

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

***ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ ΓΙΑ ΤΗ
ΜΕΤΡΗΣΗ ΜΗΚΩΝ ΓΩΝΙΩΝ ΚΑΙ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ***



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του φοιτητή

Καραμπάση Χρήστου

A.M.: 2012050003

Επιβλέπουσα καθηγήτρια: Τσουχλαράκη Ανδρονίκη

Χανιά Ιανουάριος 2019

Περιεχόμενα

Περίληψη	6-7
Abstract.....	7-8

Κεφάλαιο 1^ο ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 .Γενικές Έννοιες... ..	9- 10
1.2 .Ιστορική Αναδρομή	10-41
1.2.1 Αρχαίοι Έλληνες... ..	10- 20
1.2.2. Ρωμαίοι... ..	20 - 21
1.2.3. Μεσαίωνας	22- 30
1.2.4. Οι Πορτολάνοι.....	30- 31
1.2.5. Αναγέννηση.....	31- 36
1.2.6. 18 ^{ος} αιώνας.....	36-38
1.2.7. 19 ^{ος} αιώνας.....	39-40
1.2.8. 20 ^{ος} – 21 ^{ος} αιώνας.....	40- 41
1.3 Συστήματα Προβολών Γενικά.....	42
1.3.1. Συστήματα Αναφοράς.....	42-43
1.3.2. Συστήματα Προβολών... ..	43-46
1.4 .Συστήματα προβολών στην Ελλάδα	46- 48

Κεφάλαιο 2 ^ο ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

2.Αριθμητικά Συστήματα	49
2.1 .Μονάδες Μέτρησης Μηκών.....	49

2.2 .Μονάδες Μέτρησης Γωνιών.....	50-51
2.3 .Μονάδες Μέτρησης Επιφανειών	51
2.4 .Μονάδες Μέτρησης Όγκων.....	51-52
2.5 Μονάδες μέτρησης υψομέτρων.....	52-54

Κεφάλαιο 3ο ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΩΡΙΑΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ

3.Γενικά	55
3.1 .Σφάλματα Μετρήσεων.....	55-56
3.2 .Πιθανότερη Τιμή...	56-57
3.3 Βάρος ή αξία πιθανότερης τιμής.....	57-58
3.4 .Κριτήρια Ακρίβειας Σειράς Μετρήσεων...	58-59
3.5. Βάρος μέτρησης ή μετρήσεων.....	59
3.6.Νόμος Μετάδοσης Σφαλμάτων...	59

Κεφάλαιο 4ο ΘΕΜΕΛΙΩΔΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ

4.1 .Πρώτο Θεμελιώδες Πρόβλημα.....	60-62
4.2 .Δεύτερο Θεμελιώδες Πρόβλημα	62-63
4.3. Τρίτο Θεμελιώδες Πρόβλημα.....	63-64

Κεφάλαιο 5ο ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

5.1. Τοπογραφικά Όργανα για μέτρηση Μηκών- Εισαγωγή	65-66
5.1.1.Μέθοδοι – Παραδείγματα – Περιγραφή...	66-76
5.2.Τοπογραφικά Όργανα για μέτρηση Γωνιών Εισαγωγή	76
5.2.1. Μέθοδοι – Παραδείγματα Περιγραφή...	76-84
5.3 Τοπογραφικά Όργανα για μέτρηση Υψομέτρων Εισαγωγή	84

5.3.1. Μέθοδοι – Παραδείγματα– Περιγραφή...	84-90
5.4 Ολοκληρωμένοι Γεωδαιτικοί Σταθμοί.....	90
5.4.1.Εισαγωγή.....	90-91
5.4.2. Μέθοδοι ανάγνωσης διευθύνσεων και μέτρησης μηκών...	91-95
5.4.3 .Ειδικές λειτουργίες γεωδαιτικών σταθμών.....	95-100
5.4.4 .Κατηγορίες...	100-101
5.4.5. Κόστος οργάνων	101-102
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ...	103-107
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	108-110

Περίληψη

Από την παλαιολιθική εποχή, ο άνθρωπος επινόησε την αναπαράσταση του γεωγραφικού χώρου. Αποτύπωσε σε απεικονίσεις το εγγύς και το ευρύτερο περιβάλλον του, στην προσπάθειά του να «τιθασεύσει» το γεωγραφικό χώρο, με αποτέλεσμα να επινοήσει τους χάρτες. Χαρακτηριστικό είναι πως η επιλογή χαρακτηριστικών του τρισδιάστατου γεωγραφικού χώρου και η παρουσίαση τους μέσω συμβόλων σε δύο διαστάσεις είναι μια αφαιρετική διαδικασία αρκετά προωθημένη για τον πρωτόγονο ανθρώπινο νου, ωστόσο, οι πρώτοι χάρτες πρέπει να εμφανίστηκαν πριν από τη γραφή, έτσι όπως τουλάχιστον προκύπτει από μαρτυρίες ταξιδιωτών που ήρθαν σε επαφή με πρωτόγονους λαούς που ζωγράφιζαν χάρτες χωρίς να έχουν ανακαλύψει τη γραφή. Σύμφωνα με αυτές τις μαρτυρίες, όταν ζητούσαν οι περιηγητές κατευθύνσεις, η συνήθης αντίδραση των ιθαγενών ήταν να χαράξουν με ξύλο το σκίτσο της στο έδαφος και να προσθέσουν κλαδάκια και πετραδάκια για να δείξουν θέσεις. Η δημιουργία επομένως του χάρτη, είναι απόρροια της έμφυτης τάσης του ανθρώπου να επικοινωνήσει με τους συνανθρώπους του. Εξελικτικά, η ανάγκη και η χρησιμότητα των χαρτών έγινε αντιληπτή πρώτα από τους εξερευνητές, τους ναυσιπλόους, και τους στρατιωτικούς και πολύ αργότερα από τους πολιτικούς (Raisz, 1948: xi-xii).

Στην παρούσα εργασία με θέμα «Περιγραφή Τοπογραφικών οργάνων για τη μέτρηση μηκών, γωνιών και υψομέτρων» θα παρουσιαστούν σε σειρά κεφαλαίων τα στάδια της επιστήμης της τοπογραφίας και τα χαρακτηριστικά της. Ειδικότερα, στο 1^ο κεφάλαιο γίνεται μια ιστορική αναδρομή της επιστήμης της τοπογραφία από την αρχαιότητα ως τις μέρες μας και θα αναλυθούν τα συστήματα αναφοράς – προβολών με ειδική αναφορά σε αυτά που αξιοποιούνται στον ελλαδικό χώρο. Στο 2^ο κεφάλαιο αναφερόμαστε στις μονάδες μέτρησης της τοπογραφίας, ενώ στο 3^ο κεφάλαιο αναπτύσσονται τα στοιχεία θεωρίας σφαλμάτων. Το 4^ο κεφάλαιο πραγματεύεται τα τρία θεμελιώδη προβλήματα της τοπογραφίας και τέλος, το 5^ο κεφάλαιο αναλύει τα τοπογραφικά όργανα μέτρησης μέσω παραδειγμάτων. Ακολουθεί η ενότητα των συμπερασμάτων στην οποία εκτός από την συνοπτική αναφορά των όσων παρουσιάστηκαν θα αναφερθεί γενικότερα στο μέλλον της τοπογραφίας προτείνοντας

κάποιους νέους τρόπους προσέγγισης που συνάδουν με τη σύγχρονη πραγματικότητα.

Σε αυτό το σημείο κρίνεται σκόπιμο να αναφέρουμε ότι για τη συγγραφή της εργασίας αξιοποιήθηκε υλικό από Πανεπιστημιακές σημειώσεις του μαθήματος της Τοπογραφίας και της Γεωδαισίας, όπως επίσης και εργασίες προπτυχιακού, μεταπτυχιακού και διδακτορικού επιπέδου. Ο κύριος λόγος αξιοποίησης των φοιτητικών εργασιών και των Πανεπιστημιακών σημειώσεων σχετίζεται με την έλλειψη διαφόρων οργάνων από Εργαστήριο Γεωδαισίας και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών της σχολής Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης. Θεωρήθηκε σκόπιμο, προκειμένου να μην υπάρχουν παραλείψεις στα διάφορα όργανα να χρησιμοποιηθεί το ήδη υπάρχον καταγεγραμμένο υλικό.

Abstract

Since the Paleolithic era, man has devised the representation of the geographical area. He depicted his immediate and wider surroundings in his attempt to "cover up" the geographical area, and thus devised the maps. Characteristically, selecting three-dimensional geographic features and presenting them through two-dimensional symbols is an abstraction process well advanced for the primitive human mind, however, the first maps must have appeared before writing, as at least as a result of testimonies travelers who came into contact with primitive peoples who painted maps without having discovered the writing. According to these testimonies, when the tourists were asking for directions, the native's usual reaction was to carve the sketch with the wood on the ground and add twigs and stones to show positions. The creation of the map, therefore, is the result of man's inherent tendency to communicate with his fellow human beings. Evolutionally, the need and usefulness of the maps was first perceived by explorers, navy, and military and much later by politicians (Raisz, 1948: xi-xii).

In this paper entitled "Description of topographic instruments for the measurement of lengths, angles and altitudes", the stages of topography science and its characteristics will be presented in a series of chapters. In particular, chapter 1 presents a historical overview of the science of topography from antiquity to the present day and will analyze the reference-projection systems with special reference to those that are used in Greece. In Chapter 2, we refer to units of measurement of topography, while in Chapter 3 we develop the theory of errors. The 4th chapter deals with the three fundamental problems of topography and finally, chapter 5 analyzes the topographic measuring instruments by means of examples. Here is the unity of the conclusions in which, in addition to the summary of what has been presented, will be mentioned more generally in the future of topography proposing some new ways of approach that are in line with modern reality.

At this point, it is worth mentioning that the material for the writing of the thesis

was the material of University lectures of the course of Topography and Geodesy, as well as undergraduate, postgraduate and doctoral degrees. The main reason for the use of student papers and university notes is related to the lack of various instruments by the Laboratory of Geodesy and Geographic Information Systems of the Technical University of Crete.

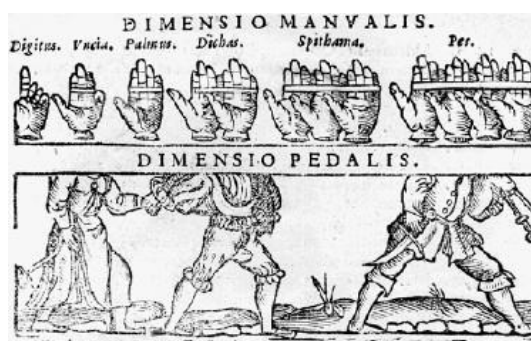
It was considered appropriate, in order to avoid omissions in the various institutions to use the already existing recorded material.

Κεφάλαιο 1^ο Εισαγωγή

1.1 Γενικές Έννοιες

Ο σκοπός της Τοπογραφίας είναι η αποτύπωση και μέτρηση της επιφάνειας της γης. Το ανάγλυφο του εδάφους είναι εντελώς ακανόνιστο. Εκτός αυτού, μεταβάλλεται κάθε μέρα, σχεδόν. Η ροή του χειμάρρου παρασύρει εδαφικό υλικό, διαβρώνοντας το έδαφος, και κατεβάζει τη στάθμη του εδάφους που αποτελεί την κοίτη του. Σε κάποια άλλα σημεία της διαδρομής του, όταν βρει πεδινές επίπεδες εκτάσεις, αποθέτει το υλικό, ανεβάζοντας έτσι το υψόμετρο του εδάφους (Δανιήλ, 2011 :5).

Ο άνθρωπος κατανόησε από πολύ νωρίς τις βασικές γεωμετρικές έννοιες: το οριζόντιο επίπεδο, την κατακόρυφη και οριζόντια ευθεία. Οι διαστάσεις των μελών του ανθρώπινου σώματος υπήρξαν οι πρώτες μονάδες μέτρησης. Αργότερα, με την ανάπτυξη των πολιτισμών επινοήθηκαν και τα πρώτα τοπογραφικά όργανα. Σε αυτή την υποενότητα θα παρουσιαστούν οι βασικές έννοιες της τοπογραφίας, ξεκινώντας από την έννοια **Γεωδαισία**. Αποτελεί τη Γεωεπιστήμη που ασχολείται με μετρήσεις και υπολογισμούς, με σκοπό να προσδιορίσει το σχήμα (μορφή), το μέγεθος (διαστάσεις) και το πεδίο βαρύτητας της γης καθώς και τις μεταβολές τους με τον χρόνο. Ασχολείται επίσης με την αποτύπωση και απόδοση, σε χάρτες ή τοπογραφικά διαγράμματα, τμημάτων της φυσικής γήινης επιφάνειας (Σαββαΐδης, Υφαντής, & Λαλάκης, 2010:4)



Εικόνα 2. Μονάδες μέτρησης με βάση το ανθρώπινο σώμα. Δάκτυλοι και πόδια
Πηγή: (Σαββαΐδης, Υφαντής, & Λαλάκης, 2010:4)

Γεωειδές είναι η επιφάνεια της μέσης στάθμης της θάλασσας, που θεωρητικά εκτείνεται κάτω από ηπείρους. Αυστηρώς ορίζεται σαν ισοδυναμική επιφάνεια (επιφάνεια που είναι κάθετος προς τη πραγματική κατακόρυφο, σε κάθε της σημείο του γήινου πεδίου βαρύτητας), και πλησιάζει περισσότερο προς τη μέση στάθμη της θάλασσας, διορθωμένη από επιδράσεις μεταβολών από κύματα, παλίρροιες, ρεύματα κλπ (Παναγιωτόπουλος & Καριώτης, 2001:5).

Ο όρος **προβολή** δηλώνει τη γεωμετρική μέθοδος ή αναλυτική έκφραση με την οποία μπορεί να αποκατασταθεί μια αμφιμονοσήμαντη αντιστοιχία μεταξύ σημείων της επιφάνειας της Γης και των σημείων ενός επιπέδου εκλογής. Οι συναρτησιακές σχέσεις ονομάζονται συνήθως εξισώσεις απεικόνισης. **Ορθή προβολή** σημείου επί επιπέδου ή άλλης επιφάνειας αποτελεί το σημείο στο οποίο τέμνεται η επιφάνεια από τη κάθετο η οποία αρχίζει από το σημείο. Η κάθετος εκ του σημείου προς την επιφάνεια λέγεται **προβάλλουσα** του σημείου. (Παναγιωτόπουλος & Καριώτης, 2001:2).

1.2 Ιστορική Αναδρομή

1.2.1. Αρχαίοι Έλληνες

Η χαρτογραφία των αρχαίων Ελλήνων στηρίχθηκε στα κείμενα του Ηροδότου (410-355 π.Χ.) και του Στράβωνα (68 π.Χ-20 μ.Χ.). Τόσο οι Στωικοί φιλόσοφοι όσο και ο Στράβων θεωρούν τον Όμηρο εισηγητή της γεωγραφικής επιστήμης (από τον 8ο αιώνα π.Χ.), έτσι όπως την εννοούσαν οι Έλληνες, δηλαδή να περιλαμβάνει κείμενα (λεκτικές περιγραφές) και χάρτες (γραφικές περιγραφές).

Ειδικότερα, ο Όμηρος στην Ιλιάδα περιγράφει τη γη επίπεδη, κυκλική, περιβαλλόμενη περιβάλλεται (Εικόνα 2). Ο Άδης και τα Τάρταρα βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια της Γης, ενώ από την περιφέρεια του ωκεανού ξεκινά ο ουράνιος θόλος. Από τον Ωκεανό, ανατέλλουν ο ήλιος, το φεγγάρι και τα αστέρια από τον διαγράφοντας ένα τόξο πάνω από τη γη και βυθίζονται ξανά στη θάλασσα για να ολοκληρώσουν την πορεία τους. Πάνω από τη Γη υπάρχει μια πυκνή ατμόσφαιρα με σύννεφα και ομίχλη αλλά ψηλότερα βρίσκεται ο Αιθέρας. Όπως αναγνωρίζεται ευρύτατα σήμερα, η παλαιότερη γραπτή χαρτογραφική αναφορά περιέχεται στην

Ιλιάδα και αφορά την περιγραφή της ασπίδας του Αχιλλέα (Μιχαηλίδου,2004:5), (http://cartography.web.auth.gr/Livieratos/fil/The_Greeks.html)



Εικόνα 2. Ο κόσμος σύμφωνα με τον Όμηρο

Πηγή: <https://theancientwebgreece.wordpress.com/ιστορία-της-αρχαίας-ελληνικής-χαρτογ/>

Η ασπίδα του Αχιλλέα χωρίζεται σε τέσσερις ομόκεντρες κυκλικές ζώνες και αυτές σε επιμέρους τομείς. Γύρω από τον κεντρικό κυκλικό πυρήνα απεικονίζεται η γη, η θάλασσα, ο ήλιος, η σελήνη και τα άστρα. Στην πρώτη, προς τα άκρα, ζώνη και σε δύο τμήματα, απεικονίζονται η πόλη σε ειρήνη και σε πόλεμο. Στη δεύτερη ζώνη και σε τρεις τομείς, παρίστανται η σπορά, ο θερισμός και η αμπελουργία. Στην τρίτη ζώνη και σε επίσης τρεις τομείς, τα θηράματα, η βοσκή και ο χορός. Στην εξωτερική και τελευταία ζώνη, ήταν ο ποταμός και ο ωκεανός. Η περιγραφή της ασπίδας σβήνει μεταξύ τη μάχης για το σώμα του Πάτροκλου και της εισόδου του Αχιλλέα ξανά στη μάχη, η οποία είναι και ένα από τα πιο αιματηρά μέρη του έπους, επομένως θα μπορούσε να μεταφραστεί ως μία «ανάπαυση πριν από έναν επικείμενο κατακλυσμό», που χρησιμοποιείται για να τονίσει την σκληρότητα της βίας κατά τη διάρκεια του Τρωικού Πολέμου. Θα μπορούσε επίσης να μεταφραστεί ως μια υπενθύμιση για τον αναγνώστη για το τι θα χαθεί αν η Τροία τελικά πέσει.(Μιχαηλίδου,2004:5-6), (http://cartography.web.auth.gr/Livieratos/fil/The_Greeks.html), (Scully,2003:29 -37).



Εικόνα 3. Η ασπίδα του Αχιλλέα.
Σχέδιο του Angelo Monticelli.

Πηγή: https://el.wikipedia.org/wiki/Ασπίδα_του_Αχιλλέα



Εικόνα 4. Ο αρχαιοελληνικός «αστέρας» για τη μέτρηση και χάραξη ορθών γωνιών.

Πηγή: Σαββαΐδης, Υφαντής, & Λαλάκης, 2010:4)



Εικόνα 4. Ο Κόσμος σύμφωνα με τον Εκαταίο (6ος αιώνας π.Χ.)

Πηγή: <https://theancientwebgreece.wordpress.com/ιστορία-της-αρχαίας-ελληνικής-χαρτογ/>

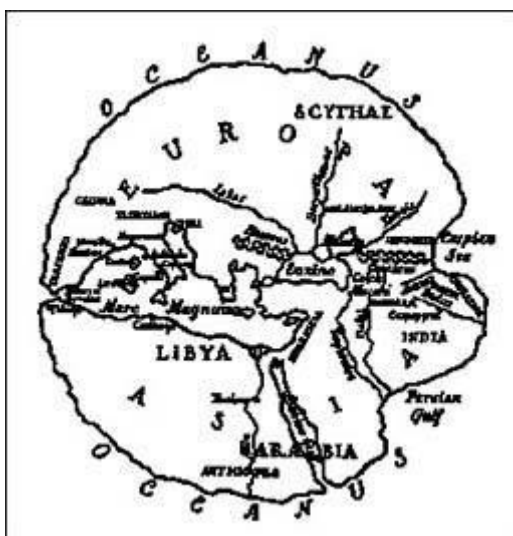
Με τη συστηματική συμβολή της ελληνικής επιστήμης, από το 7^ο αιώνα, οι Ίωνες αρχίζουν μια νέα εποχή στη Χαρτογραφία που καλύπτει όλη την κλασσική περίοδο, από τις αφετηρίες της στην Ιωνία, την ακμή της, τον 4^ο αιώνα π.Χ., μέχρι την Αλεξανδρινή ολοκλήρωσή της, τους πρώτους αιώνες μ.Χ. (Παινέση, 2011: 39)

Μετά το 2^ο αιώνα μ.Χ., και μέχρι το τέλος του μεσαίωνα, προστίθενται άλλα στοιχεία στους χάρτες που παρουσιάζουν ενδιαφέρον από φιλοσοφική, ηθική και αισθητική άποψη και θα θέλαμε να δείξουμε πως η χαρτογραφία ξεφεύγει από την επιστημονική αντιμετώπιση, με εξαίρεση το χαρτογραφικό έργο των Αράβων. Κατά τον 16^ο αιώνα έχουμε την επιστροφή στις ελληνικές αφετηρίες της χαρτογραφίας και στον επιστημονικό τρόπο αντιμετώπισης της. Στις επόμενες παραγράφους θα γίνει μια συνοπτική αναφορά στο έργο διακεκριμένων προσώπων που συνέβαλαν άμεσα ή

έμμεσα στην άνθηση της Ελληνικής Χαρτογραφίας από τον 7^ο π.Χ. μέχρι το 2^ο μ.Χ. αιώνα (Raisz, 1948: 9 -12).

Ο πρώτος χάρτης του τότε κατοικημένου γνωστού κόσμου, κατασκευάστηκε από τον Αναξίμανδρο το Μιλήσιο (610-545 π.Χ.), που βελτιώθηκε στη συνέχεια από τον Εκαταίο το Μιλήσιο (549-472 π.Χ.), ο οποίος θεωρούσε τη γη επίπεδο δίσκο που περιβάλλεται από τον ωκεανό (Εικόνα 5).

Ο Θαλής ο Μιλήσιος (640-546 π.Χ.) αποδεχόταν τη σφαιρικότητα του σύμπαντος, αναγνωρίζοντας τη Μικρή Άρκτο και τον Πολικό αστέρα ως κύριο και σταθερό προσανατολισμό για τους ταξιδιώτες. Ο Πυθαγόρας ο Σάμιος (580-500 π.χ.), ο πατέρας της θεωρητικής γεωμετρίας, δίδασκε τη σφαιρικότητα της γης, θεωρία που προέκυψε κυρίως από φιλοσοφική θεώρηση και όχι τόσο από αστρονομικές παρατηρήσεις και την περιστροφή της περί άξονα. Κατά τη θεωρία αυτή, η σφαίρα έχει το τελειότερο σχήμα και κατά συνέπεια, εφόσον η γη είναι το δημιούργημα των θεών, πρέπει να είναι σφαίρα. Ο Αριστοτέλης ο Σταργείτης (384-322 π.Χ.) προέκτεινε τον παραπάνω συλλογισμό, παραθέτοντας τέσσερα επιχειρήματα που αποδεικνύουν τη σφαιρικότητα της Γης (340 π.Χ.): Αρχικά, ότι η θαλάσσια επιφάνεια με βάση τη ναυσιπλοΐα διακρίνεται από καμπυλότητα. Σε διάφορα γεωγραφικά πλάτη της υπάρχει αλλαγή του ύψους των αστερών, όπως και υπάρχει αλλαγή του ύψους του ήλιου σε διαφορά γεωγραφικά μήκη της γης και τέλος, το στρογγυλό της σκιάς της γης κατά την έκλειψη της σελήνης.



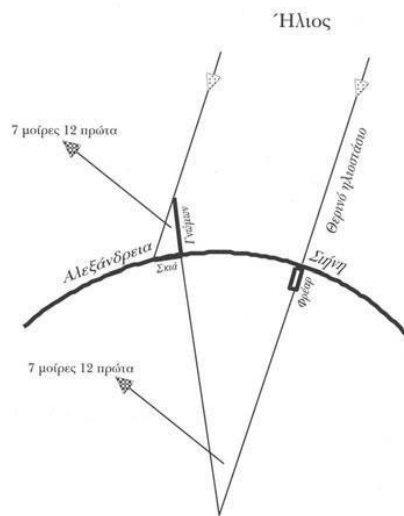
Εικόνα 5. Ο Κόσμος σύμφωνα με τον Εκαταίο (6ος αιώνας π.Χ.)

Πηγή: <https://theancientwebgreece.wordpress.com/ιστορία-της-αρχαίας-ελληνικής-χαρτογ/>

Στα τέλη του 4^{ου} και αρχές του 3^{ου} αιώνα π.Χ. δραστηριοποιούνται πολλοί ανώνυμοι κατασκευαστές χαρτών που στήριζαν τις χαρτογραφήσεις τους στα στοιχεία του Πυθέα του Μασσαλιώτη. Ο Πυθέας έπλευσε το 330 π.Χ. στις Βρετανικές θάλασσες, φθάνοντας μέχρι τον ωκεανό του «χάους και του σκότους» αγγίζοντας τη νήσο Θούλη, πιθανόν τη Νορβηγία, την Ισλανδία, τα νησιά Σέτλαντ ή τα νησιά Ορκάδες βορείως της Σκοτίας. Για περίπου 1500 χρόνια θα απεικονίζεται στους χάρτες η νήσος Θούλη (Αντωνιάδου, 2018: 27- 28).

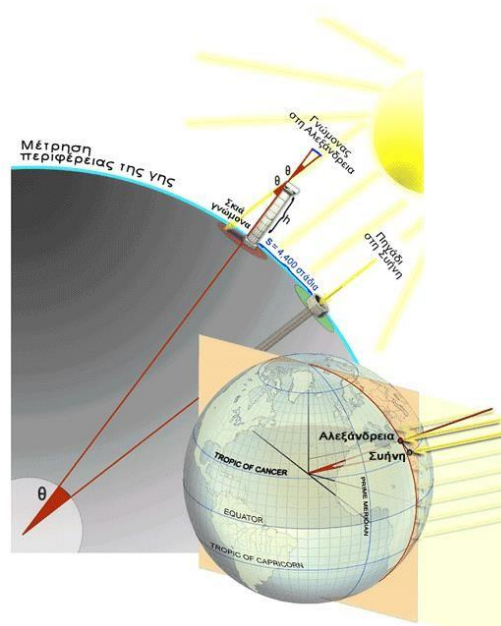
Ο Δικαίρχος Μεσσήνιος, ο Σικελιώτης (340-290 π.Χ.) επινόησε και εισήγαγε το σύστημα ορθογώνιων συντεταγμένων το 300 π.Χ. Έθεσε ως αρχή των αξόνων τη Ρόδο, έτσι ώστε ο ένας άξονας (διάφραγμα) να ακολουθεί τη διεύθυνση Δύση-Ανατολή (το «μήκος») και ο άλλος τη διεύθυνση Βορρά-Νότου (το «πλάτος»). Εισάγοντας για πρώτη φορά την έννοια του γεωγραφικού πλέγματος (κάναβος) που αποτελεί τη βάση της επιστημονικής χαρτογραφίας. Ο χάρτης που συνέταξε ο Δικαίρχος, χρησιμοποιώντας στοιχεία από την εκστρατεία του Αλεξάνδρου, παρέμεινε η βάση των γεωγραφικών χαρτών τους επόμενους τέσσερις αιώνες (Παινέση, 2011: 40).

Εξέχουσα θέση στην ιστορία της χαρτογραφίας έχει ο Ερατοσθένης ο Κυρηναίος (275-195 π.Χ.), ο οποίος διεύθυνε τη βιβλιοθήκη της Αλεξάνδρειας. Ο Ερατοσθένης υπολόγισε με μετρήσεις που έγιναν στην Αλεξάνδρεια και τη Σιήνη (Ασσουάν), δύο τόποι που ο Ερατοσθένης θεωρούσε ότι βρίσκονταν στον ίδιο μεσημβρινό, το μέγεθος της γήινης σφαίρας. Στη Σιήνη υπήρχε ένα πηγάδι στον πυθμένα του οποίου καθρεφτίζονταν οι ακτίνες του ηλίου μόνο το μεσημέρι του θερινού ηλιοστασίου, στις 21 Ιουνίου. Προέκυπτε, έτσι, ότι η Σιήνη βρισκόταν στον Τροπικό του Καρκίνου. Το 220 π.Χ., στο θερινό ηλιοστάσιο, μέτρησε στην Αλεξάνδρεια την ηλιακή ζενίθεια απόσταση (με τη βοήθεια γνώμονα), την οποία βρήκε να ισούται με το 1/50 του κύκλου, δηλαδή με 7.2 μοίρες. Με τα δεδομένα αυτά υπολόγισε το μήκος τόξου μιας μοίρας μεσημβρινού (Εικόνα 6, 7). Η μέτρηση είναι πολύ ακριβής λαμβάνοντας υπόψη ότι η Σιήνη δε βρίσκεται ακριβώς στον Τροπικό του Καρκίνου αλλά κάπου βορειότερα και η Αλεξάνδρεια δε βρίσκεται στον ίδιο μεσημβρινό με τη Σιήνη αλλά 3^ο πιο δυτικά. Αναμφισβήτητα, ο συλλογισμός και η εφαρμογή του, για την εποχή εκείνη, είναι καταπληκτικοί (Raisz, 1948: 9).



Εικόνα 6. Η μέτρηση του μεγέθους της γήινης σφαίρας από τον Ερατοσθένη (250 π.Χ.)

Πηγή: <https://theancientwebgreece.wordpress.com/ιστορία-της-αρχαίας-ελληνικής-χαρτογ/>



Εικόνα 7. Η μέτρηση του μεγέθους της γήινης σφαίρας από τον Ερατοσθένη (250 π.Χ.)

Πηγή: <https://theancientwebgreece.wordpress.com/ιστορία-της-αρχαίας-ελληνικής-χαρτογ/>

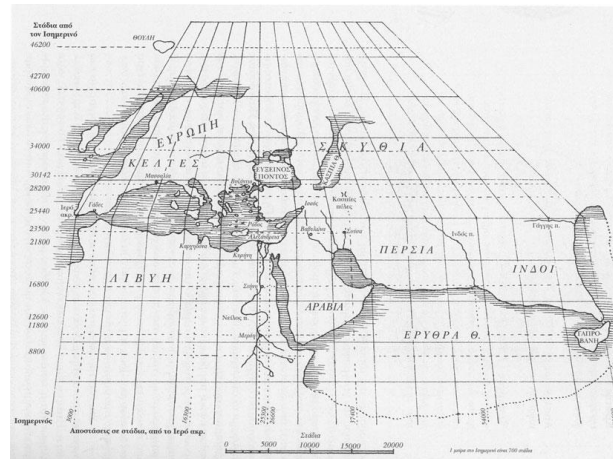
Ο Κράτης ο Μαλλώτης (270-180 π.Χ.) κατασκεύασε μια μεγάλη υδρόγειο σφαίρα, γνωστή ως «Κράτειος σφαίρα» (Εικόνα 8), στην οποία απεικονίζονται τέσσερις ήπειροι, συμμετρικά, δύο στο βόρειο και δύο στο νότιο ημισφαίριο, που διαχωρίζονται από στενές λουρίδες νερού (αργότερα Ωκεανός). Με βάση την απεικόνιση του Κράτη, υπήρχαν τέσσερις γήινες μάζες, τρεις επιπλέον του γνωστού κατοικημένου κόσμου. Η άποψη αυτή επικράτησε για αιώνες (Αντωνιάδου, 2018: 27-28).



Εικόνα 8. Η Κράτειος Σφαίρα 150 π.Χ.

Πηγή: <https://theancientwebgreece.wordpress.com/ιστορία-της-αρχαίας-ελληνικής-χαρτογ/>

Πολύ σημαντική είναι η χαρτογραφική συμβολή του Ίππαρχου του Ρόδιου (180-120 π.Χ.). Ο Ίππαρχος ήταν μεγάλη μορφή της αστρονομίας, που τη συνέδεσε με τη γεωγραφία και καθιέρωσε τον αστρονομικό προσδιορισμό θέσεων στην επιφάνεια της Γης. Οι θέσεις των τόπων προσδιορίζονται από τις γεωγραφικές τους συντεταγμένες, το γεωγραφικό πλάτος και μήκος. Υποδιαίρεσε την περίμετρο της γης σε 360 μοίρες και καθιέρωσε αυτό που ισχύει μέχρι σήμερα, το ορθογώνιο γεωγραφικό πλέγμα (γεωγραφικό κάναβο) των μεσημβρινών και παραλλήλων, προσανατολισμένο σε σχέση με τον άξονα περιστροφής της γης. Όρισε ως αρχή για τους παράλληλους τον ισημερινό και για τους μεσημβρινούς το μεσημβρινό της Ρόδου. Δίδαξε τη μέτρηση του πλάτους με το γνώμονα, κατά το θερινό ηλιοστάσιο και τη μέτρηση του μήκους μέσω παρατηρήσεων της τοπικής ώρας, τη στιγμή των εκλείψεων της σελήνης. Η πρώτη μέτρηση του γεωγραφικού μήκους έγινε με τη μέθοδο του Ίππαρχου και θα παραμείνει η μοναδική μέθοδος μέχρι το 16^ο αιώνα. Ο Ίππαρχος θεωρείται ότι εισήγαγε τις χαρτογραφικές προβολές. Στον Ίππαρχο αποδίδονται η στερεογραφική και ορθογραφική προβολή, οι οποίες επί εποχής του χρησιμοποιήθηκαν στην αστρονομία και αργότερα ευρύτατα σε χάρτες της γης. Στο Σχήμα 13 απεικονίζεται χάρτης του Ίππαρχου (150 π.Χ.), ο πρώτος σε γεωμετρική προβολή και ισαπέχοντα κάναβο σε στάδια (Raisz, 1948: 10), (Αντωνιάδου, 2018: 40).



