

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Σύγχρονες γεωδαιτικές μέθοδοι για τον υπολογισμό επιτόπου όγκου εκσκαφών και την δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου εδάφους»

ΠΡΟΚΟΠΑΚΗΣ ΜΙΧΑΗΛ

ΑΜ: 2000020002

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

- **Καθηγητής** **ΜΕΡΤΙΚΑΣ Σ. (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)**
- **Καθηγητής** **ΑΓΙΟΥΤΑΝΤΗΣ Ζ.**
- **Καθηγητής** **ΚΟΜΝΙΤΣΑΣ Κ.**

ΧΑΝΙΑ

ΜΑΙΟΣ 2009

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες.....4

Κεφάλαιο 1

1.1.Περίληψη……..5

1.2.Εισαγωγή.....5

Κεφάλαιο2

Ανάλυση υφιστάμενης κατάστασης- Εφαρμογή ΨΜΕ – Πηγές ΨΜΕ

2.1.Γεωγραφική θέση-Έκταση……..……..……7

2.2.Εφαρμογή τρισδιάστατου ψηφιακού μοντέλου εδάφους.....7

2.3.Μέθοδοι δημιουργίας ΨΜΕ

2.3.1.Εμπειρικές μέθοδοι……...8

2.3.2.Τοπογραφικές ή γεωδαιτικές μέθοδοι……..….9

2.3.3.Φωτογραμμετρικές μέθοδοι……..10

2.3.4.Τεχνικές σάρωσης laser……..…12

2.4.Χρήσεις ΨΜΕ……13

2.5.Ανασκόπηση……..……14

Κεφάλαιο 3

Μεθοδολογία τοπογραφικών αποτυπώσεων

3.1.Εισαγωγή.....15

3.2.Γενικές έννοιες.....15

3.3.Γεωδαιτικά συστήματα αναφοράς

3.3.1.Επιφάνειες αναφοράς.....16

3.3.2.Η μορφή της γης (γήινης επιφάνειας).....17

3.3.3.Απεικονίσεις (προβολές) και χάρτες.....22

3.3.4.Γεωδαιτικά συστήματα αναφοράς και προβολικά συστήματα που χρησιμοποιούνται στον ελλαδικό χώρο

3.3.4.1.Το προβολικό σύστημα HATT.....25

3.3.4.2.Το προβολικό σύστημα 3 μοιρών.....27

3.3.4.3.Το προβολικό σύστημα ED50 ή U.D.M……...28

3.3.4.4.Το προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ87.....28

3.3.4.5.Παρατηρήσεις.....31

3.3.5.Το παγκόσμιο γεωδαιτικό σύστημα WGS84……..…32

3.3.6. Άλλα σύγχρονα γεωδαιτικά συστήματα……..….34

3.3.6.1. Το Ευρωπαϊκό Επίγειο Σύστημα Αναφοράς ETRS89.....34
3.3.6.2. Το Ελληνικό σύστημα εντοπισμού HEPOS.....35
3.4.Αποτυπώσεις με συμβατικά όργανα(ταχύμετρο).....36
3.4.1.Εισαγωγή – Γενικά στοιχεία.....36
3.4.2.Ηλεκτρομαγνητική μέθοδος μέτρησης.....37
3.5.Αποτυπώσεις με εξελιγμένες μεθόδους (GPS).....42
3.5.1.Γενικά για το GPS.....42
3.5.2.Μεθοδολογία μετρήσεων με GPS.....44
3.5.3.Σφάλματα μετρήσεων.....46
3.5.4.Τεχνικές ανάλυσης των μετρήσεων.....47
3.5.5.Μέθοδοι μετρήσεων και προσδιορισμού θέσης με το GPS.....47
Κεφάλαιο 4
Πραγματοποίηση των μετρήσεων
4.1.Εισαγωγή.....50
4.2.Σύνδεση στάσεων με ΕΓΣΑ87.....50
4.2.1.Συνδιασμός ανοικτής - κλειστής όδευσης.....51
4.2.1.1.Επίλυση ανοικτής εξαρτημένης όδευσης.....54
4.2.1.2.Επίλυση κλειστής εξαρτημένης όδευσης.....56
4.2.1.3.Ανασκόπηση.....64
4.2.2.Οπισθοτομία σε τριγωνομετρικά περιοχής.....64
4.2.3.Στατικός εντοπισμός με GPS.....65
4.2.4.Συνδυασμός στατικού – κινηματικού εντοπισμού με GPS.....68
Κεφάλαιο 5
Αποτελέσματα των μετρήσεων
5.1.Σύγκριση μεθόδων – Επιλογή συντεταγμένων.....70
5.2.Μετρήσεις πεδίου.....71
5.3.Υπολογισμός όγκου χωματισμών.....78
Κεφάλαιο 6
Συμπεράσματα – Προτάσεις.....81
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....82
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....83

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας χρειάστηκε αρκετός χρόνος και έρευνα, και θα ήταν αδύνατη η πραγματοποίηση της, χωρίς την βοήθεια κάποιων ανθρώπων, τους οποίους θέλω να ευχαριστήσω ιδιαίτερα, για την συμπαράστασή τους.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στον καθηγητή μου, και επιβλέποντα της παρούσης διπλωματικής εργασίας, κ. Στυλιανό Μερτίκα για την συμπαράσταση και τη συμμετοχή του. Ευχαριστώ επίσης τους κκ. καθηγητές Ζ. Αγιουτάντη και Κ. Κομνίτσα για την αξιολόγησή τους και τη βοήθεια που μου προσέφεραν.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους κκ. Τριπολιτσιώτη Αχιλλέα και Φραντζή Ξενοφώντα, συνεργάτες του εργαστηρίου, χωρίς την βοήθεια και την συμμετοχή των οποίων θα ήταν αδύνατη η δημιουργία της παρούσας εργασίας, και τον Λέκτορα κ. Παρτσινέβελο Παναγιώτη, για την αξιολόγησή του.

Ευχαριστώ, επίσης, την ΑΚΤΕΡ ΑΤΕ, κατασκευαστική εταιρεία, και τον εργοδότη μου κ. Κοκοτσάκη Αντώνη, για την ευγενική παραχώρηση των εξειδικευμένων τοπογραφικών προγραμμάτων που χρησιμοποιήθηκαν.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, τους φίλους μου και όλους αυτούς που μου συμπαραστάθηκαν όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται τις διαδικασίες που πρέπει να ακολουθηθούν για να δημιουργηθεί ένα τρισδιάστατο μοντέλο εδάφους. Πιο συγκεκριμένα θα περιγραφούν οι γεωδαιτικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την λεπτομερή τοπογραφική αποτύπωση μιας συγκεκριμένης περιοχής, και με τη βοήθεια των εξαχθέντων αποτελεσμάτων θα κατασκευαστεί ένα τρισδιάστατο μοντέλο εδάφους και θα υπολογιστεί ο όγκος του προς εξόρυξη όγκου που θα προκύψει από τυχόν εκσκαφή της συγκεκριμένης περιοχής.

1.2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

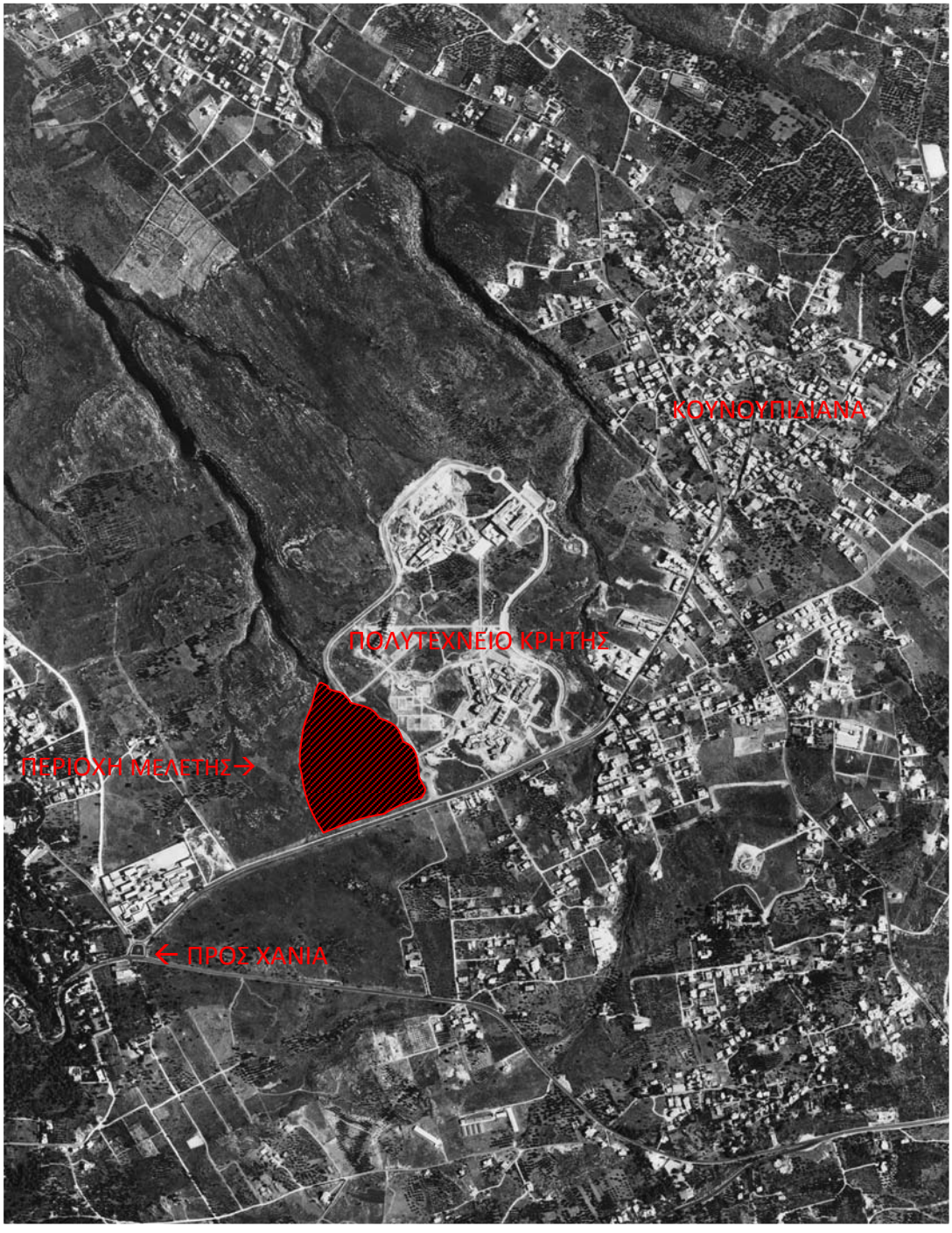
Μεγάλη βάση θα δοθεί στην ακρίβεια των μετρήσεων. Αρχικά περιγράφεται η έννοια του τρισδιάστατου ψηφιακού μοντέλου εδάφους ή DTM, και η χρησιμότητά του. Επιπλέον, γίνεται αναφορά στις πηγές ενός ΨΜΕ και πώς προκύπτει αυτό σε κάθε περίπτωση. Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου εδάφους με τη βοήθεια γεωδαιτικών μετρήσεων πεδίου.

Στην συνέχεια, περιγράφονται μεθοδολογίες τοπογραφικών αποτυπώσεων (με συμβατικά όργανα, όπως ολικός γεωδαιτικός σταθμός, αλλά και με προηγμένες μετρητικές μεθόδους με τη χρήση δορυφορικών δεκτών εντοπισμού GPS-Global Positioning System) και επίσης ανάλυση των κρατικών συστημάτων συντεταγμένων. Οι προαναφερόμενες μέθοδοι, εφαρμόστηκαν στα πλαίσια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας στην οποία γίνεται αναλυτική αναφορά, ως προς τη διαδικασία των μετρήσεων στο πεδίο, αλλά και την μετέπειτα επεξεργασία αυτών. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη σύνδεση των σταθερών σημείων (στάσεων) που υλοποιήθηκαν, με το κρατικό σύστημα αναφοράς, με διάφορες μεθόδους, αλλά και την σύγκριση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν κάθε φορά.

Προκειμένου να υπολογιστεί ο όγκος των χωματισμών, δημιουργήθηκε ψηφιακό μοντέλο εδάφους της περιοχής μελέτης, με τη

βοήθεια του προγράμματος Topco Geomatics της SierraSoft, και στη συνέχεια υπολογίστηκε ο μέγιστος απολήψιμος όγκος με την κατασκευή διατομών υπολογισμού όγκων.

Η εργασία κλείνει με την παράθεση συμπερασμάτων και ανάλυση διαφόρων ερωτημάτων που προέκυψαν από την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής. Η περιοχή μελέτης απεικονίζεται στην εικόνα 1.1.



Εικ.1.1. Η περιοχή μελέτης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ – ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΨΜΕ – ΠΗΓΕΣ ΨΜΕ

2.1. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ - ΕΚΤΑΣΗ

Ο χώρος μελέτης βρίσκεται στη θέση "Κουνουπιδιανά" του Δήμου Ακρωτηρίου του Ν. Χανίων, περίπου 8 χιλιόμετρα ανατολικά από την πόλη των Χανίων. Η συνολική έκταση που καταλαμβάνει η περιοχή μελέτης ανέχεται σε 67,5 περίπου στρ. Τα όρια της περιοχής, όπως αυτά μετρήθηκαν κατά το μετρητικό κομμάτι της παρούσης εργασίας, καθορίζονται από τα σημεία Α1 έως και Α34 ,οι συντεταγμένες των οποίων δίνονται στον πίνακα 2 του κεφ. 5 (Πίν. 5.2) και έχουν εξαρτηθεί από το Εθνικό Τριγωνομετρικό Δίκτυο της χώρας με Κ.Φ.Χ. "ΛΑΚΚΟΙ-ΣΦΑΚΙΑ" 1:100.000, φ= 35^{o}15' και λ= -0^{o}19'.

2.2. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Κατ' αρχάς, πρέπει να διασαφηνιστεί η έννοια, τρισδιάστατο ψηφιακό μοντέλο εδάφους. Το ψηφιακό προϊόν που περιγράφει και αποδίδει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο το σχήμα, μέγεθος και μορφή του φυσικού ανάγλυφου, είναι το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους- Digital Terrain Model (ΨΜΕ-DTM) (ipet.gr,2008). Το ΨΜΕ προκύπτει από τη συλλογή και υπολογισμό των συντεταγμένων, των χαρακτηριστικών σημείων της επιφάνειας, του χώρου και δημιουργεί, με χρήση τεχνικών τριγωνισμού, τα ελάχιστα τμήματα (τρίγωνα ή τετράπλευρα) των επιφανειών, που αποδίδουν με το βέλτιστο τρόπο την εξωτερική του επιφάνεια. Το ΨΜΕ αποτελείται από μεγάλο αριθμό σημείων που προκύπτουν από την γεωμετρική παρεμβολή των υψομέτρων σε προκαθορισμένες οριζοντιογραφικές συντεταγμένες ενός κάνναβου που οριοθετούν την επιφάνεια του προς ψηφιοποίηση χώρου. Συνήθως, το ΨΜΕ περιγράφεται από το διάγραμμα των ισοϋψών καμπυλών της επιφάνειας σε ένα τοπογραφικό διάγραμμα κλίμακας 1:50 (ή μικρότερης) αλλά στο περιβάλλον ενός προγράμματος διαχείρισης τρισδιάστατων μοντέλων

περιγράφεται από το σχεδιαστικό αντικείμενο ενός τρισδιάστατου κάνναβου σημείων.

2.3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Υπάρχουν πλήθος μέθοδοι για τη δημιουργία ενός τρισδιάστατου ψηφιακού μοντέλου εδάφους. Στην παρούσα διπλωματική εργασία δημιουργήθηκε ΨΜΕ, με τη χρήση σύγχρονων γεωδαιτικών μεθόδων. Παρ' όλα αυτά, στην παρούσα ενότητα, για μια πιο εμπεριστατωμένη εποπτεία του αντικειμένου, γίνεται αναφορά στις κύριες μεθόδους συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων πεδίου για τη δημιουργία ΨΜΕ.

2.3.1. ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η πρώτη κατηγορία αποτύπωσης συνίσταται από εμπειρικές ή τοπομετρικές μεθόδους που πραγματοποιούνται με μηκομετρήσεις τριγώνων (τριπλευρισμούς), διαγωνίων, πλευρών, αποκλίσεων και υψομετρικών διαφορών χρησιμοποιώντας νήμα στάθμης, αλφαδολάστιχο και μετροταινία. Η αρχική καταγραφή των μετρήσεων γίνεται σε σκαρίφημα και η μελλοντική μεταφορά των χαρακτηριστικών του χώρου σε ψηφιακή μορφή (ψηφιοποίηση) γίνεται σε ένα δεύτερο στάδιο με χειροκίνητη εισαγωγή των στοιχείων συνήθως σε ένα αρχείο σχεδίασης σε περιβάλλον CADD (Computer Aided Design and Drafting). Οι μετρήσεις στηρίζονται σε μια αυθαίρετα ορισμένη αρχή και διεύθυνση ενός άξονα του συστήματος συντεταγμένων. Όλες οι μετρήσεις των σημείων αναφέρονται σε αυτές τις παραδοχές ενώ είναι εξαιρετικά δύσκολη η καταγραφή ενός τρισδιάστατου (όχι επίπεδου) αντικειμένου καθώς η τρίτη διάσταση δεν είναι δυνατόν να προέλθει με απλά μέσα γνωρίζοντας μόνο την αρχή και έναν από τους δύο άξονες του συστήματος συντεταγμένων.

Χαρακτηριστικά της μεθόδου είναι:

- η υποκειμενική σχέση του αποτυπωτή με το αντικείμενο
- η απαιτούμενη άμεση προσβασιμότητα προς το αντικείμενο

- τα απλά και φτηνά όργανα μετρήσεων (πχ. μετροταινία, laser αποστασιόμετρο).
- η αδυναμία ελέγχου με κάποια επιστημονική μεθοδολογία άρα αδυναμία αντικειμενικής αξιολόγησης της αποτύπωσης

Αν και η μέθοδος υστερεί σε ακρίβεια και επιστημονικότητα από τις άλλες τεχνικές ωστόσο ενδείκνυται πολλές φορές, χάριν του χαμηλού κόστους, όταν βέβαια οι απαιτήσεις ακρίβειας του τελικού προϊόντος δεν είναι μεγάλες, και είναι ανεκτή μια απόκλιση της τάξης του ± 0,5 m περίπου.

2.3.2. ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΕΣ Ή ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η επιστήμη που ασχολείται με την απεικόνιση των τμημάτων της γήινης επιφάνειας συμπεριλαμβανομένων και των ανθρώπινων κατασκευών είναι η επιστήμη της Τοπογραφίας. Η τεχνολογική ανάπτυξη και εξέλιξη των τοπογραφικών οργάνων, καθώς και των προγραμμάτων επεξεργασίας των μετρήσεων του πεδίου, αύξησε σε μεγάλο βαθμό την αξιοπιστία και ακρίβεια τόσο των μετρήσεων όσο και των αποτελεσμάτων. Η χρήση τοπογραφικών οργάνων και συγκεκριμένα θεοδόλιχων και αποστασιομέτρων για αποτύπωση σημείων του τρισδιάστατου χώρου έχει ξεκινήσει από πολύ παλιά και μπορούμε να πούμε ότι η σημερινή τεχνολογία των οργάνων μέτρησης είναι αρκετά ικανοποιητική ώστε να είναι σε θέση να πραγματοποιεί μετρήσεις με σημαντική ακρίβεια, της τάξης μερικών χιλιοστών.

Τα όργανα μετρήσεων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν και είναι σε θέση να ορίσουν ένα τρισδιάστατο σύστημα συντεταγμένων, στο οποίο αναφέρονται όλες οι μετρήσεις των σημείων, θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν μέτριου κόστους (μέχρι 10.000€) και η χρήση τους πρέπει να γίνεται από έμπειρους μηχανικούς (συνήθους Αγρονόμους Τοπογράφους Μηχανικούς, Πολιτικούς Μηχανικούς ή Αρχιτέκτονες Μηχανικούς) ή τεχνολόγους. Το όργανο που κατά κόρον χρησιμοποιείται σήμερα στην τοπογραφική αποτύπωση είναι ο Γεωδαιτικός Σταθμός (Total Station) που αποτελεί την μετεξέλιξη του θεοδόλιχου (όργανο για τη μέτρηση των γωνιών) που είναι το παραδοσιακό όργανο για τη μέτρηση γωνιών και του

ηλεκτρονικού αποστασιόμετρου (που συνδυάζεται με χρήση κάτοπτρων, ή άλλης ανακλαστικής επιφάνειας ή υπέρυθρης ακτίνας ή ακτίνας laser) για τη μέτρηση αποστάσεων.

Κύρια χαρακτηριστικά της τοπογραφικής μεθόδου είναι:

- Η τοπογραφική αποτύπωση είναι αντικειμενική
- Ορίζει ένα σύστημα αναφοράς βάσει του οποίου γίνεται ο προσδιορισμός των μετρήσεων στο χώρο
- Η ανακατασκευή γεωμετριών στην αναπαράσταση γίνεται μέσω συγκεκριμένων σημείων, που προσδιορίζονται αυστηρά
- Υπάρχει δυνατότητα επιστημονικού ελέγχου του αποτελέσματος και ικανοποίηση των απαιτήσεων ακρίβειας και αξιοπιστίας.
- Υπάρχει δυνατότητα και έμμεσων μετρήσεων, ως παράγωγων των πρωτογενών άμεσων μετρήσεων.
- Λόγω της πεπερασμένης ικανότητας για ικανοποίηση συνθηκών πυκνότητας, υπάρχει δυσκολία παρακολούθησης της συνέχειας γεωμετρικών στοιχείων (π.χ., γραμμές και κυρίως επιφάνειες).
- Το μέγεθος της πυκνότητας, που επηρεάζει την πιστότητα της αναπαράστασης, συναρτάται από τον χρόνο παραμονής στο πεδίο.
- Είναι δυνατή η τοποθέτηση, στην αναπαράσταση, περισσότερων αντικειμένων σε αμοιβαία σχέση μεταξύ τους.
- Υπάρχει ανάγκη για στοιχειώδη σχεδιαστική ικανότητα στο πεδίου, για τη σύνταξη σκαριφημάτων, κλπ.)
- Υπάρχει σημαντικό πρόβλημα χρόνου και κόστους εργασιών πεδίου, που εξαρτάται από την πολυπλοκότητα του αντικειμένου.
- Ο εξοπλισμός πεδίου είναι, κατ' αρχήν, μέτριου κόστους.
- Ο απαραίτητος εξοπλισμός για τις επεξεργασίες γραφείου είναι ο συνηθισμένος των τοπογραφικών εφαρμογών.
- Η αλγοριθμική επεξεργασία των δεδομένων είναι εύκολη.

Για να γίνει εφικτή η μέτρηση των σημείων στο χώρο είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν ακριβή όργανα μετρήσεων. Το πλέον κοινό όργανο που χρησιμοποιείται στην τοπογραφία τόσο για την αποτύπωση μεσαίας αλλά και μικρής κλίμακας αντικειμένων είναι ο θεοδόλιχος ή ταχύμετρο. Ο θεοδόλιχος

είναι σε θέση να μετρά με μεγάλη ακρίβεια την οριζόντια και κατακόρυφη γωνία που σχηματίζεται από τη νοητή οπτική γραμμή που συνδέει ένα χαρακτηριστικό σημείο του οργάνου (κέντρο σκόπευσης) και το σημείο λεπτομέρειας (σημείο σκόπευσης) επί του αντικειμένου που παρατηρείται μέσω του οπτικού συστήματος του. Έμμεσα με χρήση των εξισώσεων τριγωνομετρίας και της μέτρησης των κατακόρυφων γωνιών είναι εφικτό να μετρηθούν και οι κατακόρυφες αποστάσεις μεταξύ σημείων στον τρισδιάστατο χώρο. Με την επίλυση των θεμελιωδών θεωρημάτων της τοπογραφίας όλες οι μετρήσεις των γωνιών που γίνονται μέσω του θεοδόλιχου μπορούν να οδηγήσουν σε υπολογισμό των τρισδιάστατων συντεταγμένων των παρατηρούμενων σημείων στο επίγειο καρτεσιανό τρισορθογώνιο σύστημα συντεταγμένων.

Αν και οι θεοδόλιχοι αρχικά κατασκευάστηκαν μόνο για κάνουν μετρήσεις γωνιών, τα σύγχρονα όργανα συνοδεύονται από αποστασιόμετρα οπότε ονομάζονται Γεωδαιτικοί Σταθμοί και επιτρέπουν με μία μόνο σκόπευση (δηλαδή μέτρηση της οριζόντιας και κατακόρυφης γωνίας) και την ταυτόχρονη μέτρηση της απόστασης του σημείου λεπτομέρειας από το θεοδόλιχο να παράγουν τις απ’ ευθείας τρισδιάστατες συντεταγμένες σημείων στο χώρο εφόσον είναι απόλυτα προσδιορισμένη η θέση (ονομάζεται και στάση του οργάνου στην τοπογραφική ορολογία) του τοπογραφικού οργάνου σε ένα τρισορθογώνιο σύστημα συντεταγμένων (Σαββαϊδης, κ.α., 2008).

2.3.3. ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η φωτογραμμετρία είναι η Επιστήμη που σκοπό έχει την εξαγωγή αξιόπιστης μετρικής πληροφορίας φυσικών αντικειμένων και του περιβάλλοντος μέσω των διαδικασιών της καταγραφής, μέτρησης και ερμηνείας φωτογραφικών εικόνων και άλλων πρότυπων Ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και φαινομένων. Η Φωτογραμμετρία έχει εξελιχθεί παράλληλα με την τεχνική της φωτογραφίας και σε συνεργασία με τις επιστήμες των μετρήσεων όπως π.χ. της τοπογραφίας, της γεωδαισίας και της χαρτογραφίας για τη δημιουργία χαρτών της γήινης επιφάνειας. Η φωτογραμμετρική επιστήμη μπορεί να διαχωριστεί σε επίγεια και από αέρα φωτογραμμετρία. Η από αέρα φωτογραμμετρία ασχολείται με θέματα που αφορούν τη

χαρτογράφηση σε μικρές συνήθως κλίμακες της γήινης επιφάνειας με χρήση φωτογραφιών που προέρχονται από φωτογραφικές μηχανές που ίπτανται σε μεγάλο σχετικό ύψος πάνω από τη επιφάνεια της Γης (6-20 km). Η επίγεια φωτογραμμετρία ασχολείται με ψηφιοποίηση αντικειμένων που βρίσκονται σε μικρή απόσταση (κάτω από 100m) από το φωτογραφικό φακό και οι κλίμακες αποτύπωσης είναι μεγαλύτερη ή ίση του 1:100. Η αποτύπωση μνημείων – χώρων γίνεται συνήθως με χρήση επίγειων φωτογραμμετρικών τεχνικών.

Ωστόσο, και στη καταγραφή μνημείων – χώρων είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν τεχνικές αεροφωτογραμμετρίας ιδιαίτερα όταν απαιτείται η δημιουργία τοπογραφικών διαγραμμάτων – χαρτών για μεγάλους αρχαιολογικούς χώρους – κάστρα κ.λπ. οπότε και η κλίμακα αποτύπωσης είναι σχετικά μικρή (1:2000, 1:500). Αεροφωτογραφίες μπορούν να ληφθούν, όπως αναφέρθηκε, είτε από φωτομηχανές που ίπτανται σε μεγάλο ύψος, π.χ. σε κάποιο αεροσκάφος, είτε να ληφθούν εικόνες από ειδικούς δορυφόρους. Η απαιτούμενη ακρίβεια των υπολογισμών, κάθε φορά, μας υπαγορεύει και την ακρίβεια στην ανάλυση που πρέπει να διαθέτουν οι εκάστοτε εικόνες. Η επιστήμη της φωτογραμμετρίας έχει εξελιχθεί πάρα πολύ, τη σημερινή εποχή, και η χρήση της είναι πλέον πολύ διαδεδομένη. Εικόνες πολύ υψηλής ανάλυσης, δύναται πλέον να αποδώσουν μετρητικά αποτελέσματα υψηλής ακρίβειας, της τάξης μερικών εκατοστών (±10cm).

2.3.4. ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΑΡΩΣΗΣ LASER

Τα τελευταία χρόνια νέα όργανα μετρήσεων έχουν εισαχθεί στις επιστήμες των αποτυπώσεων χώρων τα οποία είναι σε θέση να μετρήσουν και να ανακατασκευάσουν τον τρισδιάστατο χώρο και τα αντικείμενα των διάφορων μορφών και μεγεθών με έναν γρήγορο και οικονομικό τρόπο. Αυτά τα όργανα, βασισμένα στην τεχνολογία laser, είναι συνήθως γνωστά ως επίγειοι Τρισδιάστατοι Ανιχνευτές Laser (3D laser scanner). Εκτός από τους τρισδιάστατους ανιχνευτές laser υπάρχουν και συσκευές που σαρώνουν μόνο οριζόντια ή κατακόρυφα ένα χώρο και μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την καταγραφή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του.

Κύρια χαρακτηριστικά της μεθόδου ανίχνευσης laser είναι:

- Είναι ταχύτατη και αξιόπιστη μέθοδος αποτύπωσης

- Παρέχει ακριβέστερα αποτελέσματα από οποιαδήποτε άλλη μεθοδολογία
- Απαιτεί λιγότερη προεπεξεργασία αλλά και μικρότερο χρόνο εργασίας στο γραφείο
- Συνδυάζει την ακρίβεια της τοπογραφικής αποτύπωσης και την πληρότητα και συνέχεια αποτύπωσης της φωτογραμμετρικής
- Παρέχουν μεταβλητή ανάλυση στο έδαφος ανάλογα με την απαιτούμενη ακρίβεια του τελικού προϊόντος
- Παρέχει συνολική αποτύπωση των 3D αντικειμένων χωρίς επιπλέον κόπο ή χρόνο εργασίας
- Το κόστος αγοράς εξοπλισμού είναι μεγάλο ενώ το κόστος της αποτύπωσης μπορεί να είναι ιδιαίτερα χαμηλό λόγω του μειωμένου χρόνου παραμονής των ειδικευμένων επιστημόνων στο τόπο καταγραφής και του περιορισμένου αριθμού εργατοωρών που απαιτούνται για τη δημιουργία του συνολικού 3D μοντέλου

Τα σημεία που θα μετρηθούν δεν προσδιορίζονται από το χειριστή του οργάνου αλλά προκύπτουν τυχαία και το μόνο που καθορίζεται είναι το βήμα της οριζόντιας και κατακόρυφης ανάλυσης μετρήσεων.

2.4. ΧΡΗΣΕΙΣ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Στην προηγούμενη ενότητα έγινε αναφορά στις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία ενός τρισδιάστατου ψηφιακού μοντέλου εδάφους. Υπάρχουν πολλοί λόγοι για τους οποίους καθίσταται απαραίτητο το ΨΜΕ, και αναλύονται παρακάτω οι κυριότεροι εξ' αυτών.

Τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πληθώρα άλλων εφαρμογών, όπως στην δημιουργία υδρολογικών μελετών, στην εφαρμογή μελετών πρόληψης πυρκαγιών σε δασικές εκτάσεις, στην μοντελοποίηση μεγάλων κοιτασμάτων χρήσιμων μεταλλευμάτων, κτλ.

Επιπλέον, ένας μεγάλος κλάδος που χρησιμοποιεί την ψηφιακή τρισδιάστατη απεικόνιση του φυσικού ανάγλυφου μιας περιοχής, είναι ο κατασκευαστικός τομέας. Χρησιμοποιούνται κυρίως για τον προσδιορισμό όγκων χωματισμών, σε μεγάλα τεχνικά έργα, λατομεία, εκμεταλλεύσεις, κ.τ.λ.

