



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΝΙΚΗΣ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ



ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ
ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΧΩΡΟΕΙΚΟΝΟΓΕΩΔΑΙΤΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΓΚΟΤΣΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ
ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΠΑΝΤΑΖΗΣ
ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2012



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΝΙΚΗΣ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ

ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ
ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΧΩΡΟΕΙΚΟΝΟΓΕΩΔΑΙΤΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΓΚΟΤΣΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ
ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΠΑΝΤΑΖΗΣ
ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2012

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμότερες και ειλικρινείς μου ευχαριστίες στους επίκουρους καθηγητές της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Ε.Μ.Π. κ. Γιώργο Πανταζή και κα. Ευαγγελία Λάμπρου για την διατύπωση του αντικειμένου της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, λαμβάνοντας υπόψιν τα προσωπικά ενδιαφέροντα μου.

Ιδιαίτερα τους ευχαριστώ για την εμπιστοσύνη που μου έδειξαν, την καθοδήγηση αλλά κυρίως την αμέριστη και συνεχή βοήθειά τους στις εργασίες πεδίου και στην όλη σύνταξη της εργασίας, βρίσκοντας πάντα χρόνο για να λύσουν οποιαδήποτε απορία μου γεννιόταν στην πορεία.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Σταμάτη Πολύδωρα υποψήφιο διδάκτορα και μέλους του προσωπικού του Εργαστηρίου Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων και Εργαλείων-Αντίστροφου Σχεδιασμού της Σχολής Μηχανολόγων-Μηχανικών του Ε.Μ.Π. για την διάθεση γνώσεων, χρόνου και υλικοτεχνικής υποδομής για την κατασκευή του τριδιάστατου πρωτοτύπου.

Τέλος, οφείλω το μεγαλύτερο ευχαριστώ στην οικογένεια μου, τους γονείς μου Χρήστο, Θεοδώρα και την αδερφή μου Νεφέλη, για την αγάπη τους, την συμπαράσταση και υποστήριξή τους καθ'όλη την διάρκεια των σπουδών μου και ιδιαίτερα κατά την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η συνεχής εξέλιξη της επιστήμης της γεωδαισίας και των γεωδαιτικών οργάνων οδήγησε στην κατασκευή ενός τύπου οργάνου που συνδυάζει τις βασικές λειτουργίες των γεωδαιτικών σταθμών και των Laser Scanners, τον χωροεικονογεωδαιτικό σταθμό. Οι δυνατότητες των οργάνων αυτών εκτός από την κάλυψη αναγκών κλασικών γεωδαιτικών ζητημάτων, επιτρέπουν την επίλυση προβλημάτων που απαιτούν την δημιουργία τριδιάστατης απεικόνισης.

Το γεγονός αυτό δημιούργησε την ιδέα του ελέγχου των δυνατοτήτων των οργάνων αυτών όσον αφορά την σάρωση, ακολουθώντας την διαδικασία αρχικά της σάρωσης και στην συνέχεια της προσαρμογής τριδιάστατων μοντέλων σε διάφορα αντικείμενα. Η προσέγγιση αυτή έγινε με την χρήση της μεθόδου Monte Carlo, μια μέθοδο που υπολογίζει τις αβεβαιότητες των μετρήσεων αλλά και της προσαρμογής επιφανειών.

Τα γεωμετρικά αντικείμενα που αποτελούν την βάση για την εξαγωγή συμπερασμάτων όσον αφορά τις δυνατότητες των χωροεικονογεωδαιτικών σταθμών στην σάρωση είναι μια σφαίρα και ένα επίπεδο. Σκοπός ήταν η μελέτη τους τόσο σε θεωρητικό επίπεδο όσο και σε πειραματικό, ώστε να διαπιστωθεί η λειτουργικότητα και η αβεβαιότητα των οργάνων αυτών.

Παρόλα αυτά το ενδιαφέρον για την απόδοση της λειτουργίας της σάρωσης των χωροεικονογεωδαιτικών σταθμών, πέραν των γεωμετρικών αντικειμένων, οδήγησε στην σάρωση και μοντελοποίηση μιας μη γεωμετρικής επιφάνειας. Αυτή έλαβε χώρα στην περιοχή της Νισύρου, και συγκεκριμένα στον μεγαλύτερο κρατήρα του ηφαιστείου σαρώνοντας τα πρηνή του κρατήρα. Η δημιουργία του τριδιάστατου μοντέλου του κρατήρα του ηφαιστείου της Νισύρου, οδήγησε στην τριδιάστατη εκτύπωσή του.

Τέλος, η σύγκριση των αποτελεσμάτων με πρότυπες διαστάσεις για τα γεωμετρικά αντικείμενα και με απευθείας μετρήσεις για την μη γεωμετρική επιφάνεια έδωσε την δυνατότητα να προκύψουν συμπεράσματα για την χρήση των χωροεικονογεωδαιτικών σταθμών στην σάρωση και δημιουργία τριδιάστατων μοντέλων διαφόρων αντικειμένων.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	I
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	II
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	III
ΠΙΝΑΚΕΣ	VI
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ	VI
ΕΙΚΟΝΕΣ	VIII
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	X
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΧΩΡΕΙΚΟΝΟΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ – SPATIAL IMAGING TOTAL STATION

1.1. Ιστορική Αναδρομή.....	2
1.2. Ο Γεωδαιτικός σταθμός (Total Station).....	3
1.3. Ο Χωροεικονογεωδαιτικός σταθμός (Spatial Imaging Station).....	5
1.3.1. Ο χωροεικονογεωδαιτικός σταθμός TOPCON IS 201.....	6
1.3.2. Ο χωροεικονογεωδαιτικός σταθμός TRIMBE VX.....	11
1.3.3. Σύγκριση των δύο σταθμών.....	14
1.4. Αντικείμενο της εργασίας.....	16

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Η ΠΡΟΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΑΡΩΣΗΣ ΜΕ ΧΩΡΟΕΙΚΟΝΟΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟ ΣΤΑΘΜΟ

2.1. Η μέθοδος Monte Carlo.....	18
2.2. Η εφαρμογή της μεθόδου MC στη σάρωση αντικειμένων.....	19
2.2.1. Εφαρμογή σε επίπεδο.....	20
2.2.2. Εφαρμογή στη σφαίρα.....	23
2.3. Υπολογισμός βήματος και απόστασης σάρωσης.....	26

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ

3.1. Γενικά.....	28
3.2. Σφαίρα.....	28

3.3. Ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο	29
3.4. Μετρήσεις.....	30
3.5. Προσαρμογή επιφανειών.....	33
3.5.1. Ορθογωνικό δοκίμιο	33
3.5.2. Σφαίρα	36
3.6. Σύγκριση με τα πρότυπα	38
3.7. Έλεγχος αποτελεσμάτων	39

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΜΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ

4.1. Γενικά	41
4.2. Περιγραφή περιοχής μελέτης.....	41
4.3. Εργασίες υπαίθρου	42
4.3.1. Αναγνώριση της περιοχής μελέτης.....	43
4.3.2. Αποτύπωση χαρακτηριστικών σημείων του κρατήρα.....	45
4.4. Επεξεργασία μετρήσεων	47
4.4.1. Επεξεργασία μετρήσεων με την χρήση του λογισμικού Image Master	48
4.4.2. Επεξεργασία μετρήσεων με την χρήση του λογισμικού Realworks	48
4.4.3. Η χρήση του λογισμικού Geomagic Studio.....	49
4.4.4. Σύγκριση τριδιάστατων μοντέλων.....	50
4.5. Δημιουργία κατακόρυφων τομών	52
4.6. Σύγκριση κατακόρυφων τομών.....	54
4.7. Οριζόντια τομή του κρατήρα	62

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΤΡΙΔΙΑΣΤΑΤΗ ΕΚΤΥΠΩΣΗ – RAPID PROTOTYPING

5.1. Εισαγωγή	64
5.2. Η βασική αρχή της Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων (RP)	65
5.3. Μέθοδοι Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων.....	66

5.3.1. Στερεολιθογραφία	67
5.3.2. Selective Laser Sintering (SLS).....	68
5.3.3. Fused Deposition Modeling (FDM).....	69
5.3.4. Laminated Object Manufacturing (LOM)	70
5.4. Ακρίβεια των πρωτοτύπων.....	71
5.5. Εφαρμογές των τεχνολογιών RP	72
5.6. Εφαρμογή της τεχνολογίας RP στο ηφαίστειο της Νισύρου	73
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	
6.1. Συμπεράσματα.....	76
6.2. Προτάσεις.....	81
6.3. Κατανομή εργασιών.....	81
BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	83
ABSTRACT.....	85
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1:	
ΒΑΣΙΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ	
IMAGE MASTER.....	88
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2:	
ΒΑΣΙΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ	
REALWORKS.....	98

ΠΙΝΑΚΕΣ

1.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά του γεωδαιτικού σταθμού Topcon IS 201	10
1.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά του γεωδαιτικού σταθμού Trimble VX	13
1.3: Σύγκριση των τεχνικών χαρακτηριστικών του Topcon IS 201 και του Trimble VX	16
2.1: Στοιχεία σάρωσης θεωρητικών επιφανειών	27
3.1: Οι αποστάσεις μεταξύ των επιπέδων	36
3.2: Στοιχεία σφαίρας και αβεβαιότητες	38
3.3: Σύγκριση μεταξύ πρότυπης απόστασης και απόστασης μελέτης – Ορθογωνικό δοκίμιο	38
3.4: Σύγκριση μεταξύ πρότυπης ακτίνας και ακτίνας μελέτης – Σφαίρα	38
3.5: Σφάλματα των διαστάσεων και της μεταξύ τους διαφοράς	39
3.6: Σφάλματα μετρημένης και πρότυπης ακτίνας και σφάλμα της μεταξύ τους διαφοράς	39
4.1: Συντεταγμένες των στάσεων	44
4.2: Στοιχεία σαρώσεων	46
5.1: Ιστορική εξέλιξη της RP και των συγγενών τεχνολογιών	64
6.1: Σύγκριση βασικών χαρακτηριστικών χωροεικονογεωδαιτικών σταθμών – Laser Scanner	80

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

2.1: Οι σ_{xi} , σ_{yi} , σ_{zi} αβεβαιότητες για διαφορετική γωνιακή ακρίβεια και απόσταση σάρωσης	20
2.2: Η a-priori αβεβαιότητα σ_0 της προσαρμογής σε μικρό αντικείμενο – επίπεδο	22
2.3: Η a-priori αβεβαιότητα σ_0 της προσαρμογής σε αντικείμενο – επίπεδο μεγάλων διαστάσεων	22

2.4: Η a-priori αβεβαιότητα σ_0 της προσαρμογής σε σφαίρα μικρών διαστάσεων	24
2.5: Η a-priori αβεβαιότητα σ_0 της προσαρμογής σε σφαίρα μεγάλων διαστάσεων	25

EΙΚΟΝΕΣ

1.1: Topcon Imaging Station	7
1.2: Γεωδαιτικός σταθμός Trimble VX.	11
1.3: Το χειριστήριο TCU του Trimble VX.	14
1.4: Το μέγεθος της εικόνας που λαμβάνει το κάθε όργανο	15
2.1: Παρουσίαση μεγεθών σφαιρικών συντεταγμένων	23
3.1: Σφαίρα	29
3.2 Σφαίρα πειράματος	29
3.3: Ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο	29
3.4: Ορθογωνικό δοκίμιο	30
3.5: Διάταξη πειράματος – Όψη από Σ2	31
3.6: Διάταξη πειράματος – Όψη από Σ1	32
4.1: Ο μεγαλύτερος κρατήρας του ηφαιστείου	42
4.2:Χωρική τοποθέτηση στάσεων σε σχέση με το φρύδι του πρανούς	44
4.3: Όρια πρανών	45
4.4: Νέφος σημείων – γεωδαιτικός σταθμός IS	46
4.5: Νέφος σημείων – γεωδαιτικός σταθμός VX	47
4.6:Μοντέλο κρατήρα με βήμα 1m – γεωδαιτικός σταθμός IS	51
4.7:Μοντέλο κρατήρα με βήμα 1m – γεωδαιτικός σταθμός VX	51
4.8:Μοντέλο κρατήρα με βήμα 2m – γεωδαιτικός σταθμός VX	52
4.9: Άξονες κατακόρυφων τομών	52
4.10: Σχεδιάγραμμα στροφής	53
4.11: Κατακόρυφη τομή A-A'	55
4.12: Κατακόρυφη τομή B-B'	55
4.13: Κατακόρυφη τομή A-A' – IS με βήμα σάρωσης 1m	56
4.14: Κατακόρυφη τομή A-A' – VX με βήμα σάρωσης 1m	56
4.15: Κατακόρυφη τομή A-A' – VX με βήμα σάρωσης 2m	57
4.16:Κατακόρυφη τομή B-B' –IS με βήμα σάρωσης 1m	57
4.17: Κατακόρυφη τομή B-B'- VX με βήμα σάρωσης 1m	58
4.18: Κατακόρυφη τομή B-B' – VX με βήμα σάρωσης 2m	58
4.19: Σύγκριση γεωδαιτικής τομής – IS 1m τομής A-A'	59

4.20: Σύγκριση γεωδαιτικής τομής – VX 1m τομής A-A'	59
4.21: Σύγκριση γεωδαιτικής τομής – VX 2m τομής A-A'	60
4.22: Σύγκριση γεωδαιτικής τομής – IS 1m τομής B-B'	60
4.23: Σύγκριση γεωδαιτικής τομής – VX 1m τομής B-B'	61
4.24: Σύγκριση γεωδαιτικής τομής – VX 2m τομής B-B'	61
4.25: Οριζόντια τομή	62
5.1: Η διαδικασία δημιουργίας πρωτοτύπου	66
5.2: Στερεολιθογραφία	67
5.3: Αρχή λειτουργίας μεθόδου Selective Laser Sintering	68
5.4: Αρχή λειτουργίας της τεχνικής Fused Deposition Modeling	69
5.5: Αρχή λειτουργίας της μεθόδου Laminated Object Manufacturing	70
5.6: Διαδικασία παραγωγής πρωτοτύπων	71
5.7: Μοντέλο σφαίρας ανάλογα το πάχος των στρώσεων a)πρότυπη σφαίρα b)μέσο πάχος c)λεπτό πάχος d)προσαρμοσμένο πάχος	72
5.8: Πρωτότυπο του κρατήρα	75
6.2: Κατανομή εργασιών	82

1.1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μοντελοποίηση γεωμετρικών και μη γεωμετρικών επιφανειών με την χρήση των χωροεικονογεωδαιτικών σταθμών. Για τον σκοπό αυτό έγιναν οι απαραίτητες μετρήσεις και εργασίες γραφείου.

Το σύνολο της εργασίας παρουσιάζεται σε έξι κεφάλαια:

- Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται και αναλύονται οι χωροεικονογεωδαιτικοί σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν για την περάτωση των αναγκαίων μετρήσεων και συγκρίνονται μεταξύ τους. Παρουσιάζονται επίσης τα πλεονεκτήματα τους σε σχέση με τα Laser Scanner.
- Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύεται η μέθοδος Monte Carlo και γίνεται η εφαρμογή της σε 2 θεωρητικές γεωμετρικές επιφάνειες, μια σφαίρα και ένα επίπεδο. Παρουσιάζονται η αβεβαιότητα προσδιορισμού των συντεταγμένων και οι αβεβαιότητες προσαρμογής επιφάνειας για κάθε μία από τις θεωρητικές επιφάνειες εξαρτώμενες από την αβεβαιότητα του οργάνου και την απόσταση σάρωσης. Τέλος αναλύεται ο υπολογισμός των παραμέτρων σάρωσης.
- Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται το πείραμα που πραγματοποιήθηκε σαρώνοντας δυο αντικείμενα, μια σφαίρα και ένα ορθογωνικό δοκίμιο. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του πειράματος και η σύγκρισή τους με της πρότυπες διαστάσεις τους.
- Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται όλες οι διαδικασίες που ακολουθήθηκαν για την σάρωση του κρατήρα του ηφαιστείου και την δημιουργία του τριδιάστατου μοντέλου του, των κατακόρυφων και των οριζόντιων τομών.
- Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται συνοπτική παρουσίαση της εξέλιξης της ταχείας κατασκευής πρωτοτύπων (τριδιάστατη εκτύπωση), και παρουσιάζεται η κατασκευή του τριδιάστατου μοντέλου του κρατήρα του ηφαιστείου της Νισύρου.
- Στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εκτέλεση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, κάποιες προτάσεις καθώς και η χρονική διάρκεια της εργασίας.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο προσδιορισμός των γεωμετρικών στοιχείων διαφόρων επιφανειών και η δημιουργία των μοντέλων τους με την χρήση των σαρωτών ξεκίνησε στις αρχές του 1970 και αποτελεί αντικείμενο μελέτης της γεωδαισίας αλλά και άλλων επιστημονικών κλάδων. Η συνεχής εξέλιξη των τεχνολογιών και η αύξηση των απαιτήσεων σε ακρίβεια των μοντέλων, επέφερε τη βελτίωση και τη δημιουργία νέων οργάνων φτάνοντας το 2005 στους χωροεικονογεωδαιτικούς σταθμούς.

Η νέα αυτή τεχνολογία, όπου συνδυάζει τις βασικές λειτουργίες ενός γεωδαιτικού σταθμού και την βασική λειτουργία του Laser Scanner την σάρωση, δημιούργησε νέες μεθόδους στην συλλογή δεδομένων αλλά και στην δημιουργία τριδιάστατων μοντέλων διαφορετικών επιφανειών.

Δυο από τα σημαντικότερα ζητήματα που προκύπτουν είναι κατά πόσο μπορούν να εκτιμηθούν πριν από οποιαδήποτε εργασία οι παράμετροι σάρωσης (απόσταση και βήμα σάρωσης, αριθμός σημείων) καθώς και να υπολογιστεί η αβεβαιότητα προσαρμογής του μοντέλου. Για τον σκοπό αυτό χρειάζεται να γίνει μια θεωρητική μελέτη με την χρήση της μεθόδου Monte Carlo, ώστε να υπολογιστούν ανάλογα με την εργασία που πρόκειται να γίνει και την επιθυμητή ακρίβεια οι παράμετροι της σάρωσης.

Αντικείμενο λοιπόν της εργασίας αυτής είναι η προεκτίμηση των παραμέτρων σάρωσης για συγκεκριμένα γεωμετρικά αντικείμενα με γνωστές διαστάσεις αλλά και για μη γεωμετρικές επιφάνειες και η εφαρμογή των παραμέτρων αυτών σε πραγματικές συνθήκες. Στόχος είναι να εξαχθούν συμπεράσματα για την ακρίβεια και την πιστότητα στην δημιουργία μοντέλων με την χρήση χωροεικονογεωδαιτικών σταθμών αλλά και την λειτουργικότητα της μεθόδου Monte Carlo στην προεκτίμηση των παραμέτρων σάρωσης και της αβεβαιότητας προσαρμογής του μοντέλου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΧΩΡΕΙΚΟΝΟΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ – SPATIAL IMAGING TOTAL STATION

1.1. Ιστορική Αναδρομή

Η γεωδαισία ως επιστήμη αναπτύχθηκε και θεμελιώθηκε στην αρχαία Ελλάδα και την Αίγυπτο για την κάλυψη αναγκών και επιστημονικών ανησυχιών, όπως ο προσδιορισμός του σχήματος της γης και ο επαναπροσδιορισμός ιδιοκτησιών ύστερα από πλημμύρες.

Από τότε έχει γνωρίσει συνεχή ανάπτυξη με αποκορύφωμα τις μέρες μας, όπου οι δορυφόροι έχουν τεθεί στην υπηρεσία της.

Από πολύ παλιά ήταν δυνατή η κατασκευή γεωδαιτικών οργάνων, τα οποία μετρούσαν τα γωνιακά μεγέθη, χωρίς όμως να επιτυγχάνεται το ίδιο και στις αποστάσεις. Έτσι αναπόφευκτα η γεωδαισία ως επιστήμη οδηγήθηκε στην όσο το δυνατόν μεγαλύτερη και καλύτερη αξιοποίηση των γωνιακών δεδομένων.

Κατά τον 18^ο και 19^ο αιώνα οι ανάγκες για δημιουργία χαρτών αυξήθηκαν κυρίως για στρατιωτικούς και γεωπολιτικούς λόγους, με αποτέλεσμα την εκτέλεση ακριβέστερων και πιο οργανωμένων γεωδαιτικών εργασιών που οδήγησαν στην αλματώδη εξέλιξη της επιστήμης της γεωδαισίας. Ο συνδυασμός της εξέλιξης των επιστημών και των τεχνολογιών με την αύξηση της αξίας της γης, οδήγησε στην ανάγκη για τον ακριβή προσδιορισμό των θέσεων πάνω στην φυσική γήινη επιφάνεια.

Μετά τους δύο Παγκόσμιους Πολέμους και τα οδυνηρά αποτελέσματά τους, δόθηκε ώθηση στην επιστήμη της Γεωδαισίας αλλά και της Φωτογραμετρίας. Έτσι πληθαίνουν οι ερευνητικές δραστηριότητες που αφορούν σχετικά θέματα.