Εικόνα 9. Ο Χάρτης του Ιπάρχου

Πηγή: <https://theancientwebgreece.wordpress.com/ιστορία-της-αρχαίας-ελληνικής-χαρτογ/>

Ο Ποσειδώνιος ο Απαμεύς (135-51 π.Χ.) διεξήγαγε το 85 π.Χ. τη δεύτερη, μετά τον Ερατοσθένη, μέτρηση του μεγέθους της γήινης σφαίρας εφαρμόζοντας τη μέθοδό του στο τόξο Ρόδου-Αλεξάνδρειας. Δεδομένης της γνωστής απόστασης Ρόδου-Αλεξάνδρειας (3750 στάδια) υπολογίστηκε το μέγεθος της γήινης σφαίρας, ωστόσο, κατά 17% μικρότερο της πραγματικής. Η κύρια αιτία του σφάλματος του Ποσειδώνιου, έχει σχέση με την αστρονομική μέτρηση, λόγω της έντονης διάθλασης που επηρεάζει σημαντικά τις οπτικές μετρήσεις κοντά στον ορίζοντα. Από τον Πτολεμαίο αλλά και από πολλούς χαρτογράφους και γεωγράφους, μέχρι το 17^ο αιώνα. Χρησιμοποιήθηκαν οι μετρήσεις του Ποσειδώνιου. Η μετέπειτα χρήση της μικρότερης σφαίρας του Ποσειδώνιου για υπολογισμούς πάνω στην επιφάνεια της, επηρέασε θετικά τον Κολόμβο στην τελική απόφαση για τα ταξίδια του, θεωρώντας ότι οι αποστάσεις είναι πιο μικρές από τις πραγματικές, επιλέγοντας έτσι την «προς δυσμάς» πλεύση για την Ινδία (Αντωνιάδου, 2018: 39).



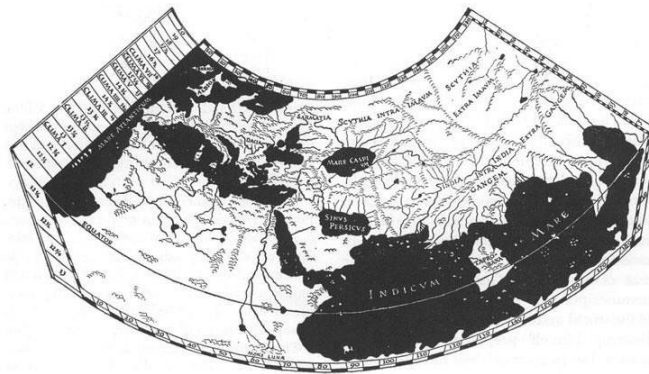
Εικόνα 10. Η δεύτερη μέτρηση του μεγέθους της γήινης σφαίρας από τον Ποσειδώνιο (100 π.Χ.)

Πηγή: <https://theancientwebgreece.wordpress.com/ιστορία-της-αρχαίας-ελληνικής-χαρτογ/>

Ο Γέμινος ο Ρόδιος (110-40 π.Χ.) συνεχίζει το έργο του Ποσειδωνίου, θεμελιώνοντας με σειρά επιχειρημάτων τη θεωρία των αντιπόδων (αντίθετη ή αντιδιαμετρική διεύθυνση των κατακορύφων) που είχε αναφερθεί από τον Πλάτωνα τον 5^ο π.Χ. αιώνα. Το θέμα των αντιπόδων αποτέλεσε το μέγα θέμα των γεωγράφων του Μεσαίωνα και αντικείμενο θρησκευτικής αντιπαράθεσης. Με τον Γέμινιο ολοκληρώνεται η σπουδαία Ροδιο-Αλεξανδρινή περίοδος (Raisz, 1948: 11).

Κορυφαία μορφή της χαρτογραφίας, είναι ο Κλαύδιος Πτολεμαίος ο Αλεξανδρεύς (85-165 μ.Χ.). Υπήρξε διακεκριμένος βιβλιοθηκάριος της Αλεξανδρινής Βιβλιοθήκης, πρώτος χαρτογράφος, εξέχων αστρονόμος, μαθηματικός και γεωγράφος, που ολοκλήρωσε και προώθησε το έργο του Ίππαρχου, του Στράβωνα και του Μαρίνου. Δύο μεγάλα έργα του είναι το αστρονομικό «Μαθηματική Σύνταξις (ή Μέγιστη)» και το γεωγραφικό και χαρτογραφικό οκτάτομο έργο «Γεωγραφική Υφήγησις (ή Γεωγραφία)». Ο χάρτης του Πτολεμαίου, στον οποίο απεικονίζεται ο μέχρι τότε γνωστός κόσμος, ξεκινά από τα Μακάρια Νησιά μέχρι την Κίνα που αναφέρεται ως “Serica” (η γη του μεταξιού) (Εικόνα 11,12). Οι ατέλειες του χάρτη είναι πιο εμφανείς, όπως είναι φυσικό, στο ανατολικό και στο νότιο τμήμα. Για παράδειγμα, έχει συρρικνωθεί πολύ η χερσόνησος της Ινδίας, ενώ αντίθετα η Κεϋλάνη (“Tabrobana”) απεικονίζεται με μεγαλύτερες διαστάσεις από τις πραγματικές. Η Αφρική απεικονίζεται με ικανοποιητική ακρίβεια μέχρι τον ισημερινό. Μετά όμως, οι δύο πλευρές της, αποκλίνουν προς δύο διευθύνσεις αντί να

συγκλίνουν σε ένα σημείο. Άγνωστο παραμένει που στηρίχτηκε η απόδοση αυτή της Αφρικής . Ωστόσο, το βασικότερο σφάλμα του Πτολεμαίου ήταν η αποδοχή των μετρήσεων του Ποσειδώνιου και η υποεκτίμηση του μεγέθους της γης. Έτσι, η Ευρώπη και η Ασία εκτείνονται στο μισό ημισφαίριο, ενώ στην πραγματικότητα καλύπτουν μόνο 130° . Η Μεσόγειος επίσης εκτείνεται σε 62° ενώ στην πραγματικότητα καλύπτει 42° . Οι Άραβες, παρόλο που από το 13^ο αιώνα διόρθωσαν την παραμόρφωση αυτή, εντούτοις παραμένει στην Ευρωπαϊκή χαρτογραφία μέχρι το 1700 (Raisz, 1948: 11-12), (Αντωνιάδου, 2018: 42- 43).



Εικόνα 11. Χάρτης με βάση τον Πτολεμαίο, τέλος 15^{ου} αιώνα, Ιταλία

Πηγή: <https://theancientwebgreece.wordpress.com/ιστορία-της-αρχαίας-ελληνικής-χαρτογ/>



Εικόνα 12. Ο παγκόσμιος χάρτης του Πτολεμαίου (έκδοση του 1486)

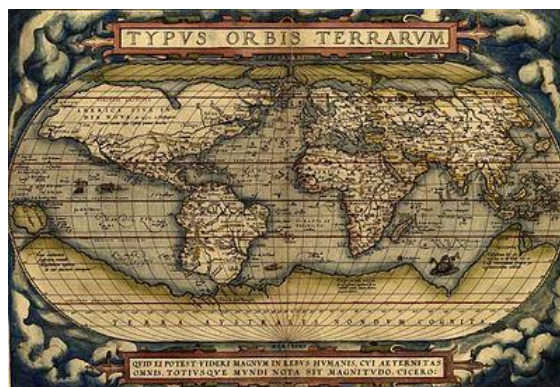
Πηγή: https://el.wikipedia.org/wiki/Παγκόσμιος_χάρτης_του_Πτολεμαίου

Συνοψίζοντας τα χαρακτηριστικά από τις παραπάνω αναφορές σχετικά με τη χαρτογραφική συμβολή των Ελλήνων, καταλήγουμε στο ότι αναγνωρίζεται το σφαιρικό σχήμα της γης, με τους πόλους, τον ισημερινό και τους τροπικούς κύκλους. Η γη προσομοιώνεται με σφαίρα. Επιπλέον, χρησιμοποιούνται γεωμετρικές μέθοδοι και μέσα για την περιγραφή της γήινης πραγματικότητας και κατασκευάζονται όργανα μέτρησης γεωγραφικών ποσοτήτων. Παράλληλα, επινοούνται οι προβολές, γίνεται η μέτρηση των διαστάσεων της γης σε συνδυασμό με υπολογισμούς. Τέλος, γίνεται βοηθητική χρήση άλλων τεχνολογικών και κατασκευαστικών επινοήσεων για τη διευκόλυνση των μετρήσεων και των υπολογισμών καθώς και για την κατανόηση των φαινομένων του σύμπαντος, μεταβαίνοντας ουσιαστικά από την εμπειρική στην επιστημονική παρατήρηση μέσω μετρήσεων.

1.2.2. Ρωμαίοι

Η ρωμαϊκή αντίληψη και θεώρηση του κόσμου, βρίσκεται σε ένα διαφορετικό πλαίσιο από αυτό των Ελλήνων. Οι Ρωμαίοι επηρεάστηκαν από τις θεωρίες των Ιώνων για την κατασκευή των χαρτών, οι οποίοι θεωρούσαν πως η γη είναι ένας στρογγυλός δίσκος. Δεν τους απασχολούσαν οι επιστημονικές και θεωρητικές πτυχές της χαρτογραφίας, το σύστημα παραλλήλων και μεσημβρινών, οι αστρονομικές μετρήσεις και το πρόβλημα των προβολών. Ο χάρτης για τους Ρωμαίους είχε πρακτικό σκοπό που θα εξυπηρετούσε στρατιωτικούς και διοικητικούς σκοπούς. Ειδικότερα, η γνωστότερη απεικόνιση, είναι αυτή ολόκληρης της γης μέσα σε ένα κυκλικό πλαίσιο, η λεγόμενη «Orbis Terrarum» (Εικόνα 13). Η Ευρώπη, η Αφρική αποδίδονται σχεδόν συμμετρικά με την Ασία στο πάνω μέρος του χάρτη. Η Ιταλία, αντίθετα, απεικονίζεται ιδιαίτερα μεγεθυμένη, δίνοντας τη δυνατότητα να χαρτογραφηθούν οι Ιταλικές επαρχίες σε μεγαλύτερη κλίμακα, με έμφαση στη Ρώμη. Η Ρωμαϊκή Αυτοκρατορία επομένως, προβάλλει σαν κυρίαρχη δύναμη του κόσμου και καλύπτει περίπου τα τέσσερα πέμπτα της έκτασης του χάρτη. Η Ινδία, η Κίνα («Seres»), η Ρωσία («Scythia» και «Samartia») απεικονίζονται σαν μικρές περιοχές στην περιφέρεια. Οι πρόσφατες για αυτούς θεωρίες των Ελλήνων για το σχήμα και το μέγεθος της γης και τις προβολές αγνοήθηκαν εντελώς (Raisz, 1948: 12-13).

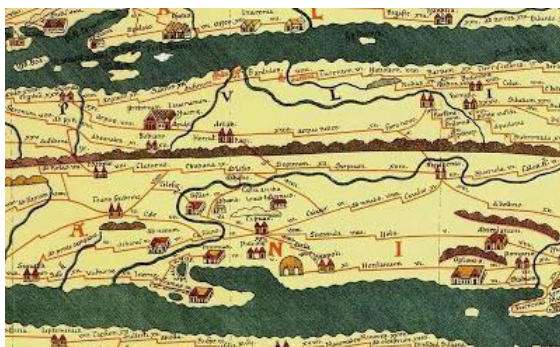
Ο πρώτος χάρτης που θεωρείται ότι διαχωρίζει τον κατοικημένο κόσμο σε τρεις ηπείρους, Ευρώπη, Ασία και Αφρική (Libya) είναι ο χάρτης του Agrippa. Ο χάρτης αυτός έμπνευση του Augustus Caesar (27 π.Χ.-14 μ.Χ.), έγινε από τον γαμπρό του Marcus Vispanius Agrippa και ολοκληρώθηκε από άλλους. Ο σκοπός του χάρτη αυτού ήταν κυρίως διδακτικός και θεωρείται πρόδρομος του γνωστού σχολικού χάρτη τοίχου (Tierney, 1963: 151-166)



Εικόνα 13. Ο χάρτης της γης *Theatrum Orbis Terrarum* το έτος 1570

Πηγή: https://el.wikipedia.org/wiki/Theatrum_Orbis_Terrarum

Δυστυχώς από τη ρωμαϊκή εποχή δεν σώζεται κανένας χάρτης. Όποια ανακατασκευή πραγματοποιήθηκε, στηρίχθηκε σε μεσαιωνικούς χάρτες οι οποίοι ακολούθησαν το ρωμαϊκό πρότυπο και βασίστηκαν σε γραπτά κείμενα μεγάλων γεωγράφων, όπως του Στράβωνα. Ένα τέτοιο δείγμα της ρωμαϊκής χαρτογραφίας που έχει σωθεί είναι ο Πίνακας Peutinger (Εικόνα 15). Έχει φτιαχτεί το 12^ο μ.Χ. αιώνα από ένα μοναχό, αλλά πιστεύεται ότι είναι πιστό αντίγραφο ενός έργου του 4^{ου} μ.Χ. αιώνα. Χαρακτηριστικό του Πίνακα Peutinger, είναι ότι δεν έχει τα χαρακτηριστικά ενός πραγματικού χάρτη, αλλά απεικονίζει τους δρόμους της αυτοκρατορίας σε ένα επιμήκες περίγραμμα του κόσμου καθώς και στρατηγικού ενδιαφέροντος σημεία. Παρέχονται σημαντικές πληροφορίες αναφορικά με τα τοπωνύμια, καθώς δίνονται ονόματα περισσότερων από 5000 τοποθεσιών, ιδιαίτερα χρήσιμα για τη μελέτη της γεωγραφίας της εποχής, παρ' όλο που δεν υπάρχει συνέπεια στην κλίμακα απεικόνισης των αποστάσεων (Hunt, 2000 (85):1: 3-14.).



Εικόνα 14. Ο Πετιγκεριανός Πίνακας

Πηγή: <http://geo-s.blogspot.com/2009/12/blog-post.html>

1.2.3 Μεσαίωνας

Στις αρχές του Μεσαίωνα, (3^{ος} – 4^{ος} αιώνας μ.Χ.) η θέαση του κόσμου και της επιστήμης αλλάζει, λόγω της επικράτησης του χριστιανισμού στις περισσότερες χώρες της Ευρώπης, με αποτέλεσμα τόσο η Χαρτογραφία, όσο και οι άλλες επιστήμες να υποστούν βαρύ πλήγμα. Ειδικότερα, η χριστιανική αντιμετώπιση προς αυτές ήταν από αδιάφορη μέχρι αρνητική, εφ' όσον η ερμηνεία των κειμένων έστρεφε το ενδιαφέρον εκτός της Γης, στη βασιλεία των Ουρανών. Οι γεωγραφικές γνώσεις και «εικόνες» των πρώτων Χριστιανών ήταν ότι περιλάμβανε η Βίβλος, χωρίς καμιά άλλη γεωγραφική αναζήτηση, οδηγώντας κυρίως κατά τους πρώτους χριστιανικούς αιώνες σε μια οπισθοδρόμηση των επιστημών, καθώς ήταν αντίθετες με την ερμηνεία των Γραφών. Το αποτέλεσμα ήταν η Γη να επανέλθει στην επίπεδη μορφή της και η θεωρία των αντιπόδων να αντιμετωπιστεί με σκεπτικισμό. Η Χαρτογραφία των πρώτων Χριστιανικών χρόνων πήρε μια απλοϊκή μορφή με την Γη ως κύκλο που χωριζόταν σε τρία τμήματα (Raisz, 1948: 14-15).

Ένα τέτοιο δείγμα αυτής της αντίληψης του κόσμου των μέσων του 3^{ου} αιώνα, αποτελούν τα έργα του Gaius Iulius Solinus που εισήγαγε, για πρώτη φορά σε τέτοια κλίμακα, την τερατομορφία στις φανταστικές του γεωγραφικές περιγραφές. Στο έργο του «Polyhistor» περιγράφονται δράκοι, παραμορφωμένα όντα και τέρατα μακρινών τόπων (Εικόνα 15) (Woodward, 1987:299).



Εικόνα 15. Ο χάρτης του Solinus

Πηγή: www.christies.com/lotfinder/Lot/solinus-caius-julius-polyhistor-rerum-toto-orbe-5983125-details.aspx

Παράλληλα, κατά τη διάρκεια του Μεσαίωνα κάνουν την εμφάνισή τους οι παγκόσμιοι χάρτες που αποτυπώνουν τις κλιματικές ζώνες, με ιδιαίτερα γνωστούς τους Μακρόβιους χάρτες. Ο Αυρήλιος Θεοδόσιος Μακρόβιος, (4^{ος} – 5^{ος} αιώνας), ήταν μελετητής των Ελλήνων φιλοσόφων και εικονογραφούσε τα κείμενα του με χάρτες ακολουθώντας το μοντέλο των κλιματικών ζωνών που είχαν αναπτύξει οι αρχαίοι Έλληνες. Στην απόδοση του παγκόσμιου χάρτη του δείχνει τις πέντε ζώνες ή το κλίμα της γης, στις οποίες η τροπική ζώνη διαιρείται από τον «ποταμό των ωκεανών». Θεωρούσε τη Γη κυκλική, να υποδιαιρείται σε τέσσερα ίσα μέρη, εκ των οποίων μόνο το ένα να κατοικείται. Στο χάρτη της Οικουμένης του Μακρόβιου δεν περιλαμβάνεται η Ελλάδα. (Woodward, 1987:300).



Εικόνα 16. Παγκόσμιος Χάρτης με βάση τον Μακρόβιο 1583

Πηγή: <http://users.sch.gr/arkoumanis/maps.html>

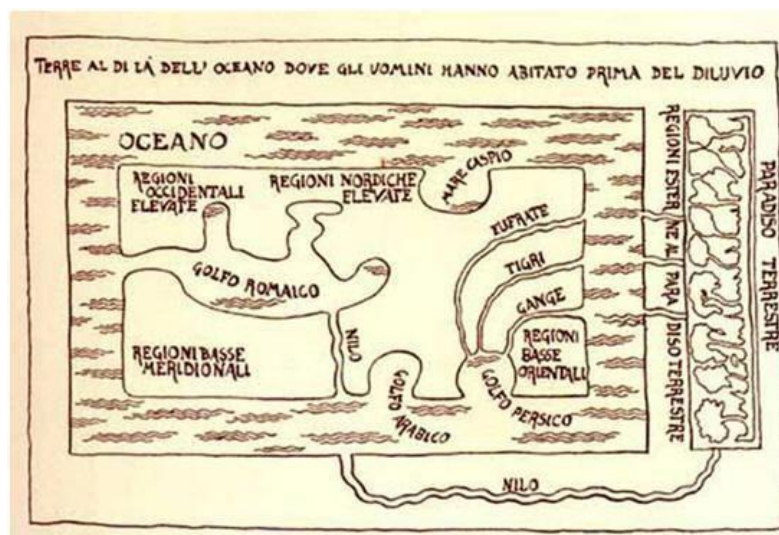
Τον 5^ο αιώνα, επικρατεί ο προσανατολισμός των χαρτών με την ανατολή να τοποθετείται στην κορυφή του χάρτη, σε αντίθεση με τους αρχαίους Έλληνες που τοποθετούσαν πάντα το βορρά. Τον ίδιο αιώνα αναπαράγονται πολυάριθμα αντίγραφα του ρωμαϊκού χάρτη, με τις προσθήκες του Honorius Iulius. Ο Honorius είναι γνωστός για την αναφορά του στο Πτολεμαίο και γιατί συμπλήρωσε τον ρωμαϊκό χάρτη με βάση τη «Γεωγραφία». Η θάλασσα που εκτείνεται ανατολικά-δυτικά στο κάτω μισό του χάρτη είναι η Μεσόγειος. Η Ευρώπη βρίσκεται στα αριστερά, η Αφρική στα δεξιά και η Ασία πάνω. Ο Άγιος Τόπος βρίσκεται ακριβώς στο κέντρο του χάρτη. Η Ιερουσαλήμ χαρακτηρίζεται από τη μεγάλη θόλο στην μέση. Η θάλασσα που τρέχει στα αριστερά της Ιερουσαλήμ είναι το Αιγαίο. Η Κωνσταντινούπολη σημειώνεται κάτω από το Βόσπορο, και ο Δούναβης ξεχειλίζει έξω από τη Μαύρη Θάλασσα. Η Βρετανία και η Ιρλανδία έχουν καταρρεύσει στο κάτω αριστερό μέρος. Χαρακτηριστικό είναι ότι η Ερυθρά Θάλασσα είναι επίσης στον χάρτη και είναι πραγματικά κόκκινη. (Woodward, 1987:312,322)



Εικόνα17. Ο χάρτης του Honorius

Πηγή:https://www.reddit.com/r/MapPorn/comments/2c223s/world_map_by_honorius_of_autun_12th_century/

Κατά τη διάρκεια του Μεσαίωνα η βασική πηγή της γεωγραφίας, κατά τη διάρκεια αποτελούσαν οι κυρίως οι διηγήσεις των ταξιδιωτών-προσκυνητών, οι θρύλοι και τα παραμύθια με χριστιανικό περιεχόμενο. Ωστόσο, για τους μοναχούς και τους αντιγραφείς, για την κατασκευή των χαρτών τους, πηγή ήταν η Βίβλος. Το έργο του Κοσμά του Ινδικοπλεύστη από την Αλεξάνδρεια, αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα, ο οποίος χαρτογραφεί τον κόσμο με βάση τις γραφές και την εκκλησιαστική παράδοση. Στο έργο του, *Topographia Christiana*, (548) στηριζόμενος στην Αγία Γραφή, στοχεύει να ανατρέψει τη λανθασμένη και ειδωλολατρική άποψη για τη σφαιρικότητα της γης. Ειδικότερα, η γη (Εικόνα 18) απεικονίζεται επίπεδη και επιμήκης και περιβάλλεται από τον Ωκεανό, με τρεις κύριους κόλπους, την Ερυθρά Θάλασσα, τη Μεσόγειο και τον Περσικό Κόλπο. Πέρα από τη γη, υπάρχει μια άλλη (*Terra ultra Oceanum*), στην οποία βρίσκεται ο Παράδεισος. Τέσσερις ποταμοί που πηγάζουν από τον Παράδεισο ρέουν στη γη (ο Τίγρης και ο Ευφράτης, ο Gihon ή ο Νείλος, πιθανόν ο Ινδός ή ο Γάγγης). Ο χάρτης του Κοσμά χαρακτηρίζεται από απλές γεωμετρικές γραμμές και ευρείς ποταμούς, στοιχεία που θα ακολουθήσουν αργότερα οι Άραβες (Woodward, 1987:319).



Εικόνα 18. Απόδοση του χάρτη του Κοσμά του Ινδικοπλεύστη

Πηγή: [s://roides.wordpress.com/2017/06/11/11jun17/](https://roides.wordpress.com/2017/06/11/11jun17/)

Σημαντική επίδραση στη μεσαιωνική χαρτογραφία είχε το έργο του Ισίδωρου, Επισκόπου της Σεβίλλης(7^{ος} αιώνας). Ο Ισίδωρος, ακολουθώντας πιστά τις Γραφές, περιγράφει τον κόσμο: ο παράδεισος τοποθετείται στο ανατολικότερο άκρο της Ασίας, καθώς, όπως αναφέρουν οι Γραφές, οι πρωτόπλαστοι κατοικούσαν ανατολικά στην Εδέμ, στον κήπο του παραδείσου. (Εικόνα 19). Τα γήινα σώματα περιβάλλονται κυκλικά από νερό. Ο κόσμος αποτελείται από τρία επίπεδα που αντιστοιχούν στις τρεις ηπείρους και κάθε τμήμα ανατίθεται σε ένα από τους τρεις γιους του Νώε. Η Ασία καλύπτει το πάνω ημικύκλιο, η Ευρώπη τοποθετείται στο κάτω αριστερά τεταρτημόριο και η Αφρική στο κάτω δεξιά. Η κάθετη γραμμή, που χωρίζει την Ευρώπη από την Αφρική, είναι η Μεσόγειος. Οι δύο γραμμές σχηματίζουν «T» και τέμνονται στην Ιερουσαλήμ, στους Αγίους Τόπους. Η Ιερουσαλήμ βρίσκεται στο κέντρο του κύκλου αφού, σύμφωνα με τις Γραφές, ο Θεός την τοποθέτησε στο κέντρο των εθνών και οι υπόλοιπες χώρες την περιβάλλουν. (Woodward, 1987:301-302), (Stone, 1993: (23): 200 -216)



Εικόνα 19. Ο κόσμος σύμφωνα με τον Ισίδωρο.

Πηγή: <http://users.sch.gr/pchaloul/Boss/terra-incognita.htm>

Ιδιαίτέρως γνωστοί χάρτες του 7^{ου} και 8^{ου} αιώνα είναι: ο χάρτης του Ανώνυμου της Ραβέννας, ο χάρτης Albi. Γύρω στα μέσα του 7 αιώνα, στη Ραβέννα, ένας ανώνυμος μοναχός, ο Ανώνυμος της Ραβέννας, όπως είναι γνωστός σήμερα, έγραψε μια Κοσμογραφία με βάση ελληνικές και γοθτικές πηγές άγνωστης προέλευσης. Κατέγραψε για κάθε τόπο την απόσταση και τον προσανατολισμό της από τα Ιεροσόλυμα. κατοικήσιμος κόσμος περιβάλλεται από το βόρειο, το νότιο, ανατολικό και δυτικό Ωκεανό με τη Μεσόγειο Θάλασσα ως το κύριο διαχωριστικό σώμα νερό που χωρίζει τις ηπείρους. Η Κασπία Θάλασσα φαίνεται για άλλη μια φορά ως κόλπος, οδηγώντας στον Βόρειο Ωκεανό, ενώ ο Περσικός και ο Αραβικός κόλπος ανοίγουν στην Ερυθρά Θάλασσα. Η Ευρώπη είναι φορτωμένη με ονόματα των λαών και των επαρχιών της. Εδώ οι μεσημβρινοί συγκλίνουν στη Ραβέννα, δείχνοντας ότι είναι η πηγή του χάρτη. Χώρες και επαρχίες που φαίνονται στην Ευρώπη είναι η Δαρδανία, η Θράκη, η Μακεδονία, η Ελλάδα, η Αρχαία, η Γαλλία, Γερμανία, Βουργουνδία, Ιβηρία, Ισπανία και άλλες, πολλές από τις οποίες βρίσκονται στην περιοχή της Ιταλίας. (http://cartographic-images.net/Cartographic_Images/203_Ravenna.html)



Εικόνα 20. Απόδοση του χάρτη του Ανώνυμου της Ραβέννας

Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Ravenna_Cosmography

Ο χάρτης Albi (730 μ.Χ.), όπως είναι γνωστός σήμερα, από το όνομα της ομώνυμης γαλλικής πόλης στη βιβλιοθήκη της οποίας βρίσκεται, είναι συντεταγμένος με βάση τις διδασκαλίες των εκκλησιαστικών Πατέρων. Σε αυτόν, αντιπροσωπεύονται μόνο 23 χώρες, οι οποίες κατανέμονται σε τρεις «γεωγραφικές σφαίρες» ηπείρους. Ο χάρτης του Albi έχει την ιδιαιτερότητά στο πέταλο σχήμα της κατοικημένης γης, το ανοιχτό τμήμα της οποίας είναι το στενό του Γιβραλτάρ. Είναι προσανατολισμένος προς την Ανατολή, σύμβολο της έδρας του επίγειου παραδείσου, ενώ ο Βορράς είναι στα αριστερά. Η Μεσόγειος, στο κέντρο, είναι πολύ ανεπτυγμένη προς την Ανατολή, όπου αναγνωρίζεται από ψηλά προς τα κάτω τα μεγάλα νησιά της Κρήτης, της Κύπρου, της Σικελίας, της Σαρδηνίας και της Κορσικής. Η Ανατολή καταλαμβάνεται από τις ασιατικές περιοχές. αναφέρονται: Αρμενία, Ινδία, Σκία, Μέσα, Περσίδα, Ιουδαία, Αραβία (<https://unesco.delegfrance.org/LA-MAPPA-MUNDI-D-ALBI-Focus-Memoire-du-monde-Numero-1-12>)



Εικόνα 21. Ο παγκόσμιος χάρτης του Albi

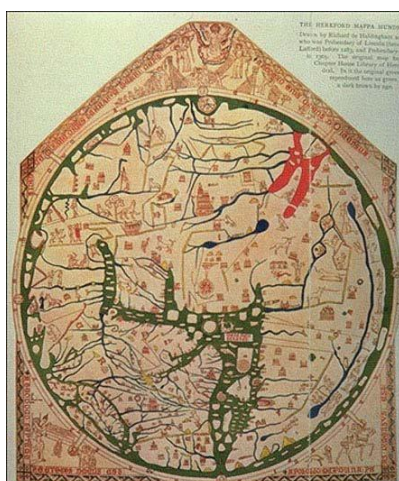
Πηγή:<https://unesco.delegfrance.org/LA-MAPPA-MUNDI-D-ALBI-Focus-Memoire-du-monde-Numero-1-12>

Οι κληρικοί χρησιμοποιούσαν τους mappamundi ή αλλιώς παγκόσμιους χάρτες, στην προσπάθεια τους να αποδώσουν εικονογραφικά το Εκκλησιαστικό Δόγμα και για τη διαπαιδαγώγηση του πλήθους. Σήμερα, διασώζονται γύρω στους 600 mappamundi, που αποτελούν κυρίως εικονογραφικό υλικό στις πιο δημοφιλής εργασίες της εποχής: ιστορικές, εγκυκλοπαιδικές, φιλοσοφικές και θεολογικές. Ειδικότερα, θα ασχοληθούμε με δυο χάρτες, τους χάρτες Ebstorf και Hereford,

μεγάλοι σε διαστάσεις, αποτελούν κορυφαία δείγματα χαρτών του Μεσαίωνα, mappamundi, που απεικονίζουν την κυκλική γη (Stone, 1993: (23): 205 -216).

Προϊόντα του 13^{ου} αιώνα, οι δύο χάρτες συγκλίνουν στη σύλληψη, διαφέρουν ωστόσο στη λεπτομέρεια. Αποτελούν και οι δύο παραλλαγές του χάρτη τύπου «ΟΤ» με επιδράσεις από χάρτες όπως του Μακρόβιου και του Ισίδωρου (Woodward, 1987:290,307).

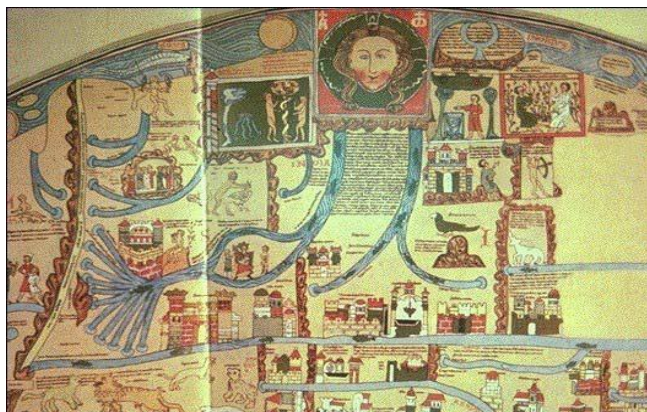
Ο χάρτης του Hereford (Εικόνα 22) έχει μήκος 1,55 μέτρα και πλάτος 1,35 Θεωρείται ως περίληψη της θρησκευτικής και λαϊκής γεωγραφικής παράδοσης, του Μεσαίωνα και απεικονίζει ανθρωποειδή και μυθικά όντα, παρμένα τα περισσότερα από τον Solinus. Ταυτόχρονα, αναπαριστώνται και πληροφορίες από εμπορικά ταξίδια, από προσκυνητές ή σταυροφορίες, ιδιαίτερα στο τμήμα της Ευρώπης. Στο κέντρο του χάρτη, βρίσκεται η Ιερουσαλήμ, όπου αναπαριστάται η σταύρωση και η ανάσταση του Χριστού. Τα διάφορα όντα, απεικονίζονται σε ολόκληρη την περιφέρεια του χάρτη. Στο πάνω μέρος του χάρτη απεικονίζεται ο Χριστός περιστοιχισμένος από αγγέλους, απονέμοντας δικαιοσύνη. Οι πιστοί οδηγούνται στις πύλες του ουρανού από έναν φτερωτό άγγελο ενώ οι αμαρτωλοί σέρνονται στην κόλαση από ένα δαίμονα. Ο χάρτης, εκτός από το να είναι μια απλή ανθολογία της μυθικής γνώσης, αποτελεί παράλληλα και ένα αποθετήριο σύγχρονων γεωγραφικών πληροφοριών χρήσιμο για το σχεδιασμό προσκυνήματος και την παρότρυνση του επιδιωκόμενου ταξιδιώτη. (Woodward, 1987:287 289).