Ανάλογα με την επιθυμητή ακρίβεια στον υπολογισμό, τόση ακρίβεια και προσοχή δίδεται κατά τη συλλογή των μετρήσεών μας, κυρίως με τις τοπογραφικές μεθόδους, με τις οποίες ασχολείται και η παρούσα διπλωματική εργασία. Η υψηλή ακρίβεια των αποτελεσμάτων, δηλαδή η βέλτιστη ταύτιση των μετρούμενων μεγεθών με τις πραγματικές ποσότητες, είναι πάρα πολύ σημαντική στον κατασκευαστικό τομέα, διότι από τις προμετρούμενες ποσότητες προκύπτει ο προϋπολογισμός του εκάστοτε έργου και έτσι μπορεί να εκτιμηθεί κατά το μέγιστο δυνατό βαθμό, το κόστος κατασκευής.

Επίσης, άλλος σημαντικός κλάδος στον οποίο χρησιμοποιούνται κατά κόρον τα ΨΜΕ είναι ο κλάδος της αρχαιολογίας και της συντήρησης αρχαιοτήτων. Η αναγκαιότητα της καταγραφής των ιστορικών μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς της ανθρωπότητας αιτιολογείται από τη σύσταση και λειτουργία διεθνών οργανισμών που έχουν ως κύριο στόχο την διατήρηση τους, που κατά πολλούς αποτελεί τη θεμέλιο λίθο του πολιτισμού. Ψηφιοποίηση ενός μνημείου μπορεί να οριστεί η ακριβής αποτύπωση και καταγραφή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του με τρόπο ώστε να αναπαρίσταται αξιόπιστα η γεωμετρική μορφή και θέση του στο χώρο, με τη χρήση διαγραμμάτων και δισδιάστατων απεικονίσεων αλλά και τρισδιάστατων εικονικών μοντέλων στη μνήμη αλλά και στην οθόνη ενός Η/Υ(ipet.gr, 2008).

2.5. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Στον παρόν κεφάλαιο, περιγράφηκε η έννοια του ψηφιακού μοντέλου εδάφους η χρησιμότητά του. Επιπλέον έγινε συνοπτική αναφορά στις μεθόδους κατασκευής ενός ΨΜΕ. Η παρούσα διπλωματική εργασία, πραγματεύεται τη δημιουργία ΨΜΕ με σύγχρονες γεωδαιτικές μεθόδους και αυτές θα αναλυθούν στη συνέχεια. Θα ακολουθήσει το θεωρητικό υπόβαθρο και η μεθοδολογία πραγματοποίησης τοπογραφικών αποτυπώσεων, βάσει των οποίων κατασκευάζεται το ψηφιακό μοντέλο εδάφους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΑΠΟΤΥΠΩΣΕΩΝ

3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αφού περιγράφηκε η χρησιμότητα ενός ψηφιακού μοντέλου εδάφους, το επόμενο βήμα είναι να ενταχθεί, η περιοχή μελέτης, σε κάποιο κρατικό σύστημα συντεταγμένων ή αλλιώς σύστημα αναφοράς, έτσι ώστε να αποτυπωθεί σωστά και με ακρίβεια και να κατασκευαστεί το ΨΜΕ. Αυτό θα γίνει στο επόμενο κεφάλαιο, που θα παρουσιαστεί η επεξεργασία των πραγματοποιηθέντων μετρήσεων, ενώ στο παρόν κεφάλαιο θα περιγραφεί η φιλοσοφία των συστημάτων αναφοράς, οι χαρτογραφικές απεικονίσεις, και οι τρόποι πραγματοποίησης τοπογραφικών μετρήσεων.

3.2. ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

Για τις διάφορες χαρτογραφικές απεικονίσεις αρκεί να χρησιμοποιηθεί ένα τρισορθογώνιο σύστημα αναφοράς. Ο άξονας των Z ταυτίζεται με τη κατακόρυφο του τόπου. Επομένως το επίπεδο των αξόνων Χ, Ψ είναι ένα οριζόντιο επίπεδο. Κατά κανόνα ο άξονας των Ψ ταυτίζεται με τη διεύθυνση του Βορρά.

Τοπογραφική αποτύπωση είναι το σύνολο εργασιών που απαιτούνται για τον προσδιορισμό της μορφής, της θέσης και του μεγέθους τμήματος της γήινης επιφάνειας, με τα επί αυτού φυσικά ή τεχνητά αντικείμενα. Η συλλογή των στοιχείων και η πυκνότητα λήψης αυτών προδιαγράφεται από το καθορισμό της κλίμακας με την οποία θα συνταχθεί ο χάρτης (Σαββαϊδης, κ.α., 2008).

Για ολοκληρωμένη απεικόνιση του εδάφους θα πρέπει να αποδοθεί η σχετική θέση των διαφόρων σημείων αυτού, τόσο κατά τη προβολή τους πάνω στο οριζόντιο επίπεδο, όσο και κατά την απόστασή τους από αυτό. Το πρώτο από τα δύο στάδια, που αποβλέπει στην απεικόνιση των προβολών των σημείων του εδάφους, πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ονομάζεται οριζόντια αποτύπωση, ενώ το δεύτερο με το οποίο αποδίδεται η υψομετρική μορφή του εδάφους ονομάζεται υψομετρική αποτύπωση. Από τον συνδυασμό της

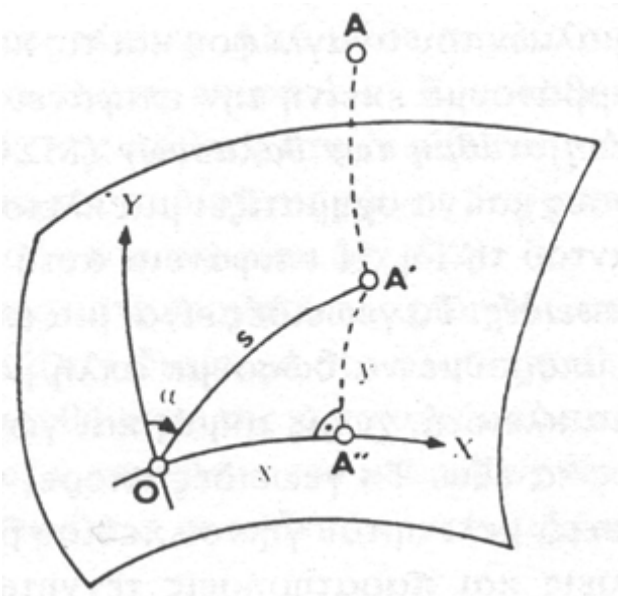
οριζόντιας και της υψομετρικής αποτύπωσης, προκύπτει το τρισδιάστατο μοντέλο εδάφους (ή DTM).

3.3. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

3.3.1.ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

Τα Γεωδαιτικά Συστήματα Αναφοράς (ΓΣΑ) καθορίζουν το σχήμα και το μέγεθος της Γης. Μέχρι σήμερα έχουν χρησιμοποιηθεί πολλά διαφορετικά ΓΣΑ για τη γήινη σφαίρα ή τοπικά σε διάφορα κράτη. Σήμερα τα γεωδαιτικά συστήματα αναφοράς μπορεί να είναι από επίπεδες επιφάνειες, για μικρής έκτασης τοπογραφικές εργασίες, μέχρι σύνθετα συστήματα που καλύπτουν ολόκληρη τη Γη και περιγράφουν το μέγεθος και τη μορφή της, καθώς και άλλα στοιχεία, όπως το πεδίο της γήινης βαρύτητας και τη γωνιακή ταχύτητα περιστροφής της Γης (Βέης 1994, Συγγρός 2004).

Για να προσδιορίσει τη θέση των σημείων του εδάφους στο χώρο η Τοπογραφία βασίζεται στη μέθοδο των προβολών. Η σχετική θέση ενός σημείου Α στο χώρο μπορεί να οριστεί με την προβολή του Α' πάνω σε γνωστή επιφάνεια (επίπεδο, σφαίρα κ.λπ.) και με το μήκος της προβάλλουσας ΑΑ', η οποία είναι γραμμή γνωστού νόμου (ευθεία, τόξο κύκλου κτλ) με γνωστή προς την επιφάνεια διεύθυνση (π.χ. κάθετη) (εικ.3.1).



Εικ. 3.1. Γενική σχηματική παράσταση της μεθόδου των προβολών

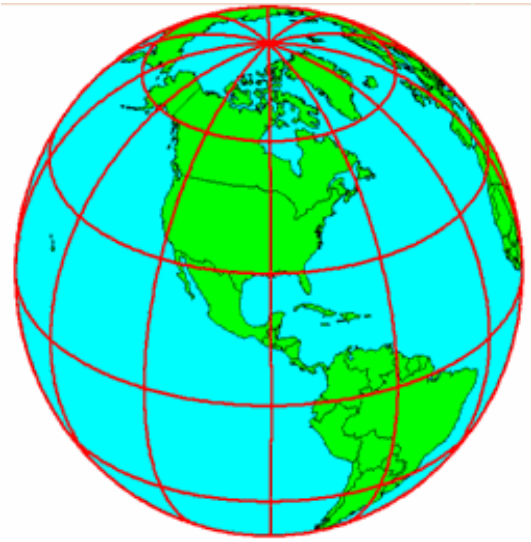
Η θέση του σημείου Α' πάνω στην επιφάνεια προβολής ορίζεται από τις συντεταγμένες του (ορθογώνιες x y, πολικές α s), που αναφέρονται σε ένα σύστημα αξόνων ΥΟΧ με γνωστή αρχή Ο.

3.3.2. Η ΜΟΡΦΗ ΤΗΣ ΓΗΣ (ΓΗΙΝΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ)

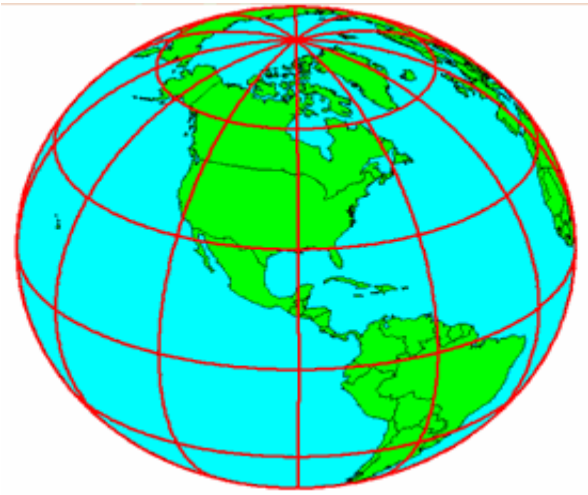
Ο όρος *Φυσική Γήινη Επιφάνεια* χρησιμοποιείται για να περιγράψει την σύνθετη επιφάνεια της Γης. Το σχήμα της επιφάνειας αυτής έχει, κατά ιστορικούς καιρούς, περιγραφεί γεωμετρικά ως *επίπεδο*, *σφαίρα*, *σφαιροειδές* και *ελλειψοειδές* (εικ. 3.2.α,3.2.β).

Για τη μελέτη του ακριβούς σχήματος της Γης ορίζουμε μία επιφάνεια απαλλαγμένη κατά το δυνατό από τις επιδράσεις των ανωμαλιών του ανάγλυφου (εικ.3.3). Μια τέτοια επιφάνεια μπορεί να είναι η μέση στάθμη της θάλασσας (ΜΣΘ) που, όταν προεκτείνεται κάτω από την ξηρά και περικλείει ολόκληρη τη Γη, σχηματίζει μια νέα επιφάνεια η οποία ονομάζεται *γεωειδές* (Geoid) (Σαββαϊδης, κ.α., 2008). Η ΜΣΘ δεν είναι μία σταθερή επιφάνεια, αλλά μεταβάλλεται υπό την επίδραση διαφόρων γεωδυναμικών και μη παραγόντων, προσδιορίζεται δε με μακροχρόνιες μετρήσεις με τη βοήθεια ειδικών οργάνων όπως π.χ. παλιρροιογράφων. Ως εκ τούτου και το γεωειδές είναι επιφάνεια πολύπλοκη, την οποία την οποία δεν μπορούμε να αναπαραστήσουμε με απλούς μαθηματικούς τύπους. Για τον προσδιορισμό του γεωειδούς χρησιμοποιούνται γεωδαιτικές μετρήσεις, μετρήσεις GPS, μετρήσεις του πεδίου της γήινης βαρύτητας και αστρονομικές παρατηρήσεις. Είναι δεδομένο ότι το γεωειδές, που είναι η βάση του προβολικού συστήματος στην Τοπογραφία, είναι μια επιφάνεια που δεν ανήκει σε καμιά από τις γνωστές μαθηματικές επιφάνειες και με μορφή που δεν είναι ακόμα εντελώς καθορισμένη στις λεπτομέρειές της. Έτσι όμως είναι αδύνατη η εκτέλεση μαθηματικών υπολογισμών πάνω στο γεωειδές με τις οριζόντιες προβολές.

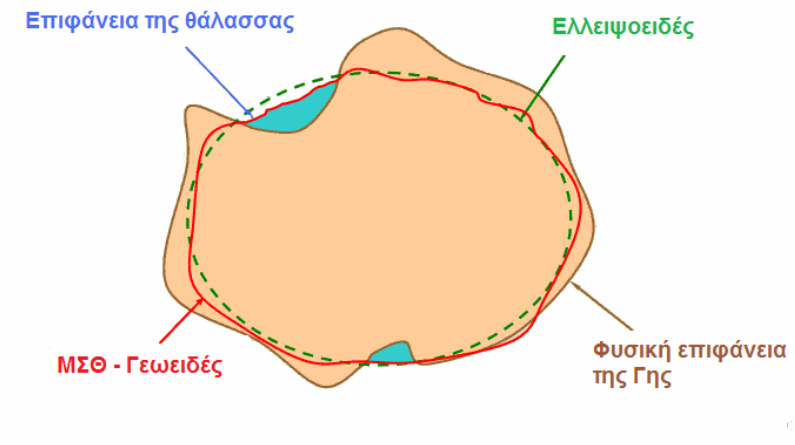
Για να γίνει δυνατή η εισαγωγή των μαθηματικών, πρέπει να αντικατασταθεί η ιδιόσχημη επιφάνεια του γεωειδούς από άλλες (κάθε φορά διαφορετική ανάλογα με τον επιδιωκόμενο βαθμό ακριβείας), που έχουν μαθηματικώς εντελώς καθορισμένο σχήμα.



Εικ.3.2.α. Γενική αντίληψη ότι η Γη έχει σχήμα σφαιρικό

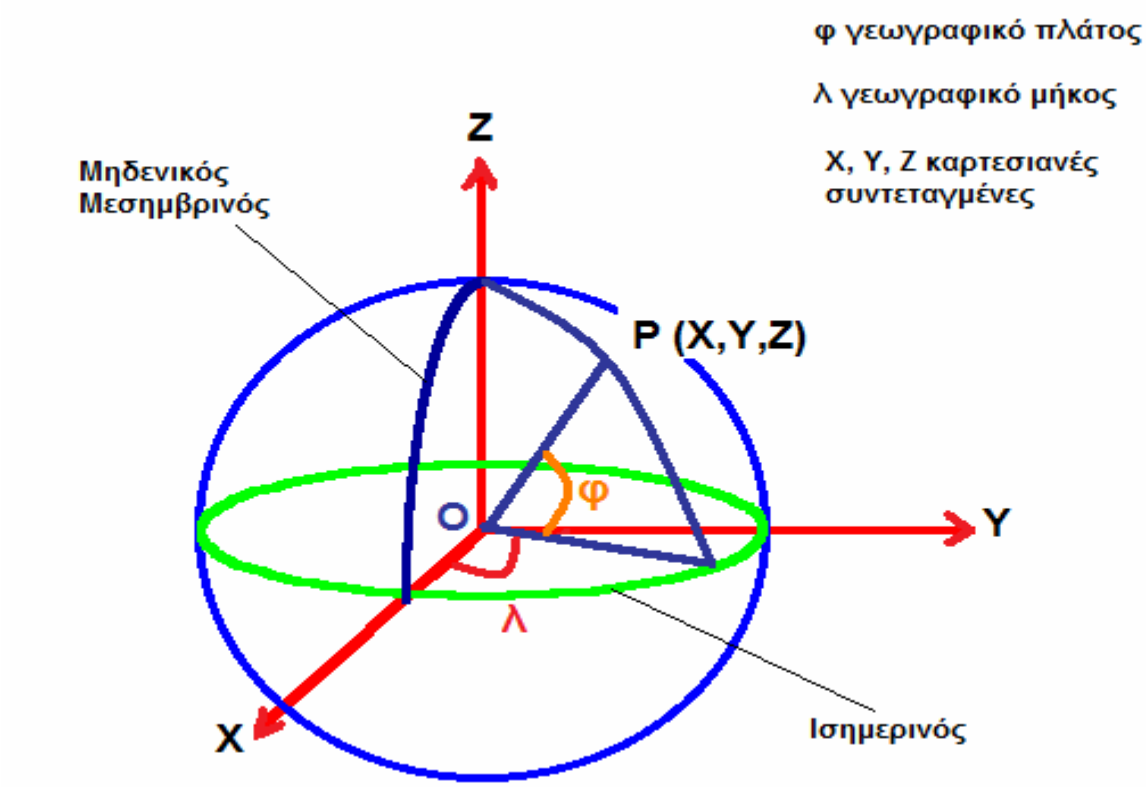


Εικ.3.2.β. Στην πραγματικότητα χρησιμοποιείται ένα ελλειψοειδές εκ περιστροφής (Σαββαϊδης, κ.α., 2008).



Εικ. 3.3. Επιφάνειες της Γης

Στην πράξη, για την αποφυγή πολύπλοκων πολυωνύμων (και των σφαλμάτων που απορρέουν από αυτά) το πλέον συχνά χρησιμοποιούμενο σχήμα είναι το γήινο ελλειψοειδές, μια επιφάνεια που πλησιάζει περισσότερο προς το γεωειδές. Αυτό είναι πεπλατυσμένο στους πόλους, έχει για κέντρο το κέντρο μάζας της Γης και ο άξονας περιστροφής του συμπίπτει περίπου με τον άξονα περιστροφής της Γης. Ένα σημείο πάνω στο ελλειψοειδές μπορεί να ορισθεί είτε από τις γεωγραφικές συντεταγμένες του, γνωστές ως γεωγραφικό μήκος (λ) και γεωγραφικό πλάτος (φ), που είναι γωνιακά μεγέθη και αναφέρονται στο νοητό κέντρο του ελλειψοειδούς, είτε με τη βοήθεια των καρτεσιανών συντεταγμένων του x, y, z ως προς το τρισορθογώνιο γεωκεντρικό σύστημα συντεταγμένων OXYZ (Εικ.3.4). Το γεωγραφικό μήκος και πλάτος μετριούνται σε μοίρες.



Εικ.3.4. Ορισμός της θέσης σημείου P στην επιφάνεια του γήινου ελλειψοειδούς με φ και λ ή X, Y, Z

Οι διαστάσεις του γήινου ελλειψοειδούς ορίζονται με το μεγάλο ημιάξονα a, που το μήκος του συμπίπτει περίπου με το μήκος της ισημερινής ακτίνας, το μικρό ημιάξονα b και την επιπλάτυνση ή πλάτυνση f=(a-b)/a ή μόνο με τα a και f, που αποτελούν τις παραμέτρους του γήινου ελλειψοειδούς.

Κατά καιρούς έχουν οριστεί διάφορα ελλειψοειδή σε μια προσπάθεια τελειότερης προσαρμογής προς το γεωειδές. Τα σπουδαιότερα από αυτά παρουσιάζονται στον πίνακα 3.1 (Παναγιωτόπουλος, κ.α., 2001) :

Πιν.3.1.Τα κυριότερα ελλειψοειδή

Bessel (1841) : a=6,377,397 m - f=1/299.2
Hayford (1909) : a=6,378,388 m - f=1/297.0
Krassowsky (1943) : a=6,378,245 m - f=1/298.3
G.R.S. (1967) : a=6,378,160 m - f=1/298.2
GRS80 : a=6,378,137 m – f=1/298.2572236
WGS84 : a=6,378,137 m – f=1/298.257223563

Η κάθετος στον μικρό ημιάξονα του ελλειψοειδούς επίπεδο, που περιέχει τον μεγάλο ημιάξονα, τέμνει το ελλειψοειδές κατά έναν μέγιστο κύκλο που καλείται ισημερινός ή ισημερινό επίπεδο. Με βάση το κέντρο του ελλειψοειδούς μπορούμε να ορίσουμε ένα τρισορθογώνιο σύστημα αξόνων OXYZ, στο οποίο ο άξονας Z συμπίπτει με τον άξονα περιστροφής του ελλειψοειδούς και οι άξονες X, Y παραλληλίζονται με το ισημερινό επίπεδο (σχ. 3.4). Ο άξονας OZ τέμνει το γήινο ελλειψοειδές στον βόρειο και το νότιο πόλο. Κάθε επίπεδο που διέρχεται από τους πόλους τέμνει το ελλειψοειδές κατά μια έλλειψη που καλείται μεσημβρινός. Το επίπεδο που ορίζεται από τους ημιάξονες OX και OZ του τρισορθογωνίου αυτού συστήματος καλείται μηδενικό μεσημβρινό επίπεδο και τέμνει το ελλειψοειδές κατά τον μηδενικό μεσημβρινό.

Το γεωγραφικό πλάτος φ ενός σημείου πάνω στην επιφάνεια του γήινου ελλειψοειδούς είναι η γωνία που σχηματίζεται, από την κάθετο στο γήινο ελλειψοειδές (στο σημείο P) και το ισημερινό επίπεδο. Η κάθετος αυτή ανήκει στο διερχόμενο από το P μεσημβρινό επίπεδο. Το φ παίρνει τιμές από -90^o στο Νότιο πόλο ως $+90^o$ στο Βόρειο πόλο, με μηδέν στον ισημερινό.

Το γεωγραφικό μήκος λ ενός σημείου P πάνω στην επιφάνεια του γήινου ελλειψοειδούς είναι η δίεδρη γωνία που σχηματίζεται από το μηδενικό μεσημβρινό επίπεδο και το αντίστοιχο μεσημβρινό επίπεδο που διέρχεται από το P. Οι τιμές του λ μεταβάλλονται από 0^o (στον μεσημβρινό αφετηρίας) ως 360^o, με φορά προς ανατολάς.

Μέχρι σήμερα έχουν γίνει αρκετοί προσδιορισμοί του γήινου ελλειψοειδούς. Οι πρώτοι προσδιορισμοί ήταν τοπικοί, αναφέρονταν δηλαδή για μια σχετικά περιορισμένη περιοχή της Γης (π.χ. ένα ή μερικά κράτη). Σε αντιστοιχία με τα τοπικά Γεωδαιτικά Συστήματα Αναφοράς ένα Παγκόσμιο Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς χρησιμοποιεί ένα ελλειψοειδές εκ περιστροφής που προσαρμόζεται καλύτερα στο συνολικό σχήμα της Γης και έχει κέντρο το κέντρο μάζας της Γης (Σαββαΐδης, κ.α., 2008).

Το Παγκόσμιο ΓΣΑ ορίζεται με διαφορετικό τρόπο από τα τοπικά, αφού το σχήμα της Γης στην πραγματικότητα προσδιορίζεται από δυνάμεις που σχετίζονται με το πεδίο της βαρύτητας της Γης και τη φυγόκεντρη κίνηση. Το 1967 η Διεθνής Ένωση Γεωδαισίας και Γεωφυσικής (International Union of Geodesy and Geophysics, IUGG) πρότεινε το Γεωδαιτικό Ελλειψοειδές Αναφοράς (GRS 1967) που ίσχυσε για όλη τη Γη. Στο σύστημα αυτό έγιναν αργότερα διάφορες διορθώσεις και προέκυψε το ελλειψοειδές GRS 80 που και πάλι καλύπτει όλη τη Γη και χρησιμοποιείται σήμερα για τους διάφορους γεωδαιτικούς υπολογισμούς. Στο GRS 80 αναφέρεται και το Παγκόσμιο Γεωδαιτικό Σύστημα 1984 (World Geodetic System 1984, WGS 84) που χρησιμοποιείται από το παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα εντοπισμού GPS.

3.3.3. ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΙΣ (ΠΡΟΒΟΛΕΣ) ΚΑΙ ΧΑΡΤΕΣ

Απεικόνιση ή προβολή μιας επιφάνειας (φυσική) επάνω σε μια άλλη (επιφάνεια απεικόνισης) είναι η, μέσω μιας αμφιμονοσήμαντης αντιστοιχίας μεταξύ σημείων των δύο επιφανειών, μεταφορά γεωμετρικών και / ή φυσικών μεγεθών της πρώτης επιφάνειας επάνω στη δεύτερη (εικ. 3.5). Αν η φυσική επιφάνεια είναι η σφαιρική προσέγγιση της Γης, η απεικόνιση καλείται γεωγραφική. Αν η επιφάνεια αυτή είναι η ελλειψοειδής προσέγγιση της Γης, η απεικόνιση καλείται γεωδαιτική (Σαββαΐδης, κ.α., 2008).. Όταν έχουμε γεωγραφική απεικόνιση, ο χάρτης, που η επιφάνεια απεικόνισης είναι ένα

επίπεδο, καλείται γεωγραφικός. Αντίστοιχα, όταν έχουμε γεωδαιτική απεικόνιση, ο χάρτης που η επιφάνεια απεικόνισης είναι ένα επίπεδο καλείται γεωδαιτικός ή τοπογραφικός. Και στις δύο περιπτώσεις, το επίπεδο αυτό καλείται προβολικό επίπεδο και κατά κανόνα φέρει το όνομα της εκλεγείσας απεικόνισης.

Οι γεωγραφικοί χάρτες συνήθως έχουν μικρή κλίμακα, απεικονίζουν μεγάλες επιφάνειες της Γης και είναι σχετικά απλοί στην κατασκευή τους. Οι γεωδαιτικοί ή τοπογραφικοί χάρτες έχουν μεγαλύτερες κλίμακες και ακρίβεια, εξυπηρετούν τις χαρτογραφικές ανάγκες και γενικά έχουν μικρότερες αποκλίσεις, λόγω υπεροχής του ελλειψοειδούς σε σχέση με τη σφαίρα, αναφορικά με την προσαρμογή του στο γεωειδές.

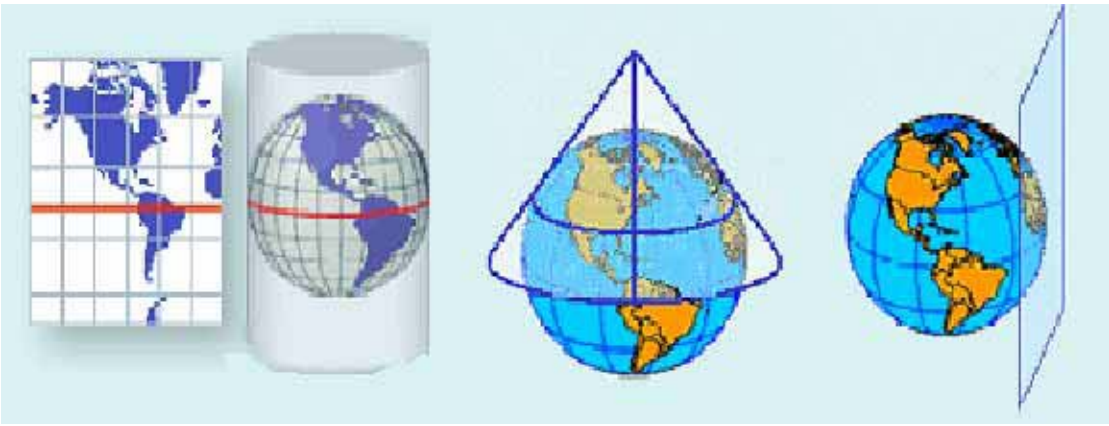


Εικ.3.5. Από την καμπύλη Γη στον επίπεδο χάρτη(Σαββαϊδης, κ.α., 2008)

Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες απεικονίσεων που παίρνουν το όνομά τους από τη μορφή της επιφάνειας που χρησιμοποιείται για την προβολή. Οι βασικότερες από αυτές είναι οι κυλινδρικές, οι κωνικές και οι αζιμουθιακές (εικ.3.6), οι οποίες επίσης χωρίζονται σε κατηγορίες ανάλογα με το τρόπο που η χρησιμοποιούμενη επιφάνεια εφάπτεται ή τέμνει την επιφάνεια της γης.

Κατά την απεικόνιση της σφαίρας ή του ελλειψοειδούς (που είναι μη αναπτυκτές επιφάνειες) στο επίπεδο ή σε κώνο ή κύλινδρο (που είναι αναπτυκτές επιφάνειες), οι γωνίες, τα μήκη, τα εμβαδά κ.λπ. αλλοιώνονται λόγω προβλημάτων αναγωγών ή παραμορφώσεων. Τα σφάλματα που προκύπτουν για μικρές περιοχές είναι συνήθως αμελητέα όμως δεν παύουν να υπάρχουν. Ένα Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς εφαρμόζεται με την απεικόνιση (ή προβολή) του ελλειψοειδούς αναφοράς σε ένα επίπεδο μέσω μιας από τις μεθόδους απεικονίσεων που αναφέρθηκαν παραπάνω. Έτσι τα σημεία πάνω στο ελλειψοειδές αναφοράς προβάλλονται στο επίπεδο και χαρακτηρίζονται από τις επίπεδες πλέον συντεταγμένες τους (X, Y). Τα διάφορα είδη γεωδαιτικών απεικονίσεων καλούνται και προβολικά συστήματα.

Ο πίνακας 3.2. δείχνει τις διάφορες κατηγορίες απεικονίσεων.



Εικ.3.6. Βασικές μορφές απεικονίσεων (από αριστερά: κυλινδρική, κωνική, αζιμουθιακή)

Πιν.3.2. Ταξινόμηση απεικονίσεων

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ				
ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΙΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ		**ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΚΤΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ**		**ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ**
ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΙΣ	**ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ**	**ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΙΣ**	**ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ**	
1. ΣΥΜΜΟΡΦΕΣ Ή ΙΣΟΓΩΝΙΕΣ	Διατήρηση των γωνιών ή της ομοιότητας των σχημάτων	1. ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΕΣ	Κύλινδρος	1. Πλήρως ερμηνευόμενες γεωμετρικά
2. ΙΣΟΔΥΝΑΜΕΣ Ή ΙΣΕΜΒΑΔΙΚΕΣ	Διατήρηση του εμβαδού	2. ΚΩΝΙΚΕΣ	Κώνος	2. Μαθηματικές, που δεν ερμηνεύονται γεωμετρικά (και δεν χρησιμοποιούνται από χαρτογραφική άποψη)
3. ΙΣΑΠΕΧΟΥΣΕΣ Ή ΙΣΟΜΕΤΡΙΚΕΣ	Διατήρηση των μηκών ορισμένων χαρακτηριστικών γραμμών	3. ΕΠΙΠΕΔΕΣ	Επίπεδο	3. Ενδιάμεσες των παραπάνω, που ερμηνεύονται με κάποιο βαθμό προσέγγισης
4. ΑΦΥΛΑΚΤΙΚΕΣ	Καμιά από τις παραπάνω ιδιότητες	Ορθές, λοξές, πολικές, εγκάρσιες, κ.τ.λ. ανάλογα με τη θέση των αξόνων του κυλίνδρου ή του κώνου ή του επιπέδου, κατά περίπτωση		
ΣΗΜΕΙΩΣΗ : Οι παραπάνω ονομασίες/κατηγορίες συνδυάζονται και με τα ονόματα αυτών που τις δημιούργησαν (π.χ. Gauss, Lambert, Mercator κ.τ.λ.) με αποτέλεσμα ένα μεγάλο πλήθος ονομασιών απεικονίσεων.				