Συγκεκριμένα κατά την δεκαετία του 1950 άρχισαν να χρησιμοποιούνται τα πρώτα ηλεκτρομαγνητικά όργανα μέτρησης μηκών τα λεγόμενα και E.D.M., αλλάζοντας σημαντικά την γεωδαιτική μεθοδολογία των μετρήσεων. Αργότερα εμφανίζονται και τα ψηφιακά θεοδόλιχα ενώ συγχρόνως τα E.D.M. γίνονται πιο εύχρηστα, διότι προσαρμόζονται επιβατηγά πλέον σε θεοδόλιχα και τέλος ενσωματώνονται σε αυτά και αποτελούν τους ολοκληρωμένους

γεωδαιτικούς σταθμούς που χρησιμοποιούμε έως σήμερα (Total Stations).

Είναι ωστόσο,άξιο αναφοράς το γεγονός ότι η Γεωδαισία είναι η επιστήμη που ωφελήθηκε και συνεχίζει να ωφελείται σε πολύ μεγάλο βαθμό από την ανάπτυξη της Ηλεκτρονικής κατά τα τελευταία πενήντα χρόνια. Είναι επίσης από τις πρώτες επιστήμες που χρησιμοποίησαν τις δυνατότητες των ηλεκτρονικών υπολογιστών, τόσο για την γρήγορη εκτέλεση υπολογισμών, όσο και για την πλήρως αυτοματοποιημένη παραγωγή σχεδίων και χαρτών με την βοήθεια κατάλληλων προγραμμάτων και περιφερειακών συσκευών.

Επιπρόσθετα η αυτοματοποίηση των εργασιών πεδίου και γραφείου οδήγησε στην κατασκευή καταγραφικών συσκευών υπαίθρου για την ταχύτερη και αποτελεσματικότερη εκτέλεση των τοπογραφικών εργασιών. Η συνεχής εξέλιξη της τεχνολογίας των γεωδαιτικών σταθμών με την παράλληλη εξέλιξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών επέτρεψε να γίνονται πολύπλοκοι υπολογισμοί με ταχύτητα και ασφάλεια. Η τεχνολογική ανάπτυξη παρέχει σήμερα τη δυνατότητα να εκτελούνται οι μετρήσεις πεδίου εύκολα και γρήγορα και να υπάρχουν αποτελέσματα ακόμα και στο πεδίο.

Οι γεωδαιτικοί σταθμοί εξελίσσονται συνεχώς με προσθήκες και καινοτομίες, όπως μικροεπεξεργαστές και λειτουργικά προγράμματα παρόμοια με αυτά των ηλεκτρονικών υπολογιστών, προγράμματα για την εκτέλεση υπολογισμών στο πεδίο, κίνηση του οργάνου με σερβοκίνηση, αυτόματη αναζήτηση στόχου κ.α. [Μπιλληρης Χ. ,2007]

1.2. Ο Γεωδαιτικός σταθμός (Total Station)

Ο γεωδαιτικός σταθμός αποτελείται ουσιαστικά από ένα ψηφιακό θεοδόλιχο με ενσωματωμένο ένα αποστασιόμετρο (E.D.M) και έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή. Έχει την δυνατότητα μέτρησης μηκών και γωνιών(διευθύνσεων) και αναρίθμητων υπολογισμών. Το αποστασιόμετρο είναι τοποθετημένο ομοαξονικά στο κέντρο του τηλεσκοπίου έτσι ώστε να αναφέρονται στο ίδιο σημείο οι μετρήσεις γωνιών και μηκών. Οι σύγχρονοι ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί αντικατέστησαν τα οπτικομηχανικά θεοδόλιχα, βελτιώνοντας την ποιότητα των τοπογραφικών εργασιών.

Οι ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί είναι όργανα αρκετά εύχρηστα και παρέχουν την δυνατότητα μέτρησης μηκών από περίπου 0.5m έως μερικά km με αβεβαιότητα που κυμαίνεται από $\pm 0.5\text{mm}$ $\pm 1\text{ppm}$ έως $\pm 5\text{mm}$ $\pm 5\text{ppm}$. Για την μέτρηση γωνιών παρέχουν την δυνατότητα ανάγνωσης από $0^{\circ}.1$ έως 10° και αβεβαιότητα από $\pm 1.5^{\circ}$ έως $\pm 30^{\circ}$. Επιπρόσθετα μπορούν και καταγράφουν ψηφιακά μετρήσεις προς οποιοδήποτε σημείο, στη μνήμη που διαθέτουν.

Οι μετρήσεις των μηκών πραγματοποιούνται με διαμορφωμένο μικροκύμα ή με υπέρυθρο μεταφερόμενο σήμα το οποίο ανακλάται από πρίσμα ή άλλο αντικείμενο. Κατόπιν, η διαμορφωμένη διάταξη του επιστρεφόμενου σήματος λαμβάνεται και ερμηνεύεται κατάλληλα από το όργανο.

Η σημαντικότερη εξέλιξή τους αφορά στην δυνατότητα μέτρησης σημείων χωρίς την χρήση ανακλαστήρα σε αποστάσεις που φτάνουν μέχρι και τα 2000m με την χρήση laser, καθώς και την δυνατότητα επικοινωνίας με H/Y και άλλες περιφερειακές συσκευές.

Στα πλεονεκτήματά τους καταγράφεται η ψηφιακή διαδικασία αποκατάστασης της ορθής λειτουργίας τους (κέντρωση, οριζοντίωση) η οποία γίνεται με μεγαλύτερη ακρίβεια, η ταχύτητα και η ευκολία μέτρησης των μηκών καθώς και η ενσωμάτωση ειδικών ηλεκτρονικών αισθητήρων (ισοσταθμιστές) που συνεχώς υπολογίζουν και διορθώνουν τα σφάλματα από την μη πλήρωση των συνθηκών λειτουργίας τους.

Οι ρομποτικοί ολοκληρωμένοι σταθμοί επιτρέπουν στον χρήστη να χειρίζεται το όργανο από μία απόσταση μέσω του ειδικού τηλεχειριστηρίου που διαθέτουν. Αυτό δίνει την δυνατότητα στον μηχανικό να εκτελεί εργασίες στο πεδίο μόνος του χωρίς την ανάγκη βοηθητικού μέλους δεδομένου ότι ελέγχει το σταθμό από το παρατηρηθέν σημείο. [Λάμπρου Ε.-Πανταζής Γ.,2010].

Τέλος πρέπει να τονιστεί ότι όσο αυξάνεται η πολυπλοκότητα των κατασκευών και η απαίτηση για μεγαλύτερης ακρίβειας τοπογραφικές εργασίες τόσο θα αυξάνονται οι ανάγκες για ακόμη πιο εξελιγμένο και εξειδικευμένο εξοπλισμό. Οι σύγχρονοι γεωδαιτικοί σταθμοί παρέχουν πληθώρα αυτοματοποιημένων λειτουργιών μέσω των οποίων καθίσταται δυνατή η σωστή, ακριβής και γρήγορη εκτέλεση των εργασιών, με αποτέλεσμα η χρησιμότητα τους σήμερα σε κάθε είδους τοπογραφική εφαρμογή να είναι απαραίτητη.

1.3. Ο Χωροεικονογεωδαιτικός σταθμός (Spatial Imaging Station)

Η συνεχής εξέλιξη των γεωδαιτικών σταθμών είχε ως αποτέλεσμα την δημιουργία το 2005 των εικονογεωδαιτικών σταθμών και εν συνεχεία των χωροεικονογεωδαιτικών σταθμών.

Τα όργανα αυτής της κατηγορίας διαθέτουν ενσωματωμένες στο τηλεσκόπιο τους μία ή δύο CCD κάμερες. Η θέση της κάμερας μπορεί να είναι στο κέντρο, πάνω ή κάτω του τηλεσκοπίου.

Έτσι, το οπτικό πεδίο του οργάνου μεταφέρεται μέσω της κάμερας στην οθόνη του οργάνου, που διαθέτει σταυρόνημα συμβατό με αυτό του τηλεσκοπίου.

Έτσι η σκόπευση εκτός από το τηλεσκόπιο μπορεί να γίνει και μέσω της οθόνης σε κατάλληλη μεγένθυση ώστε να είναι ακριβής και επιθυμητή. Παράλληλα είναι δυνατή η ταυτόχρονη λήψη εικόνων την στιγμή της μέτρησης για κάθε σημείο, ώστε να μπορεί να δοθεί εκτός από την ποσοτική πληροφορία και η ποιοτική.

Ο πρώτος εικονογεωδαιτικός σταθμός είναι ο GPT – 7000i της εταιρίας Topcon. Ήταν η πρώτη απόπειρα δημιουργίας ενός οργάνου που θα περιελάμβανε ενσωματωμένη κάμερα. Το όργανο αυτό είναι ένας ολοκληρωμένος ρομποτικός γεωδαιτικός σταθμός που μπορεί να μετρά μήκη χωρίς την χρήση ανακλαστήρα, διαθέτοντας 2 CCD κάμερες. Οι κάμερες μπορούν να δώσουν στο χρήστη μέσω της οθόνης του οργάνου οπτική μεγένθυση 3X δίνοντάς του καλύτερη εικόνα του αντικείμενου.

Με την εμπειρία κατασκευής του πρώτου εικονογεωδαιτικού σταθμού και με την εξέλιξη των τεχνολογιών κατασκευάστηκαν οι πρώτοι χωροεικονογεωδαιτικοί σταθμοί.

Οι σταθμοί αυτοί διαφέρουν ως προς τους εικονογεωδαιτικούς σταθμούς επειδή ενσωματώνουν επιπλέον ένα είδος σαρωτή (light scanner), ο οποίος μπορεί να σαρώνει επιφάνειες με συγκεκριμένο οριζόντιο και κατακόρυφο βήμα παρουσιάζοντας στην οθόνη τους το τριδιάστατο μοντέλο τους. Παράλληλα λαμβάνονται και φωτογραφίες του αντικείμενου σάρωσης ώστε να συμπληρωθεί κατάλληλα το τριδιάστατο μοντέλο.

Σήμερα υπάρχουν τουλάχιστον τρία διαφορετικά όργανα που ανήκουν σ' αυτήν την κατηγορία. Είναι ο σταθμός VX της εταιρίας

Trimble, ο σταθμός IS της εταιρίας Topcon και πρόσφατα ο σταθμός Viva TS11 της εταιρίας Leica.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκαν οι δύο πρώτοι χωροεικονογεωδαιτικοί σταθμοί οι οποίοι θα αναλυθούν διεξοδικότερα στα επόμενα κεφάλαια.

Τα πλεονεκτήματα των χωροεικονογεωδαιτικών σταθμών έναντι των Laser Scanners είναι αρκετά. Σε αυτά καταγράφονται:

- Το σύστημα αναφοράς.(τα σημεία της σάρωσης έχουν συντεταγμένες σε ένα ενιαίο σύστημα αναφοράς)
- Το κόστος αγοράς των οργάνων.
- Το βάρος και ο όγκος των χωροεικονογεωδαιτικών σταθμών σε σχέση με τους Laser Scanner.
- Η ευχρηστία των χωροεικονογεωδαιτικών σταθμών.
- Η αβεβαιότητα προσδιορισμού των συντεταγμένων

Παρόλο που οι Laser Scanners μπορούν και σαρώνουν εκατοντάδες χιλιάδες σημεία ανα δευτερόλεπτο υστερούν σε σχέση με τους χωροεικονογεωδαιτικούς σταθμούς εξαιτίας της απαίτησης μέτρησης ειδικών στόχων για την συνένωση των διαδοχικών σαρώσεων σε ένα ενιαίο σύστημα συντεταγμένων. Επίσης έχουν πολύ υψηλό κόστος αγοράς και μεγάλο βάρος και όγκο κάνοντάς τα δύσχρηστα. [Λάμπρου Ε.-Πανταζής Γ.,2010].

1.3.1. Ο χωροεικονογεωδαιτικός σταθμός TOPCON IS 201

Ο ρομποτικός χωροεικονογεωδαιτικός σταθμός Imaging Station IS 201(3^{cc}) της εταιρίας Topcon,(εικόνα 1.1) αποτελεί μέρος της νέας σειράς ρομποτικών Γεωδαιτικών Σταθμών της εταιρίας Topcon η οποία παρουσιάστηκε το 2008 και συνδυάζει τα πιο σύγχρονα τεχνολογικά χαρακτηριστικά της εποχής με εξελιγμένες δυνατότητες σάρωσης και τηλεχειρισμού.

Ο συγκεκριμένος χωροεικονογεωδαιτικός σταθμός διαθέτει δύο ψηφιακές κάμερες απεικόνισης, μία τοποθετημένη στο κέντρο του τηλεσκοπίου και μία τοποθετημένη παράλληλα λίγο πιο πάνω. Η ανάλυση και των δύο καμερών είναι 1.3 Mp, έχοντας την δυνατότητα της

λήψης εικόνων από το πεδίο με ευρεία γωνία και οπτική μεγέθυνση μέχρι και 30x που εγγυάται την καλύτερη δυνατή ευκρίνεια του στόχου.



Εικόνα 1.1: Topcon Imaging Station. [www.Treecomp.gr]

Παράλληλα διαθέτει δύο οθόνες για την εύκολη περιήγηση του χρήστη στις επιλογές του σταθμού αλλά και στην σκόπευση των σημείων μέσω του ειδικού ηλεκτρονικού σταυρονήματος.

Οι ισοσταθμιστές εύρους 6' που υπάρχουν και στους δύο άξονες του οργάνου μπορούν και εκτελούν ακριβείς διορθώσεις της τάξης του 1''(1mgon).

Η οριζοντίωση του οργάνου επιτυγχάνεται κατ'αρχήν με την μηχανική αεροστάθμη του οργάνου και την σφαιρική αεροστάθμη του τριχοχλίου. Η τελική οριζοντίωση του επιτυγχάνεται ψηφιακά με την βοήθεια ενός ευαίσθητου ηλεκτρονικού κλισίμετρου(ψηφιακή αεροστάθμη). Οι κοχλίες μετακίνησης είναι διπλοί και ηλεκτρικοί για

κάθε κίνηση και βρίσκονται όλοι από την δεξιά πλευρά του οργάνου έχοντας την ικανότητα να περιστρέφονται ατέρμονα ενώ ταυτόχρονα μπορούν να λειτουργούν και για την μικροκίνηση.

Διαθέτει και σερβομηχανισμούς που εξυπηρετούν την ρομποτική λειτουργία, όπως αυτόματη περιστροφή από πρώτη σε δεύτερη θέση τηλεσκοπίου, την παρακολούθηση κινούμενου στόχου κ.α. Επίσης η λειτουργία reflectorless του συγκεκριμένου γεωδαιτικού σταθμού παρέχει μέτρηση για μήκη που μπορούν να φτάσουν μέχρι και τα 2000m.

Ο σταθμός μπορεί να εκτελεί με ικανοποιητική ταχύτητα πολλές τοπογραφικές εργασίες αφού διαθέτει κατάλληλα λογισμικά. Τέτοιες είναι η οπισθοτομία, εμπροσθοτομία, χάραξη, σάρωση, αποτύπωση με laser. [www.Topcon.co.jp]

Επίσης στις δυνατότητες του σταθμού περιλαμβάνονται η λειτουργία αυτόματης αναγνώρισης και παρακολούθηση στόχου (ATR) και η λειτουργία σάρωσης (scanning).

Κατα τη λειτουργία της αυτόματης αναγνώρισης στόχου το όργανο μπορεί και αναγνωρίζει μέσα σε μία επιλεγμένη περιοχή τον στόχο(πρίσμα). Η λειτουργία αυτή βασίζεται στο γεγονός ότι το όργανο διαθέτει υψηλής ανάλυσης κάμερα μέσα στο τηλεσκόπιο του. Μπορεί και εντοπίζει τον στόχο με ακρίβεια $\pm 30'$, ενώ η ταχύτητα εντοπισμού και παρακολούθησης του στόχου είναι $15^\circ/\text{sec}$. Η εμβέλεια εντοπισμού είναι περίπου 1000m και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις συνθήκες του περιβάλλοντος .

Η λειτουργία σάρωσης (scanning) είναι η λειτουργία που κάνει ξεχωριστό το όργανο αυτό σε σχέση με τους υπόλοιπους γεωδαιτικούς σταθμούς. Σύμφωνα με αυτή την λειτουργία ο χρήστης ορίζει χρησιμοποιώντας την οθόνη του οργάνου ένα παράθυρο (ορθογώνιο παραλληλόγραμμο, πολύγωνο, κ.α.) πάνω στο αντικείμενο που επιθυμεί. Το όργανο σαρώνει την επιλεγμένη περιοχή δημιουργώντας νέφος σημείων. Η ταχύτητα σάρωσης μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 20 σημεία ανά δευτερόλεπτο, καθιστώντας το όργανο με την μεγαλύτερη ταχύτητα σάρωσης σε σχέση με τα υπόλοιπα όργανα όμοιου τύπου που έχουν κατασκευαστεί. Η σάρωση του αντικειμένου μπορεί να γίνει με δύο διαφορετικούς τρόπους:

- Ορίζοντας το γωνιακό βήμα σάρωσης σε κατακόρυφη και οριζόντια διεύθυνση. Το εύρος των τιμών του βήματος σάρωσης είναι 0.0093^{grad} - 50.0000^{grad} .

- Ορίζοντας το γραμμικό βήμα σάρωσης σε κατακόρυφη και οριζόντια διεύθυνση. Το εύρος των τιμών του βήματος σάρωσης είναι 0.010m - 100.000m.

Αφού εισαχθεί το βήμα σάρωσης ο σταθμός υπολογίζει τον αριθμό των σημείων και τον χρόνο που απαιτείται για την ολοκλήρωση της σάρωσης.

Στην συνέχεια λαμβάνονται φωτογραφίες του πολυγώνου σάρωσης και κατ' επέκταση του αντικειμένου ολοκληρώνοντας και ποιοτικά το τριδιάστατο μοντέλο.

Ο συνδυασμός χρήσης του ενσωματωμένου σαρωτή που διαθέτει ο συγκεκριμένος γεωδαιτικός σταθμός με τη δυνατότητα λήψης ταυτόχρονων φωτογραφιών από το πεδίο παρέχει στον χρήστη ένα αυτοματοποιημένο σύστημα που μπορεί να συγκριθεί με έναν laser σαρωτή.

Το λειτουργικό σύστημα που χρησιμοποιεί το όργανο είναι Microsoft Windows CE, γεγονός που καθιστά εύκολη την περιήγηση του χειριστή στις επιλογές του, αφού η πλειονότητα των σημερινών Η/Υ διαθέτει παραπλήσιο λειτουργικό σύστημα. Επίσης είναι δυνατή η εγκατάσταση οποιουδήποτε συμβατού προγράμματος στο λειτουργικό αυτό σύστημα το οποίο θα βοηθήσει τον χρήστη στο πεδίο.

Υπάρχει και η δυνατότητα επικοινωνίας του οργάνου μέσω Bluetooth αλλά και μέσω του ειδικού μόντεμ που διαθέτει το όργανο. Η εμβέλεια στην πρώτη περίπτωση φτάνει τα 5m ενώ στην δεύτερη μπορεί να φτάσει εξαρτώμενο από τις συνθήκες περιβάλλοντος μέχρι τα 1000m.

Μπορεί λοιπόν είτε να στέλνει τα δεδομένα-μετρούμενα στοιχεία κατευθείαν σε ένα Η/Υ είτε να τα αποθηκεύσει στον σκληρό δίσκο ή στην αφαιρούμενη κάρτα μνήμης που διαθέτει. [<http://www.topconstore.com/content/gpt-7000i-imaging-station>]

Στον πίνακα 1.1 παρατίθενται συνοπτικά όλα τα προαναφερθέντα τεχνικά χαρακτηριστικά του σταθμού.

TOPCON IS-201	
Μέτρηση γωνιών	
Μέθοδος	Απόλυτη Ανάγνωση
Ελάχιστη Ανάγνωση	1" / 5" (0,2 / 1mgon)
Ακρίβεια	1" (1mgon)
Αντισταθμιστής Οριζοντίωσης	Δύο Αξόνων
Εύρος Αντισταθμιστή	±6"
Τηλεσκόπιο	
Μήκος	165mm
Αντικειμενικός Φακός	45mm (EDM 50mm)
Μεγέθυνση	30x
Εικόνα	Erect
Field of View	1ο 30'
Διακριτική Ικανότητα	3"
Ελάχιστη Εστίαση	1.4m
Μέτρηση μηκών Με ανακλαστήρα	
Εμβέλεια 1/ 3/ 9 Πρίσματα	3000m /4000m /5000m
Ακρίβεια	± (2mm±2ppm x D*) m.s.e.
Χωρίς ανακλαστήρα	
- Μικρές Αποστάσεις	1.5m – 250m
Ακρίβεια	±5mm m.s.e.
- Μεγάλες Αποστάσεις	5m – 2000m
Ακρίβεια	±(10mm±10ppm x D*) m.s.e.
Ταχύτητα scanning	Έως 20Hz ±5mm m.s.e.
Τάξη Laser EDM	Τάξη 1
Αυτόματος Εντοπισμός Στόχου	
Ταχύτητα Εντοπισμού	15ο /sec
Εμβέλεια Εντοπισμού	1000m (με το στάνταρ πρίσμα)
Ταχύτητα Περιστροφής	85ο /sec
IMAGING	
Ψηφιακή Φωτογραφική Μηχανή	(2ccd) 1.3M pixel
Ταχύτητα εικόνας	Έως 15fps
Scanning	Max 20 points /sec
Τεχνικά χαρακτηριστικά σταθμού	
Λειτουργικό (OS)	Microsoft Windows CEo NET 4.2
Επεξεργαστής	Intel PXA255 400 MHz
Οθόνη	Έγχρωμη οθόνη τεχνολογίας αφής
Εμβέλεια Επικοινωνίας	Έως 900m
Στόχευση Laser Pointer	LD (ορατό Laser)
Μνήμη	128 MB/RAM 2 MB Flash Rom 1 GB micro SD Card

Πίνακας 1.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά του γεωδαιτικού σταθμού Topcon IS201.[www.Topcon.co.jp]

1.3.2. Ο χωροεικονογεωδαιτικός σταθμός TRIMBLE VX

Ο γεωδαιτικός σταθμός απεικόνισης VX της Trimble (εικόνα 1.2) ενσωματώνει γεωδαιτικό σταθμό και τριδιάστατο σαρωτή σε μία μονάδα. Προσφέρει παρόμοιες λειτουργίες με τον γεωδαιτικό σταθμό IS της Topcon, διαθέτει εξαιρετικής ποιότητας οπτικά συστήματα, δυνατότητα τριδιάστατης σάρωσης και τεχνολογία ψηφιακής απεικόνισης ώστε τα σημεία που συλλέγει να έχουν υψηλής ακρίβειας συντεταγμένες μαζί με την αντίστοιχη χωρική πληροφορία.



