρόμα μοιάζει με τον αστερίσκο και χρησίμευε στην χάραξη ευθείων γραμμών και την ακριβή μέτρηση γωνιών.



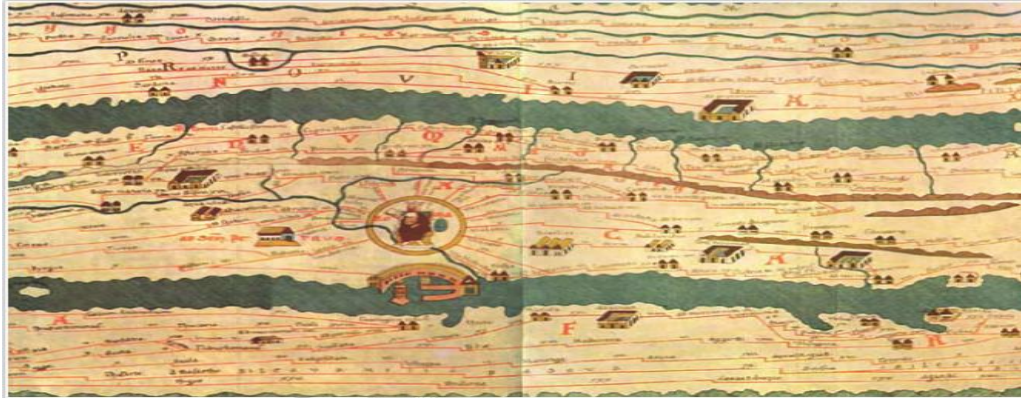
Το γκρόμα

Η λέξη γκρόμα προήλθε από την ελληνική λέξη γνώμα και έφθασε στα λατινικά μέσω των Ετρούσκων, όπου το ελληνικό ν ακολουθείται από το γ. Η λέξη γνώμα ή γνώμη δηλώνει το κεντρικό σημείο της πόλης που πιθανώς να υλοποιούταν με ένα σταυρό χαραγμένο σε πέτρα. Πιθανώς να ονομάστηκε έτσι το όργανο επειδή το σημείο που υλοποιεί, κάτι σαν τα σημερινά τριγωνομετρικά, αποτελεί κεντρικό σημείο της τοπογραφικής εργασίας. Από ποια εποχή έχει εισαχθεί ο αστερίσκος ως γκρόμα στη ρωμαϊκή τοπογραφική πρακτική είναι άγνωστο. Χρησιμοποιείται σε κάθε είδους τοπογραφική εργασία, στρατιωτική ή πολιτική, για τις οριοθετήσεις, τις διανομές, τις κτηματογραφικές αποτυπώσεις, καθώς και για τις χαράξεις των τεχνικών έργων.

Αν και περιγράφεται σε πολλά διασωθέντα λατινικά κείμενα, όπου δίνονται εικόνες και εφαρμογές, οι λεπτομέρειες του οργάνου ήταν άγνωστες μέχρι το 1912, οπότε βρέθηκε στην Πομπηία το γραφείο ενός ρωμαίου τοπογράφου με όργανα της δουλειάς του. Ανάμεσα σε άλλα όργανα, όπως δύο μπρούτζινοι διαβήτες, μπουκάλι μελάνης, γραφίδα, 16 λεπτοί μεταλλικοί πάσσαλοι, πτυσσόμενη ράβδος, ξύλινες μετρητικές ράβδοι, μεταλλικός κρίκος, τα μεταλλικά μέρη από δύο μπαούλα, κουτί από ελεφαντόδοντο με χαραγμένο ηλιακό ρολόι, βρέθηκαν και 11 στοιχεία του γκρόμα από σίδηρο και χαλκό, καθώς τα ξύλινα μέρη του οργάνου είχαν καταστραφεί από την πολυκαιρία. Η αναπαράσταση του οργάνου μερικά χρόνια αργότερα, έδειξε ότι αποτελούνταν από δύο ξύλινους βραχίονες μήκους 92 εκατοστών στερεωμένους κάθετα μεταξύ τους μέσω μεταλλικού σταυρού. Από τα τέσσερα άκρα κρέμονται τέσσερα νήματα της στάθμης. Στο κέντρο του σταυρού σχηματίζεται δακτυλιοειδής οπή, όπου εισέρχεται μπρούντζινος μικρός άξονας που φέρει το ένα άκρο μεταλλικού βραχίονα. Το άλλο άκρο του βραχίονα στερεώνεται σε μεταλλικό στύλο που καταλήγει σε αιχμή για να στερεώνεται στο έδαφος. Η υλοποίηση των ευθυγραμμίων γινόταν σκοπεύοντας τα νήματα καθώς ο σταυρός κεντρωνόταν στο ορόσημο. Για τον αρχικό προσανατολισμό των εργασιών χρησιμοποιούσαν γνώμονα ή ηλιακά ρολόγια και για τις μετρήσεις μηκών σχοινιά και μετρητικές ράβδους.

Η συνεχής επέκταση της ρωμαϊκής αυτοκρατορίας, οδήγησε στην ανάγκη της καθιέρωσης του επαγγέλματος του τοπογράφου. Μπορεί, όπως έχουμε αναφέρει και σε προγενέστερο σημείο της παρουσίασης, οι Ρωμαίοι να μην συνέβαλαν ουσιαστικά στη δημιουργία νέων οργάνων, όμως, σίγουρα συνέβαλαν τα μέγιστα στη διάδοση της χρήσης των ήδη υπαρχόντων οργάνων, καθώς και στη συστηματοποίηση των μετρήσεων. Η ανάγκη για τον σαφή προσδιορισμό των ορίων των ατομικών ιδιοκτησιών και σε επέκταση των αποικιών, ήταν επιτακτική.

Δεν είναι τυχαίο το γεγονός ότι μέχρι σήμερα διασώζονται χάρτες σημαντικής ακρίβειας διαφόρων πόλεων της ρωμαϊκής αυτοκρατορίας. Ο πιο παλιός παγκόσμιος χάρτης που χρησιμοποίησαν οι Ρωμαίοι, προγενέστερος του Πτολεμαίου, είχε σχεδιαστεί από τον Ρωμαίο στρατηγό Μάρκο Βιψάνιο Αγρίππα, και ήταν ένας χάρτης οδικού δικτύου με έμφαση στις οδούς στρατηγικής σημασίας. Με βάση τον χάρτη του Αγρίππα σχεδιάστηκε, την περίοδο της ακμής του Ρωμαϊκού κράτους, ένας χάρτης που διασώθηκε μέχρι τις μέρες μας σε κύλινδρο από περγαμηνή, και ονομάζεται «Πίνακας Πούτινγκερ» (Tabula Peutingeriana) από το όνομα του ανθρωπιστή Κόνρατ Πούτινγκερ, στου οποίου την κατοχή περιήλθε από κάποιο μοναχό Κολμάρ κατά το Μεσαίωνα. Ο χάρτης αυτός βρίσκεται σήμερα στη βιβλιοθήκη της Σιένας, και είναι γνωστός ως «itinerarium scriptum» ή «χάρτης των μεγάλων οδών του κόσμου»



Απόσπασμα του Πίνακα Peutinger

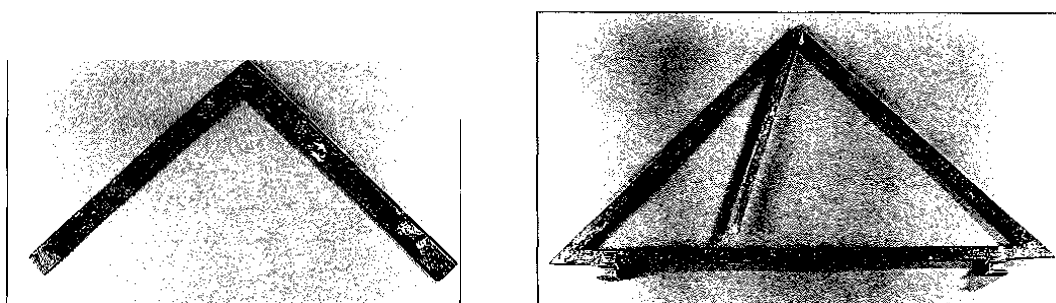
Η χαρτογράφηση των πόλεων και των αποικιών της ρωμαϊκής αυτοκρατορίας, αποτυπώνεται και στο γεγονός ότι έχουν βρεθεί σε πολλά σημεία τα γνωστά σήμερα *τριγωνομετρικά*. Πρόκειται για πέτρινα ορόσημα, τα οποία έφεραν επάνω τους σκαλισμένες τις συντεταγμένες τους.



Δείγμα πέτρινου ορόσημου της αρχαίας Ρώμης

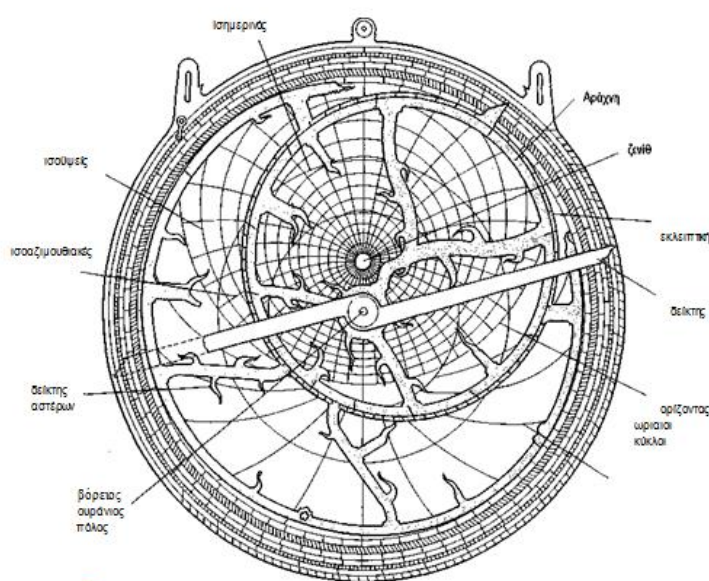
Με τη μεταφορά της πρωτεύουσας της ρωμαϊκής αυτοκρατορίας από τη Ρώμη στην Κωνσταντινούπολη κατά το 330 μ.Χ. σηματοδοτείται το τέλος της παντοκρατορίας της και ξεκινά η άνθιση του Βυζαντίου.

Από αυτήν την περίοδο η Δύση θεωρείται πολιτικά ανεξάρτητη από τη ρωμαϊκή αυτοκρατορία και αποσυνδέεται όλο και περισσότερο και στις μεθόδους και σε θέματα πολιτισμού. Όσον αφορά την εξέλιξη των τοπογραφικών οργάνων, όμως, οι Βυζαντινοί συνεχίζουν την παράδοση των Ρωμαίων. Δεν διακρίθηκαν για τις επιδόσεις τους στη θεωρία, αλλά για την πρακτική χρήση και εφαρμογή των επιστημονικών γνώσεων στην καθημερινή ζωή. Οι "γεωδαίτες", είναι δημόσιοι υπάλληλοι, στρατιωτικοί και ελεύθεροι επαγγελματίες. Στα καθήκοντα τους περιλαμβάνονταν και η διανομή της γης για οικιστικούς λόγους.



Γεωδαιτικά όργανα του 4^{ου} και 5^{ου} αιώνα
 Αριστερά: ορθή γωνία, Δεξιά: αλφάδι

Ένα πολύ διαδεδομένο τοπογραφικό όργανο κατά την εποχή της βυζαντινής αυτοκρατορίας είναι ο γνωστός από τον Πτολεμαίο αστρολάβος. Κατά τον 4^ο αιώνα ο αστρολάβος έχει τη μορφή που πρόκειται να διατηρήσει για την επόμενη χιλιετία, εφοδιασμένος με τη μήτρα, το τύμπανο και την αράχνη. Το τύμπανο είναι ένας μπρούτζινος δίσκος που φέρει τη στερεογραφική προβολή, χαραγμένος με γραμμές που αναπαριστούν τους μεσημβρινούς, τους παραλλήλους και τον ορίζοντα του παρατηρητή και αναφέρεται σε ένα συγκεκριμένο κλίμα, με τη δυνατότητα να αλλάζει και να προσαρμόζεται σε άλλα κλίματα. Η αράχνη είναι ένας άλλος δίσκος κομμένος προσεχτικά, έτσι που να παρουσιάζει έναν περιστρεφόμενο χάρτη του ουρανού όπου οι θέσεις των αστεριών σημειώνονται με καμπυλωμένους δείκτες. Οι δύο δίσκοι επικάθονται σε έναν τρίτο δίσκο, τη μήτρα, που διαθέτει κλίμακα με ώρες, λεπτά και δευτερόλεπτα στην περιφέρεια του και περιστρέφονται γύρω από έναν κοινό άξονα που παριστάνει τον άξονα του κόσμου.



Τα μέρη του αστρολάβου

Προς το τέλος του 6ου αιώνα, το επίπεδο των εφαρμοσμένων μαθηματικών και των σχετικών οργάνων στην Κωνσταντινούπολη ήταν αρκετά υψηλό. Ο αυτοκράτορας Ιουστινιανός ανέθεσε στον Ανθέμιο την ανοικοδόμηση της Αγίας Σοφίας στην Κωνσταντινούπολη που είχε καταστραφεί κατά τη στάση του Νίκα το 532, έργο που αποτελεί τη μεγαλύτερη απόδειξη για την πρακτική εφαρμογή των μαθηματικών γνώσεων στην τεχνική τοπογραφία και στην οικοδομική.

Κατά τους βυζαντινούς χρόνους υπήρξε μεγάλο ενδιαφέρον για όσες γεωγραφικές γνώσεις είχαν πρακτική σημασία ή υπηρετούσαν εκκλησιαστικούς και πολιτικούς σκοπούς: τους χάρτες, τα οδοιπορικά και τους οδηγούς. Τα οδοιπορικά και τα περιηγητικά βιβλία προϋπέθεταν την ύπαρξη χαρτών και υπήρχαν προς χρήση των ιδιωτών κυρίως για θρησκευτικούς λόγους, για τη μετάβαση τους στα Ιεροσόλυμα - ήταν τα βυζαντινά οδοιπορικά της Αγίας Γης.

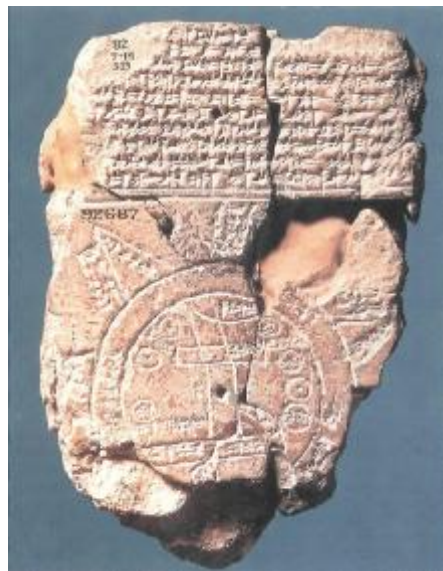
Οι περίπλοες, όπως και τα πρακτικά οδοιπορικά, που σημειώνουν τις αποστάσεις μεταξύ των πόλεων, των λιμανιών, των νησιών κλπ. που υπήρχαν στην Ελλάδα από τους αρχαϊκούς χρόνους, συνεχίζουν να εκδίδονται στα βυζαντινά χρόνια και αντιστοιχούν με τα σημερινά εγχειρίδια των πλοηγών και με τους ναυτικούς χάρτες.

iv. ΑΛΛΟΙ ΑΡΧΑΙΟΙ ΛΑΟΙ

• ΟΙ ΒΑΒΥΛΩΝΙΟΙ

Η εύφορη κοιλάδα της Μεσοποταμίας, που περικλείεται από τους ποταμούς Τίγρη και Ευφράτη, κατά την αρχαιότητα φιλοξένησε λαούς οι οποίοι ήκμασαν και διέπρεψαν στους τομείς του εμπορίου και των γραμμάτων. Η Μεσοποταμία είναι ο γήινος παράδεισος σύμφωνα με τη Βίβλο, περιοχή η οποία κατοικήθηκε από τους Σουμερίους και τους Ακκάδιους που δημιούργησαν την Πρώτη Βαβυλωνιακή Αυτοκρατορία με κέντρο τη Βαβυλώνα και κατακτήθηκε από τους Χετταίους, τους Πέρσες, τους Έλληνες, τους Πάρθους και στα νεώτερα χρόνια από τους Άραβες και τους Τούρκους.