3.3.4. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΟΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ

Στην Ελλάδα χρησιμοποιούνται σήμερα διάφορα Γεωδαιτικά Συστήματα Αναφοράς σε συνδυασμό με διάφορα προβολικά συστήματα. Μέχρι πριν λίγα χρόνια υπήρχαν σε χρήση δύο κυρίως συστήματα αναφοράς το (παλιό) Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς ή (παλιό) Ελληνικό DATUM και το Ευρωπαϊκό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς ED50. Διάφορες βελτιώσεις του παλιού ελληνικού DATUM οδήγησαν στον επαναϋπολογισμό του ως Νέο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς ή Νέο Ελληνικό DATUM, που όμως δεν χρησιμοποιήθηκε ιδιαίτερα. Ο ορισμός των παραπάνω συστημάτων έγινε με επίγειες μεθόδους και μετρήσεις.

Τα προβολικά συστήματα που κύρια χρησιμοποιούνται σήμερα στην Ελλάδα είναι (Σαββαϊδης, κ.α., 2008) :

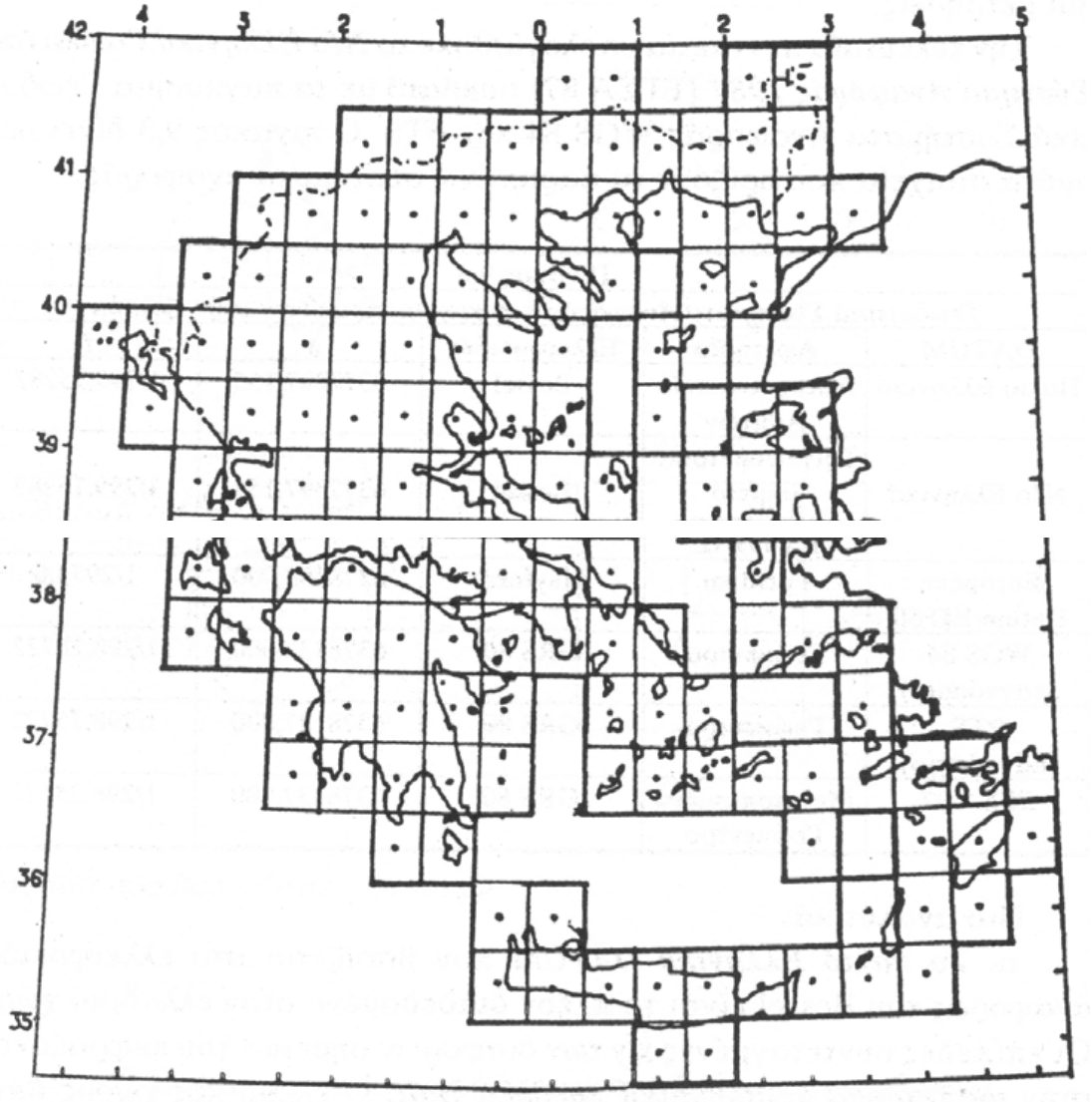
1. Η αζιμουθιακή ισαπέχουσα προβολή του HATT,
2. Τα δύο συστήματα Εγκάρσιας Μερκατορικής Προβολής (ΤΜ3 και UTM)
3. Το σύστημα Εγκάρσιας Μερκατορικής Προβολής (ΕΓΣΑ87)
4. Το HTRS07

3.3.4.1. ΤΟ ΠΡΟΒΟΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ HATT

Το σύστημα συντεταγμένων HATT είναι η προβολή εκείνη που χρησιμοποιήθηκε για την απεικόνιση σε χάρτη του Ελλαδικού χώρου. Η ονομασία της είναι πλάγια ισαπέχουσα αζιμουθιακή προβολή και χάρη συντομίας τη λέμε προβολή του HATT. Η προβολή αυτή διατηρεί αναλλοίωτα τα μήκη και αζιμούθια των γραμμών που περνούν από το κέντρο (κοινό σημείο επαφής του ελλειψοειδούς ή της σφαίρας και του επιπέδου πάνω στο οποίο γίνεται η προβολή). Το επίπεδο αυτό καλείται επίπεδο του ορίζοντος (Παναγιωτόπουλος, κ.α.,2001).

Ως ελλειψοειδές αναφοράς έχει ορισθεί το ελλειψοειδές Bessel. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί ένα επίπεδο αναφοράς, το οποίο εφάπτεται σε ένα σημείο του ελλειψοειδούς το οποίο ονομάζεται κέντρο φύλλου χάρτου (Κ.Φ.Χ.). Έτσι ορίζονται 130 σφαιροειδή τραπέζια μεγέθους 30' x 30' για την κάλυψη του Ελλαδικού χώρου (σχ. 3.7). Κάθε τραπέζιο έχει το δικό του

σύστημα συντεταγμένων, με την αρχή των αξόνων το Κ.Φ.Χ. Η προβολή αυτή έχει το πλεονέκτημα ότι οι παραμορφώσεις των γωνιών, των αζιμούθιων καθώς και των εμβαδών διατηρούνται μικρές (αμελητέες) μέσα στο ίδιο Φ.Χ. και αυξάνονται ανάλογα με την απόσταση από το Κ.Φ.Χ., ενώ οι αποστάσεις που αναφέρονται στο κέντρο και προς οποιοδήποτε σημείο του ίδιου Φ.Χ. δεν παραμορφώνονται (για αυτό και η προβολή ονομάζεται ισαπέχουσα). Για τυχαίες αποστάσεις και στα άκρα ενός φύλλου ΗΑΤΤ (όπου η απόσταση από το κέντρο του είναι περίπου 34 km) η παραμόρφωση των αποστάσεων είναι της τάξης του 1,000005, με άλλα λόγια δεν απαιτείται ο υπολογισμός της παραμόρφωσης για αποστάσεις που δεν ξεπερνούν το 1 km. Με την επιλογή πολλαπλών κέντρων αποφεύγονται οι αναγωγές και οι διορθώσεις των γεωμετρικών μεγεθών. Αρκετά συχνά απαιτούνται περισσότερα του ενός Φ.Χ. για την κάλυψη μιας γεωγραφικής περιοχής όπου απαιτείται η μετατροπή των συντεταγμένων σε ένα ενιαίο Φ.Χ. (αλλαγή κέντρου φύλλου χάρτου). Στην περίπτωση αυτή οι παραμορφώσεις των γεωμετρικών μεγεθών αυξάνονται οπότε και απαιτείται η αναγωγή τους στα πραγματικά πάνω στο ελλειψοειδές. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται κυρίως στην διανομή των χαρτών της Γ.Υ.Σ. 1:100.000, 1:50.000 και 1:5.000, οι οποίοι καλύπτουν συστηματικά όλη την επιφάνεια της χώρας.



Εικ.3.7. Τα φύλλα χάρτη κλίμακας 1:100.000 στην προβολή ΗΑΤΤ για τον ελληνικό χώρο (Σαββαΐδης, κ.α., 2008).

3.3.4.2. ΠΡΟΒΟΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ 3 ΜΟΙΡΩΝ (ΕΜΠ3^{o} Ή ΤΜ3^{o})

Στο σύστημα αυτό, που χρησιμοποιούσε το Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε, χρησιμοποιείται η εγκάρσια μερκατορική προβολή, για την χαρτογραφική απεικόνισή του. Ο γεωγραφικός χώρος που καταλαμβάνει η Ελλάδα έχει χωριστεί σε ζώνες μήκους 3^{O} , τα άκρα των οποίων διαφέρουν κατά 1^{o}30’ από τον κεντρικό μεσημβρινό (Αστεροσκοπείο Αθηνών). Για τον κεντρικό μεσημβρινό θεωρείται λο=0^{o}, ενώ για τους δύο εκατέρωθεν θεωρείται λο=-3^{o} και λο=+3^{o}. Για να αποφευχθούν αρνητικές τιμές ο κεντρικός μεσημβρινός έχει

τετμημένη 200000 m . Η αρχή των συντεταγμένων θεωρείται η τομή του κεντρικού μεσημβρινού με τον παράλληλο φ=34^{o}. Οι ζώνες που προκύπτουν είναι συνολικά 3 για όλη την Ελλάδα . Η προβολή αυτή χρησιμοποιεί το ελλειψοειδές του Bessel. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιήθηκε για την απεικόνιση της ΕΠΑ (Επιχείρηση Πολεοδομικής Ανασυγκρότησης) και την σύνταξη φωτογραμμετρικών διαγραμμάτων σε κλίμακα 1:5.000 και 1:1.000.

3.3.4.3. ΠΡΟΒΟΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ED50 & U.T.M.

Το Ευρωπαϊκό DATUM ED 50, που βασίζεται στο Διεθνές Ελλειψοειδές του Hayford, χρησιμοποιείται περισσότερο για στρατιωτικούς σκοπούς και διάφορες κρατικές υπηρεσίες. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί την Παγκόσμια Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή (UTM) με εύρος ζώνης 6^{o}. Η Ελλάδα στο σύστημα αυτό απεικονίζεται σε δύο ζώνες με κεντρικούς μεσημβρινούς αυτούς με λ=21^{o} και λ=27^{o}. Στο Ευρωπαϊκό Datum ED50 και την Παγκόσμια Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή των 6^{o} αναφέρονται διάφοροι χάρτες της Ελλάδος (π.χ. τα φύλλα χάρτη κλίμακας 1:50000) που συντάσσονται από τη Γ.Υ.Σ.

3.3.4.4. ΠΡΟΒΟΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΓΣΑ 87

Χρησιμοποιεί το ελλειψοειδές GRS 80 και τοποθετήθηκε με παράλληλη μετάθεση ως προς το Παγκόσμιο Σύστημα BTS 87 έτσι, ώστε να προσαρμόζεται καλύτερα στο γεωειδές που καλύπτει τον ηπειρωτικό χώρο της Ελλάδος. Ως προβολικό σύστημα εδώ χρησιμοποιείται η εγκάρσια Μερκατορική Προβολή σε μια ζώνη με κεντρικό μεσημβρινό λ=24 και συντελεστή κλίμακας κατά μήκος του κεντρικού μεσημβρινού ίσο με 0.9996 (σχ. 3.9). Το ΕΓΣΑ87, ορίσθηκε με βάση τα πλέον πρόσφατα γεωδαιτικά στοιχεία και παρέχει ένα ενιαίο και μοναδικό σύστημα συντεταγμένων για όλο τον ελλαδικό χώρο. Το προφανές πλεονέκτημα του γεγονότος αυτού είναι η δυνατότητα ενιαίας αναλυτικής έκφρασης των κάθε είδους πληροφοριών που σχετίζονται με το χώρο για όλη την Ελλάδα, χωρίς μετασχηματισμούς που είναι απαραίτητοι στα άλλα συστήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω (geocities, 2009).

Ακόμη, το ΕΓΣΑ87 δίνει τη δυνατότητα άμεσης εφαρμογής του δορυφορικού συστήματος εντοπισμού θέσης GPS, αφού είναι απόλυτα συμβατό με το Παγκόσμιο Σύστημα WGS84 που χρησιμοποιείται από το GPS. Το σύστημα χρησιμοποιείται για την σύνταξη του Εθνικού Κτηματολογίου καθώς έχει υιοθετηθεί από τον ΟΚΧΕ. Γενικά, έχει γίνει το επίσημο προβολικό σύστημα για την Ελλάδα καθώς προσφέρει ενιαία αναφορά για το σύνολο της χώρας. Έχει ήδη υιοθετηθεί από τις περισσότερες δημόσιες υπηρεσίες και οργανισμούς.

Στη πράξη χρησιμοποιούνται συχνά ελλειψοειδή αναφοράς που προσαρμόζονται καλύτερα (σε θέση και διαστάσεις) στο τοπικό γεωειδές μιας περιοχής και χρησιμοποιούνται σαν επιφάνειες αναφοράς για τοπικές γεωδαιτικές εφαρμογές, ορίζοντας έτσι το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς. Κάθε κράτος επιλέγει συνήθως εκείνο το γεωδαιτικό ελλειψοειδές αναφοράς που έχει προκαθορισμένες διαστάσεις, το κέντρο του συνήθως δεν συμπίπτει με το γεώκεντρο, ενώ ο μικρός του άξονας εκλέγεται να είναι παράλληλος με το μέσο άξονα περιστροφής της Γης (με ακρίβεια < 1 ppm) και η όσο το δυνατόν καλύτερη ταύτιση του με το γεωειδές επιτυγχάνεται με τη κατάλληλη τοποθέτηση του στη φυσική επιφάνεια της περιοχής ενδιαφέροντος.

Το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987 (ΕΓΣΑ '87), είναι ένα τυπικό τέτοιο παράδειγμα τοπικού γεωδαιτικού συστήματος αναφοράς, που έχει βασικό σημείο προσαρμογής το δορυφορικό σταθμό του Διονύσου. Το ΕΓΣΑ '87 ορίζει ένα νέο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς για τη χώρα, το οποίο είναι καλύτερα προσαρμοσμένο στο γεωειδές του ελληνικού χώρου, με ελλειψοειδές αναφοράς το σύστημα GRS-80 (a = 6378137 m, f = 1/298.2572221, e2=0.0066943800) προσανατολισμένο παράλληλα με το (γεωκεντρικό) International Terrestrial Reference System 1989 (ITRF '89) και με τις συμβατικές συντεταγμένες στο κεντρικό βάθρο του Διονύσου καθορισμένες στις τιμές:

$\varphi = 38^{o}\ 04´\ 33´´.\ 81070$

$\lambda = 23^{o}\ 55´\ 51´´\ .\ 00950$

N = 7.000 m

Η θέση αυτή του ελλειψοειδούς αντιστοιχεί σε μια μετάθεση ως προς το ITRF '89 (και πρακτικά ως προς το Παγκόσμιο Γεωδαιτικό Σύστημα αναφοράς WGS '84), που δίνεται από τις παρακάτω τιμές (σε m):

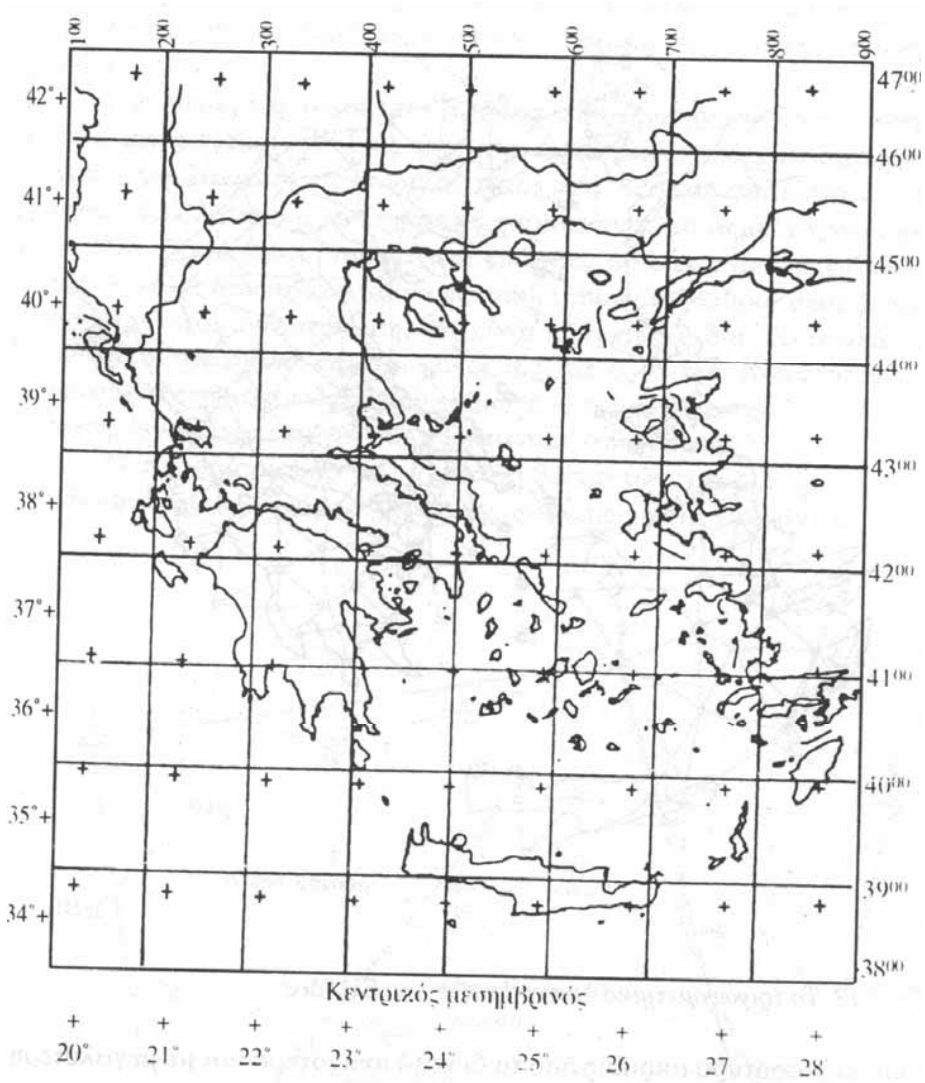
dX = - 199.695 m
dY = + 74.815 m
dZ = + 246.045 m

Το ΕΓΣΑ '87 υλοποιείται με τις συντεταγμένες που έχουν δοθεί σε περίπου 26.000 τριγωνομετρικά σημεία του Εθνικού τριγωνομετρικού δικτύου 1ης και 2ης τάξης, τα οποία έχουν συνορθωθεί ως ενιαίο δίκτυο στην επιφάνεια του εν λόγω ελλειψοειδούς, με αποτέλεσμα να εξασφαλίζεται ομοιόμορφη ακρίβεια σε ολόκληρη την επιφάνεια της χώρας.

Παράλληλα, έχει ορισθεί σαν νέο προβολικό σύστημα η Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή (ΤΜ) με ένα κεντρικό μεσημβρινό και με τις παραμέτρους:

$\lambda_o = 24^o$
$K_o = 0,999600$
$X_o = 500000$

Στην Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή είναι διαθέσιμες οι συντεταγμένες των κορυφών των τριγωνομετρικών δικτύων όλων των τάξεων. Το νέο προβολικό σύστημα έχει καλύτερη προσαρμογή και κατά συνέπεια λιγότερες παραμορφώσεις στις ηπειρωτικές περιοχές της χώρας, γεγονός που εγγυάται την αξιόπιστη χαρτογραφική απεικόνιση της επιφανείας της ελληνικής γης και απαιτεί ελάχιστες διορθώσεις.



Εικ.3.9. Ο χάρτης της Ελλάδας στην Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή του ΕΓΣΑ 87 (Σαββαΐδης, κ.α., 2008).

3.3.4.5 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Σήμερα χρησιμοποιείται το όνομα "Παγκόσμιος Εγκάρσια Μερκατορική" (Universal Transverse Mercator ή U.T.M.), για απεικονίσεις σε ζώνες εύρους 6° (η γη χωρίζεται σε 60 ζώνες). Η Ελλάδα εκτείνεται από λ=19° ως λ=28°, που σημαίνει ότι προβάλλεται στη 4η και 5η ζώνη του συστήματος, με κεντρικούς μεσημβρινούς λ=21° και λ=27°.

Το Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. είχε υιοθετήσει το σύστημα με τις ζώνες των 3^o (Πολεοδομικές μελέτες Επιχείρησης Πολεοδομικής Ανασυγκρότησης 1983). Θεμελιώδες σημείο αναφοράς το βάθρο αστεροσκοπείου Αθήνας. Όλη η Ελλάδα χωρίζεται σε τρεις ζώνες, σε αυτό το σύστημα απεικόνισης.

Ο επίσημος χαρτογραφικός φορέας σε Εθνική κλίμακα για την Ελλάδα, είναι η Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (Γ.Υ.Σ.). Για τη σύνταξη των χαρτών που εκδίδει, χρησιμοποίησε τη U.T.M. προβολή και τη HATT.

Συνοψίζοντας στη Ελλάδα έχουν κυρίως χρησιμοποιηθεί ως Γεωδαιτικά Συστήματα Αναφοράς, τα παρακάτω :

- Σε προβολή HATT με Ελλειψοειδές Bessel από την ΓΥΣ
- Το ED50 για στρατιωτικούς σκοπούς και ναυτικούς χάρτες. Βασικό σημείο στο Potsdam Γερμανίας.
- Ελλειψοειδές Hayford. Προβολή UTM 6ο. Δύο ζώνες, με κεντρικούς μεσημβρινούς λ=21ο και λ=27ο.
- Το νεότερο EGSA87 με το ελλειψοειδές αναφοράς του GRS80 και συν/νες στο Διόνυσο. Χρησιμοποιεί Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή αλλά σε μία ζώνη για όλη τη χώρα. Ο κεντρικός μεσημβρινός είναι λ=24ο και ο συντελεστής κλίμακας 0.9996. Ο κεντρικός μεσημβρινός έχει τετμημένη 500,000 m και σαν αρχή των τεταγμένων θεωρείται η τομή του ισημερινού με τον κεντρικό μεσημβρινό. Το Εθνικό Κτηματολόγιο και μεγάλα έργα αποδίδονται σε αυτό το σύστημα αναφοράς.

3.3.5. ΤΟ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ WGS84

Το WGS '84 είναι ένα γήινο σύστημα αναφοράς, το οποίο έχει ορισθεί με βάση τις μηχανικές ιδιότητες της Γης και η υλοποίηση του έχει επιτευχθεί σαν αποτέλεσμα παρατηρήσεων διαφόρων δορυφόρων με τη μέθοδο μετρήσεων Doppler. Εκ σχεδιασμού το GPS είναι ένα σύστημα τρισδιάστατου εντοπισμού. Ως εκ τούτου, οι διάφοροι υπολογισμοί που αφορούν τη χρήση του GPS αναφέρονται συνήθως στο γεωκεντρικό ελλειψοειδές που σχετίζεται με το Παγκόσμιο Γεωδαιτικό Σύστημα WGS '84 (World Geodetic System 1984).

Συγκεκριμένα, το WGS '84 ορίζεται ως εξής: Η αρχή του συστήματος των καρτεσιανών συντεταγμένων είναι το κέντρο της Γης. Ο άξονας Z είναι παράλληλος προς την διεύθυνση του μέσου (συμβατικού) γήινου πόλου (όπως ορίζεται από το Bureau International de l' Heure, BIH, βάση δορυφορικών μετρήσεων από συγκεκριμένους σταθμούς). Ο άξονας X

ορίζεται σαν η τομή του μεσημβρινού Greenwich και του ισημερινού που αντιστοιχεί στο μέσο γήινο πόλο (Ανδριτσάνος, κ.α., 1997). Ο άξονας Y ορίζεται ώστε να συμπληρώνεται ένα δεξιόστροφο ορθογώνιο σύστημα. Το ελλειψοειδές αναφοράς WGS '84 ορίζεται με τις εξής βασικές παραμέτρους:

- μεγάλος ημι-άξονας a = 6378137 m ± 2 m,
- παγκόσμια βαρυμετρική σταθερά GM = 3986005 x 10^8 m^3/ s^2,
- γωνιακή ταχύτητα της Γης ω=7292115 x 10^{-11} rad/ s, και
- κανονικοποιημένος συντελεστής του δυναμικού έλξης της Γης $C_{2,0}$ = - 484,16685 x 10^{-6}.

Το ελλειψοειδές WGS-84 είναι πρακτικά ίδιο με το, επίσης διεθνώς αποδεκτό, ελλειψοειδές GRS-80 (Geodetic Reference System 1980) που ορίζεται με τις εξής βασικές παραμέτρους :

- a = 6378137 m,
- f = 1/298.2572221
- e2 = 0.0066943800

Στη περίπτωση του GPS, οι σταθμοί συνεχούς ελέγχου και παρακολούθησης των δορυφόρων έχουν συντεταγμένες γνωστές με μεγάλη ακρίβεια αναφερόμενες στο σύστημα WGS '84. Έτσι πρακτικά, ο ακριβής προσδιορισμός σημείων στο WGS '84 υλοποιείται μέσω των τροχιακών θέσεων, των δορυφόρων GPS, ο υπολογισμός των οποίων βασίζεται μεταξύ άλλων και στις συντεταγμένες κατάλληλα κατανεμημένων ανά την υφήλιο σταθμών ελέγχου.

Το WGS '84 είναι καθαρά δορυφορικό σύστημα και αποτελεί το standard για την παγκόσμια ναυσιπλοΐα. Ωστόσο δεν έχει καλή προσαρμογή στο γεωειδές του ελλαδικού χώρου και όπως υλοποιείται με το GPS έχει σχετικά μικρή απόλυτη ακρίβεια, της τάξης ± 30 m. Για το λόγο αυτό, για τις γεωδαιτικές εργασίες, χρησιμοποιείται με τεχνικές σχετικού προσδιορισμού, ενώ συνδέεται άμεσα και απλούστατα με το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987 (ΕΓΣΑ '87), αφού είναι παράλληλα και έχουν την ίδια κλίμακα. Στην παρούσα εργασία, χρησιμοποιήσαμε εκτενώς, μετρήσεις με GPS, για τον προσδιορισμό της θέσης της περιοχής μελέτης, με τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια. Όλη η μεθοδολογία του GPS αλλά και η επεξεργασία των μετρήσεων, παρατίθενται παρακάτω.

3.3.6. ΑΛΛΑ ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

3.3.6.1. ΕΥΡΩΠΑΙΚΟ ΕΠΙΓΕΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ETRS89

Το Ευρωπαϊκό Επίγειο Σύστημα Αναφοράς 1989 ή ETRS89 (European Terrestrial Reference System 89), είναι ένα γεωκεντρικό γεωδαιτικό Καρτεσιανό σύστημα αναφοράς, στο οποίο η Ευρασιατική Πλάκα θεωρείται ως στατική οντότητα στο σύνολό της, οπότε, οι συντεταγμένες των γεωδαιτικών σημείων ελέγχου καθώς και οι χάρτες της Ευρώπης ,που βασίζονται στο ETRS89, δεν υπόκεινται σε αλλαγές και μετακινήσεις, λόγω διηπειρωτικής ολίσθησης (etrs89, 2009).

Η ανάπτυξη του ETRS89 σχετίζεται με το παγκόσμιο σύστημα αναφοράς ITRS, στο οποίο όμως η διηπειρωτική ολίσθηση είναι εξισορροπημένη κατά τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε η συνολική φαινομενική γωνιακά ορμή των ηπειρωτικών πλακών να είναι μηδενική.

Το ETRS89 θεσπίστηκε επίσημα το 1990, από τη EUREF, στη σύνοδο που πραγματοποιήθηκε στη Φλωρεντία. Σύμφωνα με ψήφισμα που εκδόθηκε τότε, αποφασίστηκε από την επιτροπή ότι το ευρωπαϊκό επίγειο σύστημα αναφοράς, που υιοθετείται από την EUREF, θα είναι συμπίπτον με το παγκόσμιο σύστημα ITRS στην εποχή 1989.0 και σταθερό στο σταθερό μέρος της ευρασιατικής πλάκας. Σύμφωνα με το ψήφισμα, αυτό το σύστημα ονομάστηκε Ευρωπαϊκό Επίγειο Σύστημα Αναφοράς του 1989 (ETRS89). Από τότε ETRS89 και ITRS αποκλίνουν λόγω της ηπειρωτικής ολίσθησης με μια ταχύτητα περίπου 2,5 cm ετησίως. Μέχρι το έτος 2000 τα δύο ισότιμα συστήματα διέφεραν περίπου 25 cm .

Πρέπει να γίνει σαφές ότι το ¨89 στο όνομά του συστήματος αναφοράς, δεν είναι το έτος λύσης (πραγματοποίησης), αλλά ένα έτος αρχικού καθορισμού, όταν το ETRS89 ήταν πλήρως ισοδύναμο με το ITRS. Οι λύσεις ETRS89 αντιστοιχούν σε διαφορετικές λύσεις ITRS για την εκάστοτε χρονική περίοδο. ETRF2000, παραδείγματος χάριν, είναι μια λύση ETRS89, η οποία αντιστοιχεί σε ITRF2000.

Οι διορθώσεις στο ETRS89 πραγματοποιείται από την EUREF μέσω της συντήρησης ενός μόνιμου δικτύου EPN (EUREF Permanent Network) και της συνεχούς επεξεργασίας των στοιχείων EPN σε κέντρα επεξεργασίας.

3.3.6.1. ΤΟ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΕΠΙΓΕΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ HTRS07

Το Ελληνικό Σύστημα Εντοπισμού HEPOS (HEllenic POsitioning System) είναι ένα σύστημα το οποίο επιτρέπει τον προσδιορισμό θέσης με υψηλή ακρίβεια αξιοποιώντας το ήδη υπάρχον σύστημα δορυφορικού εντοπισμού GPS. Το HEPOS αποτελεί ένα σύγχρονο σύστημα εντοπισμού , αντίστοιχο αυτών που λειτουργούν τα τελευταία χρόνια στις περισσότερες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Το HEPOS είναι η εφαρμογή του Ελληνικού Επίγειου Συστήματος Αναφοράς HTRS07 (Hellenic Terrestrial Reference System 07), ενός νέου γεωδαιτικού συστήματος αναφοράς, που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί στην Ελλάδα άμεσα (Κατσάμπαλος & Κωτσάκης, 2008).

Το HEPOS αποτελείται από ένα δίκτυο 98 μόνιμων δορυφορικών σταθμών αναφοράς και ένα Κέντρο Ελέγχου που βρίσκεται στις εγκαταστάσεις της ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. Το Κέντρο Ελέγχου επεξεργάζεται τα στοιχεία των σταθμών αναφοράς και αποστέλλει στο χρήστη τα δεδομένα που χρειάζονται για τον ακριβή προσδιορισμό θέσης.

Το HEPOS αναπτύχθηκε από την Κτηματολόγιο Α.Ε. για να καλύψει τις ανάγκες σύνταξης του Εθνικού Κτηματολογίου. Παράλληλα, ως έργο υποδομής μπορεί να έχει και μια σειρά εφαρμογές σε άλλους τομείς όπου υπάρχουν αυξημένες ανάγκες χωρικής ακρίβειας.