Εικόνα 1.2: Γεωδαιτικός σταθμός Trimble VX. [www.Trimble.com]

Ο σταθμός Trimble VX συλλέγει δεδομένα τοπογραφικής ακρίβειας με επίγεια μέθοδο όπως ένας συμβατικός γεωδαιτικός σταθμός. Διαθέτει εκτός από τη αναλογική οριζοντίωση (σωληνωτή-σφαιρική αεροστάθμη) και ψηφιακή για την καλύτερη και ακριβέστερη ρύθμιση του οργάνου. Οι κοχλίες μετακίνησης είναι ατέρμονοι και λειτουργούν παράλληλα με την

μικροκίνηση. Διαθέτει επίσης σερβομηχανισμούς για την ρομποτική του λειτουργία (ATR, αυτόματη εναλλαγή I-II θέσης τηλεσκοπίου κ.α.).

Για την μέτρηση των μηκών το βεληνεκές του μπορεί να φτάσει με κατάλληλο ανακλαστήρα τα 5500m ενώ στην λειτουργία reflectorless μπορεί να αποτυπώνει σημεία στα 1600m. Διαθέτει για την λήψη φωτογραφιών και την στόχευση σημείων μέσω της οθόνης του μία κάμερα υψηλής ανάλυσης 3Mp, με ψηφιακή μεγέθυνση που μπορεί να φτάσει έως και 8x.

Στη διαδικασία της σάρωσης το αντίστοιχο λογισμικό δίνει την δυνατότητα επιλογής της επιφάνειας μέσα από την οθόνη του χειριστηρίου του οργάνου με προκαθορισμένες μεθόδους επιλογής όπως ορθογώνιο παραλληλόγραμμο, πολύγωνο, κ.α.

Το βήμα σάρωσης μπορεί να επιλεγθεί είτε επιλέγοντας τον αριθμό των σημείων που επιθυμούνται να μετρηθούν είτε το γραμμικό ή γωνιακό βήμα σάρωσης.

Παράλληλα λαμβάνονται και οι αντίστοιχες φωτογραφίες της επιφάνειας σάρωσης ώστε να συμπληρωθεί η χωρική πληροφορία. Τέλος η ταχύτητα σάρωσης του οργάνου ξεκινά από τα 5 σημεία/sec και μπορεί να φτάσει έως και τα 15 σημεία/sec.

Έχει επίσης την δυνατότητα να συνδέεται με H/Y μέσω θύρας USB ή ασύρματα μέσω τεχνολογίας Bluetooth. Τα μετρούμενα δεδομένα μπορεί να τα αποθηκεύει στον σκληρό του δίσκο ή στην αφαιρούμενη κάρτα μνήμης ή στην εσωτερική μνήμη που διαθέτει το ειδικό χειριστήριο TCU. [www.Trimble.com]

Στον πίνακα 1.2 παρατίθενται συνοπτικά όλα τα προαναφερθέντα τεχνικά χαρακτηριστικά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΧΩΡΕΙΚΟΝΟΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ – SPATIAL IMAGING TOTAL STATION

VX TRIMBLE	
Μέτρηση γωνιών	
Μέθοδος	Απόλυτη Ανάγνωση
Ελάχιστη Ανάγνωση	1" / 5" (0,2 / 1mgon)
Ακρίβεια	1" (1mgon)
Αντισταθμιστής Οριζοντίωσης	Δύο Αξόνων
Εύρος Αντισταθμιστή	±6"
Τηλεσκόπιο	
Μήκος	165mm
Αντικειμενικός Φακός	45mm (EDM 50mm)
Μεγέθυνση	30x
Εικόνα	Erect
Field of View	1ο 30'
Διακριτική Ικανότητα	3"
Ελάχιστη Εστίαση	1.5m
Μέτρηση μηκών Με ανακλαστήρα	
Εμβέλεια	5500m
Ακρίβεια	± (2mm±2ppm x D*) m.s.e.
Χωρίς ανακλαστήρα	
- Μικρές Αποστάσεις	1.5m – 250m
Ακρίβεια	±5mm m.s.e.
- Μεγάλες Αποστάσεις	5m – 2000m
Ακρίβεια	±(10mm±2ppm x D*) m.s.e.
Ταχύτητα scanning	Έως 15Hz ±5mm m.s.e.
Τάξη Laser EDM	Τάξη 1
Αυτόματος Εντοπισμός Στόχου	
Ταχύτητα Εντοπισμού	15ο /sec
Εμβέλεια Εντοπισμού	1000m (με το στάνταρ πρίσμα)
Ταχύτητα Περιστροφής	85ο /sec
IMAGING	
Ψηφιακή Φωτογραφική Μηχανή	3M pixel
Ταχύτητα εικόνας	Έως 5fps
Scanning	Max 15 points /sec
Τεχνικά χαρακτηριστικά σταθμού	
Λειτουργικό (OS)	Microsoft Windows CEo NET 4.2
Επεξεργαστής	Intel PXA255 400 MHz
Οθόνη	Έγχρωμη οθόνη τεχνολογίας αφής
Εμβέλεια Επικοινωνίας	Έως 900m
Στόχευση Laser Pointer	LD (ορατό Laser)
Μνήμη	256 MB/RAM 2 MB Flash Rom 1 GB micro SD Card

Πίνακας 1.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά του γεωδαιτικού σταθμού Trimble VX [www.Trimble.com]

Το χειριστήριο TCU(εικόνα 1.3) είναι ένα από τα πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου γεωδαιτικού σταθμού. Μπορεί είτε να βρίσκεται πάνω στο όργανο και να αποτελεί την ‘οθόνη’ του είτε να αποσπάται από το όργανο και με σύνδεση Bluetooth είναι δυνατός ο χειρισμός του από απόσταση. Διαθέτει λογισμικό που το καθιστά εύκολο στην χρήση. Τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά του χειριστηρίου είναι:

- Ενσωματώνει τεχνολογία επικοινωνίας Bluetooth και έγχρωμη οθόνη γραφικών TFT υψηλής ανάλυσης
- Έχει εσωτερική μνήμη 256 Mb.
- Προσφέρεται με ενσωματωμένο το λογισμικό Trimble Survey Controller που επιτρέπει τον έλεγχο της λειτουργίας γεωδαιτικών σταθμών και συστημάτων GPS.



Εικόνα 1.3: Το χειριστήριο TCU του Trimble VX. [www.Trimble.com]

1.3.3. Σύγκριση των δύο σταθμών

Πολλά από τα χαρακτηριστικά των οργάνων που παρουσιάστηκαν παραπάνω είναι κοινά, ωστόσο έχουν ορισμένες σημαντικές διαφορές μεταξύ τους.

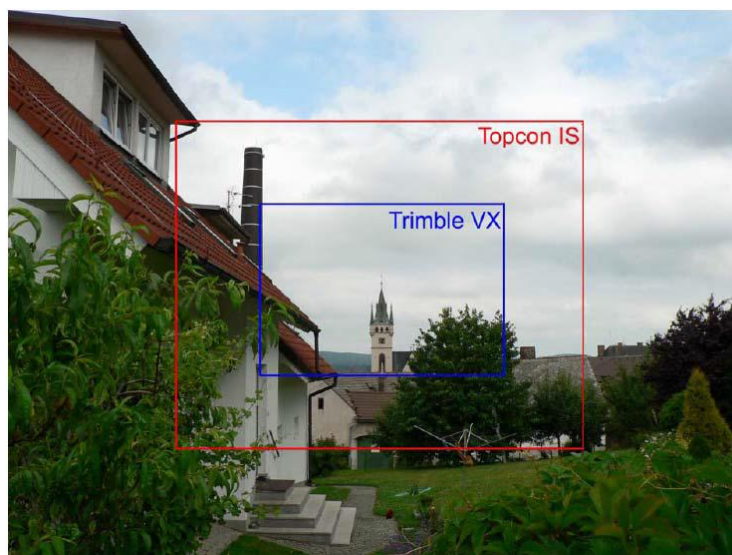
Αναλυτικότερα όσον αφορά τα κοινά τους χαρακτηριστικά, και το **Topcon IS Imaging Station** και το **Trimble VX Spatial Station**, είναι εξοπλισμένα με ψηφιακή κάμερα. Είναι τοποθετημένη με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε μπορεί να περιστρέφεται μαζί με το τηλεσκόπιο και να συλλέγει τις εικόνες του υπό σάρωσης αντικειμένου.

Επίσης οι γεωδαιτικοί σταθμοί έχουν την δυνατότητα να εκτελέσουν την λειτουργία σάρωσης χωρίς την βοήθεια ανακλαστήρα. Διαθέτουν σερβομηχανισμούς και για τις δύο κινήσεις του τηλεσκοπίου (οριζόντια – κατακόρυφη). Τέλος μπορούν και τα δύο να ελεγχθούν από μακριά χρησιμοποιώντας χειριστήριο, το οποίο συνδέεται με το όργανο με την βοήθεια καλωδίου ή ασύρματα.

Η βασική διαφορά που έχουν παρουσιάζεται στον αριθμό των καμερών που είναι τοποθετημένη σε κάθε ένα από αυτά και στην φιλοσοφία της λήψης εικόνων.

Ο γεωδαιτικός σταθμός της Trimble VX είναι εξοπλισμένος με μία ψηφιακή ευρείας γωνίας κάμερα που βρίσκεται εξωτερικά του τηλεσκοπίου, ανάλυσης 3 Mp. Η εικόνα απεικόνισης μεγεθύνει έως 8x. Ο γεωδαιτικός σταθμός της Topcon IS είναι εξοπλισμένο με δύο ψηφιακές ευρείας γωνίας κάμερες, ανάλυσης 1.3 Mp η καθεμία, όπου η μία είναι τοποθετημένη εσωτερικά στο τηλεσκόπιο και η άλλη τοποθετημένη εξωτερικά του τηλεσκοπίου και παράλληλα της πρώτης για μία πιο γενική τεκμηρίωση. Η εικόνα απεικόνισης μεγεθύνει έως και 4x.

Για την ταχύτητα λήψης εικόνας, και τα δύο όργανα έχουν ικανοποιητική συχνότητα, η οποία πρέπει τουλάχιστον να είναι μεγαλύτερη από 2 fps (frames per second) διότι συχνότητες μικρότερες από αυτές επιβραδύνουν την λειτουργία του οργάνου. Έτσι η ταχύτητα για το Trimble VX είναι 5 fps και για το Topcon IS είναι 15 fps.



*Εικόνα 1.4: Το μέγεθος της εικόνας που λαμβάνει το κάθε όργανο.
[www.intergeo-east.com]*

Οι διαφορές των δύο γεωδαιτικών σταθμών φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

	TOPCON IS 201	TRIMBLE VX
	Κάμερα	
Αισθητήρας ανίχνευσης	2 κάμερες: ευρεία και τηλεσκόπιο, έγχρωμη ψηφιακή κάμερα	1 κάμερα: ευρεία έγχρωμη ψηφιακή κάμερα
Field of view	33° x 33°	16,5ο x12,3ο
Pixels	(2ccd) 1.3M pixel	3 M pixel
Ανάλυση	1280x1024	2048x1536
Ταχύτητα εικόνας	Έως 15fps	5 fps
Μέτρηση αποστάσεων	± 5mm (χωρίς πρίσμα<250μ)	
	± 10mm ±10ppm(χωρίς πρίσμα>250 μ)	± 5mm ± 2ppm (χωρίς πρίσμα > 300μ)
	± 2mm ± 2ppm (με πρίσμα)	±3mm ± 2ppm
Βεληνεκές	2000 (χωρίς πρίσμα) 3000 (με πρίσμα)	1600 (χωρίς πρίσμα) 5500 (με πρίσμα)
Scanning	Max 20 points /sec	Max 15 points /sec
LCD	3,5” έγχρωμη TFT	3,5” έγχρωμη TFT
Ανάλυση	320x240 dots	320x240 dots

Πίνακας 1.3: Σύγκριση των τεχνικών χαρακτηριστικών του Topcon IS 201 και του Trimble VX

Συμπεραίνεται ότι και οι δύο αυτοί γεωδαιτικοί σταθμοί υψηλής ποιότητας έχουν τον κατάλληλο εξοπλισμό καμερών για την εκτέλεση υψηλών προδιαγραφών τοπογραφικών εργασιών, τεκμηρίωσης και απεικόνισης αντικειμένων.

Το σύστημα καμερών του VX είναι ισχυρότερο στον τομέα της μακρινής λειτουργίας ωστόσο χρησιμοποιεί μικρότερες εικόνες. Το σύστημα που χρησιμοποιεί ο IS, παρόλο που δεν έχει την ίδια ψηφιακή μεγέθυνση, μπορεί και συλλέγει μεγαλύτερες εικόνες προσφέροντας ψηφιακές εικόνες με την ίδια σχεδόν ποιότητα.

1.4. Αντικείμενο της εργασίας

Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η προεκτίμηση των παραμέτρων σάρωσης και η σάρωση αντικειμένων με την χρήση εικονογεωδαιτικών σταθμών.

Αυτό απαιτεί την γνώση της αβεβαιότητας των γεωδαιτικών σταθμών καθώς και την αβεβαιότητα με την οποία θα προσδιοριστούν τα μετρημένα στοιχεία.

Με την χρήση της μεθόδου Monte Carlo είναι δυνατός ο προσδιορισμός των παραμέτρων της σάρωσης δηλαδή της απόστασης και του ελάχιστου βήματος σάρωσης.

Για την εφαρμογή χρησιμοποιήθηκαν γεωμετρικά και μή αντικείμενα συγκεκριμένα τα οποία σαρώθηκαν με συγκεκριμένο βήμα και κατασκευάστηκε το μοντέλο τους.

Συνολικά το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι:

- Προεκτίμηση των παραμέτρων σάρωσης με την χρήση της μεθόδου Monte Carlo.
- Σάρωση γεωμετρικών επιφανειών με εφαρμογή σε παραλληλεπίπεδο και σφαίρα.
- Σάρωση μη γεωμετρικών επιφανειών με εφαρμογή σε πρανές του κρατήρα του ηφαιστείου της Νισύρου.

Σκοπός λοιπόν είναι, να εκτιμηθούν πριν από οποιαδήποτε εργασία έχοντας ως δεδομένο την αβεβαιότητα μέτρησης γωνιών και μηκών των γεωδαιτικών σταθμών, οι παράμετροι της σάρωσης. Επίσης είναι η αξιολόγηση της διαδικασίας από πλευράς ευχρηστίας, ακρίβειας, ταχύτητας και η σύγκρισή της με την αντίστοιχη των Laser Scanners.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Η ΠΡΟΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΑΡΩΣΗΣ ΜΕ ΧΩΡΟΕΙΚΟΝΟΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟ ΣΤΑΘΜΟ

2.1. Η μέθοδος Monte Carlo

Η μέθοδος Monte Carlo (MC) είναι μια τεχνική όπου μπορεί να δώσει κατά προσέγγιση λύση σε ένα πλήθος μαθηματικών προβλημάτων με την εκτέλεση στατιστικών πειραμάτων δειγματοληψίας. Το καθοριστικό χαρακτηριστικό αυτής της μεθόδου είναι ότι κάνει χρήση τυχαίων αριθμών στις προσομοιώσεις της. Η παραγωγή των αριθμών αυτών μπορεί να γίνει είτε με την χρήση κάποιας κατανομής (κανονική κατανομή, κατανομή Gauss, κλπ.) είτε με την χρήση κάποιας πολυωνυμικής συνάρτησης.

Η μέθοδος αυτή επισήμως χρησιμοποιείται από την δεκαετία του 1940 όπου εφαρμόστηκε στον τομέα της πυρηνικής φυσικής στα εργαστήρια των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής. Πήρε το όνομά της από την πρωτεύουσα του Μονακό Μοντεκάρλο για λόγους συμβολισμού. Στην περιοχή αυτή λειτουργούν πολλά καζίνο και η ρουλέτα είναι μία καλή γεννήτρια τυχαίων αριθμών. Επίσης υπήρχε κάποια φυσική σύνδεση δημιουργών της με την πόλη αυτή.

Η μέθοδος έγινε ευρέως γνωστή μετά την εξέλιξη της τεχνολογίας των υπολογιστών. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι υπολογιστές είναι σε θέση να εκτελέσουν εκατομμύρια προσομοιώσεις και υπολογισμούς πολύ πιο αποτελεσματικά και γρήγορα από ότι πριν. Αυτό είναι ένας σημαντικός παράγοντας για την δυναμική της συγκεκριμένης μεθόδου καθώς μπορεί να παρέχει μία προσεγγιστική λύση γρηγορότερα και με υψηλότερο επίπεδο ακρίβειας.

Το χαρακτηριστικό της μεθόδου είναι ότι παρέχει μία προσέγγιση ως λύση στο εξεταζόμενο πρόβλημα. Όμως για να μπορέσει να αξιολογηθεί η ποιότητα αυτής της προσέγγισης, δίνεται ένας συντελεστής που είναι το σφάλμα της προσέγγισης. Η προσπάθεια για την ελαχιστοποίηση αυτού του συντελεστή σφαλμάτων είναι η αιτία για την ύπαρξη πολλών διαφορετικών παραλλαγών της τεχνικής Monte Carlo.

2.2. Η εφαρμογή της μεθόδου MC στη σάρωση αντικειμένων

Για να γίνει έλεγχος και σύγκριση των μοντέλων κάποιων αντικειμένων με γνωστή γεωμετρία με τα πρότυπα τους είναι απαραίτητο να είναι γνωστά όλα τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του αντικειμένου καθώς και τα χαρακτηριστικά του γεωδαιτικού οργάνου το οποίο θα χρησιμοποιηθεί στην σάρωση του αντικειμένου.

Η μέθοδος Monte Carlo χρησιμοποιείται πριν την διαδικασία της σάρωσης του αντικειμένου και χρησιμοποιεί ως δεδομένα εισόδου τις αβεβαιότητες του γεωδαιτικού σταθμού που θα χρησιμοποιηθεί καθώς και την απόσταση σάρωσης.