Εικόνα 22. Hereford mappamundi (1290)

Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Hereford_Mappa_Mundi

Ο χάρτης του Ebstorf (Εικόνα 23) έχει διάμετρο γύρω στα 3,5 μέτρα. Είναι περισσότερο λεπτομερής στις πληροφορίες σε σχέση με το χάρτη του Hereford. Ο Παράδεισος βρίσκεται στο επάνω μέρος του χάρτη, ανατολικά, στο κέντρο βρίσκεται η Ιερουσαλήμ και στην περιφέρεια του χάρτη και ιδιαίτερα κοντά στην Αφρική, υπάρχουν μορφές παρόμοιες με του Solinus. Αυτές οι τρομερές φιγούρες μπορεί να δηλώνουν ότι η άγνωστη χώρα, *terra incognita*, είναι επικίνδυνη, αποτρέποντας την εξερεύνηση της. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του χάρτη αυτού είναι η τοποθέτηση του κόσμου στο σώμα του εσταυρωμένου Χριστού του οποίου τα άκρα προεξέχουν από τον χάρτη (Woodward, 1987:290,307).



Εικόνα 23. Ebstorf mappamundi Λεπτομέρεια: Ο κήπος της Εδέμ

Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Ebstorf_Map

1.2.4. Οι Πορτολάνοι χάρτες

Γύρω στον 13^ο αιώνα, εμφανίζεται ο οδηγός πλοήγησης της νοτίου Ευρώπης, οποίος περιελάμβανε γραπτές οδηγίες για τους ναυτικούς. Την ίδια περίοδο, κάνουν την εμφάνισή τους και οι πορτολάνοι χάρτες κατά την οποία, η επιρροή της εκκλησίας στη χαρτογραφία ήταν καταλυτική και απόλυτη με αποτέλεσμα η απεικόνιση των χαρτών να εκφράζει έναν φαντασιακό κόσμο. Οι εν λόγω χάρτες συγκριτικά με τους *mappa mundi*, διακρίνονται για έμφαση στη λεπτομέρεια και στην ακρίβεια των ακτογραμμών. Το υλικό αποτύπωσής τους ήταν συνήθως το δέρμα προβάτου και ο προσανατολισμός τους ακολουθούσε αυτόν της μαγνητικής βελόνας.

Το κύριο χαρακτηριστικό των χαρτών είναι, όπως αναφέραμε, η λεπτομερής αναφορά στις γραμμές διευθύνσεων, οι οποίες καταλαμβάνουν ολόκληρο τον χάρτη: συνήθως στο κέντρο αποτυπώνονται δυο οργανωμένα ρόδα του ανέμου συνδεδεμένα με άλλα που βρίσκονται περιφερειακά. Εικάζεται ότι έχουν έντονες επιρροές πολύ κοντά στην Ελληνική και Ελληνιστική αντίληψη περί αναπαράστασης, όπως φαίνεται από το παράδειγμα της Carta Pisana του παλιότερου σωζόμενου ναυτικού χάρτη πορτολάνου του 12^{ου} αιώνα (Campbel, 1978: 382).



Εικόνα 24. Carta Pisana

Πηγή: https://it.wikipedia.org/wiki/Carta_Pisana

1.2.5. Αναγέννηση

Την περίοδο της Αναγέννησης στον Ευρωπαϊκό κόσμο οι εξελίξεις και τα γεγονότα διαδέχονται το ένα το άλλο, κυρίως τον 15^ο αιώνα, με αποτέλεσμα οι αντιλήψεις του κόσμου για τον άνθρωπο, τη θρησκεία, το σύμπαν και τις επιστήμες, να αλλάξουν ριζικά. Είναι η περίοδος όπου η Εκκλησία χάνει την πρωτοκαθεδρία και τον απόλυτο έλεγχο της γνώσης και τη θέση της την παίρνει αποκλειστικά ο άνθρωπος, που απαλλάσσεται από τα δεσμά του, τις προκαταλήψεις και τις δεισιδαιμονίες και αγκαλιάζει τον κόσμο της γνώσης. Σε αυτό συνετέλεσαν τρία σημαντικά γεγονότα: Η ανακάλυψη της Αμερικής από τον Κολόμβο, η ανακάλυψη της τυπογραφίας από τον Γουτεμβέργιο, μέσω της οποίας κατέστη εφικτή η διάδοση της μάθησης στις μάζες και τέλος, η ανακάλυψη, εκ νέου, των γραπτών του Πτολεμαίου.

Αναφορικά με τις ανακαλύψεις των νέων ηπείρων την εποχή της Αναγέννησης, γνωρίζουμε πως οι Πορτογάλοι ναυτικοί υπήρξαν οι πρώτοι που εντόπισαν νέα γη κατά μήκος της ακτής της δυτικής Αφρικής, η οποία αποδίδεται αφενός στους

Πορτολάνους και αφετέρου στην Υδρόγειο σφαίρα του Martin Behaim από τη Νυρεμβέργη, η παλαιότερη σωζόμενη υδρόγειος του 15^{ου} αιώνα στην Ευρώπη. Η υδρόγειος απεικονίζει τον τότε γνωστό κόσμο συμπεριλαμβανομένης και της ακτογραμμής της νοτίου Αφρικής. Χαρακτηριστικό είναι πως εκείνη την περίοδο οι χαρτογράφοι αποπειράθηκαν να εντάξουν της νέες ανακαλύψεις στον πολεμαϊκό χάρτη όπως για παράδειγμα, ο χάρτης του Juan De La Cosa, που απεικονίζει τα νησιά του Ατλαντικού, την Κούβα, τις Μπαχάμες, από τα ταξίδια του Κολόμβου.



Εικόνα 25. Υδρόγειος σφαίρα του Behaim

Πηγή: https://el.wikipedia.org/wiki/Υδρόγειος_του_Μπέχαϊμ

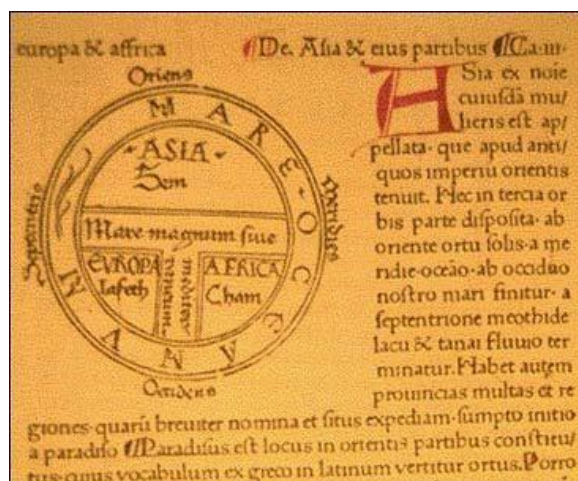


Εικόνα 26. Παγκόσμιος χάρτης του Juan de la Cosa (1500)

Πηγή: https://www.reddit.com/r/MapPorn/comments/7llca3/the_1500_world_map_of_juan_de_la_cosa_the/

Η μετανάστευση του βυζαντινού πληθυσμού κατά τον 14^ο αιώνα στη δύση είχε ως αποτέλεσμα τη μεταφορά πολλών πολιτισμικών στοιχείων, μεταξύ των οποίων και χειρογράφων, όπως η Γεωγραφία του Πτολεμαίου, η οποία μεταφράστηκε στα λατινικά και διαδόθηκε σε όλη την Ιταλία αλλά και τη Γαλλία σε πληθώρα αντιγράφων είτε ως ξυλοτυπία είτε ως χαλκογραφία. Χαρακτηριστικό των αντιγράφων αυτών είναι η έντονη επιρροή του έργου του Πτολεμαίου, η οποία αποτυπώνεται στις παραμορφώσεις και τα λάθη σε γεωγραφικές μορφές παρά τις νεότερες και πιο σύγχρονες παρατηρήσεις ναυτικών και ταξιδιωτών, όπως για παράδειγμα η απεικόνιση του ινδικού ωκεανού ως κλειστή θάλασσα.

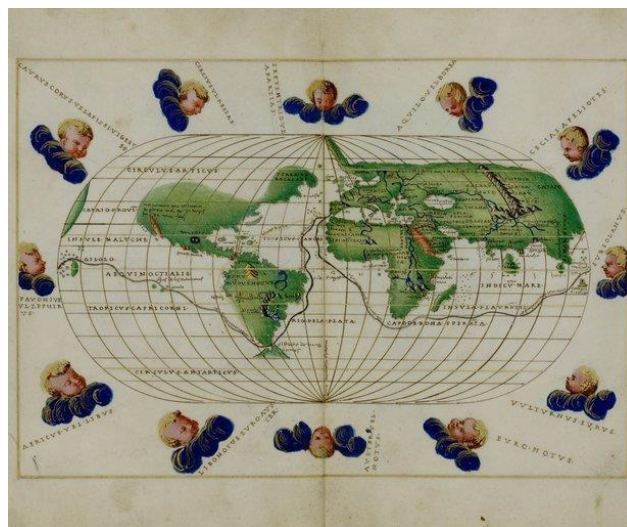
Επιπλέον, η ανακάλυψη της τυπογραφίας (από τον Γουτεμβέργιο το 1440) και της χαρακτηριστικής σηματοδότησε μία νέα εποχή του τρόπου σχεδίασης των χαρτών. Μέχρι και το 1440, η σχεδίαση ενός χάρτη γινόταν δια χειρός και αποτελούσε μια ακριβή και δύσκολη διαδικασία, με αποτέλεσμα τη δημιουργία χαρτών αποκλειστικά για τη βασιλική αυλή και τους αξιωματικούς του στρατού. Από την ανακάλυψη όμως της τυπογραφίας και έπειτα χρησιμοποιήθηκε αρχικά το ξύλο ως μέσο χάραξης του πρωτότυπου χάρτη, το οποίο αντικαταστάθηκε στη συνέχεια από το χαλκό, καθιστώντας τη χαλκογραφία, τη μέθοδο παραγωγής των χαρτών μέχρι τον 19^ο αιώνα. Ο πρώτος ευρωπαϊκός χάρτης που εκτυπώθηκε ήταν ένας χάρτης «Ο-Τ» του Ισίδωρου, στα 1472(Μιχαηλίδου, 2004:28-30).



Εικόνα 27. Χάρτης «Ο-Τ» του Ισίδωρου (1472) Ο πρώτος εκτυπωμένος χάρτης στην Ευρώπη

Πηγή: <http://users.sch.gr/arkoumanis/maps.html>

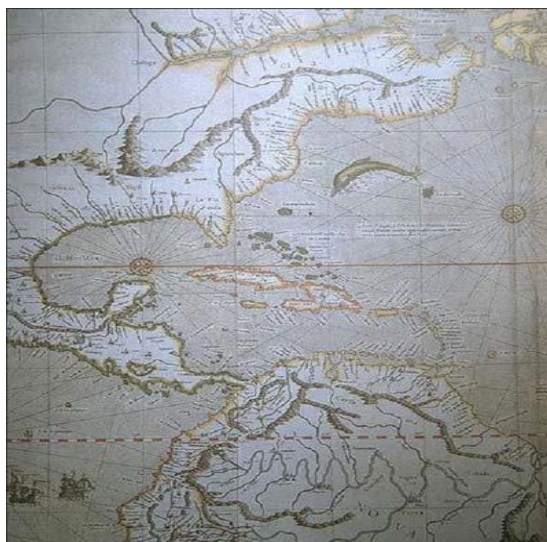
Σημαντικό έργο που καθιστά τη χαρτογραφία ένα πραγματικό έργο τέχνης προσέφεραν οι χάρτες της Ιταλικής σχολής, που κατασκευάστηκαν στο πρότυπο των Πορτολάνων, με χαρακτηριστικό παράδειγμα τον χαρτογράφο Battista Agnese από τη Βενετία(<https://www.wdl.org/en/item/19478/>).



Εικόνα 28. Ο άτλαντας του Battista Agnese

Πηγή: <https://www.wdl.org/en/item/19478/>

Παράλληλα, εκτός από την Ιταλία, η Ολλανδία απετέλεσε ένα σημαντικό πόλο παραγωγής και άνθισης της χαρτογραφίας, λόγω της εμπορικής της φύσης και του αποικιοκρατικού χαρακτήρα της. Από τα μέσα του 16^{ου} αιώνα εμφανίζει εξαιρετικά δείγματα γραφής, όπως ο Gerardus Mercator (1512-1594), ο οποίος υπήρξε ο πατέρας της ολλανδικής χαρτογραφίας. Η τεχνική του διακρίνεται από την πρωτοποριακή ματιά και σύνθεση, που πάει πλέον να στηρίζεται στον Πτολεμαίο και πλέον εδράζεται σε έρευνα και αντιπαραβολή περιγραφών των δικών του εμπειριών με αυτές των θαλασσοπόρων. Ειδικότερα, ο χάρτης της Μεσογείου (1554), έχει ελαττωμένο το μήκος της Μεσογείου σε 53 μοίρες, απεικονίζοντας ως ευθείες γραμμές τις λοξοδρομίες, κάτι που μέχρι και στις μέρες μας, εφαρμόζεται στα ναυτιλιακά διαγράμματα (<https://www.britannica.com/biography/Gerardus-Mercator>).



Εικόνα 29. Παγκόσμιος χάρτης του Mercator, 1569 – Λεπτομέρεια

Πηγή: <https://www.newsbomb.gr/bombplus/socialmedia/google/story/563355/gerardos-merkator-503-xronia-apo-ti-gennisi-toy-megaloy-xartografoy-pics>

Σημαντική χαρτογραφική δραστηριότητα είχε επίσης και η Αγγλία κατά την αναγεννησιακή εποχή και ειδικότερα επί βασιλείσσης Ελισάβετ. Οι χάρτες χαρακτηρίζονται από ολλανδικές επιρροές με έμφαση στην απεικόνιση μεγάλης λεπτομέρειας. Πρωτοπόρος της Αγγλικής χαρτογραφίας θεωρείται ο Christopher Saxton, ο οποίος δημιούργησε τον άτλαντα των επαρχιών της Αγγλίας (<https://www.bl.uk/collection-items/saxton-england-and-wales-proof-maps>).



Εικόνα 30. Άτλαντας των επαρχιών της Αγγλίας

Πηγή: <https://www.bl.uk/collection-items/saxton-england-and-wales-proof-maps>

Ιδιαίτερος χάρτης είναι και ο άτλαντας οδικών λουρίδων του John Ogilvie. Σχηματίζοντας λουρίδες, αποδίδει τις αποστάσεις σε μίλια κατά μήκος κύριων οδικών αξόνων από το Λονδίνο προς επαρχιακές πόλεις, με πολλά διακοσμητικά στοιχεία που λειτουργούν ως τρόπος μέτρησης των γεωμετρικών δεδομένων του χάρτη(<https://www.fulltable.com/vts/m/map/ogilby/mna.htm>),(Μιχαηλίδου, 2004:36).



Εικόνα 31. Άτλαντας οδικών λουρίδων του John Ogilvie.

Πηγή: <https://www.fulltable.com/vts/m/map/ogilby/mna.htm>

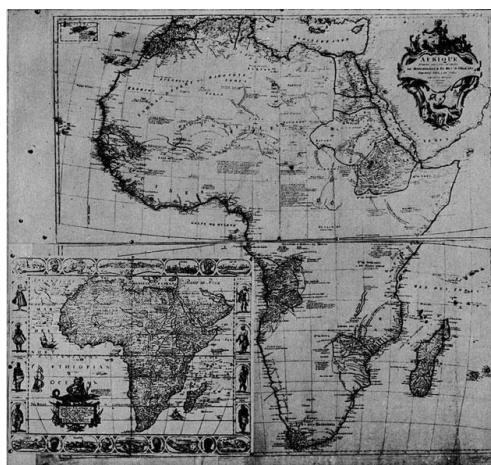
1.2.6 18^{ος} αιώνας

Τον 18^ο αιώνα, η αντίληψη και οι νοοτροπία της παραγωγής των χαρτών μπήκε σε νέα βάση, δεδομένου ότι στην Ευρώπη υπήρχε κορεσμός στρατιωτικών επιχειρήσεων που καθιστούσε αναγκαία τη λεπτομερή καταγραφή των περιοχών. Παράλληλα, σε όλη την Ευρώπη τα τριγωνομετρικά δίκτυα εξαπλώνονται σε μεγάλο βαθμό και δημιουργήθηκαν πολλά όργανα μέτρησης γωνιών και μηκών. Ο θεοδόλιχος, από τα μέσα του 18^{ου} αιώνα είχε ευρεία χρήση στη μέτρηση των κατακόρυφων και οριζόντιων γωνιών, γεγονός που βελτίωσε αισθητά την ακρίβεια και την ποιότητα των χαρτών (Σαββαΐδης, Υφαντής, & Λαλάκης, 2010:10).

Αποτέλεσμα ήταν να δημιουργηθούν στρατιωτικές τοπογραφικές υπηρεσίες που λειτουργούσαν υπό την επίβλεψη του κράτους. Ειδικότερα, ο Guillaume Delisle, διακεκριμένος χαρτογράφος στις αρχές του 18^{ου} αιώνα στη Γαλλία, προέβη σε μία

σειρά διορθώσεων, όπως του μήκους της Μεσογείου και τον χάρτη της Καλιφόρνιας και της Βορείου Αμερικής.

Ο Jean Baptise Bourguignon d'Anville (1697-1782), εισήγαγε καινούργια στοιχεία για την ενδοχώρα των ηπείρων της Ασίας, της Αφρικής και τη Αμερικής απομακρύνοντας τη φανταστική απεικόνιση παλαιότερων χαρτών και περιορίζοντας τα διακοσμητικά στοιχεία στο πλαίσιο τίτλου. Μια αναλογία του χάρτη της Αφρικής του Janszoon (1628) με το χάρτη του d'Anville (1747) αποδεικνύει την παραπάνω εισαγωγή καθώς ο χάρτης του Ολλανδού Janzoon, απεικονίζει το εσωτερικό της Αφρικής με τέρατα, ελέφαντες και λιοντάρια που γεμίζουν τα κενά του άδειου χώρου λόγω έλλειψης γνώσης του εσωτερικού της ηπείρου. (<http://www.davidrumsey.com/maps81.html>)

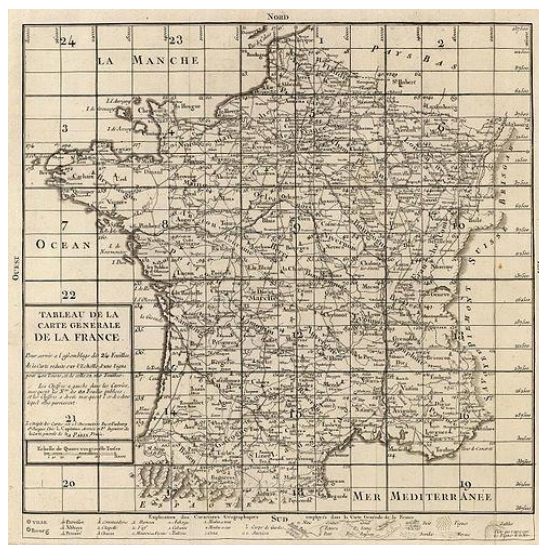


Εικόνα 32. Χάρτες της Αφρικής: του d'Anville (1747) και του Janszoon (1628)

Πηγή: <http://www.davidrumsey.com/maps81.html>

Επιπλέον στη Γαλλία, η πρώτη τοπογραφική αποτύπωση εθνικής κλίμακας οργανώθηκε από τον Cesar Francois Cassini (1714-1784), διάσημο αστρονόμο και χαρτογράφο, με μετρήσεις τριγωνισμού. Ο Cassini ανέλαβε κατά παραγγελία του Λουδοβίκου 15^{ου} να χαρτογραφήσει κατά τη Γαλλία με την παραπάνω μέθοδο, η οποία λόγω έλλειψης επιχορήγησης, παρέμεινε ημιτελής. Το έργο του, ολοκληρώθηκε μετά τον θάνατο του από τον γιό του Jaques Dominique κατά τη διάρκεια της Γαλλικής Επανάστασης. Πρόκειται για την «Carte Geometrique de la France», η οποία αποτελείται από 182 φύλλα χάρτη κλίμακας 1:86400, που

αναπαριστά λεπτομέρειες της γης με ανάγλυφο τρόπο με τη μέθοδο της γραμμοσκίασης (https://fr.wikipedia.org/wiki/Carthe_de_Cassini).



Εικόνα 33. Διάγραμμα του γενικού χάρτη της Γαλλίας 1797

Πηγή: https://fr.wikipedia.org/wiki/Carthe_de_Cassini

Εκτός από τη Γαλλία, τον 18^ο αιώνα η Αγγλία ανέπτυξε μεγάλη χαρτογραφική δραστηριότητα, εξαιτίας της υπεροχής της, ως ναυτική δύναμη, μετατοπίζοντας την Ολλανδία σε δεύτερη θέση στην Ευρώπη. Η μεγάλη παραγωγή χαρτών οδήγησε πολλούς Ολλανδούς και Γάλλους χαρτογράφους να εγκατασταθούν μόνιμα στο Λονδίνο, καθιστώντας την πόλη σε ένα σημαντικό χαρτογραφικό κέντρο. Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση του Ολλανδού Hermann Moll, στα τέλη του 18^{ου} αιώνα ο οποίος διακρινόταν για την χρήση πληθώρας γεωγραφικών σημειώσεων στον χάρτη, οι οποίες κατελάμβαναν όλον τον γεωγραφικό καμβά (https://en.wikipedia.org/wiki/Herman_Moll).

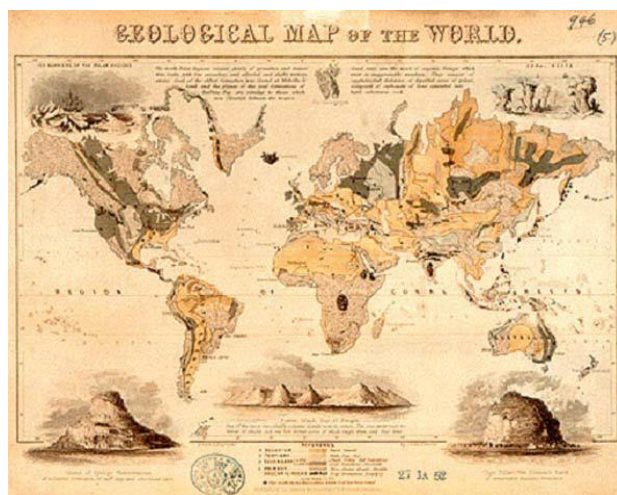


Εικόνα 34. Χάρτης της Ευρώπης σύμφωνα με τις νέες παρατηρήσεις Herman Moll 1721.

Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Herman_Moll

1.2.7. 19^{ος} αιώνας

Ο 19^{ος} αιώνας χαρακτηρίζεται από δύο σημαντικά φαινόμενα τα οποία έπαιξαν καταλυτικό ρόλο στην ταχεία ανάπτυξη και εξέλιξη της τοπογραφίας: την αποικιοκρατία και την βιομηχανική επανάσταση. Η Δύση επεκτείνει τις αποικίες της σε ολόκληρο τον κόσμο τώρα πια στο εσωτερικό των εκάστοτε περιοχών, ανοίγοντας νέους ορίζοντες στην ακριβή αποτύπωση των χαρτών. Η βιομηχανική επανάσταση μαζί με τις ριζικές αλλαγές στον τρόπο ζωής και μετακίνησης των Ευρωπαίων, επέδρασε καταλυτικά στην εξέλιξη της χαρτογραφίας καθώς κρίθηκε αναγκαία η αποτύπωση ακριβείας τόσο επίγεια, λόγω της ανάπτυξης του δικτύου σιδηροδρόμων, όσο και υποθαλάσσια, εξαιτίας της τοποθέτησης υποθαλάσσιων καλωδίων. Παράλληλα, η έγχρωμη τυπογραφία επέφερε επανάσταση τόσο στη μορφή των χαρτών όσο και στην οικονομία με την μείωση του κόστους κατασκευής. Οι επιστήμες με τη σειρά τους οδήγησαν σε μία νέα κατεύθυνση τη χρήση του χάρτη, ο οποίος αποτελεί μέσο έρευνας και μελέτης με την ανάπτυξή τόσο της θεματικής χαρτογραφίας, όσο και των γεωλογικών χαρτών που χρησιμοποιούνται ευρέως στην εκπαίδευση.



Εικόνα 35. Παγκόσμιος γεωλογικός χάρτης (1849)

Πηγή: <http://users.sch.gr/arkoumanis/maps.html>

Η χώρα που διακρίνεται για την παραγωγή χαρτών το 19^ο αιώνα είναι η Γερμανία. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των χαρτών αυτών είναι η ακρίβεια και το πλήθος των λεπτομερειών απόδοσης και η πολυχρωμία. Το ανάγλυφο αποδίδεται με ένα είδος απλής γραμμοσκίασης (hachuring). Οι χάρτες εκδίδονται από ιδιωτικούς εκδοτικούς οίκους και εξέχουσα είναι χαρτογραφική δουλειά που γίνεται στο Γεωγραφικό Ινστιτούτο του Justus Perthes. Προς το τέλος του αιώνα κάνουν την εμφάνισή τους και οι πρώτοι εθνικοί άτλαντες, οι οποίοι διακρίνονται για το μεγάλο μέγεθός τους και για την ακρίβεια των δεδομένων που καταγράφουν, η οποία πηγάζει από γεωλογικές πληροφορίες και στατιστικές μετρήσεις σε χώρες όπως η Γαλλία, η Σουηδία, η Ρωσία και οι Ηνωμένες πολιτείες Αμερικής (Μιχαηλίδου, 2004:40-42).

1.2.8. 20^{ος} και 21^{ος} αιώνας

Στον εικοστό αιώνα, η συνεχής πρόοδος και εξέλιξη των επιστημών και η εισαγωγή του ηλεκτρονικού υπολογιστή, άλλαξαν εντελώς τα δεδομένα στον τομέα της χαρτογραφίας. Η αεροφωτογραφία κάνει την εμφάνισή της προσφέροντας ακριβείς πληροφορίες χαρτογράφησης σε ελάχιστο χρόνο. Από την άλλη ο ηλεκτρονικός υπολογιστής αναδιαμορφώνει όλα τα στάδια της διαδικασίας χαρτογράφησης που αφορούν στη συλλογή, την επεξεργασία των πληροφοριών και την απόδοσή τους. Οι μηχανικές συσκευές όπως το τυπογραφείο, το quadrant, η σκάλα Vernier, επιτρέπουν την μαζική παραγωγή χαρτών που αποτελούν ακριβή αντίγραφα του εκάστοτε χώρου απεικόνισης. Επιπλέον, η οπτική τεχνολογία, όπως το τηλεσκόπιο, ο εξάντας και άλλες συσκευές αποτυπώνουν με ακρίβεια τη Γη.

Περνώντας στον 21^ο αιώνα, πιο εξελιγμένες τεχνολογίες μπήκαν στην διαδικασία κατασκευής χαρτών, όπως οι εξελιγμένοι υπολογιστές, το σύστημα GPS και τα λέιζερ τηλέμετρα, που επιτρέπουν την άμεση χαρτογράφηση του εδάφους σε πραγματικό χρόνο, ενώ οι δορυφορικές κάμερες υψηλής ανάλυσης μπορούν να καταγράψουν λεπτομερώς και με ακρίβεια την επιφάνεια της Γης (<http://www.enet.gr/?i=news.el.article&id=420826>).

Παράλληλα, έκαναν την εμφάνισή τους και τα ιπτάμενα μη επανδρωμένα σκάφη ή αλλιώς drones. Πρόκειται για ιπτάμενα μηχανήματα σε μορφή μικρού αεροπλάνου που έχουν αυτόνομη κίνηση χωρίς να χρειάζεται η παρουσία πιλότου ή κυβερνήτη

και είναι προγραμματισμένα ή τηλεκατευθυνόμενα. Τα σκάφη αυτά καλύπτουν ψυχαγωγικές ανάγκες αλλά έχουν τεθεί και στην διάθεση της επιστήμης. Τα είδη των ιπτάμενων μη επανδρωμένων μηχανών χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, σε αυτή που διαθέτει σταθερές πτέρυγες, όπως τα αεροπλάνα και σε αυτή που διαθέτει έλικες. Τα drones βοήθησαν σημαντικά τον επιστημονικό κόσμο ώστε να γίνουν πολύ πιο προσβάσιμες οι πλατφόρμες συλλογής δεδομένων. Στη γεωδαισία, ειδικότερα, τα drones έχουν συμβάλει σημαντικά, καθώς διατηρούν υψηλά κριτήρια λεπτομέρειας και ακρίβειας με ιδιαίτερα μειωμένο κόστος. Παράλληλά έχουν επικοινωνία και τροφοδότηση με τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS). (Τσαρούχας, 2017:8- 9)



Εικόνα 36. Τύπος Drone με έλικες

Πηγή: www.dronesmania.gr

1.3. Συστήματα Αναφοράς – Συστήματα Προβολών

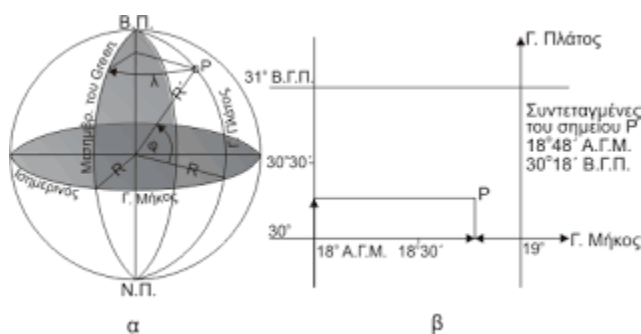
Γενικά

Τα συστήματα αναφορά ή αλλιώς datum ονομάζονται εκείνα τα συστήματα Γεωδαισίας που καθορίζουν το μέγεθος και το σχήμα της Γης. Ο βασικός σκοπός της Γεωδαισίας είναι να αποτυπώσει σε μία δεδομένη χρονική στιγμή τη θέση στην οποία βρίσκονται τα σημεία σε ένα χώρο. Αυτή η διαδικασία πραγματοποιείται μέσω του Συστήματος Αναφοράς, το οποίο αποτελεί το σύνολο των συστημάτων και παραμέτρων συντεταγμένων που σχετίζεται με ένα συγκεκριμένο χώρο της φυσικής γήινης επιφάνειας ή και ολόκληρη τη γη και μέσω του οποίου ορίζονται οι θέσεις σημείων- αντικειμένων και ερευνάται η κίνηση τους μέσα στο χρόνο. Το Σύστημα των Συντεταγμένων αποτελεί την μέθοδο στην οποία γίνεται προσδιορισμός της θέσης οποιουδήποτε σχήματος του χώρου εντός αυτού, διαμέσου των αριθμών – παραμέτρων.

1.3.1 Συστήματα Αναφοράς

Τα Συστήματα Αναφοράς στη Γεωδαισία, αποτελούν ένα σημαντικό εργαλείο που συμπληρώνει τις αναλύσεις σε μαθηματικό και γεωμετρικό επίπεδο και τις αποδόσεις και τους υπολογισμούς χαρτών ή διαγραμμάτων. Αναλυτικότερα, το Σύστημα Αναφοράς μετατρέπει τις γεωδαιτικές μετρήσεις μέσα από ειδικούς υπολογισμούς σε συντεταγμένες εντοπισμού σημείων, οι οποίες είναι απαραίτητες για την απόδοση της φυσικής γήινης επιφάνειας, για τον εντοπισμό του στίγματος στη ναυσιπλοΐα καθώς και την γραφική ή ψηφιακή περιγραφή τμήματος γης. Επομένως, τα Συστήματα Αναφοράς συμβάλλουν στον προσδιορισμό των παραμέτρων που ορίζουν τις θέσεις, για κάθε σημείο του χώρου, διαμορφώνουν το σχέδιο πλοήγησης των πλοίων και υπολογίζουν αποστάσεις, εμβαδά και γωνίες ενός χώρου. Σε περιπτώσεις όπου χρειάζεται δορυφορικός εντοπισμός, τότε υπάρχει αντικατάστασή του από τους τεχνητούς δορυφόρους, που παρά τις υψηλές τους ταχύτητες, έχουν απόλυτη ακρίβεια θέσης. Σε εθνικό επίπεδο, ο κρατικός φορέας είναι αρμόδιος για την ίδρυση των δικτύων αναφοράς. Στην Ελλάδα υπάρχει το Κρατικό Γεωδαιτικό Δίκτυο, με χιλιάδες τριγωνομετρικά σημεία που οι συντεταγμένες τους εκφράζονται στο

«Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 87» (Εισαγωγή στη Γεωδαισία Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, 2007:57-58)



Εικόνα 37. Γεωγραφικό μήκος – πλάτος

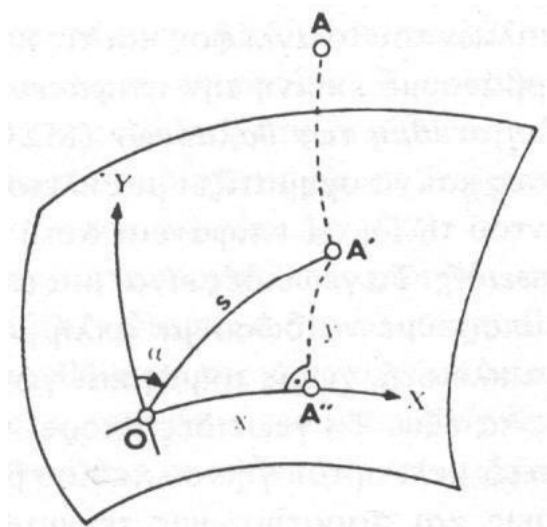
Πηγή: geo.auth.gr

1.3.2 Συστήματα Προβολών

Γενικά

Με τον όρο Προβολή, όπως αναφέραμε στο Κεφάλαιο 1^ο (σ.4), δηλώνεται η γεωμετρική μέθοδος ή η αναλυτική έκφραση με την οποία μπορεί να αποκατασταθεί μια αμφιμονοσήμαντη αντιστοιχία μεταξύ σημείων της επιφάνειας της Γης και των σημείων ενός επιπέδου εκλογής. Οι συναρτησιακές σχέσεις ονομάζονται συνήθως εξισώσεις απεικόνισης.