Από κείμενα τα οποία διασώζονται, φαίνεται ότι χρησιμοποιούσαν, επίσης, συστηματικές μεθόδους μέτρησης της γης, του εμβαδού των αγροτεμαχίων, της αποστάσεως των σημείων. Συγκεκριμένα, υπάρχουν ενδείξεις εφαρμογής στοιχειωδών τοπογραφικών μεθόδων για την οριοθέτηση των ιδιωτικών γαιών, χρονολογούμενες ήδη από το 1400 π.Χ. Πήλινες πινακίδες των Σουμερίων φέρουν καταγραφές μετρήσεων γαιών, καθώς και πρώιμα σχέδια πόλεων και όμορων αγροτικών περιοχών. Από τις πινακίδες αυτές φαίνεται ότι οι βαβυλώνιοι γεωμέτρεις προσέγγιζαν τα ακανόνιστα σχήματα με τρίγωνα, ορθογώνια παραλληλόγραμμα και τραπέζια και υπολόγιζαν τα εμβαδά τους. Οι αγροί μετριόνταν με σχοινί, όπως και στην Αίγυπτο.



Ο βαβυλωνιακός χάρτης του κόσμου, χαραγμένος σε πήλινη πινακίδα, 5^{ου} αι. π.Χ. Στον εσωτερικό κύκλο αναπαρίσταται το βασίλειο της Βαβυλώνας και στην κυκλική ταινία αναφέρονται οι Ωκεανοί.

Οι πινακίδες που διασώζονται σήμερα, χωρίζονται σε δύο περιόδους: στην παλαιο-βαβυλωνιακή περίοδο (2000-1500 π.Χ.) και στην περίοδο των Σελευκιδών (τρεις τελευταίοι αιώνες π.Χ.). Τα μαθηματικά τα οποία φαίνεται να χρησιμοποιούνται, μοιάζουν με εκείνα των αρχαίων Ελλήνων εκείνης της περιόδου. Οι δύο λαοί είχαν έντονες εμπορικές σχέσεις, με αποτέλεσμα να μεταδίδεται παράλληλα αμφίδρομα η γνώση. Ουσιαστική συμβολή στη μετάδοση αυτή είχε η κατάληψη της Μεσοποταμίας από τον Μέγα Αλέξανδρο κατά την περίοδο των Σελευκιδών και την αποίκιση πολλών Ελλήνων στην περιοχή.

Ήδη από το 3000 π.Χ. οι ιερείς των Βαβυλωνίων γνώριζαν τον κύκλο και την εξηκονταδική διαίρεση, τη χρήση της ορθής γωνίας και του διηρημένου κανόνα. Η κατασκευή των ναών πραγματοποιούταν με συγκεκριμένο χωρικό προσανατολισμό. Είχαν αναπτύξει ένα αξιόλογο αρδευτικό σύστημα το οποίο διέθετε αποστραγγιστικά φρεάτια, διέθεταν οριοθετημένες ιδιωτικές ιδιοκτησίες γης. Σχεδίαζαν και έγραφαν σε πήλινες πινακίδες, χάρη στις οποίες έχουμε σήμερα γραπτές μαρτυρίες από εκείνη την εποχή. Οι αρχαίοι Βαβυλώνιοι είναι σήμερα γνωστοί ως ένας από τους αρχαίους λαούς που συνέβαλαν στην εξέλιξη και διάδοση της επιστήμης της αστρονομίας, όπως μαρτυρούν και ο Πλίνιος ο Πρεσβύτερος και ο Πολύβιος. Ο Καλλιस्थένης όταν εισήλθε στη Βαβυλώνα με την ακολουθία του Μεγάλου Αλεξάνδρου ανακάλυψε ίχνη αστρονομικών παρατηρήσεων που ανάγονται στο έτος 2234 π.Χ. Ωστόσο, οι μαρτυρίες είναι λιγοστές σχετικά με τα όργανα που χρησιμοποιούσαν για τις αστρονομικές τους παρατηρήσεις και μετρήσεις.

Οι Βαβυλώνιοι είχαν καθιερώσει ένα πλήρες σύστημα μέτρων και σταθμών: Η βασική μονάδα μήκους ήταν ο βαβυλωνιακός δάκτυλος, γνωστός ως κας (0.530 μέτρα) και οι δυο υποδιαιρέσεις του : το σούσι (ένα τριακοστό του κας) και ο πους, τα $\frac{2}{3}$ του κας. Από τις βαβυλωνιακές μονάδες προέρχονταν και οι εβραϊκές. Η σημαντικότερη ήταν ο δάκτυλος (εσβά, 0.0218 μέτρα) και παράγωγες μονάδες: τετράχ (4 δάκτυλοι), ζερέτ (σπιθαμή, 12 δάκτυλοι), αμμά (πήχυς, 24 δάκτυλοι), κανέ (κάλαμος, 144 δάκτυλοι). Κυριότερη μονάδα επιφανείας ήταν το τσαμάδ (στέμμα). Τέλος, στην Περσία κύριες μονάδες μήκους ήταν ο περσικός πους (0.320 μέτρα), ο πήχυς (0.5545 μέτρα) και ο παρασάγγης, γνωστός από τον Ξενοφώντα, με μήκος τριάντα στάδια (4725 μέτρα).

• ΟΙ ΚΙΝΕΖΟΙ

Η τοπογραφία στην Κίνα έχει μια εκτενή ιστορία που ξεκινά περί το 2.000 π.Χ. Η ανάπτυξη της συνδέθηκε άρρηκτα με τη στρατιωτική ισχύ της αυτοκρατορίας, τη δημιουργία χαρτών και την ανέγερση οικοδομημάτων, και σπουδαίων αμυντικών κατασκευών, όπως είναι το θαυμαστό Σινικό Τοίχος. Οι Κινέζοι γνώριζαν και αξιοποίησαν τις μεθόδους των Βαβυλωνίων και των Αιγυπτίων από την αρχή της δυναστείας των Χαν. Στη γνώση αυτή προστέθηκαν στη συνέχεια και τα επιτεύγματα των ελληνιστικών και των ρωμαϊκών χρόνων. Ένα πρώιμο τοπογραφικό όργανο η πατρότητα του οποίου αποδίδεται στους Κινέζους είναι η μαγνητική πυξίδα, την οποία χρησιμοποιούσαν για να προσδιορίζουν διευθύνσεις και γωνίες.

Χρησιμοποιούσαν, επίσης, κλίμακες ορισμένου μεγέθους για την ακριβή μέτρηση μηκών, σταδίες με διαβαθμίσεις για τον προσδιορισμό υψομετρικών διαφορών και ένα είδος τηλεσκοπίου από τα τέλη του 10ου αιώνα. Χάρτες αναφέρονται σε αρκετά κείμενα και φαίνεται πως επισυνάπτονταν σε στρατιωτικά εγχειρίδια. Τρεις σχετικά ακριβείς χάρτες, ένας τοπογραφικός, ένας στρατιωτικός και ένας πολιτικός χάρτης ανακαλύφθηκαν σε έναν τάφο που χρονολογήθηκε πριν από 2.100 χρόνια.



Μαγνητική πυξίδα

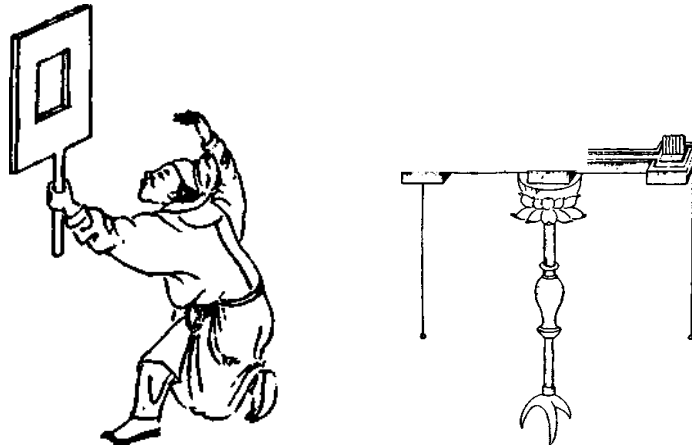
Η ιστορική εξέλιξη των τοπογραφικών οργάνων στην Κίνα, μας πηγαίνει αρκετά πίσω στην ιστορία και συγκεκριμένα στην εποχή οπότε και αναπτύχθηκε η πρώτη κινέζικη κοινωνία, στην εύφορη κοιλάδα μεταξύ των δύο μεγάλων ποταμών, του Γιανγκτσέ και του Κίτρινου Ποταμού. Για την αντιμετώπιση των πλημμύρων και την καλύτερη αξιοποίηση των υδάτων δημιουργήθηκαν αναχώματα και κανάλια άρδευσης². Η ανάπτυξη τέτοιου είδους μετρήσεων βασίστηκε σε μεγάλο βαθμό στη γνώση της γεωμετρίας. Έτσι δημιουργήθηκε ένα σύστημα εμπειρικών κανόνων καταμέτρησης του εδάφους και χάραξης τεχνικών έργων.

Χαρακτηριστικό της διάδοσης της νέας γνώσης είναι το γεγονός ότι συναντάμε σε τοιχογραφίες της εποχής αναπαραστάσεις ανθρώπων να χρησιμοποιούν απλοϊκά όργανα μέτρησης. Για παράδειγμα, στις παραστάσεις των τοίχων του τάφου του Βου Λιάνγκ (περίπου το 140 μ.Χ.) που βρέθηκε στην επαρχία Σαντόνγκ, απεικονίζεται ο Φου Ξις, ένας μυθικός κυβερνήτης και λαϊκός ήρωας, που κρατά δύο καμπυλόγραμμο στα χέρια του και η σύζυγος του Νου Βα που κρατά έναν "γεωδαιτικό" γνώμονα σχήματος Γ. Ο γνώμονας αυτός, παρόμοιος με το ορθογώνιο τρίγωνο που χρησιμοποιούσαν και οι ξυλουργοί, ήταν ένα βασικό τοπογραφικό όργανο. Ο θρυλικός αυτοκράτορας-μηχανικός, ο μέγας Γιουμ, απεικονίζεται συχνά κρατώντας στα χέρια του αυτό το όργανο, που υποτίθεται ότι χρησιμοποιούσε για να εξημερώσει τα ύδατα της Κίνας.

Τα βασικά τοπογραφικά όργανα που χρησιμοποιήθηκαν είναι σταδίες σκόπευσης, γεωδαιτικοί και αστρονομικοί γνώμονες, νήματα στάθμης, υδραυλικοί χωροβάτες και μετρητικά σκοινιά, που αντικαταστάθηκαν αργότερα από τις μετρητικές αλυσίδες. Το καμπυλόγραμμο που προαναφέραμε, συνδέεται επίσης με το έργο των τοπογράφων αλλά δεν ήταν εργαλείο πεδίου, ώστε να χρησιμοποιείται ως μετρητικό όργανο.

Η χρήση αυτών των οργάνων ήταν στοιχειώδης και απλή. Η σκόπευση των σταδίων εξασφάλιζε την ευθυγραμμία. Οι αποστάσεις μετρούνταν με τα τεντωμένα μετρητικά σκοινιά (όπως και στην Αίγυπτο). Η κατακορύφωση των σταδίων γινόταν με τη λιναίη και οι αναγνώσεις λαμβάνονταν μέσω ειδικών σκοπευτικών αυλών ή ειδικών πλαισίων. Οι οριζόντιες σκοπεύσεις γίνονταν με τη βοήθεια του γεωδαιτικού γνώμονα. Αυτό το όργανο εξελίχθηκε πιθανώς από τη χρήση του απλού στύλου, του αστρονομικού γνώμονα. Ο προσδιορισμός του μήκους της σκιάς ήταν σημαντικός για τον υπολογισμό της ώρας, καθώς και για τις αστρονομικές παρατηρήσεις. Ο γεωδαιτικός γνώμονας ήταν φορητός και με τις κάθετες πλευρές 70 εκατοστών περίπου ώστε να μεταφέρεται εύκολα.

² Σε αυτό το σημείο αξίζει να παρατηρήσουμε την ομοιότητα στην αιτία που γέννησε αρχικά την ανάγκη για ακριβείς μετρήσεις επιπέδων και αποστάσεων στους αρχαίους Αιγυπτίους και τους Κινέζους. Ο λόγος κρύβεται πίσω από τη διατήρηση της ιδιωτικότητας της ιδιοκτησίας



Πίνακας σκόπευσης και υδραυλικός χωροβάτης. Άλλα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν σύμφωνα με τα κείμενα είναι το αλφάδι, ορθογώνιοι γνώμονες, και μετρητικά σχοινιά και αλυσίδες και ο διαβήτης ως όργανο σχεδίασης.

Σύντομα έχουμε και γραπτά κείμενα τα οποία πραγματεύονται το ζήτημα των μετρήσεων. Πρώτα συναντάμε το «Τσου-μπέι Σουάντσινγκ», που σε ελεύθερη μετάφραση ο τίτλος σημαίνει "η αριθμητική απλότητα τον γνώμονα και οι κυκλικές πορείες του ουρανού". Το επόμενο κείμενο κατά ιστορική σειρά είναι «τα εννέα κεφάλαια στη τέχνη των μαθηματικών», το «Τζιουτσάνγκ Σουάνσου» με θέμα του τις μετρήσεις και το μερισμό των εκτάσεων οριοθετημένες από ευθείες και κυκλικά τόξα, τον υπολογισμό όγκων διαφόρων στερεών και την εφαρμογή του πυθαγορείου θεωρήματος. Πολλές από τις εφαρμογές του πυθαγορείου αφορούν τοπογραφικές μεθόδους³.

Κατά τον 3^ο αιώνα π.Χ. αρχίζει και γίνεται εμφανής η συστηματική χαρτογράφηση στην αρχαία Κίνα. Τότε είναι που ξεκινούν να χρησιμοποιούνται οι βασικές αρχές της χαρτογραφίας : η επιλογή της κατάλληλης κλίμακας, η χρήση ορθογωνίου κάρναβου, η ακριβής μέτρηση των οριζοντίων αποστάσεων μεταξύ κατάλληλα επιλεγμένων ορόσημων, ο προσδιορισμός των υψομετρικών διαφορών, η μέτρηση γωνιών, η μέτρηση του μήκους καμπυλών και ευθειών γραμμών. Όλα αυτά βασίζονται στην κατανόηση και τη χρήση των ιδιοτήτων των ορθογωνίων τριγώνων, γνώση που αποτέλεσε τη βάση της κινεζικής τοπογραφίας και της χαρτογραφίας.

³ Ένα πρόβλημα που ζητά από τον αναγνώστη να δώσει λύση σε ένα τοπογραφικό πρόβλημα κάνοντας χρήση του πυθαγορείου θεωρήματος ήταν, για παράδειγμα, το εξής: Μια πόλη τετραγωνικής μορφής πλευράς χ διασχίζεται από δρόμο που ενώνει τα μέσα της βόρειας και νότιας πλευράς. Σε απόσταση 20 βημάτων από την πρώτη έχει φυτευτεί ένα δένδρο, ορατό από το σημείο που φθάνουμε με 14 βήματα από τη νότια είσοδο και στη συνέχεια με 1775 βήματα δυτικά. Να υπολογισθεί η πλευρά χ της πόλης.

Οι γραπτές μαρτυρίες για την εξέλιξη της τοπογραφίας ποικίλουν καθώς ξεκινάμε τη νέα χιλιετία. Στα μέσα του 5ου αι. μ.Χ., ο αστρονόμος Χοσίνγκ-Τιέν υπολόγισε το μήκος που αντιστοιχεί σε ένα βαθμό στο μεσημβρινό με τη μέτρηση της σκιάς του γνώμονα στα χωριά Τονγκ-Φενγκ και Τονγκ-Κινγκ, που θεώρησε ότι βρίσκονται στον ίδιο μεσημβρινό, το μεσημέρι της θερινής ισημερίας. Τον 7^ο αι., κατά την περίοδο της δυναστείας των Σουέι, έγινε το τεράστιο έργο της ένωσης των δύο μεγάλων ποταμών της Κίνας με το μεγάλο κανάλι, έργο το οποίο αποτελεί θαύμα της μηχανικής. Το 721 μ.Χ. ένας βουδιστής μοναχός και μεγάλος μαθηματικός, ο Γουάι-Χανγκ κατασκεύασε γνώμονες, ουράνιες σφαίρες, αστρολάβους και τεταρτοκύκλια στην προσπάθεια του να λύσει αστρονομικά, γεωδαιτικά και γεωγραφικά προβλήματα, όπως ο αστρονομικός προσδιορισμός του γεωγραφικού πλάτους διαφόρων περιοχών μέσα στην Κίνα. Ο μαθηματικός Γιανγκ Χούι της νότιας δυναστείας Σονγκ (1127-1280) προσπάθησε να διατυπώσει τις μαθηματικές αποδείξεις για πολλές από τις τεχνικές λύσεις που υιοθετήθηκαν από τους προκατόχους του. Όπως για παράδειγμα τον υπολογισμό των απρόσιτων υψών. Η "Πραγματεία τον βασιλέως Χονγκ Τσεν στην αστρονομία και στην ημερολογιακή επιστήμη" περιλαμβάνει 137 κεφάλαια, κάθε ένα από τα οποία εξετάζει μια συγκεκριμένη επιστημονική έννοια. Μεταξύ των καταχωρήσεων του ήταν και τοπογραφικά κείμενα, όπως "Η πλήρης γεωμετρία" (Ντα Ο), "Πλήρης θεωρία της τοπογραφίας".