Αρχικά με την χρήση των αβεβαιοτήτων του γεωδαιτικού σταθμού και με δεδομένη μια θεωρητική απόσταση σάρωσης του αντικειμένου από τον γεωδαιτικό σταθμό, υπολογίστηκαν οι αβεβαιότητες των συντεταγμένων x_i , y_i , z_i . Ο υπολογισμός των αβεβαιοτήτων αυτών έγινε με την χρήση των τύπων 2.1, 2.2 και με την χρήση της τεχνικής Monte Carlo.

$$\sigma_{x_i} = \sigma_{y_i} \approx \pm \sqrt{\sigma_{D_i}^2 + \frac{D_i}{(\rho^{cc})^2} \cdot (\sigma_z^2 + \sigma_a^2)} \quad (2.1)$$

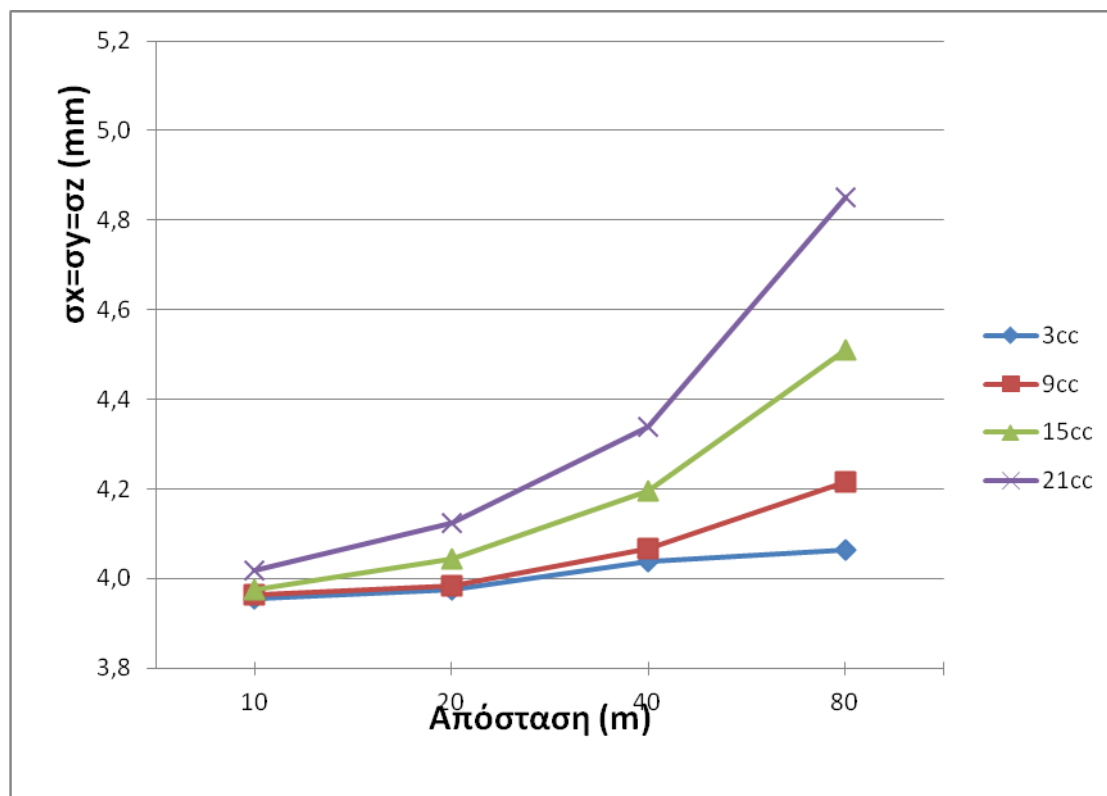
$$\sigma_{z_i} \approx \pm \sqrt{\sigma_{D_i}^2 + D_i^2 \cdot \left(\frac{\sigma_z}{\rho^{cc}}\right)^2} \quad (2.2)$$

Όπου: σ_{x_i} , σ_{y_i} και σ_{z_i} οι αβεβαιότητες των συντεταγμένων
 σ_z η αβεβαιότητα μέτρησης γωνιών
 σ_a η αβεβαιότητα του αζιμουθίου
 D_i το μήκος σάρωσης
 σ_{D_i} η αβεβαιότητα της μέτρησης του μήκους

Σύμφωνα με την μέθοδο MC για τον υπολογισμό των αβεβαιοτήτων ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία. Αρχικά ορίστηκαν δύο κανονικές κατανομές όπου είχαν ως αφετηρία το 0 και τυπική απόκλιση η μία την αβεβαιότητα μέτρησης μηκών και η δεύτερη την αβεβαιότητα μέτρησης γωνιών. Στην έγιναν 10000 επαναλήψεις λαμβάνοντας κάθε φορά έναν τυχαίο αριθμό και για τις δύο κατανομές όπου αντιπροσωπεύουν τα σ_D και σ_z στις εξισώσεις 2.1, 2.2. Στη συνέχεια με την χρήση των εξισώσεων

2.1,2.2 υπολογίστηκε για κάθε επανάληψη ένα σ_{xi} , σ_{yi} και σ_{zi} . Στο τέλος δινόταν ο μέσος όρος των αβεβαιοτήτων σ_{xi} , σ_{yi} και σ_{zi} όπου και αυτός χρησιμοποιήθηκε στην συνέχεια της διαδικασίας.

Στην συνέχεια υπολογίστηκαν όπως φαίνεται στο διάγραμμα 2.1 οι αβεβαιότητες των συντεταγμένων έχοντας για σταθερή την αβεβαιότητα μέτρησης μηκών που είναι ίση με $\pm 5\text{mm}$ και διαφορετική κάθε φορά γωνιακή αβεβαιότητα ίση με 3^{cc} , 9^{cc} , 15^{cc} , 21^{cc} και απόσταση σάρωσης ίση με 10m, 20m, 40m, 80m.



Διάγραμμα 2.1: Οι σ_{xi} , σ_{yi} , σ_{zi} αβεβαιότητες για διαφορετική γωνιακή ακρίβεια και απόσταση σάρωσης

Αφού υπολογίστηκε η αβεβαιότητα των συντεταγμένων σ_{xi} , σ_{yi} και σ_{zi} στην συνέχεια ακολουθείται για κάθε αντικείμενο η διαδικασία υπολογισμού του σ_0 της προσαρμογής της επιφάνειας της.

2.2.1. Εφαρμογή σε επίπεδο

Όπως προαναφέρθηκε για να είναι δυνατή η εφαρμογή της μεθόδου MC πρέπει να είναι γνωστά τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του

αντικειμένου, καθώς και οι αβεβαιότητες μέτρησης μηκών και γωνιών του γεωδαιτικού σταθμού που θα χρησιμοποιηθεί.

Το αντικείμενο που επιλέχθηκε για την εφαρμογή της μεθόδου ήταν ένα επίπεδο του οποίου οι διαστάσεις ήταν μικρές, της τάξης των 15cm x15cm.

Θεωρητικά υπολογίστηκε η εξίσωση του επιπέδου και δημιουργήθηκαν σημεία όπου οι συντεταγμένες τους επαλήθευαν την εξίσωση του επιπέδου. Αυτές εισάγονται ως δεδομένα στην διαδικασία που ακολουθεί η μέθοδος Monte Carlo για να γίνει προσαρμογή επιφάνειας και να υπολογιστεί το σ_0 της προσαρμογής.

Στην συνέχεια οι συντεταγμένες των σημείων αυτών αφού εισαχθούν στην μέθοδο Monte Carlo πολλαπλασιάζεται η κάθε μία με ένα τυχαίο αριθμό που ακολουθεί την κανονική κατανομή με αφετηρία το 0 και τυπική απόκλιση την αβεβαιότητα προσδιορισμού των συντεταγμένων σ_x . Ο αριθμός αυτός επιλέγεται τυχαία και αποτελεί το σφάλμα στον προσδιορισμό της συγκεκριμένης συντεταγμένης. Αφού πολλαπλασιαστούν όλες οι συντεταγμένες, γίνεται προσαρμογή επιφάνειας με την Μέθοδο των Ελαχίστων Τετραγώνων και υπολογίζεται το σ_0 της προσαρμογής.

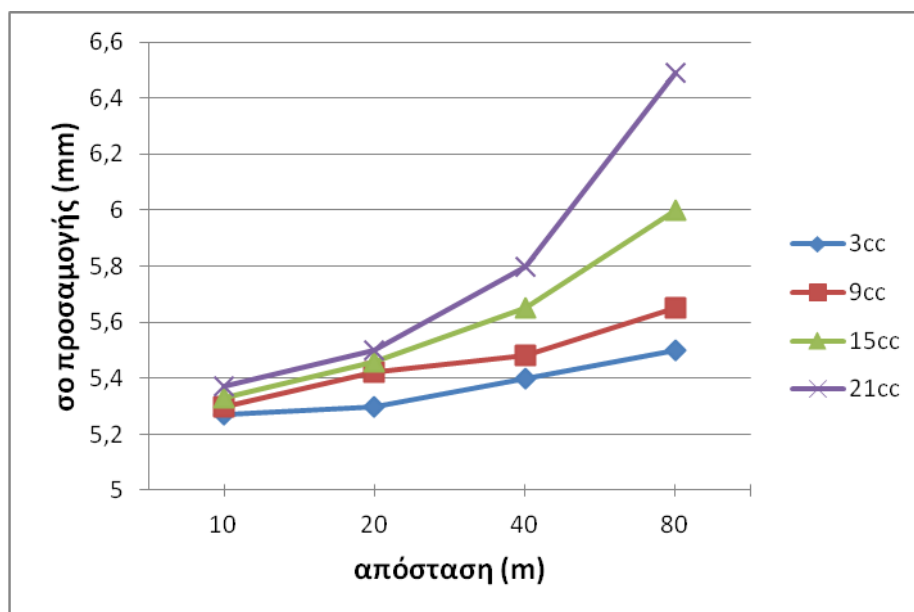
Η συγκεκριμένη διαδικασία επαναλαμβάνεται πολλές φορές, περίπου 10000, και υπολογίζεται ο μέσος όρος των σ_0 .

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται το σ_0 της προσαρμογής που έγινε ανάλογα την ακρίβεια του εικονογεωδαιτικού σταθμού που θα εκτελέσει την σάρωση και την απόσταση σάρωσης.

Ωστόσο επειδή παρατηρείται ότι η αβεβαιότητα σ_0 της προσαρμογής είναι πολύ κοντά στην αβεβαιότητα των συντεταγμένων και ότι δεν υπάρχει μεγάλη αλλαγή ανάλογα με την απόσταση και των γεωδαιτικό σταθμό κρίθηκε σκόπιμο να εξεταστεί σε θεωρητικό επίπεδο ένα επίπεδο με μεγαλύτερες διαστάσεις. Ο λόγος που δημιουργείται ένα θεωρητικό επίπεδο μεγαλύτερων διαστάσεων είναι για να διαπιστωθεί αν το μέγεθος του αντικειμένου που πρόκειται να σαρωθεί επηρεάζει το αποτέλεσμα εφαρμογής της μεθόδου.

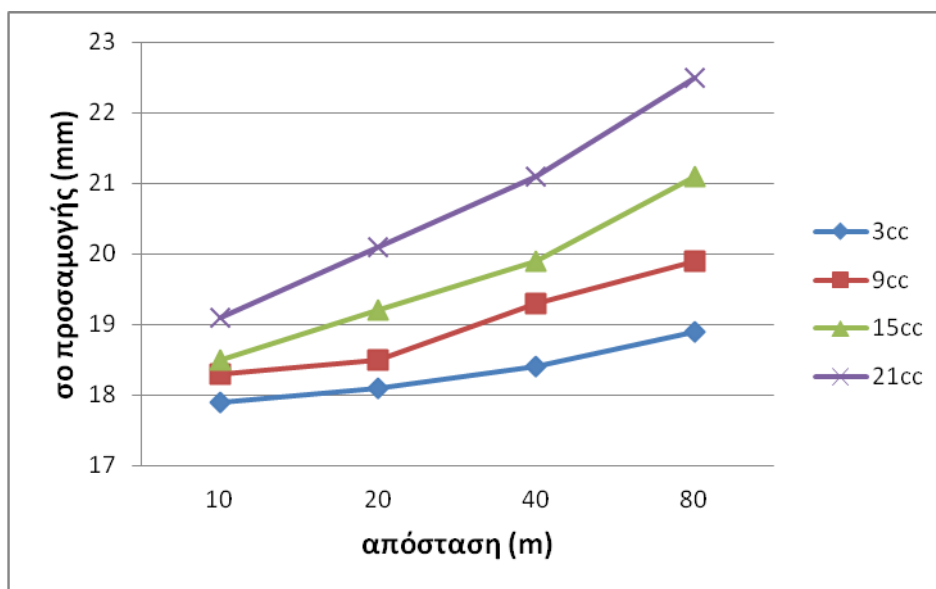
Επιλέχθηκε τυχαία ένα επίπεδο όπου είχε εξίσωση $5x+8y-2z=0$. Δημιουργήθηκαν σημεία όπου ικανοποιούσαν την παραπάνω εξίσωση, πάνω σε ένα κάρναβο με βήμα κατά x και κατά y ίσο με 0.2m. Οι διαστάσεις του επιπέδου αυτού δεν ξεπερνούσαν το 1m x 1m.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Η ΠΡΟΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΑΡΩΣΗΣ ΜΕ ΧΩΡΟΕΙΚΟΝΟΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟ ΣΤΑΘΜΟ



Διάγραμμα 2.2: Η a-priori αβεβαιότητα σ_0 της προσαρμογής σε μικρό αντικείμενο - επίπεδο

Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία που ακολουθήθηκε και για το μικρότερο επίπεδο έγινε προσαρμογή επιφάνειας και υπολογίστηκε το σ_0 (διάγραμμα 2.3) σε σχέση με την αβεβαιότητα μέτρησης γωνιών από τον γεωδαιτικό σταθμό και την απόσταση σάρωσης.



Διάγραμμα 2.3: Η a-priori αβεβαιότητα σ_0 της προσαρμογής σε αντικείμενο - επίπεδο μεγάλων διαστάσεων

Συγκρίνοντας τα διαγράμματα μπορούν να εξαχθούν κάποια συμπεράσματα. Αρχικά παρατηρείται ότι το σ_0 επηρεάζεται περισσότερο από την αβεβαιότητα μέτρησης των γωνιών και την απόσταση στην σάρωση αντικείμενου μεγαλύτερων διαστάσεων.

Επίσης η επιλογή των παραμέτρων σάρωσης παίζει σημαντικό ρόλο αφού καθώς όσο αυξάνεται η αβεβαιότητα μέτρησης γωνιών και η απόσταση σάρωσης τόσο μεγαλώνει και το σ_0 της προσαρμογής.

2.2.2. Εφαρμογή στη σφαίρα

Η ίδια ακριβώς διαδικασία ακολουθήθηκε και για την εφαρμογή της μεθόδου στην σφαίρα. Αρχικά επιλέχθηκε μία σφαίρα μικρού μεγέθους για να εφαρμοστεί η μέθοδος MC. Η σφαίρα αυτή είχε ως κέντρο το $(0,0,0)$ και ακτίνα 100mm.

Στην συνέχεια δημιουργήθηκαν σημεία στην επιφάνεια τη σφαίρας με την βοήθεια των σφαιρικών συντεταγμένων σύμφωνα με τις σχέσεις 2.3,2.4,2.5. Όπου:

$$x=R \cdot \sin\theta \cdot \cos\varphi \quad (2.3)$$

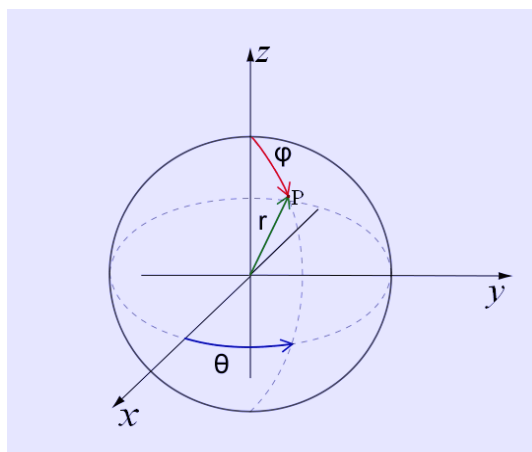
$$y=R \cdot \sin\theta \cdot \sin\varphi \quad (2.4)$$

$$z=R \cdot \cos\theta \quad (2.5)$$

Όπου: x,y,z οι συντεταγμένες των σημείων πάνω στην σφαίρα

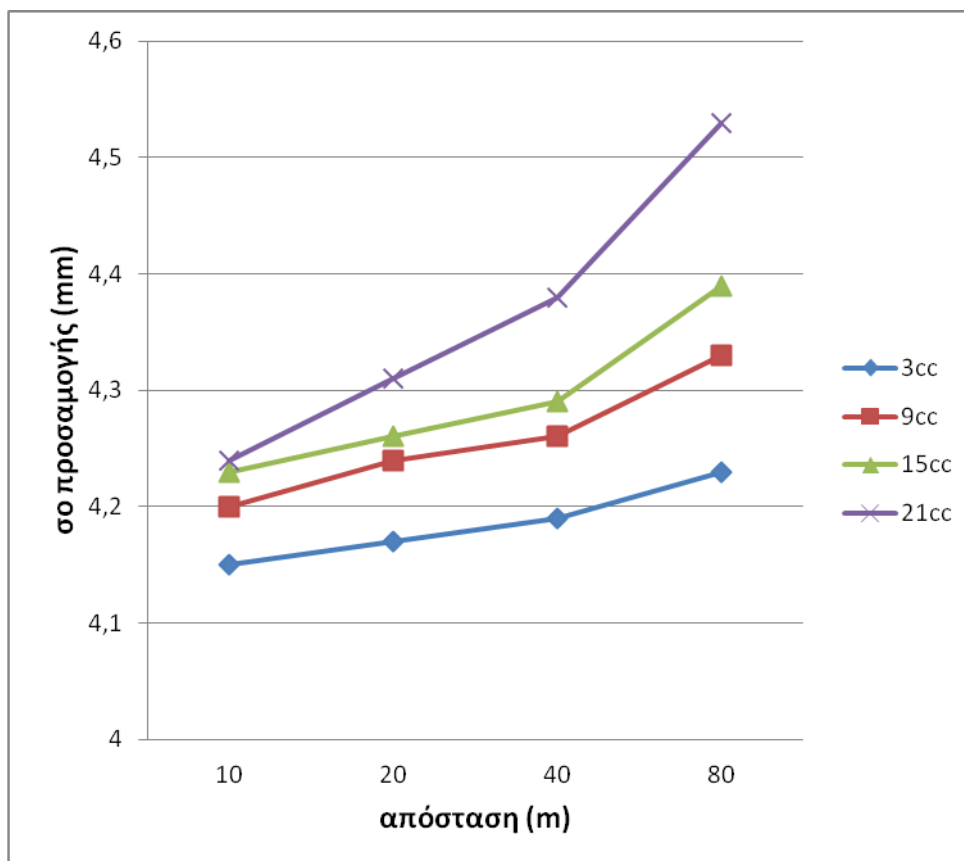
R η ακτίνα της σφαίρας

θ,φ οι διεδρες γωνίες κατά μήκος και πλάτος της σφαίρας(εικόνα 2.1)



Εικόνα 2.1: Παρουσίαση μεγεθών σφαιρικών συντεταγμένων

Όπως φαίνεται από το διάγραμμα 2.4 η αβεβαιότητα σ_0 της προσαρμογής της επιφάνειας της σφαίρας μεταβάλλεται πολύ λίγο ανάλογα με την απόσταση και την ακρίβεια του οργάνου. Επίσης ορισμένες τιμές είναι πολύ κοντά ή και κάτω από την τιμή της αβεβαιότητας προσδιορισμού των συντεταγμένων σ_x το οποίο δεν είναι αποδεκτό πιθανόν επειδή το μέγεθος του αντικειμένου είναι αρκετά μικρό.

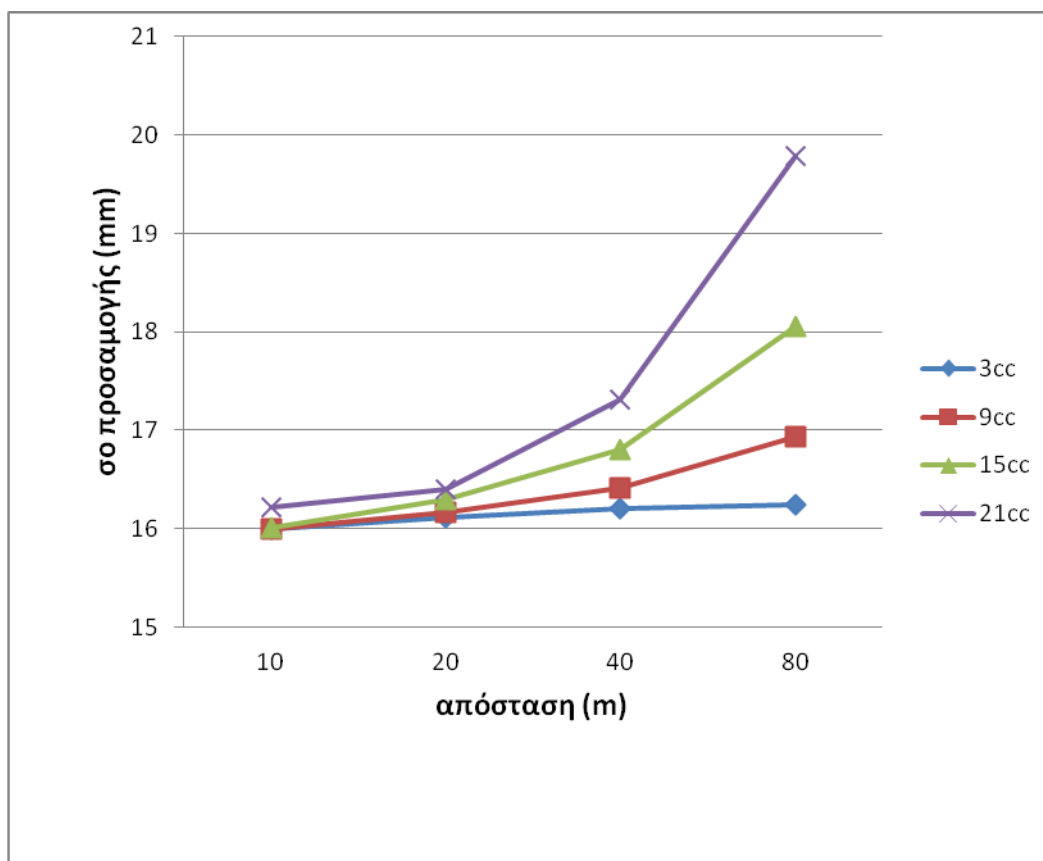


Διάγραμμα 2.4: Η a-priori αβεβαιότητα σ_0 της προσαρμογής σε σφαίρα μικρών διαστάσεων

Στη συνέχεια δημιουργήθηκε μία σφαίρα μεγαλύτερων διαστάσεων ώστε να εφαρμοστεί η μέθοδος Monte Carlo αλλά και να διαπιστωθεί αν επηρεάζεται η μέθοδος από το μέγεθος του αντικειμένου που πρόκειται να σαρωθεί.

Η σφαίρα που επιλέχθηκε να δημιουργηθεί είχε ως κέντρο το (0,0,0) και ακτίνα 0.5m. Στην συνέχεια δημιουργήθηκαν σημεία στην επιφάνεια τη σφαίρας με την βοήθεια των σφαιρικών συντεταγμένων ακριβώς με τον ίδιο τρόπο που έγινε και για την σφαίρα μικρότερου μεγέθους χρησιμοποιώντας τις σχέσεις 2.3,2.4,2.5.