Το HEPOS απευθύνεται σε ένα ευρύ φάσμα φορέων όπως:

- Δημόσιες Υπηρεσίες και Οργανισμούς
- Αναδόχους Έργων της Κτηματολόγιο ΑΕ
- Τοπογράφους Μηχανικούς και γενικότερα επαγγελματίες του χώρου των γεωεπιστημών
- Ιδιώτες μελετητές και κατασκευαστές έργων
- Πανεπιστημιακούς και ερευνητικούς φορείς

Οι υπηρεσίες που παρέχει το HEPOS διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- Υπηρεσίες «πραγματικού χρόνου», στις οποίες η θέση ενός σημείου προσδιορίζεται την στιγμή της μέτρησης και μπορούν να παρέχουν ακρίβεια μερικών εκατοστών (τεχνικές RTK) είτε ακρίβεια της τάξης του μισού μέτρου [τεχνικές DGPS).

- Υπηρεσίες «μετεπεξεργασίας» όπου η θέση ενός σημείου προσδιορίζεται εκ των υστέρων μετά από επεξεργασία μετρήσεων στο γραφείο.

Οι υπηρεσίες αυτές υλοποιούνται μέσω της τεχνικής στατικών εντοπισμών (χρήση αρχείων RINEX) και παρέχουν τη μέγιστη ακρίβεια που μπορεί να φτάσει έως το επίπεδο λίγων χιλιοστών (hepos.gr, 2009) .

3.4. ΑΠΟΤΥΠΩΣΕΙΣ ΜΕ ΣΥΜΒΑΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ (ΤΑΧΥΜΕΤΡΟ)

3.4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Το ηλεκτρονικό ταχύμετρο ή ολικός γεωδαιτικός σταθμός, είναι η εξέλιξη του θεοδόλιχου. Ο θεοδόλιχος είναι ένα όργανο μέτρησης οριζόντιων και κατακόρυφων γωνιών. Ο θεοδόλιχος μπορεί να είναι κλασικός (αποτελείται από οπτικομηχανικά στοιχεία) ή ηλεκτρονικός (αποτελείται από οπτικομηχανικά και ηλεκτρονικά στοιχεία) (εικ. 3.10).



Εικ. 3.10. Κλασικός (α) και Ηλεκτρονικός (β) θεοδόλιχος

Ως το 1950 για τη μέτρηση των αποστάσεων χρησιμοποιούνταν μόνο η μηχανική, η γεωμετρική, η τριγωνομετρική και η οπτική μέθοδος, επειδή τα μέχρι τότε γνωστά γεωδαιτικά όργανα ήταν οι κανόνες, οι μετροταινίες, τα σύρματα Invar και τα κλασικά οπτικά όργανα. Από τότε μέχρι σήμερα όμως, με τη μεγάλη εξέλιξη της ηλεκτρονικής, κατασκευάστηκαν ηλεκτρομαγνητικά όργανα μέτρησης των αποστάσεων (Electromagnetic Distance Measurement

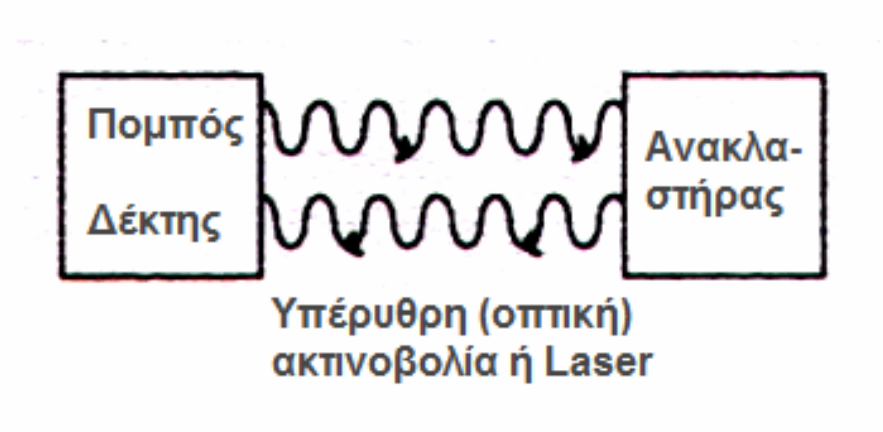
Instruments – EDMI) που χρησιμοποιούν οπτική ακτινοβολία ή μικροκύματα. Με τα όργανα αυτά πραγματοποιείται η μέτρηση μικρών ή μεγάλων αποστάσεων με λιγότερο προσωπικό, σε ελάχιστο χρόνο και με μεγάλη ακρίβεια, ανεξάρτητα από την κατηγορία του εδάφους και με μικρή επίδραση από τις επικρατούσες ατμοσφαιρικές συνθήκες.

3.4.2. ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Η χρήση των ηλεκτρομαγνητικών οργάνων και μεθόδων για τη μέτρηση αποστάσεων σε διάφορες εφαρμογές (οδοποιία, υδραυλικά έργα, χαράξεις κ.λπ.) οδήγησε σταδιακά στην αντικατάσταση των κλασικών οργάνων και μεθόδων μέτρησης για την ακριβή μέτρηση των αποστάσεων. Σήμερα, τα όργανα EDM χρησιμοποιούν κατά κανόνα υπέρυθρη ακτινοβολία ή σπανιότερα δέσμη ακτινών Laser.

Κατά την ηλεκτρομαγνητική μέτρηση αποστάσεων ισχύει η παρακάτω αρχή:

Από ένα όργανο που τοποθετείται στο αρχικό σημείο της απόστασης που πρόκειται να μετρηθεί, εκπέμπονται ηλεκτρομαγνητικά κύματα, τα οποία, αφού ανακλαστούν σε έναν ανακλαστήρα που βρίσκεται στο άλλο σημείο της ευθυγραμμίας (περίπτωση υπερύθρων ακτινοβολιών και Laser), επιστρέφουν πάλι στον πομπό (εικ.3.11). Έτσι υπολογίζεται ο χρόνος που χρειάστηκε η ακτινοβολία να κινηθεί από το όργανο στον ανακλαστήρα και να επιστρέψει πίσω.



Εικ.3.11. Αρχή της ηλεκτρομαγνητικής μέτρησης αποστάσεων

Επομένως, είναι γνωστός ο χρόνος διαδρομής t των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και η ταχύτητα διάδοσής τους c μέσα στον αέρα (ταχύτητα του φωτός), οπότε η κεκλιμένη απόσταση S ανάμεσα στο αρχικό και το τελικό σημείο μπορεί επίσης να υπολογισθεί.

Τα όργανα που χρησιμοποιούν ως φέρον κύμα υπέρυθρη ακτινοβολία (ηλεκτροπτικά όργανα) έχουν αρκετά υψηλή ακρίβεια και εμβέλεια που σε ορισμένους τύπους ξεπερνά τα 2 km. Τα μήκη κύματος που χρησιμοποιούνται είναι συνήθως κοντά στα 900 nm. Κατάλληλες περιοχές συχνοτήτων είναι κύματα υψηλής συχνότητας, ώστε να μπορούν να διαδοθούν σε μεγάλες αποστάσεις, η δεσμοποίηση να γίνεται εύκολα και η απορρόφηση της ατμόσφαιρας να είναι μικρή. Οι ιδιότητες διάδοσης της υπέρυθρης ακτινοβολίας δεν διαφέρουν σημαντικά από εκείνες της ορατής ακτινοβολίας.

Ο κυριότερος παράγοντας που επιδρά στα μήκη κύματος αυτής της περιοχής του φάσματος είναι η απορρόφηση της ατμόσφαιρας. Ως πηγή ενέργειας χρησιμεύει συνήθως μια φωτοδίοδος Γαλλίου-Αρσενικού (Ga-As). Τα όργανα της κατηγορίας αυτής χρησιμοποιήθηκαν κατά τις δεκαετίες του 1970 και 1980 σε συνδυασμό με κλασικό ή ηλεκτρονικό θεοδόλιχο (ηλεκτρονικά ταχύμετρα) για την εκτέλεση αποτυπώσεων για τοπογραφικούς ή κτηματολογικούς σκοπούς και τη σύνταξη των σχετικών τοπογραφικών διαγραμμάτων και χαρτών.

Τα χαρακτηριστικά των ηλεκτρομαγνητικών οργάνων καθορίζονται από τη χρησιμοποιούμενη συχνότητα του φέροντος κύματος. Το φέρον κύμα χρησιμοποιείται απλώς ως μεταφορικό μέσο του μετρητικού κύματος (χαμηλής συχνότητας).

Διακρίνονται δύο ομάδες οργάνων :

α. μικροκυμάτων (λ=8 - 100mm)

β. οπτικής ακτινοβολίας (λ=0.45-1μm).

Η λειτουργία τους ακολουθεί ορισμένα βασικά στάδια :

1. παραγωγή των συχνοτήτων φέροντος και μετρητικού κύματος
2. διαμόρφωση και εκπομπή φέροντος κύματος
3. επανεκπομπή και αποδιαμόρφωση του επιστρέφοντος κύματος

4. μέτρηση διαφοράς φάσης (εκπεμπόμενου-επιστρέφοντος) κύματος και προσδιορισμός της απόστασης
5. εμφάνιση αποτελέσματος μετρήσεως

Συνήθως στις τοπογραφικές εργασίες χρησιμοποιούνται τα όργανα οπτικής ακτινοβολίας. Για την ανάκλαση χρησιμοποιείται ειδικός κατοπτρικός ανακλαστήρας. Διακρίνονται σε μεγάλης, μεσαίας και μικρής εμβέλειας αντίστοιχα (30-70 km, 2-20 km και 0.2-5 km).

Άλλος διαχωρισμός γίνεται με βάση τη σχετική θέση, του οπτικού άξονα και αυτού της ακτινοβολίας, σε ομοαξονικά ή επικαθήμενα. Στα δύο άκρα της απόστασης πρέπει να μετρηθούν οι τιμές της θερμοκρασίας, πίεσης και υγρασίας. Όταν η ακτινοβολία είναι το φως, η επίδραση της υγρασίας στην ακρίβεια της απόστασης είναι αμελητέα. Επιπλέον, για αποστάσεις μικρότερες των 5 Km, η διόρθωση λόγω μετεωρολογικών συνθηκών είναι πολύ μικρή σε σχέση με την ακρίβεια του οργάνου(Σαββαϊδης, κ.α., 2008).Τα μεγάλα πλεονεκτήματα που έχουν αυτά τα όργανα είναι η ακρίβεια την οποία παρέχουν, η δυνατότητα χρησιμοποίησης σε δύσκολο έδαφος και κάτω από δυσμενείς συνθήκες και η μεγάλη ταχύτητα στη διεκπεραίωση της εργασίας.

Προ 20 ετών η ηλεκτρομαγνητική μέτρηση αποστάσεων αποτελούσε περιορισμένη μέθοδο για ειδικούς. Σήμερα η χρήση της έχει διαδοθεί και χρησιμοποιείται στις τρέχουσες τοπογραφικές εργασίες με άριστα αποτελέσματα. Από τη δεκαετία του 1990, τη θέση των ηλεκτρονικών ταχυμέτρων πήραν οι γεωδαιτικοί σταθμοί, που είναι ολοκληρωμένα όργανα μέτρησης συγχρόνως μηκών και γωνιών με ηλεκτρονικό τρόπο (εικ.3.12). Στα όργανα αυτά έχουν πλέον ενσωματωθεί τα όργανα EDM με διάφορες βελτιώσεις.



Εικ.3.12. Γεωδαιτικοί σταθμοί διαφόρων εταιρειών

Απαραίτητο συμπλήρωμα για την εκτέλεση μετρήσεων με αυτά τα όργανα, αποτελεί η χρήση ανακλαστήρα ή αλλιώς κατάφωτου και ειδικού τρίποδα για την στήριξη και την οριζοντίωση του οργάνου (εικ.3.13). Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε γεωδαιτικός σταθμός για την συλλογή δεδομένων στο πεδίο (εικ.3.14).



Εικ.3.13. Τρίποδας για στήριξη και οριζοντίωση του οργάνου και ανακλαστήρας(κατάφωτο)



Εικ.3.14. Το ταχύμετρο TOPCON GTS-212, με το οποίο πραγματοποιήθηκαν και οι μετρήσεις στην παρούσα διπλωματική εργασία.

Συνοψίζοντας ο Γεωδαιτικός σταθμός ονομάζεται το τοπογραφικό όργανο που έχει δυνατότητα μέτρησης γωνιών και αποστάσεων με χρήση της ψηφιακής τεχνολογίας. Στην ουσία, αποτελεί ένα συνδυασμό ψηφιακού θεοδόλιχου και EDM που επιτρέπει στο χρήστη του να συλλέγει όλες τις μετρήσεις που του είναι απαραίτητες για μία τοπογραφική αποτύπωση.
Οι πλέον σύγχρονοι γεωδαιτικοί σταθμοί είναι εξοπλισμένοι και με ενσωματωμένους δίσκους αποθήκευσης των δεδομένων (καταγραφικά) που απαλλάσσουν τον τοπογράφο από την καταγραφή των αποτελεσμάτων των μετρήσεων με το χέρι. Έτσι, τα δεδομένα αποθηκεύονται στο εσωτερικό του οργάνου και, στη συνέχεια, είναι προσβάσιμα μέσω ενός υπολογιστή όπου μπορούν, πλέον, να επεξεργαστούν και να παράγουν το τελικό αποτέλεσμα.

Η χρήση των γεωδαιτικών σταθμών γίνεται από εξειδικευμένα άτομα που γνωρίζουν τον τρόπο να τα χρησιμοποιήσουν επαρκώς και με σωστό τρόπο. Είναι βασικό εργαλείο όλων των σύγχρονων τοπογραφικών μετρήσεων που αφορούν στη γεωδαισία και, γενικώς, χρησιμοποιούνται κατά κόρον για τη χαρτογράφηση ή τη σύνταξη τοπογραφικού διαγράμματος ιδιοκτησιών και οικοπέδων.

Για να λειτουργήσει ένας γεωδαιτικός σταθμός πρέπει να τοποθετηθεί σε έναν ειδικό τρίποδα που τον συγκρατεί στο ύψος που χρειάζεται,

προκειμένου να γίνουν οι παρατηρήσεις. Επειδή οι ρυθμίσεις έχουν υψηλές απαιτήσεις και γίνονται με συγκεκριμένες παραδοχές, για να ληφθούν μετρήσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να παράγουν αποτελέσματα πρέπει να γίνει οριζοντίωση και κέντρωση του οργάνου ως προς την κατακόρυφο της γης και το τοπογραφικό σημείο όπου τοποθετείται, αντίστοιχα. Για να εξασφαλιστεί η ποιότητα αυτών των διαδικασιών, το όργανο είναι εξοπλισμένο με φυσαλίδες οριζοντίωσης (αλφάδι) και με κάποιο εργαλείο (laser ή κάτοπτρο) που βοηθά τη διαδικασία. Οι μετρήσεις αποστάσεων δεν είναι δυνατόν να γίνουν χωρίς τη χρήση ενός τοπογραφικού κατόπτρου που επιτρέπει στο όργανο να υπολογίσει την απόσταση μεταξύ των δύο σημείων. Αυτό δεν είναι πλέον τόσο απαραίτητο, αλλά προς το παρόν δεν ενδείκνυται σε όλες τις περιπτώσεις και υπάρχουν αρκετοί περιορισμοί που αφορούν το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό.

Οι σύγχρονοι γεωδαιτικοί σταθμοί έχουν πολύ μεγάλες δυνατότητες ακρίβειας τόσο στη μέτρηση γωνιών όσο και αποστάσεων. Οι αποστάσεις μπορούν να μετρηθούν με ακρίβεια από μερικά χιλιοστά ως και δέκατα του χιλιοστού ενώ οι γωνίες μπορούν να υπολογιστούν με αντίστοιχη ακρίβεια. Κάθε γεωδαιτικός σταθμός συνοδεύεται από τις αντίστοιχες διαπιστεύσεις που περιγράφουν με ακρίβεια και σαφήνεια τις δυνατότητες του μηχανήματος σε ακρίβεια.

3.5. ΑΠΟΤΥΠΩΣΕΙΣ ΜΕ ΕΞΕΛΙΓΜΕΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ (GPS)

3.5.1. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟ GPS

Το δορυφορικό Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού ή Global Positioning System ή GPS, όπως απλά είναι διεθνώς γνωστό, αποτελείται σήμερα από ένα σύστημα μεταξύ 28 έως 30 εν ενεργεία δορυφόρων σε ελλειπτικές τροχιές σε ύψος περίπου 20.200 χιλιόμετρα πάνω από τη Γη. Το GPS, αν και αναπτύχθηκε αρχικά για στρατιωτικούς σκοπούς, άρχισε να βρίσκει τα τελευταία χρόνια ποικίλες εφαρμογές για πολιτικές δραστηριότητες, ιδιαίτερα σε εφαρμογές που απαιτείται η ακριβής και τεκμηριωμένη παρουσίαση πληροφοριών στη χωρική τους διάσταση (Β.Δ.Ανδριτσάνος,1997).

Η μοναδικότητα του GPS βασίζεται στο ότι μπορεί να προσδιορίζει την τρισδιάστατη θέση σημείων στην επιφάνεια της Γης ή γύρω από αυτή, 24 ώρες το εικοσιτετράωρο και κάτω από οποιεσδήποτε καιρικές συνθήκες. Σήμερα, το GPS είναι το μόνο δορυφορικό σύστημα που έχει τις δυνατότητες και τείνει να αντικαταστήσει και να εμπλουτίσει τις κλασικές δορυφορικές μεθόδους αλλά και τις συμβατικές γεωδαιτικές/τοπογραφικές και φωτογραμμετρικές μεθόδους για τις περισσότερες εργασίες ίδρυσης γεωδαιτικών/τοπογραφικών δικτύων, εργασιών κτηματολογίου, κ.ά. Και αυτό γιατί ως "τοπογραφικό εργαλείο" είναι γρήγορο, οικονομικό και δεν έχει απαιτήσεις ορατότητας μεταξύ των σημείων που ζητάει κανείς να προσδιορίσει. Επιπλέον εγγυάται ομοιογενή ακρίβεια της θέσης των υπό προσδιορισμό σημείων σε ένα ενιαίο και μοναδικό τρισδιάστατο σύστημα αναφοράς, χωρίς να είναι απαραίτητο να γίνεται διαχωρισμός της οριζοντιογραφικής και της υψομετρικής διάστασης, όπως γίνεται με τις κλασσικές τοπογραφικές μεθόδους.

Η γενική αρχή λειτουργίας του GPS βασίζεται στη χρήση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων που εκπέμπουν οι δορυφόροι στις συχνότητες L1 =1575,42 MHz και L2 = 1227,60 MHz (Ανδριτσάνος, κ.α., 1997). Τα φέροντα αυτά σήματα διαμορφώνονται με τρείς κώδικες που περιέχουν χρήσιμες πληροφορίες για τη χρήση του συστήματος:

- Τον P-κώδικα (Precision Code), που διαμορφώνεται και στις δύο συχνότητες L1 και L2 και ο οποίος παρέχει ακριβή μέτρηση του χρόνου μετάδοσης του σήματος και τον υπολογισμό της απόστασης δορυφόρου-δέκτη,
- Τον C/A-κώδικα (Coarse Acquisition Code), που διαμορφώνεται μόνο στη συχνότητα L1 και ο οποίος παρέχει πληροφορίες για τη λήψη του P-κώδικα και επιτρέπει λιγότερο ακριβή μέτρηση του χρόνου μετάδοσης του σήματος, και
- Τον D-κώδικα (Data Code), γνωστός επίσης και ως μήνυμα πλοήγησης (Navigation Message), ο οποίος παρέχει αναγκαίες πληροφορίες για τη θέση των δορυφόρων, τη στιγμή εκπομπής του εκάστοτε σήματος και άλλες χρήσιμες πληροφορίες που περιγράφουν τη γενική κατάσταση του όλου συστήματος των δορυφόρων.

Στη περίπτωση του GPS, ο όρος "κώδικας" χρησιμοποιείται για να δηλώσει τον τρόπο διάδοσης και χρήσης πληροφορίας σύμφωνα με συγκεκριμένους κανόνες. Όλοι οι κώδικες του GPS είναι δυαδικοί κώδικες (Binary Codes), δηλ. αλληλουχίες αριθμοσειρών από 0 και 1 που η δομή τους καθορίζεται από συγκεκριμένους αλγορίθμους. Σε κάθε δορυφόρο αντιστοιχεί ένας διαφορετικός κώδικας, δηλ. η δομή της αλληλουχίας των στοιχείων 0 και 1 που εκπέμπει καθορίζεται από διαφορετικό αλγόριθμο. Έτσι όταν ένας δέκτης λαμβάνει συγχρόνως σήματα από πολλούς δορυφόρους, γίνεται δυνατός ο διαχωρισμός του λαμβανόμενου σήματος από κάθε συγκεκριμένο δορυφόρο και κατά συνέπεια η μέτρηση του χρόνου διάδοσης του εκάστοτε σήματος, που αποτελεί και τη βασική τεχνική των μετρήσεων GPS.

Ο P-κώδικας έχει ταχύτητα εκπομπής 10,23 Mbps, μήκος παλμού περίπου 30 m και διάρκεια 235469592765000 bits, που αντιστοιχεί σε περίοδο επανάληψης περίπου 267 μέρες (δηλ. για να μεταδοθεί ολόκληρη η αλληλουχία των στοιχείων 0 και 1 του κώδικα χρειάζονται 267 μέρες). Ο C/A-κώδικας έχει αντίστοιχα ταχύτητα εκπομπής 1,023 Mbps, μήκος παλμού περίπου 300 m και διάρκεια 1023 bits, που αντιστοιχεί σε περίοδο επανάληψης περίπου 1 msec. Ο D-κώδικας δεδομένων έχει ταχύτητα εκπομπής 50 bps και το συνολικό μήκος κάθε τμήματος πληροφορίας του είναι 1500 bits, δηλ. έχει περίοδο 30 sec. Με άλλα λόγια, κατά τη χρονική διάρκεια ενός bit του D-κώδικα δεδομένων εκπέμπονται:

- 20460 στοιχεία του C/A-κώδικα
- 204600 στοιχεία του P-κώδικα, και
- 31508400 κύκλοι φάσης του φέροντος κύματος στη συχνότητα L1.

Οι χαρακτηριστικές αυτές ιδιότητες του σήματος GPS είναι καθοριστικές για την υψηλή απόδοση λειτουργίας ολοκλήρου του συστήματος. Πρακτικά, ό τρόπος με τον οποίο αξιοποιούνται οι ιδιότητες αυτές από τους εκάστοτε δέκτες GPS επηρεάζει τον τρόπο λειτουργίας των δεκτών, τον τρόπο ανάλυσης των μετρήσεων για τον προσδιορισμό της απόστασης δορυφόρου-δέκτη και αντίστοιχα του εντοπισμού της θέσης του δέκτη (Ανδριτσάνος, κ.α., 1997).

3.5.2. ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ GPS

Οι μετρήσεις GPS συνίστανται σε δύο κυρίως τύπους: Μετρήσεις ψευδοαποστάσεων, με χρήση του P-κώδικα ή του C/A-κώδικα. Αυτές στηρίζονται στη δυνατότητα μέτρησης του χρόνου διάδοσης του σήματος από το δορυφόρο σε ένα δέκτη, δηλαδή της παρέλευσης του χρόνου μεταξύ της χρονικής στιγμής (Te) της εκπομπής του σήματος από ένα δορυφόρο GPS και της χρονικής στιγμής (Tl) της λήψης του ίδιου σήματος σε ένα δέκτη GPS. Ψευδοαπόσταση είναι η μετρούμενη διαφορά T (T=Tl–Te) πολλαπλασιαζόμενη με την ταχύτητα του φωτός c=299792458 km/sec.

Οι εν λόγω μετρήσεις καλούνται μετρήσεις ψευδοαπόστασης δεδομένου ότι διαφέρουν από την πραγματική απόσταση δορυφόρου-δέκτη, λόγω των ατμοσφαιρικών καθυστερήσεων του σήματος GPS και τον μη συγχρονισμό των χρονομέτρων του εκάστοτε δέκτη με τη θεμελιώδη χρονική κλίμακα GPS (δηλ. τη χρονική κλίμακα που εκφράζεται από τα (σχεδόν τέλεια) συγχρονισμένα μεταξύ τους χρονόμετρα των δορυφόρων GPS και τα χρονόμετρα των Σταθμών Συνεχούς Παρακολούθησης και Ελέγχου του GPS). Οι μετρήσεις ψευδοαπόστασης γίνονται συνήθως με μια αβεβαιότητα της τάξης μερικών μέτρων στη περίπτωση χρήσης του P-κώδικα ή μερικών δεκάδων μέτρων στη περίπτωση χρήσης του C/A-κώδικα.

Μετρήσεις φάσης του φέροντος κύματος, οι οποίες στηρίζονται στη δυνατότητα μέτρησης της απόστασης μεταξύ του εκάστοτε δορυφόρου GPS και ενός δέκτη, ως συνάρτηση των μετρουμένων κύκλων φάσης μήκους κύματος λ του χρησιμοποιουμένου δορυφορικού σήματος, όπου λ = λ1 = 19,029 cm για τη συχνότητα L1 και λ = λ2 = 24,421 cm για τη συχνότητα L2. Η τεχνική αυτή είναι παρόμοια με εκείνη που χρησιμοποιείται από τα EDM. Η μέτρηση της φάσης του φέροντος κύματος γίνεται συνήθως με μια ακρίβεια της τάξης του 1% του αντιστοίχου μήκους κύματος λ του χρησιμοποιούμενου σήματος, δηλ. είναι της τάξης του 0,19 cm για τη συχνότητα L1 και 0,24 cm για τη συχνότητα L2.

Είναι ευνόητο ότι οι μετρήσεις φάσης του φέροντος κύματος είναι ακριβέστερες κατά δύο τουλάχιστον τάξεις μεγέθους από τις μετρήσεις ψευδοαπόστασης και ως εκ τούτου αποτελούν τον μόνο τύπο μετρήσεων υψηλής ακριβείας στους οποίους βασίζονται π.χ. οι διάφορες γεωδαιτικές και

τοπογραφικές εφαρμογές. Σε τέτοιες εργασίες, οι δέκτες που χρησιμοποιούνται θα πρέπει να έχουν τη δυνατότητα μετρήσεων φάσης τουλάχιστον στη συχνότητα L1. Αυτοί οι τύποι δεκτών GPS έχουν διαφορετικά λειτουργικά χαρακτηριστικά από δέκτες που κάνουν χρήση μόνο των μετρήσεων ψευδοαπόστασης και μπορούν να προσδιορίσουν τις σχετικές θέσεις μεταξύ σημείων με υψηλές ακρίβειες της τάξης μερικών ppm (parts per million) ή και καλύτερες.

Η δυνατότητα μετρήσεων και στη συχνότητα L2, επιπλέον από τις μετρήσεις στη συχνότητα L1, παρέχει τη δυνατότητα διορθώσεων για τις επιδράσεις της ιονόσφαιρας στα σήματα GPS, αλλά σε πολλές εφαρμογές δεν κρίνεται και τελείως απαραίτητη, αν οι μετρήσεις GPS χρησιμοποιούνται για το σχετικό προσδιορισμό σημείων που απέχουν μεταξύ τους αποστάσεις μικρότερες από 50 km και εφ' όσον χρησιμοποιούνται κατάλληλες τεχνικές και μοντέλα ανάλυσης των συλλεγομένων μετρήσεων.

3.5.3. ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Όλες οι μετρήσεις GPS, ανεξάρτητα από τον τύπο τους, επηρεάζονται από διάφορα συστηματικά και τυχαία σφάλματα, τα οποία αν δεν ληφθούν υπόψη κατά τη διαδικασία ανάλυσης των μετρήσεων επηρεάζουν με τη σειρά τους την ακρίβεια με την οποία μπορεί να υπολογισθεί από αυτές η θέση (στίγμα) των σημείων ενδιαφέροντος, όπου εκτελούνται οι μετρήσεις. Τα συστηματικά σφάλματα των μετρήσεων προέρχονται κυρίως από τρείς κυρίως πηγές:

- Τους δορυφόρους (π.χ., οι τροχιακές αναφορές θέσης, δεν παρέχουν την αληθινή θέση των δορυφόρων τη χρονική στιγμή των μετρήσεων, τα χρονόμετρα των δορυφόρων δεν είναι απόλυτα συγχρονισμένα, κ.ά.).
- Την ατμόσφαιρα από την οποία διέρχονται τα σήματα GPS (π.χ., η ιονόσφαιρα και η τροπόσφαιρα προκαλούν καθυστερήσεις στα σήματα των δορυφόρων). Επιπλέον, στις μετρήσεις φάσης του φέροντος κύματος υπεισέρχεται ένα ακόμα σφάλμα διάδοσης του σήματος: η λεγόμενη ασάφεια του ακεραίου αριθμού κύκλων φάσης.

- Τους δέκτες που χρησιμοποιούνται (π.χ., τα χρονόμετρα των δεκτών δεν είναι συγχρονισμένα με τη θεμελιώδη κλίμακα του χρόνου GPS, το ηλεκτρονικό κέντρο της κεραίας ενός δέκτη (από εκεί δηλαδή όπου αναφέρονται οι μετρήσεις) δεν συμπίπτει με το φυσικό κέντρο της κεραίας, κ.ά.) και το άμεσο περιβάλλον των μετρήσεων (π.χ., η τοποθέτηση της κεραίας κοντά σε ευρείες μεταλλικές επιφάνειες ή κάτω από αγωγούς μεταφοράς ρεύματος υψηλής τάσης, κ.ά. δημιουργούν παρεμβολές του σήματος, τα λεγόμενα πολυκλαδικά σφάλματα της κεραίας).

Επιπλέον, οι δέκτες GPS επηρεάζουν τις μετρήσεις με διάφορα τυχαία ενδογενή σφάλματα (π.χ., εξ αιτίας θερμικών φαινομένων στα ηλεκτρονικά κυκλώματα τους, κβαντοποίησης του σήματος, κλπ.), ενώ στη περίπτωση μετρήσεων φάσης του φέροντος κύματος ακόμα και τυχόν στιγμιαίες διακοπές στην παρακολούθηση του δορυφορικού σήματος (π.χ., λόγω εμποδίων στη διάδοση του σήματος, όπως δένδρα) δημιουργούν απώλειες στους μετρούμενους κύκλους φάσης, που είναι εξαιρετικά δύσκολο να υπολογισθούν με απόλυτη βεβαιότητα κατά την επεξεργασία των μετρήσεων (Ανδριτσάνος, κ.α., 1997).

3.5.4. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Τα συστηματικά σφάλματα των μετρήσεων GPS μπορούν να περιγραφούν από κατάλληλα μαθηματικά μοντέλα (αυξάνοντας όμως έτσι τον αριθμό των αγνώστων παραμέτρων που είναι απαραίτητο να υπολογισθούν) ή με βάση καταλλήλους συνδυασμούς των πρωτογενών μετρήσεων που καταλήγουν σε διαφόρους τύπους "ψευδομετρήσεων".

Οι συνδυασμοί αυτοί επιβάλλουν πρωτίστως τη διεξαγωγή ταυτοχρόνων μετρήσεων GPS, από δύο ή περισσότερους δέκτες, προς όσο το δυνατόν περισσότερους αμοιβαία ορατούς δορυφόρους GPS.