• ΟΙ ΑΡΑΒΕΣ

Οι Άραβες αναπτύχθηκαν περίπου την ίδια περίοδο με τους Κινέζους, όσον αφορά τις θετικές επιστήμες, και κατ' επέκταση την εξέλιξη της τοπογραφίας. Η εξάπλωση των Αράβων και οι αραβικές μεταφράσεις διέσωσαν και μετέδωσαν τα ελληνικά επιστημονικά επιτεύγματα, ενώ οι αραβικές εκδόσεις μεταφρασμένες στα Λατινικά βοήθησαν στην εισβολή, μέσω της Ισπανίας, επιστημονικών γνώσεων στον ευρωπαϊκό χώρο.

Χρησιμοποιούσαν απλά τοπογραφικά όργανα που ήταν παραλλαγές των ελληνικών και ρωμαϊκών οργάνων μέτρησης, όπως όργανα χάραξης ορθών γωνιών παρόμοια του ελληνικού αστέρα και της ρωμαϊκής "groma" και όργανα μέτρησης οριζοντιότητας επιπέδων και υψομετρικών διαφορών. Βελτίωσαν τις μεθόδους παρατήρησης και έφτιαξαν όργανα, αστρολάβους, τετράντες και ηλιακά ρολόγια. Τελειοποίησαν τον αστρολάβο και ως αναλογικό υπολογιστή για την εύρεση της ώρας.



Άραβες αστρονόμοι με όλα τα γνωστά -κατά την εποχή- τοπογραφικά όργανα

Ένας από τους σπουδαιότερους αστρονόμους του 9ου αι. και παγκόσμιας φήμης είναι ο αλ-Μπατανί, ή Αλμπατέγκο. Σ' αυτόν οφείλεται η διάδοση της αραβικής τριγωνομετρίας στην Ευρώπη. Στον Αλμπατέγκο αποδίδεται και η προσθήκη του σκιοτετραγώνου στον αστρολάβο, μιας γραμμικής κλίμακας για τις τοπογραφικές εφαρμογές του οργάνου.

Οι Άραβες χρησιμοποίησαν τα όργανα που είχαν στη διάθεση τους κυρίως για αστρονομικές μετρήσεις και τη χαρτογράφηση. Από το αραβικό φιλολογικό αρχείο έχουμε ενδείξεις για τη γνώση του μεγέθους της γης, χωρίς όμως ακριβείς λεπτομέρειες για την προέλευση της γνώσης. Η αραβική φιλολογία μας μεταφέρει επίσης τη ρωμαϊκή μέτρηση της περιφέρειας της γης σε ρωμαϊκά μίλια. Το ρωμαϊκό μίλι των 3.000 κύβιτων (1.480 μέτρα) πιθανώς προέρχεται από το μεσοποταμιο κύβιτο. Η τιμή ενός βαθμού ήταν 75 ρωμαϊκά μίλια. Τούτο αποδίδει την εντυπωσιακά ακριβή εκτίμηση των 24.830 σύγχρονων μιλίων ως μεσημβρινή περιφέρεια, ενώ τα $56 \frac{2}{3}$ αραβικά μίλια ανά βαθμό αποδίδουν 24.997 μίλια. (σε σχέση με τη σύγχρονη τιμή των 24.860 μιλίων).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

2. ΑΠΟ ΤΟ ΜΕΣΑΙΩΝΑ ΣΤΗΝ ΑΝΑΓΕΝΝΗΣΗ

Με την πτώση της ρωμαϊκής αυτοκρατορίας το τοπίο στον δυτικό κόσμο σκιαγραφεί την κυριαρχία της θρησκείας, μέσω της εξουσίας του κλήρου και των θεολόγων. Η κυριαρχία αυτή θα επισκιάσει την ανάπτυξη των θετικών επιστημών, καθώς οτιδήποτε προσπαθούσαν οι θετικές επιστήμες να εξηγήσουν με συστηματικές μεθόδους και πειράματα, η θεολογία το εκλάμβανε ως απιστία και το καταδίκαιζε. Με αυτόν τον τρόπο η περίοδος έως και τον 14^ο αιώνα μ.Χ. έχει μείνει γνωστή για το σκοταδισμό που επικρατούσε. Ως εκ τούτου, δεν έχει πολλά να μας προσφέρει από πλευράς εξέλιξης των τοπογραφικών οργάνων. Επιπλέον, το φεουδαρχικό σύστημα που ίσχυε εκείνη την περίοδο στην Ευρώπη, δε χρειαζόταν ιδιαίτερες τοπογραφικές μετρήσεις και δεν έδινε κίνητρα για ανάπτυξη της Γεωδαισίας.

Ο σκοταδισμός του μεσαίωνα, όμως, δίνει τη σκυτάλη στο φως της περιόδου της Αναγέννησης. Περίοδος κατά την οποία οι επιστήμες άνθισαν και η ανθρωπότητα προόδευσε. Κατά την περίοδο της Αναγέννησης ο περιορισμός της φεουδαρχίας απαιτούσε τη μέτρηση και διανομή της γης στους αγρότες. Η ανακάλυψη νέων περιοχών απαιτούσε την επιστημονική καταγραφή τους και τη σύνταξη χαρτών, ενώ παράλληλα ήταν αυξημένες οι ανάγκες για νέες μεθόδους προσανατολισμού και ναυσιπλοΐας. Για την καλύτερη αξιοποίηση του πυροβολικού στον πόλεμο, ήταν αναγκαία η μέτρηση διευθύνσεων, κατακόρυφων γωνιών και αποστάσεων. Η επιβεβαίωση του ηλιοκεντρικού συστήματος του Κοπέρνικου απαιτούσε όργανα μετρήσεων υψηλής ακριβείας. Το γεωπολιτικό σκηνικό του κόσμου αλλάζει, το Βυζάντιο χάνει την κυριαρχία του και αναδύονται νέες επικρατούσες οικονομίες. Οι αλλαγές αυτές συνεπάγονται για ακόμη μία φορά ανάγκες για ακριβή προσδιορισμό της ατομικής ιδιοκτησίας και των συνόρων των κρατών. Η ανάγκη αυτή οδηγεί σε σημαντικές εξελίξεις στην επιστήμη της τοπογραφίας.

Παράλληλα αναπτύσσεται η ναυσιπλοΐα για την εξυπηρέτηση της επεκτατικής πολιτικής των κρατών και την εξερεύνηση νέων χωρών. Οι ανάγκες της ναυσιπλοΐας προκαλούν αναγέννηση του ενδιαφέροντος για τη χαρτογραφία, η οποία ωθεί την ανάπτυξη νέων οργάνων μετρήσεων. Η χαρτογραφία αναπτύσσεται πρώτα στη Γερμανία και διαδίδεται γρήγορα στις Κάτω Χώρες, την Ιβηρική χερσόνησο, και την Αγγλία. Η εξέλιξη της βοηθάει στις ανακαλύψεις των νέων κόσμων από τους Πορτογάλους και τους Ισπανούς.



Λίπτυχο όργανο, πυξίδα με ηλιακό ρολόι ενσωματωμένο στο καπάκι, χρησιμοποιήθηκε από τους ταξιδιώτες σε συνδυασμό με τους οδικούς χάρτες

Η επεκτατική πολιτική συμβαδίζει με την εξέλιξη των στρατιωτικών τακτικών και μεθόδων. Τμήμα των πρακτικών αυτών αποτελεί η στρατιωτική τοπογραφία. Δημιουργούνται άμεσα όργανα μέτρησης που σχετίζονται με τη λειτουργία του κανονιού και παράλληλα σχεδιάζονται και οχυρώσεις ικανές να αντέχουν σε αυτό το νέο, επαναστατικό όπλο. Κατ' αυτήν την περίοδο είναι που χρησιμοποιείται για πρώτη φορά η μέθοδος του τριγωνισμού.

i. ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΟ ΓΕΩΠΟΛΙΤΙΚΟ ΣΚΗΝΙΚΟ

Η περίοδος της Αναγέννησης περιλαμβάνει την περίοδο από τον 14^ο έως και τον 17^ο αιώνα μ.Χ. Πρόκειται για την πιο λαμπρή περίοδο για τις επιστήμες έως τότε. Η πλατιά διάδοση της νέας γνώσης υποβοηθήθηκε από δύο σημαντικά γεγονότα : τη διάδοση της γνώσης των αρχαίων Ελλήνων μετά την πτώση της βυζαντινής αυτοκρατορίας, και την ανάπτυξη της τυπογραφίας.

Παράλληλα, αναδεικνύονται νέες κυρίαρχες δυνάμεις στο διεθνές σκηνικό με την πτώση της φεουδαρχίας. Αυτές είναι η Αγγλία, οι Κάτω Χώρες, η Γαλλία, η Ιταλία και η Γερμανία. Η διάδοση της επιρροής αυτών των χωρών συνεπάγεται και διάδοση των πρακτικών και συνηθειών τους. Οι σχετικές, με την εξέλιξη της επιστήμης της τοπογραφίας, πρακτικές αφορούσαν στην γεωργία και τη σχέση του ανθρώπου με τη γη (από την αρχή της παρούσας μελέτης έχει καταστεί σαφές ότι η εξέλιξη των τοπογραφικών οργάνων συμβαδίζει με το θεσμό της ιδιοκτησίας και τον ακριβή καθορισμό ορίων). Οι αλλαγές στο φεουδαρχικό σύστημα αναπτύσσονταν βαθμιαία κατά τη διάρκεια του 15^{ου} και πιο έντονα κατά τη διάρκεια του 16^{ου} αιώνα, έτσι ώστε από τον 17^ο και έπειτα το "σύστημα διαχείρισης της γης" της μεσαιωνικής περιόδου είχε εξαφανιστεί στην Αγγλία, τη Γαλλία και τις Κάτω Χώρες και λίγο αργότερα σε όλη την Ευρώπη⁴.

⁴ Όταν τον 16^ο αι. οι άγγλοι γαιοκτήμονες άρχισαν να συντάσσουν διαγράμματα των κτημάτων τους, το έκαναν για να κατοχυρώσουν την ιδιοκτησία τους με τον ίδιο τρόπο που μόνο οι κυβερνήτες των κρατών και οι βασιλείς μέχρι τότε έκαναν



Οι μετρητές - Φλαμανδικός πίνακας του 16ου αι. με μια σειρά από γεωμετρικά όργανα. Στο πάτωμα μπροστά χωροβάτης, τετράντας, διαβήτες και άλλα σχεδιαστικά όργανα

Η συστηματική μέτρηση και οριοθέτηση της γης γίνεται ιδιαίτερως εμφανής από το 1538, σαν επακόλουθο μιας μεγάλης επιχείρησης εκποίησης γης στη Αγγλία. Περίπου μισό εκατομμύριο στρέμματα διατέθηκε προς πώληση με σκοπό την εξοικονόμηση χρημάτων. Ένας άλλος σημαντικός οικονομικός παράγοντας που ενίσχυσε το ξέσπασμα της λεγόμενης "αγροτικής επανάστασης" ήταν η επέκταση του αγγλικού και ισπανικού εμπορίου μαλλιού για τα εργοστάσια υφασμάτων κυρίως των Κάτων Χωρών και κατ' επέκταση της υπόλοιπης Ευρώπης. Οι μεγάλοι γαιοκτήμονες αντιλήφθηκαν ότι το εμπόριο του μαλλιού ήταν μία επικερδής ασχολία, και έτσι αναλαμβάνουν τα εδάφη που είχαν διανεμηθεί στους δουλοπάροικους για καλλιέργεια μετατρέποντας τα σε βοσκότοπους για τα πρόβατα.

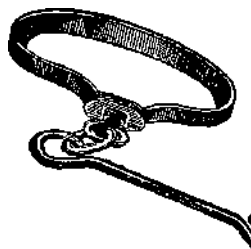
Αυτή η αλλαγή στη χρήση της γης άφησε πολλούς αγρότες άνεργους, προκαλώντας ισχυρές αναταραχές στην κοινωνία. Εν μέσω των αναταραχών κρινόταν απαραίτητο να βρεθεί μία λύση. Η λύση αυτή ήρθε μέσα από την σχεδίαση τοπογραφικών διαγραμμάτων που κατέγραφαν το κτήμα ως ιδιοκτησία του νέου ιδιοκτήτη. Με αυτήν την εξέλιξη ο τοπογράφος έπαψε να είναι υπάλληλος του φεουδάρχη και έγινε ο εκπρόσωπος της αλλαγής από το μεσαιωνικό σύστημα σε ένα νέο σύστημα, ακολουθώντας την νέα τάξη πραγμάτων.

ii. ΝΕΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Ο 17ος αιώνας ήταν πολύ σημαντικός για την ανάπτυξη των τοπογραφικών οργάνων, γιατί αυτή την περίοδο γίνεται η εφεύρεση του τηλεσκοπίου, του βερνιέρου ως συστήματος ανάγνωσης ενδείξεων και του σταυρονήματος ως συστήματος σκόπευσης με μεγάλη ακρίβεια. Ακόμη την ίδια περίοδο κατασκευάζεται ο χωροβάτης του οποίου η οριζοντίωση ελέγχεται με σφαιρική αεροστάθμη. Υπάρχουν πλέον Γεωδαίτες και Τοπογράφοι με επιστημονική κατάρτιση και ερευνητικές δραστηριότητες. Πολλά βιβλία με σχετικά θέματα τυπώνονται και κυκλοφορούν. Στα Πανεπιστήμια συστηματοποιείται η διδασκαλία των Μαθηματικών, ενώ η εισαγωγή των λογαρίθμων διευκολύνει και επιταχύνει την εκτέλεση των τοπογραφικών υπολογισμών. Το 1794, για πρώτη φορά εφαρμόζεται στο Γαλλικό κτηματολόγιο η διαίρεση του κύκλου σε 400 gon, σημαντικό γεγονός στην εξέλιξη της Γεωδαισίας.

Το έργο των τοπογράφων γίνεται, έτσι πιο εύκολο με τη διάδοση της χρήσης νέων τοπογραφικών οργάνων και μεθόδων, απλών στην αρχή, πιο σύνθετων όσο οι ανάγκες γίνονταν περισσότερο συγκεκριμένες. Τα νέα τοπογραφικά όργανα χρησιμοποιούνται, επίσης, για να ελέγξουν και να σχεδιάσουν τις επιχειρησιακές κινήσεις των κρατών, μια δραστηριότητα που επηρέασε σημαντικά και την επιστήμη και τις τεχνικές πολέμου.

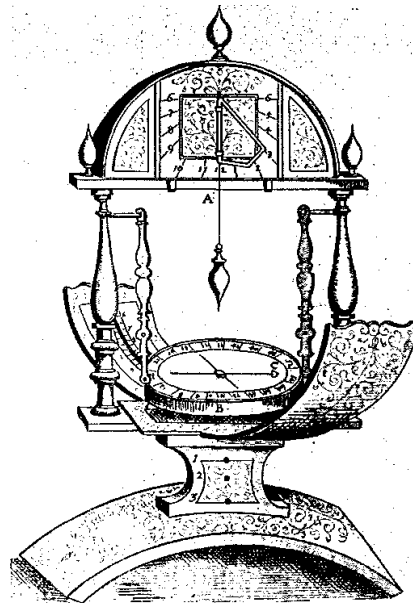
Στην περίοδο της Αναγέννησης συναντάμε μετρητικές αλυσίδες συγκεκριμένου μήκους, διαδίδεται η μέθοδος του τριγωνισμού, χρησιμοποιείται ο *θεοδόλιχος*, ένα από τα πιο σημαντικά όργανα στην ιστορία της τοπογραφίας. Διαδίδεται η χρησιμοποίηση λογαρίθμων για τη διευκόλυνση και επιτάχυνση των τοπογραφικών υπολογισμών.