Αφού παρήχθησαν τα σημεία, χρησιμοποιήθηκαν οι συντεταγμένες τους στα δεδομένα εισόδου της μεθόδου και ακολουθήθηκε η διαδικασία προσαρμογής επιφάνειας και υπολογισμού του σ_0 της. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο διάγραμμα 2.4.



Διάγραμμα 2.5: Η a-priori αβεβαιότητα σ_0 της προσαρμογής σε σφαίρα μεγάλων διαστάσεων

Όπως διαπιστώθηκε από τα παραπάνω η εφαρμογή της μεθόδου Monte Carlo λειτουργεί καλύτερα για αντικείμενα τα οποία έχουν διαστάσεις μεγαλύτερες από τις θεωρητικές διαστάσεις των μικρών αντικειμένων που εξετάστηκαν.

Επίσης η απόσταση και η γωνιακή ακρίβεια του οργάνου είναι καθοριστικές παράμετροι της σάρωσης αφού επηρεάζουν αρκετά την αβεβαιότητα της προσαρμογής της επιφάνειας.

2.3. Υπολογισμός βήματος και απόστασης σάρωσης

Για τον υπολογισμό και την επιλογή του κατάλληλου βήματος αλλά και της απόστασης σάρωσης σημαντικό ρόλο παίζει το α -priori σ_0 της προσαρμογής. Αυτό προϋποθέτει ότι έχει γίνει η εφαρμογή της μεθόδου Monte Carlo για τις διαστάσεις του αντικειμένου που πρόκειται να σαρωθεί.

Το ελάχιστο σ_0 προκύπτει από τον συνδυασμό της μικρότερης απόστασης σάρωσης και γωνιακής ακρίβειας του γεωδαιτικού σταθμού. Αυτό αποτελεί το στοιχείο για τον υπολογισμό του ελάχιστου βήματος σάρωσης και κατ'έκταση τον μέγιστο αριθμό σημείων που θα μετρηθούν με την σάρωση.

Το βήμα σάρωσης, το οποίο είναι ίδιο κατά την οριζόντια και κατακόρυφη διεύθυνση, υπολογίζεται από:

$$s = \sigma_0 \cdot Z_{95} \quad (2.6)$$

Όπου: s το ελάχιστο βήμα σάρωσης

σ_0 η α -priori αβεβαιότητα προσαρμογής επιφάνειας

Z_{95} η τιμή που αντιστοιχεί στο επίπεδο εμπιστοσύνης 95%

Μικρότερο βήμα σάρωσης από αυτό δεν θα ήταν χρήσιμο αφού θα ήταν εντός της αβεβαιότητας της προσαρμογής και δεν θα απέφερε καλύτερα αποτελέσματα.

Ο αριθμός των σημείων (σχέση 2.7) που πρέπει να μετρηθούν κατά την σάρωση υπολογίζεται με την βοήθεια του ελάχιστου βήματος σάρωσης και του εμβαδού της επιφάνειας που πρέπει να σαρωθεί.

$$n = \frac{E}{s^2} \quad (2.7)$$

Όπου: n ο αριθμός των σημείων που θα μετρηθούν

E το εμβαδόν της επιφάνειας που θα σαρωθεί

s το ελάχιστο βήμα σάρωσης

Στην θεωρητική ανάλυση που προηγήθηκε υπολογίστηκε το ελάχιστο βήμα και απόσταση σάρωσης. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 2.1.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Η ΠΡΟΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΑΡΩΣΗΣ ΜΕ ΧΩΡΟΕΙΚΟΝΟΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟ ΣΤΑΘΜΟ

	Επίπεδο 15cm x 15cm	Επίπεδο 1m x 1m	Σφαίρα R=100mm	Σφαίρα R=500mm
Απόσταση	10m	10m	10m	10m
Βήμα σάρωσης	1cm	3.6cm	1cm	3.2cm
Αριθμός σημείων	10000/m ²	1000/m ²	10000/m ²	1000/m ²

Πίνακας 2.1: Στοιχεία σάρωσης θεωρητικών επιφανειών

Όπως διαπιστώνεται από τα παραπάνω το κύριο στοιχείο που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του βήματος σάρωσης είναι το σ_0 της προσαρμογής. Αυτό θα καθορίσει πόσα σημεία θα μετρηθούν πάνω στο αντικείμενο.

Επίσης ανάλογα με την απαιτούμενη ακρίβεια της σάρωσης που πρόκειται να γίνει είναι δυνατή η ενός σ_0 επιλογή πέραν του ελάχιστου, όπου να δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αλλάζει το βήμα σάρωσης και ο αριθμός των σημείων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ

3.1. Γενικά

Προκειμένου να εφαρμοστούν όσα αναλύθηκαν στο κεφάλαιο 2 επιλέχθηκαν δυο αντικείμενα με γεωμετρικό σχήμα. Οι επιφάνειες που επιλέχθηκαν λόγω συγκεκριμένης γεωμετρίας αλλά και ευκολίας στον προσδιορισμό των πρότυπων τους διαστάσεων ήταν μία σφαίρα και ένα ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο.

Σκοπός της εφαρμογής είναι να σαρωθούν τα αντικείμενα, να δημιουργηθούν τα μοντέλα τους, να προσδιορισθούν οι διαστάσεις τους και να συγκριθούν με της πρότυπες διαστάσεις των αντικειμένων.

3.2. Σφαίρα

Σφαίρα ονομάζεται ο γεωμετρικός τύπος των σημείων που απέχουν σταθερή απόσταση R από ένα σημείο O στον τρισδιάστατο χώρο (εικόνα 3.1). Το σημείο O ονομάζεται και κέντρο της σφαίρας και η απόσταση R ακτίνα. Ως διάμετρος της σφαίρας ορίζεται το διπλάσιο της ακτίνας της και είναι η μέγιστη δυνατή απόσταση δύο σημείων της. Η σφαίρα είναι μια διδιάστατη κλειστή επιφάνεια στον τρισδιάστατο χώρο. [<http://users.auth.gr/~kopol/par12-1211.htm>]

Η εξίσωση της σφαίρας στο ορθοκανονικό σύστημα συντεταγμένων είναι η εξής:

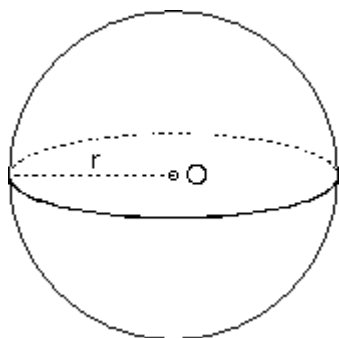
$$(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2 = R^2 \quad (3.1)$$

Όπου: (x_0, y_0, z_0) οι συντεταγμένες του κέντρου της O και R η ακτίνα.

Το αντικείμενο μελέτης που μετρήθηκε και μελετήθηκε μια σφαίρα (εικόνα 3.2) που χρησιμοποιείται στα laser scanners ως στόχος. Είναι γνωστή η διάμετρος της από τον κατασκευαστή ίση με $144\text{mm} \pm 1\text{mm}$.

Σκοπός του πειράματος ήταν να διαπιστωθεί πόσο καλά προσαρμόζεται η επιφάνεια της σφαίρας στο σύνολο των σημείων της σάρωσης που πραγματοποιήθηκε από τους δύο εικονογεωδαιτικούς

σταθμούς, αλλά και να συγκριθούν τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης (ακτίνα και η αβεβαιότητά της) με τα πραγματικά στοιχεία της σφαίρας.



Εικόνα 3.1: Σφαίρα

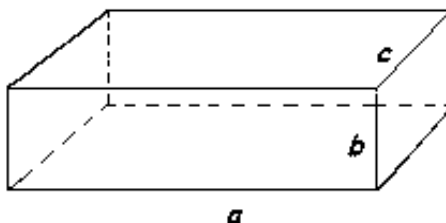


Εικόνα 3.2 Σφαίρα πειράματος

3.3. Ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο

Στην γεωμετρία, ένα παραλληλεπίπεδο είναι μια τριδιάστατη εικόνα που σχηματίζεται από έξι παραλληλόγραμμα. Ο ορισμός του παραλληλεπιπέδου είναι ότι αποτελεί ένα πολύεδρο με έξι έδρες, που η καθεμία τους είναι ένα παραλληλόγραμμο.

Όταν οι έδρες του στερεού αυτού είναι ορθογώνια παραλληλόγραμμο τότε το στερεό ονομάζεται ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο. Το μέγεθος των ακμών του ορίζει τις διαστάσεις του παραλληλεπιπέδου. Το ορθογώνιο παραλληλόγραμμο είναι ταυτόχρονα πρίσμα ορθογώνιας παραλληλόγραμμης βάσης.



Εικόνα 3.3: Ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο

Το αντικείμενο μελέτης ήταν ένα ορθογωνικό δοκίμιο που παραχωρήθηκε από την Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών (εικόνα 3.4) όπου οι διαστάσεις του είναι προσδιορισμένες με ακρίβεια της τάξης των μm .

Οι διαστάσεις του δοκιμίου αυτού είναι $147.97\text{mm} \pm 0.05\text{mm}$ το ύψος του, $100.09\text{mm} \pm 0.05\text{mm}$ το πλάτος και $19.88\text{mm} \pm 0.05\text{mm}$ το πάχος του.

Σκοπός του πειράματος ήταν να σαρωθούν οι επιφάνειες του δοκιμίου αυτού, να γίνει προσαρμογή επιπέδου στην κάθε πλευρά και να προσδιοριστούν οι διαστάσεις του που προκύπτουν ως απόσταση μεταξύ επιπέδων. Τέλος έγινε η σύγκριση με τις πραγματικές διαστάσεις του.



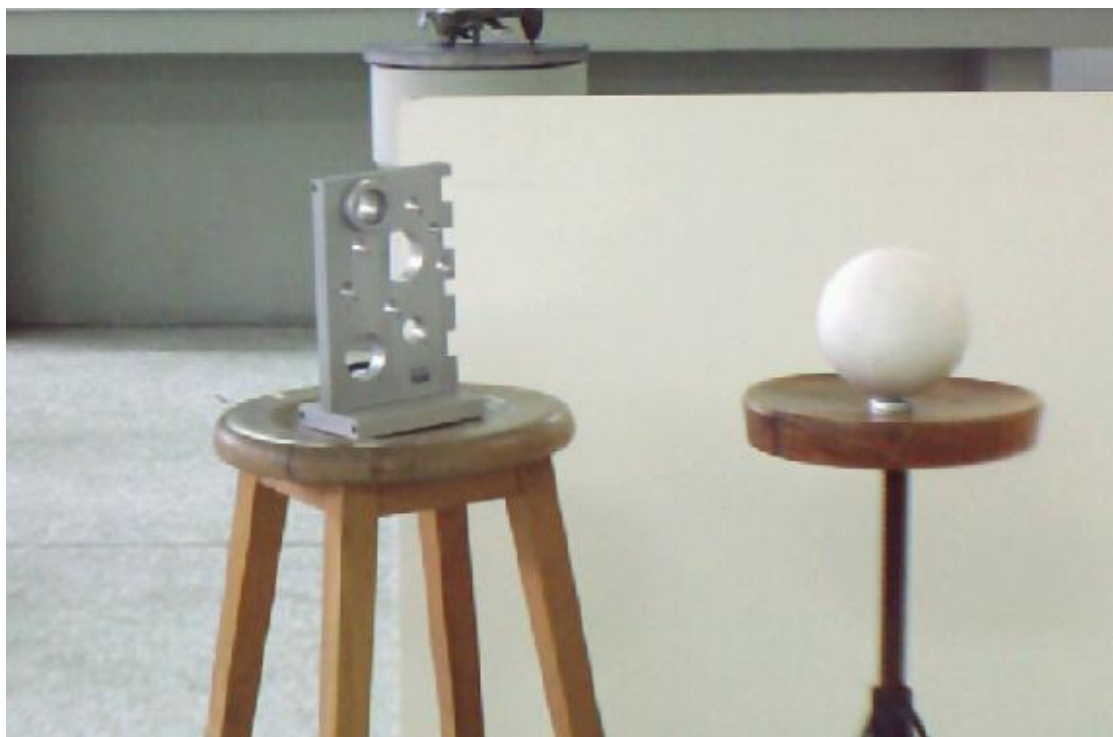
Εικόνα 3.4: Ορθογωνικό δοκίμιο

3.4. Μετρήσεις

Οι σαρώσεις των αντικειμένων έγιναν σε εσωτερικό χώρο στην αίθουσα Υ23 που βρίσκεται στο κτίριο Λαμπαδάριο της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών. Για το συγκεκριμένο πείραμα τοποθετήθηκε το όργανο σε δύο στάσεις προκειμένου να σαρωθούν τα

αντικείμενα από όλες τις πλευρές τους. Η διάταξη του πειράματος ήταν η εξής (εικόνα 3.5,3.6):

- Ορίστηκαν δυο στάσεις $\Sigma 1$ και $\Sigma 2$ από όπου θα γινόταν η σάρωση των αντικειμένων.
- Ορίστηκε αυθαίρετο τοπικό σύστημα συντεταγμένων με αφετηρία την $\Sigma 1$ με συντεταγμένες $(0,0,0)$ και γωνία διεύθυνσης την $\alpha_{\Sigma 1 \Sigma 2} = 100^{\circ}.0000$
- Τα αντικείμενα τοποθετήθηκαν στο μέσο περίπου τις απόστασης $\Sigma 1 \Sigma 2$ ώστε να υπάρχει όσον το δυνατόν καλύτερη γεωμετρία στην σάρωση.
- Τα ύψη οργάνου προσδιορίστηκαν αβεβαιότητα $\pm 0.3\text{mm}$ με κατάλληλη μεθοδολογία.



Εικόνα 3.5: Διάταξη πειράματος – Όψη από $\Sigma 2$

Αφού ορίστηκε το σύστημα συντεταγμένων και η διάταξη του πειράματος, στη συνέχεια σαρώθηκαν τα δύο αντικείμενα και με τα δυο όργανα(VX – IS) διαδοχικά και από τις δυο στάσεις.



Εικόνα 3.6: Διάταξη πειράματος – Όψη από Σ1

Αρχικά χρησιμοποιήθηκε ο γεωδαιτικός σταθμός VX για την σάρωση του ορθογωνικού δοκιμίου και της σφαίρας. Επιλέχθηκε το βήμα σάρωσης ανά 3mm και λήφθηκε η φωτογραφία του αντικειμένου, ώστε να συμπληρωθεί η χωρική πληροφορία. Έτσι για το ορθογωνικό δοκίμιο έγινε λήψη δυο φωτογραφιών, μία για κάθε πλευρά, λαμβάνοντας συνολικά 4.000 σημεία. Ο χρόνος περάτωσης της διαδικασίας ήταν περίπου 1 ώρα.

Έπειτα σαρώθηκε και η σφαίρα με όμοια χαρακτηριστικά, δηλαδή με βήμα σάρωσης 3mm και χρειάστηκαν για την κάλυψη του αντικειμένου 2 φωτογραφίες. Τα σημεία που μετρήθηκαν ήταν περίπου 7.000 και ο χρόνος ολοκλήρωσης της σάρωσης περίπου 30 λεπτά.

Στην συνέχεια ακολουθήθηκε ακριβώς η ίδια διαδικασία για την σάρωση των δυο αυτών αντικειμένων και με τον γεωδαιτικό σταθμό IS. Επιλέχθηκαν ακριβώς τα ίδια χαρακτηριστικά με αυτά του VX ώστε να μπορεί να συγκριθεί το τελικό αποτέλεσμα και να αναλυθούν και να εκτιμηθούν οι διαφορές τους.

Έτσι με το ίδιο βήμα σάρωσης για το ορθογωνικό δοκίμιο μετρήθηκαν περίπου 4.500 σημεία με χρόνο ολοκλήρωσης τα 40 λεπτά περίπου.

Για την σάρωση της σφαίρας μετρήθηκαν περίπου 8.000 σημεία, με διάρκεια μέτρησης περίπου τα 20 λεπτά.

Από τα παραπάνω μπορούν να εξαχθούν δυο άμεσα συμπεράσματα. Αρχικά ότι ο γεωδαιτικός σταθμός IS για το ίδιο αντικείμενο και το ίδιο βήμα σάρωσης λαμβάνει λιγότερα σημεία από ότι ο γεωδαιτικός σταθμός VX.

Επίσης η διάρκεια των μετρήσεων και ολοκλήρωσης της διαδικασίας σάρωσης των αντικειμένων ήταν μικρότερη όταν χρησιμοποιείται ο γεωδαιτικός σταθμός IS σε σχέση με τον VX.

Η θεωρητική ανάλυση για τα πειράματα αυτά, δηλαδή σάρωση του αντικειμένου από απόσταση 3m και με την χρήση γεωδαιτικού σταθμού αβεβαιότητας μέτρησης γωνιών 3° , έδωσε κάποιες παραμέτρους σάρωσης. Το βήμα σάρωσης για κάθε ένα αντικείμενο ήταν 1cm και ο αριθμός των σημείων για το παραλληλεπίπεδο ήταν 2.000 σημεία ανά επίπεδο σάρωσης και για την σφαίρα 7.000 σημεία.

3.5. Προσαρμογή επιφανειών

Αφού ολοκληρώθηκε η διαδικασία σάρωσης των αντικειμένων και με τους δύο εικονογεωδαιτικούς σταθμούς, στην συνέχεια ξεκίνησε η επεξεργασία των δεδομένων με σκοπό να δημιουργηθούν τα μοντέλα τους και να συγκριθούν τα αποτελέσματα με τις πρότυπες διαστάσεις των αντικειμένων.

3.5.1. Ορθογωνικό δοκίμιο

Για να μπορέσει να γίνει σύγκριση των πρότυπων διαστάσεων με τα αποτελέσματα του πειράματος, έπρεπε να γίνει προσαρμογή επιπέδων στις έδρες του ορθογώνιου παραλληλεπίπεδου και στη συνέχεια να προσδιοριστούν οι αποστάσεις ανά δύο παράλληλων επιπέδων η αβεβαιότητά τους.

Ωστόσο επειδή οι μικρές πλευρές του υπό πειράματος δοκιμίου ήταν πολύ μικρές και ήταν δύσκολο να ξεχωριστούν τα σημεία που ανήκαν στα επίπεδα αυτά, μελετήθηκαν μόνο οι δύο μεγάλες έδρες του δοκιμίου.

Αρχικά προσδιορίστηκαν οι εξισώσεις των επιπέδων και για τα δυο όργανα. Η γενική εξίσωση του επιπέδου είναι η εξής:

$$Ax + By + \Gamma z = \Delta \quad (3.2)$$

Όπου: A, B, Γ οι συντελεστές του επιπέδου.

x, y, z οι συντεταγμένες των σημείων που ανήκουν στο επίπεδο.

Για τον προσδιορισμό των συντελεστών του επιπέδου χρησιμοποιήθηκε η Μέθοδος Ελαχίστων Τετραγώνων. Σχηματίζονται οι εξισώσεις συνθήκης που συνδέουν το αποτέλεσμα της κάθε μέτρησης γραμμικά με τις άγνωστες καθοριστικές παραμέτρους. Οι εξισώσεις αυτές ονομάζονται εξισώσεις παρατήρησης. Έτσι η παραπάνω εξίσωση επιπέδου μετασχηματίζεται σε:

$$z = Ax + By + \Gamma \quad (3.3)$$

Όπως γίνεται αντιληπτό υπάρχουν τόσες εξισώσεις παρατήρησης όσες και οι μετρήσεις. Τελικά η μέθοδος αυτή καταλήγει το σύστημα εξισώσεων παρατήρησης να το μετασχηματίζει σε μορφή πινάκων. Έτσι δημιουργείται το εξής σύστημα:

$$A \cdot x = l + u \quad (3.4)$$

Όπου

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2m} \\ \vdots & \cdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nm} \end{pmatrix}, \quad \hat{x} = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_m \end{pmatrix}, \quad l = \begin{pmatrix} l_1 \\ l_2 \\ \vdots \\ l_m \end{pmatrix}$$

Από την χρήση του παραπάνω συστήματος και επιλύοντας ως προς τον πίνακα με τις άγνωστες καθοριστικές παραμέτρους x, τότε δημιουργείται η εξίσωση:

$$x = (A^T \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot l \quad (3.5)$$

Στην συνέχεια υπολογίζεται ο πίνακας των υπολοίπων u και το a posteriori τυπικό σφάλμα σύμφωνα με τις εξισώσεις:

$$u = (A \cdot x) - l \quad (3.6)$$

$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{(u^T \cdot u)}{r}} \quad (3.7)$$

Έπειτα υπολογίζεται ο πίνακας μεταβλητότητας – συμμεταβλητότητας όπου η κύρια διαγώνιος περιλαμβάνει το τετράγωνο των σφαλμάτων προσδιορισμού των άγνωστων παραμέτρων.

$$\text{Επομένως: } V_x = (A^T \cdot A)^{-1} \cdot \sigma_0^2 \quad (3.8), \quad V_x = \begin{pmatrix} \sigma_{\alpha_1}^2 & & & \\ & \sigma_{\alpha_2}^2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & \sigma_{\alpha_m}^2 \end{pmatrix}$$

Έπειτα από την επίλυση του παραπάνω συστήματος, προέκυψαν οι εξισώσεις κάθε επιπέδου. Δύο για κάθε επίπεδο, μία από κάθε σταθμό. Οι εξισώσεις που προέκυψαν από τον εικονογεωδαιτικό σταθμό IS και οι αβεβαιότητες των συντελεστών είναι:

$$\varepsilon_1: z = -1.3061 \cdot x + 0.0074 \cdot y + 3.5179 \quad (3.9)$$

$$\mu\varepsilon \quad \sigma_A = \pm 0.006, \sigma_B = \pm 0.003, \sigma_I = \pm 0.018m$$

$$\varepsilon_2: z = -1.3167 \cdot x - 0.0145 \cdot y + 3.5004 \quad (3.10)$$

$$\mu\varepsilon \quad \sigma_A = \pm 0.004, \sigma_B = \pm 0.002, \sigma_I = \pm 0.010m$$

Οι εξισώσεις του επιπέδου που προέκυψαν από την σάρωση με τον εικονογεωδαιτικό σταθμό VX είναι:

$$\varepsilon_1: z = -1.3399 \cdot x + 0.0035 \cdot y + 3.5796 \quad (3.11)$$

$$\mu\varepsilon \quad \sigma_A = \pm 0.002, \sigma_B = \pm 0.001, \sigma_I = \pm 0.005m$$

$$\varepsilon_2: z = -1.3539 \cdot x - 0.0062 \cdot y + 3.6417 \quad (3.12)$$

$$\mu\varepsilon \quad \sigma_A = \pm 0.002, \sigma_B = \pm 0.001, \sigma_I = \pm 0.005m$$

Στην συνέχεια υπολογίστηκε η απόσταση μεταξύ των δυο επιπέδων ε_1 - ε_2 ώστε να μπορεί να συγκριθεί με την αντίστοιχη πρότυπη διάσταση.