Η ορθή προβολή σημείου επί επιπέδου ή άλλης επιφάνειας, αποτελεί το σημείο στο οποίο τέμνεται η επιφάνεια από τη κάθετο η οποία αρχίζει από το σημείο. Η κάθετος εκ του σημείου προς την επιφάνεια λέγεται προβάλλουσα του σημείου (Παναγιωτόπουλος & Καριώτης, 2001:2).



Εικόνα 38. Σχηματική Παράσταση της μεθόδου προβολών

Πηγή: (Σαββαΐδης, Υφαντής, & Λαλάκης, 2010)

Ο προσδιορισμός της θέσης του σημείου στο χώρο, στηρίζεται στη μέθοδο των προβολών. Η θέση του σημείου A' πάνω στην επιφάνεια προβολής, ορίζονται από τις συντεταγμένες του – ορθογώνιες y, x , και πολικές δ, s που αναφέρονται σε ένα σύστημα αξόνων YOX με γνωστή αρχή O .

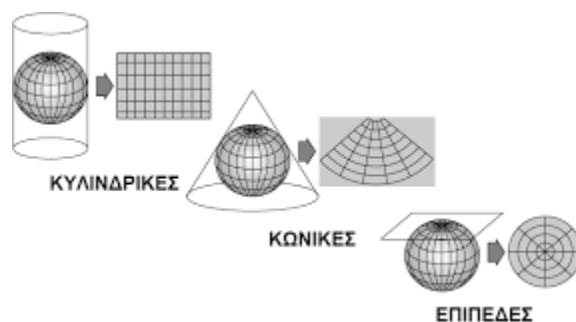
Στην τοπογραφία, το σχήμα που χρησιμοποιείται είναι το γήινο ελλειψοειδές, το οποίο είναι πεπλατυσμένο στους πόλους, το κέντρο του ταυτίζεται με αυτό της μάζας της Γης και έχει σχεδόν ταυτόσημο άξονα περιστροφής με τη Γη. Τα γωνιακά μεγέθη γεωγραφικό μήκος και γεωγραφικό πλάτος ορίζουν ένα σημείο πάνω στο ελλειψοειδές, τα οποία αναφέρονται στο νοητό κέντρο του ελλειψοειδούς μέσω των καρτεσιανών συντεταγμένων x, y, z ως προς το γεωκεντρικό σύστημα συντεταγμένων $OXYZ$.

Το γεωγραφικό πλάτος ϕ είναι η σχηματιζόμενη γωνία από την κάθετο στο γήινο ελλειψοειδές και το ισημερινό επίπεδο, η οποία ανήκει στο διερχόμενο από το P μεσημβρινό επίπεδο. Το γεωγραφικό πλάτος ϕ λαμβάνει τιμές από -90° στο Νότιο Πόλο έως $+90^\circ$ στον Βόρειο Πόλο, με μηδέν στον ισημερινό.

Το γεωγραφικό μήκος λ αποτελεί τη δίεδρη γωνία που σχηματίζεται από το μηδενικό μεσημβρινό επίπεδο και το ανάλογο μεσημβρινό επίπεδο που διέρχεται από το P . Οι τιμές είναι μεταβλητές και κυμαίνονται από το 0° έως 360° με φορά προς ανατολάς (Σαββαΐδης, Υφαντής, & Λαλάκης, 2010:56-58).

Πέρα από το σύστημα των ορθών προβολών απαντώνται και άλλα είδη και με τα οποία αποδίδουν καλύτερες αναπαραστάσεις επιφανειών που δεν είναι δυνατόν να αναπτυχθεί πάνω σε επίπεδα φύλλα, όπως είναι τα διαγράμματα και οι χάρτες. Η δυνατότητα αυτή είναι εξέχουσας σημασίας μεταφέροντας σχήματα μιας μη αναπτυκτής επιφάνειας πάνω σε επίπεδο, επιτρέπεται η εκτέλεση υπολογισμών σε αυτά, με τη βοήθεια απλών σχέσεων της επίπεδης τριγωνομετρίας. Με αυτού του είδους τις προβολές αξιοποιούνται η τήρηση των γωνιών και του εμβαδού, της κλίμακας και της κατεύθυνσης. Το σύστημα το οποίο επιλέγεται κάθε φορά, εξαρτάται τι έκταση επιθυμούμε να απεικονίσουμε αλλά και από το είδος και τον σκοπό που θα χρησιμεύσει ο χάρτης. Επιγραμματικά, τα είδη των απεικονίσεων – προβολών διακρίνονται σε κυλινδρικά, κωνικά, επίπεδα ή αζιμουθιακά. Επιπλέον, με βάση τον άξονα απεικόνισης προς την περιστροφή της Γης οι προβολές διακρίνονται σε ορθές, όταν ο άξονας απεικόνισης είναι παράλληλος προς τον πολικό άξονα, εγκάρσιες, όταν ο άξονας απεικόνισης είναι κάθετος προς τον πολικό άξονα και τέλος, πλάγιες, όταν ο άξονας προβολής είναι λοξός. (Παναγιωτόπουλος & Καριώτης, 2001:2- 5).





Εικόνα 39. Είδη προβολών

Πηγή: <https://opencourses.upatras.gr>

1.4. Συστήματα προβολών στην Ελλάδα

Στον ελλαδικό χώρο χρησιμοποιούνται σήμερα ποικίλα Γεωδαιτικά Συστήματα Αναφοράς σε συνδυασμό με διάφορα προβολικά συστήματα. Τα κύρια Προβολικά συστήματα που χρησιμοποιούνται σήμερα στην Ελλάδα είναι:

1. Το προβολικό σύστημα HATT : χρησιμοποιείται κυρίως για τη διανομή των χαρτών της Γ.Υ.Σ κλίμακας 1:100.000 , 1:50.000 και 1:5.000 οι οποίοι καλύπτουν συστηματικά όλη την επιφάνεια της χώρας.
2. Το προβολικό σύστημα 3 μοιρών (TM3ο) το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την απεικόνιση της Επιχείρηση Πολεοδομικής Ανασυγκρότησης (ΕΠΑ) και τη διαμόρφωση φωτογραμμετρικών διαγραμμάτων σε κλίμακα 1:5.000 και 1:1.000
3. Το προβολικό σύστημα ED50 & U.T.M το οποίο χρησιμοποιείται κυρίως για στρατιωτικούς σκοπούς.
4. Το προβολικό Σύστημα ΕΓΣΑ 87 προσφέρει ένα ενιαίο και μοναδικό σύστημα συντεταγμένων για όλο τον Ελλαδικό χώρο. Το ΕΓΣΑ 87 έχει άμεση εφαρμογή του δορυφορικού συστήματος εντοπισμού θέσης GPS, αφού είναι απόλυτα συμβατό με το Παγκόσμιο Σύστημα WGS84 που χρησιμοποιείται από το GPS. Αποτελεί το επίσημο προβολικό σύστημα της Ελλάδας προσφέροντας συνολική αναφορά για τη χώρα, καθώς έχει υιοθετηθεί από τις περισσότερες δημόσιες υπηρεσίες και οργανισμούς (Σεϊταρίδης, 2017:18).

Πίνακας 3.1				
Κατηγορίες απεικονίσεων				
ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΙΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ		ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΚΤΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ		ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΕΡΜΗΝΕΙΑ
	Ιδιότητες		Επιφάνεια απεικόνισης	
1. Σύμμορφες ή Ισογώνιες	Διατήρηση των γωνιών ή της ομοιότητας των σχημάτων	1. Κυλινδρικές	Κύλινδρος	1. Πλήρως ερμηνεύμενες γεωμετρικά
2. Ισοδύναμες ή Ισομβαδικές	Διατήρηση του εμβαδού	2. Κωνικές	Κώνος	2. Μαθηματικές που δεν ερμηνεύονται γεωμετρικά (και δεν χρησιμοποιούνται από, χαρτογραφική άποψη).
3. Ισαπέχουσες ή Ισομετρικές	Διατήρηση των μηκών ορισμένων χαρακτηριστικών γραμμών	3. Επίπεδες	Επίπεδο	3. Ενδιάμεσες των παραπάνω που ερμηνεύονται με κάποιο βαθμό προσέγγισης
4. Αφυλακτικές	Καμιά από τις παραπάνω ιδιότητες και ιδιαίτερα την 1 και 2	Οι απεικονίσεις αυτές μπορεί να λέγονται επί πλέον και ορθές, λοξές, πολικές, εγκάρσιες κλπ. ανάλογα με τη θέση των αξόνων του κυλίνδρου ή του κώνου ή ανάλογα με τη θέση του επιπέδου, κατά περίπτωση		
ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Οι παραπάνω ονομασίες/κατηγορίες συνδυάζονται και με τα ονόματα αυτών που τις δημιούργησαν (π.χ. Gauss, Lambert, Mercator κλπ.) με αποτέλεσμα ένα μεγάλο πλήθος ονομασιών απεικονίσεων.				

Εικόνα 40. Κατηγορίες απεικονίσεων – προβολών

Πηγή: <https://opencourses.upatras.gr>

1.4.1 Το σύστημα Hatt

Το σύστημα Hatt εφαρμόζεται στην Πλάγια Αζιμουθιακή Ισαπέχουσα Προβολή και στο ελλειψοειδές Bessel (με μεγάλο ημιάξονα $a=6.377.397,155\text{m}$ και επιπλάτυνση $f=0,003342773$). Η απεικόνιση αυτή διατηρεί αναλλοίωτα τα μήκη στοιχειωδών γραμμών από το ελλειψοειδές στο επίπεδο, κατά τις διευθύνσεις που συνδέουν το κέντρο της προβολής με τα σημεία του χώρου. Σύμφωνα με το σύστημα αυτό η χώρα έχει χωριστεί σε 130 περίπου σφαιροειδή τραπέζια διαστάσεων $30' \times 30'$, κάθε ένα από τα οποία αποτελεί και διαφορετικό τοπικό σύστημα, έχοντας ως αφετηρία το Αστεροσκοπείο Αθηνών. Σήμερα, το σύστημα αυτό βρίσκεται σε φθίνουσα χρήση λόγω της ασυμβατότητάς του με τις σύγχρονες τεχνολογίες καθώς δεν μπορούν εύκολα σε αυτό να εκφραστούν δεδομένα προερχόμενα από την τεχνολογία των GPS. (Σεϊταρίδης, 2017:19)

1.4.2. Το σύστημα UTM

Το σύστημα αυτό εφαρμόζεται στην Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή απεικόνιση και αρχικά στο ελλειψοειδές Hayford. Στη σημερινή εποχή, το ελλειψοειδές Hayford αντικαταστάθηκε από το ελλειψοειδές GRS-80 (με μεγάλο ημιάξονα $a=6378137\text{m}$

και επιπλάτυνση $f=1/298,25722$). Η Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή διατηρεί αναλλοίωτη τη μορφή στοιχειωδών σχημάτων από το ελλειψοειδές στο επίπεδο.

Στο σύστημα αυτό η επιφάνεια της γης χωρίζεται σε 60 τοπικά συστήματα πλάτους 6° η κάθε μία. Η Ελλάδα απεικονίζεται σε δύο ζώνες με κεντρικούς μεσημβρινούς αντίστοιχα $\lambda_0=21^\circ$ (34η ζώνη) και $\lambda_0=27^\circ$ (35η ζώνη) από το μεσημβρινό του Greenwich. Το σύστημα UTM έχει παγκόσμια χρήση και στην Ελλάδα το διαχειρίζεται αποκλειστικά η Γενική Υπηρεσία Στρατού (Σεϊταρίδης, 2017:20).

1.4.3. Το σύστημα ΕΜΠ-3° (Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή)

Το σύστημα ΕΜΠ εφαρμόζεται στην Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή και στο ελλειψοειδές Bessel (με μεγάλο ημιάξονα $a=6.377.397,155\text{m}$ και επιπλάτυνση $f=0,003342773$). Με το σύστημα ΕΜΠ-3° η χώρα επιμερίζεται σε τρεις ζώνες πλάτους 3° , με αφετηρία το Αστεροσκοπείο Αθηνών. Το σύστημα της ΕΜΠ δημιουργήθηκε για τις ανάγκες του Υπουργείου Δημοσίων Έργων λόγω των μειονεκτημάτων που παρουσίαζε το σύστημα Hatt. Η Επιχείρηση Πολεοδομική Ανασυγκρότηση (ΕΠΑ'83) βασίστηκε σε αυτό το σύστημα αναφοράς. Σήμερα, παρουσιάζει και αυτό φθίνουσα χρήση καθώς αντικαθίσταται από το ΕΓΣΑ'87 (Σεϊταρίδης, 2017:21).

1.4.4. Το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ'87)

Το σύστημα ΕΓΣΑ'87 εφαρμόζεται στην Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή και στο ελλειψοειδές GRS-80 (με μεγάλο ημιάξονα $a=6378137\text{m}$ και επιπλάτυνση $f=1/298,25722$). Με το σύστημα αυτό η χώρα περιέχεται σε μία μόνο ζώνη με κεντρικό μεσημβρινό $\lambda_0=24^\circ$ από το 22 μεσημβρινό του Greenwich. Όπως και στις άλλες εφαρμογές της Εγκάρσιας Μερκατορικής Προβολής οι παραμορφώσεις αυξάνονται ανάλογα με το τετράγωνο της απόστασης από τον κεντρικό μεσημβρινό. Οι μέγιστες παραμορφώσεις στην έκταση της χώρας φθάνουν στα 670 ppm. Το σύστημα ΕΓΣΑ'87 συμβαδίζει με τις απαιτήσεις της σύγχρονης τεχνολογίας καθώς εφαρμόζεται σε γεωκεντρικό ελλειψοειδές και αποτελεί πλέον σήμερα το επίσημο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς της χώρας. Την ευθύνη της διαχείρισης του συστήματος έχει ο Οργανισμός Κτηματολογίου και Χαρτογραφίσεων Ελλάδας (ΟΚΧΕ) (Σεϊταρίδης, 2017:22).

Κεφάλαιο 2^ο Μονάδες μέτρησης

Η μέτρηση ενός μεγέθους αφορά την σύγκριση αυτού με άλλο ομοειδές, το οποίο ονομάζεται μονάδα μέτρησης. Η μεταξύ τους σχέση αποδίδεται από τον αριθμό που προκύπτει σαν πηλίκο του μετρούμενου μεγέθους προς τη μονάδα μέτρησης. Στις τοπογραφικές εργασίες χρησιμοποιούνται οι γωνίες, τα μήκη και τα εμβαδά των επιφανειών.

2.1 Μονάδες μέτρησης μηκών

Το μήκος αποτελεί ένα μονοδιάστατο διάνυσμα με διάσταση [L]. Για τη μέτρησή του πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα όργανο, το οποίο θα έχει μήκος ίσο με το χρησιμοποιούμενο πρότυπο μήκος. Το κυρίαρχο παγκόσμιο πρότυπο μήκος είναι το μέτρο (metre). Ένα μέτρο ορίζεται σαν 1.650.763,73 μήκη κύματος σε κενό αέρος από την ανεμπόδιστη διάσπαση $2p_{10}-5d_5$ του στοιχείου ^{86}Kr . Παρακάτω δίνονται τα πολλαπλάσια και τα υποπολλαπλάσια του μέτρου που χρησιμοποιούνται στην τοπογραφία.

Τα πολλαπλάσια του μέτρου είναι:

1 decamètre (dam) = 10 mètres

1 hectomètre (hm) = 100 mètres

1 kilomètre (km) = 1000 mètres

Τα υποπολλαπλάσια του μέτρου είναι:

1 decimètre (dm) = 1/10 mètre

1 centimètre (cm) = 1/100 mètre

1 millimètre (mm) = 1/1000 mètre (Παναγιωτόπουλος & Καριώτης, 2001:15)

2.2. Μονάδες μέτρησης γωνιών

Για τη μέτρηση γωνιών χρησιμοποιούνται κυρίως τρεις μονάδες: Η πρώτη είναι η μοίρα (degree) και είναι βασισμένη στο αγγλοσαξονικό σύστημα, στο οποίο κυριαρχεί το δωδεκαδικό αριθμητικό σύστημα. Η δεύτερη ονομάζεται βαθμός (grad) και στηρίζεται στο δεκαδικό σύστημα αρίθμησης. Η τρίτη είναι το γνωστό από τη γεωμετρία ακτίνιο (rad).

Η μονάδα μέτρησης γωνιών, σύμφωνα με το αγγλοσαξονικό σύστημα είναι η μοίρα

(degree), που προκύπτει από τη σχέση $1^\circ = \frac{1}{360}$ του πλήρους κύκλου.

Μοίρα είναι η μονάδα μέτρησης γωνιών, που ισούται με $\frac{1}{360}$ του πλήρους κύκλου.

Κάθε μοίρα έχει τα ακόλουθα υποπολλαπλάσια:

$$1' \text{ (πρώτο λεπτό)} = \left(\begin{array}{c} 1 \\ 60 \end{array} \right)^\circ$$
$$1'' \text{ (δεύτερο λεπτό)} = \left(\begin{array}{c} 1 \\ 60 \end{array} \right)'$$

Η κύρια χρησιμοποιούμενη στην Τοπογραφία μονάδα μέτρησης γωνιών είναι ο βαθμός (grad). Όλα τα Τοπογραφικά όργανα έχουν κατασκευασθεί σύμφωνα με το δεκαδικό σύστημα, καθώς δεν χρειάζεται να γίνονται πράξεις συμμιγών αριθμών, δίνονται έτοιμες μετρήσεις για χρήση σε μαθηματικές πράξεις. Σύμφωνα με αυτό το σύστημα, κάθε κύκλος χωρίζεται σε 4 ορθές γωνίες. Κάθε ορθή γωνία διαιρείται σε 100 grads. Επομένως, ορίζοντας τον βαθμό, μπορούμε να πούμε:

Βαθμός είναι η μονάδα μέτρησης γωνιών που αποτελεί το $\frac{1}{100}$ της ορθής γωνίας.

Οι υποδιαιρέσεις του βαθμού ακολουθούν και αυτές το ίδιο σκεπτικό:

$$1c \text{ (εκατοστό)} = \frac{1}{100} \text{ grad}$$

$$1cc \text{ (εκατοστό του εκατοστού ή δεκάκις χιλιοστό)} = \frac{1}{100} c$$

Το ακτίνιο (rad) είναι η μονάδα, που χρησιμοποιείται κυρίως στα μαθηματικά.

Το rad είναι η γωνία που βαίνει σε τόξο ίσου μήκους με την ακτίνα ενός κύκλου.

Στις μαθηματικές πράξεις χρησιμοποιούνται προσεγγίσεις του, όπως $\pi=3.1415926536$, ενώ για συνήθεις πράξεις $\pi=3.14$. Συνεπώς, το ημικύκλιο ισούται με π rad και ο κύκλος ισούται με 2π rad (Εισαγωγή στη Γεωδαισία Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, 2007:83).

2.3. Μονάδες μέτρησης επιφανειών

Η επιφάνεια σαν φυσική έννοια έχει δύο διαστάσεις μήκους, δηλαδή $E = [L \cdot L]$. Η μονάδα μέτρησης των επιφανειών στο δεκαδικό σύστημα είναι το τετραγωνικό μέτρο (m^2). Ένα τετραγωνικό μέτρο είναι μια τετραγωνική επιφάνεια με πλευρές ίσες με 1m. (Παναγιωτόπουλος & Καριώτης, 2001:16)

2.4 Μονάδες μέτρησης όγκων

Η φυσική έννοια του όγκου είναι μέγεθος τριών διαστάσεων μήκους, δηλαδή $V = [L \cdot L \cdot L]$. Άρα, οι μονάδες μέτρησης κάθε διάστασης του μεγέθους θα είναι μονάδες μέτρησης μήκους. Τελικά, η μονάδα μέτρησης του όγκου θα είναι η μονάδα μέτρησης του μήκους υψωμένη στην τρίτη δύναμη. Με τους παραπάνω συλλογισμούς βλέπουμε ότι η μονάδα όγκου στο δεκαδικό σύστημα είναι το ένα κυβικό μέτρο (m^3). Η φυσική έννοια του κυβικού μέτρου είναι ένας κύβος με πλευρές 1m. Το ένα κυβικό μέτρο είναι αρκετά μεγάλη μονάδα και δεν έχει πολλαπλάσια, που να χρησιμοποιούνται στις μετρήσεις της Τοπογραφίας. Τα υποπολλαπλάσια

χρησιμοποιούνται μερικές φορές, αν και σπάνια. Μερικά χρησιμοποιούμενα υποπολλαπλάσια του κυβικού μέτρου είναι:

$1 \text{ cm}^3 = 10^{-6} \text{ m}^3$ κυβικό εκατοστό

$1 \text{ liter} = 10^{-3} \text{ m}^3$ λίτρο (Παναγιωτόπουλος & Καριώτης, 2001:16)

2.5 Μονάδες μέτρησης υψομέτρων

Η ισοδυναμική επιφάνεια έλξης και περιστροφής της Γης, που πλησιάζει περισσότερο τη μέση στάθμη της επιφάνειας της θάλασσας (Μ.Σ.Θ) με ακρίβεια $\pm 1 \text{ m}$ ονομάζεται Γεωειδές. Η Μ.Σ.Θ. θεωρείται ότι έχει διορθωθεί από τις επιδράσεις των μεταβολών της πυκνότητας του θαλάσσιου ύδατος, των κυμάτων, των παλιρροιών, των ρευμάτων και των ατμοσφαιρικών συνθηκών.

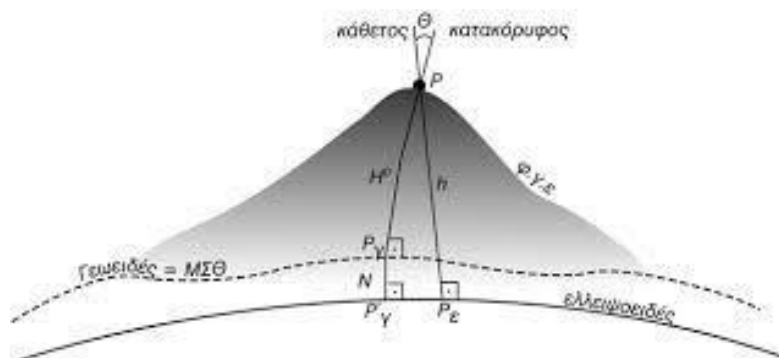
Το Γεωειδές είναι μια κλειστή και συνεχής επιφάνεια που εκτείνεται μερικώς μέσα στο στερεό σώμα της Γης. Ειδικότερα, είναι μια ισοδυναμική επιφάνεια που έχει πάντα τα κοίλα προς τα μέσα. Η καμπυλότητά του παρουσιάζει ασυνέχειες σε σημεία με απότομες μεταβολές της πυκνότητας, συνεπώς δεν είναι μια αναλυτική επιφάνεια, δηλαδή δεν περιγράφεται με απλές μαθηματικές σχέσεις. Γι' αυτό δεν είναι κατάλληλη επιφάνεια αναφοράς για προσδιορισμό οριζοντιογραφικών θέσεων σημείων της Φ.Γ.Ε..

Αντίθετα, είναι πολύ βολική επιφάνεια αναφοράς για υψομετρικό προσδιορισμό θέσης, διότι δεν απαιτούνται πολύπλοκες μαθηματικές σχέσεις. Η γραμμική απόσταση που μετριέται κατά μήκος της κατακορύφου από ένα σημείο Σ της Φ.Γ.Ε. έως το Γεωειδές σημείο ΣΓ, ονομάζεται ορθομετρικό υψόμετρο Η του σημείου Σ (Εικόνα 41).

Κάθε σημείο Σ της Φ.Γ.Ε. ισοδυναμεί με ένα μόνο σημείο στο ελλειψοειδές που υλοποιείται με το ίχνος ΣΕ της καθέτου από το σημείο πάνω σ' αυτό. Επομένως, τα δύο σημεία Σ και ΣΕ έχουν τις ίδιες γεωδαιτικές συντεταγμένες (φ, λ) ενώ το μήκος της καθέτου ΣΣΕ ορίζεται ως το γεωμετρικό υψόμετρο όπως φαίνεται και στην εικόνα 41.

Το γεωμετρικό υψόμετρο ενός σημείου μπορεί να προσδιοριστεί με παρατηρήσεις προς τεχνητούς δορυφόρους και πιο συγκεκριμένα με τη χρήση του συστήματος G.P.S. Όπως είναι φυσικό η κάθετη στο ελλειψοειδές από το σημείο Σ δεν ταυτίζεται

με την κατακόρυφη αλλά διαφέρουν κατά μια γωνία θ η οποία καλείται απόκλιση κατακορύφου. Η θέση και η μορφή Γεωειδούς προσδιορίζεται με την βοήθεια αστρογεωδαιτικών παρατηρήσεων ή/και μετρήσεων βαρύτητας ή/και αναλύοντας την κίνηση τεχνητών δορυφόρων ή/και με συνδυασμό μετρήσεων με τεχνητούς δορυφόρους (σύστημα G.P.S.) και επίγειων γεωδαιτικών μετρήσεων.



Εικόνα 41. Γεωειδές

Πηγή: <https://opencourses.upatras.gr>

Από τις μετρήσεις αυτές υπολογίζονται οι αποχές N του Γεωειδούς από το ελλειψοειδές στις διάφορες θέσεις που έχουν προεπιλεγεί. Εξαιτίας της φύσης του, το Γεωειδές δεν είναι παντού παράλληλο με το ελλειψοειδές συνεπώς η απόσταση μεταξύ τους δεν είναι σταθερή. Η απόσταση αυτή μπορεί να φτάσει τα 100m ενώ η μέση τιμή της είναι $\pm 30m$. [1] Μεταξύ του ορθομετρικού και γεωμετρικού υψομέτρου του ίδιου σημείου ισχύει η σχέση: $h = H + N$ (1.2.1) όπου: h – το γεωμετρικό υψόμετρο H – το ορθομετρικό υψόμετρο N – η αποχή του Γεωειδούς.

Από την παραπάνω σχέση προκύπτει και η σχέση: $\Delta h = \Delta H + \Delta N$ (1.2.2) η οποία αναφέρεται σε δύο σημεία, και δεδομένου ότι το Γεωειδές και το ελλειψοειδές δεν είναι παράλληλα, είναι εμφανές ότι $\Delta h \neq \Delta H$. (Εισαγωγή στη Γεωδαισία Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, 2007:42-43).

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στην υψομετρία ποικίλλουν ανάλογα με τον τρόπο εκτέλεσης της υψομετρίας (χωροστάθμησης) και διακρίνονται σε γεωμετρική, τριγωνομετρική και βαρομετρική. Η γεωμετρική υπολογίζει η υψομετρική διαφορά μεταξύ δύο σημείων με τη χρησιμοποίηση του χωροβάτη. Συγκεκριμένα, τοποθετείται ο χωροβάτης μεταξύ των σημείων A και B

και παίρνονται οι ενδείξεις α_1 και α_2 του χωροσταθμικού πήχυ, ο οποίος τοποθετείται πρώτα στο σημείο A και μετά στο σημείο B. Η υψομετρική διαφορά των σημείων A και B είναι: $h = \alpha_1 - \alpha_2$.

Εάν η απόσταση των δύο σημείων είναι μεγαλύτερη από 50, ή η κλίση του εδάφους δεν είναι ομαλή, τότε ακολουθείται η διαδικασία που δείχνει το Η υψομετρική διαφορά των σημείων A και Γ είναι:

$$h = a + b + c + d \cdot z.$$

Ο τριγωνομετρικός προσδιορισμός της υψομετρικής διαφοράς μεταξύ δύο σημείων A και Γ επιτυγχάνεται με τον υπολογισμό της οριζόντιας απόστασης των παραπάνω σημείων και με τη μέτρηση της γωνίας, που σχηματίζει η διεύθυνση ΑΓ με το οριζόντιο επίπεδο που περνά από το σημείο A.

Τέλος, η βαρομετρική μέθοδος υπολογίζει κατά προσέγγιση το υψόμετρο διάφορων σημείων στην επιφάνεια της Γης. Οι τιμές που δίνει το βαρόμετρο δεν είναι απόλυτα ακριβείς, επειδή τα διάφορα ατμοσφαιρικά φαινόμενα μπορούν να επηρεάσουν την ατμοσφαιρική πίεση.

Παρ' όλα αυτά το βαρόμετρο χρησιμοποιείται συχνά, γιατί δίνει γρήγορα τις τιμές υψόμετρων διάφορων σημείων της επιφάνειας της Γης.

Με τον όρο βαρομετρική υψομετρική βαθμίδα εννοούμε τον αριθμό σε μέτρα που πρέπει να ανέβει κανείς, για να πέσει η ατμοσφαιρική πίεση κατά 1 mm. Ο αριθμός αυτός σε χαμηλές περιοχές φτάνει τα 11 m περίπου για 0° C, αλλά με την αύξηση του υψόμετρου η βαθμίδα γίνεται μεγαλύτερη.

Τα βαρόμετρα που χρησιμοποιούν συνήθως οι Γεωγράφοι και οι Γεωλόγοι στις εργασίες υπαίθρου είναι μεταλλικά βαρόμετρα, τα οποία χρησιμοποιούνται εύκολα. Ο δείκτης των μεταλλικών βαρόμετρων δείχνει απ' απευθείας την τιμή της ατμοσφαιρικής πίεσης και το υψόμετρο του σημείου στο οποίο γίνεται η μέτρηση (www.geo.auth.gr/322/chapter064.html).

Κεφάλαιο 3^ο Στοιχεία θεωρίας Σφαλμάτων

Γενική αναφορά

Στη διαδικασία μέτρησης μεγέθους υπάρχουν πολλοί παράγοντες που επιδρούν έτσι ώστε, η ευρεθείσα τιμή να μη ταυτίζεται με την αληθινή. Οι πηγές των σφαλμάτων αποδίδονται στις ατέλειες των χρησιμοποιούμενων οργάνων, μέσω των οποίων γίνονται οι μετρήσεις ή παρατηρήσεις, στις μεταβολές συνθηκών περιβάλλοντος (ατμοσφαιρική διάθλαση, διαστολές-συστολές κλπ), στις ατέλειες των αισθήσεων του παρατηρητή (κυρίως της όρασης). Ένα μέγεθος προσδιορίζεται άμεσα, με απ' ευθείας μετρήσεις, ή έμμεσα, μετρώντας ένα ή περισσότερα μεγέθη που συνδέονται με το ζητούμενο.

Προκειμένου να υπάρξει μεγαλύτερη σιγουριά για τον προσδιορισμό της τιμής ενός μεγέθους, πραγματοποιούνται περισσότερες από μία μετρήσεις. Έτσι προκύπτει η ανάγκη του προσδιορισμού της καλύτερης τιμής του μεγέθους χρησιμοποιώντας το σύνολο των μετρήσεων καθώς και του προσδιορισμού της ποιότητας των μετρήσεων και της καλύτερης τιμής (Εισαγωγή στη Γεωδαισία Πανεπιστημιακές Σημειώσεις , 2007:101).

3.1 Σφάλματα Μετρήσεων

Τα σφάλματα διακρίνονται σε τρεις βασικές κατηγορίες

α. Τα χονδροειδή σφάλματα τα οποία προέρχονται συνήθως από απροσεξία ή απειρία του παρατηρητή. Αυτά συνήθως έχουν μεγάλη τιμή για αυτό είναι εύκολο να εντοπισθούν και να εξαλειφθούν, επαναλαμβάνοντας τη μέτρηση του μεγέθους.

β. Συστηματικά σφάλματα: Αυτή η κατηγορία προέρχεται από σφάλματα των χρησιμοποιούμενων οργάνων. Στη περίπτωση που μετράται ένα μέγεθος τμηματικά, το συστηματικό σφάλμα του μεγέθους ισούται με το άθροισμα των συστηματικών σφαλμάτων που προκύπτουν στις μετρήσεις κάθε τμήματος. Επομένως, τέτοιου είδους σφάλματα παρουσιάζουν σταθερότητα ή περιοδικότητα σε μέγεθος και πρόσημο και σε μεγάλη συχνότητα τα συστηματικά σφάλματα υπακούουν σε κάποιο

φυσικό νόμο οπότε μπορούν να υπολογιστούν ή ενδεχομένως να απαλειφθούν ακολουθώντας κατάλληλη μεθοδολογία στις μετρήσεις. Ένα μικρό ποσοστό όμως συστηματικών σφαλμάτων παραμένει, το οποίο είναι πιθανό να εντοπιστεί μετά την επεξεργασία των μετρήσεων.

γ. τυχαία σφάλματα των οποίων η πηγή και η προέλευση είναι γενικά άγνωστη, ακολουθούν τις μετρήσεις χωρίς να είναι δυνατή η αποφυγή τους και υπολογίζονται με στατιστικές μεθόδους

Γενικά, σφάλμα θεωρείται κάθε ακούσια απόκλιση από την εξ αντικειμένου αληθινή τιμή. Κανόνας είναι να αυξάνεται το πλήθος των μετρήσεων και να εκτελείται αριθμός προσδιορισμών μεγαλύτερος από εκείνον, που απαιτούν οι μαθηματικές ανάγκες της λύσης. Η μέθοδος αυτή βελτιώνει τα αποτελέσματα, αλλά ταυτόχρονα πρέπει να απαντηθούν ερωτήματα όπως, ποια θα είναι η τιμή που πρέπει να επιλεγεί σαν τιμή του μεγέθους από το σύνολο των μετρήσεων, κατά πόσο οι μετρήσεις αυτές είναι ακριβείς και πόσο ακριβές τελικά είναι το αποτέλεσμα (Παναγιωτόπουλος & Καριώτης, 2001:17), (Εισαγωγή στη Γεωδαισία Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, 2007:101).