Μετρητική ταινία του 17^{ου} αιώνα

Το 1537, ο ιταλός μαθηματικός και ιδρυτής της επιστήμης της βαλλιστικής Ταρτάλια σχεδιάζει τον στρατιωτικό τετράντα για τη μέτρηση της γωνίας ανύψωσης της κάνης του κανονιού, στο σύγγραμμα του Νέα Επιστήμη. Αυτό το όργανο αποτελούνταν από ένα ορθογώνιο πλαίσιο με μία πλευρά μεγαλύτερη από την άλλη, με ένα νήμα της στάθμης και μια γωνιακή κλίμακα.

Ο πυροβολητής τοποθετούσε τη μεγάλη πλευρά μέσα στην κάνη του κανονιού και μετρούσε τη γωνία ανύψωσης με την παρατήρηση όπου το νήμα της στάθμης έτεμνε την κλίμακα.



Στρατιωτικός τετράντας

Από τον 17^ο αι. χρησιμοποιήθηκε ένας δεύτερος τύπος τετράντα, τοποθετημένος σε βάση ειδικού καμπύλου σχήματος ώστε να τοποθετείται εγκάρσια στην κυρτή επιφάνεια της κάνης του κανονιού και να ελέγχει, ως κλισίμετρο, την οριζοντίωση του άξονα μεταφοράς του κανονιού. Με τη διάδοση της μεθόδου του τριγωνισμού κατασκευάζονται όργανα σύγχρονα που αποδίδουν ακριβείς μετρήσεις. Τέτοια όργανα είναι ο αστρολάβος⁵, το τριγωνομετρικό όργανο και η μετροτράπεζα.



Η λειτουργικότητα της μεθόδου του τριγωνισμού στη μάχη

⁵ Σε εξελιγμένη μορφή, απομακρύνεται από την αστρονομία και εξυπηρετεί κυρίως τους σκοπούς της τοπογραφίας

Ο θεοδόλιχος κατασκευάστηκε κυρίως λόγω των στρατιωτικών αναγκών των κυρίαρχων κρατών κατά την περίοδο της Αναγέννησης. Για την καλύτερη αξιοποίηση του πυροβολικού στον πόλεμο, ήταν αναγκαία η μέτρηση διευθύνσεων, κατακόρυφων γωνιών και αποστάσεων. Η επιβεβαίωση του ηλιοκεντρικού συστήματος του Κοπέρνικου απαιτούσε όργανα μετρήσεων υψηλής ακριβείας. Έτσι κατασκευάστηκε ο θεοδόλιχος (Theodolitus), ένα γωνιομετρικό όργανο που χρωστά το όνομά του στον Άγγλο L. Digges από το 1571⁶.



Ο θεοδόλιχος

Ο θεοδόλιχος, αποτελούσε το κατεξοχήν τοπογραφικό όργανο μέτρησης γωνιών και είναι χαρακτηριστικό ότι για τους επόμενους πέντε περίπου αιώνες οι αρχές λειτουργίας του παρέμειναν οι ίδιες, παρά την προσθήκη τηλεσκοπίου, τις όποιες βελτιώσεις στο σχεδιασμό και την ακρίβεια.

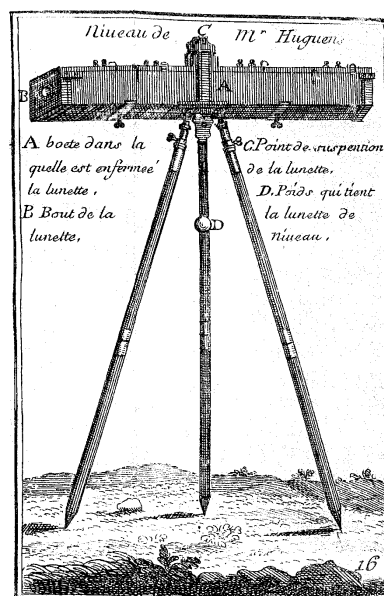
⁶ Για την προέλευση του ονόματος “Theodelitus” που χρησιμοποίησε ο Digges έχουν γραφεί αρκετά κείμενα. Η λέξη αυτή αναφέρεται σε βιβλία για τους επόμενους τρεις αιώνες και ως “Theodelite”, “Theodolit”, “Theodilit” (17ος αιώνας), “Theodolet” (18ος αιώνας) και “Theodolite” (19ος αιώνας, η σύγχρονη ονομασία της λέξης θεοδόλιχος στην αγγλική γλώσσα) κ.ά. Από το γεγονός ότι τόσο ο Leonard, όσο και ο Thomas Digges χρησιμοποιούσαν πολύ την ελληνική ορολογία στα βιβλία τους (Pantometria, Stratioticos, Tectonicon κ.ά), θα συμπεραίναμε ότι η λέξη έχει ελληνική ρίζα. Μπορεί λοιπόν να προέρχεται από τις λέξεις θέα (θεώμαι), οδός και λίθος (Didolff στον Peters, 1963) ή από τις λέξεις θέα, οδερός (= όργανο με αιχμή) και ίτυς (= η βαθμονομημένη περιφέρεια ενός δίσκου) (Melvill, 1909) ή τις λέξεις θέα (θεάομαι), δήλος (δηλόω) και ίτυς (Lyman, 1900) ή ακόμη τις λέξεις θέα (θεάομαι) και δόλιχος (= αυτό που διαμέσου του βλέπω) (Μπαντέλας κ.ά. 1995, Σαββαΐδης 1999)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

3. 18^{ος} ΑΙΩΝΑΣ – Ο ΠΡΟΔΡΟΜΟΣ ΤΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΕΠΑΝΑΣΤΑΣΗΣ

Ο 18^{ος} αιώνας έρχεται να αξιοποιήσει τη γνώση που γεννήθηκε κατά την εποχή της Αναγέννησης και να εξελίξει ακόμη περισσότερο τα όργανα της τοπογραφίας.

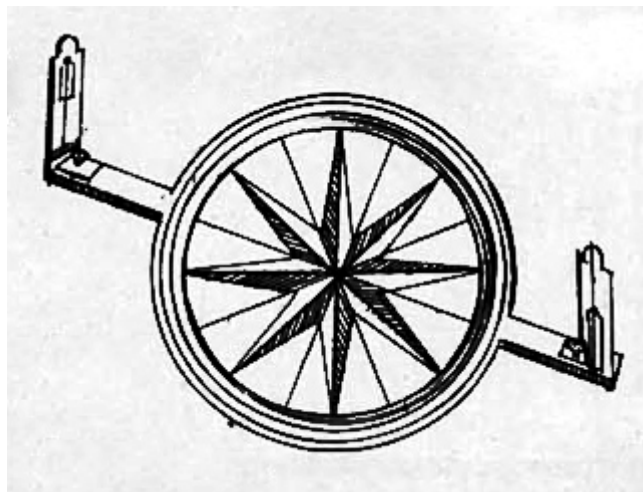
Το 18^ο αιώνα αρχίζουν πλέον να εφαρμόζονται συστηματικά και εμπειριστατωμένα τα μαθηματικά και γεωμετρία στην άσκηση των καθηκόντων του Τοπογράφου. Οι πανεπιστημιακές σχολές εκπαιδεύουν συνεχώς και περισσότερους Τοπογράφους, για τους οποίους υπάρχει ζήτηση λόγω διανομών της γης και αλλαγών στον τρόπο των καλλιεργειών. Σε διάφορα κράτη ιδρύονται τοπογραφικές υπηρεσίες, γίνονται πλέον μετρήσεις τριγωνομετρικών δικτύων και άλλες τοπογραφικές εργασίες μεγάλης κλίμακας. Οι θεοδόλιχοι με τηλεσκόπιο χρησιμοποιούνται πλέον ευρύτατα και εκτοπίζουν τα παλαιά απλά γωνιομετρικά όργανα. Στα μέσα του 18ου αιώνα οι θεοδόλιχοι ήταν όργανα εύχρηστα, μετρούσαν οριζόντιες και κατακόρυφες γωνίες και χρησιμοποιούσαν αεροστάθμες για την οριζοντίωσή τους. Η χρησιμοποίηση σταδιομετρικών νημάτων και σταδίας οδηγεί στην οπτική μέτρηση αποστάσεων με ικανοποιητική ακρίβεια. Παράλληλα, αρχίζει η μαζική παραγωγή χωροβατών και θεοδόλιχων σε οργανωμένα εργοστάσια. Αυτή η εποχή είναι ο πρόδρομος της βιομηχανικής επανάστασης, της μαζικοποίησης της παραγωγής και της επιστημονικής τεκμηρίωσης.



Χωροβάτης του 18^{ου} αιώνα

Καθ' όλη τη διάρκεια του 18^{ου} αιώνα στη Γαλλία οι φορητοί τετράντες, οι ζενίθιοι αστρολάβοι και οι επαναληπτικοί κύκλοι του Borda χρησιμοποιούνται στις μεγάλες γεωδαιτικές εργασίες. Το γραφόμετρο παραμένει ένα από τα πιο δημοφιλή όργανα στην τοπογραφία. Ο Nicholas Bion το 1709 στο βιβλίο του «*Traité de la construction et des principaux usages des instrumens de mathématique*» περιγράφει, εκτός από τον τετράντα και το γραφόμετρο, ένα άλλο όργανο για τη μέτρηση των οριζοντίων γωνιών στους τριγωνισμούς, το "planchette"⁷, ένα διηρημένο κύκλο με τηλεσκόπιο για τη σκόπευση, τοποθετημένο πάνω σε τρίποδα.

Η κατασκευή τοπογραφικών οργάνων κατά την εποχή πραγματοποιείται κυρίως από Άγγλους. Στην αναφορά του στα αγγλικά όργανα ο Bion περιγράφει ένα όργανο με τηλεσκόπιο τοποθετημένο κάτω από τον οριζόντιο κύκλο, με τη δυνατότητα να περιστρέφεται και γύρω από οριζόντιο άξονα, ώστε να σκοπεύει σε οποιοδήποτε ύψος, όμως χωρίς κατακόρυφο διηρημένο κύκλο. Αναφέρει, επίσης, και ένα άλλο όργανο μέτρησης γωνιών, χωρίς τηλεσκόπιο, με δύο σκόπευτρα κάθετα μεταξύ τους και ένα σύστημα σκόπευσης ειδικά για τον προσανατολισμό του κύκλου. Ο δίσκος μπορεί να εξοπλισθεί με πυξίδα, οπότε το όργανο, σύμφωνα και με την παρατήρηση του Bion, δε διαφέρει από την τοπογραφική πυξίδα (circumferentor – όργανο για τη μέτρηση οριζόντιων γωνιών το οποίο σήμερα έχει ενσωματωθεί στο θεοδόλιχο).



Circumferentor

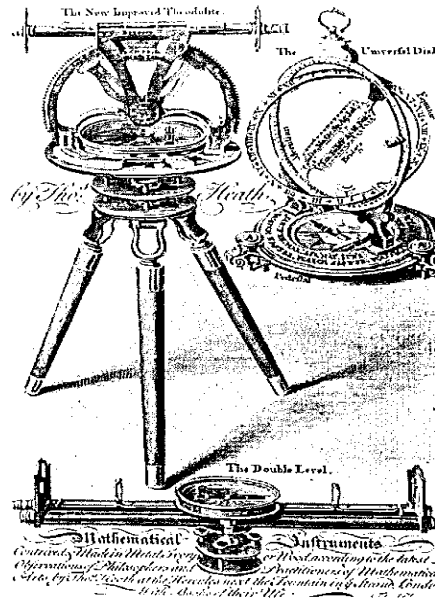
⁷ Το «planchette» πρόκειται, ουσιαστικά, για το θεοδόλιχο στην αγγλική του εκδοχή και ονομασία. Αλλιώς αναφερόταν ως γωνιογράφος (goniographe)

Το 'circumferentor' στις αρχές του 18^{ου} αιώνα είχε πάρει την τελική τυποποιημένη του μορφή, η οποία συνίστατο σε μια πυξίδα τοποθετημένη στο κέντρο μιας σκοπευτικής διάταξης από ορείχαλκο, με σύστημα τοποθέτησης του οργάνου πάνω σε τρίποδα ή σε στύλο. Ιρλανδοί και Αμερικανοί κατασκευαστές παρήγαγαν σημαντικό αριθμό τέτοιων οργάνων εκείνη την περίοδο.⁸ Με τη μαγνητική βελόνα να ορίζει τη διεύθυνση αναφοράς των γωνιομετρήσεων, η τοπογραφική πυξίδα ήταν το καταλληλότερο όργανο για περιοχές όπου δεν υπήρχε γεωδαιτική υποδομή και δυνατότητα προσανατολισμού των τοπογραφικών εργασιών με ορόσημα (τα γνωστά σε εμάς σήμερα τριγωνομετρικά σημεία), που στην Ευρώπη προσδιορίζονταν ως σημεία του τριγωνομετρικού δικτύου.

Άλλο ένα διαδεδομένο όργανο της εποχής ήταν και η μετροτράπεζα. Το 1723, ο Edmund Stone, στην αγγλική μετάφραση του βιβλίου του Bion «*The construction and Principal Uses of Mathematical Instruments*», περιέγραψε τη μορφή που χρησιμοποιήθηκε καθ' όλη τη διάρκεια του αιώνα, μια ξύλινη, δηλαδή, τετράγωνη πινακίδα τοποθετημένη πάνω σε τρίποδα, με μια πυξίδα μέσα σ' ένα οκτάγωνο κιβώτιο, ένα πλαίσιο διαιρεμένο σε βαθμούς και ένας κανόνας ορείχαλκου με χαραγμένες κλίμακες και σύστημα σκόπευσης στα άκρα του. Προς το τέλος του αιώνα τοποθετήθηκαν δύο τηλεσκόπια σκόπευσης στις πλαϊνές πλευρές της πινακίδας.

Στην ίδια μετάφραση, αναφέρεται πρώτη φορά το αγγλικό *planchette* ως θεοδόλιχος και χρησιμοποιούνται γενικά για όλα τα όργανα μέτρησης γωνιών οι όροι θεοδόλιχος και τοπογραφική πυξίδα, δημιουργώντας σύγχυση στην ορολογία των οργάνων για τα επόμενα χρόνια. Στη νέα του μετάφραση το 1758, ο Stone προσέθεσε σε παράρτημα δυο παραγράφους με τίτλο "Of Mr. Sisson's Theodolite", αναγνωρίζοντας το νέο όργανο του άγγλου κατασκευαστή ως έναν καλά σχεδιασμένο θεοδόλιχο, που μετρά οριζόντιες και κατακόρυφες γωνίες.

⁸ Η τοπογραφική πυξίδα έγινε το πιο ευρέως διαδεδομένο όργανο στην Αμερική τον επόμενο αιώνα.



Θεοδόλιχος του 18^{ου} αιώνα

Πρόκειται για την πρώτη αναφορά του σύγχρονου θεοδόλιχου που η ιστορία του αρχίζει το 1725 με την έκδοση του βιβλίου του Samuel Wyld, «*The Practical Surveyor*», του οποίου ο Jonathan Sisson ήταν ένας από τους εκδότες. Ο Wyld περιγράφει τα κοινά τοπογραφικά όργανα της εποχής του, όπως την μετροτράπεζα, τη μετρητική αλυσίδα, τον απλό θεοδόλιχο (οι διάφοροι βαθμολογημένοι δίσκοι με σκόπευτρο που αναφέρονται από τον Bion), αλλά σε παράρτημα γραμμένο από τον Sisson στο ίδιο βιβλίο περιγράφεται ένας νέος θεοδόλιχος με τηλεσκόπιο που μετρά οριζόντιες και κατακόρυφες γωνίες και ένας χωροβάτης, επίσης με τηλεσκόπιο. Στο εξώφυλλο του βιβλίου απεικονίζονται τα δύο αυτά όργανα.

Τον ίδιο χρόνο ο κατασκευαστής Thomas Heath (1714-1765) εξέδωσε βιβλίο με τον ίδιο τίτλο. Ως συγγραφέας του νέου βιβλίου αναφέρεται κάποιος John Hammond, όμως ο Stone αναφέρει ως πραγματικό συγγραφέα κάποιον κρεοπώλη Samuel Cunn, χαρακτηρίζοντάς τον έναν από τους μεγαλύτερους μαθηματικούς και γνώστες των έργων του Ευκλείδη και του Απολλώνιου. Στο εξώφυλλο και στο κείμενο αναφέρεται ένας νέος θεοδόλιχος του Heath, χωρίς να απεικονίζεται, ούτε να περιγράφεται πουθενά. Στη νέα έκδοση του βιβλίου το 1731, η εικόνα του οργάνου υπάρχει στο εξώφυλλο και σ' ένα παράρτημα, ενώ στην τρίτη έκδοση, το 1750, το όργανο περιγράφεται αναλυτικά μέσα στο κείμενο, όπου αναπτύσσονται δύο τεχνικές τοπογραφικών εργασιών: η τεχνική με απλό θεοδόλιχο και η τεχνική με τον βελτιωμένο θεοδόλιχο του Heath.