Οι διαφορές των εν λόγω πρωτογενών ταυτοχρόνων μετρήσεων μεταξύ δορυφόρων, μεταξύ των δεκτών ή μεταξύ χρονικών στιγμών καταλήγουν στους παρακάτω βασικούς τύπους "ψευδομετρήσεων", που ο καθένας οδηγεί στην ελαχιστοποίηση ή ακόμα και την απαλοιφή συγκεκριμένων σφαλμάτων των πρωτογενών μετρήσεων:

- Απλές διαφορές (single differences), που προκύπτουν από τη διαφορά των ταυτοχρόνων μετρήσεων δύο δεκτών ως προς τον ίδιο δορυφόρο. Στο τύπο αυτό των ψευδομετρήσεων απαλείφονται τα κοινά σφάλματα του εκάστοτε δορυφόρου (π.χ., κυρίως των χρονομέτρων τους και των τροχιακών σφαλμάτων). Είναι επίσης δυνατόν να σχηματισθούν παρόμοιες, αλλά λιγότερο συνηθισμένες, απλές διαφορές ταυτοχρόνων μετρήσεων από τον ίδιο σταθμό μεταξύ δορυφόρων ή μεταξύ μετρήσεων από τον ίδιο σταθμό ως προς τον ίδιο δορυφόρο μεταξύ χρονικών στιγμών.
- Διπλές διαφορές (Double Differences), που προκύπτουν από τη διαφορά δύο απλών διαφορών ως προς δύο διαφορετικούς δορυφόρους την ίδια χρονική στιγμή. Στο τύπο αυτό των ψευδομετρήσεων απαλείφονται επιπλέον τα κοινά σφάλματα των δύο δεκτών (π.χ., κυρίως των χρονομέτρων τους) και εφ' όσον οι δύο δέκτες είναι σε μικρή απόσταση μεταξύ τους, σε σχέση με την απόσταση τους από τους δορυφόρους, ελαχιστοποιούνται τα κοινά σφάλματα διάδοσης των σημάτων μέσα από την ατμόσφαιρα.
- Τριπλές διαφορές (Triple Differences), που προκύπτουν από τη διαφορά δύο διπλών διαφορών ως προς δύο διαφορετικές χρονικές στιγμές. Στο τύπο αυτό των ψευδομετρήσεων απαλείφονται επιπλέον, για τις μετρήσεις φάσης του φέροντος κύματος, οι τυχόν ασάφειες των ακεραίων κύκλων φάσης.

Προφανώς με την παραπάνω τεχνική των διαφορών των πρωτογενών μετρήσεων διαφοροποιούνται και οι αντίστοιχες εξισώσεις παρατηρήσεων που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση των μετρήσεων, τα στοχαστικά τους μοντέλα και η μορφή των παραμέτρων που παραμένουν προς επίλυση. Σε αυτό ακριβώς το σημείο είναι εκεί που διαφοροποιούνται κυρίως και τα διάφορα λογισμικά πακέτα ανάλυσης και επεξεργασίας των μετρήσεων GPS που είναι διαθέσιμα στους χρήστες από τους κατασκευαστές των δεκτών. Στον τρόπο, δηλαδή, με τον οποίο αντιμετωπίζεται η απαλοιφή ή ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων κατά την επεξεργασία των μετρήσεων και κυρίως τα μαθηματικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται για την συνόρθωση τους.

3.5.5. ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΘΕΣΗΣ ΜΕ ΤΟ GPS

Υπάρχουν γενικά δύο μέθοδοι ή εφαρμογές του GPS: η στατική (static) και η κινηματική (kinematic). Στο στατικό προσδιορισμό ο δέκτης ή οι δέκτες παραμένουν στάσιμοι κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, από λίγα λεπτά μέχρι μερικές ώρες. Αντίθετα, στον κινηματικό προσδιορισμό ένας τουλάχιστον δέκτης βρίσκεται σε κίνηση (αυτοκίνητο, αεροπλάνο, πλοίο, δορυφόρο, κλπ) ενώ λαμβάνει συνεχώς το δορυφορικό σήμα (τυχαία συνήθως σημεία που ορίζουν μία πορεία-τροχιά ενός κινητού). Γενικά, η στατική μέθοδος δίνει αποτελέσματα καλύτερης ακρίβειας από την κινηματική.

Η πιθανή απώλεια λήψης του δορυφορικού σήματος επηρεάζει σημαντικά την παραγωγικότητα των κινηματικών εφαρμογών σε αντίθεση με τις στατικές. Γι αυτό, οι κινηματικές εφαρμογές αποδίδουν πάρα πολύ σε αρκετά ανοιχτές εκτάσεις ("καθαρός ορίζοντας"). Υπάρχουν επίσης και οι λεγόμενες υβριδικές (hybrid) μεθοδολογίες, στις οποίες δεν θα αναφερθούμε στην παρούσα εργασία, καθώς στις πραγματοποιηθέντες μετρήσεις με GPS χρησιμοποιήσαμε μόνο τη μέθοδο του στατικού εντοπισμού.

Μια άλλη διάκριση μεθοδολογιών, αφορά στο χρόνο υπολογισμού των θέσεων σε σχέση με το χρόνο εκτέλεσης των μετρήσεων. Έτσι έχουμε τον προσδιορισμό θέσεων σε πραγματικό χρόνο (real time positioning) παράλληλα με την εκτέλεση των μετρήσεων στο πεδίο (ταυτόχρονα ή σχεδόν ταυτόχρονα) και τον προσδιορισμό εκ των υστέρων (post processing), δηλαδή μετά το πέρας των μετρήσεων, συνήθως στο γραφείο. Οι προσδιορισμοί σε πραγματικό χρόνο αφορούν κυρίως τις κινηματικές και κάποιες υβριδικές εφαρμογές ενώ οι προσδιορισμοί εκ των υστέρων αφορούν κυρίως τις στατικές εφαρμογές.

Ο σχετικός προσδιορισμός απαιτεί δύο δέκτες για να προσδιοριστεί η σχετική θέση μεταξύ δύο σημείων, δηλαδή το διάνυσμα βάσης ή περισσότεροι δέκτες για περισσότερες βάσεις ταυτόχρονα. Αν χρησιμοποιηθούν μόνο μετρήσεις κώδικα προκύπτει ο λεγόμενος διαφορικός προσδιορισμός (differential positioning) με ακρίβεια της τάξης των μερικών δεκάδων cm, χρήσιμος για χαρτογραφικές- τοπογραφικές αποτυπώσεις κλίμακας μικρότερης π.χ. από 1:2000 και για εφαρμογές GIS. Για δύο σημεία Α και Β

προσδιορίζονται οι διαφορές (ΔΧΑΒ, ΔΥΑΒ, ΔΖΑΒ). οπότε αν είναι γνωστές οι συντεταγμένες του ενός, υπολογίζονται και οι συντεταγμένες του άλλου.

Ο σχετικός στατικός προσδιορισμός με μετρήσεις φάσεων, που χρησιμοποιούνται στην τελική λύση και μετρήσεις κωδίκων που βοηθούν στην όλη επεξεργασία, είναι αυτός που αφορά τις Γεωδαιτικές και τοπογραφικές εργασίες και που μπορεί να δώσει την υψηλή ακρίβεια της τάξης των μερικών mm (cm or subcentimeter accuracy) ή γενικότερα της τάξης του 1 έως 0.01 ppm του μήκους της βάσης (5 mm — 1 ppm για τις συνήθεις εργασίες). Η απόσταση της βάσης μπορεί να είναι και μερικές εκατοντάδες km. Οι χρόνοι παρατήρησης κυμαίνονται από μερικά λεπτά έως και μερικές ώρες, ανάλογα με την εφαρμογή. Για συνήθεις εργασίες, με αποστάσεις μικρότερες από 15 km, ο χρόνος παρατήρησης δεν ξεπερνά τη μία ώρα.

Ο σχετικός κινηματικός προσδιορισμός, όπου ο ένας δέκτης παραμένει ακίνητος (static mode) ενώ ο άλλος βρίσκεται σε κίνηση (kinematic mode) δίνει επίσης ανάλογες ακρίβειες (λίγο χαμηλότερες), αλλά υπόκειται σε περισσότερους περιορισμούς, π.χ. χρειάζεται συνεχής λήψη σήματος. Επιπλέον απαιτείται να επιλυθεί στην αρχή το πρόβλημα της επίλυσης των ασαφειών με στατικό προσδιορισμό (initialisation).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4
ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν και η περαιτέρω επεξεργασία. Η μέτρηση της περιοχής μελέτης πραγματοποιήθηκε με ολικό γεωδαιτικό σταθμό, Topcon GTS-212, λόγω μεγαλύτερης αξιοπιστίας και επειδή δεν έχει ουσιαστική διαφορά σε χρόνο υλοποίησης των μετρήσεων, σε σχέση με αποτύπωση με GPS. Αυτό διότι η περιοχή μελέτης έχει πολύ ήπιο ανάγλυφο και χαμηλή βλάστηση, οπότε είναι πολύ καλή η ορατότητα. Έτσι δεν χρειάστηκαν πολλές διαφορετικές στάσεις του οργάνου (ταχύμετρο) για την πραγματοποίηση των μετρήσεων, αφού ευνοούνταν η μέτρηση με αμοιβαία ορατότητα μεταξύ οργάνου και στόχου (ανακλαστήρα).

Εξαρτήθηκαν δε οι μετρήσεις, στο επίσημο ελληνικό γεωδαιτικό σύστημα ΕΓΣΑ87, με τη βοήθεια ενός δικτύου στάσεων που προσδιορίστηκαν χρησιμοποιώντας σύγχρονες γεωδαιτικές μεθόδους (GPS), αλλά και συμβατικές μεθόδους, δηλαδή ανοικτού τύπου όδευση από γνωστά τριγωνομετρικά σημεία, σημεία δηλαδή με γνωστές τις τριγωνομετρικές τους συντεταγμένες.

Στην επόμενη ενότητα περιγράφεται η διαδικασία υλοποίησης του δικτύου των στάσεων και αντιπαρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν. Ως τελική επιλογή, των τριγωνομετρικών συντεταγμένων του δικτύου, επιλέχθηκαν τα αποτελέσματα που για συγκεκριμένους λόγους θεωρούνται τα πιο ακριβή, ως η καλύτερα αποδεκτή λύση, και εκεί εξαρτήθηκε η αποτύπωση, της υφιστάμενης κατάστασης, της μελετώμενης περιοχής.

4.2. ΣΥΝΔΕΣΗ ΣΤΑΣΕΩΝ ΜΕ ΕΓΣΑ87

Για την εξάρτηση, του σχετικού συστήματος αποτύπωσης, με το επίσημο κρατικό σύστημα συντεταγμένων, χρησιμοποιήθηκαν κάποιες μεθοδολογίες, οι οποίες αναλύονται παρακάτω.

4.2.1. ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΑΝΟΙΚΤΗΣ ΚΑΙ ΚΛΕΙΣΤΗΣ ΟΔΕΥΣΗΣ

Για τον προσδιορισμό των συντεταγμένων σειράς σημείων τα οποία είναι κορυφές μιας τεθλασμένης γραμμής που ονομάζεται πολυγωνική όδευση, χρησιμοποιήθηκε ολικός γεωδαιτικός σταθμός. Τα στοιχεία επομένως που πρέπει να μετρηθούν στο έδαφος για να είναι δυνατός ο υπολογισμός των συντεταγμένων των πολυγωνικών σημείων, είναι οι γωνίες θλάσης και οι πλευρές. Σε κάθε όδευση πρέπει να είναι γνωστές οι συντεταγμένες του σημείου αναχώρησης και η γωνία διεύθυνσης της πρώτης πλευράς της. Στην περίπτωση αυτή η όδευση ονομάζεται ανοιχτή εξαρτημένη με προσανατολισμό στο ένα άκρο της.

Επίσης είναι δυνατόν η όδευση να αρχίζει και να τελειώνει στο ίδιο σημείο οπότε λέγεται κλειστή όδευση. Η κλειστή όδευση μπορεί να είναι εξαρτημένη με προσανατολισμό, όταν αρχίζει και τελειώνει σε γνωστό τριγωνομετρικό σημείο και προσανατολίζεται σε άλλο επίσης γνωστό τριγωνομετρικό σημείο ή ανεξάρτητη όταν τόσο η αρχή της όσο και ο προσανατολισμός της λαμβάνονται αυθαίρετα.

Για τον υπολογισμό των συντεταγμένων, των στάσεων του συστήματος μας, χρησιμοποιήσαμε τη μέθοδο της ανοικτής όδευσης, από το γνωστό τριγωνομετρικό σημείο της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού «Τσαλίσματα», μηδενίζοντας στο, γνωστό επίσης, τριγωνομετρικό σημείο «Σκλόκα», και πραγματοποιώντας ανοικτή όδευση έως τις στάσεις S5 και S6, του συστήματός της παρούσας μελέτης. Με γνωστά πλέον, 2 σταθερά σημεία του συστήματος μέτρησης, δόθηκαν συντεταγμένες, σε ΕΓΣΑ87, σε όλα τα υπόλοιπα ταχυμετρικά αποτυπωμένα σημεία.

Επίσης πραγματοποιήθηκε κλειστή όδευση, κατά μήκος του περιφερειακού δρόμου της Πολυτεχνειούπολης, για να εξαλειφθούν τυχόν γωνιακά σφάλματα, και να βελτιωθεί η ακρίβεια.

Προκειμένου να καθοριστούν οι τοπογραφικές παράμετροι που απαιτούνται για τον σκοπό της παρούσης μελέτης, ακολουθήθηκαν τα παρακάτω βήματα:

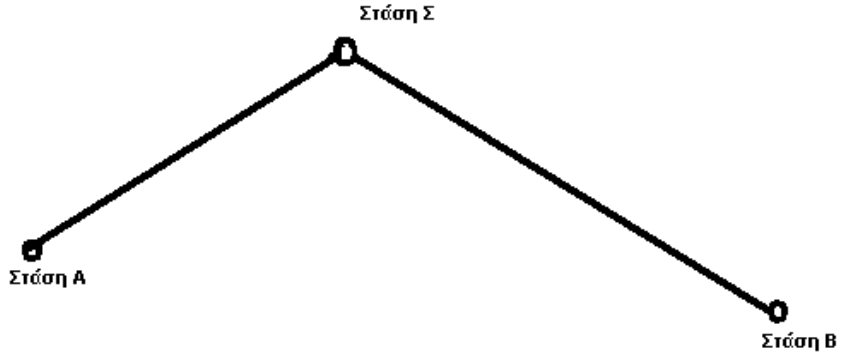
Ορίσθηκε μία (1) στάση ανοιχτής πολυγωνομετρικής όδευσης από το τριγωνομετρικό σημείο «Τσαλίσματα» μέχρι το σημείο D3 (Εικ.4.2). Προβλέφθηκε, οι στάσεις που ορίστηκαν, να έχουν αμοιβαία ορατότητα

μεταξύ τους ανά δύο, έτσι ώστε να μπορεί να γίνει οπισθοσκόπευση και εμπροσθοσκόπευση. Επιπλέον, ορίσθηκαν άλλες δέκα (10) στάσεις κλειστής πολυγωνομετρικής όδευσης, κατά μήκος του περιφερειακού δρόμου της πολυτεχνειούπολης, έτσι ώστε να προσδοθούν συντεταγμένες στις στάσεις S5 και S6.

Κατά τη διαδικασία της Όδευσης μετρούνται οι οριζόντιες γωνίες (HR), οι οριζόντιες αποστάσεις (HD) και η υψομετρική διαφορά (VD) μεταξύ δύο διαδοχικών στάσεων. Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται σε δύο περιόδους με γωνιές έναρξης 0 και 200 grad, για την αποφυγή πιθανού συστηματικού σφάλματος του οργάνου στις γωνίες αυτές. Για κάθε περίοδο οι μετρήσεις λαμβάνονται με την παρακάτω διαδικασία για ακόμη μεγαλύτερη ακρίβεια:

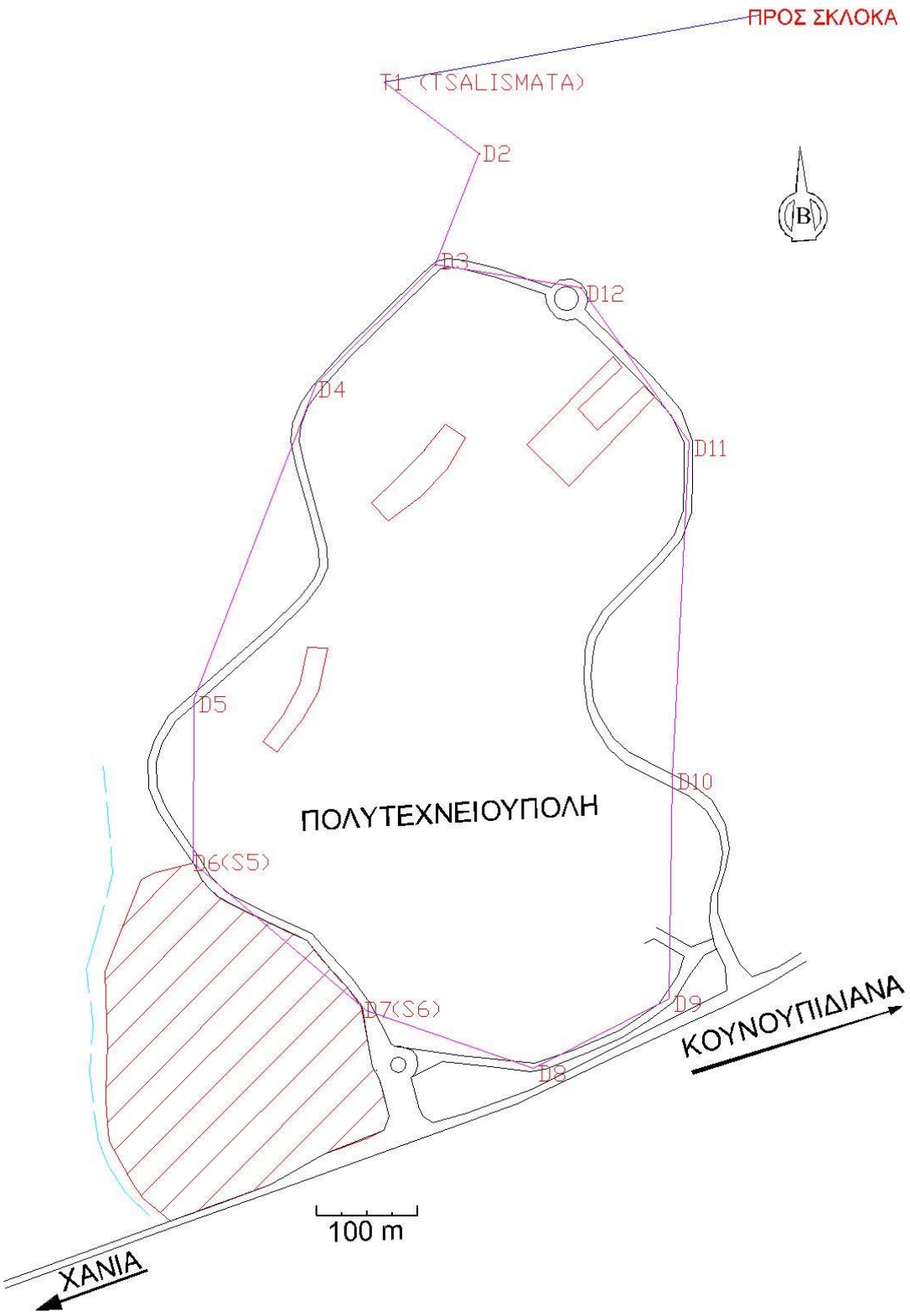
- Μηδενίζεται το όργανο στην προηγούμενη στάση (στάση Α).
- Στρέφεται προς την επόμενη στάση δεξιόστροφα.
- Μετράται η γωνία μεταξύ της ευθείας που ορίζεται από την προηγούμενη στάση (στάση Α) και την στάση που βρίσκεται ο γεωδαιτικός σταθμός (στάση Σ) και της ευθείας που ορίζεται από το σημείο(στάση Σ) που βρίσκεται ο γεωδαιτικός σταθμός και την επόμενη στάση (στάση Β).
- Περιστρέφεται ο γεωδαιτικός σταθμός ως προς τον οριζόντιο και ως προς τον κατακόρυφο άξονα κατά 200 grad και στοχεύει ξανά προς την επόμενη στάση (στάση Β).
- Επιστροφή στην προηγούμενη στάση (στάση Α) για επαναμέτρηση της γωνίας.

Σχηματικά :



Εικ.4.1. Σχεδιάγραμμα τυπικού στησίματος οπισθοσκόπευσης -εμπροσθοσκόπευσης

Σκαρίφημα της πραγματοποιηθείσας όδευσης παρουσιάζεται στην εικόνα 4.2:



Εικ.4.2. Σκαρίφημα της πραγματοποιηθείσας όδευσης

4.2.1.1 ΕΠΙΛΥΣΗ ΑΝΟΙΚΤΗΣ ΕΞΑΡΤΗΜΕΝΗΣ ΟΔΕΥΣΗΣ

Οι συντεταγμένες των γνωστών τριγωνομετρικών σημείων ΄΄Σκλόκα΄΄ & ΄΄Τσαλίσματα΄΄, σε ΕΓΣΑ87, παρουσιάζονται στον πίνακα 4.1:

Πίν. 4.1, Συντεταγμένες γεωδαιτικών σημείων ελέγχου

$x_{Σκλόκας}$ = 515541,490 m	$y_{Σκλόκας}$ = 3933728,360 m
$x_{T1(Τσαλίσματα)}$ = 505989,377 m	$y_{T1(Τσαλίσματα)}$ = 3932031,278 m

Επίσης, στον πίνακα 4.2, παρουσιάζονται οι μετρήσεις των γωνιών θλάσης και των αποστάσεων από την μέση τιμή 2 περιόδων μετρήσεων.

Πίν. 4.2, Γωνίες θλάσης και οριζόντιες αποστάσεις

ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΓΩΝΙΕΣ	**όνομα**	**HA (grad)**
Σκλόκα – T1 – D2	B1	52.121
T1 - D2 - D3	B2	283.119

ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ	**όνομα**	**HD (grad)**
T1 – D2	S1	117.482
D2 – D3	S2	117.278

Για την αρχική γωνία διεύθυνσης ισχύει η σχέση :

$α_0$ [Σκλόκα –T1] = arctan[(ΧΣκλόκα – ΧT1)/ (ΥΣκλόκα – ΥT1)]

Ο αλγόριθμος υπολογισμού των γωνιών διεύθυνσης ($α_n$) ως προς το Βορρά για την κάθε πλευρά της όδευσης, παρουσιάζεται στον πίνακα 4.3.

Πίν.4.3, Επαναληπτικός τύπος υπολογισμού γωνιών διεύθυνσης

$α_n = α_{n-1} + B_n + 200 – (k * 400)$ (K φυσικός αριθμός K=0,1,2,3,.....)
$α_0$ = 88,806 grad
$α_1 = α_0 + B_1$

Ο K χρησιμοποιείται έτσι ώστε κάθε φορά το α να βρίσκεται στο διάστημα [0,400] grad.

Οι γωνίες διεύθυνσης που προκύπτουν από τους υπολογισμούς, παρουσιάζονται στον πίνακα 4.4 :

Πίν. 4.4, Υπολογισμένες γωνίες διεύθυνσης

	ΓΩΝΙΕΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ (grad)	**rad**	**Sin(a)**	**Cos(a)**
α0	**88.806**			
α1	140.927	2.214	0.800	-0.600
α2	224.046	3.519	-0.369	-0.930

Οι συντεταγμένες των στάσεων υπολογίζονται από την σχέση :

$$\mathbf{X_n = X_{n-1} + S_{n-1} * \sin(\alpha_{n-1})}$$

$$\mathbf{Y_n = Y_{n-1} + S_{n-1} * \cos(\alpha_{n-1})}$$

Οπότε προκύπτει ο πίνακας 4.5 με τις συντεταγμένες των υλοποιημένων σταθερών σημείων, σε ΕΓΣΑ87:

Πίν. 4.5, Συντεταγμένες στάσεων ανοικτής εξαρτημένης όδευσης

Στάσεις	**X(m)**	**Y (m)**
T1 (Τσαλίσματα)	505989.377	3932031.278
D2	506083.406	3931960.847
D3	**506040.154**	**3931851.836**

Επίσης χρειάζεται να πραγματοποιηθεί υπολογισμός των ορθομετρικών υψομέτρων των στάσεων. Από τη μέση υψομετρική διαφορά των στάσεων, σε 2 περιόδους μετρήσεων, προκύπτει ο πίνακας 4.6 :

Πίν. 4.6, Μετρούμενες υψομετρικές διαφορές μεταξύ των στάσεων

	ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ	**ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ**
	HR (m)	**VD (m)**
T1 - D2	117.482	3.028
D2 - D3	117.278	-0.016

Οπότε το τελικό ορθομετρικό υψόμετρο των στάσεων, όπως υπολογίσθηκε, παρουσιάζεται στον πίνακα 4.7 :

Πίν. 4.7, Ορθομετρικό υψόμετρο στάσεων ανοικτής εξαρτημένης όδευσης

ΣΤΑΣΗ	**ΟΡΘΟΜΕΤΡΙΚΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ**
Τ1	**135.644**
D2	138.672
D3	135.628

Τέλος, οι συντεταγμένες της στάσης D3 που μας ενδιαφέρει για την διαδικασία της κλειστής εξαρτημένης όδευσης, παρουσιάζονται στον πίνακα 4.8, όπως αυτές υπολογίστηκαν :

Πίν. 4.8, Συντεταγμένες στάσης D3

ΣΗΜΕΙΟ	**X(m)**	**Y(m)**	**H(m)**
D3	506040.154	3931851.836	135.628

4.2.1.2. ΕΠΙΛΥΣΗ ΚΛΕΙΣΤΗΣ ΕΞΑΡΤΗΜΕΝΗΣ ΟΔΕΥΣΗΣ

Όπως φαίνεται και στο σκαρίφημα της πραγματοποιηθείσας όδευσης, στην εικόνα 4.2, πραγματοποιήθηκε κλειστή εξαρτημένη όδευση κατά μήκος του περιφερειακού δρόμου της πολυτεχνειούπολης, για να προσδοθούν συντεταγμένες στις στάσεις D6(S5) και D7(S6), της ταχυμετρικής αποτύπωσης.

Στον πίνακα 4.9 παρουσιάζονται οι μετρημένες οριζόντιες γωνίες ή γωνίες θλάσης, μεταξύ των υλοποιημένων σταθερών σημείων, της κλειστής εξαρτημένης όδευσης, όπως προέκυψαν από τον μέσο όρο των μετρήσεων δύο περιόδων:

Πίν. 4.9, Γωνίες θλάσης κλειστής εξαρτημένης όδευσης

ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΓΩΝΙΕΣ	**Όνομα**	**HA (grad)**	**400-HA(grad) εξωτερικές γωνίες**
D2 - D3 - D4	B3α	226.427	
D3 - D4 - D5	B4	173.251	226.749
D4 - D5 - D6	B5	176.429	223.571
D5 - D6 - D7	B6	144.553	255.447
D6 -D7 - D8	B7	176.314	223.686
D7 - D8 - D9	B8	149.130	250.870
D8 - D9 - D10	B9	130.844	269.156
D9 - D10 - D11	B10	202.448	197.552
D10 - D11 - D12	B11	157.573	242.427
D11 - D12 - D3	B12	148.997	251.003
D12 - D3 - D4	B3κ	140.643	259.357

Επίσης, στον πίνακα 4.10 παρουσιάζονται οι μετρημένες οριζόντιες αποστάσεις μεταξύ των στάσεων της όδευσης, πάλι από τον μέσο όρο των μετρήσεων δύο περιόδων:

Πίν. 4.10, Οριζόντιες αποστάσεις μεταξύ των στάσεων

ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ	**όνομα**	**HD (m)**
D3 - D4	S3	166.980
D4 - D5	S4	331.419
D5 - D6	S5	160.901
D6 - D7	S6	223.920
D7 - D8	S7	175.073
D8 - D9	S8	150.431
D9 - D10	S9	217.879
D10 - D11	S10	328.206
D11 - D12	S11	185.522
D12 - D3	S12	145.796

Υπολογισμός γωνιακού σφάλματος (Wβ) :

Το άθροισμα των γωνιών πολυγώνου είναι ίσο με :
Σβ=200g x (n+2) ,για εσωτερικές γωνίες , όπου n ο αριθμός των πλευρών του πολυγώνου. Στην παρούσα περίπτωση :

Σβ=200g x (10+2) = 2400g

Στην πραγματικότητα όμως το άθροισμα των γωνιών του πολυγώνου, όπως αυτές έχουν μετρηθεί στο πεδίο, είναι :

Σ'β (B3-B12) = 2399,818 g

Το γωνιακό σφάλμα (Wβ) ισούται με :

Wβ = Σβ – Σ'β = 2400,000g – 2399.818g = 0.182g

Το γωνιακό σφάλμα πρέπει να ισοκατανεμηθεί σε κάθε γωνία θλάσης έτσι ώστε το συνολικό άθροισμα των γωνιών να είναι ίσο με 2400g.Για κάθε γωνία θλάσης πρέπει να γίνει διόρθωση ίση με :

δβ= Wβ / n = 0.182 / 10 => δβ = 0,0182g Δηλαδή: β=B+δβ

Στον πίνακα 4.11 παρουσιάζονται οι διορθωμένες γωνίες θλάσης σε grad :

Πίνακας 4.11, Διορθωμένες γωνίες θλάσης

	400-β	**β**
B3a		226.427
β4	226.767	173.233
β5	223.589	176.411
β6	255.465	144.535
β7	223.704	176.296
β8	250.888	149.112

β9	269.174	130.826
β10	197.570	202.430
β11	242.445	157.555
β12	251.021	148.979
β3κ	259.375	
ΣΥΝΟΛΟ	**2400.000**	

Υπολογισμός γωνιών διεύθυνσης (α) :

Η γωνία διεύθυνσης της ευθείας που ενώνει 2 διαδοχικά σημεία της όδευσης ορίζεται ως η δεξιόστροφη γωνία σε σχέση με τη διεύθυνση του βορρά.

Για τα γνωστά σημεία D2 και D3 ισχύει ότι :

α2=224.0463g

Οι υπόλοιπες γωνίες διεύθυνσης υπολογίζονται βάση του τύπου :

$\alpha_n=\alpha_{n-1}+\beta_n+200^g-k*400^g$

Οπότε προκύπτει ο πίνακας 4.12 των υπολογιζόμενων γωνιών διεύθυνσης :

Πίν. 4.12, Γωνίες διεύθυνσης κλειστής εξαρτημένης όδευσης

Γωνίες Διεύθυνσης (grad)		rad	sina	cosa
α3 (D3->D4)	250.473	3.934425396	-0.712344232	-0.701830247
α4 (D4->D5)	223.706	3.513967202	-0.363828266	-0.931466045
α5 (D5->D6)	200.117	3.143428914	-0.001836260	-0.999998314
α6 (D6->D7)	144.652	2.272183590	0.763947752	-0.645278105
α7(D7->D8)	120.948	1.899838887	0.946352161	-0.323137102
α8(D8->D9)	70.059	1.100488911	0.891429022	0.453160346
α9(D9->D10)	0.885	0.013903118	0.013902670	0.999903353
α10(D10->D11)	3.315	0.052070327	0.052046801	0.998644647
α11(D11->D12)	360.870	5.668527992	-0.576678592	0.816971114
α12(D12->D3)	309.849	4.867088857	-0.988057819	0.154083567

Παρατηρείται ότι τα τόξα των γωνιών διεύθυνσης, όπως και τα ημίτονα και τα συνημίτονά τους υπολογίστηκαν με ακρίβεια 9 σημαντικών ψηφίων αντί για 3 που έχουν υπολογιστεί οι αποστάσεις και οι γωνίες αυτές καθ' αυτές. Αυτό έγινε για βελτίωση της ακρίβειας των υπολογισμών, της τάξης των 0,5 m όπως υπολογίστηκε.