3.2 Πιθανότερη τιμή σε ένα μέγεθος

Οι μετρήσεις ενός μεγέθους διακρίνονται σε ισοβαρείς και ανισοβαρείς. Ισοβαρείς ονομάζονται οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν από τον ίδιο παρατηρητή, με το ίδιο όργανο και τις ίδιες συνθήκες περιβάλλοντος. Ανισοβαρείς είναι οι μετρήσεις που έχουν γίνει ή από διαφορετικούς παρατηρητές, ή με άλλο όργανο, ή με άλλες συνθήκες περιβάλλοντος κλπ.

Αν μετρηθεί ένα μέγεθος με πολλές μετρήσεις προκύπτει το ερώτημα: ποια μέτρηση πλησιάζει περισσότερο στη πραγματική τιμή;

Αν με X ονομάσουμε την αληθή τιμή ενός μεγέθους, την οποία προσπαθούμε να προσδιορίσουμε με τη βοήθεια (v) μετρήσεων, με τα εξής αποτελέσματα $l_1, l_2, l_3, \dots, l_v$ τότε θα ονομάζονται αληθή σφάλματα οι ποσότητες

$$\sigma l_1 = X - l_1$$

$$\sigma l_2 = X - l_2$$

.....

$$\sigma l_v = X - l_v$$

Η πιθανότερη τιμή σε ένα μέγεθος ισούται με τον μέσο όρο των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν

$$l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_v$$

$$X_o = \frac{\quad}{v}$$

v

Πιθανά σφάλματα ονομάζονται οι διαφορές των μετρήσεων από την πιθανότερη τιμή, το οποίο σημαίνει ότι οι όποιες διαφορές, μοιράζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να επέρχεται μηδενισμός του αθροίσματός τους.

$$v_1 = X_o - l_1$$

$$v_2 = X_o - l_2$$

.....

$$v_v = X_o - l_v$$

$$[v] = n \cdot X_o - [l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_v] = n \cdot X_o - n \cdot X_o = 0$$

(Παναγιωτόπουλος & Καριώτης, 2001:17).

3.3 Βάρος ή αξία πιθανότερης τιμής

Έστω ότι υπάρχουν δύο σειρές μετρήσεων ισοβαρών.

Η πρώτη $l_1, l_2, l_3, \dots, l_v$ και

η δεύτερη $e_1, e_2, e_3, \dots, e_k$ όπου $v \geq k$

Προκειμένου να βρούμε τον μέσο της πρώτης σειράς μετρήσεων σε αυτή την περίπτωση εντοπίζουμε πως αυτός πλησιάζει περισσότερο τη αληθινή τιμή και επομένως χαρακτηρίζεται ότι έχει μεγαλύτερο βάρος ή μεγαλύτερη αξία από τη δεύτερη σειρά μετρήσεων (Παναγιωτόπουλος & Καριώτης, 2001:18).

3.4 Κριτήρια ακρίβειας σειράς μετρήσεων

Τα κριτήρια με τα οποία έχουμε ακριβή καταγραφή των μετρήσεων διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες οι οποίες είναι το μέσο αριθμητικό σφάλμα, το μέσο πιθανό σφάλμα και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα.

α. Μέσο αριθμητικό σφάλμα

Μέσο αριθμητικό σφάλμα μίας σειράς μετρήσεων ορίζεται το πηλίκο του αθροίσματος των απόλυτων τιμών των πιθανών σφαλμάτων $v_1, v_2, v_3, \dots, v_n$ δια του αριθμού των μετρήσεων.

β. Μέσο πιθανό σφάλμα

Έστω ότι για τη μέτρηση ενός μεγέθους παρουσιάστηκε μια σειρά σφαλμάτων. Τότε, χρειάζεται να τοποθετηθούν τα αριθμητικά σφάλματα κατά σειρά σε μέγεθος και σε απόλυτη τιμή. Αν το πλήθος των σφαλμάτων είναι περιττό, τότε η απόλυτη τιμή που βρίσκεται στη μέση της σειράς, δίνει το μέσο πιθανό σφάλμα μπ. Αν το πλήθος είναι άρτιο, τότε σαν μέσο πιθανό σφάλμα μπ υπολογίζεται το ημιάθροισμα των δύο μεσαίων διαφορών.

γ. Μέσο τετραγωνικό σφάλμα

Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα μ.τ.σ. προκύπτει εκ των αληθών σφαλμάτων $\sigma l_1, \sigma l_2, \dots, \sigma l_v$

$$\mu.τ.σ. = \sqrt{(\sigma l_1^2 + \sigma l_2^2 + \dots + \sigma l_v^2) / v}$$

Τέλος έχει αποδειχθεί ότι ισχύει $\mu.τ.σ. = \sqrt{[v] / (v-1)}$

Το μ.τ.σ. θεωρείται το ιδανικό κριτήριο για ασφαλή αποτελέσματα.

Μεταξύ των τριών σφαλμάτων ισχύουν με προσέγγιση

$$\mu_{\alpha} = 4 * \mu.τ.σ. / 5 \quad \mu_{\pi} = 2 * \mu.τ.σ. / 3 \text{ (Παναγιωτόπουλος \& Καριώτης, 2001:19).}$$

3.5 Βάρος μέτρησης ή μετρήσεων

Σε μία μέτρηση ή σε σειρά μετρήσεων ορίζεται σαν βάρος ο λόγος $P = c / \mu.τ.σ.$ όπου $c = \text{σταθερά} > 0$ και $\mu.τ.σ.$ το μέσο τετραγωνικό σφάλμα της μέτρησης.

Αν οριστεί $P=1$ τότε $\mu.τ.σ. = c$

Το $\mu.τ.σ.$ για $P=1$ ονομάζεται μέσο τετραγωνικό σφάλμα της μονάδος βάρους. Το βάρος είναι μέτρο σύγκρισης και όπως φαίνεται από τον τύπο είναι αντιστρόφως ανάλογο του $\mu.τ.σ.$ (Παναγιωτόπουλος & Καριώτης, 2001:18).

2.6 Νόμος μετάδοσης σφαλμάτων

Αν υποθεθεί ότι ένα μέγεθος X , υπολογίζεται έμμεσα σε συνάρτηση με τα μεγέθη $I_1, I_2, I_3, \dots, I_v$ δηλ. $X = f(I_1, I_2, I_3, \dots, I_v)$ Το πρόβλημα είναι να βρεθεί το $\mu.τ.σ.$ το οποίο έγινε για την εύρεση του μεγέθους X , όταν είναι γνωστά τα μέσα τετραγωνικά σφάλματα των $I_1, I_2, I_3, \dots, I_v$ (Παναγιωτόπουλος & Καριώτης, 2001:19).

Κεφάλαιο 4^ο Θεμελιώδη προβλήματα τοπογραφίας

Εισαγωγή

Ένα από τα βασικά προβλήματα της Γεωδαισίας είναι ο προσδιορισμός της σχετικής θέσης σημείων της επιφάνειας του εδάφους. Η σχετική θέση ενός σημείου Α ως προς κάποιο σημείο Β μπορεί να υπολογισθεί ως προς κάποιο κοινό, και για τα δύο σημεία, σύστημα συντεταγμένων. Επίσης μπορεί να προσδιορισθεί το μήκος μεταξύ των δύο σημείων και η γωνία διεύθυνσης αυτής της πλευράς. Αυτοί οι υπολογισμοί αποτελούν τα τρία θεμελιώδη προβλήματα της Γεωδαισίας ενώ ο συνδυασμός τους επιτρέπει την αντιμετώπιση ενός μεγάλου μέρους εφαρμογών στην Γεωδαισία.

Τα θεμελιώδη προβλήματα εφαρμόζονται, είτε άμεσα είτε έμμεσα, σε όλες τις Τοπογραφικές αποτυπώσεις για τον προσδιορισμό σημείων της επιφάνειας της γης. Η πιο διαδεδομένη Τοπογραφική εργασία είναι η Πολυγωνική Όδευση, που είναι η χάραξη μιας πολυγωνικής γραμμής στο έδαφος. Πρώτα γίνεται μέτρηση της γωνίας διεύθυνσης της πρώτης ευθυγραμμίας και των γωνιών θλάσης όλων των κορυφών της Όδευσης. Σε κάθε κορυφή της πολυγωνικής εγκαθίσταται το Τοπογραφικό όργανο και μετρούνται οι πολικές συντεταγμένες των σημείων, που είναι ορατά από τη στάση του οργάνου, με αποτέλεσμα στο τέλος της εργασίας να έχουμε τις πολικές συντεταγμένες όλων των σημείων της έκτασης (Δανιήλ, 2011 :81).

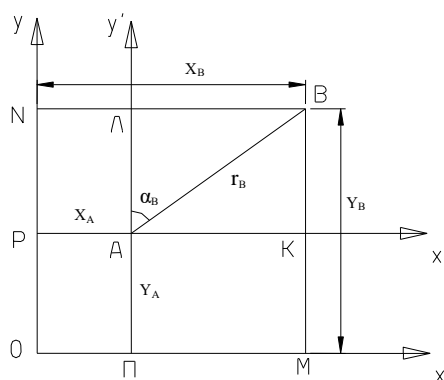
4.1 Πρώτο θεμελιώδες πρόβλημα

Το πρώτο θεμελιώδες πρόβλημα της Τοπογραφίας είναι το εξής:

Γνωρίζουμε τις ορθογώνιες συντεταγμένες ενός σημείου $A(X_A, Y_A)$. Επίσης γνωρίζουμε τη γωνία διεύθυνσης α_{AB} της ευθυγραμμίας AB και την οριζόντια απόσταση S_{AB} των σημείων A και B. Ζητούνται οι ορθογώνιες συντεταγμένες του σημείου B.

Στην Εικόνα 40, βλέπουμε σχεδιασμένες τις ορθογώνιες συντεταγμένες του σημείου A. Από τη γεωμετρία του σχήματος ισχύουν: $AP=X_A$ και $ΑΠ=Y_A$. Επίσης έχουν σχεδιασθεί η γωνία διεύθυνσης α_{AB} και η απόσταση $AB=S_{AB}$. Για να υπολογίσουμε τον υπολογισμό τις συντεταγμένες του σημείου B θεωρούμε βοηθητικό Καρτεσιανό σύστημα $Ox'y'$, που έχει αρχή το σημείο A και άξονες Ax' και Ay' παράλληλους προς τους γενικούς άξονες Ox και Oy αντίστοιχα.

Τα στοιχεία (S_{AB}, α_{AB}) ως προς το σύστημα αυτό, αποτελούν τις πολικές συντεταγμένες του σημείου B. Αφού γνωρίζουμε τις πολικές συντεταγμένες του σημείου B, μπορούμε να υπολογίσουμε τις ορθογώνιες συντεταγμένες του ως προς το βοηθητικό σύστημα $Ax'y'$. Έστω ότι οι συντεταγμένες του σημείου B ως προς αυτό το βοηθητικό σύστημα είναι X_B', Y_B' . Εφαρμόζοντας τους γνωστούς τύπους γνωστών μετατροπής πολικών συντεταγμένων σε ορθογώνιες έχουμε:



Εικόνα 42 . Πρώτο θεμελιώδες πρόβλημα

$$B\Lambda = X_B' = S_{AB} \cdot \eta\mu\alpha_{AB}$$

$$BK = Y_B' = S_{AB} \cdot \sigma\upsilon\nu\alpha_{AB}$$

Από το σχήμα βλέπουμε ότι $BN=B\Lambda+\Lambda N$ και $KM=BK+KM$. Τα τμήματα, όμως, ΛN και KM είναι ίσα με τις συντεταγμένες του σημείου A. Συνεπώς θα έχουμε:

$$BN = B\Lambda + \Lambda N = X_A + X_B' = X_A + S_{AB} \cdot \eta\mu\alpha_{AB}$$

$$BM = BK + KM = Y_A + Y_B' = Y_A + S_{AB} \cdot \sigma\upsilon\nu\alpha_{AB}$$

Οι αποστάσεις όμως BN και BM είναι οι ορθογώνιες συντεταγμένες του σημείου B στο γενικό σύστημα Oxy. Τελικά, λοιπόν, θα ισχύουν οι τύποι:

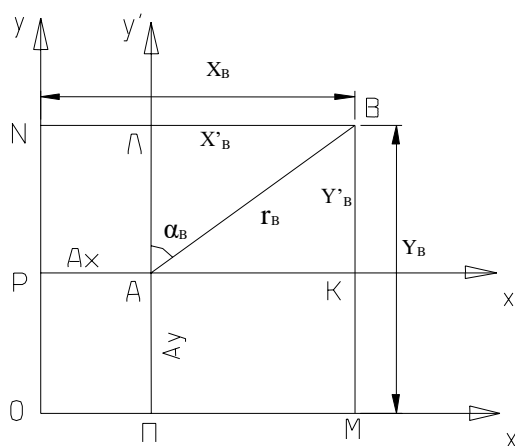
$$\begin{aligned} X_B &= X_A + S_{AB} \cdot \eta\mu\alpha_{AB} \\ Y_B &= Y_A + S_{AB} \cdot \sigma\upsilon\nu\alpha_{AB} \end{aligned}$$

Οι παραπάνω τύποι εκφράζουν τις ορθογώνιες συντεταγμένες του σημείου B με συναρτήσεις και περιλαμβάνουν μόνο τα γνωστά στοιχεία, όπως αυτά δόθηκαν στην εκφώνηση του προβλήματος (Δανιήλ, 2011 :77-78).

4.2. Δεύτερο θεμελιώδες πρόβλημα

Το δεύτερο θεμελιώδες πρόβλημα της Τοπογραφίας είναι:

Γνωρίζουμε τις ορθογώνιες συντεταγμένες δύο σημείων $A(X_A, Y_A)$ και $B(X_B, Y_B)$. Ζητούνται η γωνία διεύθυνσης α_{AB} και η απόσταση S_{AB} . Τα στοιχεία που ζητούνται α_{AB} και S_{AB} αποτελούν τις πολικές συντεταγμένες του σημείου B σε ένα βοηθητικό σύστημα, που έχει αρχή το σημείο A και διευθύνσεις αξόνων παράλληλες προς το γενικό σύστημα (Εικόνα 40).



Εικόνα 43 : Δεύτερο θεμελιώδες πρόβλημα

Θεωρούμε, συνεπώς, βοηθητικό σύστημα $Ax'y'$ με άξονες Ax' (παράλληλο προς τον Ox) και Ay' (παράλληλο προς τον Oy). Οι ορθογώνιες συντεταγμένες του σημείου B, ως προς αυτό το σύστημα, είναι $X_B' = X_B - X_A$ και $Y_B' = Y_B - Y_A$.

Από τους τύπους μετατροπής ορθογώνιων συντεταγμένων σε πολικές, με αντικατάσταση των παραπάνω σχέσεων, έχουμε:

$$\varepsilon_{\theta} = \varepsilon_{\alpha} = \frac{X_B'}{Y_B'} = \frac{X_B - X_A}{Y_B - Y_A}$$

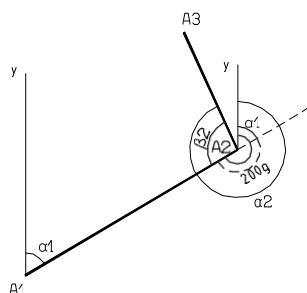
$$r = S_{AB} = \sqrt{X_B'^2 + Y_B'^2} = \sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2}$$

Από την εφαπτομένη της γωνίας α_{AB} υπολογίζουμε την γωνία. Αν η τετμημένη Bx' του σημείου B ως προς το βοηθητικό σύστημα είναι αρνητική, τότε αυξάνουμε τη γωνία κατά 200^{grad} (Δανιήλ, 2011 :79)

4.3 Τρίτο θεμελιώδες πρόβλημα

Το τρίτο θεμελιώδες πρόβλημα της Τοπογραφίας διατυπώνεται ως εξής: Σε μια πολυγωνική γραμμή $A_1A_2...A_n$ γνωρίζουμε τη γωνία διεύθυνσης α_1 της πρώτης πλευράς A_1A_2 καθώς και τις γωνίες θλάσης $\beta_2, \beta_3, ..., \beta_{n-1}$ των κορυφών $A_2, A_3, ..., A_{n-1}$. Ζητείται ο υπολογισμός της γωνίας διεύθυνσης α_{n-1} της τελευταίας πλευράς της πολυγωνικής γραμμής.

Για τη μελέτη του προβλήματος, θα εξετάσουμε πρώτα μια πολυγωνική με δύο μόνο ευθυγραμμίες, την $A_1A_2A_3$ (Εικόνα 42).



Εικόνα 44. : Τρίτο θεμελιώδες πρόβλημα σε δύο τμήματα πολυγωνικής

Στο παραπάνω σχήμα βλέπουμε ότι η γωνία διεύθυνσης της πλευράς A_2A_3 είναι α_2 . Η γωνία αυτή προκύπτει από τη στροφή του μηδενικού άξονα (y) δεξιόστροφα μέχρι να συναντήσει την ευθυγραμμία A_2A_3 . Όπως φαίνεται εύκολα στο σχήμα, η γωνία αυτή είναι: $\alpha_2 = \alpha_1 + 200 + \beta_2$

Γνωρίζοντας τη γωνία διεύθυνσης της πρώτης ευθυγραμμίας μιας πολυγωνικής αλλά και τη γωνία θλάσης της με τη δεύτερη ευθυγραμμία, μπορούμε να υπολογίσουμε τη γωνία διεύθυνσης της δεύτερης ευθυγραμμίας από τον παραπάνω τύπο. Επομένως, το τρίτο θεμελιώδες πρόβλημα ανάγεται στην διαδοχική εύρεση των γωνιών διεύθυνσης όλων των πλευρών της. Με βάση τον παραπάνω τύπο, αντικαθιστώντας διαδοχικά τα δεδομένα, θα έχουμε τις παρακάτω σχέσεις:

$$\alpha_2 = \alpha_1 + 200 + \beta_2$$

$$\alpha_3 = \alpha_2 + 200 + \beta_3$$

$$\alpha_4 = \alpha_3 + 200 + \beta_4$$

.....

$$\alpha_{v-1} = \alpha_{v-2} + 200 + \beta_{v-1}$$

Με πρόσθεση των σχέσεων κατά μέλη, έχουμε την εξίσωση:

$$(\alpha_2 + \alpha_3 + \dots + \alpha_{v-2}) + \alpha_{v-1} = \alpha_1 + (\alpha_2 + \alpha_3 + \dots + \alpha_{v-2}) + (v-2) \cdot 200 + \beta_2 + \beta_3 + \dots + \beta_{v-1}$$

Με απαλοιφή των ίσων όρων $(\alpha_2 + \alpha_3 + \dots + \alpha_{v-2})$ προκύπτει η γωνία διεύθυνσης της τελευταίας ευθυγραμμίας της πολυγωνικής:

$$\alpha_{v-1} = \alpha_1 + (v-2) \cdot 200 + \sum_{k=2}^{v-1} \beta_k$$

Επειδή η γωνία α_{v-1} κατά πάσα πιθανότητα θα προκύψει μεγαλύτερη των 400^{grad} πρέπει να αναζητήσουμε την αντίστοιχη γωνία στο διάστημα $[0, 400)$ που θα έχει τους ίδιους τριγωνομετρικούς αριθμούς. Η ζητούμενη γωνία είναι ίση με το υπόλοιπο της διαίρεσης της ποσότητας που υπολογίσαμε στην παραπάνω σχέση δια 400. Η συνάρτηση «υπόλοιπο» γράφεται ως εξής:

Mod (τιμή, διαιρέτης)

η οποία αποδίδει το υπόλοιπο της διαίρεσης της τιμής δια τον διαιρέτη. Σύμφωνα με αυτή η παραπάνω σχέση διαμορφώνεται τελικά:

$$\alpha_{v-1} = \text{Mod} \left[\left(\alpha_1 + (v-2) \cdot 200 + \sum_{k=2}^{v-1} \beta_k \right), 400 \right] \quad (\text{Δανιήλ, 2011 :80-81}).$$

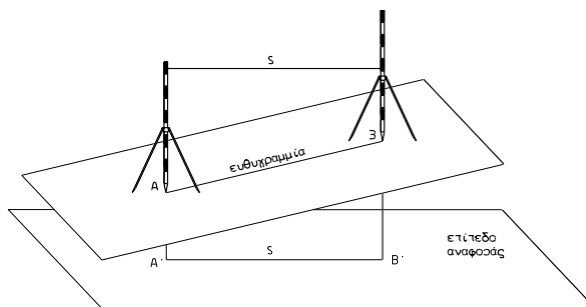
Κεφάλαιο 5^ο Τοπογραφικά όργανα μέτρησης¹

Εισαγωγή

Ο σκοπός της Τοπογραφίας επιτυγχάνεται με τη χρήση των Τοπογραφικών οργάνων. Για τη διεκπεραίωση κάθε μιας εργασίας έχουν εφευρεθεί διάφορα όργανα, που βοηθούν με μεγαλύτερη ή μικρότερη ακρίβεια στην εκτέλεσή της. Στις επόμενες παραγράφους θα περιγραφεί το κάθε Τοπογραφικό όργανο και θα αναλυθεί η χρησιμότητά του στην εκτέλεση των Τοπογραφικών εργασιών.

5.1. Μέτρηση μηκών –Εισαγωγή

Μια πολύ σημαντική Τοπογραφική εργασία είναι η μέτρηση της απόστασης ανάμεσα σε δύο σημεία, εργασία που δεν γίνεται απευθείας στην επιφάνεια της γης, λόγω του ανάγλυφου του εδάφους. Στην πραγματικότητα μετρούμε την οριζόντια απόσταση των σημείων.



Εικόνα 44 : Οριζόντια απόσταση σημείων

Η οριζόντια απόσταση δύο σημείων είναι η απόσταση των προβολών τους σε ένα οριζόντιο επίπεδο. Στην Εικόνα 43, η οριζόντια απόσταση S των σημείων A και B είναι η απόσταση των προβολών τους A' B' στο επίπεδο αναφοράς. Οι

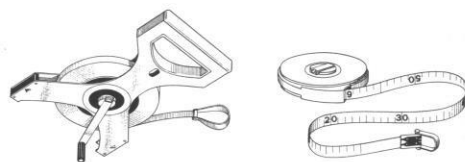
¹ Οι εικόνες του κεφαλαίου προέρχονται από : Δανιήλ, Κ.Γ. (2011). Τοπογραφία Ι. Β' Έκδοση. Καρπενήσι, Τ.Ε.Ι. Λαμίας.

κατακόρυφοι των τόπων A και B θέτουν τις προβολές των σημείων στο επίπεδο αναφοράς, όπως επίσης και ένα κατακόρυφο επίπεδο, το οποίο περιέχει την ευθυγραμμία AB καθώς και την προβολή της A'B' στο οριζόντιο επίπεδο.

Για να μετρήσουμε την οριζόντια απόσταση των σημείων A, B της ευθυγραμμίας πρέπει να μετρήσουμε την απόσταση των προβολών τους A', B' στο επίπεδο αναφοράς, κάτι που δεν είναι εφικτό. Ωστόσο, από τη στερεομετρία, γνωρίζουμε ότι κάθε οριζόντιο επίπεδο τέμνει το κατακόρυφο επίπεδο που ορίζεται από τις κατακόρυφους των τόπων A και B σε μια οριζόντια γραμμή. Το τμήμα της γραμμής αυτής μεταξύ των δύο κατακόρυφων έχει μήκος **S** ίσο με την απόσταση των προβολών A' και B' των σημείων. Επομένως, χρειαζόμαστε την υλοποίηση των κατακόρυφων, πριν προχωρήσουμε στην εργασία μας. Η υλοποίηση γίνεται με την τοποθέτηση ακοντίων στις θέσεις σήμανσης των σημείων, έτσι ώστε να είναι ακριβώς κατακόρυφα. Αφού υλοποιήσουμε τις κατακόρυφους με τα ακόντια, μετρούμε την οριζόντια απόσταση των ακοντίων, φροντίζοντας οι μετρήσεις να γίνονται ακριβώς μέχρι τους άξονες των οργάνων (Δανιήλ, 2011 :88).

5.1.1. Μετροταινία – Περιγραφή – Παραδείγματα

Η μετροταινία είναι το βασικό Τοπογραφικό όργανο, που χρησιμοποιείται στη μέτρηση των αποστάσεων. Η μέτρηση μιας απόστασης απαιτεί τη βοήθεια και άλλων οργάνων, ωστόσο βασικό όργανο αυτής, είναι η μετροταινία.



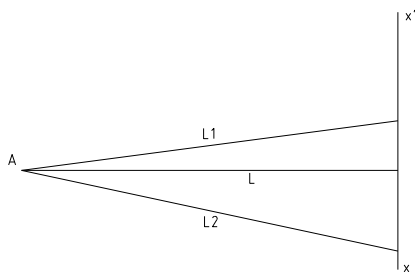
Εικόνα 45 : Τύποι μετροταινίας.

Η μετροταινία (Εικόνα 45), είναι ένα όργανο απλό καθώς αποτελείται από μια ταινία μεγάλης ανθεκτικότητας και μικρού συντελεστή γραμμικής διαστολής, με ένα εκατοστό περίπου πλάτος. Το μήκος της ποικίλλει καθώς υπάρχουν μετροταινίες

20m, 30m, 50m και 100m. Η ταινία στη μια άκρη της είναι κολλημένη πάνω σε ένα άξονα, γύρω από τον οποίο περιτυλίγεται για να καταλαμβάνει μικρό όγκο. Το όλο σύστημα βρίσκεται μέσα σε μια πλαστική ή μεταλλική θήκη. Από μια μικρή σχισμή της θήκης προεξέχει ένα τμήμα της ταινίας. Στην άκρη του υπάρχει ένας δακτύλιος.

Όταν θέλουμε να μετρήσουμε μια απόσταση, τραβούμε το άκρο της ταινίας, που προεξέχει, ώστε να ξεδιπλωθεί κατά το ανάλογο μήκος. Μετά τη μέτρηση, περιστρέφουμε τον άξονα κατά την αντίθετη φορά, για να περιελιχθεί και πάλι η ταινία μέσα στη θήκη της.

Η μέτρηση της οριζόντιας απόστασης δύο ακοντίων γίνεται με τον εξής τρόπο: Η εργασία εκτελείται πάντα με τη συμμετοχή 2 ατόμων του Τοπογραφικού συνεργείου. Στο ελεύθερο άκρο της μετροταινίας υπάρχει η ένδειξη της αρχής μέτρησης μηκών, σημειωμένη με μια μικρή ευθεία και δίπλα τον αριθμό μηδέν (0). Αυτό το σημείο τοποθετείται ακριβώς σε τέτοια θέση, ώστε η προέκταση της μικρής γραμμής (0) να περνά από τον άξονα του ακοντίου. Το κυρίως σώμα της μετροταινίας έλκεται από τον συνεργάτη για να ξετυλιχθεί μήκος της μετροταινίας λίγο μεγαλύτερο από την απόσταση που θέλουμε να μετρήσουμε. Αφού φτάσει στο δεύτερο ακόντιο, ο συνεργάτης κρατά την μετροταινία έτσι ώστε να είναι εντελώς οριζόντια. Στο σημείο αυτό διαβάζει την ένδειξη της απόστασης, που βρίσκεται ακριβώς στο σημείο της μετροταινίας, που η προέκταση της μικρής γραμμής περνά από τον άξονα του ακοντίου. Επειδή η μετροταινία είναι διαιρεμένη σε cm, η ακρίβεια μέτρησης θα είναι ανάλογη με το 1/10 κάθε υποδιαίρεσης, δηλαδή περίπου ακρίβεια 1mm.



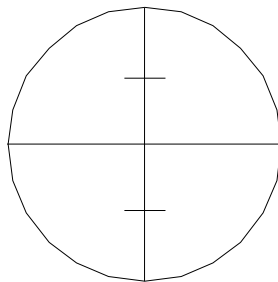
Εικόνα 46. Οριζοντίωση μετροταινίας

Γνωρίζοντας ότι η απόσταση πρέπει να μετρηθεί οριζόντια, αφού κρατήσουμε σταθερά την ταινία στο πρώτο άκρο της Α, την κινούμε σε διάφορες θέσεις κοντά στο δεύτερο ακόντιο, μέχρι να πάρουμε την ελάχιστη ένδειξη. Η ελάχιστη ένδειξη είναι το ζητούμενο μήκος (κάθετο προς τα ακόντια). (Δανιήλ, 2011 :29-30, 89)

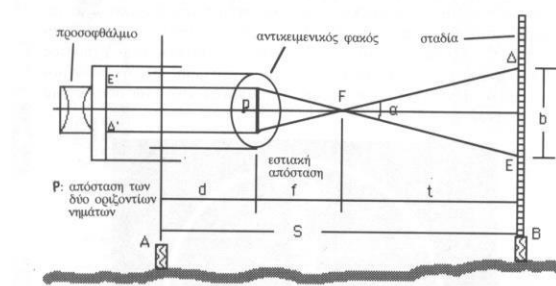
5.1.2. Ταχύμετρο – Περιγραφή – Παραδείγματα

5.1.2.1 Συμβατικό Ταχύμετρο

Το ταχύμετρο αποτελεί συνηθισμένο θεοδόλιχο με τη διαφορά ότι έχει άλλο σχεδιασμό στο σταυρόνημα του τηλεσκοπίου καθώς στον κατακόρυφο άξονα του σταυρονήματος έχουν σχεδιασθεί επί πλέον δύο μικρότερες οριζόντιες γραμμές, σε ίσες αποστάσεις από το κέντρο του σταυρονήματος που ονομάζονται δευτερεύοντες άξονες.



Εικόνα 47. Σταυρόνημα ταχυμέτρου



Εικόνα 48. Μέτρηση απόστασης με το αποκοπτόμενο.

Οι δευτερεύοντες άξονες χρησιμεύουν στη μέτρηση αποστάσεων. Ας υποθέσουμε ότι η οπτική γωνία που ορίζεται από τα σημεία τομής των δευτερευόντων αξόνων είναι **a**. Έστω, ακόμη, **S** η απόσταση της σταδίας. Στη Εικόνα 48 ισχύουν οι εξής σχέσεις:

$$\mathbf{S = t + f + d} \quad (1)$$

$$\frac{\mathbf{t}}{\mathbf{b}} = \frac{\mathbf{f}}{\mathbf{p}} \Rightarrow \mathbf{t = \frac{f}{p} \cdot b} \quad (2)$$

Από τις (1) και (2) προκύπτει:

$$\mathbf{S = \left(\frac{f}{p}\right) \cdot b + (f + d) = k \cdot b + c} \quad (3)$$

Στα συνηθισμένα ταχύμετρα η σταθερά **k** τίθεται ίση με 100, διότι η κατασκευή του φακού είναι τέτοια ώστε $p=0.01f$. Επίσης, με κατάλληλο σύστημα εναλλακτικών φακών επιτυγχάνεται ο μηδενισμός της σταθεράς **c**. Τελικά η σχέση (3) παίρνει τη μορφή:

$$\mathbf{S = 100 \cdot b} \quad (4)$$

Για παράδειγμα, αν υπολογίσουμε το αποκοπτόμενο τμήμα μιας μέτρησης και βρούμε **b=73.4 cm** τότε η απόσταση του σκοπευθέντος σημείου από το ταχύμετρο είναι **S = 100·73.4 = 7340 cm = 73.40 m**. Επομένως, η ένδειξη του αποκοπτόμενου (σε cm) ορίζει απ' ευθείας την απόσταση σε m. Ωστόσο, στους παραπάνω υπολογισμούς θεωρείται πως η σκόπευση είναι οριζόντια, κάτι το οποίο δεν μπορεί πάντα να ισχύει. Επομένως, ο οπτικός άξονας του τηλεσκοπίου θα έχει κατά κανόνα κάποια κλίση σε σχέση με την οριζόντια (Εικόνα 48).

$$L=100 \cdot h$$

(7)

Τα ταχύμετρα έχουν, τη δυνατότητα ταχείας μέτρησης των αποστάσεων των σημείων από τη στάση του οργάνου. Λόγω της ιδιότητάς τους αυτής ονομάστηκαν ταχύμετρα.

Η εγκατάσταση ενός ταχυμέτρου ακολουθεί την εξής διαδικασία: Το όργανο στερεώνεται στην κεφαλή ενός ειδικού τρίποδα που έχει πτυσσόμενα σκέλη, για την εξασφάλιση της οριζοντίωσης της κεφαλής του. Η χονδρική οριζοντίωση του οργάνου ελέγχεται με την σφαιρική αεροστάθμη ενώ η λεπτομερής οριζοντίωση με τη σωληνωτή αεροστάθμη. Οι δύο αεροστάθμες αποτελούν αναπόσπαστα τμήματα του οργάνου. (Δανιήλ, 2011 :40 - 42) .

5.1.2.2 Ηλεκτρονικό Ταχύμετρο

Το πιο σύγχρονο και πιο ολοκληρωμένο Τοπογραφικό όργανο είναι το ηλεκτρονικό ταχύμετρο. Όλες οι ρυθμίσεις του ηλεκτρονικού ταχυμέτρου γίνονται με τη χρήση ενός πληκτρολογίου. Η εμφάνιση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων γίνεται σε μια οθόνη υγρών κρυστάλλων (LCD).