Ο George Adams στο βιβλίο του «*Geometrical and graphical essays*» (1791), περιγράφει τον απλό θεοδόλιχο του Stone αλλά και πιο πολύπλοκα αλταζιμουθιακά όργανα που αποδίδονται στον Ramsden. Ο Ramsden μετά από τον σχεδιασμό της δικής του διάταξης βαθμονόμησης, κατασκευάζει θεοδόλιχο για γεωδαιτικές εργασίες υψηλής ακρίβειας, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε στον τριγωνισμό της Μεγάλης Βρετανίας και της Ιρλανδίας το 1796. Ο μεγάλος δίσκος και το σύστημα ανάγνωσης με βερνιέρους και μικρόμετρα επιτρέπουν τη μέτρηση της χώρας.

Τον 18^ο αιώνα κατασκευάστηκε και ο εξάντας (sextant) όργανο το οποίο αξιοποιήθηκε κυρίως από τη ναυσιπλοΐα στη μέτρηση γωνιών για τον καθορισμό της θέσης. Πρόδρομη συσκευή του εξάντα ήταν ο οκτάντας, που εφευρέθηκε από τον Τζόν Χάντλεϊ το 1731. Διέφερε στο σχεδιασμό από τον εξάντα μόνο στην τοξοειδή κλίμακα που έχουν τα δυο όργανα: ο οκτάντας έχει κλίμακα ενός ογδού του κύκλου, δηλαδή 45 μοιρών, ενώ ο εξάντας έχει κλίμακα ενός έκτου του κύκλου, δηλαδή 60 μοιρών. Τα δυο όργανα μετρούν τη γωνία της προσπίπτουσας φωτεινής ακτίνας (π.χ. από έναν αστέρα) σε σχέση με τον ορίζοντα, αλλά ο οκτάντας φτάνει να μετρά μέχρι 90 μοίρες γωνία, ενώ ο εξάντας μέχρι 120 μοίρες. Ο εξάντας ανακαλύφθηκε, σαν εξέλιξη του οκτάντα, από τον Άγγλο αξιωματικό του Ναυτικού Τζον Κάμπελ το 1757.



Εξάντας

Άλλο ένα ιδιαίτερο όργανο που κατασκευάστηκε στην Ευρώπη εκείνη την εποχή (συγκεκριμένα κατά τα πρώτα χρόνια του 19ου αιώνα), ήταν ο επαναληπτικός θεοδόλιχος, που επιτρέπει την επανάληψη της μέτρησης σε διαφορετική περιοχή του οριζόντιου διάκου. Κατά τον 19ο αιώνα, στις καθημερινές τοπογραφικές εργασίες, οι διευθύνσεις σχεδιάζονταν από κάποια μορφή μοιρογνωμονίου οπότε ήταν περιττό να χρησιμοποιούνται όργανα ακρίβειας πάνω από ένα λεπτό της μοίρας. Οι τριγωνισμοί όμως απαιτούσαν όργανα υψηλότερης ακρίβειας, που επιτυγχάνονταν με θεοδόλιχους με μεγαλύτερο δίσκο ή με τη χρήση των μικροσκοπίων ανάγνωσης με μικρόμετρα. Η μέθοδος του μέσου όρου των επαναλαμβανόμενων παρατηρήσεων μιας γωνίας με τους επαναληπτικούς θεοδόλιχους εξασφάλιζε καλύτερη ακρίβεια καθώς και την ελαχιστοποίηση διαφορών σφαλμάτων.



Γαλλικός επαναληπτικός θεοδόλιχος

Με το επαναληπτικό θεοδόλιχο του γερμανού Reichenbach μετρήθηκαν οι γωνίες του εθνικού δικτύου της Βαυαρίας, το 1811 περίπου, με ακρίβεια της τάξης των 2 δευτερολέπτων. Ο θεοδόλιχος αυτός χρησιμοποιήθηκε και σε γεωδαιτικές εργασίες στην Ιρλανδία το 1815. Αν και έχει προηγηθεί ο επαναληπτικός κύκλος του Borda, το πέρασμα της ιδέας στον θεοδόλιχο και η ώθηση που του έδωσαν οι Γερμανοί κατασκευαστές πιθανώς να συνδέεται με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων που διατυπώνεται ταυτόχρονα εκείνη την εποχή από δύο μαθηματικούς, αστρονόμους και γεωδαιτές, τον Regendre και τον Gauss. Ο γερμανός Georg von Reichenbach επηρέασε σημαντικά τους ευρωπαίους κατασκευαστές γεωδαιτικών οργάνων του 19ου αιώνα. Οι επαναληπτικοί θεοδόλιχοι χρησιμοποιήθηκαν εκτενώς σε όλη την Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική, αλλά δεν ήταν ποτέ δημοφιλείς στην Αγγλία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

4. ΤΟ ΠΕΡΑΣΜΑ ΑΠΟ ΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΕΠΑΝΑΣΤΑΣΗ ΣΤΟΥΣ ΠΟΛΕΜΟΥΣ

Μετά το πέρας της εποχής της αναγέννησης και την επιτυχημένη μεταφορά της αποκτηθείσας γνώσης στις πρώτες προσπάθειες μαζικής παραγωγής βελτιωμένων τοπογραφικών οργάνων το 18^ο αιώνα, έρχεται η στιγμή για τον δυτικό κόσμο να γνωρίσει τη βιομηχανική επανάσταση.

Η Βιομηχανική Επανάσταση ήταν ένα ιδιαίτερα σύνθετο σύστημα ραγδαίων μεταβολών και ανακατατάξεων - τεχνικών, οικονομικών, κοινωνικών και πνευματικών -, οι οποίες οδήγησαν για πρώτη φορά στην εμφάνιση της "εκβιομηχανισμένης" (industrialized) κοινωνίας στη Μεγάλη Βρετανία μεταξύ των ετών 1760 - 1860. Την αλλαγή αυτή ακολούθησαν ανάλογες, αλλά όχι και ταυτόσημες βιομηχανικές επαναστάσεις και στις άλλες ευρωπαϊκές κοινωνίες που από την αγροτική κυρίως μορφή τους επέφεραν την εκβιομηχάνισή τους. Ιδιαίτερα επηρεάστηκε η Γαλλία και αργότερα οι ΗΠΑ σε σχέση με το τρόπο λειτουργίας και ανάπτυξης της οικονομίας και της δομής της κοινωνίας. Οι ιδέες του διαφωτισμού που κυριαρχούσαν την εποχή αυτή, ήρθαν να ντύσουν με το πνευματικό μανδύα το σύνολο των μεταρρυθμίσεων και στον ιδεολογικό μεταρρυθμιστικό χάρτη.

Το κλίμα αυτό της αλλαγής δεν θα μπορούσε αν μην επηρεάσει τα τοπογραφικά όργανα. Εκείνα εξελίσσονται, συνδυάζονται και οδηγούν σε ακόμη περισσότερη ακρίβεια μετρήσεων.

i. 19ος ΑΙΩΝΑΣ

Από τις αρχές του 19ου αιώνα οι αλλαγές και οι βελτιώσεις είναι ακόμη πιο ταχείες. Κατασκευάζονται θεοδόλιχοι και χωροβάτες υψηλής ακριβείας, λινές και μεταλλικές μετροταινίες, κανόνες και ειδικά σύρματα για τη μέτρηση μηκών. Ο Σκοτσέζος φυσικός Maxwell (1831-1879) θέτει τις θεωρητικές βάσεις της μετάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Σημαντικές είναι, επίσης, οι μελέτες που γίνονται επάνω σε διάφορα χαρακτηριστικά της Γης. Ο Γερμανο-Αμερικανός Michelson (1852-1931) χρησιμοποιεί για πρώτη φορά ηλεκτρομαγνητικά κύματα για μέτρηση αποστάσεων.

Όπως είναι αναμενόμενο, η εξέλιξη και η ανάπτυξη των διαφόρων κρατών δημιουργεί συνεχώς και μεγαλύτερες ανάγκες τοπογραφικών σχεδίων, χαρτών και ειδικών μετρήσεων. Η τοπογραφία, όπως και όλους τους αιώνες που προηγήθηκαν, ακολουθεί τις γεωπολιτικές μεταβολές στον πλανήτη και εξελίσσεται.

Ένα από τα πιο απλά όργανα του 19^{ου} αιώνα είναι η μετρητική αλυσίδα του Gunter (Gunter's chain) η οποία αρχικά κατασκευάστηκε στην Αγγλία. Η χρησιμότητα της εμφανίστηκε όταν οι ιδιοκτήτες αγροκτημάτων στο Queensland θέλησαν να μετρήσουν την έκταση των ιδιοκτησιών τους. Η αλυσίδα του Gunter έχει μήκος περίπου 20 μέτρα και αποτελείται από περίπου 100 κρίκους. Χρησιμοποιήθηκε ευρέως για την οριοθέτηση ιδιοκτησιών έως το 1880.



Η αλυσίδα του Gunter

Προς βελτίωση της αλυσίδας του Gunter εμφανίζεται στην Αυστραλία στο τέλος του 19^{ου} αιώνα η μεταλλική μετροταινία. Είχε μήκος έως 100 μέτρα και χρησιμοποιήθηκε πολύ στις μετρήσεις και οριοθετήσεις μικρών ιδιοκτησιών.



Μεταλλική μετροταινία

ii. 20ος ΑΙΩΝΑΣ

Ως το 1950 για τη μέτρηση των αποστάσεων χρησιμοποιούνταν μόνο η μηχανική, η γεωμετρική, η τριγωνομετρική και η οπτική μέθοδος επειδή τα μέχρι τότε γνωστά γεωδαιτικά όργανα ήταν οι κανόνες, οι μετροταινίες, τα σύρματα Invar και τα κλασικά οπτικά όργανα. Από τότε μέχρι σήμερα, όμως, με τη μεγάλη εξέλιξη της ηλεκτρονικής, κατασκευάστηκαν ηλεκτρομαγνητικά όργανα μέτρησης των αποστάσεων (Electromagnetic Distance Measurement Instruments – EDM) που χρησιμοποιούν οπτική ακτινοβολία ή μικροκύματα. Με τα όργανα αυτά πραγματοποιείται η μέτρηση μικρών ή μεγάλων αποστάσεων με λιγότερο προσωπικό, σε ελάχιστο χρόνο και με μεγάλη ακρίβεια, ανεξάρτητα από την κατηγορία του εδάφους και με μικρή επίδραση από τις επικρατούσες ατμοσφαιρικές συνθήκες. Επίσης, χρησιμοποιείται το Δορυφορικό Σύστημα Εντοπισμού Θέσης (Global Positioning System, GPS) το οποίο έχει θέσει σε διαφορετική βάση το θέμα των τοπογραφικών μετρήσεων, αφού παρέχει απευθείας συντεταγμένες σημείων.

Στις αρχές του 20ού αιώνα ο Heinrich Wild σχεδιάζει και κατασκευάζει θεοδολίχους με πολλές καινοτομίες συνεργαζόμενος με τα μεγαλύτερα εργοστάσια κατασκευής τοπογραφικών οργάνων της εποχής.



Όργανα κατασκευασμένα από τον Heinrich Wild στις αρχές του 20^{ου} αιώνα.

Κατασκευάζονται επίσης νέοι τύποι χωροβατών και γυροσκοπικοί θεοδόλιχοι για τον προσδιορισμό της διεύθυνσης του μαγνητικού βορρά. Χαρακτηριστικό των νέων οργάνων είναι τόσο το μικρό μέγεθος και το μικρό βάρος, αλλά και η υψηλή ακρίβεια μετρήσεων.

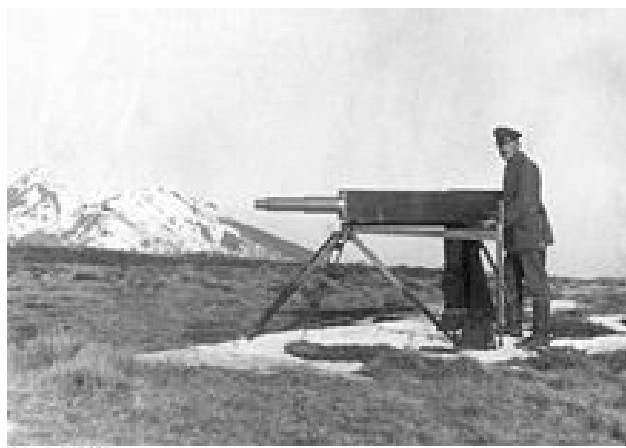


α) θεοδόλιχος αρχές 20^{ου} αιώνα



β) χωροβάτης αρχές 20^{ου} αιώνα

Με το ξέσπασμα του Α' Παγκόσμιου Πολέμου δημιουργήθηκαν ιδιαίτερες ανάγκες που εξυπηρετούσαν την επεκτατική πολιτική των κρατών από τη μία και την προστασία των εδαφών τους από την άλλη. Οι ανάγκες αυτές έδωσαν ώθηση στην επιστήμη της Γεωδαισίας και της Τοπογραφίας, αλλά και της Φωτογραμμετρίας.



Γερμανός τοπογράφος κάνει μετρήσεις κατά τη διάρκεια του Α' Παγκοσμίου Πολέμου

Μετά τον Α' Παγκόσμιο Πόλεμο πληθαίνουν οι ερευνητικές δραστηριότητες σε σχετικά θέματα. Η έκδοση βιβλίων πληθαίνει, ωστόσο η συνεργασία μεταξύ των διαφόρων κρατών σε γεωδαιτικά και τοπογραφικά θέματα δεν είναι η καλύτερη κατά το διάστημα του μεσοπολέμου. Παρ' ολ' αυτά, τα ευρωπαϊκά, κυρίως, εργοστάσια κατασκευής τοπογραφικών οργάνων δε σταματούν να βελτιώνουν τα προϊόντα τους και να παράγουν νέους τύπους θεοδολίχων και χωροβατών, όπως θεοδολίχους κατάλληλους για αστρονομικούς προσδιορισμούς και χωροβάτες αυτόματης οριζοντίωσης.

Με το τέλος και του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, δημιουργούνται διάφορα συστήματα ναυσιπλοΐας με τη χρήση ραδιοκυμάτων, ενώ στις αρχές της δεκαετίας του 1950 κατασκευάζεται το πρώτο τοπογραφικό όργανο μέτρησης αποστάσεων με ορατό φως από τον Bergstrand στη Σουηδία. Η συνέχεια στην παραγωγή τέτοιων οργάνων ήταν εντυπωσιακή. Κατασκευάζονται ηλεκτρονικά όργανα μέτρησης μεγάλων αποστάσεων με τη χρήση μικροκυμάτων και ακτινών laser, καθώς και ηλεκτρονικά όργανα μέτρησης μικρών σχετικά αποστάσεων με τη χρήση υπέρυθρης ακτινοβολίας.

Από τα τέλη της δεκαετίας του 1970 κατασκευάζονται ηλεκτρονικοί θεοδολίχοι, προσφέροντας τη δυνατότητα μέτρησης των οριζόντιων και κατακόρυφων γωνιών με ηλεκτρονικό τρόπο. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η Γεωδαισία και η Τοπογραφία είναι επιστήμες που ωφελήθηκαν και ωφελούνται σε πολύ μεγάλο βαθμό από την ανάπτυξη της Ηλεκτρονικής κατά τα τελευταία πενήντα χρόνια. Είναι επίσης από τις πρώτες επιστήμες που χρησιμοποίησαν τις δυνατότητες των ηλεκτρονικών υπολογιστών, τόσο για τη γρήγορη εκτέλεση υπολογισμών, όσο και για την πλήρως αυτοματοποιημένη παραγωγή σχεδίων και χαρτών με τη βοήθεια κατάλληλων προγραμμάτων (CAD) και περιφερειακών συσκευών. Η αυτοματοποίηση των εργασιών πεδίου και γραφείου οδήγησε στην κατασκευή καταγραφικών συσκευών υπαίθρου, συσκευών στις οποίες αποθηκεύονται οι μετρήσεις και στη συνέχεια μεταφέρονται στον ηλεκτρονικό υπολογιστή για περαιτέρω επεξεργασία. Οι αποτυπώσεις αρχίζουν να γίνονται με έναν συνδυασμό κλασικού (μηχανικού) ή ηλεκτρονικού θεοδολίχου και ενός ηλεκτρονικού οργάνου μέτρησης αποστάσεων με καταγραφικό (ηλεκτρονικό ταχύμετρο). Η ταχύτητα μετρήσεων και υπολογισμών είναι πλέον πολύ μεγάλη.