Υπολογισμός χαρτογραφικών συντεταγμένων (X,Y) :

Οι συντεταγμένες των στάσεων υπολογίζονται από την παρακάτω επαναληπτική σχέση :

$$\mathbf{X_n = X_{n-1} + S_{n-1} * \sin(\alpha_{n-1})}$$

$$\mathbf{Y_n = Y_{n-1} + S_{n-1} * \cos(\alpha_{n-1})}$$

Εφαρμόζοντας τις παραπάνω επαναληπτικές σχέσεις προκύπτει ο πίνακας 4.13 με τις υπολογισμένες χαρτογραφικές συντεταγμένες των στάσεων της κλειστής εξαρτημένης όδευσης, σε ΕΓΣΑ87:

Πίν. 4.13 , Χαρτογραφικές συντεταγμένες των στάσεων

Στάσεις	**X(m)**	**Y (m)**
D3 (από ανοικτή όδευση)	**506040.154**	**3931851.836**
D4	505921.206	3931734.644
D5	505800.627	3931425.938
D6	505800.331	3931265.038
D7	505971.395	3931120.547
D8	506137.075	3931063.975
D9	506271.173	3931132.144
D10	506274.202	3931350.002
D11	506291.285	3931677.763
D12	506184.298	3931829.329
D3	506040.243	3931851.794

Υπολογισμός γραμμικού σφάλματος :

Η μετατόπιση κατά τον Χ άξονα υπολογίζεται ως: $Wx=X_{D3a}-X_{D3}$ = -0.089 m
Η μετατόπιση κατά τον Χ άξονα υπολογίζεται ως: $Wy=YD3a-Y_{D3}$ = 0.042 m

Οι οποίες μετατοπίσεις ισοκατανέμονται στις στάσεις της όδευσης
Οι τελικές συντεταγμένες του συστήματός παρουσιάζονται στον πίνακα 4.14.

Πίν. 4.14, Διορθωμένες χαρτογραφικές συντεταγμένες των στάσεων

Στάσεις	**X(m)**	**Y (m)**	
D3	**506040.154**	**3931851.836**	
D4	505921.198	3931734.648	
D5	505800.618	3931425.943	
D6	**505800.322**	**3931265.042**	**S5**
D7	**505971.386**	**3931120.551**	**S6**
D8	506137.066	3931063.979	
D9	506271.164	3931132.148	
D10	506274.194	3931350.006	
D11	506291.276	3931677.767	
D12	506184.289	3931829.333	

Υπολογισμός υψομέτρων :

Υπολογίζοντας τις μέσες υψομετρικές διαφορές από τις 2 περιόδους μετρήσεων, και προκύπτει ο πίνακας 4.15, των υψομετρικών διαφορών μεταξύ των στάσεων, της κλειστής εξαρτημένης όδευσης :

Πίν. 4.15, Μετρούμενες υψομετρικές διαφορές μεταξύ των στάσεων

Στάσεις	**ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ VD (m)**
D3 - D4	7.101
D4 - D5	13.599
D5 - D6	10.821
D6 - D7	8.674
D7 - D8	2.502
D8 - D9	-0.672
D9 - D10	-7.655
D10 - D11	-13.641
D11 - D12	-19.101
D12 - D3	-1.682

Το ορθομετρικό υψόμετρο των στάσεων, παρουσιάζεται στον πίνακα 4.16, όπως αυτό υπολογίσθηκε:

Πίν. 4.16, Ορθομετρικό υψόμετρο των στάσεων της κλειστής εξαρτημένης όδευσης

ΣΤΑΣΗ	**ΟΡΘΟΜΕΤΡΙΚΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ**
D3a	**135.628**
D4	142.729
D5	156.328
D6	167.149
D7	175.823
D8	178.325
D9	177.653
D10	169.998
D11	156.357
D12	137.256
D3	**135.574**

Υπολογισμός υψομετρικού σφάλματος :

Το υψομετρικό σφάλμα, η διαφορά δηλαδή στο υπολογιζόμενο υψόμετρο της στάσης D3, όπως προέκυψε από την ανοικτή και την κλειστή εξαρτημένη όδευση, δίδεται από τη σχέση : Wh=HD3a-HD3 = 0,054

Το οποίο ισοκατανέμεται στα υπολογισμένα υψόμετρα .

Τα τελικά διορθωμένα ορθομετρικά υψόμετρα των στάσεων της κλειστής εξαρτημένης όδευσης, παρουσιάζονται στον πίνακα 4.17 :

Πίν. 4.17, Τελικά διορθωμένα ορθομετρικά υψόμετρα των στάσεων

ΣΤΑΣΗ	**ΟΡΘΟΜΕΤΡΙΚΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ**	
D3	**135.628**	
D4	142.734	
D5	156.333	
D6	**167.154**	**S5**
D7	**175.828**	**S6**
D8	178.330	
D9	177.658	
D10	170.003	
D11	156.362	
D12	137.261	

Οι τελικές συντεταγμένες των στάσεων του μετρηθέντος συστήματος, σε ΕΓΣΑ87, παρουσιάζονται στον πίνακα 4.18 :

Πίν. 4.18, Συντεταγμένες στάσεων S5 και S6, όπως υπολογίστηκαν

Στάσεις	**X(m)**	**Y (m)**	**H(m)**
S5	**505800.322**	**3931265.042**	**167.154**
S6	**505971.386**	**3931120.551**	**175.828**

4.2.1.3. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Τελικά, πραγματοποιώντας συνδυασμό ανοικτής και κλειστής εξαρτημένης όδευσης, από γνωστά τριγωνομετρικά σημεία, επιτεύχθηκε η απόδοση συντεταγμένων στο μετρούμενο σχετικό σύστημα, σε επίσημο κρατικό γεωδαιτικό σύστημα. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν θα αντιπαραβληθούν με τα αποτελέσματα που θα προκύψουν από τις υπόλοιπες μεθόδους, έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί η οριοθέτηση της περιοχής μελέτης με την μέγιστη δυνατή ακρίβεια.

4.2.2. ΟΠΙΣΘΟΤΟΜΙΑ ΣΕ ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Μια απλή σχετικά μέθοδος, για τον υπολογισμό συντεταγμένων σε κάποιο σταθερό σημείο, είναι η μέθοδος της οπισθοτομίας. Για να πραγματοποιηθεί η οπισθοτομία χρειάζονται 3 τουλάχιστον σταθερά σημεία, με γνωστές συντεταγμένες. Στην περίπτωσή μας θα αναζητηθούν 3 από τα τριγωνομετρικά σημεία της Γ.Υ.Σ. που υπάρχουν στην περιοχή. Μετρώντας τις οριζόντιες και κατακόρυφες γωνίες, του σημείου που επιδιώκεται ο υπολογισμός των συντεταγμένων του, σε σχέση με τα 3 γνωστά τριγωνομετρικά σημεία, δύναται με τις κατάλληλες εξισώσεις να υπολογισθεί η θέση του σημείου, η οποία είναι το σημείο τομής των 3 νοητών ευθειών, που ξεκινούν από το σημείο μέτρησης και διέρχονται από τα 3 σταθερά σημεία, αντίστοιχα.

Οι σύγχρονοι γεωδαιτικοί σταθμοί, μπορούν πλέον εύκολα να εφαρμόζουν τη μέθοδο της οπισθοτομίας, αφού διαθέτουν ενσωματωμένα και τα κατάλληλα προγράμματα για την άμεση επίλυση της. Επίσης έχουν την δυνατότητα να πραγματοποιούν οπισθοτομία 2 σημείων, αρκεί να μετρηθεί και η απόσταση του σημείου ενδιαφέροντος από τα σταθερά σημεία με τις γνωστές τριγωνομετρικές συντεταγμένες.

Τοποθετείται, λοιπόν, το ταχύμετρο σε κάποιο επιλεγμένο σημείο και γίνεται προσπάθεια να εντοπιστούν από εκείνη τη θέση τουλάχιστον 3 γνωστά τριγωνομετρικά σημεία.

Δυστυχώς, στη συγκεκριμένη μελέτη, αυτό δεν στάθηκε δυνατό, διότι δεν υπήρχε κάποιο σημείο που να υπήρχε η δυνατότητα να τοποθετηθεί ο γεωδαιτικός σταθμός και να υπάρχει αμοιβαία ορατότητα με τουλάχιστον 3 γεωδαιτικά σημεία ελέγχου, ταυτόχρονα.

4.2.3. ΣΤΑΤΙΚΟΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΜΕ GPS

Χρησιμοποιώντας αυτή τη μέθοδο, τοποθετήθηκε GPS σε 2 γνωστά τριγωνομετρικά σημεία της περιοχής σαν base και πραγματοποιήθηκε στατικός εντοπισμός στις στάσεις S5 και S6, του σχετικού συστήματος μετρήσεων (Εικόνα 4.2). Η μεθοδολογία και η διαδικασία του στατικού δορυφορικού εντοπισμού, έχει περιγραφεί στο κεφάλαιο 3. Εδώ θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα, έπειτα από την επεξεργασία των μετρήσεων και θα τα αντιπαραβληθούν με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη μέθοδο της όδευσης.

Τοποθετήθηκε, λοιπόν, ένας δέκτης στο τριγωνομετρικό σημείο Τσαλίσματα και ένας δέκτης στο τριγωνομετρικό σημείο Ασύρματος, που βρίσκεται νοτιοδυτικά της περιοχής των Κουνουπιδιανών, και βάση αυτών των δύο base, επιλύθηκε το σύστημα των στάσεων, έχοντας τοποθετήσει τον δέκτη σε κάθε μία από τις στάσεις S5 και S6, για τον απαιτούμενο χρόνο.

Οι μετρήσεις στα σημεία ελέγχου (S5 και S6) πραγματοποιήθηκαν την Παρασκευή 22 Αυγούστου 2008. Για τον προσδιορισμό των βάσεων χρησιμοποιήθηκαν γεωδαιτικοί δέκτες GPS διπλής συχνότητας, υψηλής ακρίβειας, έτσι ώστε να επιτευχθεί ακρίβεια εκατοστού.

Για τον προσδιορισμό των συντεταγμένων των άγνωστων σημείων ελέγχου χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του σχετικού στατικού εντοπισμού με GPS, με σταθμούς αναφοράς σημεία γνωστών συντεταγμένων (ASYRM, TSALI). Ο σχετικός στατικός εντοπισμός στοχεύει στον ακριβή προσδιορισμό του μήκους του διανύσματος μεταξύ δύο σημείων, το οποίο ονομάζεται γενικά γεωδαιτική βάση.

Ως σταθμοί αναφοράς χρησιμοποιήθηκαν τα τριγωνομετρικά σημεία της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (ΓΥΣ) Ασύρματος και Τσαλίσματα. Οι συντεταγμένες των σημείων αυτών στο σύστημα ΕΓΣΑ87 όπως δίνονται από τους πίνακες της ΓΥΣ, παρουσιάζονται στον πίνακα 4.19.

Πίν. 4.19, Συντεταγμένες γεωδαιτικών σημείων ελέγχου

ΣΗΜΕΙΟ	ΚΩΔ	X (m)	Y (m)	H (m)	ΔZ
ΑΣΥΡΜΑΤΟΣ	**ASYRM**	**505075.947**	**3929649.466**	**210.747**	1.20
ΤΣΑΛΙΣΜΑΤΑ	**TSALI**	**505989.377**	**3932031.278**	**135.644**	1.10

Οι γεωδαιτικές βάσεις μεταξύ όλων των σημείων του δικτύου και στα τριγωνομετρικά σημεία προσδιορίστηκαν χρησιμοποιώντας:

- Δύο γεωδαιτικούς δέκτες GPS της Novatel για τα τριγωνομετρικά σημεία.
- Έναν γεωδαιτικό δέκτη GPS Ashtech Promark2 για τις μετρήσεις στα σημεία ελέγχου S5 – S6.

Οι μετρήσεις GPS περιλαμβάνουν παρατηρήσεις του κώδικα P1, του κώδικα P2, του κώδικα C/A, καθώς και παρατηρήσεις της φέρουσας φάσης στις συχνότητες L1 και L2, με διάστημα δειγματοληψίας 2 δευτερολέπτων. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με την μέθοδο του σχετικού στατικού εντοπισμού με GPS. Χρησιμοποιήθηκαν δύο σταθμοί αναφοράς γνωστών συντεταγμένων (ASYRM,TSALI) για κάθε άγνωστο σημείο μέτρησης (S5 & S6). Έτσι κάθε άγνωστο σημείο προσδιορίστηκε ανεξάρτητα από δύο διαφορετικά τριγωνομετρικά σημεία.

Η επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα επεξεργασίας δεδομένων GPS, Ashtech Office Suite for Survey. Για την επεξεργασία έχουν χρησιμοποιηθεί οι παρατηρήσεις των κωδίκων C/A, P1 και P2, καθώς και οι παρατηρήσεις φάσης στις φέρουσες συχνότητες L1 και L2.

Η ακρίβεια στον προσδιορισμό των γεωδαιτικών βάσεων εξαρτάται κυρίως από τις αλλαγές στην γεωμετρία των δορυφόρων κατά την διάρκεια της παρατήρησης. Χρησιμοποιώντας παρατηρήσεις διπλής συχνότητας, μπορούν να εξαχθούν λύσεις για διαφορετικές συχνότητες και διάφορους συνδυασμούς, όπως L1, L2, Lw (wide - lane frequency), Ln (narrow – lane frequency) και Lc (ionosphere free frequency) ως εξής:

L1: δεδομένα μόνο από την συχνότητα L1

L2: δεδομένα μόνο από την συχνότητα L2

Lw: δεδομένα φέρουσας φάσης που προκύπτουν από την διαφορά L1 – L2

Ln: δεδομένα φέρουσας φάσης που προκύπτουν από το άθροισμα L1 + L2
Lc: δεδομένα φέρουσας φάσης που προκύπτουν από τον συνδυασμό απαλλαγμένης ιονόσφαιρας L1 & L2

Όλα τα σημεία προσδιορίστηκαν ανεξάρτητα από τα δύο τριγωνομετρικά σημεία και έτσι προέκυψαν δύο λύσεις για κάθε σημείο ελέγχου οι οποίες παρουσιάζονται στους πίνακες 4.20 & 4.21:

Πίν. 4.20, Οι συντεταγμένες, των στάσεων, από το τριγωνομετρικό σημείο **Ασύρματος**

ΣΗΜΕΙΟ	**X [m]**	**Y [m]**	**H [m]**
S5	505800.369	3931265.026	167.164
S6	505971.343	3931120.565	175.835

&

Πίν. 4.21, Οι συντεταγμένες, των στάσεων, από το τριγωνομετρικό σημείο **Τσαλίσματα**

ΣΗΜΕΙΟ	**X [m]**	**Y [m]**	**H [m]**
S5	505800.343	3931265.052	167.157
S6	505971.365	3931120.542	175.817

Από τους παραπάνω πίνακες είναι φανερό ότι οι λύσεις που προκύπτουν από τα τριγωνομετρικά σημεία παρουσιάζουν πολύ χαμηλή διακύμανση και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την τελική επίλυση των ζητούμενων συντεταγμένων με την μέθοδο των ελάχιστων τετραγώνων.

Οι τελικές συντεταγμένες των ζητούμενων σημείων στο σύστημα ΕΓΣΑ 87 προκύπτουν χρησιμοποιώντας την συνδυασμένη λύση των τριγωνομετρικών σημείων ASYRM και TSALI, και παρουσιάζονται στον πίνακα 4.22.

Πίν. 4.22. Υπολογισμένες συντεταγμένες των στάσεων με τη μέθοδο του στατικού δορυφορικού εντοπισμού

ΣΗΜΕΙΟ	**X [m]**	**Y [m]**	**H [m]**
S5	**505800.356**	**3931265.039**	**167.161**
S6	**505971.354**	**3931120.554**	**175.826**

4.2.4. ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΣΤΑΤΙΚΟΥ - ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΟΥ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΜΕ GPS

Με αυτή τη μέθοδο (Στάσης & Αναχώρησης ή Stop and Go) , χρησιμοποιήθηκε ο μόνιμος δέκτης, που έχει τοποθετήσει το Πολυτεχνείο Κρήτης, στην περιοχή της πολυτεχνειούπολης, με την ονομασία TUC2 (Εικ.4.1). Ο μόνιμος σταθμός TUC2 είναι εγκατεστημένος σε περιφραγμένο χώρο εντός της Πολυτεχνειούπολης και παρέχει δεδομένα GPS από τον Ιούλιο του 2004. Ο σταθμός TUC2 ακολουθεί τις προδιαγραφές και τα διεθνή πρότυπα των μόνιμων σταθμών GPS της International GPS Service. Από τον Οκτώβριο του 2004 ο σταθμός έχει συνδεθεί με το πανευρωπαϊκό δίκτυο μόνιμων δορυφορικών παρατηρήσεων GPS της υπηρεσίας European Reference Frame Permanent Network (EUREF).



Εικ. 4.1. Δορυφορικός δέκτης TUC2 και κέντρο ελέγχου αυτού

Τοποθετήθηκε λοιπόν ο δέκτης GPS της NOVATEL , πάνω από τη στάση S1, του συστήματος μετρήσεων μας, ως base, και επιλύσαμε το σύστημά μας βάση του σταθμού TUC2. Πραγματοποιήθηκε δηλαδή έμμεσος δορυφορικός εντοπισμός. Ως κινούμενο δέκτη (rover) χρησιμοποιήσαμε ένα δέκτη GPS της εταιρείας Ashtec, τον Promark2, και αποτυπώσαμε το σύνολο των στάσεών μας.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν, έπειτα από την επεξεργασία των μετρήσεων, παρουσιάζονται στον πίνακα 4.23.

Πίν. 4.23, Συντεταγμένες υπολογισμένες με τη μέθοδο κινηματικού δορυφορικού εντοπισμού

SITE	**X (m)**	**Y (m)**	**H (m)**
S001	505981.402	3931061.724	178.456
S002	505876.857	3930950.128	180.451
S003	505824.978	3930930.528	179.496
S004	505777.197	3930913.882	179.236
S005	**505800.311**	**3931265.034**	**167.173**
S006	**505971.402**	**3931120.557**	**175.887**
S007	505783.568	3930904.585	179.145
S008	505811.902	3931273.367	167.168

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

5.1. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ – ΕΠΙΛΟΓΗ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ

Στις προηγούμενες παραγράφους ασχοληθήκαμε με διάφορες μεθόδους εντοπισμού των στάσεων του μετρηθέντος συστήματος, και σύνδεση αυτού με το επίσημο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς που ισχύει στον ελληνικό χώρο, το ΕΓΣΑ87.

Στον πίνακα 5.1 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις διάφορες μεθόδους :

Πιν. 5.1, Συγκριτικά αποτελέσματα μεθόδων

ΜΕΘΟΔΟΣ	**ΣΗΜΕΙΟ**	**X**	**Y**	**Z**
ΟΔΕΥΣΗ	S5	505800.322	3931265.042	167.154
Static GPS	S5	505800.356	3931265.039	167.161
Stop & Go	S5	505800.311	3931265.034	167.173
ΟΔΕΥΣΗ	S6	505971.386	3931120.551	175.828
Static GPS	S6	505971.354	3931120.554	175.826
Stop & Go	S6	505971.402	3931120.557	175.887

Είναι προφανές λοιπόν, ότι τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εκάστοτε μέθοδο, είναι παραπλήσια με αυτά των άλλων μεθόδων. Αυτό ήταν αναμενόμενο, αν και εφόσον γίνονταν με προσοχή και ακρίβεια οι μετρήσεις, διότι και οι τρεις προαναφερθείσες μέθοδοι είναι επιστημονικά αξιόπιστες, κάθε μία με τα προτερήματά της και τις αδυναμίες της. Ως βέλτιστο αποτέλεσμα, προτιμήθηκε ο μέσος όρος των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τις προαναφερθείσες μεθοδολογίες.

Τυχόν σφάλματα που υπεισήλθαν, έχουν ως εξής: Η όδευση μας δίνει μεν ακριβή αποτελέσματα για σχετικά κοντινές αποστάσεις και για κλειστά συστήματα, όμως εδώ οι αποστάσεις μετρήσεων ήταν μακρινές. Επίσης σίγουρα υπήρξαν σφάλματα στον παρατηρητή αλλά και στο στοχοφόρο.

Ακόμα οι ατμοσφαιρικές συνθήκες (σημειωτέον πως τη μέρα των μετρήσεων επικρατούσε υψηλή υγρασία στην περιοχή) θα μπορούσαν να είχαν επηρεάσει την ακρίβεια των μετρήσεων.

Η μέθοδος στατικού και κινηματικού δορυφορικού εντοπισμού, περιέχει σφάλματα, λόγω καθυστέρησης του σήματος από την ατμόσφαιρα, και επίσης πιθανόν λόγω κακού συγχρονισμού της χρονικής κλίμακας του δέκτη με το δορυφόρο.

Πλεονέκτημα των μεθόδων δορυφορικού εντοπισμού είναι ότι ο δέκτης TUC2 επιλύθηκε με στατικό εντοπισμό από 4 τριγωνομετρικά σημεία ελέγχου ταυτόχρονα, και έχουν υπολογιστεί οι συντεταγμένες του με πολύ μεγάλη ακρίβεια.

5.2. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΕΔΙΟΥ

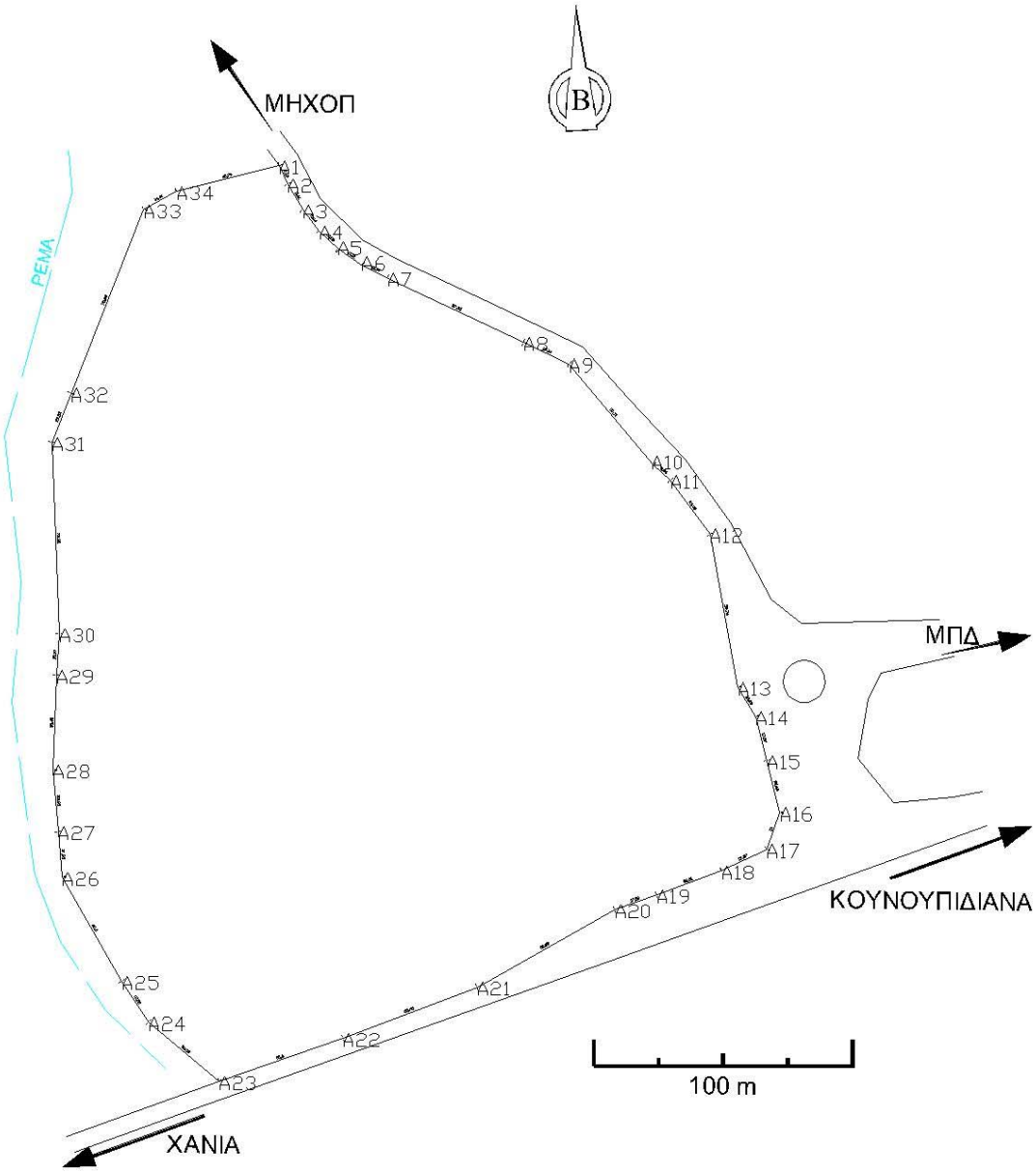
Όπως προαναφέρθηκε, αφού υπολογίστηκαν με ακρίβεια οι συντεταγμένες, των σταθερών σημείων που υλοποιήθηκαν στο σχετικό σύστημα μετρήσεών μας, σε σχέση με το Εθνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς, πραγματοποιήσαμε τοπογραφική αποτύπωση της περιοχής ενδιαφέροντος, με τη βοήθεια ολικού γεωδαιτικού σταθμού, έτσι ώστε να εντοπίσουμε τα όρια και τις διαστάσεις της αλλά και να δημιουργήσουμε το τρισδιάστατο μοντέλο εδάφους ή DTM . Στον πίνακα 1 που παρατίθεται στο παράρτημα παρουσιάζονται όλα τα σημεία της αποτύπωσης.

Τα όρια της προς μελέτη περιοχής παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα 5.2, όπως αυτά μετρήθηκαν:

Πιν. 5.2. Όρια περιοχής μελέτης σε ΕΓΣΑ87

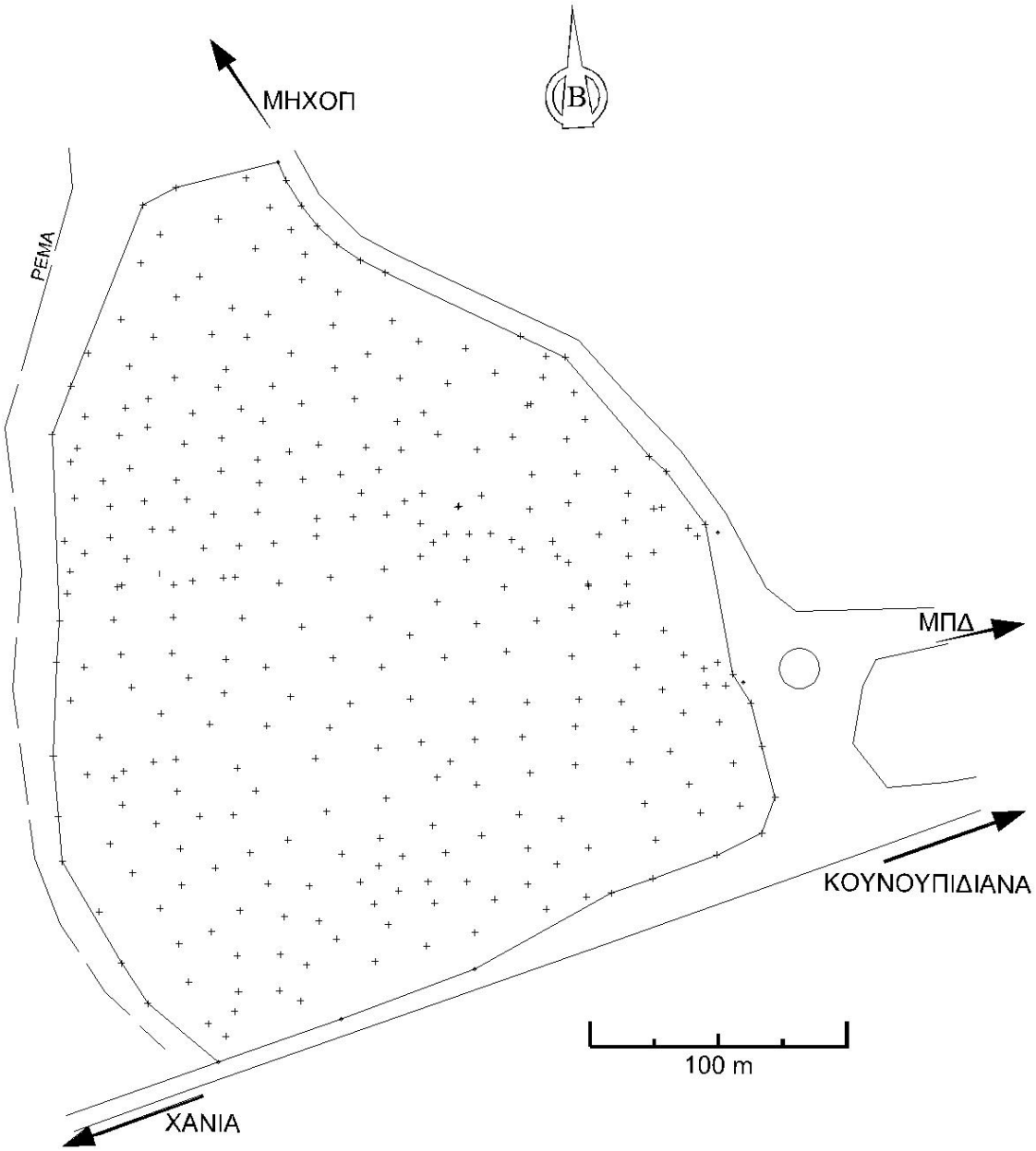
ΚΟΡΥΦΗ	X(m)	Y(m)
A1	505800.311	3931265.034
A2	505803.607	3931258.081
A3	505809.579	3931248.126
A4	505815.763	3931240.213
A5	505823.233	3931233.036
A6	505832.420	3931226.775
A7	505842.289	3931221.985
A8	505894.737	3931197.337
A9	505912.249	3931189.128
A10	505944.814	3931150.259
A11	505951.479	3931144.452
A12	505966.655	3931123.862
A13	505977.429	3931065.097
A14	505984.375	3931053.776
A15	505988.737	3931037.069
A16	505993.758	3931017.063
A17	505988.670	3931002.950
A18	505971.147	3930994.700
A19	505946.210	3930985.417
A20	505930.064	3930979.820
A21	505876.857	3930950.128
A22	505824.978	3930930.528
A23	505777.197	3930913.882
A24	505749.881	3930936.678
A25	505739.582	3930952.429
A26	505716.563	3930992.140
A27	505714.994	3931009.754
A28	505713.060	3931033.309
A29	505714.335	3931069.713
A30	505715.495	3931085.640
A31	505712.566	3931158.905
A32	505719.947	3931177.843
A33	505748.053	3931248.325
A34	505760.732	3931255.163
ΕΜΒΑΔΟΝ = 67564.124 m2		

Οπότε προκύπτει το τοπογραφικό διάγραμμα της περιοχής μελέτης, όπως αυτό παρουσιάζεται στην εικόνα 5.1.