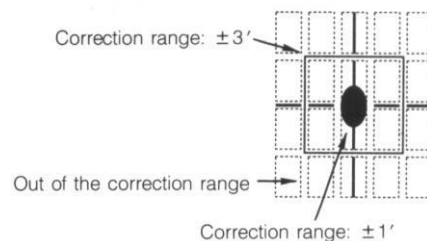
Δεν υπάρχει διαφορά ως προς τον τρόπο εγκατάστασης του οργάνου. Είναι πανομοιότυπος με την εγκατάσταση των συμβατικών ταχυμέτρων, ωστόσο υπάρχει ένας ηλεκτρονικός έλεγχος της οριζοντίωσης του οργάνου. Με τη βοήθεια του τριχογλίου κάνουμε την οριζοντίωση του οργάνου, όπως σε ένα συνηθισμένο θεοδόλιχο. Ο κύκλος της οθόνης μετατοπίζεται ανάλογα. Μόλις ο κύκλος τοποθετηθεί κοντά στο σημείο τομής του σταυρονήματος, τότε έχει γίνει η οριζοντίωση του οργάνου. Αυτόματα η οθόνη καθαρίζει και είναι έτοιμη να εμφανίσει τις μετρήσεις. Ο τρόπος λειτουργίας του ηλεκτρονικού ταχυμέτρου είναι ίδιος με του συμβατικού ταχυμέτρου. Δηλαδή, εκτός από τις οριζόντιες και κατακόρυφες γωνίες, μετρά και τις αποστάσεις των σκοπευόμενων σημείων από τη στάση του οργάνου με τη διαφορά ότι έχει άλλο είδος οπτικής δέσμης, καθώς

χρησιμοποιεί ειδικά πρίσματα επιστροφής των οπτικών ακτίνων. Το όργανο στέλνει μια δέσμη υπέρυθρης ακτινοβολίας προς το πρίσμα, που έχει τοποθετηθεί στο σκοπευόμενο σημείο. Η ακτίνα αυτή επιστρέφει ακριβώς στο ίδιο σημείο, απ' όπου εκπέμφθηκε. Ο χρόνος μετάβασης και επιστροφής μετράται από το όργανο και απ' ευθείας υπολογίζεται η απόσταση του στόχου.

Υπάρχουν τύποι ηλεκτρονικών ταχυμέτρων, που εκτός από την οθόνη, διαθέτουν σύστημα καταγραφής των στοιχείων. (Δανιήλ, 2011 :43-44).



Εικόνα 50. Ηλεκτρονικό ταχύμετρο



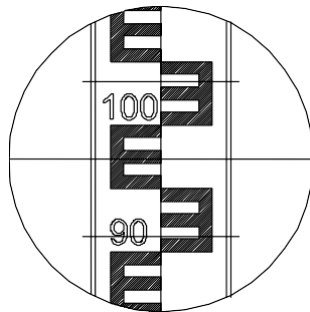
Εικόνα 51. Οριζοντίωση ηλεκτρονικού ταχυμέτρου

Έστω ότι με το τηλεσκόπιο του Ταχυμέτρου σκοπεύουμε τη σταδία, που έχει τοποθετηθεί κάθετα στο σημείο, του οποίου ζητούμε την απόσταση. Στο φακό του τηλεσκοπίου βλέπουμε την εικόνα, που φαίνεται στην Εικόνα 51. Ας υποθέσουμε ότι η ζενίθια απόσταση της διεύθυνσης έχει ήδη μετρηθεί και είναι $Z=105.462^{\text{grad}}$.

Η ανάγνωση του αποκοπτόμενου τμήματος γίνεται ως εξής:

Κάνουμε πρώτα εκτίμηση του σημείου, στο οποίο τέμνει ο πάνω βοηθητικός άξονας τη σταδία. Στην Εικόνα 51 φαίνεται ότι το σημείο αυτό είναι $\Pi=103.4\text{cm}$ περίπου. Η ακρίβεια είναι της τάξεως του 1mm . Έπειτα, εκτιμούμε το σημείο τομής του κάτω βοηθητικού άξονα με τη σταδία. Αυτή είναι περίπου στη θέση $K=91.2\text{cm}$. Η διαφορά των δύο ενδείξεων είναι το αποκοπτόμενο τμήμα. Άρα:

$$g = \Pi - K = 103.4 - 91.2 = 12.2\text{cm}.$$



Εικόνα 52. Αποκοπτόμενο τμήμα με τηλεσκόπιο ταχυμέτρου

Στη συνέχεια, με την εφαρμογή του τύπου υπολογισμού της απόστασης έχουμε:

$$S = 100 * g * \eta \mu^2 Z = 100 * 12.2 * \eta \mu^2 105.462 = 1201.1\text{cm} = 12.11\text{m}$$

Είδαμε ότι η ακρίβεια της μεθόδου είναι της τάξεως των 10cm (0.10m). Άρα η πραγματική απόσταση θα είναι:

$$S = 12.11 \pm 0.1\text{m} \quad \text{δηλαδή:} \quad 12.01\text{m} < S < 12.21\text{m} \quad (\text{Δανιήλ, 2011 :91})$$

5.1.3 Κλίσιμετρο – Περιγραφή – Παραδείγματα

Το κλίσιμετρο είναι ένα απλό Τοπογραφικό όργανο, που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση των κατακόρυφων γωνιών και των κλίσεων ευθυγραμμίων. Αποτελείται από ένα σύστημα φακών, οι οποίοι μεγεθύνουν κατάλληλη κλίμακα, χαραγμένη σε ένα εσωτερικό πίνακα. Η κλίμακα είναι αριθμημένη από 0 έως 50 grad . Υπάρχει ο

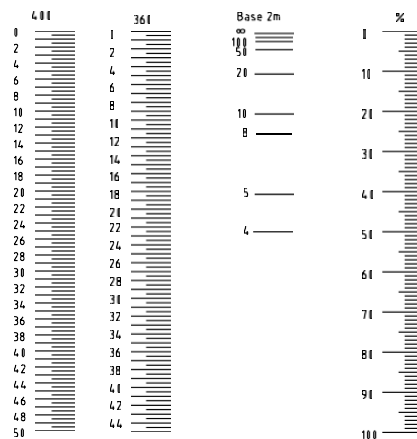
περιορισμός της χαραγμένης κλίμακας, που δεν μας επιτρέπει να μετρήσουμε γωνίες μεγαλύτερες από 50^{grad} . Ένα άλλο μειονέκτημα του οργάνου είναι ότι οι υποδιαίρεσεις της κλίμακας αντιπροσωπεύουν 0.5^{grad} . Συνεπώς η ακρίβεια είναι μικρή σε σχέση με τα άλλα τοπογραφικά όργανα (Θεοδόλιχο, Ταχύμετρο). Τρίτο μειονέκτημα του οργάνου είναι ότι είναι φορητό, δυσκολεύοντας τη μέτρηση. Το πλεονέκτημα, σε σύγκριση με τα άλλα όργανα, είναι ότι το κλισίμετρο είναι πολύ μικρό, ελαφρύ όργανο και μεταφέρεται παντού.

Σε πολλά κλισίμετρα ο πίνακας των μετρήσεων περιέχει και άλλες κλίμακες. Δίπλα στην κλίμακα των βαθμών υπάρχει μια παράλληλη κλίμακα αριθμημένη σε μοίρες (0° - 45°). Δίπλα σε αυτή υπάρχει μια άλλη, που μας δίνει απ' ευθείας την απόσταση ενός σημείου, στο οποίο τοποθετούμε ένα δίμετρο στόχο (ακόντιο ύψους 2m).

Η μηδενική γωνία αντιστοιχεί στην οριζόντια διεύθυνση. Όταν, λοιπόν, σκοπεύσουμε με το κλισίμετρο και μετρήσουμε κάποια γωνία, το σημείο, που σκοπεύουμε, πρέπει να είναι σε χαμηλότερο υψόμετρο από αυτό που στεκόμαστε και δεν πρέπει να υπερβαίνει τους 50^{grad} .

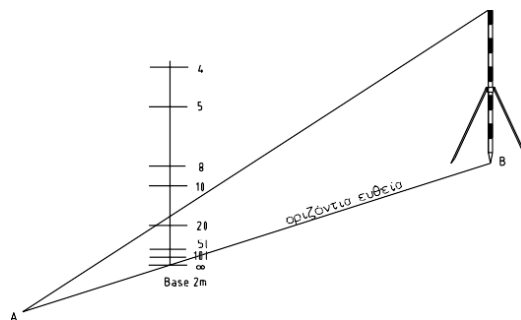
Όταν σκοπεύσουμε μια διεύθυνση με το κλισίμετρο και δεν μπορούμε να δούμε τις ενδείξεις στον ένα φακό, αυτό σημαίνει ότι η κλίση μας είναι αντίθετη από αυτές που έχει η κλίμακα, συνεπώς θα πρέπει να κοιτάξουμε στο δεύτερο φακό για να κάνουμε τη μέτρησή μας. Ο πρώτος φακός προς τα αριστερά συνήθως έχει τις κλίμακες μέτρησης θετικών γωνιών και κλίσεων, δηλαδή σημείων που βρίσκονται σε μεγαλύτερο υψόμετρο από το όργανο. Ο φακός προς τα δεξιά εμφανίζει τις αρνητικές γωνίες και κλίσεις, δηλαδή των σημείων χαμηλότερου υψομέτρου

(Δανιήλ, 2011 :49-50).



Εικόνα 53. Κλίμακες κλισιμέτρου

Το κλισίμετρο έχει ειδική κλίμακα, με την οποία μπορούμε να μετρήσουμε μια απόσταση εύκολα και γρήγορα. Πρόκειται για την κλίμακα με τίτλο «**Base 2m**» (Βάση 2 μέτρων). Η μέθοδος βασίζεται στην ίδια αρχή με αυτή του ταχυμέτρου, αλλά χρησιμοποιεί αντίστροφα τα μεγέθη. Στην Εικόνα 54 βλέπουμε την τοποθέτηση των οργάνων, για τη μέτρηση της απόστασης AB. Στη σημείο B τοποθετούμε ένα όργανο ύψους 2m, για παράδειγμα ένα ακόντιο. Στεκόμαστε στο σημείο A και κρατούμε το κλισίμετρο έτσι ώστε να βλέπουμε σε οριζόντια ευθεία το κάτω μέρος του ακοντίου και την τελευταία ένδειξη του κλισιμέτρου, με το σύμβολο του απείρου. Στη συνέχεια σκοπεύουμε το πάνω άκρο του ακοντίου και εκτιμούμε την ένδειξη του κλισιμέτρου στην οπτική μας ευθεία. Η ένδειξη δίνει την οριζόντια απόσταση του σημείου B.



Το μειονέκτημα της μεθόδου είναι η πολύ μικρή ακρίβεια των μετρήσεων. Αυτό προϋποθέτει καλή εξάσκηση σε μετρήσεις με τέτοιας μορφής κλίμακες. Αλλά και αφήνει πολύ μεγάλα περιθώρια σφάλματος. Επιπλέον, στις μεγάλες αποστάσεις (από 100m μέχρι το άπειρο) υπάρχει συμπίεση των ενδείξεων και είναι σχεδόν αδύνατη μια παραδεκτή εκτίμηση της απόστασης. Η μέθοδος χρησιμοποιείται πολύ περιορισμένα, μόνο για μέτριες αποστάσεις (4 - 50 μέτρα) και με μεγάλο ποσοστό σφάλματος. Η χρήση της δεν αποσκοπεί στη μέτρηση αποστάσεων, αλλά στην πρώτη εκτίμηση μιας απόστασης (Δανιήλ, 2011 :93).

5.2. Μέτρηση Γωνιών

Εισαγωγή

Το δεύτερο στοιχείο, που χρειάζεται σε μια Τοπογραφική εργασία, είναι η μέτρηση γωνιών. Στην Τοπογραφία χρησιμοποιούνται δύο είδη γωνιών: έχουμε τις οριζόντιες γωνίες, που στην πραγματικότητα είναι διέδρες γωνίες δύο κατακόρυφων επιπέδων και έχουμε τις κατακόρυφες γωνίες διευθύνσεων από ένα οριζόντιο επίπεδο. Οι κατακόρυφες γωνίες μετρούνται πάντα από το οριζόντιο επίπεδο μέχρι τη θέση της διεύθυνσης. Πολλά Τοπογραφικά όργανα, όπως τα θεοδόλιχα, μετρούν τις ζενίθιες αποστάσεις, αντί για τις κατακόρυφες γωνίες. Η ζενίθια απόσταση μιας ευθυγραμμίας είναι η γωνία, που σχηματίζει αυτή με την κατακόρυφο του τόπου που είναι η αρχή της ευθυγραμμίας.

5.2.1 Πυξίδα – Περιγραφή – Παραδείγματα

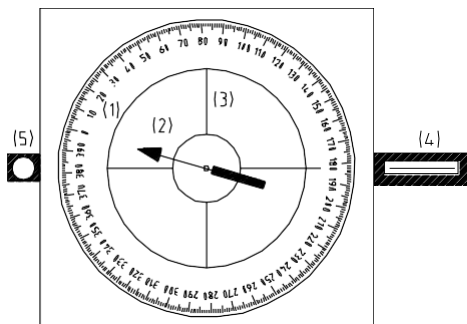
Η πυξίδα είναι το κατ' εξοχήν όργανο μέτρησης μαγνητικών αζιμουθίων.



Εικόνα 55: Τύπος πυξίδας

Η πυξίδα αποτελείται από ένα μεταλλικό πλαίσιο, στο κέντρο του οποίου υπάρχει ένας άξονας. Πάνω στον άξονα είναι στερεωμένος μαγνητικός δίσκος, ο οποίος έχει 400 υποδιαίρεσεις χαραγμένες στην περίμετρό του η οποία αντιστοιχεί σε ένα βαθμό. Στη διάμετρο του δίσκου 0-200 υπάρχει σχεδιασμένο ένα βέλος που δείχνει τη μηδενική διεύθυνση. Η στήριξη του μαγνητικού δίσκου είναι τέτοια, που επιτρέπει οριζόντιες περιστροφές. Για την ελαχιστοποίηση των τριβών το μεταλλικό πλαίσιο είναι γεμάτο από υγρό μικρού ιξώδους.

Η πάνω επιφάνεια του πλαισίου είναι γυάλινη και έχει σχεδιασμένους δύο άξονες κάθετους μεταξύ τους ενώ στο ένα άκρο του πλαισίου υπάρχει ένα κρύσταλλο με μια κατακόρυφη χαραγή. Αυτό είναι προσαρμοσμένο με ένα άξονα, που του επιτρέπει να στρέφεται σε κατακόρυφη θέση. Στο αντιδιαμετρικό άκρο του πλαισίου υπάρχει ένας μεγεθυντικός φακός. Ο φακός είναι επίσης στερεωμένος σε άξονα, που του επιτρέπει να στρέφεται σε κατακόρυφη θέση.



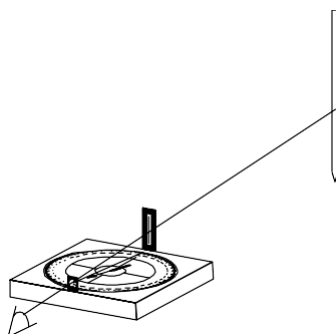
Εικόνα 56. Λειτουργία πυξίδας

Η σκόπευση γίνεται μέσω του φακού. Φέρνουμε το όργανο σε τέτοια θέση ώστε μέσω του φακού να βλέπουμε τη χαραγή του κρυστάλλου σε ευθυγραμμία με το στόχο (ακόντιο), που έχει τοποθετηθεί στο σημείο της έκτασης. Σε αυτή τη θέση διαβάζουμε την ένδειξη του μαγνητικού δίσκου, μέσα από το φακό. Η μέτρηση γωνιών με τη χρήση της πυξίδας έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε δύσβατες περιοχές αφού το βάρος της είναι αμελητέο και μπορεί να μεταφερθεί παντού. Το μειονέκτημά της είναι η μικρή ακρίβεια των μετρήσεων. Η πυξίδα παρέχει ακρίβεια 0.1° , αφού οι υποδιαιρέσεις είναι 400, δηλαδή ανά ακέραιο βαθμό.

Πάντως, επειδή στις μετρήσεις δασικών εκτάσεων δεν απαιτείται πολύ μεγάλη ακρίβεια, το κύριο όργανο μέτρησης γωνιών είναι η πυξίδα. Η πυξίδα χρησιμοποιείται μόνο για μετρήσεις οριζόντιων γωνιών. Από την περιγραφή του οργάνου, έχουμε ήδη γνωρίσει ότι μετρά αξιμούθιες γωνίες, δηλαδή γωνίες, που σχηματίζουν οι ευθυγραμμίες με τη διεύθυνση του μαγνητικού βορρά.

Η τοποθέτηση του οργάνου φαίνεται στην Εικόνα 57. Η πυξίδα τοποθετείται έτσι ώστε μέσα από το φακό να φαίνεται σε ευθυγραμμία η κατακόρυφη χαραγή που υπάρχει στο αντιδιαμετρικό στέλεχος, και το ακόντιο που τοποθετήθηκε στο σκοπευόμενο σημείο. Σε αυτή τη θέση βλέπουμε ταυτόχρονα, μέσα από το φακό, την ένδειξη του μαγνητικού δίσκου. Η ένδειξη αυτή μας δίνει απ' ευθείας την αξιμούθια γωνία της σκοπευόμενης διεύθυνσης.

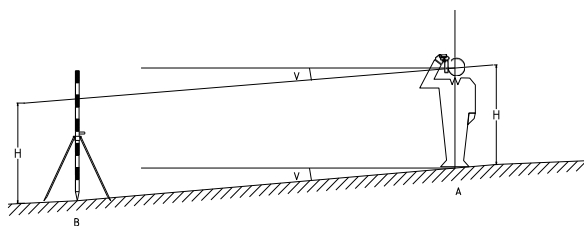
Οι υποδιαιρέσεις της πυξίδας είναι ανά βαθμό. Αυτό είναι ένα μειονέκτημα του οργάνου, αφού παρέχει μικρή ακρίβεια μετρήσεων. Υπάρχει, όμως, το πλεονέκτημα, όπως έχει αναφερθεί, του μικρού όγκου και βάρους, ώστε να μεταφέρεται εύκολα σε όλες τις θέσεις (Δανιήλ, 2011 :94).



Εικόνα 57 : Σκόπευση οριζόντιας γωνίας με πυξίδα

5.2.2.Κλισίμετρο – Περιγραφή – Παραδείγματα

Το κλισίμετρο μετρά μόνο κατακόρυφες γωνίες. Δηλαδή μετρά τις γωνίες διευθύνσεων ως προς ένα οριζόντιο επίπεδο, το οποίο διέρχεται από το σημείο αρχής τους. Στο επάνω άκρο του κλισιμέτρου υπάρχει ένας δακτύλιος, στον οποίο περνούμε ένα δάκτυλο του δεξιού μας χεριού. Ο δακτύλιος είναι αρθρωτός, ώστε να επιτρέπει τις ελεύθερες περιστροφές του οργάνου, για να εξασφαλίζεται η κατακόρυφη θέση του. Τοποθετούμε το σώμα μας έτσι ώστε το μάτι μας να βρίσκεται στην κατακόρυφο του τόπου Α (αρχή της ευθυγραμμίας). Τοποθετούμε ακόντιο κατακόρυφα στο σημείο Β (τέλος ευθυγραμμίας). Σκοπεύουμε το ακόντιο φροντίζοντας να κοιτάζουμε με κλίση ίση με αυτή του εδάφους. Η σκόπευση πρέπει να γίνει στο ύψος του ακοντίου ακριβώς ίσο με αυτό του ματιού μας (Εικόνα 58). Τότε μόνο θα εξασφαλίσουμε σωστή μέτρηση, διότι κατακόρυφη γωνία της οπτικής ακτίνας θα είναι ίση με την κατακόρυφη γωνία του εδάφους. Για να το πετύχουμε αυτό, έχουμε φροντίσει να σημειώσουμε πάνω στο ακόντιο το σημείο του ύψους σκοπεύσεως.



Εικόνα 58. Σκόπευση με κλισίμετρο

Βλέπουμε, ταυτόχρονα, μέσα από το φακό του κλισιμέτρου την ανάλογη κλίμακα με το στοιχείο που θέλουμε να μετρήσουμε. Εκτιμούμε την ένδειξη της μέτρησής μας και την καταγράφουμε. Η εκτίμηση γίνεται με ακρίβεια 0.5^{grad} περίπου. Το κλισιμέτρο είναι πολύ εύχρηστο όργανο, ελαφρύ και μικρό, αλλά παρέχει πολύ μικρή ακρίβεια μετρήσεων. Αυτός είναι και ο λόγος που δεν χρησιμοποιείται σε ακριβείς αποτυπώσεις, αλλά μόνο σε εργασίες, που δεν απαιτούν μεγάλη ακρίβεια (Δανιήλ, 2011 :95-96).

5.2.3. Θεοδόλιχος – Περιγραφή – Παραδείγματα

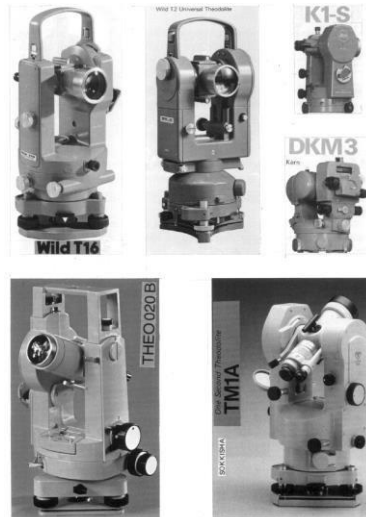
Το θεοδόλιχο είναι όργανο αρκετά μεγάλης ακρίβειας, διότι διαθέτει άριστα οπτικά συστήματα που ανακλούν τα είδωλα χωρίς παραμορφώσεις και διαθλάσεις. Το όργανο τοποθετείται σε σταθερή βάση (με τη βοήθεια ενός τρίποδα) η οποία εξασφαλίζει την ακινησία του σε όλη τη διάρκεια των μετρήσεων. Ακόμη διαθέτει σύστημα πρισμάτων και μεγεθυντικών φακών για την ανάγνωση των μετρήσεων με ακρίβεια 0.001^{grad} . Το μοναδικό μειονέκτημα του οργάνου είναι το μεγάλο βάρος του και συνεπώς η δυσκολία χρήσης του σε δυσπρόσιτα εδάφη.

Το όργανο αποτελείται από τα εξής κύρια τμήματα:

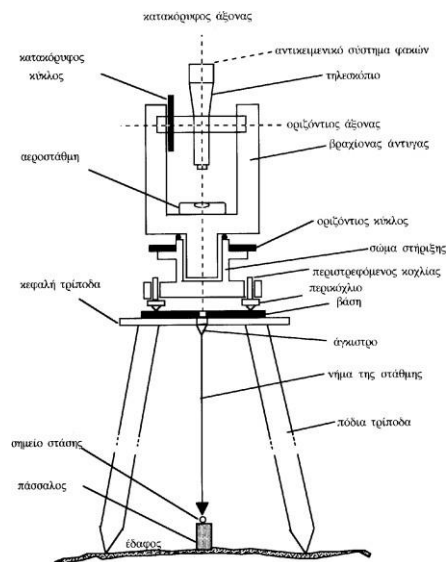
Ένα τηλεσκόπιο, στο φακό του οποίου υπάρχει ένα σταυρόνημα. Το σταυρόνημα είναι δύο κάθετοι μεταξύ τους άξονες, λεπτού πάχους. Η σκόπευση του σημείου, που αποτελεί το στόχο, γίνεται με τη βοήθεια του σταυρονήματος. Θα πρέπει ο στόχος να βρίσκεται πάντα στο σημείο τομής των αξόνων του σταυρονήματος.

Επιπλέον, το τηλεσκόπιο είναι στερεωμένο σε ένα οριζόντιο άξονα. Ο οριζόντιος άξονας στηρίζεται σταθερά σε ένα ανάστροφο μεταλλικό «Π».. Το τηλεσκόπιο μπορεί να περιστρέφεται γύρω από αυτόν τον άξονα, κάνοντας οπτική σάρωση σε ένα κατακόρυφο επίπεδο. Ο οριζόντιος άξονας του τηλεσκοπίου λέγεται δευτερεύων άξονας του οργάνου. Τέλος, το ένα σκέλος του μεταλλικού Π είναι σταθερά στερεωμένος ένας κατακόρυφος δίσκος, αριθμημένος σε βαθμούς (grad). Η μηδενική ένδειξη του δίσκου ταυτίζεται με την διεύθυνση του ζενίθ του τόπου. Το **ζενίθ** είναι ο

αντίποδας του κέντρου της γης - δηλαδή ένα σημείο στο άπειρο, κατακόρυφα επάνω από τον τόπο στάσης του θεοδόλιχου. Σε κάθε σκόπευση του τηλεσκοπίου, η ένδειξη του κατακόρυφου δίσκου μας δίνει τη ζενίθια απόσταση της διεύθυνσης.



Εικόνα 59. Τύποι θεοδόλιχων



Εικόνα 60. Σχηματική παράσταση θεοδόλιχου

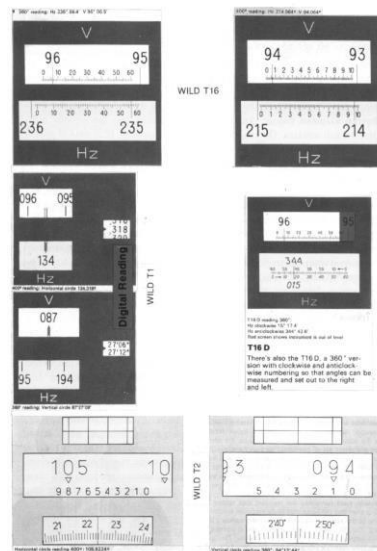
Η τοποθέτηση του οργάνου γίνεται ως εξής: Αρχικά, λοιπόν, τοποθετούμε τον τρίποδα πάνω στον οποίο τοποθετείται ο θεοδόλιχος. Το μήκος του κάθε σκέλους ρυθμίζεται κατάλληλα, ώστε η κεφαλή του τρίποδα να είναι κατά το δυνατόν

οριζόντια. Στην κεφαλή του τρίποδα βιδώνεται το όργανο με ειδικό κοχλία ο οποίος υπάρχει στη βάση του. Ακολουθεί η ακριβής οριζοντίωση του οργάνου με τη χρήση των αεροσταθμών. Κατά την οριζοντίωση πρέπει να ελέγξουμε την κατάσταση της σωληνωτής αεροστάθμης σε δύο θέσεις του τηλεσκοπίου, που είναι κάθετες μεταξύ τους. Η τελική εργασία είναι η κέντρωση του οργάνου. Η διαδικασία κέντρωσης ελέγχει αν το όργανο έχει τοποθετηθεί έτσι ώστε ο πρωτεύοντας άξονάς του να ταυτίζεται με την κατακόρυφο του τόπου της στάσης.

Το σημείο, που σκοπεύουμε με το τηλεσκόπιο, δεν βρίσκεται σχεδόν ποτέ στο ίδιο οριζόντιο επίπεδο με το θεοδόλιχο. Για να μπορέσουμε να το δούμε μέσα από το τηλεσκόπιο, πρέπει να στρέψουμε το τηλεσκόπιο κατακόρυφα, γύρω από τον δευτερεύοντα άξονά του. Κατά τις περιστροφές αυτές δεν περιστρέφεται ο κατακόρυφος δίσκος. Επομένως, στην τελική θέση του τηλεσκοπίου η ένδειξη του κατακόρυφου δίσκου μας δίνει την ζενίθια απόσταση της διεύθυνσης του στόχου.

Δίπλα ακριβώς από το τηλεσκόπιο υπάρχει ένα σύστημα μεγεθυντικών φακών και πρισμάτων, που καταλήγει σε ένα προσοφθάλμιο φακό. Μέσα από αυτόν το φακό μπορούμε να διαβάσουμε την ένδειξη των γωνιών σε κάθε σκόπευση του θεοδόλιχου.

Το πλεονέκτημα του θεοδόλιχου έναντι της πυξίδας είναι στην ακρίβεια μέτρησης των γωνιών. Ο θεοδόλιχος παρέχει ακρίβεια $1/1000$ του βαθμού ενώ η πυξίδα παρέχει ακρίβεια μόνο $1/10$ του βαθμού, με την προϋπόθεση ότι είναι εντελώς ακίνητη. Επιπλέον, με το θεοδόλιχο μπορούμε να μετρήσουμε οριζόντιες γωνίες και ζενίθιες αποστάσεις, ενώ με την πυξίδα μόνο αζιμούθιες γωνίες – (και κατ' επέκταση οριζόντιες γωνίες με αφαίρεση αζιμουθίων). Το μοναδικό μειονέκτημα του θεοδόλιχου είναι η δυσκολία της μεταφοράς του, επειδή έχει μεγάλο βάρος και όγκο.

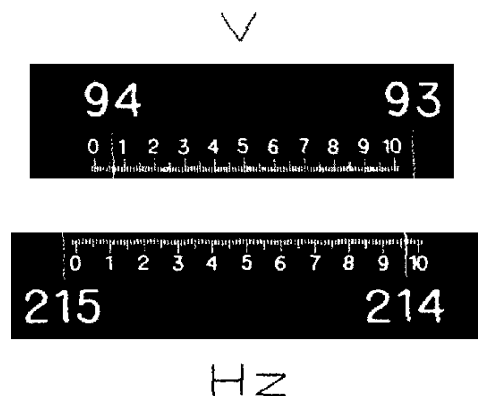


Εικόνα 61. Ανάγνωση μετρήσεων διάφορων τύπων θεοδόλιχου

Ο θεοδόλιχος και τα παρόμοια τοπογραφικά όργανα μετρούν δεξιόστροφα τη διέδρη γωνία, που σχηματίζουν δύο κατακόρυφα επίπεδα. Το πρώτο επίπεδο είναι το επίπεδο το οποίο ορίζει ο οριζόντιος δίσκος του οργάνου, με τη μηδενική του διεύθυνση. Το δεύτερο επίπεδο είναι εκείνο το κατακόρυφο επίπεδο, στο οποίο ανήκει η διεύθυνση του σημείου που σκοπεύουμε. Με την περιστροφή της άντυγας δεν περιστρέφεται ο οριζόντιος δίσκος, συνεπώς στην τελική θέση σκόπευσης η ανάγνωση της ένδειξης του οριζώντιου δίσκου είναι η γωνία διεύθυνσης του στόχου.

Μετρήσεις Ζενίθιων αποστάσεων

Μέσα από το φακό ανάγνωσης των μετρήσεων γωνιών μπορούμε να διαβάσουμε την ένδειξη των γωνιών σε κάθε σκόπευση του θεοδόλιχου. Η κατασκευή είναι τέτοια ώστε να εμφανίζονται ταυτόχρονα στην ίδια σκόπευση οι ενδείξεις και των δύο δίσκων του θεοδόλιχου. Έτσι, με μια ματιά στο φακό αυτό, βλέπουμε τις μετρήσεις της ζενίθιας απόστασης (**V**) και της οριζόντιας γωνίας (**H_z**) Εικόνα 64.



Εικόνα 62. Ανάγνωση μετρήσεων θεοδόλιχου

Η διαίρεση των δίσκων του θεοδόλιχου έχει γίνει σε 400 βαθμούς. Το οπτικό εύρος του προσοφθάλμιου φακού είναι λίγο μεγαλύτερο από ένα βαθμό. Το τμήμα του, που αντιστοιχεί σε 1^{grad} ακριβώς, έχει διαιρεθεί σε 100 υποδιαίρεσεις, που αντιστοιχούν σε εκατοστά του βαθμού.

Με την περιστροφή των αξόνων του οργάνου γίνεται διαρκής μετακίνηση και του φακού των ενδείξεων, που είναι συμπαγής με το τηλεσκόπιο. Στην τελική θέση, μια μόνο γραμμή των 400 υποδιαίρεσεων των δίσκων θα βρίσκεται μέσα στα όρια της εκατονταβάθμιας κλίμακας του φακού των ενδείξεων. Αυτή η γραμμή αποτελεί τις ακέραιες μονάδες της μέτρησης. Τα δεκαδικά ψηφία προκύπτουν από την ανάγνωση της εκατονταβάθμιας κλίμακας. Εκτιμούμε σε ποια θέση ακριβώς περνά η γραμμή των ακέραιων βαθμών. Επειδή η μικρή κλίμακα έχει 100 διαιρέσεις και η ακρίβεια εκτίμησης ενδιάμεσης θέσης είναι $1/10$ της απόστασης δύο αξόνων, άρα η τελική ανάγνωση γίνεται με ακρίβεια δεκάτου του εκατοστού δηλαδή χιλιοστού του βαθμού (Δανιήλ, 2011 :33-39,96-97).