Ηλεκτρονικός Θεοδόλιχος T100

Οι κυριότεροι κατασκευαστές τοπογραφικών οργάνων της εποχής παραμένουν τα ευρωπαϊκά εργοστάσια στην Ελβετία, στη Γερμανία (Ανατολική και Δυτική) και στην Ιαπωνία που παρουσιάζει μια εξαιρετικά μεγάλη παραγωγή ηλεκτρονικών κυρίως, αλλά και κλασικών τοπογραφικών οργάνων παίρνοντας ένα μεγάλο κομμάτι της διεθνούς αγοράς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

5. Η ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΕΠΟΧΗ

Από τα μέσα της δεκαετίας του 1980 όλες οι μετρήσεις γωνιών και μηκών γίνονται από ένα και μόνο ολοκληρωμένο ηλεκτρονικό όργανο που ονομάστηκε Γεωδαιτικός Σταθμός. Το όργανο αυτό είναι το τελευταίο στη σειρά οργάνων μέτρησης για τοπογραφικούς σκοπούς. Τα εργοστάσια κατασκευάζουν σήμερα σχεδόν αποκλειστικά ηλεκτρονικά όργανα και κυρίως γεωδαιτικούς σταθμούς. Οι γεωδαιτικοί σταθμοί εξελίσσονται συνεχώς μέχρι σήμερα με προσθήκες και καινοτομίες, όπως μικροεπεξεργαστές και λειτουργικό σύστημα παρόμοιο και συμβατό με αυτό των ηλεκτρονικών υπολογιστών (MS-DOS), προγράμματα για εκτέλεση υπολογισμών στο πεδίο, αυτόματη κίνηση του οργάνου με σερβοκινητήρες, αυτόματη αναζήτηση στόχου για μέτρηση, ενσωματωμένη αποθήκευση χιλιάδων σημείων μέτρησης κ.ά.



Γεωδαιτικός Σταθμός

Όλα τα όργανα που έχουμε αναφέρει έως και το παρόν σημείο αφορούν σε επίγειες μετρήσεις. Εκείνο που χαρακτηρίζει τη σημερινή Τοπογραφία, ωστόσο, είναι η χρήση δορυφόρων για τον εντοπισμό θέσης πάνω στη Γη. Μετά το Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο οι Η.Π.Α. (και παράλληλα οι Σοβιετικοί) δημιούργησαν συστήματα για τον έλεγχο της ναυσιπλοΐας για στρατιωτικούς σκοπούς. Το τελευταίο σύστημα, το Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Θέσης (GPS), είναι ένα σύστημα που χρησιμοποιεί 24 τεχνητούς δορυφόρους που πετούν γύρω από τη Γη και βρίσκεται σε πλήρη επιχειρησιακή λειτουργία από το 1994.



Επαγγελματικό Τοπογραφικό GPS

Το σύστημα GPS, πέρα από τη χρησιμοποίησή του για τον έλεγχο της κίνησης πλοίων, αεροπλάνων και οχημάτων, αποδείχτηκε ένα εξαιρετικό, εύχρηστο και υψηλής ακριβείας σύστημα μετρήσεων για τοπογραφικές και γεωδαιτικές εφαρμογές που κυριολεκτικά θέτει την Τοπογραφία σε νέες βάσεις και αναθεωρεί ένα πλήθος μεθόδων μέτρησης και υπολογισμών. Με τη χρήση ενός μόνο δέκτη GPS είναι δυνατός ο εντοπισμός της θέσης οποιουδήποτε σημείου πάνω στη Γη με ακρίβεια λίγων μέτρων. Με τη συνδυασμένη χρήση δύο ή περισσότερων δεκτών όμως, είναι δυνατός ο προσδιορισμός αποστάσεων στο χώρο μεταξύ των δεκτών με ακρίβεια εκατοστού.

i. 21ος ΑΙΩΝΑΣ

Οι Αιγύπτιοι “τεντωτές” σχοινιών, οι Έλληνες μαθηματικοί και μηχανικοί, οι Κινέζοι τοπογράφοι, οι Ρωμαίοι “αγρομέτρες”, οι μεγάλοι εξερευνητές, οι μεγάλοι φιλόσοφοι και μηχανικοί της Αναγέννησης, όλοι εκείνοι που με την εργασία τους και με τις ανακαλύψεις τους τελευταίους αιώνες πρόσφεραν ο καθένας και μια μικρή ή μεγαλύτερη υπηρεσία για να κτισθεί το οικοδόμημα της σύγχρονης Γεωδαισίας και Τοπογραφίας, θα ήταν περήφανοι γνωρίζοντας ότι με λίγα μέσα πέτυχαν τόσα πολλά και άνοιξαν το δρόμο για τη σημερινή τεχνολογική άνθηση.

Οι ορίζοντες που έχει ανοίξει η σύγχρονη τεχνολογία στο σχεδιασμό των τοπογραφικών συστημάτων μέτρησης και στη βελτίωση των μεθόδων επεξεργασίας και παρουσίασης των μετρήσεων είναι ευρύτατοι. Οι νέοι τύποι ηλεκτρονικών οργάνων παρουσιάζονται με ταχύτατους ρυθμούς και σε συνδυασμό με τα σύγχρονα συστήματα ηλεκτρονικών υπολογιστών, έχουν αυτοματοποιήσει την εργασία του Τοπογράφου Μηχανικού, εξασφαλίζοντας ταχύτητα, ακρίβεια και οικονομία.

Οι απαιτήσεις, λοιπόν, της σύγχρονης εποχής, καθώς και οι εξελίξεις στην τεχνολογία καθιστά απαραίτητο να χρησιμοποιούνται ακριβή όργανα μετρήσεων. Το πλέον κοινό όργανο που χρησιμοποιείται σήμερα στην τοπογραφία, τόσο για την αποτύπωση μεσαίας αλλά και μικρής κλίμακας αντικειμένων, είναι ο θεοδόλιχος ή ταχύμετρο. Ο σύγχρονος θεοδόλιχος είναι σε θέση να μετρά με μεγάλη ακρίβεια την οριζόντια και κατακόρυφη γωνία που σχηματίζεται από τη νοητή οπτική γραμμή που συνδέει ένα χαρακτηριστικό σημείο του οργάνου (κέντρο σκόπευσης) και το σημείο λεπτομέρειας (σημείο σκόπευσης) επί του αντικειμένου που παρατηρείται μέσω του οπτικού συστήματος του. Έμμεσα με χρήση των εξισώσεων τριγωνομετρίας και της μέτρησης των κατακόρυφων γωνιών είναι εφικτό να μετρηθούν και οι κατακόρυφες αποστάσεις μεταξύ σημείων στον τρισδιάστατο χώρο. Με την επίλυση των θεμελιωδών θεωρημάτων της τοπογραφίας όλες οι μετρήσεις των γωνιών που γίνονται μέσω του θεοδόλιχου μπορούν να οδηγήσουν σε υπολογισμό των τρισδιάστατων συντεταγμένων των παρατηρούμενων σημείων στο επίπεδο καρτεσιανό τρισσορθογώνιο σύστημα συντεταγμένων.

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει σε προγενέστερο σημείο της παρούσας μελέτης, οι θεοδόλιχοι αρχικά κατασκευάστηκαν μόνο για κάνουν μετρήσεις γωνιών. Τα σύγχρονα όργανα, όμως, συνοδεύονται από αποστασιόμετρα, δίδοντας μας τους γνωστούς Γεωδαιτικούς Σταθμούς (Total Station), στους οποίους πραγματοποιήσαμε σύντομη αναφορά προηγουμένως. Η χρήση των Γεωδαιτικών σταθμών μας επιτρέπει με μία μόνο σκόπευση (δηλαδή μέτρηση της οριζόντιας και κατακόρυφης γωνίας) και την ταυτόχρονη μέτρηση της απόστασης του σημείου λεπτομέρειας από το θεοδόλιχο, να παράγουμε τις απ' ευθείας τρισδιάστατες συντεταγμένες σημείων στο χώρο, εφόσον είναι απόλυτα προσδιορισμένη η θέση (ονομάζεται και στάση του οργάνου στην τοπογραφική ορολογία) του τοπογραφικού οργάνου σε ένα τρισσορθογώνιο σύστημα συντεταγμένων.

Τα σύγχρονα όργανα χρησιμοποιούν τις παρακάτω μεθόδους για τη διεξαγωγή μετρήσεων:

1. Μηχανική μέθοδος. Γίνεται με τη χρήση ειδικών μεταλλικών μετροταινιών και συρμάτων invar.
2. Οπτική μέθοδος. Γίνεται με την παρατήρηση μέσω του οπτικού συστήματος ενός οργάνου μιας ειδικής μετρητικής διάταξης.

3. Ηλεκτρομαγνητική μέθοδος. Η χρήση των ηλεκτρομαγνητικών οργάνων και μεθόδων για τη μέτρηση αποστάσεων σε διάφορες εφαρμογές (οδοποιία, υδραυλικά έργα, χαράξεις κ.λπ.) οδήγησε σταδιακά στην αντικατάσταση των κλασικών οργάνων και μεθόδων μέτρησης για την ακριβή μέτρηση των αποστάσεων. Η πρώτη προσπάθεια προς την Ηλεκτρομαγνητική Μέτρηση των Αποστάσεων (Electromagnetic Distance Measurement - EDM), και βέβαια προς τα αντίστοιχα όργανα, πρέπει να αποδοθεί στους γνωστούς φυσικούς Maxwell και Hertz. Σήμερα, τα όργανα EDM χρησιμοποιούν κατά κανόνα υπέρυθρη ακτινοβολία ή –σπανιότερα– δέσμη ακτίνων Laser. Για την μέτρηση της απόστασης με χρήση του τοπογραφικού οργάνου απαιτείται συνήθως η εφαρμογή ενός ανακλαστήρα που εφάπτεται του σημείου που απαιτείται να μετρηθεί. Υπάρχουν οι εξής τρόποι για τον υπολογισμό της απόστασης:

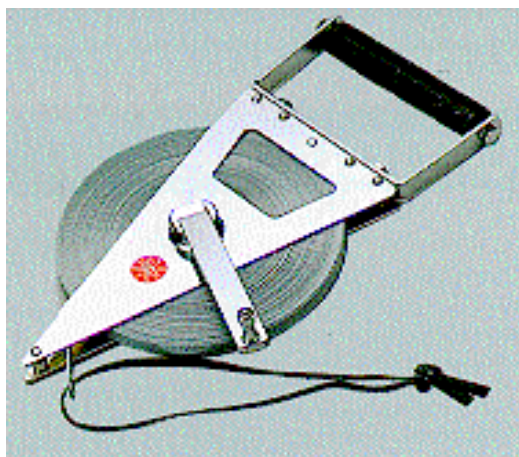
- Παλμού. Βασίζεται στο χρόνο που απαιτείται για την μετάδοση ενός ηλεκτρομαγνητικού σήματος μεταξύ του οργάνου που φέρει και την πηγή του Η/Μ κύματος και του σημείου που επιθυμείται η μέτρηση της απόστασής του από αυτό.
- Σύγκρισης φάσεων. Ο πομπός του οργάνου παράγει ένα ημιτονοειδές μετρικό σήμα το οποίο αντανακλάται και επιστρέφει με διαφορετική φάση. Η διαφορά φάσης καταγράφεται και μετατρέπεται σε απόσταση.
- Τα τελευταία χρόνια η ανάπτυξη και εξέλιξη των αποστασιόμετρων laser και των οργάνων μέτρησης απόστασης με χρήση της τεχνολογίας των υπέρυθρων ακτίνων έδωσε τη δυνατότητα να γίνονται οι μετρήσεις χωρίς να είναι απαραίτητη η χρήση ανακλαστήρα (πρίσμα ή κάτοπτρο).

ii. ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ

Στη συνέχεια, και εφόσον είδαμε τον τρόπο με τον οποίο η τεχνολογία έχει επηρεάσει την εξέλιξη των τοπογραφικών οργάνων στη σύγχρονη εποχή, θα παρουσιάσουμε εκτενώς τα βασικότερα όργανα που έχει σήμερα στη διάθεση του ο τοπογράφος, καθώς και τα παρελκόμενα που τα συνοδεύουν.

• Μετροταινία

Το κυριότερο όργανο άμεσης μηχανικής μέτρησης μηκών είναι η μετροταινία. Οι μετροταινίες διακρίνονται σε μεταλλικές και λινές ή πλαστικές. Οι μεταλλικές μετροταινίες χρησιμοποιούνται σε μετρήσεις μηκών μεγάλης ακρίβειας. Οι πιο συνηθισμένοι τύποι μεταλλικών ή λινών ή πλαστικών μετροταινιών είναι οι περιστρεφόμενες με χειρολαβή και οι περιστρεφόμενες χωρίς χειρολαβή που περιτυλίσσονται μέσα σε δερμάτινη (πλαστική) θήκη. Τα μήκη των μετροταινιών είναι συνήθως 20, 25, 30 και 50 m. Παρέχουν ακρίβεια της τάξης των $\pm 2-3$ cm/100 m, με κανονική δύναμη έλξης που αναγράφεται συνήθως πάνω στη μετροταινία και θερμοκρασία περιβάλλοντος 20ο C. Οι μετροταινίες των δύο τύπων που αναφέρθηκαν πιο πάνω φέρουν στο ένα άκρο τους μεταλλικό κρίκο και η αρχή των διαιρέσεων ποικίλει



α) μεταλλική μετροταινία



β) πλαστική μετροταινία

• Αποστασιόμετρα

Τα αποστασιόμετρα αποτελούν την ψηφιοποίηση των συμβατικών οργάνων μέτρησης αποστάσεων, όπως η ταινία. Αποδίδουν ακριβείς μετρήσεις σε ελάχιστο χρόνο, απλουστεύοντας το έργο του τοπογράφου.



Αποστασιόμετρα

• Όργανο EDM

Τα όργανα EDM εφαρμόζουν την ηλεκτρομαγνητική μέθοδο μέτρησης αποστάσεων, χρησιμοποιώντας κυρίως υπέρυθρη ακτινοβολία ή –σπανιότερα– δέσμη ακτινών Laser. Τα όργανα που χρησιμοποιούν ως φέρον κύμα υπέρυθρη ακτινοβολία (ηλεκτροπτικά όργανα) έχουν αρκετά υψηλή ακρίβεια και εμβέλεια που σε ορισμένους τύπους ξεπερνά τα 20 km. Τα μήκη κύματος που χρησιμοποιούνται είναι συνήθως κοντά στα 900 nm. Απαραίτητο συμπλήρωμα για την εκτέλεση μετρήσεων με τα όργανα αυτά αποτελεί η χρήση ανακλαστήρα.



α) Αυτοτελές Όργανο EDM



β) EDM συνδρασμένο με ηλεκτρονικό θεοδόλιχο

• Γεωδαιτικοί Δέκτες GPS

Με τον όρο δορυφορικός εντοπισμός θέσης εννοείται ο προσδιορισμός των απόλυτων και σχετικών συντεταγμένων σημείων (επί της Γης, στη ξηρά, στη θάλασσα ή επάνω από τη Γη) με την επεξεργασία μετρήσεων προς και/ή από τεχνητούς δορυφόρους. Οι πρώτες σχετικές εφαρμογές εμφανίστηκαν στις αρχές της δεκαετίας του 1960 με προβλήματα λόγω του εξαιρετικά μεγάλου χρόνου παρατηρήσεων και της χαμηλής ακριβείας. Παρόλα τα προβλήματα, οι εφαρμογές αυτές σε γεωδαιτικές εργασίες μεγάλης κλίμακας, κατόρθωσαν να δώσουν λύσεις σε θέματα σχετικά με τη σύνθεση εθνικών τριγωνομετρικών δικτύων και με τον προσδιορισμό της θέσης, της κλίμακας και του προσανατολισμού εθνικών συστημάτων αναφοράς.