Εικ.5.1. Τοπογραφικό διάγραμμα της περιοχής ενδιαφέροντος

Τα μετρούμενα σημεία τα οποία αποτυπώθηκαν με τη χρήση του ολικού γεωδαιτικού σταθμού, παρουσιάζονται στο παρακάτω σχέδιο (Εικ. 5.2) . Οι τριγωνομετρικές συντεταγμένες τους παρατίθενται στον πίνακα 2 του παραρτήματος :

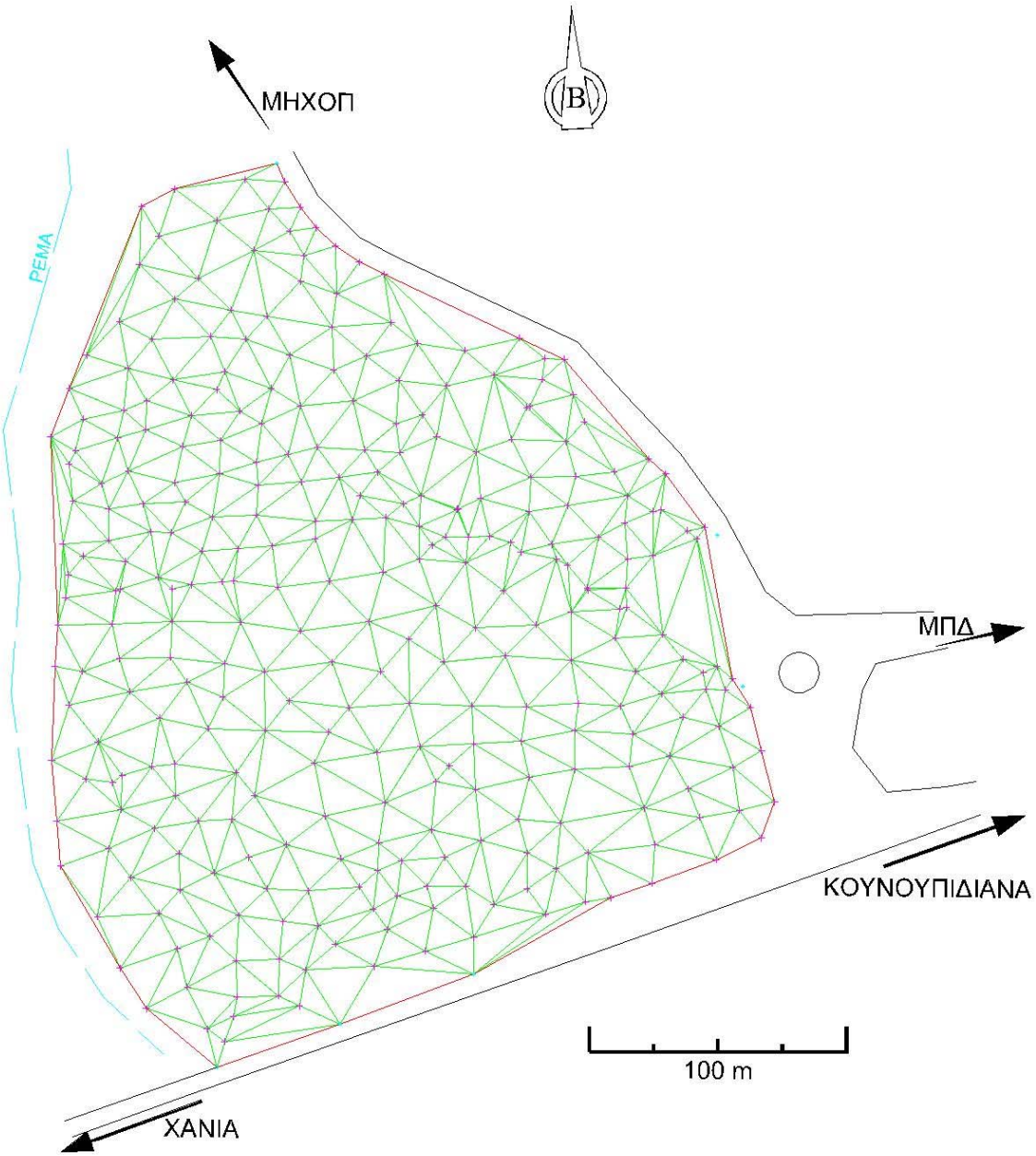


Εικ.5.2. Ταχυμετρικά σημεία αποτύπωσης της περιοχής μελέτης

Με την τρισδιάστατη πληροφορία των αποτυπωμένων σημείων, το εξειδικευμένο τοπογραφικό πρόγραμμα TOPCO, δημιουργεί τα απαραίτητα τρίγωνα, για να προκύψει το τρισδιάστατο ψηφιακό μοντέλο εδάφους. Η απόδοση μίας επιφάνειας από ένα πλήθος τριγώνων είναι μια πολύ διαδεδομένη τεχνική για τρισδιάστατες αναπαραστάσεις. Κάθε τρίγωνο ορίζεται από τρεις κορυφές στον χώρο που και αυτές φέρουν πληροφορία θέσης σε κάθε άξονα (x,y,z). Η μείωση της γεωμετρικής πληροφορίας είναι απαραίτητη για την αποτελεσματική διαχείριση των τρισδιάστατων μοντέλων.

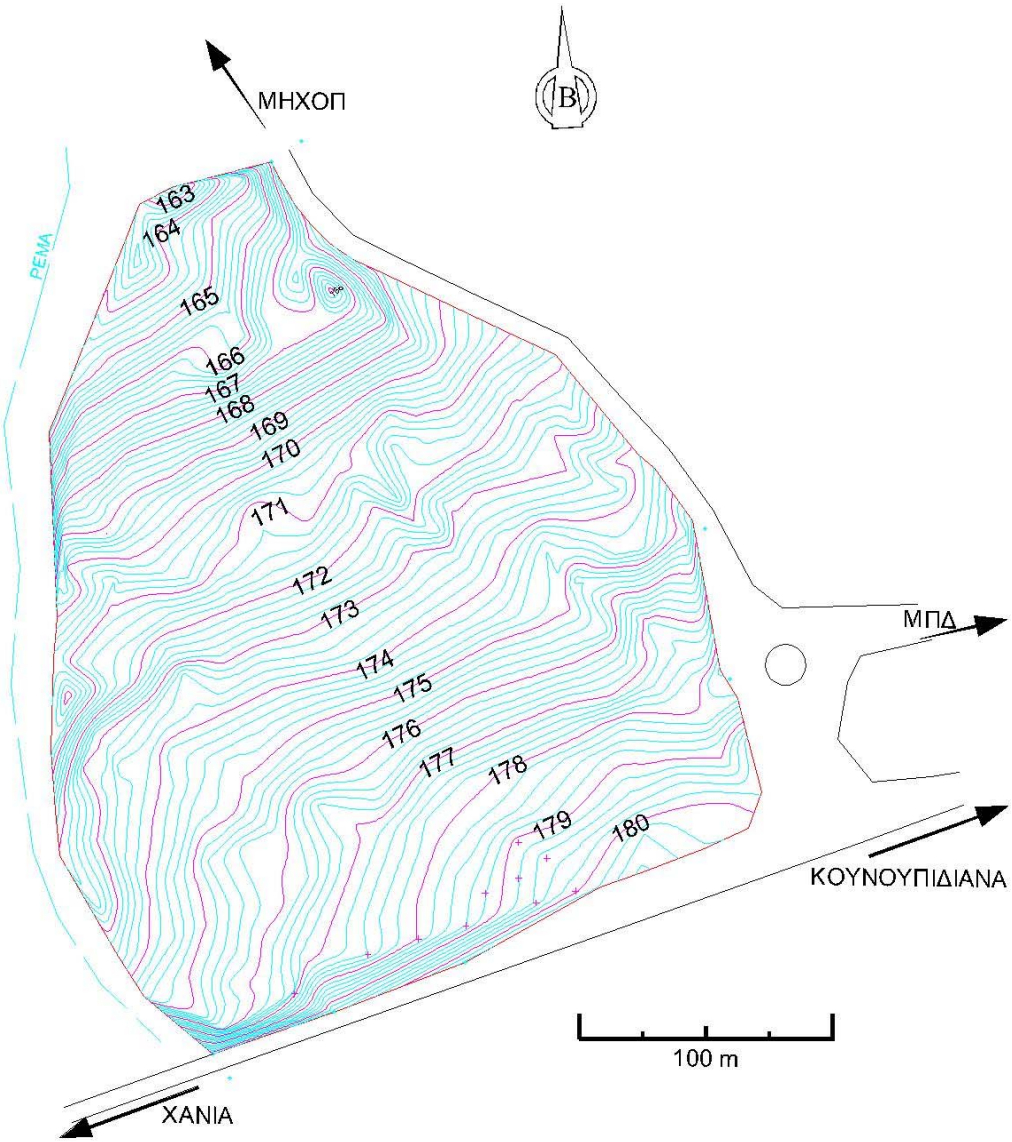
Η απλοποίηση της γεωμετρίας πραγματοποιείται σε περιοχές της επιφάνειας του αντικειμένου που δεν παρουσιάζουν έντονες μεταβολές. Αυτό το αποτέλεσμα επιδιώκεται και με τη χρήση των τριγώνων, αφού πρόκειται για επίπεδα που ορίζονται στο χώρο, ανά τρία γειτονικά σημεία, και το εκάστοτε επίπεδο είναι περίπου ομοιογενές, καθ' όλη την επιφάνειά του. Διατηρεί σταθερή δηλαδή την κλίση και τη διεύθυνσή του.

Στην εικόνα 5.3, απεικονίζονται τα τρίγωνα που δημιουργήθηκαν επί της μετρούμενης περιοχής:



Εικ.5.3. Τρίγωνα εφαρμοσμένα στην περιοχής μελέτης

Οπότε, με τη βοήθεια του προγράμματος Topco10 της SierraSoft, και βάση των προηγούμενων σχεδίων, κατασκευάστηκε το τρισδιάστατο μοντέλο εδάφους, όπως αυτό παρουσιάζεται στην εικόνα 5.4, με τη βοήθεια των ισοϋψών καμπυλών.



Εικ.5.4. Τρισδιάστατο μοντέλο εδάφους

Σε ένα ψηφιακό μοντέλο το Topko δημιουργεί ισοϋψείς καμπύλες με επιλεγμένη ισοδιάσταση. Οι ισοϋψείς καμπύλες μπορούν να σχεδιαστούν με δύο τρόπους: ευθείες και B-spline. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να ορίσει τον συντελεστή καμπυλότητας και τον τρόπο σχεδίασης. Κατά τη δημιουργία B-spline, ο χρήστης μπορεί να ορίσει την ένταση που θα εφαρμοστεί στις κορυφές των καμπυλών: όσο μεγαλύτερη η ένταση, τόσο κοντύτερα θα είναι οι ισοϋψείς καμπύλες στα σημεία που τις αποτελούν. Έπειτα, είναι δυνατόν να επέμβει ο χρήστης σε κάθε καμπύλη χωριστά και να μεταβάλλει την ένταση σε κάποια κορυφή, ώστε να αποφεύγονται περιπτώσεις επικάλυψης καμπυλών. Οι κύριες καμπύλες σχεδιάζονται με διαφορετικό πάχος και με αναγραφή του υψομέτρου.

Είναι δυνατός ο υπολογισμός του όγκου ενός ψηφιακού μοντέλου εδάφους ως προς ένα επίπεδο αναφοράς (οριζόντιο, κεκλιμένο), καθώς επίσης και μεταξύ δυο ψηφιακών μοντέλων, για εκτίμηση χωματισμών εκσκαφής/επίχωσης. Οποιαδήποτε μέθοδος ογκομέτρησης μπορεί να εφαρμοστεί σε ολόκληρο το ψηφιακό μοντέλο ή σε μέρη αυτού. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών φαίνονται αναλυτικά στην οθόνη, ενώ μπορούν και να εκτυπωθούν με τη μορφή αναφορών.

5.3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΟΓΚΟΥ ΧΩΜΑΤΙΣΜΩΝ

Για τον υπολογισμό του όγκου χωματισμών, κατασκευάστηκαν τοπογραφικές διατομές. Θεωρήθηκε αυθαίρετα και μόνο επειδή η εργασία αυτή έχει εκπαιδευτικό χαρακτήρα, ως δάπεδο εργασίας, δηλαδή την κατώτατη στάθμη πάνω από την οποία θέλουμε να υπολογίσουμε τον όγκο των χωματισμών, στο απόλυτο υψόμετρο +163 m. Η τιμή αυτή δεν είναι δεσμευτική και αλλάζει ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες για εκσκαφές. Έτσι προκύπτει ο παρακάτω χωματουργικός πίνακας. Οι κατασκευασμένες διατομές παρατίθενται στο παράρτημα.

Πιν.5.3.Χωματουργικός πίνακας υπολογισμού αποθεμάτων

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ - ΚΟΥΝΟΥΠΙΔΙΑΝΑ						
ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΟΓΚΩΝ					No. Σελίδας 1	
					Μονάδες: m^3	
α/α	Στάση (m)	Εμβαδό (m2)	Εμβαδό Μέσο(m2)	Αποστάσεις Μεταξύ (m)	ΟΓΚΟΙ	
					Μερικό (m3)	Σύνολο (m3)
1	0,00	0,00				
			1887,03	12,18	22984,03	22984,03
2	12,18	3774,05				
2	12,18	3774,05				
			3767,73	34,99	131832,87	154816,90
3	47,17	3761,41				
3	47,17	3761,41				
			3617,64	34,00	122999,76	277816,66
4	81,17	3473,87				
4	81,17	3473,87				
			3240,12	45,84	148527,10	426343,76
5	127,01	3006,37				
5	127,01	3006,37				
			2646,62	38,34	101471,41	527815,17
6	165,35	2286,86				
6	165,35	2286,86				
			1968,09	42,38	83407,65	611222,82
7	207,73	1649,31				
7	207,73	1649,31				
			1427,05	34,37	49047,71	660270,53
8	242,10	1204,78				
8	242,10	1204,78				
			956,18	35,50	33944,39	694214,92
9	277,60	707,57				
9	277,60	707,57				
			508,54	44,53	22645,29	716860,21
10	322,13	309,51				
10	322,13	309,51				
			154,76	4,78	739,75	717599,96
11	326,91	0,00				
					ΣΥΝΟΛΟ	**717599,96**

Όπως είναι φανερό, για λόγους απλούστευσης, ο μέγιστος απολήψιμος όγκος υπολογίστηκε με βάση εκσκαφή σε μορφή block. Αυτή είναι προφανώς μια θεωρητική προσέγγιση, ουτοπική, διότι ο πραγματικός εκμεταλλεύσιμος όγκος είναι μικρότερος, εφόσον η εκσκαφή σε τέτοιου είδους εκμεταλλεύσεις (υπαίθριες) πραγματοποιείται συνήθως σε βαθμίδες. Σε αυτή την περίπτωση ο όγκος πάλι υπολογίζεται με τη βοήθεια τοπογραφικών διατομών ή με εξειδικευμένα προγράμματα μοντελοποίησης υπαίθριων εκμεταλλεύσεων, όπως π.χ. το SURPAC, που το διαθέτει και το Πολυτεχνείο Κρήτης.

Ο απολήψιμος όγκος υπολογίστηκε με ακρίβεια της τάξης του ±1%.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Ανακεφαλαιώνοντας, μπορούμε να πούμε, ότι η παρούσα διπλωματική εργασία, εκτός από θεωρητικό, έχει και πρακτικό χαρακτήρα. Έγινε αναφορά εκτενώς στις διαδικασίες δημιουργίας ενός τρισδιάστατου ψηφιακού μοντέλου εδάφους, χρησιμοποιώντας σύγχρονες γεωδαιτικές μεθόδους. Αφού περιγράφθηκε η αναγκαιότητα και οι χρήσεις ενός ΨΜΕ, κατόπιν με σύγχρονες γεωδαιτικές μεθόδους, επετεύχθη με ικανοποιητική ακρίβεια η οριοθέτηση της περιοχής μελέτης και η ένταξή της στο επίσημο γεωδαιτικό σύστημα του ελληνικού χώρου, το ΕΓΣΑ87. Έπειτα πραγματοποιήθηκε λεπτομερή αποτύπωση των ενδιάμεσων σημείων, με τη χρήση ολικού γεωδαιτικού σταθμού, έτσι ώστε να κατασκευαστεί το τρισδιάστατο ψηφιακό μοντέλο εδάφους. Αφού ορίστηκε το σχετικό μας σύστημα μετρήσεων σε σχέση με το ΕΓΣΑ87, κατασκευάσθηκε το τοπογραφικό διάγραμμα που δείχνει τα όρια της περιοχής ενδιαφέροντος και έτσι υπολογίσθηκε ο μέγιστος όγκος χωματισμών που περικλείεται στην μετρούμενη περιοχή.

Χρησιμοποιήθηκαν μέθοδοι για τον εντοπισμό της απόλυτης θέσης της περιοχής μελέτης, σε σχέση με το διεθνές σύστημα συντεταγμένων. Πραγματοποιήθηκε εξαρτημένη όδευση με ολικό γεωδαιτικό σταθμό, από γνωστά σημεία ελέγχου, πραγματοποιήθηκε επίσης στατικός αλλά και κινηματικός εντοπισμός με GPS, χρησιμοποιώντας είτε σταθερά σημεία ελέγχου, τα οποία είχαν επιλυθεί από τη γεωγραφική υπηρεσία στρατού, είτε σταθερά σημεία υλοποιημένα από το Πολυτεχνείο Κρήτης, οι συντεταγμένες των οποίων έχουν επιλυθεί με μεγάλη ακρίβεια.

Πολύ χρήσιμη η συμβολή του μόνιμου σταθμού GPS, του Πολυτεχνείου Κρήτης, TUC2, με τη βοήθεια του οποίου επιλύθηκαν τα δεδομένα που συλλέχτηκαν κατά τη μέθοδο της Στάσης και Αναχώρησης .

Συνέχεια της παρούσης διπλωματικής εργασίας θα μπορούσε να είναι η εκτέλεση γεωφυσικών – γεωτεχνικών εργασιών, για τον καθορισμό της ποιότητας του πετρώματος και των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- European Terrestrial Reference System 89 (ETRS89) http://etrs89.ensg.ign.fr/en/
- Ανδριτσάνος Β. Δ, Χ. Πικριδάς, Δ. Ρωσσικόπουλος, Η. Ν. Τζιαβός, Α. Φωτίου – Προσδιορισμός Υψομέτρων με το GPS για χαρτογραφικές εφαρμογές, Καστοριά, Οκτώβριος 1997
- Δέκτης TUC2 : http://www.epncb.oma.be/_trackingnetwork/siteinfo4onestation.php?station=TUC2_12617M003
- Ιστοσελίδα Αριστοτέλειου Πανεπιστήμιου Θεσσαλονίκης – Τμήμα αγρονόμων τοπογράφων: http://www.topo.auth.gr/greek/main_gr.htm
- Ιστοσελίδα Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου - Τμήμα αγρονόμων τοπογράφων: http://www.survey.ntua.gr/main/courses
- Ιστοσελίδα Ινστιτούτου Πολιτιστικής και Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας: Περιγραφή των παραγόμενων ψηφιακών δεδομένων : http://www.ipet.gr
- Ιστοχώρος του HEPOS : http://www.hepos.gr/
- Κατσάμπαλος Κ. & Χρ. Κωτσάκης ΤΑΤΜ-ΑΠΘ - Το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς του HEPOS (HTRS07), Θεσσαλονίκη, 25&26/9/2008
- Κέντρο Εξυπηρέτησης Πολιτών : http://www.kep.gov.gr
- Μερτίκας Σ.– Σημειώσεις Γεωδαισίας Ι, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά 2006
- Παναγιωτόπουλος Ε. και Γ. Καριώτης – Σημειώσεις Τοπογραφίας Ι, Σέρρες 2001
- Σαββαΐδης, Π, Ι. Υφαντής, Κ. Λακάκης - Τοπογραφία και θεματική χαρτογραφία για Αρχιτέκτονες, Σημειώσεις, Θεσσαλονίκη 2008
- Συγγρός Ι. Μετασχηματισμοί Συντεταγμένων Των Γεωγραφικών Δεδομένων Στον Ελληνικό Χώρο: http://hydrogis.geology.upatras.gr/ARCGIS/SYNGROS.PDF
- Υπουργείο ανάπτυξης : http://www.ypan.gr
- Φωτίου Α. Γεωμετρική Γεωδαισία, Θεωρία και πράξη, Εκδ. ΖΗΤΗ, Θες/νίκη 2006

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας 1, Πίνακας σημείων αποτύπωσης :

ΣΗΜΕΙΟ	X (m)	Y (m)	Z (m)
S01	505981.402	3931061.724	178.456
S02	505876.857	3930950.128	180.451
S03	505824.978	3930930.528	179.496
S04	505777.197	3930913.882	179.236
S05	505800.311	3931265.034	167.173
S06	505971.450	3931120.557	175.887
S07	505783.568	3930904.585	179.145
S08	505811.902	3931273.367	167.168
1	505984.375	3931053.776	178.159
2	505988.737	3931037.069	179.721
3	505993.758	3931017.063	179.755
4	505988.670	3931002.950	180.172
5	505971.147	3930994.700	180.223
6	505964.809	3931010.988	180.033
7	505960.315	3931022.208	179.539
8	505952.940	3931035.046	178.702
9	505937.391	3931030.824	178.946
10	505943.081	3931014.667	179.497
11	505947.455	3931000.459	180.405
12	505946.210	3930985.417	180.657
13	505930.064	3930979.820	180.221
14	505921.271	3930997.457	179.539
15	505910.669	3931008.778	178.744
16	505894.351	3931010.315	178.299
17	505879.688	3931002.158	178.226
18	505865.687	3930995.431	178.019
19	505860.700	3931006.156	177.791
20	505842.578	3931016.737	176.462
21	505819.399	3931011.643	176.847

22	505814.987	3931032.303	175.448
23	505784.703	3931028.563	174.887
24	505760.713	3931031.888	174.322
25	505740.423	3931027.264	173.718
26	505726.232	3931025.969	173.040
27	505730.994	3931040.378	172.868
28	505754.998	3931049.669	173.445
29	505779.476	3931057.614	173.488
30	505805.417	3931056.276	174.157
31	505828.613	3931053.578	174.700
32	505851.875	3931055.543	175.036
33	505876.239	3931054.409	175.970
34	505897.304	3931054.030	176.382
35	505917.543	3931055.270	176.797
36	505934.138	3931054.332	177.033
37	505949.990	3931059.128	177.352
38	505966.990	3931060.835	177.904
39	505974.612	3931060.604	178.339
40	505966.078	3931067.216	177.711
41	505939.788	3931067.752	176.573
42	505914.826	3931071.964	175.667
43	505889.334	3931073.947	175.163
44	505865.294	3931071.559	174.512
45	505840.818	3931067.702	173.946
46	505795.701	3931067.701	173.425
47	505780.308	3931070.902	172.795
48	505759.297	3931073.244	172.448
49	505739.481	3931072.802	171.599
50	505725.067	3931067.792	171.323
51	505714.335	3931069.713	170.720
52	505715.495	3931085.640	169.999
53	505718.527	3931096.508	169.485

54	505737.997	3931099.107	170.823
55	505759.932	3931099.901	170.642
56	505779.253	3931102.692	171.133
57	505800.944	3931100.634	171.710
58	505820.793	3931102.842	172.014
59	505841.789	3931106.460	172.469
60	505860.825	3931116.755	172.614
61	505874.822	3931120.006	173.187
62	505891.338	3931117.766	173.921
63	505909.133	3931111.337	174.806
64	505921.133	3931100.237	175.517
65	505936.233	3931092.546	176.152
66	505950.523	3931082.048	177.316
67	505958.295	3931072.509	177.353
68	505971.487	3931069.579	177.620
69	505977.429	3931065.097	178.460
70	505963.590	3931119.251	175.129
71	505949.726	3931130.540	174.364
72	505946.600	3931112.907	174.357
73	505935.623	3931125.275	174.057
74	505936.755	3931111.491	174.289
75	505936.174	3931100.213	175.571
76	505933.566	3931092.094	175.999
77	505921.288	3931099.327	175.359
78	505913.470	3931109.008	174.767
79	505907.256	3931117.234	174.561
80	505895.285	3931114.076	174.043
81	505883.215	3931120.255	173.515
82	505879.658	3931135.093	172.974
83	505870.827	3931130.997	172.851
84	505870.354	3931130.660	172.976
85	505865.914	3931119.977	172.311

86	505873.845	3931110.096	173.367
87	505855.948	3931111.409	172.996
88	505855.862	3931124.232	171.980
89	505856.521	3931135.962	171.908
90	505849.788	3931132.940	171.179
91	505842.662	3931127.616	172.134
92	505829.746	3931126.640	171.583
93	505815.424	3931119.143	171.174
94	505798.815	3931116.520	171.231
95	505785.298	3931115.446	170.958
96	505783.791	3931103.014	171.181
97	505767.299	3931101.501	170.597
98	505754.455	3931104.280	170.313
99	505739.759	3931099.782	170.583
100	505741.658	3931110.400	169.893
101	505725.341	3931112.495	169.740
102	505719.689	3931105.380	170.060
103	505717.395	3931117.390	169.103
104	505735.132	3931118.769	169.001
105	505748.454	3931132.949	169.194
106	505765.115	3931133.567	169.744
107	505778.280	3931144.731	169.562
108	505792.486	3931149.029	169.475
109	505804.837	3931152.252	169.886
110	505816.216	3931154.847	170.273
111	505834.764	3931153.817	171.092
112	505846.781	3931164.016	171.339
113	505862.609	3931158.929	171.489
114	505877.941	3931153.030	171.803
115	505891.774	3931158.009	172.126
116	505898.789	3931170.866	172.006
117	505903.532	3931181.266	171.905

118	505904.622	3931189.434	171.445
119	505915.683	3931175.262	172.208
120	505919.890	3931164.778	172.418
121	505912.649	3931157.192	173.016
122	505916.600	3931143.642	172.995
123	505931.468	3931145.317	173.973
124	505944.814	3931150.259	174.176
125	505951.479	3931144.452	174.418
126	505946.610	3931130.017	174.179
127	505960.006	3931122.383	175.005
128	505966.655	3931123.862	175.674
129	505773.404	3930928.807	175.081
130	505749.881	3930936.678	174.532
131	505739.582	3930952.429	173.433
132	505730.928	3930972.487	172.235
133	505716.563	3930992.140	172.050
134	505714.994	3931009.754	171.706
135	505713.060	3931033.309	170.484
136	505736.661	3931024.630	173.258
137	505752.026	3931030.888	173.791
138	505761.367	3931019.456	174.186
139	505769.968	3931009.706	174.670
140	505783.073	3931010.181	174.842
141	505791.880	3931019.680	175.102
142	505804.271	3931000.544	175.934
143	505789.683	3930995.446	175.904
144	505776.192	3930989.601	175.463
145	505762.942	3930982.882	174.667
146	505754.603	3930973.880	174.155
147	505762.000	3930959.928	174.387
148	505774.638	3930964.694	175.015
149	505785.703	3930972.893	175.482

150	505796.641	3930983.308	175.929
151	505812.694	3930982.491	176.101
152	505816.457	3930968.777	176.700
153	505823.216	3930961.916	177.020
154	505811.680	3930951.830	176.823
155	505801.490	3930955.821	176.233
156	505800.986	3930941.685	176.245
157	505785.110	3930941.314	175.886
158	505783.718	3930933.591	175.665
159	505780.220	3930923.956	175.665
160	505803.607	3931258.081	167.486
161	505809.579	3931248.126	167.847
162	505815.763	3931240.213	168.231
163	505823.233	3931233.036	168.537
164	505832.420	3931226.775	168.880
165	505842.289	3931221.985	169.133
166	505894.737	3931197.337	171.009
167	505912.249	3931189.128	171.794
168	505897.563	3931170.244	172.154
169	505884.935	3931182.871	171.188
170	505873.452	3931192.480	170.211
171	505866.424	3931178.904	170.348
172	505856.993	3931167.354	170.845
173	505848.431	3931152.909	171.867
174	505839.651	3931145.249	171.084
175	505832.831	3931136.119	171.639
176	505815.610	3931126.119	170.922
177	505792.591	3931128.672	171.156
178	505760.953	3931141.128	169.019
179	505742.890	3931145.605	168.395
180	505722.387	3931153.502	166.746
181	505712.566	3931158.905	164.732

182	505725.418	3931165.788	166.093
183	505719.947	3931177.843	164.660
184	505726.590	3931190.589	164.547
185	505739.475	3931203.695	164.211
186	505752.141	3931196.878	164.956
187	505760.225	3931180.998	166.475
188	505777.118	3931177.230	166.772
189	505780.199	3931184.267	165.892
190	505788.419	3931196.909	165.671
191	505796.600	3931205.757	166.878
192	505782.576	3931208.285	165.567
193	505770.058	3931220.557	164.479
194	505754.567	3931236.903	164.045
195	505748.053	3931248.325	163.326
196	505760.732	3931255.163	162.096
197	505777.250	3931242.980	165.025
198	505791.688	3931231.524	166.111
199	505811.012	3931229.178	167.479
200	505825.359	3930994.926	176.696
201	505840.176	3931001.070	177.111
202	505848.850	3930994.203	177.479
203	505839.634	3930990.409	177.220
204	505832.397	3930984.055	177.058
205	505837.967	3930975.526	177.343
206	505847.366	3930980.573	177.593
207	505858.854	3930984.229	177.928
208	505843.363	3930967.519	177.617
209	505861.291	3930975.874	178.108
210	505873.997	3930984.229	178.427
211	505920.331	3930978.175	179.918
212	505908.933	3930991.136	179.511
213	505897.754	3930997.266	179.134

214	505897.754	3930983.203	179.184
215	505904.786	3930973.466	179.442
216	505877.066	3930964.457	178.594
217	505884.738	3930977.170	178.792
218	505858.217	3930959.197	178.015
219	505838.271	3930953.060	177.404
220	505809.340	3930937.717	176.540
221	505916.140	3931029.724	178.423
222	505916.140	3931044.661	177.491
223	505895.537	3931040.540	177.175
224	505898.627	3931026.633	178.129
225	505877.767	3931021.998	177.838
226	505876.994	3931039.510	176.723
227	505856.133	3931038.480	176.207
228	505867.465	3931031.011	176.989
229	505839.393	3931036.420	175.870
230	505862.314	3931024.831	177.231
231	505765.661	3930945.027	174.921
232	505784.739	3930955.433	175.519
233	505802.870	3930970.569	175.956
234	505739.924	3931014.105	173.425
235	505735.216	3930998.917	173.281
236	505743.873	3930987.678	173.671
237	505762.401	3930997.094	174.400
238	505753.137	3931006.814	173.990
239	505719.819	3931054.825	169.840
240	505743.546	3931059.924	171.762
241	505765.704	3931063.649	173.619
242	505736.537	3931086.239	171.125
243	505759.670	3931087.320	171.593
244	505786.479	3931086.888	172.186
245	505809.828	3931083.429	172.796

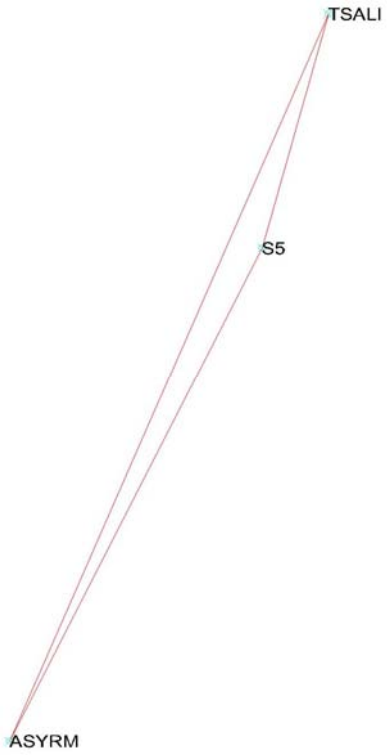
246	505836.205	3931087.104	173.254
247	505862.365	3931093.158	173.635
248	505888.525	3931098.995	174.023
249	505914.685	3931090.996	174.833
250	505931.981	3931080.834	175.517
251	505901.064	3931085.807	174.697
252	505877.715	3931084.726	174.225
253	505851.771	3931080.186	173.802
254	505821.936	3931071.322	173.427
255	505980.234	3931013.852	179.985
256	505977.652	3931030.425	178.998
257	505972.056	3931046.351	178.058
258	505958.066	3931050.010	177.877
259	505938.911	3931043.553	178.317
260	505925.425	3931119.821	174.194
261	505913.482	3931132.138	173.491
262	505899.299	3931143.335	172.815
263	505898.366	3931129.712	173.433
264	505936.669	3931136.009	173.573
265	505855.161	3931195.247	169.017
266	505844.928	3931203.242	167.852
267	505823.824	3931214.593	165.880
268	505821.905	3931201.483	166.890
269	505805.437	3931190.611	167.011
270	505835.335	3931190.291	168.479
271	505847.806	3931180.858	169.873
272	505830.219	3931172.864	169.698
273	505822.545	3931184.855	168.320
274	505809.594	3931170.945	168.866
275	505798.402	3931177.820	167.748
276	505794.565	3931164.070	168.720
277	505778.577	3931157.515	168.501

278	505786.091	3931168.867	167.908
279	505767.185	3931167.267	167.446
280	505763.945	3931155.214	168.263
281	505750.077	3931172.840	166.545
282	505749.688	3931161.823	167.364
283	505742.690	3931185.541	165.380
284	505741.135	3931169.340	166.557
285	505775.516	3931127.733	170.260
286	505771.603	3931114.525	170.546
287	505759.373	3931121.741	169.928
288	505751.546	3931121.863	169.672
289	505824.729	3931143.358	170.881
290	505810.151	3931141.431	170.587
291	505793.163	3931140.105	170.212
292	505773.947	3931045.629	173.949
293	505796.094	3931044.920	174.481
294	505820.545	3931044.211	175.066
295	505719.864	3931148.195	166.985
296	505721.342	3931134.010	167.972
297	505732.424	3931140.807	168.000
298	505735.232	3931130.759	168.775
299	505738.778	3931158.539	167.114
300	505747.133	3931225.727	163.079
301	505760.925	3931212.503	164.464
302	505774.718	3931198.000	165.931
303	505788.115	3931258.907	164.458
304	505797.378	3931247.544	165.659
305	505805.530	3931238.775	166.677
306	505809.853	3931219.260	167.690

2. ΚΛΕΙΣΙΜΟ ΠΟΛΥΓΩΝΩΝ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΩΝ ΒΑΣΕΩΝ

Loop Closure Analysis

ASYRM – TSALI – S5 - ASYRM



Desired Horizontal Accuracy: 0.020m + 1ppm **Date:** 22/08/08

Desired Vertical Accuracy: 0.040m + 2ppm **Project file:polytx1**.spr

Confidence Level: 95% Err.