5.3. Τοπογραφικά όργανα για τη μέτρηση υψομέτρων

5.3.1. Εισαγωγή

Υπάρχουν δύο μοντέλα σύμφωνα με τα οποία ακολουθείται η μέτρηση υψομέτρων. Το γεωμετρικό μοντέλο αγνοεί τη βαρύτητας της Γης και την επίδραση του στα καθορισμένα υψόμετρα και χρησιμοποιεί ευθείες γεωμετρικές πορείες για τον

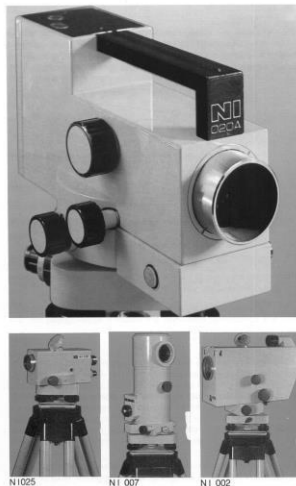
καθορισμό της απόστασης του εκάστοτε σημείου ενδιαφέροντος από την επιφάνεια αναφοράς

Το δυναμικό μοντέλο είναι εκείνο που συνδέει τον ορισμό των υψομέτρων με τις ισοδυναμικές επιφάνειες του γήινου πεδίου βαρύτητας και την διεύθυνση της κατακορύφου στα διάφορα σημεία της γήινης επιφάνειας και συνεπώς χρησιμοποιεί κυρτές πορείες για τον καθορισμό της απόστασης του εκάστοτε σημείου από την επιφάνεια αναφοράς.

5.3.2 Χωροβάτης – Περιγραφή - Παραδείγματα

Ο χωροβάτης (Εικόνα 63) είναι το τοπογραφικό όργανο, που χρησιμοποιείται στη μέτρηση των υψομέτρων σημείων. Αποτελείται από ένα τηλεσκόπιο, προσαρμοσμένο σε ένα κατακόρυφο άξονα. Στη βάση του οργάνου υπάρχει ένας οριζόντιος δίσκος, αριθμημένος σε βαθμούς. Με την περιστροφή του τηλεσκοπίου ο δίσκος παραμένει σταθερός, ώστε σε κάθε θέση μέτρησης του οργάνου να μπορούμε να διαβάσουμε τη διεύθυνση της σκοπευόμενης ευθυγραμμίας.

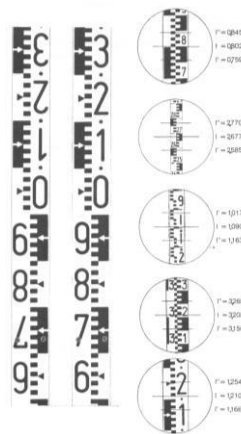
Αυτή η κατασκευή δίνει στο όργανο μεγάλη ακρίβεια της οριζοντίωσης του οπτικού άξονα του τηλεσκοπίου, η οποία δεν διαταράσσεται κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Το ύψος του οργάνου είναι εύκολο να μετρηθεί. Συνεπώς, μπορούμε να υπολογίσουμε με μεγάλη ακρίβεια την υψομετρική διαφορά του σημείου στάσης του οργάνου από το σημείο, όπου βρίσκεται η σταδία. Παράλληλα, ο χωροβάτης μας δίνει τη δυνατότητα να μετρήσουμε και τις γωνίες διευθύνσεως των σκοπευόμενων σημείων. Συνεπώς, με τη χρήση του οργάνου, μπορούμε να κάνουμε όλες τις μετρήσεις, που χρειάζονται για μια πλήρη αποτύπωση των σημείων μια έκτασης. Βεβαίως, δεν έχουμε τη δυνατότητα μέτρησης των αποστάσεων. Σε αυτό θα δώσει τη λύση μια μετροταινία με ακόντια (Δανιήλ, 2011 :46-47).



Εικόνα 63. Τύποι χωροβατών

5.3.3.Σταδία – Περιγραφή -Παραδείγματα

Η σταδία είναι πολύ χρήσιμη κατά τις μετρήσεις με διάφορα τοπογραφικά όργανα. Χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο με το ταχύμετρο και τον χωροβάτη. Η κατασκευή της είναι πολύ απλή: αποτελείται από μια σανίδα η οποία μπορεί να έχει διάφορα μήκη. Για λόγους ευκολίας μετακίνησης, η σανίδα είναι αρθρωτή στο μέσο του μήκος της, ώστε να συμπτύσσεται. Πολλές σταδίες έχουν αρθρώσεις ανά μέτρο, ώστε να συμπτύσσονται ακόμη περισσότερο. Στη μια επιφάνεια η σταδία είναι αριθμημένη με εμφανείς υποδιαιρέσεις ανά εκατοστό του μέτρου (cm). Οι υποδιαιρέσεις έχουν χρωματισθεί εναλλάξ, ώστε να είναι ορατές από μεγάλη απόσταση. Ανά 10 cm αναγράφονται οι δεκάδες εκατοστών, ώστε να διαβάζονται εύκολα μέσα από το τηλεσκόπιο των Τοπογραφικών οργάνων.



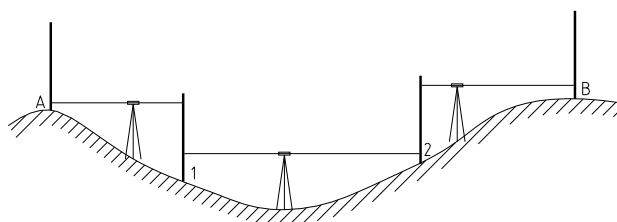
Εικόνα 64. Σταδίες

Με τη μέτρηση της γωνίας διεύθυνσης ενός σημείου και της απόστασής του από τη στάση του οργάνου, έχουμε ορίσει τη θέση της προβολής του σε ένα οριζόντιο επίπεδο. Πράγματι, αν θεωρήσουμε σύστημα πολικών συντεταγμένων με πόλο τη στάση του οργάνου και μηδενική διεύθυνση αυτή που έχει ρυθμισθεί στο όργανο, τότε το διατεταγμένο ζεύγος των δύο μετρήσεων είναι οι πολικές συντεταγμένες του σκοπευόμενου σημείου. Η περιγραφή του σημείου με τη μέθοδο των ορθογώνιων συντεταγμένων στο χώρο χρειάζεται επί πλέον την απόσταση του σημείου από το επίπεδο αναφοράς. Η μέθοδος των κυλινδρικών συντεταγμένων χρησιμοποιεί επίσης την κατακόρυφη απόσταση του σημείου από το επίπεδο αναφοράς. Τέλος, η μέθοδος των σφαιρικών συντεταγμένων χρησιμοποιεί τη ζενίθια απόσταση της διεύθυνσης του σημείου.

Η μέθοδος της γεωμετρικής χωροστάθμισης χρησιμοποιεί τον χωροβάτη και τη σταδία για την εκτέλεση των μετρήσεων. Ο χωροβάτης τοποθετείται σε ένα σημείο, από το οποίο μπορούμε να σκοπεύσουμε και τα δύο σημεία, που θέλουμε να υπολογίσουμε τη διαφορά υψομέτρων τους.

Σε αυτές τις περιπτώσεις κάνουμε υψομέτρηση ενδιάμεσων βοηθητικών σημείων. Τα βοηθητικά σημεία επιλέγονται με στόχο να έχουν υψομετρική διαφορά μικρότερη από 4m ανά δύο μεταξύ τους. Βρίσκουμε τις διαφορές των υψομέτρων των ενδιάμεσων σημείων, σκοπεύοντας ανά δύο συνεχόμενα σημεία με το χωροβάτη, ο οποίος τοποθετείται σε κατάλληλη θέση, μεταξύ αυτών. Το αλγεβρικό άθροισμα των υψομετρικών διαφορών είναι η υψομετρική διαφορά του τελικού σημείου από το αρχικό.

Αυτή η μέθοδος λέγεται χωροσταθμική όδευση κατά την οποία ο χωροβάτης τοποθετείται σε πολλές ενδιάμεσες στάσεις. Από κάθε στάση σκοπεύουμε το προηγούμενο σημείο, του οποίου ήδη γνωρίζουμε το υψόμετρο από προηγούμενη στάση. Αυτή η σκόπευση λέγεται οπισθοσκόπευση. Στην Εικόνα 65 υπάρχει εγκατεστημένη μια χωροσταθμική όδευση μεταξύ των σημείων Α και Β. Είναι γνωστό το υψόμετρο του σημείου Α. Ζητείται ο υπολογισμός του υψομέτρου του σημείου Β.



Εικόνα 65. Χωροσταθμική όδευση

Για την εκτέλεση της εργασίας κινούμαστε ως εξής: Αρχικά, επιλέγουμε κατάλληλα ενδιάμεσα σημεία, έτσι ώστε να έχουν ανά δύο υψομετρική διαφορά μικρότερη από το ύψος της σταδίας. Με αυτή τη λογική, επιλέγουμε τα σημεία 1 και 2. Στη συνέχεια τοποθετούμε τον χωροβάτη στην πρώτη στάση σκόπευσης των σημείων Α και 1. Από τη στάση αυτή, μετρούμε τις ενδείξεις των υψών στις σταδίες, (που βρίσκονται κατακόρυφα πάνω από τα σημεία). Η οπισθοσκόπευση είναι O_A και η εμπροσθοσκόπευση E_1 . Έπειτα, τοποθετούμε τον χωροβάτη στην δεύτερη στάση και σκοπεύουμε τα σημεία 1 και 2. Από τη στάση αυτή, μετρούμε τις ενδείξεις των υψών στις σταδίες. Η οπισθοσκόπευση είναι O_1 και η εμπροσθοσκόπευση E_2 . Τέλος, τοποθετούμε τον χωροβάτη στην τρίτη στάση και σκοπεύουμε τα σημεία 2 και Β. Από τη στάση αυτή, μετρούμε τις ενδείξεις των υψών στις σταδίες. Η οπισθοσκόπευση είναι O_2 και η εμπροσθοσκόπευση E_B . Η υψομετρική διαφορά του σημείου Β από το σημείο Α είναι το αλγεβρικό άθροισμα οπισθοσκοπεύσεων μείον το άθροισμα εμπροσθοσκοπεύσεων. Δηλαδή:

$$\Delta h = O_A + O_1 + O_2 - E_1 - E_2 - E_B.$$

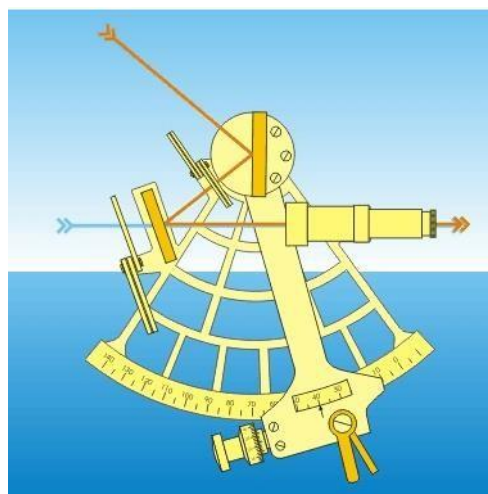
Αν είναι γνωστό το υψόμετρο του σημείου Α, τότε το υψόμετρο του σημείου Β προκύπτει από τον τύπο:

$$h_B = h_A + \Delta h$$

(Δανιήλ, 2011 :48-49)

5.3.4. Εξάντας

Ο Εξάντας ή Παλίστρα, είναι είδος γωνιομετρικού οργάνου το οποίο μετρά στη θάλασσα τα ύψη των ουρανίων σωμάτων καθώς και τις κατακόρυφες και οριζόντιες γωνίες των γήινων αντικειμένων. Βασικά, χρησιμοποιείται στη μέτρηση της γωνίας (ύψους) ενός σκοπούμενου ουράνιου σώματος (π.χ. Ήλιος, Σελήνη, Πλανήτες, Αστέρες), από τον ορίζοντα. Ο εξάντας χρησιμοποιείται από αεροσκάφη, διαστημόπλοια ή καταστρώματα πλοίων, παρά τη μη σταθερότητα του παρατηρητή. Οι κυριότεροι τύποι εξάντων είναι ο ναυτικός εξάντας και ο εξάντας φυσαλίδας, ο οποίος είχε χρησιμοποιηθεί μόνο σε αεροσκάφη. Ο ναυτικός εξάντας ήρθε προς αντικατάσταση του αστρολάβου και έγινε το κύριο όργανο ναυσιπλοΐας. Με τη βοήθεια του ναυτικού εξάντα προσδιορίζουμε τη γωνία ανάμεσα στον υποτιθέμενο ορατό ορίζοντα και σ' ένα ουράνιο σώμα, που συνήθως είναι ο ήλιος. (Παπαθεοδώρου & Φερεντίνος, 2010:9-13)



Εικόνα 66. Εξάντας

Ειδικότερα για τη χρήση του , ο παρατηρητής παρατηρεί στο μισό οπτικό πεδίο του τηλεσκοπίου τον ορίζοντα και στο άλλο μισό την εικόνα του ουρανίου σώματος η οποία εισέρχεται στο τηλεσκόπιο μετά από ανάκλαση στο άνω κάτοπτρο. Με τον εξάντα μπορεί να μετρηθούν και οριζόντιες γωνίες. Για το λόγο αυτό ο εξάντας χρησιμοποιούνταν εντατικά στο παρελθόν για τον καθορισμό στίγματος στη ναυτιλία και κατά τις υδρογραφικές αποτυπώσεις (Γιαννίου, 2010:17)

5.3.5. Αλφάδι

Το αλφάδι ή αλλιώς αεροστάθμη είναι ένα ειδικό τεχνικό όργανο με το οποίο ελέγχεται η οριζοντίωση ενός επιπέδου, καθώς και η ακριβής κάθετη διάταξή του. Τα μέρη του είναι τα εξής: ένας γυάλινος σωλήνας ευθύς ή ελαφρά κεκαμμένος, ή γυάλινη κάψα πλήρη ευκίνητου υγρού (αιθέρα ή οινόπνευμα) μέσα στον οποίο υπάρχει μικρή σχετικά φυσαλίδα αέρος ή άλλου μη αναμειγνυόμενου ρευστού (π.χ. Θεικός αιθέρας). Ο σωλήνας αυτός φέρεται υπό μορφή θήκης συνήθως σε κανόνα. Κάθε τέτοιος κανόνας έχει συνήθως δύο ή τρεις τέτοιες αεροστάθμες σε διαφορετικές θέσεις ως προς το διάμηκες αυτού (παράλληλα, κάθετα ή υπό γωνία 45°) (Καριώτης & Παναγιωτόπουλος, 2013:68)

5.4. Ολοκληρωμένοι Γεωδαιτικοί σταθμοί

5.4.1. Εισαγωγή

Μέχρι την δεκαετία του 1970, οι μετρήσεις αποστάσεων για την επιστήμη της γεωδαισίας, γνώρισαν σημαντικούς περιορισμούς, ιδιαίτερα σε ότι αφορούσε εργασίες με απαιτήσεις υψηλής ακρίβειας, όπως τα τριγωνομετρικά δίκτυα κλπ., όπου για την μέτρηση ενός μήκους μερικών χιλιομέτρων απαιτούνταν επίπονη εργασία ημερών. Απόρροια της δυσκολίας αυτής ήταν η αλλαγή του προσανατολισμού της γεωδαισίας σε μεθόδους όπως η μέτρηση της βάσης τριγωνομετρικού δικτύου για τον προσδιορισμό της κλίμακάς του.

Για παράδειγμα, όταν χρειαζόταν να γίνουν μετρήσεις μηκών, στις μεν απλές και συνηθισμένες τοπογραφικές εργασίες γίνονταν κυρίως με μετροταινίες ή ταχυμετρικά, ενώ στις μετρήσεις με απαιτήσεις υψηλής ακριβείας, γίνονταν με μεθόδους και όργανα που απαιτούσαν επίπονες και χρονοβόρες διαδικασίες, συνήθως, με σύρματα invar.

Η δημιουργία συστημάτων μέτρησης μήκους με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία έφερε επανάσταση στις γεωδαιτικές μετρήσεις, καθώς τα όργανα αυτά με την ραγδαία πρόοδο της τεχνολογίας ιδιαίτερα τις τελευταίες δεκαετίες, όντας βαριά, δύσχρηστα και με όχι ικανοποιητική ακρίβεια όργανα, εξελίχθηκαν γρήγορα σε πολύ εύχρηστα και με πολύ υψηλή ακρίβεια όργανα EDM, όπως είναι διεθνώς γνωστά, από τα αρχικά των λέξεων Electromagnetic Distance Measurement, τα οποία χρησιμοποιούνταν επικαθίμενα στα συμβατικά θεοδόλιχα και ενσωματώθηκαν τελικά σε αυτά (Τσιτσιμπλάμης, 2016: 13-14).

5.4.2. Μέθοδοι ανάγνωσης διευθύνσεων και μέτρησης μηκών

Η μέτρηση της απόστασης μεταξύ δύο σημείων, αποτελεί μια ιδιαίτερα σημαντική διαδικασία. Η απόσταση μπορεί να μετρηθεί είτε άμεσα, μέσω της σύγκρισης της απόστασης με γνωστό μήκος, είτε έμμεσα, μέσω υπολογισμού από συνδυασμούς μετρήσεων, είτε τέλος, γραφικά, από ένα τοπικό διάγραμμα. Ανάλογα με τα όργανα που χρησιμοποιούνται, οι μέθοδοι κατατάσσονται στην μηχανική, οπτική ή ηλεκτρομαγνητική κατηγορία. Στην Τοπογραφία, που αποδίδει αποτυπώσεις μικρής έκτασης, το ανάγλυφο του εδάφους προβάλλεται σε οριζόντιο επίπεδο. Πολλές φορές για να μετρηθεί μία απόσταση είναι απαραίτητο να χωρισθεί σε περισσότερα του ενός τμήματα, και με αυτόν τον τρόπο η τιμή της απόστασης που έχει ζητηθεί να προκύπτει από το άθροισμα των επιμέρους τμημάτων.

A. Μηχανική μέθοδος μέτρησης απόστασης

Η μηχανική μέτρηση απόστασης αποτελεί την άμεση μέθοδο και τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται όπως για παράδειγμα οι μετροταινίες, τα σύρματα invar, εξαρτώνται από την ακρίβεια των αποτελεσμάτων που επιδιώκεται κάθε φορά. Λόγω της αμεσότητας της μεθόδου, το έδαφος πρέπει να προσφέρει τη δυνατότητα να

μπορεί να περπατηθεί. Οι μεταλλικές μετροταινίες είναι συνήθως χαλύβδινες. Η βαθμολόγηση είναι σε μέτρα με τη μηδενική χαραγή άλλοτε σε σημείο της χειρολαβής και άλλοτε σε σημείο της μετροταινίας, αναλόγως την κατασκευάστρια εταιρεία. Οι ταινίες που είναι κατασκευασμένες από fiberglass είναι ποιοτικώς ισάξιες με τις μεταλλικές. Για μετρήσεις περιορισμένης ακρίβειας χρησιμοποιούνται οι λινές ταινίες. Από την άλλη, οι πλαστικές ταινίες, λόγω του μικρού κόστους και της μέσης ακρίβειας που παρέχουν, έχουν ευρεία χρήση. (Παναγιωτόπουλος & Καριώτης, 2001:50 - 51).

Λιγότερο ακριβές αλλά περισσότερο ανθεκτικό όργανο μέτρησης αποστάσεων είναι η μεταλλική αλυσίδα. Το μήκος της κυμαίνεται μεταξύ 20 – 25 m. Χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του βάθους της θάλασσας. Για μετρήσεις αποστάσεων με μεγάλη ακρίβεια χρησιμοποιούνται σύρματα ή μετροταινίες κατασκευασμένες από invar (κράμα νικελίου (36χ) και χάλυβα (64χ)). Είναι υλικό με πολύ μικρό συντελεστή θερμικής διαστολής.

Το μήκος του σύρματος και της μετροταινίας είναι από 4m μέχρι 100m. Χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με ειδικούς τρίποδες και τίθενται υπό ορισμένη τάση με τη βοήθεια βαρών. Με την εξέλιξη των ηλεκτρονικών οργάνων μέτρησης αποστάσεων, έχει ατροφήσει η χρήση των συρμάτων και ταινιών invar. Το βηματόμετρο και ο μετρητικός τροχός χρησιμοποιούνται για χονδρικές μετρήσεις.

Κατά τη μέτρηση μίας απόστασης με μετροταινία εισάγονται σφάλματα τα οποία μπορεί να είναι συστηματικά ή τυχαία και να οφείλονται στο λανθασμένο μήκος της μετροταινίας, στην θερμοκρασία, στην κλίση της μετροταινίας, στην εφαρμοζόμενη τάση στα άκρα της, στην κάμψη της και στην εκτίμηση των αναγνώσεων (Παναγιωτόπουλος & Καριώτης, 2001:53-54).

B. Μέτρηση απόστασης σε κεκλιμένο έδαφος

α. Μέθοδος κλιμακηδόν

Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται στα τμήματα που επιδέχονται την οριζοντίωση της μετροταινίας. Το ολικό μήκος ισούται με το άθροισμα των επιμέρους μετρήσεων. Η εφαρμογή, απαιτεί δύο βοηθούς. Στο πρώτο σημείο τοποθετείται η αρχή της

μετροταινίας, η οποία οριζοντιώνεται. Η οριζοντίωση επιτυγχάνεται με την μετατόπιση πάνω-κάτω της ταινίας από το κατακόρυφο ακόντιο και λαμβάνεται η ελάχιστη από τις παρατηρούμενες αναγνώσεις. Η διαφορά των δύο αναγνώσεων δίνει το μήκος του πρώτου τμήματος. Οι αναγνώσεις καταγράφονται από τρίτο βοηθό, ο οποίος βρίσκεται στα μισά περίπου της απόστασης, εκτός ευθυγραμμίας και ελέγχει την οριζοντίωση της ταινίας με το μάτι. Η μέτρηση επαναλαμβάνεται δύο φορές (μετάβαση επιστροφή). Τα σημεία πυκνώσεως είναι διαφορετικά κατά τη μετάβαση και την επιστροφή. (Παναγιωτόπουλος & Καριώτης, 2001:54)

β. Μέθοδος με επίθεση

Σε έδαφος με σταθερή κλίση μετράται η κεκλιμένη απόστασης μεταξύ των δύο σημείων ή των επιμέρους τμημάτων της ευθυγραμμίας AB. Η αναγωγή της κεκλιμένης απόστασης σε οριζόντια γίνεται ανάλογα με την κλίση της μετρούμενης απόστασης ή των επιμέρους τμημάτων. Οι γωνίες κλίσεως μετρούνται με χρήση κλισιγωνιομέτρου, ή προσδιορίζονται με γεωμετρική χωροστάθμηση. Το ολικό οριζόντιο μήκος θα είναι $S_{ολικό} = S_1 \cdot \cos \alpha_1 + S_2 \cdot \cos \alpha_2 + \dots + S_n \cdot \cos \alpha_n$ (Παναγιωτόπουλος & Καριώτης, 2001:55).

Γ. Οπτική μέθοδος μέτρησης απόστασης

Η οπτική μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί και σε δύσκολο έδαφος. Οι μετρήσεις απαιτούν την ορατότητα ανάμεσα στα σημεία. Χρησιμοποιείται θεοδόλιχος. Γίνεται σε συνδυασμό με σταθερό γραμμικό μέγεθος. Τα αποτελέσματα της είναι πιο γρήγορα και εύκολα συγκριτικά με την μηχανική απόσταση. Η αρχή της μεθόδου βασίζεται στη μέτρηση γωνίας, υπό την οποία φαίνεται σταθερό μήκος, το οποίο είναι κάθετο στη διεύθυνση της προς μέτρηση απόστασης, στο τέλος αυτής. Η οπτική μέθοδος αποτελείται από δύο κατηγορίες την παραλλακτική και την ταχυμετρική.

α. Παραλλακτική μέθοδος

Διατηρείται σταθερό το μήκος της βάσης (συνήθως 2m) και γίνεται μέτρηση της γωνίας εκ της οποίας προκύπτει η οριζόντια απόσταση μεταξύ των σημείων Α και Β.

β. Ταχυμετρική μέθοδος

Διατηρείται σταθερή η παραλλακτική γωνία και μετράται το μήκος της βάσης, το οποίο φαίνεται υπό αυτή τη γωνία. Τα όργανα που απαιτούνται για την εφαρμογή της ταχυμετρικής μεθόδου είναι το ταχύμετρο και η σταδία. Το ταχύμετρο είναι ένα θεοδόλιχο, στο σταυρόνημα του οποίου υπάρχουν επί πλέον τα ταχυμετρικά νήματα, τα οποία αποτελούν βοηθητικές χαραγές πάνω στην πλάκα του σταυρονήματος του τηλεσκοπίου και απέχουν κατά γνωστή απόσταση j μεταξύ τους (Παναγιωτόπουλος & Καριώτης, 2001:56-57).

Δ. Ηλεκτρομαγνητική μέθοδος μέτρησης απόστασης

Στην ηλεκτρομαγνητική μέθοδο, βασική αρχή αποτελεί η σταθερή ταχύτητα με την οποία διαδίδονται τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Μπορεί επομένως να υπολογίσουμε την απόσταση με τη μέτρηση του χρόνου που απαιτείται προκειμένου το κύμα να τρέξει μεταξύ δυο σημείων. Προϋπόθεση για το σκοπό αυτό είναι, η ενέργεια που μεταφέρεται από το ηλεκτρομαγνητικό κύμα να είναι αρκετή όταν φθάνει στο άκρο της διαδρομής, ώστε να διεγείρει τον κατάλληλο δέκτη. Η τιμή της απόστασης προκύπτει με σύγκριση προς τη μονάδα, με τον ανάλογο τρόπο με εκείνο που θα χρησιμοποιείτο μία μετροταινία για μέτρηση μεγάλης απόστασης. Η πλήρης γνώση του τρόπου σχεδίασης και λειτουργίας των οργάνων αυτής της κατηγορίας απαιτεί ειδικές γνώσεις ηλεκτρονικής. Κατάλληλες περιοχές συχνοτήτων είναι κύματα υψηλής συχνότητας, καθώς διέρχονται μεγάλων αποστάσεων και έτσι γίνεται εύκολη η δεσμοποίηση με μικρή απορρόφηση της ατμόσφαιρας.

Όταν η ακτινοβολία είναι το φως, η επίδραση της υγρασίας στην ακρίβεια της απόστασης είναι αμελητέα. Για αποστάσεις μικρότερες των 5 Km, η διόρθωση λόγω μετεωρολογικών συνθηκών είναι πολύ μικρή σε σχέση με την ακρίβεια του οργάνου. Στα πλεονεκτήματα των οργάνων συγκαταλέγονται ότι χρησιμοποιούν μεγάλη ακρίβεια, η δυνατότητα χρησιμοποίησης σε δύσκολο έδαφος και κάτω από δυσμενείς

συνθήκες και η μεγάλη ταχύτητα στη διεκπεραίωση της εργασίας. (Παναγιωτόπουλος & Καριώτης, 2001:59-60).

5.4.3. Ειδικές λειτουργίες γεωδαιτικών σταθμών

Γεωδαιτικός σταθμός ή Total station ονομάζεται το τοπογραφικό όργανο που έχει δυνατότητα μέτρησης γωνιών και αποστάσεων. Προσφέρει τη δυνατότητα στο χρήστη του να συλλέγει όλες τις απαραίτητες μετρήσεις για μία τοπογραφική αποτύπωση με χρήση της ψηφιακών τεχνολογιών. Στη σημερινή εποχή, στην πλειονότητά τους οι γεωδαιτικοί σταθμοί είναι εξοπλισμένοι και με ενσωματωμένα μέσα αποθήκευσης των δεδομένων (καταγραφικά) που διευκολύνουν τον τοπογράφο να μην καταγράφει τα αποτελέσματα των μετρήσεων με το χέρι. Η αποθήκευση των δεδομένων πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας τον ηλεκτρονικό υπολογιστή προκειμένου να επεξεργαστούν τα δεδομένα και να διαμορφώσουν το ολοκληρωμένο αποτέλεσμα. (<http://Total-Station.com>).

Σε αυτή την ενότητα θα αναφερθούμε συνοπτικά στα ειδικά χαρακτηριστικά των γεωδαιτικών σταθμών. Ειδικότερα θα εξεταστούν, οι μέθοδοι λειτουργίας, οι δυνατότητες, η χρήση τους, ο προσδιορισμός των συντεταγμένων, οι μετρήσεις γωνιών και αποστάσεων, η επεξεργασία λογισμικού και οι εφαρμογές.

Μέθοδος λειτουργίας

Η μέθοδος λειτουργίας ενός γεωδαιτικού σταθμού βασίζεται στις αντίστοιχες μεθόδους που χρησιμοποιούν τα ψηφιακά θεοδόλιχα και τα EDM, χωρίς να διαφοροποιούνται ιδιαίτερα.

Δυνατότητες

Χαρακτηριστικό των σύγχρονων γεωδαιτικών σταθμών είναι ότι η μέτρηση γωνιών και αποστάσεων, έχουν μεγάλες δυνατότητες ακρίβειας. 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". Επιπλέον, ο γεωδαιτικός σταθμός, όπως και γενικά κάθε μετρητικό όργανο ακριβείας, συνοδεύεται από την αντίστοιχη

διακρίβωση (βαθμονόμηση), γεγονός που αποδεικνύει της ιδιαίτερες δυνατότητές τους χάρη στην τεχνολογική εξέλιξη. Ορισμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί έχουν τη δυνατότητα αυτόματης στόχευσης στο κάτοπτρο και ασύρματο τηλεχειρισμό, και συχνά αποκαλούνται «ρομποτικοί», ενώ αρκετοί εξ αυτών διαθέτουν ενσωματωμένους δέκτες GPS γεωδαιτικής ακριβείας που επιτρέπουν τον προσδιορισμό της θέσης του οργάνου με ακρίβεια εκατοστών.

Χρήση

Ο γεωδαιτικός σταθμός αποτελεί στις μέρες μας το κύριο εργαλείο όλων των σύγχρονων τοπογραφικών μετρήσεων. Η χρήση του είναι ευρέως διαδεδομένη στην χαρτογράφηση ή στην σύνταξη τοπογραφικού διαγράμματος ιδιοκτησιών και οικοπέδων. Ωστόσο, απαραίτητη προϋπόθεση αποτελεί να χρησιμοποιείται αποκλειστικά από άρτια εκπαιδευμένο και εξειδικευμένο προσωπικό.

Προκειμένου ο γεωδαιτικός σταθμός να τοποθετηθεί στο κατάλληλο ύψος και ο τοπογράφος να πραγματοποιήσει άνετη σκόπευση, χρησιμοποιείται ένας ειδικός τρίποδας. Σε περίπτωση όμως που ο γεωδαιτικός σταθμός τοποθετηθεί σε υπάρχον τριγωνομετρικό βάθρο, ο τρίποδας μπορεί να παραληφθεί. Το όργανο προτού ξεκινήσει οποιαδήποτε μέτρηση, χρειάζεται πρώτα να οριζοντιωθεί και να «κεντράρει» σε σχέση με την κατακόρυφο της Γης αλλά και το τοπογραφικό σημείο στο οποίο τοποθετείται. Για την διευκόλυνση αυτών των εργασιών, το όργανο είναι εξοπλισμένο με φουσαλίδες οριζοντίωσης και με laser ή κάτοπτρο. Επιπλέον, η μέτρηση των αποστάσεων πραγματοποιείται με τη βοήθεια ενός κατόπτρου, το οποίο δίνει τη δυνατότητα 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 (Τσιτσιμπλάμης, 2016: 11-12).

Προσδιορισμός Συντεταγμένων

Προϋπόθεση για τον καθορισμό των συντεταγμένων με τη χρήση του γεωδαιτικού σταθμού, ενός άγνωστου σημείου σχετικά με ένα γνωστό σύστημα αναφοράς,

αποτελεί η ύπαρξη ορατότητας μεταξύ των δυο σημείων. Οι γωνίες και οι αποστάσεις μετριοούνται από το γεωδαιτικό σταθμό στα σημεία της πλοήγησης, και οι συντεταγμένες (Φ, Τ, και Ζ ή, βόρεια, ανατολικά και υψόμετρο) των σημείων πλοήγησης σχετικά με τη θέση του γεωδαιτικού σταθμού υπολογίζονται χρησιμοποιώντας τριγωνομετρία και τριγωνισμό. Ο απόλυτος καθορισμός της θέσης μέσω του γεωδαιτικού σταθμού απαιτεί επαρκή ορατότητα για τις παρατηρήσεις οι οποίες θα πρέπει να ξεκινούν από ένα γνωστό σημείο ή από ορατότητα σε 2 ή περισσότερα σημεία με τη γνωστή θέση. Για αυτόν τον λόγο, μερικοί γεωδαιτικοί σταθμοί είναι εξοπλισμένοι και με ένα παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα πλοήγησης (Global Navigation Satellite Systeminterface) που δεν απαιτεί την άμεση ορατότητα των σημείων για τον καθορισμό των συντεταγμένων τους. Εντούτοις, οι μετρήσεις GNSS χρήζουν μεγαλύτερων περιόδων μετρήσεων και προσφέρουν σχετικά μικρή ακρίβεια στο κατακόρυφο δίκτυο (Τσιτσιμπλάμης, 2016: 12).

Μετρήσεις Γωνιών

Οι μετρήσεις γωνιών μέσω των γεωδαιτικών σταθμών πραγματοποιούνται με τη βοήθεια της ηλεκτροοπτικής ανίχνευσης των εξαιρετικά ακριβών ψηφιακών κωδίκων που χαράζονται στους περιστρεφόμενους κυλίνδρους ή τους δίσκους γυαλιού μέσα στο όργανο. Οι καλύτεροι ποιοτικά γεωδαιτικοί σταθμοί έχουν την ικανότητα να μετρούν γωνίες με ακρίβεια της τάξης του 0,5 δευτερόλεπτου του τόξου. Οι γεωδαιτικοί σταθμοί μπορούν γενικά να μετρήσουν τις γωνίες με ακρίβεια της τάξης των 5 ή 10 δευτερολέπτων του τόξου (Τσιτσιμπλάμης, 2016: 12).