Αρχικά βρέθηκε ένα σημείο που ανήκει στο επίπεδο ε_1 και υπολογίστηκε η απόσταση του από το επίπεδο ε_2 . Στην συνέχεια βρέθηκε

ένα σημείο που ανήκει στο επίπεδο ϵ_2 και υπολογίστηκε η απόσταση του από το επίπεδο ϵ_1 . Αυτό συνέβη καθώς έπρεπε να ελεγχθεί και να μελετηθεί αν υπάρχει διαφορά στις δύο υπολογισμένες αποστάσεις αφού οι εξισώσεις των δύο επιπέδων αποτελούνται από διαφορετικούς συντελεστές με τις αβεβαιότητές τους. Η απόσταση των δύο επιπέδων υπολογίζεται από την σχέση:

$$d = \frac{|A \cdot x + B \cdot y + \Gamma \cdot z - \Delta|}{\sqrt{A^2 + B^2 + \Gamma^2}} \quad (3.13)$$

Όπου: A, B, Γ, Δ οι συντελεστές του επιπέδου
 x, y, z οι συντεταγμένες του σημείου

Στην συνέχεια υπολογίζεται η αβεβαιότητα προσδιορισμού της απόστασης σύμφωνα με τον νόμο μετάδοσης σφαλμάτων. Έτσι έχουμε ότι:

$$\sigma_d = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial d}{\partial A}\right)^2 \cdot \sigma_A^2 + \left(\frac{\partial d}{\partial B}\right)^2 \cdot \sigma_B^2 + \left(\frac{\partial d}{\partial \Gamma}\right)^2 \cdot \sigma_\Gamma^2 + \left(\frac{\partial d}{\partial \Delta}\right)^2 \cdot \sigma_\Delta^2} \quad (3.14)$$

Οι συντεταγμένες των σημείων που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της απόστασης μεταξύ των δυο επιπέδων και για τους δυο εικονογεωδαιτικούς σταθμούς, η απόσταση των επιπέδων και η αβεβαιότητα προσδιορισμού της απόστασης παρουσιάζονται στον πίνακα 3.1:

Γεωδαιτικός Σταθμός	Σημείο επιπέδου	$d_{\epsilon_1-\epsilon_2}$ (mm)	σ_d (mm)
Topcon IS(1-2)	(2.700,-0.012,-0.450)	22	± 8
Trimble VX(1-2)	(2.778,-0.144,-0.425)	14	± 4
Topcon IS(2-1)	(2.700,-0.047,-0.500)	21	± 15
Trimble VX(2-1)	(2.700,-0.017,-0.500)	14	± 4

Πίνακας 3.1: Οι αποστάσεις μεταξύ των επιπέδων

3.5.2. Σφαίρα

Η προσαρμογή στην επιφάνεια της σφαίρας έγινε με την Μ.Ε.Τ. Σκοπός ήταν ο προσδιορισμός της ακτίνας της σφαίρας με σκοπό την σύγκρισή της με την πρότυπη τιμή.

Σύμφωνα με την εξίσωση 3.1, οι συντελεστές της δεν συνδέονται γραμμικά. Για να γίνει η επίλυση του συστήματος αυτού με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων θα πρέπει η εξίσωση αυτή να υποστεί γραμμικοποίηση.

Η γραμμικοποίηση γίνεται με την μέθοδο Taylor όπου κάθε όρος της εξίσωσης παραγοντοποιείται ως προς το μη σταθερό μέρος έτσι ώστε να προκύψει μία σχέση που να συνδέει γραμμικά τα δεδομένα. Έτσι χρησιμοποιώντας την μέθοδο Taylor η παραπάνω εξίσωση μετασχηματίζεται σε:

$$2 \cdot (x_0^o - x) \cdot \partial x + 2 \cdot (y_0^o - y) \cdot \partial y + 2 \cdot (z_0^o - z) \cdot \partial z - 2 \cdot R^o \cdot \partial R = 0 \quad (3.15)$$

Όπου: x_0^o , y_0^o , z_0^o , R^o οι προσωρινές τιμές

Για να σχηματιστεί και να επιλυθεί το σύστημα που δημιουργείται από την παραπάνω εξίσωση πρέπει να δοθούν προσωρινές τιμές στις συντεταγμένες του κέντρου και στην ακτίνα της σφαίρας. Το βέλτιστο είναι οι προσωρινές τιμές που θα δίνονται να είναι όσο το δυνατό πιο κοντά στις πραγματικές τιμές.

Οι προσωρινές τιμές για να βρεθούν πρέπει μετρηθούν 4 σημεία που ανήκουν στην επιφάνεια της σφαίρας. Επιλέχθηκαν 4 τυχαία σημεία από το νέφος σημείων που προέκυψε από την σάρωση της σφαίρας. Στη συνέχεια χρησιμοποιώντας την εξίσωση (3.1) της σφαίρας και την επίλυση της ορίζουσας $M=0$ όπου:

$$M = \begin{vmatrix} x^2 + y^2 + z^2 & x & y & z & 1 \\ x_1^2 + y_1^2 + z_1^2 & x_1 & y_1 & z_1 & 1 \\ x_2^2 + y_2^2 + z_2^2 & x_2 & y_2 & z_2 & 1 \\ x_3^2 + y_3^2 + z_3^2 & x_3 & y_3 & z_3 & 1 \\ x_4^2 + y_4^2 + z_4^2 & x_4 & y_4 & z_4 & 1 \end{vmatrix} \quad (3.16)$$

προκύπτουν οι τιμές για το κέντρο και την ακτίνα της σφαίρας:
 $x_0^o = 2.736m$, $y_0^o = 0.398m$, $z_0^o = -0.442m$, $R^o = 0.06m$

Αφού προσδιορίστηκαν οι προσωρινές τιμές, δημιουργήθηκε ένα σύστημα εξισώσεων και επιλύθηκε με την M.E.T. Το αποτέλεσμα της επίλυσης αυτής ήταν ο προσδιορισμός των διαφορών ∂x , ∂y , ∂z , ∂R από τις προσωρινές τιμές από όπου προέκυψαν οι τιμές των στοιχείων της σφαίρας με τις αβεβαιότητες τους. Οι τιμές αυτές υπολογίστηκαν προσθέτοντας στην προσωρινή τιμή την αντίστοιχη διαφορά. Έτσι:

$$x_0 = x_0^o + \delta x, y_0 = y_0^o + \delta y, z_0 = z_0^o + \delta z, R = R^o + \delta R \quad (3.17)$$

Στον πίνακα 3.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των σαρώσεων για κάθε σταθμό.

Συντεταγμένες Κέντρου							Ακτίνα	
	X ₀ (m)	σ _x (mm)	Y ₀ (m)	σ _y (mm)	Z ₀ (m)	σ _z (mm)	R(m)	σ _R (mm)
IS	2.747	±5	0.398	±5	-0.438	±5	0.068	±5
VX	2.746	±5	0.397	±5	-0.438	±5	0.074	±5

Πίνακας 3.2: Στοιχεία σφαίρας και αβεβαιότητες

3.6. Σύγκριση με τα πρότυπα

Για να είναι δυνατή η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων πρέπει να είναι γνωστές οι διαστάσεις των υπό μελέτη αντικειμένων. Έτσι μετρήθηκαν και τα δύο αντικείμενα από μετρητικές μηχανές που διαθέτουν στην σχολή των Μηχανολόγων Μηχανικών και μπορούν να προσδιορίσουν τις διαστάσεις με ακρίβεια μερικών μm. Για το ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο η πρότυπη απόσταση μεταξύ των δύο επιπέδων είναι $d_{\text{πρωτ}} = 19.8\text{mm}$ με $\sigma_d = \pm 0.1\text{mm}$ και για την σφαίρα η ακτίνα της είναι $R_{\text{πρωτ}} = 72\text{mm}$ με $\sigma_R = \pm 1\text{mm}$. Έτσι η σύγκριση των αποτελεσμάτων φαίνεται στους παρακάτω πίνακες:

Γεωδαιτικός Σταθμός	$d_{E1-E2}(\text{mm})$	$d_{\text{πρωτ}}(\text{mm})$	$\Delta (d_{E1-E2} - d_{\text{πρωτ}}) (\text{mm})$
Topcon IS	22 ±8	19.8 ±0.1	2.1
Trimble VX	13.5 ±4	19.8 ±0.1	-6.7

Πίνακας 3.3: Σύγκριση μεταξύ πρότυπης απόστασης και απόστασης μελέτης – Ορθογωνικό δοκίμιο

Γεωδαιτικός Σταθμός	R(mm)	$R_{\text{πρωτ}}(\text{mm})$	$\Delta (R - R_{\text{πρωτ}}) (\text{mm})$
Topcon IS	68.1 ±5	72.0 ±1	-3.9
Trimble VX	74.4 ±5	72.0 ±1	2.4

Πίνακας 3.4: Σύγκριση μεταξύ πρότυπης ακτίνας και ακτίνας μελέτης – Σφαίρα

3.7. Έλεγχος αποτελεσμάτων

Αφού υπολογίστηκαν οι διαφορές μεταξύ των διαστάσεων που προέκυψαν από τις μετρήσεις και των πραγματικών διαστάσεων πραγματοποιήθηκε έλεγχος για να εξακριβωθεί αν τα αποτελέσματα αυτά είναι αποδεκτά ή όχι. Για να γίνει ο έλεγχος έπρεπε να υπολογιστεί αρχικά το σφάλμα της διαφοράς της απόστασης με την χρήση του νόμου μετάδοσης σφαλμάτων (3.18).

$$\sigma_{\Delta d} = \pm \sqrt{\sigma_{d_{\text{μετρ}}}^2 + \sigma_{d_{\text{πρωτ}}}^2} \quad (3.18)$$

Όπου: $\sigma_{\Delta d}$ το σφάλμα της διαφοράς μεταξύ των δύο αποστάσεων
 $\sigma_{d_{\text{μετρ}}}$ το σφάλμα της απόστασης που προέκυψε από μετρήσεις
 $\sigma_{d_{\text{πρωτ}}}$ το σφάλμα της πρότυπης απόστασης

Στην συνέχεια ελέγχθηκε η ανισότητα (3.19) για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% για κάθε ένα γεωδαιτικό σταθμό και για τις δύο επιφάνειες.

$$-\sigma_{\Delta d} \cdot z_{95} \leq \Delta d \leq \sigma_{\Delta d} \cdot z_{95} \quad (3.19)$$

Γεωδαιτικός Σταθμός	$\sigma_{d_{\text{μετρ}}}$ (mm)	$\sigma_{d_{\text{πρωτ}}}$ (mm)	$\sigma_{\Delta d}$ (mm)	Δd (mm)	Έλεγχος
Topcon IS	±8	±0.1	±8	2.1	√
Trimble VX	±4	±0.1	±4	-6.7	√

Πίνακας 3.5: Σφάλματα των διαστάσεων και της μεταξύ τους διαφοράς

Γεωδαιτικός Σταθμός	$\sigma_{R_{\text{μετρ}}}$ (mm)	$\sigma_{R_{\text{πρωτ}}}$ (mm)	$\sigma_{\Delta R}$ (mm)	ΔR (mm)	Έλεγχος
Topcon IS	±5	±1	±5	-3.9	√
Trimble VX	±5	±1	±5	2.4	√

Πίνακας 3.6: Σφάλματα μετρημένης και πρότυπης ακτίνας και σφάλμα της μεταξύ τους διαφοράς

Όλες οι μετρήσεις περάσαν επιτυχώς τον έλεγχο, αποδεικνύοντας ότι οι μετρήσεις και τα αποτελέσματα από την επεξεργασία ήταν αποδεκτά για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Ο πίνακας 3.5 δείχνει τα σφάλματα της διαφοράς μεταξύ των διαστάσεων για κάθε γεωδαιτικό σταθμό.

Οι διαφορές βρίσκονται μέσα στον θόρυβο των μετρήσεων. Η αβεβαιότητα προσδιορισμού των συντεταγμένων που προέκυψε είναι ίση με την ονομαστική αβεβαιότητα μέτρησης για κάθε γεωδαιτικό σταθμό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΜΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ

4.1. Γενικά

Οι εικονογεωδαιτικοί σταθμοί εκτός από την σάρωση αντικειμένων που έχουν αυστηρή γεωμετρία, βρίσκουν πεδίο εφαρμογής συχνά σε αντικείμενα που τα χαρακτηρίζουν μη γεωμετρικές επιφάνειες. Συνήθως τέτοιες επιφάνειες είναι διάφορα πρανή, κτίσματα αρχαιολογικού ή πολιτιστικού ενδιαφέροντος κ.α.

Είναι χρήσιμη και απαραίτητη η καταγραφή και η δημιουργία τριδιάστατων μοντέλων των μη γεωμετρικών επιφανειών καθώς πολλοί τομείς εξαρτώνται από την μελέτη των μοντέλων αυτών για την εξαγωγή χρήσιμων και ασφαλέστερων συμπερασμάτων.

Ως μη γεωμετρική επιφάνεια ορίζεται η επιφάνεια η οποία δεν αντιπροσωπεύεται από κάποια μαθηματική εξίσωση. Παρουσιάζει αρκετές δυσκολίες όσον αφορά την αποτύπωση της και αποτελεί πρόκληση η δημιουργία του τριδιάστατου μοντέλου της.

Λύση για την αντιμετώπιση των παραπάνω δυσκολιών αποτελεί το Scanning με εικονογεωδαιτικό σταθμό, διότι με την σάρωση της επιφάνειας είναι δυνατή η μέτρηση αρκετών σημείων που θα αποτελέσουν την βάση για την δημιουργία ενός προσεγγιστικού μοντέλου της.

Επιπρόσθετα ως λύση θα μπορούσε να προταθεί και οι φωτογραμμετρικές μέθοδοι, ωστόσο η λύση του Scanning είναι καλύτερη καθώς είναι πιο ευέλικτη, πιο εύχρηστη και ταχύτερη.

4.2. Περιγραφή περιοχής μελέτης

Το ηφαίστειο της Νισύρου συγκαταλέγεται μαζί με τα Μέθανα, τη Μήλο και τη Σαντορίνη στα ενεργά ηφαίστεια της χώρας μας. Όλα αυτά τα ηφαιστειακά κέντρα βρίσκονται σ' ένα νοητό τόξο το οποίο ξεκινά από την Κόρινθο και καταλήγει στη Νίσυρο. Η περιοχή αυτή ονομάζεται "ενεργό ηφαιστειακό τόξο του νότιου Αιγαίου". Το ηφαίστειο της Νισύρου βρίσκεται στο χωριό Νικειά και είναι το σημαντικότερο αξιοθέατο του νησιού. Έχει συνολικά πέντε κρατήρες με μεγαλύτερο τον "Στέφανο" (εικόνα 4.1), διαμέτρου 360 μέτρων και βάθους 30 μέτρων. Οι

πέντε κρατήρες του ηφαιστείου σχηματίζουν το οροπέδιο του Λακκίου, το οποίο δημιουργήθηκε από την έκρηξη του ηφαιστείου το 1552. Ο τελευταίος κρατήρας του ηφαιστείου, ο “Μικρός Πολυβώτης”, δημιουργήθηκε το 1887, όταν σημειώθηκε και η τελευταία -μέχρι στιγμής- υδροθερμική έκρηξη του ηφαιστείου. [<http://www.geodifhs.com/4/post/2010/4/80.html>].



Εικόνα 4.1: Ο μεγαλύτερος κρατήρας του ηφαιστείου

4.3. Εργασίες υπαίθρου

Οι εργασίες υπαίθρου πραγματοποιήθηκαν από τους επίκουρους καθηγητές της σχολής κας Ε. Λάμπρου και κο Γ. Πανταζή στο πλαίσιο των ερευνητικών δραστηριοτήτων τους τον Ιούνιο του 2011, ενώ οι συμπληρωματικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν τον Ιούλιο του 2012.

Έτσι ο κρατήρας του ηφαιστείου σαρώθηκε και με τους δυο εικονογεωδαιτικούς σταθμούς IS και VX, ώστε να συγκριθούν οι λειτουργίες αλλά και τα αποτελέσματα τους.

Οι εργασίες υπαίθρου συνοπτικά και με χρονολογική σειρά είναι:

- Αναγνώριση της περιοχής μελέτης
- Ίδρυση στάσεων
- Σύνταξη αυτοσχέδιων υπαίθρου (κροκί)
- Αποτύπωση χαρακτηριστικών σημείων
- Σάρωση με Topcon IS
- Σάρωση με Trimble VX

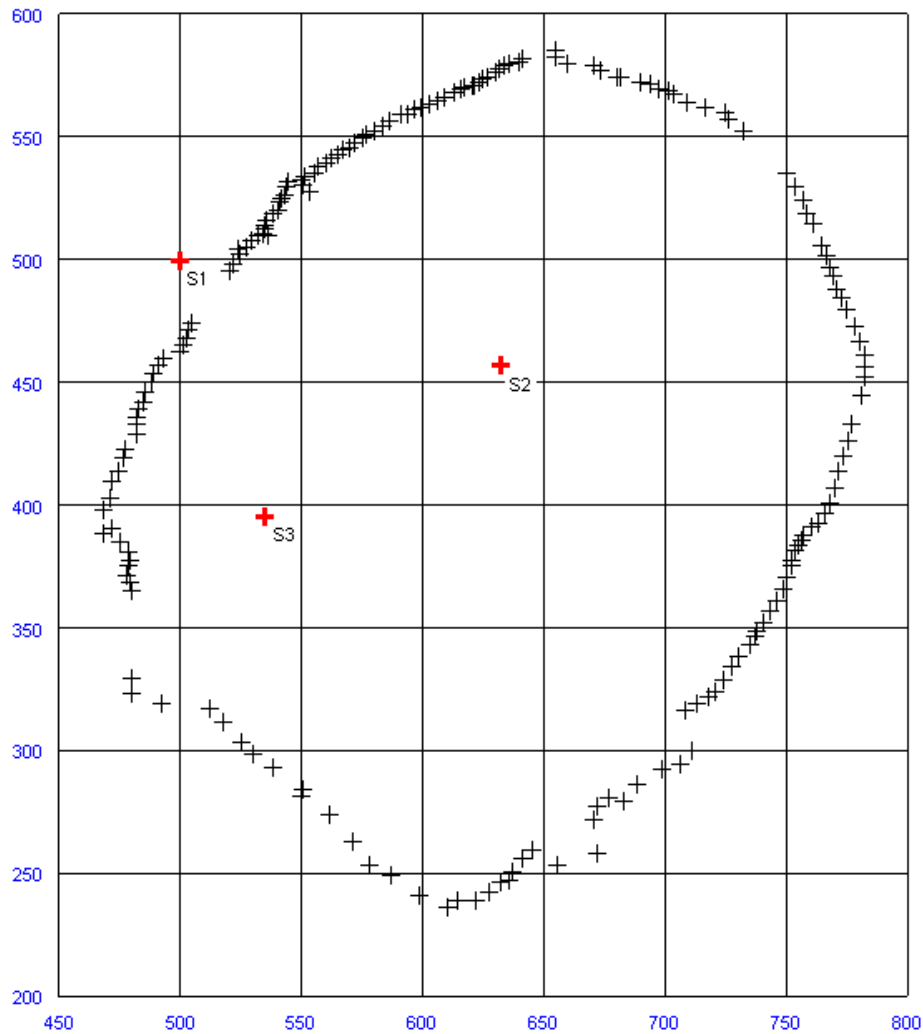
4.3.1. Αναγνώριση της περιοχής μελέτης

Το πρώτο στάδιο που απαιτείται για την σάρωση επιφανειών κι έχει σημαντικό ρόλο είναι η αναγνώριση της περιοχής μελέτης. Κι αυτό επειδή με την γνώση του χώρου, της τοποθεσίας και της υπάρχουσας κατάστασης επιτυγχάνεται ο σωστός προγραμματισμός των εργασιών και η αποφυγή σφαλμάτων που ενδέχεται να κοστίσουν χρονικά και οικονομικά.