Linear Units of Measure: Meters

Loop	Length	Horizontal Misclosure	Vertical Relatv Acc	Loop Relatv Acc	Loop QA	Loop Vectors
ASYRM-TSALI						
TSALI-S5						
S5-ASYRM						

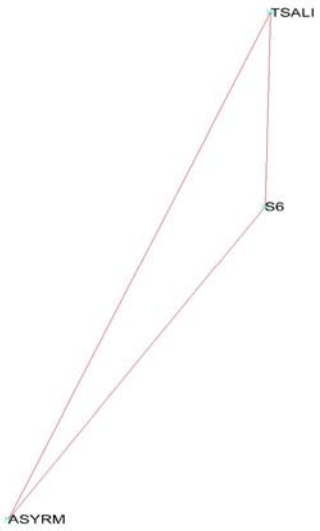
5110.716 X: 0.005 1:90166698 1:-45346399

Y: -0.007

Z: -0.006

Loop Closure Analysis

ASYRM – TSALI – S6 – ASYRM



Desired Horizontal Accuracy: 0.020m + 1ppm **Date:** 22/08/08

Desired Vertical Accuracy: 0.040m + 2ppm **Project file:polytx2**.spr

Confidence Level: 95% Err.

Linear Units of Measure: Meters

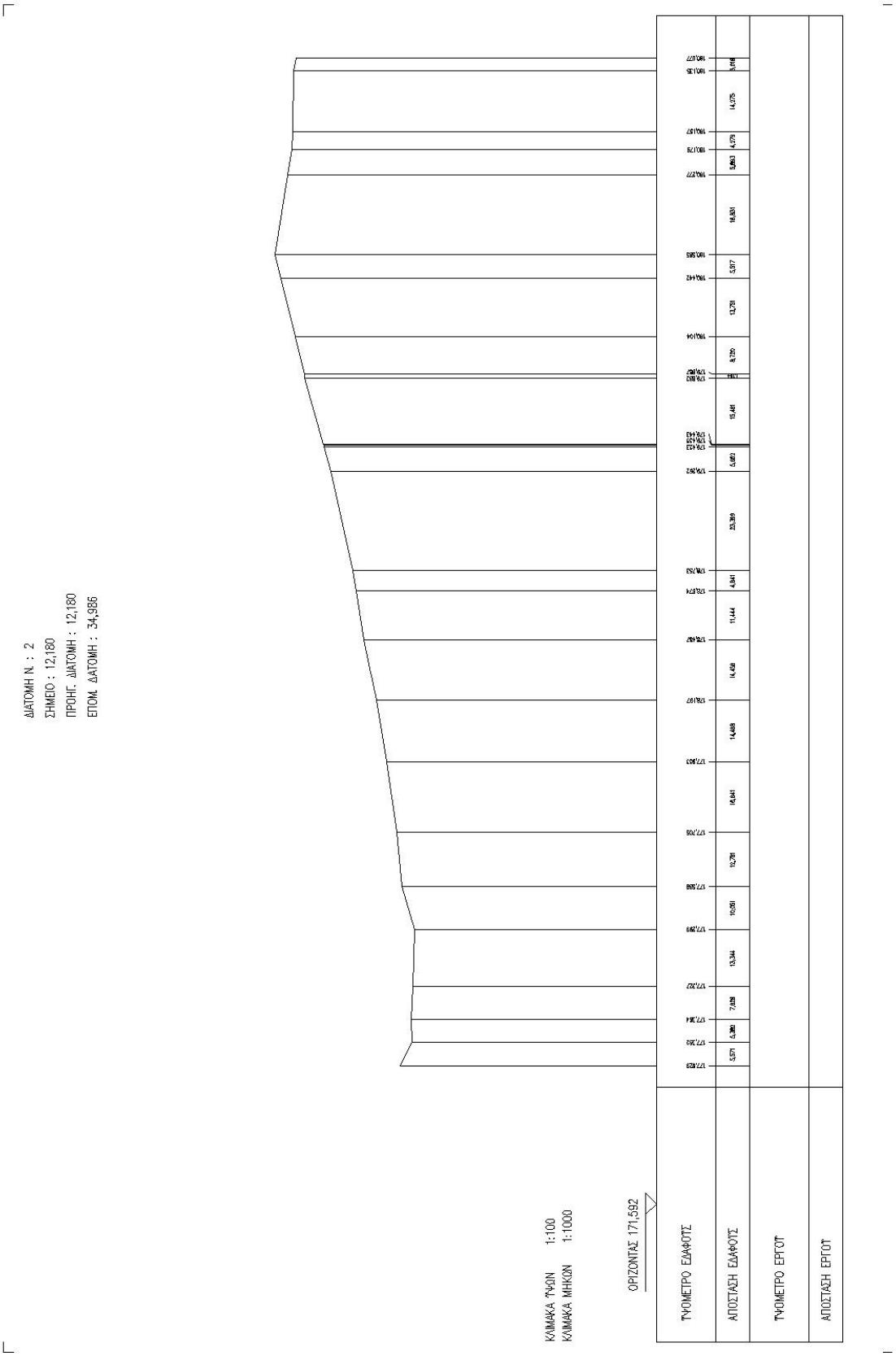
Loop	Horizontal	Vertical	Loop	Loop Vectors
Length	**Misclosure**	**Relatv Acc**	**Relatv Acc**	**QA**
ASYRM-TSALI				
TSALI-S6				
S6-ASYRM				

5184.025 X: 0.003 1:90166698 1:-45346399

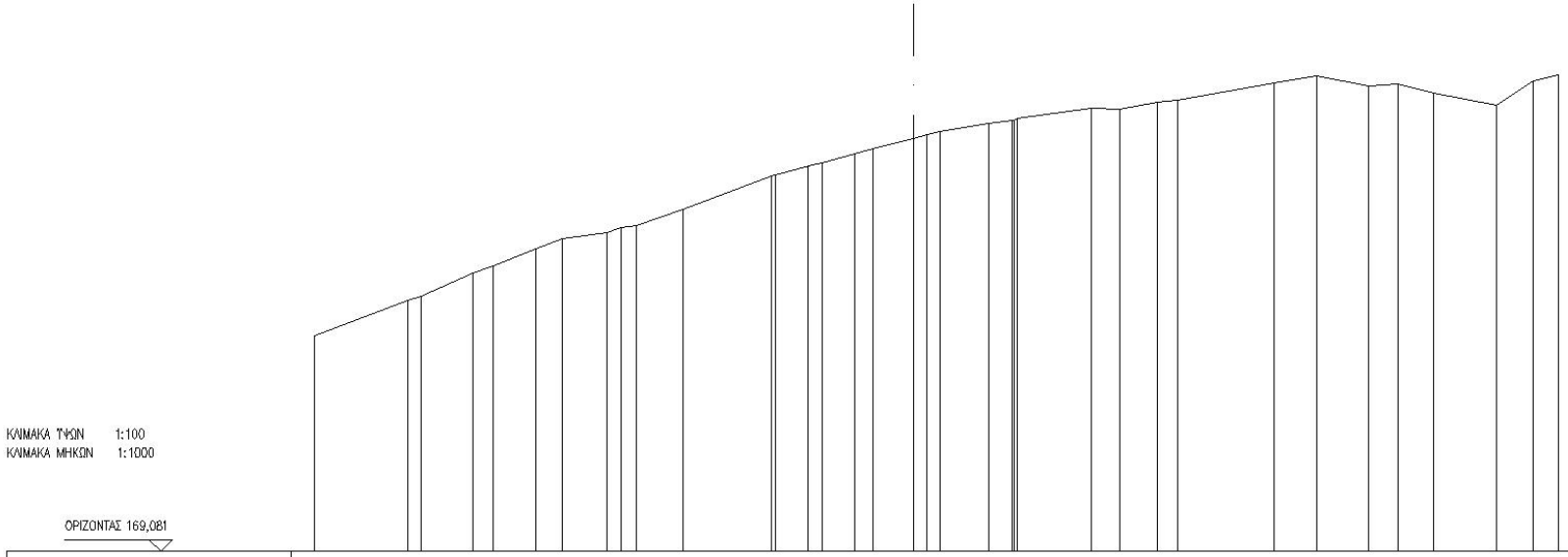
Y: -0.004

Z: -0.005

3. Χωματουργικές διατομές



ΔΙΑΤΟΜΗ Ν. : 3
ΣΗΜΕΙΟ 47,166
ΠΡΟΗΓ. ΔΙΑΤΟΜΗ : 34,986
ΕΠΟΜ. ΔΙΑΤΟΜΗ : 34,004

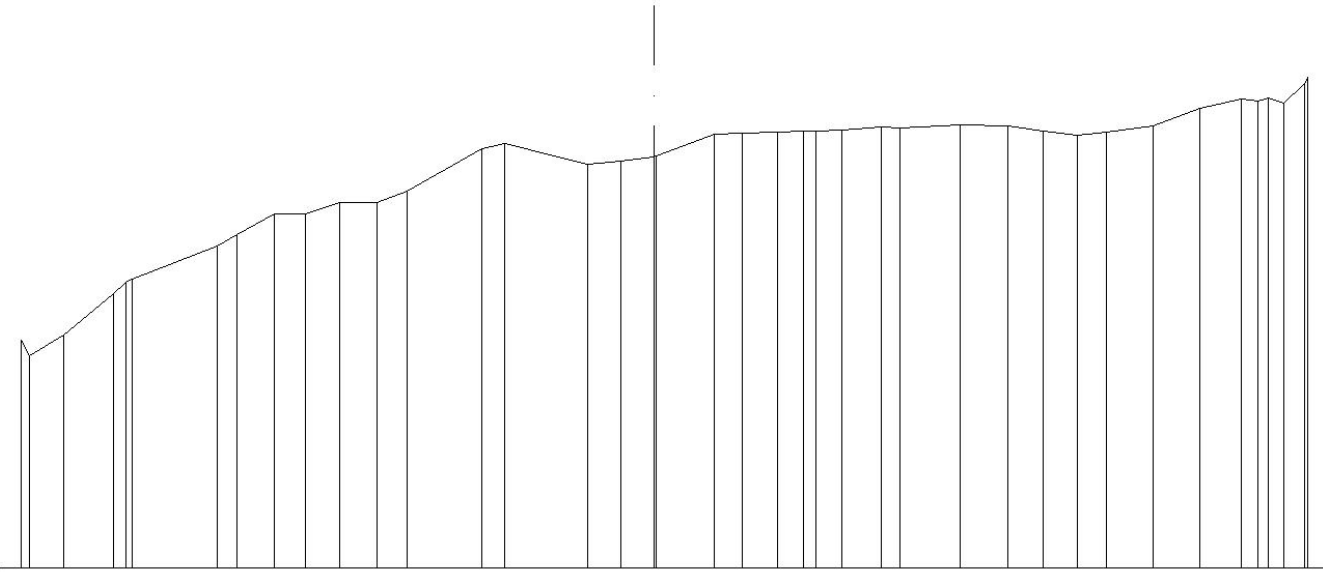


ΚΛΙΜΑΚΑ ΥΨΩΝ 1:100
ΚΛΙΜΑΚΑ ΜΗΚΩΝ 1:1000

ΟΡΙΖΟΝΤΑΣ 169,081

| | | |

ΔΙΑΤΟΜΗ Ν. : 4
ΣΗΜΕΙΟ : 81,170
ΠΡΟΗΓ. ΔΙΑΤΟΜΗ : 34,004
ΕΠΟΜ. ΔΙΑΤΟΜΗ : 45,839

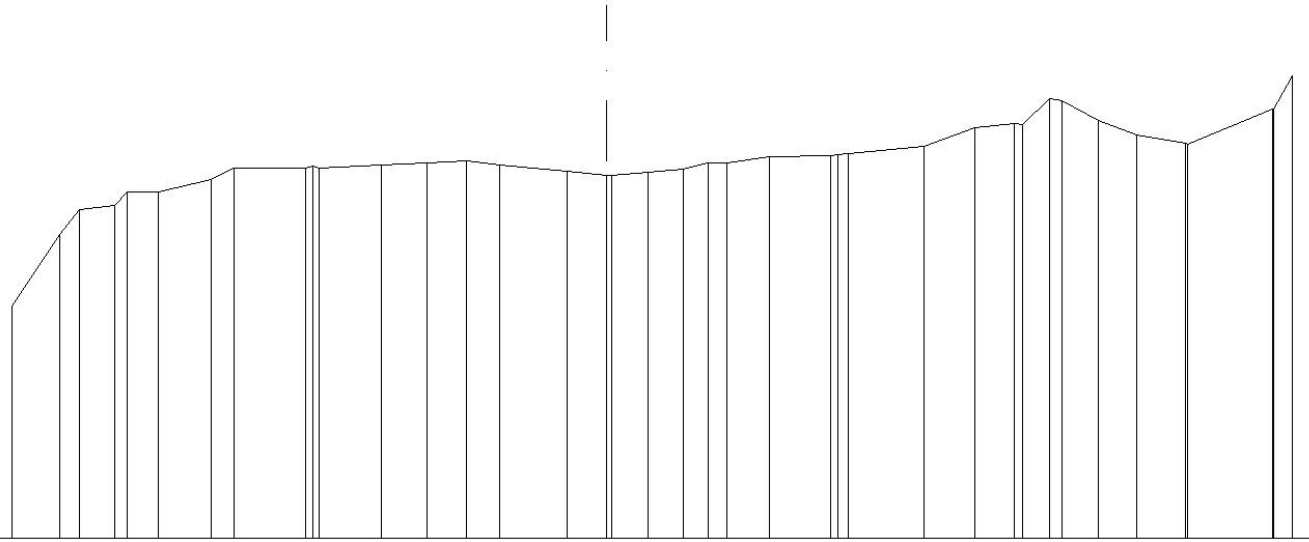


ΚΛΙΜΑΚΑ ΥΨΩΝ 1:100
ΚΛΙΜΑΚΑ ΜΗΚΩΝ 1:1000

ΟΡΙΖΟΝΤΑΣ 167,739

ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΕΔΑΦΟΥΣ	172,612 172,588 172,612 173,496 173,397 173,397 174,488 174,798 175,143 175,591 176,040 176,391 176,617 179,620 179,839 179,182 179,559 179,559 179,821 179,821 179,848 179,823 179,823 179,848 179,848 179,673 179,848 177,703 179,891 179,848 179,779 179,891 179,697 177,253 177,549 177,245 177,496 177,496 177,496 177,496
ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ	0,00 7,024 10,412 1,000 1,000 17,734 4,126 7,055 6,367 7,300 7,754 6,384 15,571 4,778 17,267 6,674 6,651 13,062 5,781 7,478 5,289 2,004 5,435 8,533 13,882 12,857 6,649 7,270 7,219 6,075 6,902 8,921 8,466 3,459 2,000 2,000 4,373
ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΕΡΓΟΥ	
ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΕΡΓΟΥ	

ΔΙΑΤΟΜΗ Ν. : 5
ΣΗΜΕΙΟ 127,009
ΠΡΟΗΓ. ΔΙΑΤΟΜΗ : 45,839
ΕΠΟΜ. ΔΙΑΤΟΜΗ : 38,344

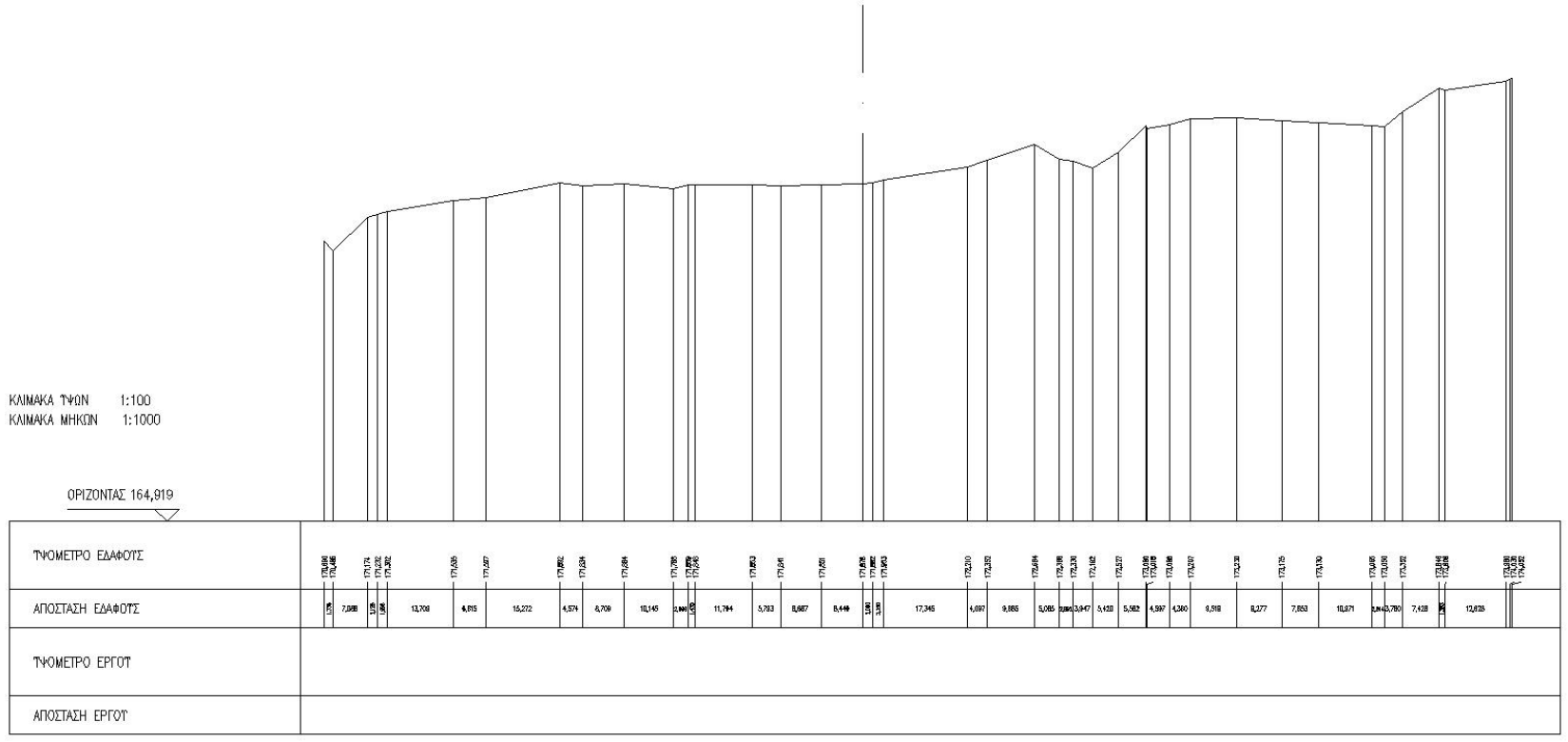


ΚΛΙΜΑΚΑ ΥΨΩΝ 1:100
ΚΛΙΜΑΚΑ ΜΗΚΩΝ 1:1000

ΟΡΙΖΟΝΤΑΣ 166,052

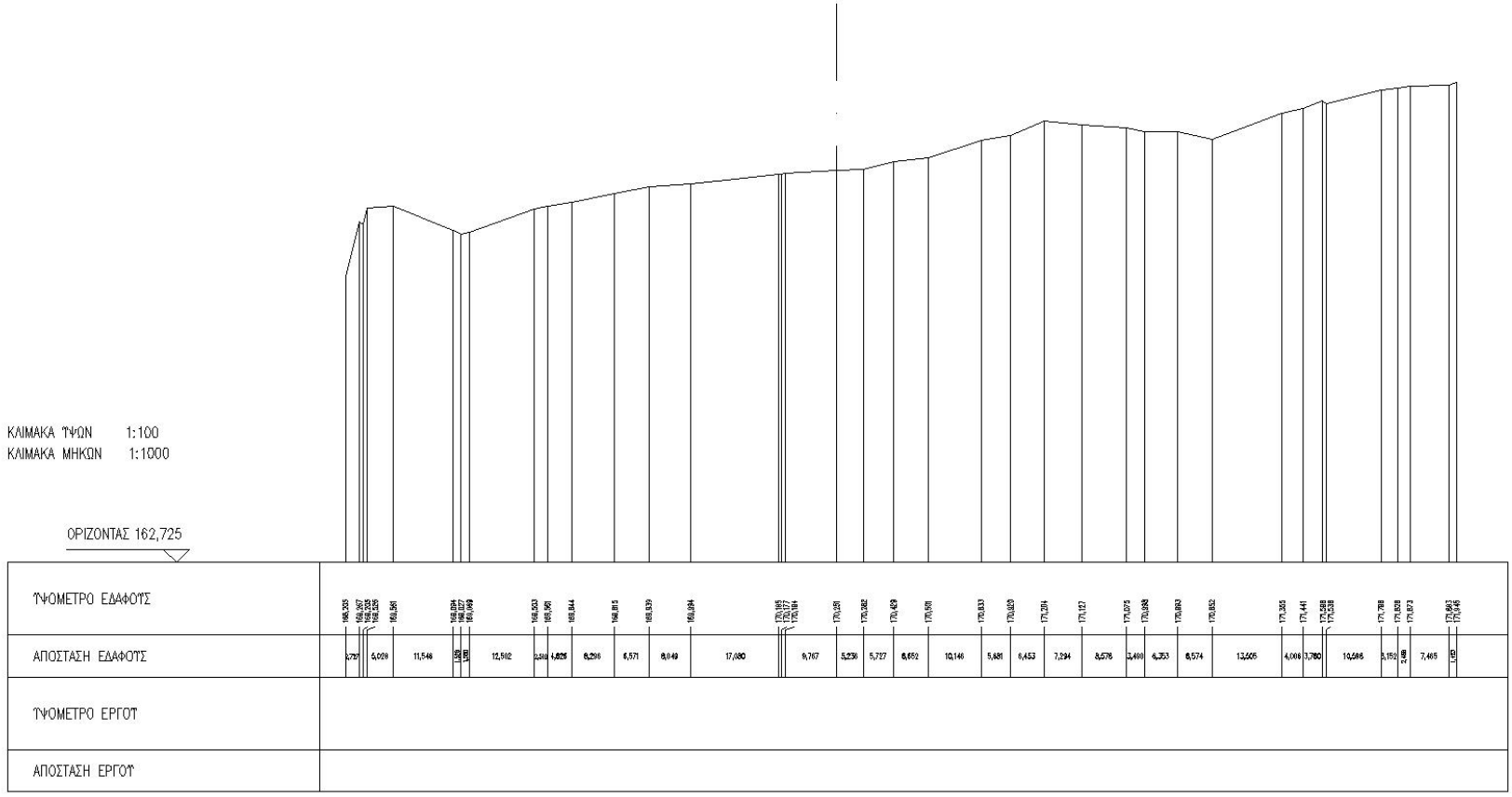
| | | |

ΔΙΑΤΟΜΗ Ν. : 6
ΣΗΜΕΙΟ : 165,353
ΠΡΟΗΓ. ΔΙΑΤΟΜΗ : 38,344
ΕΠΟΜ. ΔΙΑΤΟΜΗ : 42,377



ΔΙΑΤΟΜΗ Ν. : 7
ΣΗΜΕΙΟ : 207,730
ΠΡΟΗΓ. ΔΙΑΤΟΜΗ : 42,377
ΕΠΟΜ. ΔΙΑΤΟΜΗ : 34,369

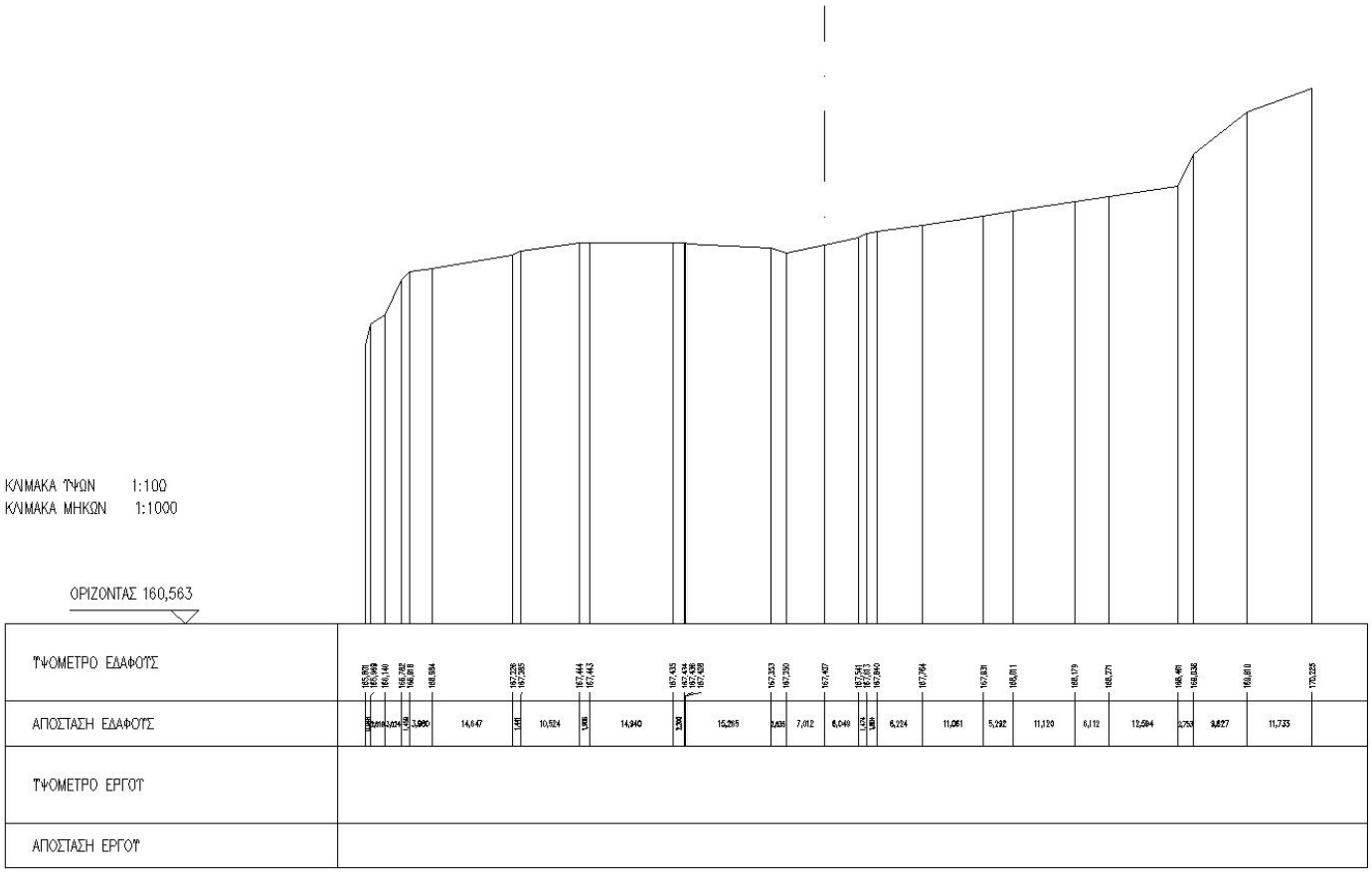
ΚΛΙΜΑΚΑ ΥΨΩΝ 1:100
ΚΛΙΜΑΚΑ ΜΗΚΩΝ 1:1000



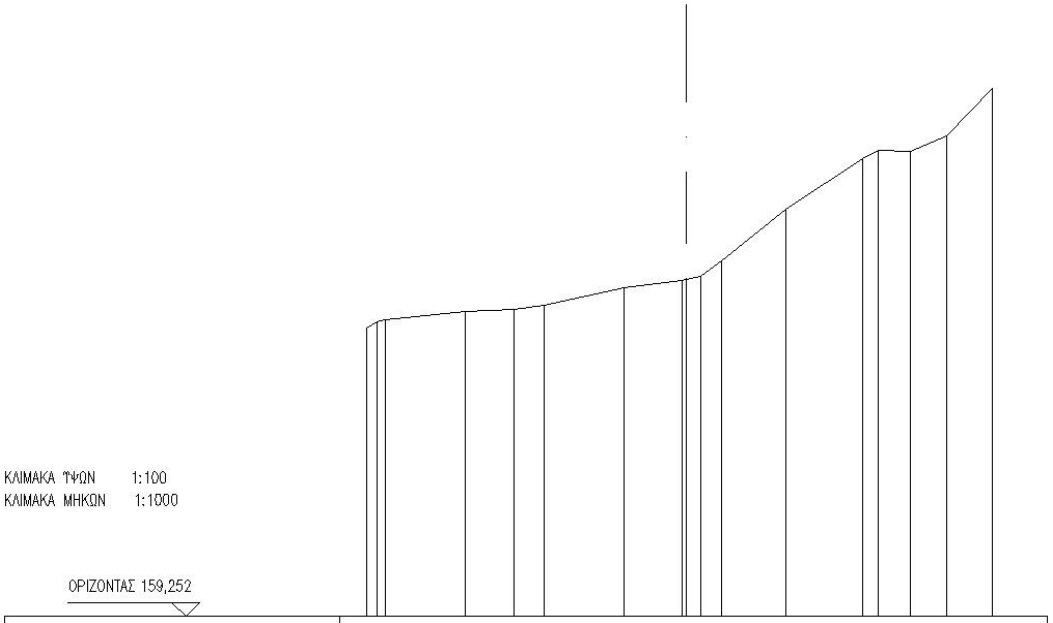
ΔΙΑΤΟΜΗ Ν. : 8
ΣΗΜΕΙΟ : 242,099
ΠΡΟΗΓ. ΔΙΑΤΟΜΗ : 34,369
ΕΠΟΜ. ΔΙΑΤΟΜΗ : 35,502

ΚΛΙΜΑΚΑ ΥΨΩΝ 1:100
ΚΛΙΜΑΚΑ ΜΗΚΩΝ 1:1000

ΟΡΙΖΟΝΤΑΣ 160,563



ΔΙΑΤΟΜΗ Ν. : 9
ΣΗΜΕΙΟ : 277,601
ΠΡΟΗΓ. ΔΙΑΤΟΜΗ : 35,502
ΕΠΟΜ. ΔΙΑΤΟΜΗ : 44,528



ΔΙΑΤΟΜΗ Ν. : 10
ΣΗΜΕΙΟ : 322,129
ΠΡΟΗΓ. ΔΙΑΤΟΜΗ : 44,528
ΕΠΟΜ. ΔΑΤΟΜΗ : 4,263