Όσον αφορά την εφαρμογή του GPS στην τοπογραφία, αυτή πραγματοποιείται με τη χρήση γεωδαιτικών δεκτών. Οι γεωδαιτικοί δέκτες διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: Μίας και δύο συχνοτήτων (L1, L2), με δυνατότητα εκτέλεσης μετρήσεων κώδικα και φάσης. Ο σκοπός τους είναι οι γεωδαιτικές και τοπογραφικές εφαρμογές (γενικότερα οι εφαρμογές υψηλής ακρίβειας) με τη μέθοδο του σχετικού προσδιορισμού θέσης. Το αντικείμενο του Αγρονόμου και Τοπογράφου Μηχανικού αφορά και εφαρμογές όπως είναι τα γεωδαιτικά δίκτυα, τοπογραφικές αποτυπώσεις, χαράξεις, παρακολούθηση μετακινήσεων τεχνικών έργων με απαιτήσεις ακρίβειας της τάξης του 1 cm. Η μόνη απαίτηση στο σχετικό προσδιορισμό είναι η ύπαρξη τουλάχιστον δύο δεκτών. Η απαίτηση αυτή απορρέει από το γεγονός ότι μέσω καταλλήλων γραμμικών συνδυασμών (τεχνική διαφορών) των ταυτόχρονων πρωτογενών παρατηρήσεων των δύο δεκτών προς τους ίδιους δορυφόρους μπορούν να απαλείφονται ή να ελαχιστοποιούνται κοινά συστηματικά σφάλματα, με αποτέλεσμα η υψηλή ακρίβεια στη σχετική θέση να είναι της τάξης του 1 έως 2 ppm ή και καλύτερη, που συμβατικά αναφέρεται ως 'ακρίβεια εκατοστού' στις τρέχουσες γεωδαιτικές και τοπογραφικές εφαρμογές. Η υψηλή ακρίβεια προϋποθέτει τη χρήση μετρήσεων φάσεων στα κύματα - φορείς του δορυφορικού σήματος.

Στις πρακτικές εφαρμογές, ο σχετικός προσδιορισμός θέσης περιλαμβάνει συνήθως περισσότερα από δύο σημεία. Με δύο λοιπόν δέκτες που τοποθετούνται στα άκρα των διαφόρων βάσεων ανάμεσα στα σημεία και μετρούν ταυτόχρονα για κάποιο ικανό χρονικό διάστημα, μερικά λεπτά έως μερικές ώρες ανάλογα με την εφαρμογή, εφαρμόζουμε το σχετικό προσδιορισμό για το σύνολο των σημείων και καταλήγουμε σε προσδιορισμό της σχετικής θέσης με υψηλή ακρίβεια (μέτρηση δικτύου GPS). Για τον έλεγχο των σφαλμάτων και γενικώς για ποιοτικά αποτελέσματα μετρούνται συνήθως περισσότερες βάσεις από τις ελάχιστες που απαιτούνται (πλεονάζουσα πληροφορία, ίδρυση και συνόρθωση δικτύου).



Γεωδαιτικός Δέκτης GPS

• Ο Θεοδόλιχος

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, ο θεοδόλιχος είναι όργανο μέτρησης οριζοντίων και κατακόρυφων γωνιών και χρησιμοποιείται τόσο σε γεωδαιτικές, όσο και σε αστρονομικές εργασίες. Η λέξη θεοδόλιχος είναι ελληνική και προέρχεται από τις λέξεις θεώμαι και δόλιχος. Ο όρος απαντά για πρώτη φορά στην εργασία Pantometria του Άγγλου Leonard Digges που δημοσιεύτηκε το 1571. Εκεί περιγράφεται ένα όργανο που χρησιμοποιούταν για τη μέτρηση γωνιών και που ονομαζόταν Theodelitus. Ο θεοδόλιχος μπορεί να είναι κλασσικός (αποτελείται από οπτικομηχανικά στοιχεία) ή ηλεκτρονικός (αποτελείται από οπτικομηχανικά και ηλεκτρονικά στοιχεία)



α) κλασικός θεοδόλιχος



β) ηλεκτρονικός θεοδόλιχος

Στους ηλεκτρονικούς θεοδολίχους η μέτρηση των γωνιών γίνεται με αυτόματο ηλεκτρονικό τρόπο και η τελική τιμή της γωνίας αναγράφεται σε ψηφιακή οθόνη αναγνώσεων. Τα υπόλοιπα στοιχεία των ηλεκτρονικών θεοδολίχων (σύστημα σκόπευσης – τηλεσκόπιο, άξονες) καθώς και οι βασικές αρχές λειτουργίας είναι παρόμοια με αυτά των κλασσικών θεοδολίχων.

Οι ηλεκτρονικοί θεοδόλιχοι χρησιμοποιούνται είτε ως αυτοτελή όργανα μετρήσεων γωνιομετρήσεων, είτε σε συνδυασμό με ηλεκτρομαγνητικά όργανα μέτρησης αποστάσεων είτε ως ολοκληρωμένα όργανα γωνιομετρήσεων και μετρήσεων μηκών ή γεωδαιτικοί σταθμοί. Οι ηλεκτρονικοί θεοδόλιχοι παρέχουν μία σειρά από πλεονεκτήματα, όπως αυτόματη καταγραφή των μετρήσεων, αυτόματη καταγραφή των μετρήσεων, απευθείας σύνδεση με ηλεκτρονικό υπολογιστή κ.α.

Κάθε θεοδόλιχος μπορεί να χωριστεί σε δύο τμήματα

- Το ακίνητο κάτω τμήμα, το οποίο φέρει τον οριζόντιο διαιρεμένο δίσκο αναγνώσεων
- Το κινητό άνω τμήμα, το οποίο φέρει το τηλεσκόπιο και τα βοηθητικά μέσα αναγνώσεων και κινείται γύρω από τους άξονες του θεοδολίχου.

Η εξωτερική όψη των θεοδολίχων διαφέρει ανάλογα με την κατασκευή του κάθε εργοστασίου, αλλά σε κάθε όργανο διακρίνουμε πάντοτε τα ίδια γενικά χαρακτηριστικά μέρη. Οι κύριοι μηχανισμοί ενός γωνιομετρικού οργάνου όπως ο θεοδόλιχος είναι τα εξής:

Οι μηχανισμοί σκόπευσης

Ένας μηχανισμός σκόπευσης είναι το τηλεσκόπιο. Το τηλεσκόπιο είναι γενικά μια σκοπευτική διάταξη που προσαρμόζεται στο θεοδολίχο, καθώς και σε άλλα γεωδαιτικά όργανα. Με το τηλεσκόπιο γίνεται η ακριβής σκόπευση του αντικειμένου, απαραίτητη προϋπόθεση για να αρχίσει μετά από αυτό οποιαδήποτε μέτρηση. Με το τηλεσκόπιο πετυχαίνουμε να βλέπουμε τα αντικείμενα με γωνία πολύ μεγαλύτερη από εκείνη που τα βλέπουμε με γυμνό μάτι. Κάθε τηλεσκόπιο αποτελείται από δύο συστήματα φακών, το αντικειμενικό και το προσοφθάλμιο. Τα τηλεσκόπια των θεοδολίχων διαθέτουν σταυρόνημα για τη διευκόλυνση της ακριβούς σκόπευσης. Λέγοντας σκόπευση ενός σημείου εννοούμε την τοποθέτηση του ειδώλου του πάνω στο κέντρο του σταυρονήματος.



Εξωτερικός μηχανισμός σκόπευσης σε τηλεσκόπιο

Οι μηχανισμοί οριζοντίωσης και κατακορύφωσης

Στους μηχανισμούς οριζοντίωσης και κατακορύφωσης των γωνιομετρικών οργάνων ανήκουν οι αεροστάθμες. Διακρίνουμε δύο είδη αεροσταθμών: τις σφαιρικές για χοντρική οριζοντίωση και κατακορύφωση και τις σωληνωτές ή κυλινδρικές για ακριβή οριζοντίωση και κατακορύφωση

Οι μηχανισμοί αναγνώσεων των κλασικών και των ηλεκτρονικών γωνιομετρικών οργάνων

Χαρακτηριστικό γνώρισμα των κλασικών γωνιομετρικών οργάνων είναι ο διαιρεμένος κύκλος ή δίσκος, που η εξέλιξή του βοήθησε πολύ στην αύξηση της ακριβείας τους. Πάνω στο δίσκο είναι χαραγμένες οι διαιρέσεις.

Στα σύγχρονα όργανα ο δίσκος είναι γυάλινος με τις διαιρέσεις τοποθετημένες απευθείας πάνω στην περιφέρεια του. Τα όργανα που κυκλοφορούν σήμερα έχουν διαιρεμένους δίσκους με διάμετρο από 6 cm μέχρι 25 cm. Οι δίσκοι αυτοί είναι διαιρεμένοι σε 400 γον και οι διαιρέσεις αυξάνουν σύμφωνα με τη φορά των δεικτών του ωρολογίου. Σε κάθε όργανο υπάρχει ένας δίσκος για τη μέτρηση των οριζόντιων γωνιών και ένας για τη μέτρηση των κατακόρυφων. Για τις αναγνώσεις πάνω στους δίσκους με ακρίβεια χρησιμοποιούνται οι μηχανισμοί ανάγνωσης, οι κυριότεροι από τους οποίους είναι το μικροσκόπιο, το οπτικό μικρόμετρο και ο βερνιέρος. Ο παρατηρητής βλέπει τις ενδείξεις των δίσκων μέσω ενός προσοφθαλμίου αναγνώσεων



Σφαιρική και σωληνωτή ή κυλινδρική αεροστάθμη

Στα ηλεκτρονικά γωνιομετρικά όργανα η μέτρηση των γωνιών γίνεται με ηλεκτρονικά συστήματα. Οι μηχανισμοί ανάγνωσης στους ηλεκτρονικούς θεοδολίχους είναι οθόνες υγρών κρυστάλλων (LCD) πάνω στα όργανα (συνήθως και στις δύο πλευρές των οργάνων). Στις οθόνες αυτές παρουσιάζονται απευθείας οι ενδείξεις των δίσκων. Υπάρχουν επίσης και πλήκτρα ελέγχου της λειτουργίας των οργάνων



Οθόνη αναγνώσεων σε ηλεκτρονικό θεοδόλιχο

• Ο Χωροβάτης

Ο χωροβάτης είναι το σπουδαιότερο όργανο της γεωμετρικής χωροστάθμησης. Είναι ένα όργανο που έχει ως σκοπό να υλοποιεί μια οριζόντια ευθεία, δηλαδή μια ευθεία κάθετη προς την κατακόρυφο του σημείου στάσης. Κατά τη στροφή του χωροβάτη γύρω από ένα κατακόρυφο άξονα η σκοπευτική του γραμμή διαγράφει ένα οριζόντιο επίπεδο.

Ο χωροβάτης αποτελείται από τον υποστάτη και το κυρίως όργανο. Ο υποστάτης αποτελείται από τον τρίποδα και την κεφαλή του. Ανάλογα με το σχήμα της κεφαλής του υποστάτη, διακρίνουμε αυτούς που έχουν κωνική κεφαλή και αυτούς που έχουν επίπεδη κεφαλή. Το κυρίως όργανο αποτελείται από τη βάση ή τρικόχλιο, το τηλεσκόπιο και την αεροστάθμη.

Σήμερα, χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο χωροβάτες αυτόματης οριζοντίωσης στους οποίους η σωληνωτή αεροστάθμη και ο μικρομετρικός κοχλίας για τη μεταβολή της κλίσης του σκοπευτικού άξονα του τηλεσκοπίου έχουν αντικατασταθεί από ένα μηχανισμό ισοστάθμισης που προσαρμόζεται μέσα στο τηλεσκόπιο και φέρει αυτόματα το σκοπευτικό άξονα σε οριζόντια θέση. Αυτό πετυχαίνεται, σχεδόν αμέσως, μόλις η φυσαλίδα μιας σφαιρικής αεροστάθμης (που φέρουν συνήθως όλοι οι χωροβάτες) εμφανιστεί μέσα στο χαραγμένο κύκλο της πάνω γυάλινης επιφάνειάς της. Υπάρχουν ακόμη ηλεκτρονικοί ή ψηφιακοί χωροβάτες που συνεργάζονται με **σταδία γραμμωτού κώδικα** και αυτοματοποιούν τη διαδικασία μέτρησης.



α) Ψηφιακός χωροβάτης



β) laser χωροβάτης

• Γεωδαιτικός Σταθμός

Ο Γεωδαιτικός σταθμός (Total Station) παρέχει τη δυνατότητα μέτρησης γωνιών και αποστάσεων. Αποτελεί συνδυασμό σε ενιαία συσκευή ψηφιακού θεοδόλιχου και EDM οργάνου, επιτρέποντας στο χρήστη να συλλέγει όλες τις μετρήσεις που του είναι απαραίτητες για μία τοπογραφική αποτύπωση με χρήση της ψηφιακής τεχνολογίας.

Οι πλέον σύγχρονοι γεωδαιτικοί σταθμοί είναι εξοπλισμένοι και με ενσωματωμένα μέσα αποθήκευσης των δεδομένων (καταγραφικά) που απαλλάσσουν τον τοπογράφο από την καταγραφή των αποτελεσμάτων των μετρήσεων με το χέρι. Έτσι, τα δεδομένα αποθηκεύονται στο εσωτερικό του οργάνου και, στη συνέχεια, είναι προσβάσιμα μέσω ενός υπολογιστή όπου μπορούν, πλέον, να επεξεργαστούν και να παράγουν το τελικό αποτέλεσμα.

Οι σύγχρονοι γεωδαιτικοί σταθμοί έχουν πολύ μεγάλες δυνατότητες ακρίβειας τόσο στη μέτρηση γωνιών όσο και αποστάσεων. Οι αποστάσεις μπορούν να μετρηθούν με ακρίβεια της τάξης μερικών mm ή και δεκάτων του mm ενώ οι γωνίες μπορούν να μετρηθούν με ακρίβεια 0,5" έως 20". Κάθε γεωδαιτικός σταθμός, όπως και γενικά κάθε μετρητικό όργανο ακριβείας, συνοδεύεται από την αντίστοιχη διακρίβωση (βαθμονόμηση).



Γεωδαιτικός Σταθμός

Οι γεωδαιτικοί σταθμοί γίνονται ολοένα και περισσότερο αυτοματοποιημένοι, ακολουθώντας και οι ίδιοι τις τεχνολογικές εξελίξεις. Διαθέτουν, πλέον, δυνατότητα αυτόματης στόχευσης στο κάτοπτρο και ασύρματο τηλεχειρισμό. Ορισμένοι διαθέτουν, επίσης, ενσωματωμένους δέκτες GPS γεωδαιτικής ακριβείας που επιτρέπουν τον προσδιορισμό της θέσης του οργάνου με ακρίβεια cm.

Ο γεωδαιτικός σταθμός είναι βασικό εργαλείο όλων των σύγχρονων τοπογράφων. Χρησιμοποιείται ευρύτατα για τη χαρτογράφηση ή τη σύνταξη τοπογραφικού διαγράμματος ιδιοκτησιών και οικοπέδων.

Κατά την χρήση ένας γεωδαιτικός σταθμός πρέπει να τοποθετηθεί σε έναν ειδικό τρίποδα που τον συγκρατεί στο ύψος άνετης σκόπευσης. Ο τρίποδας μπορεί να παραληφθεί αν το όργανο τοποθετηθεί σε υφιστάμενο τριγωνομετρικό βάθρο. Πριν από την έναρξη των μετρήσεων πρέπει να γίνει οριζοντίωση και κέντρωση του οργάνου ως προς την κατακόρυφο της γης και το τοπογραφικό σημείο όπου τοποθετείται, αντίστοιχα. Για να διευκολυνθούν αυτές οι προκαταρκτικές εργασίες, το όργανο είναι εξοπλισμένο με φουσαλίδες οριζοντίωσης και με laser ή κάτοπτρο.

Οι μετρήσεις αποστάσεων απαιτούν τη χρήση ενός τοπογραφικού κατόπτρου που επιτρέπει στο όργανο να υπολογίσει την απόσταση μεταξύ των δύο σημείων. Το κάτοπτρο μπορεί να παραληφθεί σε περιπτώσεις όπου ο στόχος είναι ανοιχτόχρωμος και σε σχετικά μικρή απόσταση, π.χ. 100 m.

• Τρισδιάστατοι Ανιχνευτές Laser (3D laser scanner)

Σε αυτή την ενότητα θα αναφερθούμε στην τελευταία λέξη της τεχνολογίας στα τοπογραφικά όργανα: τους τρισδιάστατους ανιχνευτές laser.

Τα όργανα αυτά, βασισμένα στην τεχνολογία laser, είναι σε θέση να μετρήσουν και να ανακατασκευάσουν τον τρισδιάστατο χώρο και τα αντικείμενα των διάφορων μορφών και μεγεθών με έναν γρήγορο και οικονομικό τρόπο. Εκτός από τους τρισδιάστατους ανιχνευτές laser υπάρχουν και συσκευές που σαρώνουν μόνο οριζόντια ή κατακόρυφα ένα μνημείο χώρο και μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την καταγραφή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς. Οι συσκευές ονομάζονται laser profilers και χρησιμοποιούνται με σημαντική επιτυχία για τη δημιουργία σχεδιαγραμμάτων κατόψεων και τομών των εσωτερικών χώρων των μνημείων.