Για τον λόγο αυτό στην πρώτη επίσκεψη έγινε αναγνώριση της ευρύτερης περιοχής, εξετάζοντας την μορφολογία του κρατήρα και την προσβασιμότητα, με σκοπό τον εντοπισμό των βέλτιστων θέσεων για την τοποθέτηση των στάσεων των οργάνων. Για την συγκεκριμένη εργασία τοποθετήθηκαν τρεις στάσεις, δύο για την σάρωση και μέτρηση του κρατήρα και μία έξω από αυτόν για την ένταξη του κρατήρα στον ευρύτερο χώρο.(Εικόνα 4.1)

Η επιλογή των στάσεων έγινε με κριτήριο την καλύτερη οπτική επαφή με το αντικείμενο. Έτσι, εφ' όσον ο κρατήρας έχει σχήμα περίπου κυκλικό ή ελλειψοειδές, η τοποθέτηση της στάσης Σ2 απ' όπου σαρώθηκαν τα πρανή και ο πυθμένας του κρατήρα έγινε περίπου στο κέντρο του. Η τοποθέτηση της δεύτερης στάσης Σ3, η οποία συνέβαλλε στην μέτρηση των συμπληρωματικών σαρώσεων έγινε κοντά στο πόδι του πρανούς.

Για την ένταξη του χώρου στο ΕΓΣΑ '87 έγιναν μετρήσεις GPS στις στάσεις Σ1 και Σ2 και υπολογίστηκαν οι συντεταγμένες και το ορθομετρικό τους υψόμετρο με την χρήση του δικτύου μόνιμων σταθμών HEPOS. Η επίλυση έγινε από τον μόνιμο σταθμό 087 του HEPOS της Κω.



Εικόνα 4.2: Χωρική τοποθέτηση στάσεων σε σχέση με το φρύδι του πρανούς

Προκειμένου να μην υπάρχουν παραμορφώσεις του αντικειμένου δημιουργήθηκε ένα τοπικό σύστημα αναφοράς με αφετηρία την $\Sigma 1(500.000,500.000,113.000)$ και γωνία διεύθυνσης $\alpha_{\Sigma 1\Sigma 2}=119^{\circ}.7991$ δεδομένου ότι είναι μεγάλος ο συντελεστής κλίμακας της προβολής $\kappa=1.0006$. Οι τιμές των συντεταγμένων των κορυφών των στάσεων φαίνονται στον πίνακα 4.1.

Στάσεις	x (m)	y (m)	H (m)
$\Sigma 1$	500.000	500.000	113.00
$\Sigma 2$	632.971	457.259	83.36
$\Sigma 3$	535.320	395.923	84.22

Πίνακας 4.1: Συντεταγμένες των στάσεων

4.3.2. Αποτύπωση χαρακτηριστικών σημείων του κρατήρα

Για την αποτύπωση των χαρακτηριστικών σημείων του κρατήρα εγκαταστάθηκε ο γεωδαιτικός σταθμός Topcon IS στην στάση Σ2, έγινε μηδενισμός στην στάση Σ3, και στη συνέχεια έγινε η αποτύπωση. Τα σημεία που αποτυπώθηκαν ήταν το φρύδι του κρατήρα, ώστε να ορισθεί η ακριβής περιοχή σάρωσης. Μετρήθηκαν συνολικά 200 σημεία ανά περίπου 8m. Η μέτρηση των σημείων έγινε χωρίς την χρήση ανακλαστήρα, δηλαδή reflectorless.

Στην εικόνα 4.3 φαίνονται με μαύρο σταυρό τα όρια των πρανών που αποτυπώθηκαν.



Εικόνα 4.3: Όρια πρανών

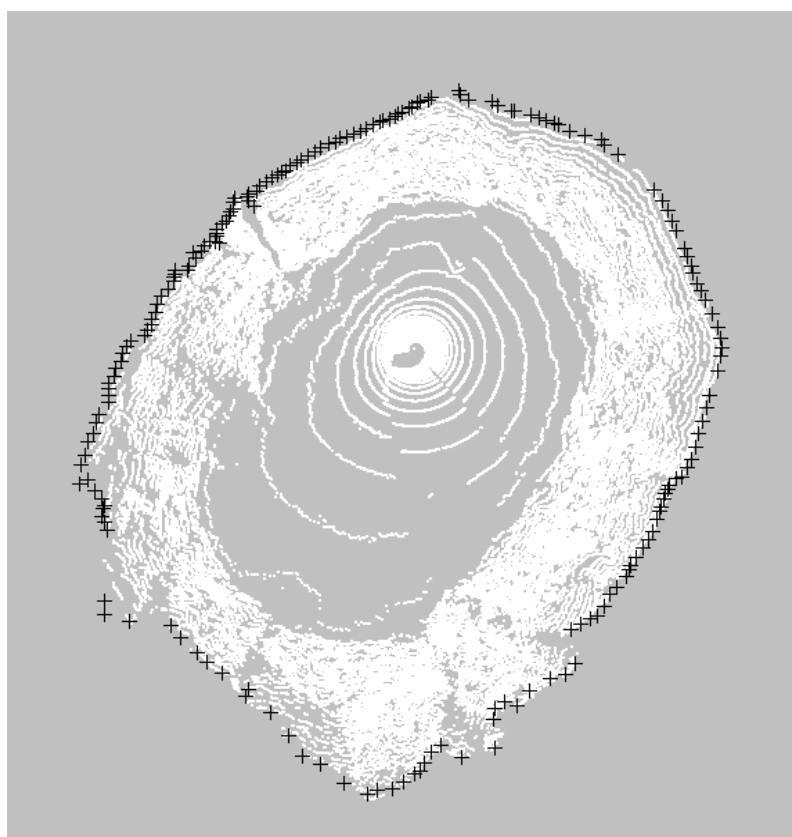
4.2.3 Σάρωση με τους εικονογεωδαιτικούς σταθμούς Topcon IS, Trimble VX

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η σάρωση των πρανών του κρατήρα πρώτα με τον γεωδαιτικό σταθμό Topcon IS και έπειτα από τον γεωδαιτικό σταθμό Trimble VX. Η στάση από την οποία πραγματοποιήθηκε η σάρωση ήταν η Σ2. Αφού έγιναν πρώτα οι απαραίτητες ρυθμίσεις του οργάνου (καθορισμός στάσης, μηδενισμός – προσανατολισμός), επιλέχθηκε το ίδιο βήμα σάρωσης, οριζόντιο και κατακόρυφο, όπου για τον IS ορίστηκε το 1m ενώ για τον VX έγιναν δυο σαρώσεις με 1m και 2m αντίστοιχα. Για της συμπληρωματικές μετρήσεις από την Σ3 έγινε η σάρωση των δύσκολων σημείων όπου από την Σ2 δεν υπήρχε η ορατότητα να σαρωθούν και από την Σ2 έγινε η σάρωση του

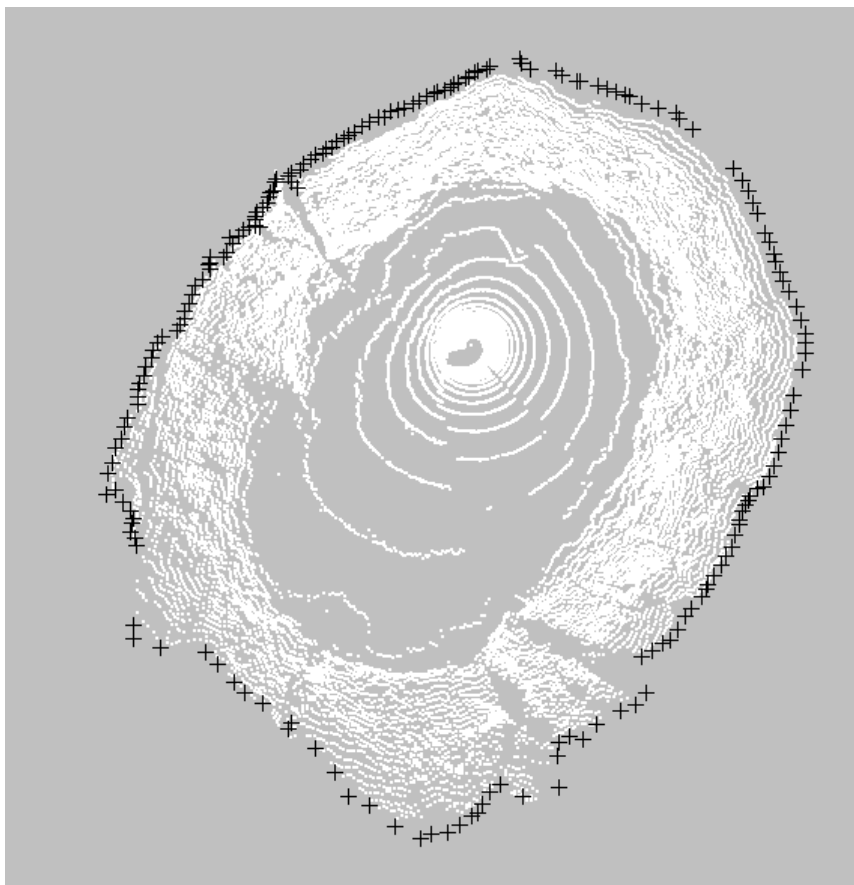
πυθμένα του κρατήρα. Στον πίνακα 4.2 παρατίθενται όλα τα στοιχεία των σαρώσεων.

Μετρήσεις Ιούνιος 2011				
Γεωδαιτικός Σταθμός		Βήμα σάρωσης	Χρόνος σάρωσης	Σημεία
Topcon IS		1m	50min	45.362
Trimble VX		1m	175min	19.766
Trimble VX		2m	50min	4.807
Μετρήσεις Ιούνιος 2011				
VX	Τομές εγκάρσιες-κατακόρυφες		30min	158
VX	Συμπληρωματικές μετρήσεις	1m	60min	7.850
VX	Πυθμένας	1m	105min	21.969

Πίνακας 4.2: Στοιχεία σαρώσεων



Εικόνα 4.4: Νέφος σημείων – γεωδαιτικός σταθμός IS



Εικόνα 4.5: Νέφος σημείων – γεωδαιτικός σταθμός VX

Αξίζει να σημειωθεί πως για την ίδια περιοχή και το ίδιο βήμα σάρωσης το γεωδαιτικός σταθμός IS μέτρησε τα διπλάσια σημεία σε σχέση με τον γεωδαιτικό σταθμό VX.

4.4. Επεξεργασία μετρήσεων

Αφού ολοκληρώθηκε η διαδικασία της σάρωσης των πρανών του κρατήρα και με τους δυο γεωδαιτικούς σταθμούς, ακολούθησε η επεξεργασία των δεδομένων με σκοπό την δημιουργία τριδιάστατων μοντέλων της επιφάνειας που σαρώθηκε.

Για την επεξεργασία των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν τρία διαφορετικά λογισμικά, ένα για κάθε όργανο και ένα βοηθητικό για την επεξεργασία του τριδιάστατου μοντέλου.

Για την επεξεργασία των δεδομένων του γεωδαιτικού σταθμού της Topcon IS χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Imagemaster, ενώ για την επεξεργασία των δεδομένων του Trimble VX, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Realworks.

Σκοπός ήταν να επεξεργαστούν τα νέφη σημείων, να δημιουργηθεί η επιφάνεια του κρατήρα του ηφαιστείου και να περαστεί το χρώμα από τις αντίστοιχες φωτογραφίες που έχουν ληφθεί από τους σταθμούς στο τρισδιάστατο μοντέλο.

4.4.1. Επεξεργασία μετρήσεων με την χρήση του λογισμικού Image Master

Αρχικά αφού λήφθηκαν από τον γεωδαιτικό σταθμό IS όλα τα απαραίτητα δεδομένα επεξεργάστηκαν απο το λογισμικό με την παρακάτω διαδικασία:

- Εισήχθησαν τα νέφη σημείων, οι στάσεις από όπου πραγματοποιήθηκε η σάρωση, τα όρια των πρानών του κρατήρα και οι αντίστοιχες φωτογραφίες που λήφθηκαν κατά την σάρωση.
- Έγινε προσεχτικό καθάρισμα των σημείων με βάση τα όρια (φρύδι πρानούς) καθώς υπήρχαν πολλά από αυτά τα οποία είχαν αστοχήσει. Δηλαδή υπήρχαν σημεία που η δέσμη δεν έβρισκε εμπόδιο με αποτέλεσμα να μετρούνταν σημεία εκτός κρατήρα.
- Στην συνέχεια έγινε η δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου με την βοήθεια τριγωνικού πλέγματος (TIN).
- Τέλος έγινε η επένδυση του μοντέλου που κατασκευάστηκε πιο πάνω με χρώμα το οποίο προήλθε από τις φωτογραφίες που ελήφθησαν κατά την σάρωση, δίνοντας μια φυσική υπόσταση στο τριδιάστατο μοντέλο.

Αφού ολοκληρώθηκε η επεξεργασία έπρεπε να ελεγχθεί το μοντέλο και να διορθωθούν σημεία του όπου παρουσίαζε ανωμαλίες. Αυτές οφείλονταν είτε σε έλλειψη χωρικής πληροφορίας (δηλαδή έλλειψη σημείων) είτε σε κακή γεωμετρία του τριγωνικού πλέγματος.

4.4.2. Επεξεργασία μετρήσεων με την χρήση του λογισμικού Realworks

Το λογισμικό αυτό χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία των δεδομένων που μετρήθηκαν από τον γεωδαιτικό σταθμό VX. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την δημιουργία του τριδιάστατου μοντέλου ήταν παρόμοια με την διαδικασία που ακολουθήθηκε στο λογισμικό Imagemaster. Ωστόσο υπήρξε μια διαφορά όσον αφορά την

δημιουργία του μοντέλου, καθώς το κάθε πρόγραμμα ακολουθεί διαφορετική φιλοσοφία στην δημιουργία του τριγωνικού πλέγματος.

Στο λογισμικό Realworks υπάρχει η δυνατότητα της επιλογής του τρόπου δημιουργίας του τριγωνικού πλέγματος (TIN) σε σχέση με το Imagemaster όπου δεν υπάρχει αυτή η δυνατότητα. Η δημιουργία του μπορεί να γίνει είτε μέσω μια προβολής γεωμετρικού στερεού (επίπεδο, κύλινδρος), είτε χρησιμοποιώντας ως κεντρικό σημείο την στάση σάρωσης, είτε επιλέγοντας να γίνει ελεύθερη δημιουργία τριγώνων.

Η διαφορά των δύο παραπάνω επιλογών στην δημιουργία τριγωνικού πλέγματος (TIN) είναι ο τρόπος και ο προσανατολισμός των τριγώνων που κατασκευάζονται μεταξύ των σημείων. Κατά τη δημιουργία τριγώνων μέσω μιας προβολής γεωμετρικού στερεού τα τρίγωνα τείνουν να ακολουθούν την γεωμετρία του στερεού που προβάλετε. Κατά την δημιουργία τριγώνων μέσω ενός κεντρικού σημείου σάρωσης τα τρίγωνα ξεκινάνε πυκνά όσο βρίσκονται κοντά και γύρω από το σημεία και αραιώνουν όσο απομακρύνονται τα σημεία.

Για μή γεωμετρικές επιφάνειες με έντονο ανάγλυφο είναι προτιμότερο να χρησιμοποιείται η επιλογή της ελεύθερης δημιουργίας τριγώνων και κατ'επέκταση επιφάνειας. Ο λόγος είναι ότι στις άλλες δύο μεθόδους δημιουργίας TIN η επιφάνεια που κατασκευάζεται αλλοιώνει σημαντικά την γεωμετρική πληροφορία που πρόκειται να παρουσιαστεί.

4.4.3. Η χρήση του λογισμικού Geomagic Studio

Έπειτα από την επεξεργασία των δεδομένων του κάθε γεωδαιτικού σταθμού και την δημιουργία του αντίστοιχου μοντέλου, ακολούθησε η διόρθωση και η βελτίωση των τρισδιάστατων μοντέλων με τη χρήση του λογισμικού Geomagic Studio. Το λογισμικό αυτό παρέχει επιλογές που δεν τις διαθέτουν τα άλλα δύο λογισμικά με αποτέλεσμα να είναι επιτακτική η χρήση του.

Οι επιπλέον επιλογές που διαθέτει το συγκεκριμένο λογισμικό έναντι των άλλων δύο αφορούν εντολές που:

- καθαρίζουν το μοντέλο από σημεία που ενδέχεται να είναι λάθος και επηρεάζουν την δημιουργία TIN
- καθαρίζουν και βελτιώνουν το TIN από τρίγωνα που τέμνονται οι πλευρές τους

- κλείνουν πιθανές τρύπες ακολουθώντας την συνολική φιλοσοφία του μοντέλου
- λειαίνουν την επιφάνεια δίνοντας μία πιο ήπια και καλαίσθητη οπτική του μοντέλου χωρίς να αλλοιώνουν πολύ την γεωμετρία του.

Οι βασικές λειτουργίες του που χρησιμοποιήθηκαν κατά κύριο λόγο ήταν αυτές όπου επέτρεπαν την δημιουργία επιφάνειας σε σημεία που η χωρική πληροφορία ήταν μικρή (δηλαδή έλλειψη σημείων) και η εφαρμογή μιας πιο λείας επιφάνειας αφού τα προηγούμενα λογισμικά δημιουργούσαν επιφάνειες με έντονη την ύπαρξη προεξοχών.

Το τελικό τρισδιάστατο μοντέλο του κρατήρα του ηφαιστείου προέκυψε από την συνένωση των δεδομένων των δυο γεωδαιτικών σταθμών και την επεξεργασία του από αυτό το λογισμικό.

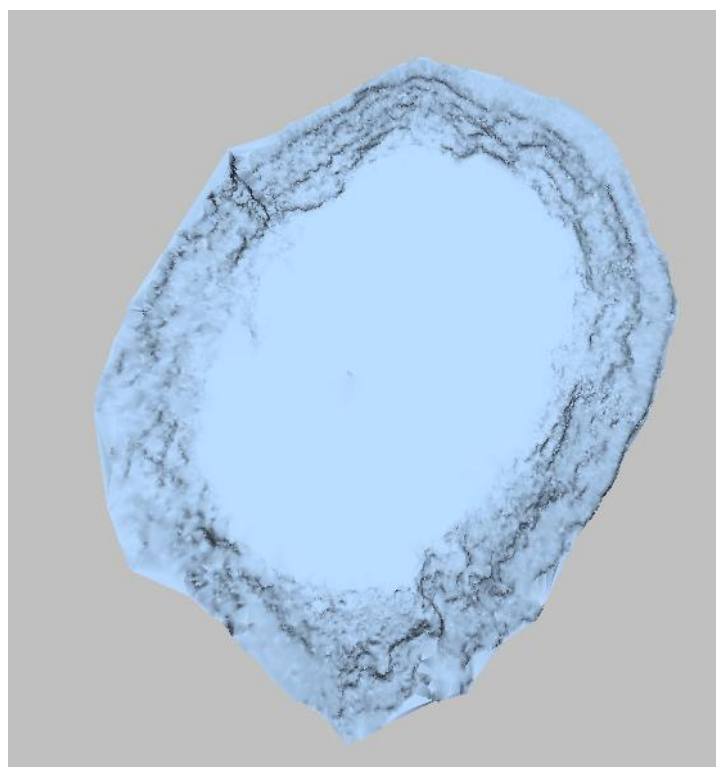
4.4.4. Σύγκριση τριδιάστατων μοντέλων

Μετά την δημιουργία των τριδιάστατων μοντέλων έγινε η σύγκριση μεταξύ των μοντέλων με βήμα σάρωσης 1m αλλά και του μοντέλου με βήμα σάρωσης 2m με τα άλλα δύο για να διαπιστωθεί η ακρίβεια με την οποία έγινε η προσαρμογή επιφάνειας.

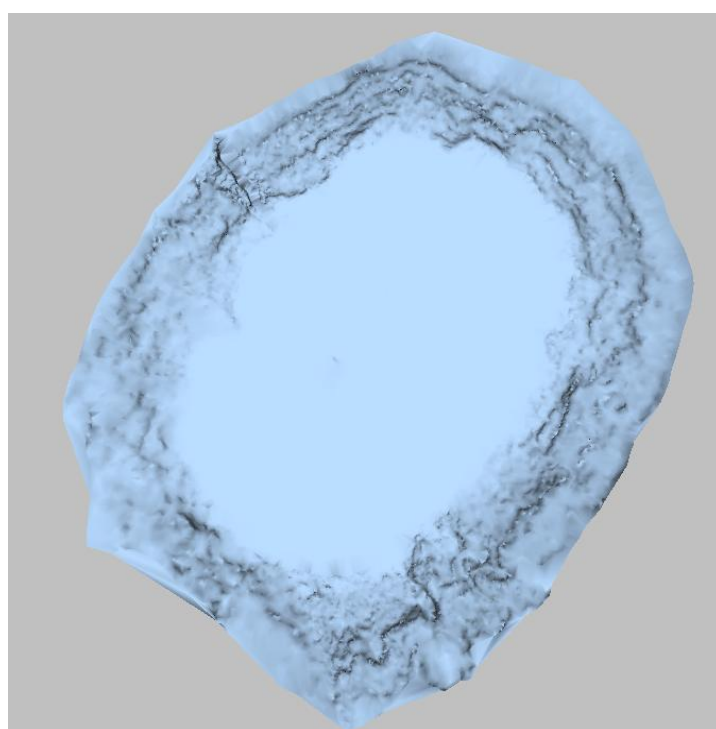
Παρατηρήθηκε ότι και τα 3 μοντέλα (εικόνες 4.6,4.7,4.8) παρουσίαζαν με αρκετά καλή ακρίβεια την γεωμετρία του κρατήρα ωστόσο το μοντέλο με το βήμα σάρωσης 1m παρουσιάζει αρκετά περισσότερες πληροφορίες όσον αφορά το ανάγλυφο του κρατήρα σε σχέση με το μοντέλο των 2m.