Μετρήσεις Αποστάσεων

Η μέτρηση της απόστασης ολοκληρώνεται με ένα διαμορφωμένο μικροκύμα ή ένα υπέρυθρο σήμα, που διαμορφώνεται μέσω ενός μικρού πομπού, στέρεας κατάστασης, που βρίσκεται μέσα στο οπτικό μονοπάτι του οργάνου, και ο οποίος απεικονίζεται από έναν ανακλαστήρα πρισμάτων ή το αντικείμενο στο πλαίσιο της πλοήγησης. Το διαμορφωμένο σήμα «διαβάζεται» όταν επιστρέφει και ερμηνεύεται από τον υπολογιστή στο εσωτερικό του γεωδαιτικού σταθμού. Η απόσταση για κάθε συχνότητα, καθορίζεται από την εκπομπή και τη λήψη των πολλαπλάσιων

συχνοτήτων και τον καθορισμό του αριθμού των ακέραιων μηκών κύματος στο στόχο. Οι περισσότεροι γεωδαιτικοί σταθμοί χρησιμοποιούν τους κατασκευασμένους ανακλαστήρες πρισμάτων γυαλιού για τη μέτρηση γωνιών για το σήμα EDM.

Για παράδειγμα, ένας γεωδαιτικός σταθμός μπορεί να μετρήσει τις αποστάσεις με ακρίβεια περίπου 1.5 χιλιοστόμετρων (0.0049 πόδια) συμπεριλαμβανομένων και δύο μερών ανά εκατομμύριο πέρα από μια απόσταση των 1.500 μέτρων (πόδια 4.900) (Τσιτσιμπλάμης, 2016: 12-13).

Επεξεργασία Λογισμικού

Οι γεωδαιτικοί σταθμοί, αναλόγως μοντέλου, διαθέτουν αποθήκευση εσωτερικά του λογισμικού για την καταγραφή των αποστάσεων, των οριζόντιων γωνιών, των κατακόρυφων γωνιών που χρειάζονται να μετρηθούν ενώ άλλοι εξοπλίζονται με έναν φορητό υπολογιστή για να γράψουν αυτές τις μετρήσεις σε έναν εξωτερικό συλλέκτη στοιχείων. Όταν ένας γεωδαιτικός σταθμός κατεβάζει το απαραίτητο λογισμικό σε έναν υπολογιστή, τα προγράμματα εφαρμογών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να υπολογίσουν τα αποτελέσματα και να παραγάγουν τον χάρτη της εξεταζόμενης περιοχής (Πηγή: <http://Total-Station.com>).

Εφαρμογές

Οι γεωδαιτικοί σταθμοί χρησιμοποιούνται κυρίως για την επίγεια πλοήγηση είτε για να καταγραφούν τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα πλοήγησης όπως στην τοπογραφία είτε για να καθοριστούν τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα (όπως οι δρόμοι, τα σπίτια ή τα όρια). Εκτός από τον κλάδο της Τοπογραφίας, ο αρχαιολογικός κλάδος χρησιμοποιεί συχνά γεωδαιτικούς σταθμούς για την καταγραφή των ανασκαφών, ενώ ευρεία χρήση έχουν τα τελευταία χρόνια από την αστυνομία, τους πράκτορες σκηνών εγκλήματος και τους ιδιώτες που ασχολούνται με την αναπαράσταση ατυχημάτων για τις ασφαλιστικές εταιρείες (Τσιτσιμπλάμης, 2016: 13).



Εικόνα 67. Ο Ψηφιακός ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός stonex STS
Πηγή: (Τσιτσιμπλάμης, 2016)



Εικόνα68. reflectorless ψηφιακός ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός TCR 1201
Πηγή: (Τσιτσιμπλάμης, 2016)



Εικόνα 69. Ο ρομποτικός γεωδαιτικός σταθμός Trimble S3 (α), με το χειριστήριο TSC2 (β), και ο TM30 (γ).

Πηγή: (Τσιτσιμπλάμης, 2016)

Η χρήση των γεωδαιτικών σταθμών για τη συλλογή δεδομένων που αφορούν περιβαλλοντικά θέματα έχει σημειώσει τα τελευταία χρόνια σημαντική άνοδο. Τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των γεωδαιτικών σταθμών επιτρέπουν την άμεση και πλήρη καταγραφή δεδομένων προκειμένου να μετρηθεί η έκταση ζημίας – ρύπανσης ή αλλοίωσης του περιβάλλοντος. Για παράδειγμα χρησιμοποιούνται για την αποτύπωση ορίων διαφόρων ειδών δέντρων ή θάμνων, ευρύτερα για μετρήσεις σε δασογενή περιβάλλοντα, για μετρήσεις λυμάτων, για τη μόλυνση των υδάτων όπως ποταμών και λιμνών σε πραγματικό χρόνο (Real Time Kinematic -RTK). κάνοντας χρήση δέκτη GPS (Τσιτσιμπλάμης, 2016: 29).

Σε αυτό το σημείο θα αναφερθούμε και στις φωτογραμμετρικές και τηλεπισκοπικές μεθόδους οι οποίες έχουν ευρύ πεδίο εφαρμογών σε θέματα περιβάλλοντος και ειδικότερα παράκτιων περιοχών. Τα πλεονεκτήματα των παραπάνω μεθόδων είναι το χαμηλό κόστος, η εξαγωγή αποτελεσμάτων σε διάφορες κλίμακες, η διαχρονική και εποπτική παρακολούθηση και καταμέτρηση φυσικών παραμέτρων. (Σεϊταρίδης, 2017:14-15)

5.4.4. Κατηγορίες

Η Electromagnetic Distance Measurement, αλλιώς EDEM, κατηγοριοποιείται βάσει του μέγιστου βεληνεκούς που δύναται να μετρήσει. Ειδικότερα, όταν το βεληνεκές τους είναι μικρό, της τάξεως των 3 Km, ονομάζονται ταχυμετρικά, διότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε απλές τοπογραφικές εργασίες, αφού επικάθονταν σε θεοδόλιχα. Η ραγδαία πρόοδος της τεχνολογίας την τελευταία δεκαετία, έχει

επιφέρει αυτού του είδους την κατηγοριοποίηση, καθώς όταν ενσωματώθηκαν στα ψηφιακά θεοδόλιχα, μπόρεσαν να καλύψουν ένα ευρύ φάσμα τοπογραφικών αναγκών. Όταν με τη σειρά τους έκαναν την εμφάνισή τους τα GPS, - συστήματα δορυφορικού εντοπισμού – η παραγωγή οργάνων μεγάλου βεληνεκούς μειώθηκε αισθητά.

Μια άλλη μορφή κατηγοριοποίησης είναι αυτή των E.O.D.M. (ηλεκτροπτικά όργανα μέτρησης μηκών) και των M.D.M. (όργανα μέτρησης μηκών με μικροκύματα). Η μεν πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τα όργανα κυρίως μεγάλου βεληνεκούς, που παρείχαν μετρήσεις μειωμένης ακρίβειας, έκαναν χρήση των μικροκυμάτων ως φέρουσα ακτινοβολία και διέθεταν ενεργητικό δέκτη που ενίσχυε το σήμα και το έστελνε πίσω στο κυρίως όργανο. Τα E.O.D.M. παρέχουν μετρήσεις αυξημένης ακρίβειας, χρησιμοποιούν τα ορατό ή υπέρυθρο φως, ως φέρουσα ακτινοβολία και διαθέτουν παθητικό δέκτη (κάτοπτρο ειδικά κατασκευασμένο).

Η τελευταία κατηγοριοποίηση αφορά στην αρχή της λειτουργίας τους, καθώς ως όργανα χρησιμοποιούν μια διαμορφωμένη συνεχή ακτινοβολία που αν και ακριβέστερη, διαθέτει μικρότερη και πιο χρονοβόρα εμβέλεια μετρήσεων. Επιπλέον, χρησιμοποιούν τη λεγόμενη «Time of Light», δηλαδή, τη μέθοδο χρόνου πτήσης κατά την οποία μετράται η διαφορά χρόνου μιας διαμορφωμένης παλμικής ακτινοβολίας από την εκπομπή και τη λήψη, που παρά τη μεγάλη εμβέλεια που διαθέτει δεν επιφέρει την ανάλογη ακρίβεια παρά την ταχύτητά της (Τσιτσιμπλάμης, 2016: 17).

5.4.5 Κόστος των οργάνων

Από την παραπάνω παρουσίαση των τοπογραφικών οργάνων κατανοούμε πως η χρήση τους ανάλογα με το είδος μέτρησης, είναι απαραίτητη για την καταγραφή των εκάστοτε στοιχείων. Ωστόσο, αρκετά από αυτά, έχουν ιδιαίτερο οικονομικό κόστος, γεγονός που δυσχεραίνει την εργασία και την έρευνα, ειδικά όταν δεν συντηρούνται σωστά.

Ειδικότερα, η εξωτερική βάση που χρησιμοποιείται για τα όργανα μέτρησης μηκών είναι μια ιδιαίτερα δαπανηρή κατασκευή. Απαιτείται κόστος για την εγκατάσταση των βάθρων, τα οποία θα πρέπει είναι τοποθετημένα σε συγκεκριμένη θέση και θεμελιωμένα σε βάθος με σκυρόδεμα. Επιπλέον, υπάρχει το κόστος προφύλαξης τους από τις διάφορες καιρικές συνθήκες (ηλιοφάνεια, βροχή, χιόνι, υγρασία κ.ά.) χρησιμοποιώντας ειδικές επιστρώσεις, καπάκια και σκέπαστρα. Παράλληλα, υπάρχει και το ενδεχόμενο κόστος της εκπαίδευσης ενός ειδικού συνεργείου που θα απασχολείται με τις εργασίες της βάσης (βαθμονομήσεις, συντήρηση) (Αλεξίου, 2011:107).

Οι χωροβάτες, ο θεοδόλιχος και οι γεωμετρικοί σταθμοί έχουν εξίσου ένα σημαντικό κόστος συντήρησης αλλά και σε αρκετές περιπτώσεις αγοράς. Αναζητώντας στο διαδίκτυο τις ενδεικτικές τιμές αγοράς των εν λόγω οργάνων, ποικίλλουν. Ειδικότερα, ο χωροβάτης κοστίζει από 300 έως 1500 ευρώ και ο τροχός μέτρησης 100ευρώ. Ο θεοδόλιχος έχει ένα κόστος που κυμαίνεται από 1500 έως 2500 ευρώ(<https://www.e-jgc.gr/>).

Οι τιμές για τους γεωδαιτικούς σταθμούς λόγω των εξελιγμένων δυνατοτήτων τους, είναι αρκετά υψηλές. Ενδεικτικά αναφέρουμε πως ανάλογα με το μοντέλο του γεωδαιτικού σταθμού, η τιμή του κυμαίνεται από 1000 έως 8000 ευρώ. Οι δε μετρητές κλίσεων έχουν τιμές από 100 έως 300 ευρώ. (<http://www.totalstation.gr/index.php/totalstation>).

Χαρακτηριστικό είναι, πως λόγω τους κόστους της αγοράς και της συντήρησης, πολλοί επαγγελματίες απευθύνονται σε εταιρείες ενοικίασης τοπογραφικών οργάνων. Στη σχετική έρευνα που έγινε στο διαδίκτυο, εντοπίστηκε πως ακόμα και για την ενοικίαση, για παράδειγμα του γεωδαιτικού σταθμού, η τιμή κυμαίνεται από 2500 με 3500 ευρώ, ωστόσο σε αυτές τις τιμές περιλαμβάνονται όλα εκείνα τα παρελκόμενα και το λογισμικό που χρειάζεται για να είναι δυνατή η εργασία ανάλογα με το όργανο το σύστημα επιλογής (<https://www.landmark.com.gr>).

Αναφορικά με τη συντήρησή των εκάστοτε οργάνων, έχει και αυτή κλιμακούμενη τιμή και κυμαίνεται από 15 έως 1500ευρώ (<http://www.geosense.gr/τοπογραφικά-όργανα>).

Συμπεράσματα

Η παραπάνω παρουσίαση είχε σαν στόχο να περιγράψει, όσο το δυνατόν ευκρινέστερα, την επιστήμη της Γεωδαισίας – Τοπογραφίας μέσα από την ιστορική της αναδρομή, από τα μέσα που χρησιμοποιεί και τις μεθόδους μέτρησης προκειμένου να «αποτυπώσει» πιστά και με ακρίβεια όλα τα στοιχεία που διαμορφώνουν την εικόνα της Γης.

Μέσα από την ιστορική αναδρομή, συναντήσαμε εξαιρετες προσωπικότητες που με τη δίψα τους να γνωρίσουν τον περιβάλλοντα κόσμο, ανακάλυψαν τρόπους και μέσα προβολής του. Ειδικότερα, ο αρχαίος ελληνικός πολιτισμός υπήρξε η γενέτειρα της επιστήμης. Προσωπικότητες εξέχουσες όπως ο Θαλής ο Μιλήσιος, που ήταν από τους πρώτους που αποδεχόταν τη σφαιρικότητα του σύμπαντος, αναγνωρίζοντας τη Μικρή Άρκτο και τον Πολικό αστέρα ως κύριο και σταθερό προσανατολισμό για τους ταξιδιώτες, ο Πυθαγόρας ο Σάμιος που δίδασκε τη σφαιρικότητα της γης, θεωρία που προέκυψε κυρίως από φιλοσοφική θεώρηση ότι η σφαίρα έχει το τελειότερο σχήμα και κατά συνέπεια, εφόσον η γη είναι το δημιούργημα των θεών, πρέπει να είναι σφαίρα. Επιπλέον, ο Αριστοτέλης ο Σταργεΐτης προέκτεινε τον παραπάνω συλλογισμό, παραθέτοντας τέσσερα επιχειρήματα που αποδεικνύουν τη σφαιρικότητα της Γης μόλις τον 4^ο αιώνα π.Χ., ισχυριζόμενος ότι η θαλάσσια επιφάνεια με βάση τη ναυσιπλοΐα διακρίνεται από καμπυλότητα. Σε διάφορα γεωγραφικά πλάτη της υπάρχει αλλαγή του ύψους των αστερών, όπως και υπάρχει αλλαγή του ύψους του ήλιου σε διαφορά γεωγραφικά μήκη της γης και τέλος, το στρογγυλό της σκιάς της γης κατά την έκλειψη της σελήνης. Η συμβολή των αρχαίων Ελλήνων υπήρξε σημαντική καθώς χρησιμοποιούνται γεωμετρικές μέθοδοι και μέσα για την περιγραφή της γήινης πραγματικότητας, κατασκευάζονται όργανα μέτρησης γεωγραφικών ποσοτήτων, επινοούνται οι προβολές, γίνεται η μέτρηση των διαστάσεων της γης σε συνδυασμό με υπολογισμούς, εγκαινιάζοντας την επιστημονική θεώρηση του σύμπαντος. Προχωρώντας στην ιστορία, στην Μεσαιωνική περίοδο συναντήσαμε, ειδικά τους πρώτους αιώνες, μία σημαντική οπισθοδρόμηση: η θέαση του κόσμου και της επιστήμης αλλάζει λόγω της επικράτησης του χριστιανισμού στις περισσότερες χώρες της Ευρώπης, με αποτέλεσμα τόσο η Χαρτογραφία, όσο και οι άλλες επιστήμες να υποστούν βαρύ

πλήγμα. Η Γη επανέρχεται στην επίπεδη μορφή της και η θεωρία των αντιπόδων αντιμετωπίζεται με σκεπτικισμό. Χαρακτηριστικό της περιόδου είναι η αντικατάσταση των πηγών που προέρχονταν από έρευνες και παρατηρήσεις επί της Γης, από τις βιβλικές περιγραφές.

Θα χρειαστεί να περάσουν αιώνες μέχρις ότου η επιστήμη να ενδυθεί πάλι με τον επίσημο μανδύα της. Η Αναγέννηση, κυρίως τον 15^ο αιώνα, μεταβάλλει ριζικά τις οι αντιλήψεις του κόσμου για τον άνθρωπο, τη θρησκεία, το σύμπαν και τις επιστήμες. Ο άνθρωπος, απαλλάσσεται από τα δεσμά του, τις προκαταλήψεις και τις δεισδαιμονίες, την άγνοια που συνειδητά και για αιώνες καλλιεργούσε η Εκκλησία, και αγκαλιάζει τον κόσμο της γνώσης. Σε αυτό συνετέλεσαν και σημαντικά γεγονότα που διαδραματίζονταν την ίδια περίοδο :Η ανακάλυψη της Αμερικής από τον Κολόμβο, η ανακάλυψη της τυπογραφίας από τον Γουτεμβέργιο, μέσω της οποίας κατέστη εφικτή η διάδοση της μάθησης στις μάζες και τέλος, η ανακάλυψη, εκ νέου, των γραπτών του Πτολεμαίου.

Διανύοντας τον 18^ο και 19^ο αιώνα, οι ανακαλύψεις νέων χωρών, η αποικιοκρατία της Δύσης, η βιομηχανική επανάσταση έφεραν νέους τρόπους και μέσα στην τοπογραφία: χαμηλό κόστος παραγωγής, έγχρωμους χάρτες με λεπτομερείς καταγραφές και πιο ακριβείς και σωστές πληροφορίες, ανάγκη για δημιουργία παγκόσμιων χαρτών. Εισερχόμενοι δε στον 20^ο αιώνα, η συνεχής πρόοδος και εξέλιξη των επιστημών και η εισαγωγή του ηλεκτρονικού υπολογιστή, άλλαξαν εντελώς τα δεδομένα στον τομέα της χαρτογραφίας: εμφανίζεται η αεροφωτογραφία προσφέροντας ακριβείς πληροφορίες χαρτογράφησης σε ελάχιστο χρόνο, ενώ παράλληλα ο ηλεκτρονικός υπολογιστής αναδιαμορφώνει όλα τα στάδια της διαδικασίας χαρτογράφησης που αφορούν στη συλλογή, την επεξεργασία των πληροφοριών και την απόδοσή τους. Στην σύγχρονη εποχή, ο καθένας έχει πρόσβαση σε κάθε μέρος του πλανήτη χάρη στις νέες και πιο εξελιγμένες τεχνολογίες, όπως οι εξελιγμένοι υπολογιστές, το σύστημα GPS και τα λείζερ τηλέμετρα, που επιτρέπουν την άμεση χαρτογράφηση του εδάφους σε πραγματικό χρόνο, ενώ οι δορυφορικές κάμερες υψηλής ανάλυσης μπορούν να καταγράψουν λεπτομερώς οποιοδήποτε σημείο της Γης.

Στις επόμενες ενότητες – κεφάλαια προχωρήσαμε σε μία επιστημονική παρουσίαση της τοπογραφίας επεξηγώντας αρχικά τις μονάδες μέτρησης που χρησιμοποιούνται ανάλογα με το αντικείμενο έρευνας, (μήκος, πλάτος, γωνίες) ενώ στη συνέχεια αναλύθηκαν σε θεωρητικό πλαίσιο τα σφάλματα που συναντώνται κατά τη διαδικασία των μετρήσεων. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον, κατά την παρουσίαση αυτή δημιουργήθηκε στην ενότητα των οργάνων μέτρησης, καθώς διαπιστώθηκαν ορισμένα χαρακτηριστικά τα οποία συνοψίζονται στα εξής:

Αναφορικά με τα ταχύμετρα, διαπιστώθηκε το συγκριτικό πλεονέκτημά τους καθώς εμφανίζουν ιδιαίτερη ταχύτητα στη λήψη των στοιχείων, ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός του οργάνου αναλαμβάνει την ανάγνωση των γωνιών με ακρίβεια τέταρτου δεκαδικού ψηφίου και των μηκών με ακρίβεια χιλιοστού και η αντιγραφή των ενδείξεων όπου καταγράφει όλα τα στοιχεία απόλυτα σωστά.

Επιπλέον, το ηλεκτρονικό ταχύμετρο, με τη χρήση της υπέρυθρης ακτινοβολίας έχει πολύ μεγαλύτερες δυνατότητες.

Παράλληλα, το κλισίμετρο αν και έχει πολλά μειονεκτήματα, σε σύγκριση με τα ακριβή Τοπογραφικά όργανα, παρουσιάζει, ένα σημαντικό πλεονέκτημα, που το καθιστά χρήσιμο εργαλείο ενός δασολόγου: έχει πολύ μικρές διαστάσεις και μπορεί να χρησιμοποιηθεί παντού, όπου μπορεί να σταθεί ο άνθρωπος. Αυτό το πλεονέκτημα έχουν εκμεταλλευθεί οι κατασκευαστές του οργάνου και προχώρησαν σε μια πρόσθετη βελτίωση. Συγχώνευσαν σε ένα όργανο το κλισίμετρο και την πυξίδα. Κατ' αυτόν τον τρόπο, ο δασολόγος φέρει πάντα στο χέρι του το πλήρες όργανο, έχοντας έτσι τη δυνατότητα να μετρά οριζόντιες και κατακόρυφες γωνίες και να τις αναγάγει απ' ευθείας σε αζιμούθιες γωνίες και κατά μήκος κλίσεις ευθυγραμμίων.

Τέλος, η χρήση της πυξίδας έχει ιδιαίτερα χαρακτηριστικά: Αν η μελέτη δεν απαιτεί μεγάλη ακρίβεια, μπορούμε με τη χρήση της πυξίδας να μετρήσουμε όλες τις αζιμούθιες γωνίες των διευθύνσεων των σημείων. Ωστόσο, αν η μελέτη απαιτεί μεγάλη ακρίβεια, τότε πρέπει να χρησιμοποιήσουμε θεοδόλιχο. Σε περιπτώσεις αποτύπωσης εκτάσεων με μεγάλη δασοκάλυψη, πρέπει να έχουμε ευελιξία και επομένως η χρήση του θεοδόλιχου είναι χρονοβόρα. Απεναντίας, η χρήση της πυξίδας είναι εύκολη και γρήγορη.

Η ενότητα που σχετίζεται με τους γεωδαιτικούς σταθμούς, μας έδωσε τη δυνατότητα να αντιληφθούμε τόσο τη ραγδαία τεχνολογική πρόοδο, όσο και την απλοποίηση και διευκόλυνση του έργου των τοπογράφων. Οι σταθμοί αυτοί λειτουργούν σαν «φωλιά» πληροφοριών, είναι σχετικά εύχρηστοι και ακριβείς στην καταγραφή των δεδομένων, ενώ παράλληλα αξιοποιούνται και από άλλες επιστήμες όπως της αρχαιολογίας.

Μια άλλη εξίσου σημαντική πτυχή που προκύπτει από την παραπάνω μελέτη και μας δημιούργησε σειρά ερωτηματικών είναι αυτή της νέας τεχνολογίας. Το γεωμετρικό περιεχόμενο σαφέστατα υπερσχύει του θεματικού. Η παραγωγή χαρτών σε χάρτινο ή πολυτελές υλικό συνεχίζει να υφίσταται, όμως σημειώνει ραγδαία μείωση. Από την άλλη η μαζική διάδοση των χαρτών στο διαδίκτυο προκαλεί προβλήματα εμπιστοσύνης ως προς το περιεχόμενο του στον παραλήπτη σε συνδυασμό με το αισθητικό αποτέλεσμα που είναι αισθητικά υποδεέστερο. Διερωτόμαστε λοιπόν, πως θα είναι το μέλλον της χαρτογραφίας, δεδομένου ότι αντικαθίσταται εδώ και δεκαετίες από την ψηφιακή τεχνολογία. Ταυτόχρονα, προβληματιζόμαστε για το κατά πόσο αυτή η άμεση και γρήγορη γνώση έχει εκπαιδευτικά και γνωστικά αποτελέσματα, όπως ο παραδοσιακός χάρτης. Η γνώση θα είναι κατακτηθείσα, ή θα αποθηκεύεται προσωρινά στον εγκέφαλό μας ως εικόνα για να εξυπηρετήσει απλώς μια λειτουργική μας ανάγκη; Για παράδειγμα, η μαζική χρήση των πλοηγών – GPS- έχει σαφέστατα εκμηδενίσει τις αποστάσεις, και έχει βοηθήσει εκατομμύρια χρήστες να φτάσουν σωστά στον προορισμό τους, ωστόσο διακρίνεται και από έναν διεκπεραιωτικό χαρακτήρα που εξυπηρετεί απλές ανάγκες και όχι βαθύτερες, όπως η γνώση.

Όπως εύστοχα αναφέρει ο Λιβιεράτος « Στις παρυφές της ψηφιακής μετάβασης που γίνεται σήμερα καλύτερα αντιληπτή από την περιγραφή του προγράμματος *Ψηφιακής Γης* (DE), αυτής της σύγχρονης εκδοχής της «ψηφιακής Γης» του Πτολεμαίου, ας δούμε που περίπου βρισκόμαστε σήμερα: τα GIS, που πολλοί νόμιζαν ότι θα αποτελέσουν έναν μεμονωμένο και αυτοτελή κλάδο και θα μονοπωλήσουν την γεωγραφική ανάλυση και την χαρτογράφηση, απορροφούνται ταχύτατα από το συνολικότερο ψηφιακό ρεύμα που θα ολοκληρώσει τις υπάρχουσες μορφές επεξεργασίας, σε ένα ευρύτερο ενιαίο περιβάλλον με γεωγραφική αναφορά» (Λιβιεράτος, 2001:71).

Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι στην Ευρωπαϊκή Ένωση ένα μεγάλο ποσοστό των χαρτών περι των 20 εκατομμυρίων, γίνονται με τον τύπο «Do it yourself», αντιλαμβανόμαστε πως η παραδοσιακή μορφή της χαρτογραφίας που συνδυάζει γνώση, έρευνα, καλλιτεχνική δημιουργία περνά σε μίαν άλλη εποχή.

Το κατά πόσο η ψηφιακή τεχνολογία αποδίδει πιστά και με ακρίβεια τα δεδομένα που συλλέγει από τις εκάστοτε μετρήσεις, αποτελεί αντικείμενο διχασμού. Στην πλειονότητα της επιστημονικής κοινότητας και της κοινής γνώμης επικρατεί η άποψη πως οι μετρήσεις είναι ακριβείς και σε ελάχιστες περιπτώσεις εμφανίζουν σφάλματα. Ωστόσο, υπάρχει και μια σημαντική μερίδα της επιστημονικής κοινότητας αλλά και του ευρύτερου κοινού σε παγκόσμια κλίμακα που έχει συλλέξει αρκετά κρούσματα λανθασμένων πληροφοριών καταχώρησης στα ψηφιακά εργαλεία, που επέφεραν σημαντικές επιπτώσεις. Θα αρκεστούμε εδώ να αναφερθούμε στη χρήση του GPS στο αυτοκίνητο και τα αρκετά κρούσματα λανθασμένης πλοήγησης που σε ορισμένες περιπτώσεις είχαν ασχημή κατάληξη. Χωρίς να θέλουμε να κινδυνολογήσουμε, η συσσώρευση δεδομένων σε ηλεκτρονική μορφή μπορεί να συγκεντώνει απίστευτο όγκο πληροφοριών, αλλά ταυτόχρονα μπορεί ανα πάσα στιγμή να «μπλοκάρει» την πληροφορία, λόγω τεχνικών προβλημάτων.

Πιστεύουμε πως μία μέση λύση, και εν προκειμένω για την χαρτογραφία, θα ήταν η ιδανική. Η ψηφιοποίηση χαρτών, τοπγραφικών σχεδίων, είναι απαραίτητη, αρκεί να συμβαδίζει με την παράλληλη παραδοσιακή παραγωγή, που τόσα έχει προσφέρει έως τις μέρες μας.

Θέλοντας να παραμείνουμε αισιόδοξοι απέναντι στο μέλλον, ευελπιστούμε πως οποιοδήποτε και αν είναι το αποτέλεσμα, παραδοσιακό, ψηφιακό, έντυπο ή ηλεκτρονικό, θα αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο για τον άνθρωπο της καθημερινής ζωής που θα διακρίνεται από την υψηλή αισθητική και την επωνυμία του εκάστοτε δημιουργού της .

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική

Αλεξίου, Α. (2011) Εφαρμογή του πρότυπου ISO 17123-4 σε εσωτερική βάση. Δημιουργία Ευέλικτης εσωτερικής βάσης μετρολογικού ελέγχου μηχανών. Διπλωματική Εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Τομέας Τοπογραφίας Αθήνα .

Αντωνιάδου, Ο. (2018). Ιστορική εξέλιξη της Τοπογραφίας. Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδος Πάτρα.

Γιαννίου, Μ. (2010) Τεχνικές και Συστήματα πλοήγησης – πανεπιστημιακές Σημειώσεις. Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Τοπογραφίας
Δανιήλ, Κ.Γ. (2011). Τοπογραφία Ι. Β΄ Έκδοση. Καρπενήσι, Τ.Ε.Ι. Λαμίας.

Εισαγωγή στη Γεωδαισία.(2007) Πανεπιστημιακές Σημειώσεις. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών. Τομέας Τοπογραφίας – Εργαστήριο Ανώτερης Γεωδαισίας.

Καριώτης, Γ., Παναγιωτόπουλος, Ε. (2013). Εφαρμοσμένη Τοπογραφία, Εκδόσεις Δίσιγμα, Θεσσαλονίκη.

Λιβιεράτος, Ε. (2001). Σχόλια περι την χαρτογραφία, τους χάρτες και τις ελληνικές τους «περιπλοκές». Γεωγραφίες, Νο.1, 56-72

Μιχαηλίδου, Ε.Κ. (2004) Ιστορία της Χαρτογραφίας, Αθήνα

Παινέση, Κ., Μπακάκη, Ζ. (2011) Αποτύπωση σε ηλεκτρονική μορφή της Παλαιοβυζαντινής Χριστιανικής Εκκλησίας στην Περιοχή Λεχαίου Κορινθίας. Τ.Ε.Ι Πειραιά Τομέας Τοπογραφίας.

Παναγιωτόπουλος, Ε., Καριώτης, Γ. (2001) Σημειώσεις για το μάθημα Τοπογραφία Ι. Τ.Ε.Ι. Σερρών, Σέρρες.

Παπαθεοδώρου, Γ. Φερεντίνος, Γ. (2010). Τεχνική Ωκεανογραφία. Τμήμα Γεωλογίας Πανεπιστήμιο Πατρών.

Σαββαΐδης Π., Υφαντής, Ι., Λαλάκης, Κ. (2010) Τοπογραφία και Θεματική Χαρτογραφία Τμήμα Αρχιτεκτόνων Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη.

Σεϊταρίδης, Δ. (2017). Τοπογραφικές Μέθοδοι Αποτύπωσης και ελέγχου Αιγιαλού. Α.Π.Θ. Πολυτεχνική Σχολή Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας και Ανάπτυξης Θεσσαλονίκη.

Τσαρούχας, Δ. (2017). Μεθοδολογία Τρισδιάστατης Απεικόνισης κτιρίων με χρήση Αυτόνομων Ιπτάμενων Συσκευών (drones). Μεταπτυχιακή Εργασία Πολυτεχνείο Κρήτης Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Χανιά.

Τσιτσιμπλάμης, Ε. (2016). Επίγειες Μέθοδοι Πρωτογενών δεδομένων για την παραγωγή Φωτογραμμετρικών Προϊόντων. (Διπλωματική Εργασία). Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας και Ανάπτυξης , Θεσσαλονίκη.

Ξενόγλωσση

Campbell,T. (1978) «Portolan Charts from the Late Thirteenth Century to 1500», Volume 1. *The History of Cartography*, University of Chicago Press, 1987.

Hunt, A. (2000). «2000 Years of map making». *Geography*, 85(1).

Prestwich,M., Britnell, R. H., Frame,P.(1999). Thirteenth Century England VIII: Proceedings of the Durham Conference 1999.

Raisz E. (1948). *General Cartography*. New York: McGraw-Hill Book Company.

Stone, J.R. (1993). The Medieval mappaemundi. Toward an archaeology of sacred cartography. *Religion*, 23.

Scully, S. (2003) Reading the Shield of Achilles: Terror, Anger, Delight, *Harvard Studies in Classical Philology*, Vol. 101.

Tierney, J. J. (1963). The Map of Agrippa. *Proceedings of the Royal Irish Academy: Archaeology, Culture, History, Literature* Vol. 63 (1962 - 1964).

Woodward, D. (1987) Cartography in Prehistoric, Ancient and Medieval Europe and the Mediterranean. Medieval Mappaemundi. *The History of Cartography*, Vol.1. University of Chicago Press.

Ιστότοποι

<https://www.wdl.org/en/item/19478/>

<https://www.britannica.com/biography/Gerardus-Mercator>

<https://www.fulltable.com/vts/m/map/ogilby/mna.htm>

<https://www.bl.uk/collection-items/saxton-england-and-wales-proof-maps>

<http://www.enet.gr/?i=news.el.article&id=420826>

http://cartographic-images.net/Cartographic_Images/203_Ravenna.html

http://cartography.web.auth.gr/Livieratos/fil/The_Greeks.html

<https://www.press.uchicago.edu/ucp/books/book/chicago/H/bo3620863.html>

<http://greekworldhistory.blogspot.com/2016/01/blog-post.html>

<https://unesco.delegfrance.org/LA-MAPPA-MUNDI-D-ALBI-Focus-Memoire-du-monde-Numero-1-12>

<http://Total-Station.com>

<http://www.geosense.gr/τοπογραφικά-όργανα>

www.geo.auth.gr/322/chapter064.html

<https://www.e-jgc.gr/>

<http://www.totalstation.gr/index.php/totalstation>

<https://www.landmark.com.gr>