Οι τεχνικές ανίχνευσης διαχωρίζονται ανάλογα με την τεχνική που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της απόστασης ανάμεσα στην πηγή της ακτίνας laser και τα σαρωμένα σημεία του χώρου. Ο τρόπος προσδιορισμού της απόστασης μπορεί να είναι ένας από τους τρεις παρακάτω:

- Μέθοδος του Τριγωνισμού.

Ο ανιχνευτής κάνοντας χρήση της μεγάλης οπτικής ευκρίνειας μιας δέσμης laser που προβάλλεται επί του αντικειμένου και με χρήση εξισώσεων φωτογραμμετρίας υπολογίζει τη θέση του κάθε σημείου που φωτίζεται από την ακτίνα laser στον τρισδιάστατο χώρο. Σημαντικό ρόλο στην επιτυχημένη λειτουργία του ανιχνευτή laser είναι η ύπαρξη των κατάλληλων συνθηκών φωτισμού του αντικειμένου καθώς η αρχή λειτουργίας του στηρίζεται στον εντοπισμό του στίγματος της ακτίνας laser στην εικόνα του αντικειμένου που συλλαμβάνεται από τον ενσωματωμένο οπτικό αισθητήρα CCD.

Σε μερικές μάλιστα περιπτώσεις υπάρχουν δύο οπτικοί αισθητήρες CCD που με παρόμοιο τρόπο με αυτόν της φωτογραμμετρικής εμπροσθοτομίας μπορεί να εντοπίσει στο χώρο ένα σημείο εφόσον ανιχνευτούν οι εικονοσυντεταγμένες του σε δύο εικόνες των οποίων η σχετική θέση είναι γνωστή (απέχουν κατά μία γνωστή απόσταση που ονομάζεται και βάση)

- Χρόνος της πτήσης ενός παλμού laser.

Ένας παλμός laser εκπέμπεται προς το αντικείμενο και η απόσταση μεταξύ της συσκευής αποστολής σημάτων και της επιφάνειας του αντικειμένου υπολογίζεται από το χρόνο που μεσολαβεί μεταξύ της μετάδοσης και της υποδοχής του παλμού. Αυτή η αρχή είναι ευρέως γνωστή από τα ηλεκτρονικά ταχύμετρα (Γεωδαιτικός Σταθμός). Στην πραγματικότητα, ένα ταχύμετρο θα μπορούσε να προγραμματιστεί ώστε να λειτουργεί όπως η συσκευή σάρωσης. Η ταχύτητα μέτρησης όμως θα ήταν πολύ χαμηλή, λόγω της χαμηλής απόκρισης του οργάνου.

Οι σαρωτές χρησιμοποιούν μικρά περιστρεφόμενα κάτοπτρα για τη γωνιακή εκτροπή της ακτίνας laser (τουλάχιστον για μια από τις δύο γωνίες) και απλούστερους αλγορίθμους χρήσης για τον υπολογισμό της απόστασης που μπορεί να οδηγήσει σε υπολογισμό της μετρημένης απόστασης με μεγαλύτερη ακρίβεια. Οι χαρακτηριστικές τιμές της απόκλισης των μετρήσεων απόστασης από τους ανιχνευτές που χρησιμοποιούν την τεχνική Time of Flight είναι της τάξεως μερικών χιλιοστών. Δεδομένου ότι οι αποστάσεις είναι σχετικά μικρές, αυτή η ακρίβεια είναι σχεδόν η ίδια για ολόκληρο τον τρισδιάστατο χώρο. Η τρισδιάστατη ακρίβεια επηρεάζεται επίσης από την ακρίβεια της γωνιακής μέτρησης της ακτίνας που είναι της τάξης των εκατοστών του βαθμού (g)

- Σύγκρισης φάσης.

Αυτή η μέθοδος είναι επίσης ευρέως γνωστή από τα ταχυμετρικά όργανα. Σε αυτήν την περίπτωση, η εκπεμπόμενη ακτίνα διαμορφώνεται από ένα αρμονικό κύμα και η απόσταση υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τη διαφορά φάσης μεταξύ του κύματος αποστολής και λήψης. Από άποψη λειτουργικότητας, η μέθοδος δεν είναι πολύ διαφορετική από τη μέθοδο χρόνου πτήσης (Time of Flight). Λόγω της πολυπλοκότερης ανάλυσης των σημάτων, τα αποτελέσματα μπορεί να είναι ακριβέστερα (σε βάρος όμως του συνολικού αριθμού των μετρούμενων σημείων αλλά και της μέγιστης μετρούμενης απόστασης). Δεδομένου ότι απαιτείται ένα καλά καθορισμένο σήμα επιστροφής για τον υπολογισμό των αποστάσεων, οι ανιχνευτές που χρησιμοποιούν τη μέθοδο σύγκρισης φάσης μπορεί να έχουν μειωμένη εμβέλεια και να τείνουν να παράγουν περισσότερα λανθασμένα ή αποκλεισμένα από τις ανοχές σε σφάλματα μετρήσεων .

Ενώ τα όργανα ανιχνευτών laser βασισμένα στη αρχή του τριγωνισμού (triangulation) και τους υψηλούς βαθμούς ακρίβειας (λιγότερο από 1 χιλιοστόμετρο σφάλμα απόδοσης) έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως από τη δεκαετία του '80, τα όργανα που στηρίζονται στην τεχνική του υπολογισμού του χρόνου πτήσης (Time of Flight) και σύγκρισης φάσης (Phase Comparison) έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιηθεί ευρέως για μετρικές εφαρμογές σάρωσης μόνο τα τελευταία 5 χρόνια.

Στην ουσία ο ανιχνευτής laser αποτελεί τη φυσική μετεξέλιξη των γεωδαιτικών σταθμών (Total station) με δυνατότητα μέτρησης αποστάσεων χωρίς ανακλαστήρα. Η χρήση ενός μηχανισμού περιστροφής της μετρητικής διάταξης γύρω από των οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα περιστροφής του οργάνου έδωσε τη δυνατότητα της αυτόματης μέτρησης εκατομμυρίων σημείων χωρίς να είναι απαραίτητη η σκόπευση τους από το χειριστή του οργάνου.



Laser Scanner

Οι ανιχνευτές laser επιτρέπουν την καταγραφή εκατομμυρίων σημείων του χώρου σε λίγα μόνο λεπτά. Λόγω της πρακτικότητας και της ευκολίας χρήσης τους, αυτά τα είδη των οργάνων χρησιμοποιούνται ευρέως σήμερα στον τομέα της αρχιτεκτονικής, αρχαιολογικής και περιβαλλοντικής έρευνας.

Οι επίγειοι ανιχνευτές laser, λοιπόν, λειτουργούν ως εξειδικευμένοι αυτόματοι γεωδαιτικοί σταθμοί. Αντίθετα όμως από τους κοινούς Γεωδαιτικούς Σταθμούς, όπου ο χειριστής επιλέγει άμεσα τα σημεία που μετρώνται, οι ανιχνευτές laser ανακτούν τυχαία ένα πυκνό σύνολο μετρημένων σημείων. Ο χειριστής επιλέγει μόνο το τμήμα του αντικειμένου που επιθυμεί να σαρωθεί και την πυκνότητα των σημείων που επιθυμεί στην σάρωση αυτή (συνήθως το γωνιακό βήμα της ανίχνευσης στα κάθετα και οριζόντια επίπεδα μπορεί να επιλεγεί από το χειριστή).

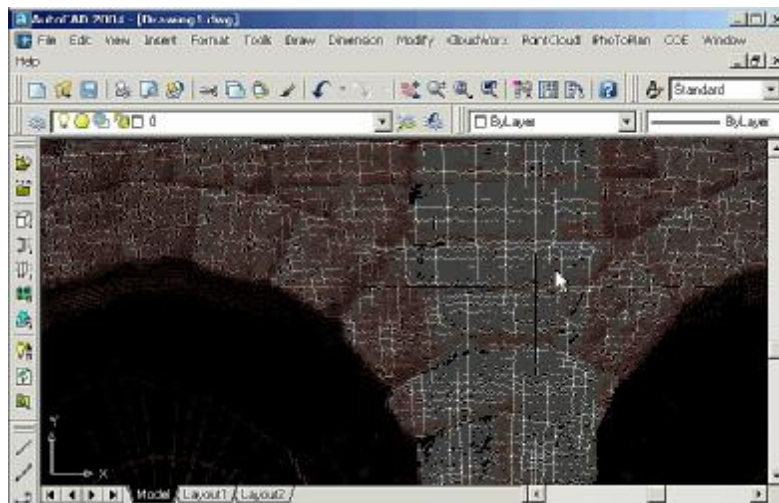
Μόλις δοθούν αυτές οι τιμές, η σάρωση ξεκινά αυτόματα. Από τα αποτελέσματα και μετά από κατάλληλη μαθηματική επεξεργασία των μετρήσεων των γωνιών οριζόντιας και κατακόρυφης διεύθυνσης και της απόστασης που διήνυσε η ακτίνα laser, προκύπτουν οι καρτεσιανές συντεταγμένες των σημείων της σάρωσης που αποτελείται από ένα πολύ πυκνό σύννεφο μετρημένων σημείων (που καλείται και DDSM – Dense Digital Surface Model δηλαδή πυκνό ψηφιακό μοντέλο επιφάνειας). Για κάθε σημείο του μοντέλου του αντικειμένου παράγονται οι συντεταγμένες X, Y, Z και η τιμή της ανακλαστικότητάς του. Δεδομένου ότι το σύνολο σημείων του μοντέλου σαρώνεται με έναν απολύτως αυθαίρετο τρόπο (με εξαίρεση τις παραμέτρους της ανάλυσης σάρωσης που δίνονται από το χειριστή) είναι απαραίτητο να προσδιοριστούν με όσο το δυνατό πιο λογικό τρόπο οι αρχικές παράμετροι αυτής της σάρωσης. Ιδιαίτερη προσοχή λοιπόν πρέπει να δοθεί στην τιμή των αρχικών στοιχείων σάρωσης που δίνονται από το χρήστη του οργάνου.

Η επεξεργασία των δεδομένων που προέρχονται από τους ανιχνευτές laser αποτελείται από ένα σύνολο ενεργειών που είναι απαραίτητες για να προκύψει το σωστό ψηφιακό μοντέλο του μνημείου ξεκινώντας από το νέφος των μετρημένων σημείων. Αυτό το σύνολο ενεργειών μπορεί να διαιρεθεί σε 2 διαφορετικά στάδια:

- την προεπεξεργασία (ή προκαταρκτική επεξεργασία) των δεδομένων laser
- τη διαμόρφωση της επιφάνειας από το νέφος σημείων.

Με τον όρο "προκαταρκτική επεξεργασία" ορίζουμε όλες τις απαραίτητες διαδικασίες που εφαρμόζονται άμεσα στο νέφος σημείων, όπως, παραδείγματος χάριν, το φιλτράρισμα των σημείων (μείωση θορύβου), την καταγραφή των σημείων και τις διαδικασίες γεωαναφοράς (georeferencing). Το αποτέλεσμα αυτών των διαδικασιών είναι ένα σύνθετο "χωρίς θόρυβο" νέφος σημείων (χωρίς outliers, δηλαδή χονδροειδή και συστηματικά σφάλματα) και αυτό αποτελεί τη βάση για το επόμενο στάδιο που είναι η διαμόρφωση του μοντέλου της επιφάνειας που απαρτίζουν αυτά τα μετρημένα σημεία του χώρου.

Το δεύτερο μέρος της διαχείρισης των δεδομένων που προέρχονται από τον ανιχνευτή laser, η διαμόρφωση της τρισδιάστατης επιφάνειας, είναι ένα σύνολο διαδικασιών, που αρχίζουν από οποιοδήποτε νέφος σημείων, και οδηγεί στη διαμόρφωση του τρισδιάστατου μοντέλου επιφάνειας του αντικειμένου που ανιχνεύεται. Αν και υπάρχει μια μεγάλη συλλογή διαφορετικών προϊόντων λογισμικού στην αγορά για την πραγματοποίηση της στερεάς διαμόρφωσης των σαρωμένων αντικειμένων (μοντελοποίηση), υπάρχουν πολύ λίγες εφαρμογές λογισμικού που να ορίζουν μια σωστή προκαταρκτική επεξεργασία των επίγειων στοιχείων των ανιχνευτών laser. Συνήθως, η κατασκευάστρια εταιρεία του ανιχνευτή laser προμηθεύει μαζί με το υλικό και κατάλληλο λογισμικό που αναλαμβάνει να "κατεβάξει" σαρωμένο νέφος σημείων, να προεπισκοπεί την περιοχή σάρωσης και να δίνει τη δυνατότητα της σάρωσης μέρους του αντικειμένου - στόχου και να παράγει τα αρχεία με τα μετρημένα σημεία που στη συνέχεια θα επεξεργαστούν και θα αποδώσουν τις επιφάνειες που περιγράφουν το σχήμα, μέγεθος και μορφή του μνημείου – χώρου.



Φωτορεαλιστική παρουσίαση τους νέφους των σημείων σε περιβάλλον CAD

Επίσης δίνεται η δυνατότητα ενσωμάτωσης του λογισμικού επεξεργασίας των νεφών των σημείων σε περιβάλλον CADD (πχ. AutoCAD ή Microstation), όπου με χρήση των κοινών σχεδιαστικών εντολών μπορεί να δημιουργηθεί το γραμμικό σχέδιο απόδοσης των όψεων, τομών και κατόψεων του αντικειμένου - στόχου ή το τρισδιάστατο (φωτορεαλιστικό) μοντέλο του κτιρίου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ρωσσικόπουλος, Δ. (2005), «Μέτρον Γεωμετρικόν. Η ιστορία των επιστημών της αποτύπωσης». Εκδόσεις Ζήτη
2. Χατζόπουλος, Ι. (2006), «Τοπογραφία». Β. Γιούρδας Εκδοτική
3. Ρωσσικόπουλος, Δ. (2005), «Από τον Όμηρο στον Πτολεμαίο. Αναδρομή στα όργανα και στις μεθόδους της πρώτης γεωμετρίας»
4. Σαβαΐδης, Π., Υφαντής, Π., Λακάκης, Κ. (2008), «Τοπογραφία και Θεματική Χαρτογραφία για Αρχιτέκτονες»
5. Μιχαηλίδου, Ε. (2004), «Ιστορία της Χαρτογραφίας»
6. Φωτίου, Α., Πικριδάς, Χ. (2005), «Οι σύγχρονες εξελίξεις στον προσδιορισμό θέσης με τα παγκόσμια δορυφορικά συστήματα πλοήγησης – GNSS.»
7. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Γεωτεχνικής Μηχανικής, Εργαστήριο Γεωδαισίας. «Από τον Ήρωνα στους γεωδαιτικούς δορυφόρους - Η ιστορική εξέλιξη των τοπογραφικών οργάνων»
8. Καραγιαννίδης, Ι. (2008), «Ιστορία της Χαρτογραφίας». *Περιοδικό Στρατιωτική Επιθεώρηση*, σελ. 118-177
9. Joel F. Paulson. (2005). "Surveying in Ancient Egypt". *From Pharaohs to Geoinformatics*, FIG Working Week 2005 and GSDI-8 Cairo
10. Mary M. Root. "Egyptian Surveying Tools". *Backsights Magazine, Surveyors Historical Society*
11. Wilfred, Airy. "Tacheometer". *From "Tacheometry", The Encyclopedia Britannica. 11th Edition, 1911.*
12. Community College of Southern Nevada Building Technology - Land Surveying Emphasis Degree Program. "Surveying Instruments And Measurements Of Ancient Rome"

13.The University of Akron- Surveying and Mapping Technology Roman Surveying Team. “The Analysis And Applications Of Roman Surveying Tools And Methods”

14.Neha, Arora. “Surveying Instruments”

ΙΣΤΟΤΟΠΟΙ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ

1. www.wikipedia.org
2. www.ipet.gr/digitech2/index.php?option=com_content&task=view&id=72&Itemid=2
3. el.wikipedia.org
4. www.survequip.com/surveying-triangulation/
5. www.worldlingo.com/ma/frwiki/el/Topographie
6. www.npesketzis.gr
7. www.civilshop.gr
8. www.michanikos.gr
9. http://www.ipet.gr/digitech2/index.php?option=com_content&task=view&id=74&Itemid=54
10. <http://www.treeshop.gr/>
11. <http://www.springerlink.com/>
12. <http://www.etok.gr/>
13. <http://www.teipat.gr/>
14. <http://www.scribd.com/>