Τα τρίγωνα πάνω στα οποία βασίστηκε η δημιουργία της επιφάνειας του κρατήρα εξαρτώνται από τα σημεία σάρωσης, όπου όσα περισσότερα έχουν μετρηθεί τόσο καλύτερα προσεγγίζεται η επιφάνεια αφού δημιουργούνται περισσότερα τρίγωνα μικρότερου μεγέθους.

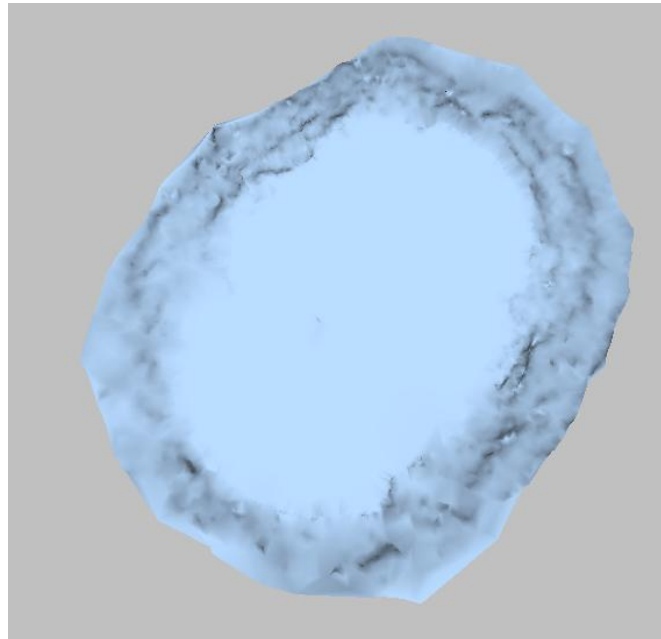
Όπως διαπιστώνεται το πιο ακριβές μοντέλο επιφανειών του κρατήρα είναι αυτό που δημιουργήθηκε από το νέφος σημείων του γεωδαιτικού σταθμού IS, αφού περιείχε μεγαλύτερο αριθμό σημείων.



Εικόνα 4.6: Μοντέλο κρατήρα με βήμα 1m – γεωδαιτικός σταθμός IS



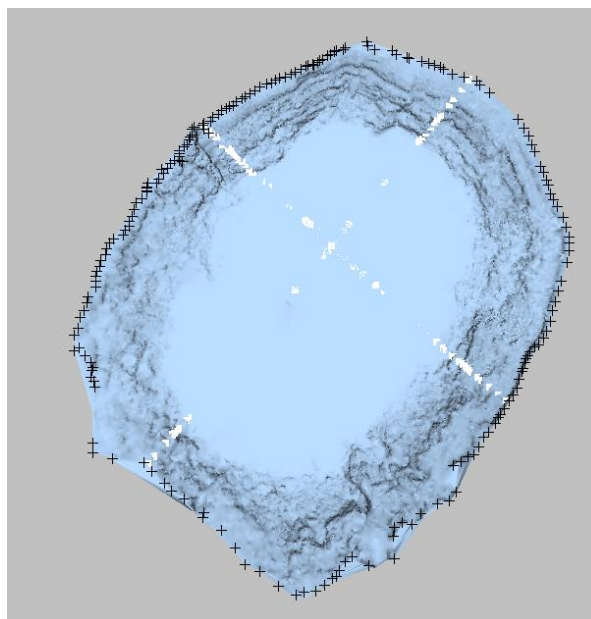
Εικόνα 4.7: Μοντέλο κρατήρα με βήμα 1m – γεωδαιτικός σταθμός VX



Εικόνα 4.8: Μοντέλο κρατήρα με βήμα 2m – γεωδαιτικός σταθμός VX

4.5. Δημιουργία κατακόρυφων τομών

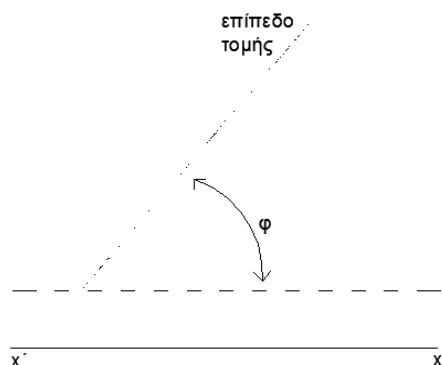
Μαζί με την σάρωση του κρατήρα του ηφαιστείου έγινε η μέτρηση σημείων πάνω σε δύο βασικούς άξονες(εικόνα 4.9) για την δημιουργία των κατακόρυφων τομών, με σκοπό να εκτιμηθεί το κατά πόσο είναι εφικτό η δημιουργία τους σε ανώμαλο ανάγλυφο.



Εικόνα 4.9: Άξονες κατακόρυφων τομών

Προκειμένου να σχεδιαστούν οι δύο κατακόρυφες τομές που μετρήθηκαν με άξονα x παράλληλο στην τομή και άξονα y τα υψόμετρα ακολουθήθηκε η διαδικασία μετάθεσης και στροφής ώστε να δημιουργηθούν τα διαγράμματα των τομών.

Αρχικά υπολογίστηκε η γωνία φ που σχηματίζεται μεταξύ του άξονα x' του συστήματος συντεταγμένων που χρησιμοποιείται και του επιπέδου της τομής. (εικόνα 4.10)



Εικόνα 4.10: Σχεδιάγραμμα στροφής

Ο υπολογισμός της γωνίας φ έγινε υπολογίζοντας την γωνία διεύθυνσης της καλύτερης ευθείας, που προσαρμόστηκε σε όλα τα σημεία τομής, με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Οι εξισώσεις των ευθειών αυτών για τις δύο κατακόρυφες τομές είναι:

$$\text{Για την τομή A-A': } y=1.195x-299.4$$

$$\text{Για την τομή B-B': } y=-0.915x+1036$$

Έτσι προέκυψαν οι αντίστοιχες γωνίες διεύθυνσης των τομών όπου $\varphi_{A-A'}=50^{\circ}.0885$ και $\varphi_{B-B'}=137^{\circ}.5134$

Στην συνέχεια υπολογίστηκαν οι συντεταγμένες των σημείων στο νέο σύστημα αναφοράς από τις σχέσεις:

$$x'_i = \cos\varphi(x_i - x_A) - \sin\varphi(y_i - y_A) \quad (4.1)$$

$$y'_i = \sin\varphi(x_i - x_A) + \cos\varphi(y_i - y_A) \quad (4.2)$$

Όπου: x_i' , y_i' οι συντεταγμένες κάθε σημείου στο νέο σύστημα αναφοράς
 x_i , y_i οι συντεταγμένες κάθε σημείου στο τοπικό σύστημα της αποτύπωσης της τομής
 x_A , y_A οι συντεταγμένες του αρχικού σημείου A της τομής
 φ η γωνία μεταξύ του επιπέδου της τομής και του άξονα $x'x$

Τελικά, αφού ολοκληρωθεί η επεξεργασία οι συντεταγμένες κάθε σημείου μετασχηματίζονται σε:

$$x_{si} = y_i' , y_{si} = z_i , z_{si} = x_i' \quad (4.3)$$

Στην συνέχεια χρησιμοποιώντας τις κατάλληλες συντεταγμένες δημιουργήθηκαν τα σχέδια των κατακόρυφων τομών (εικόνα 4.11,4.12).

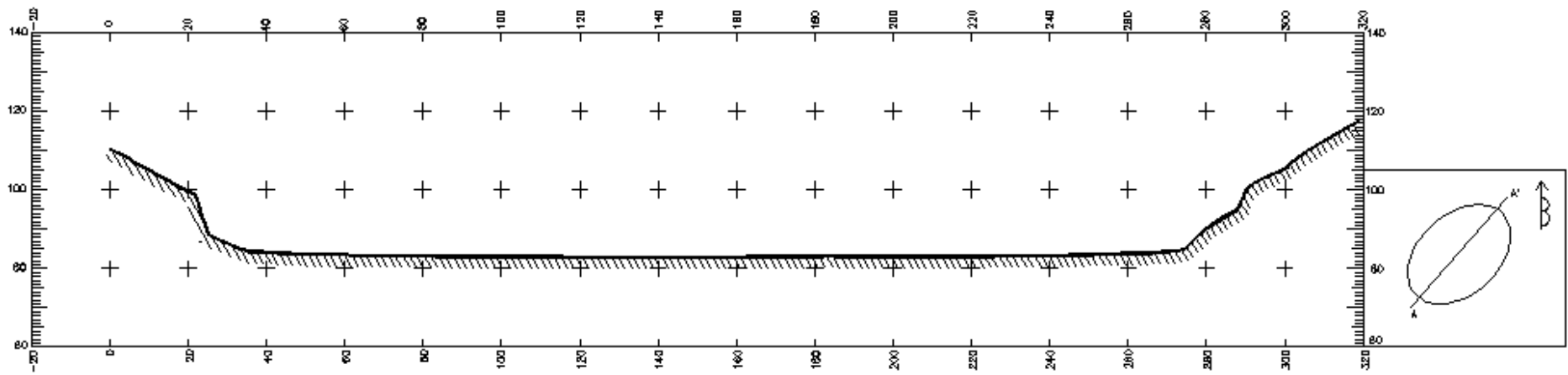
Αφού ολοκληρώθηκε η δημιουργία των κατακόρυφων τομών από τα μετρημένα σημεία, έγινε η εξαγωγή των κατακόρυφων τομών των μοντέλων πάνω στα ίδια κατακόρυφα επίπεδα με την βοήθεια των λογισμικών των γεωδαιτικών σταθμών Έτσι προέκυψαν συνολικά 9 τομές (εικόνες 4.13,4.14,4.15,4.16,4.17,4.18), 3 διαφορετικές από κάθε λογισμικό για κάθε επίπεδο κατακόρυφης τομής.

4.6. Σύγκριση κατακόρυφων τομών

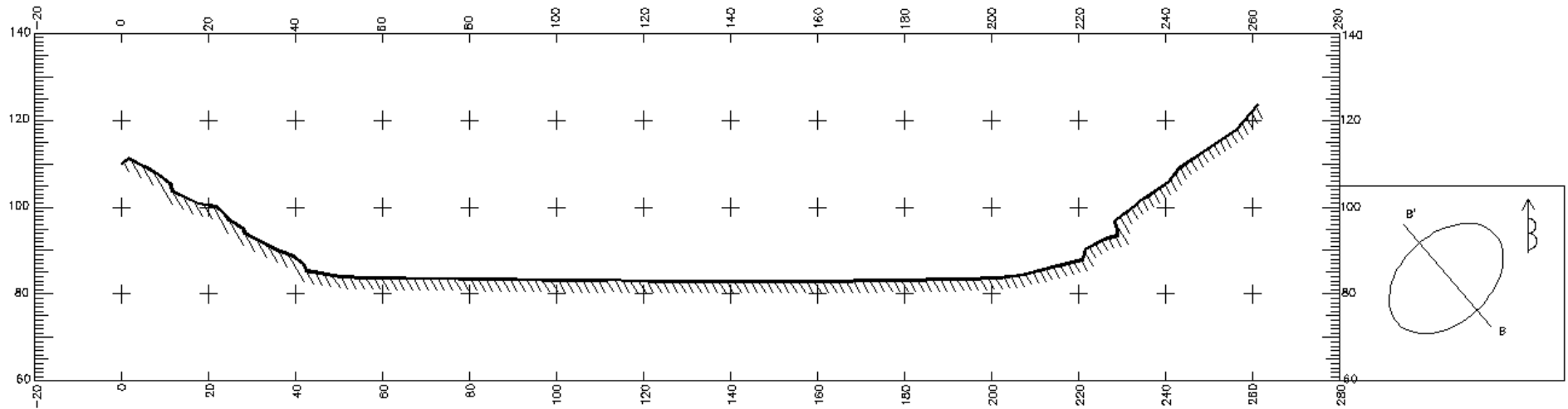
Μετά την ολοκλήρωση της δημιουργίας των κατακόρυφων τομών έγινε η σύγκριση μεταξύ των γεωδαιτικά μετρημένων τομών με τις τομές που προέκυψαν από τα τρισδιάστατα μοντέλα. Διαπιστώθηκε ότι οι τομές μεταξύ τους συμφωνούν σε αρκετά σημεία ωστόσο υπάρχουν μικρές διαφορές κυρίως στην τομή B-B'. Οι διαφορές αυτές οφείλονται στον τρόπο δημιουργίας του τρισδιάστατου μοντέλου καθώς και στο γεγονός ότι τα σημεία που μετρήθηκαν πάνω στην τομή δεν ήταν αρκετά πυκνά ώστε να αποδοθεί η τομή με περισσότερες λεπτομέρειες.

Τα αποτελέσματα της σύγκρισης δίνονται στις παρακάτω εικόνες όπου με μαύρη γραμμή παρουσιάζεται η γεωδαιτικά μετρημένη τομή και με κόκκινη η τομή που προέκυψε από το μοντέλο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΜΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ

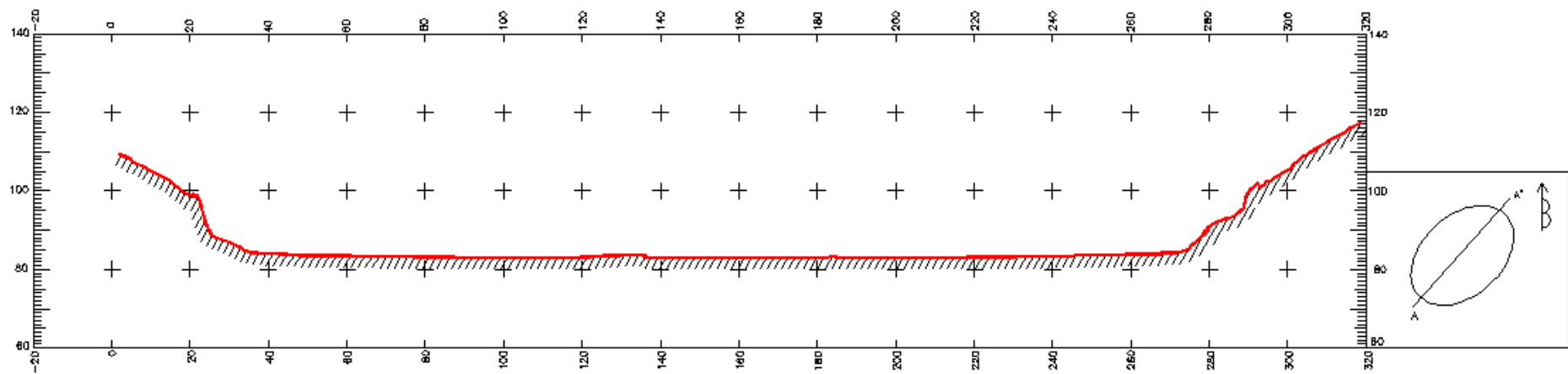


Εικόνα 4.11: Κατακόρυφη τομή A-A'

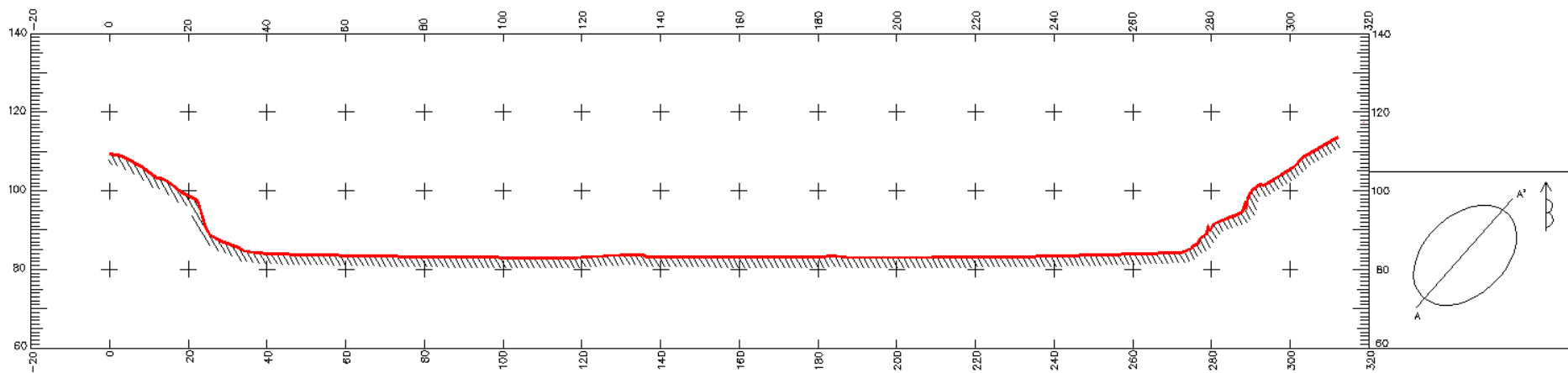


Εικόνα 4.12: Κατακόρυφη τομή B-B'

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΜΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ

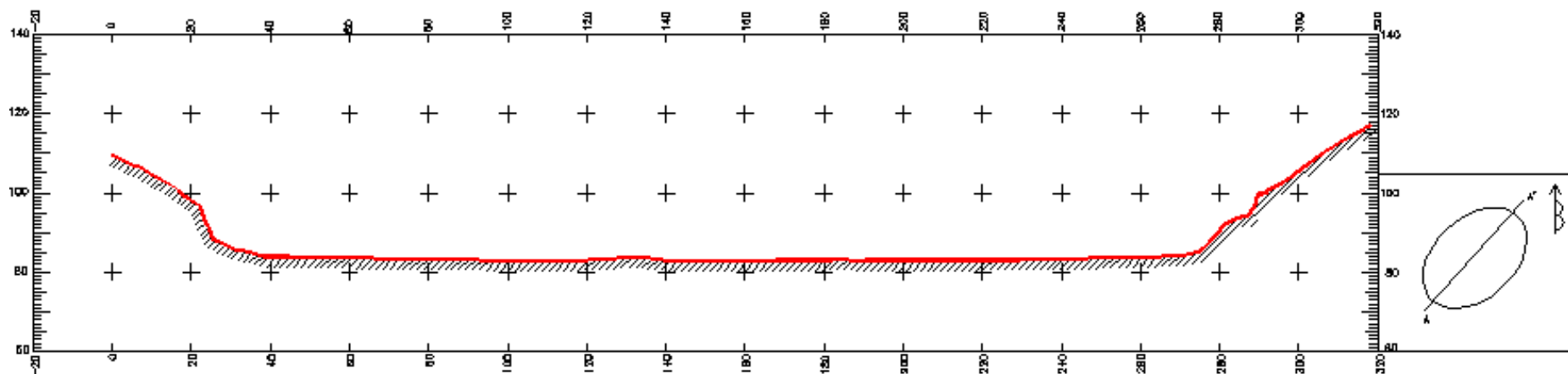


Εικόνα 4.13: Κατακόρυφη τομή A-A' – IS με βήμα σάρωσης 1m

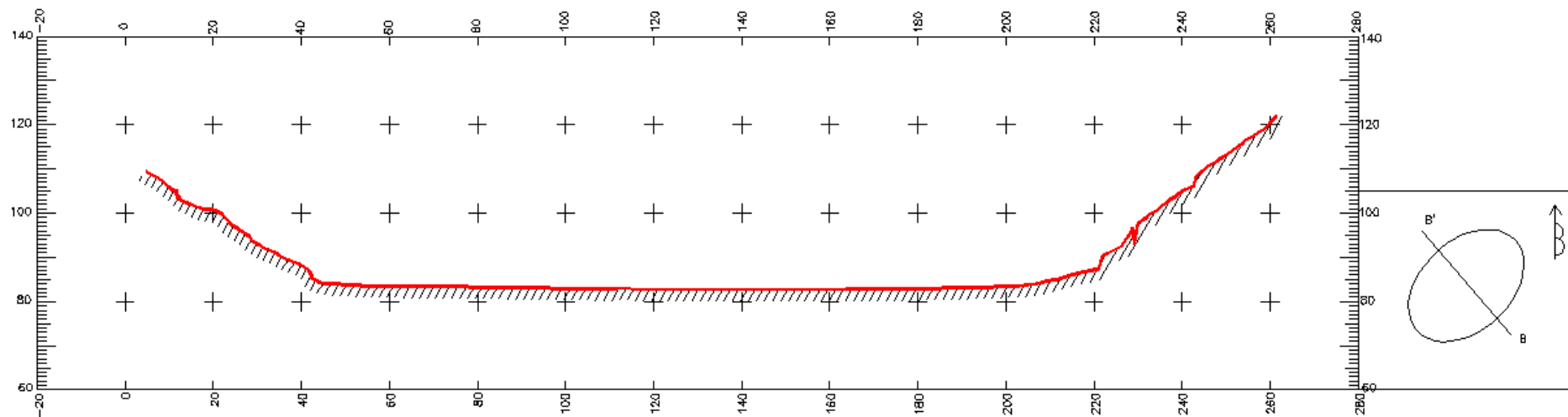


Εικόνα 4.14: Κατακόρυφη τομή A-A' – VX με βήμα σάρωσης 1m

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΜΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ

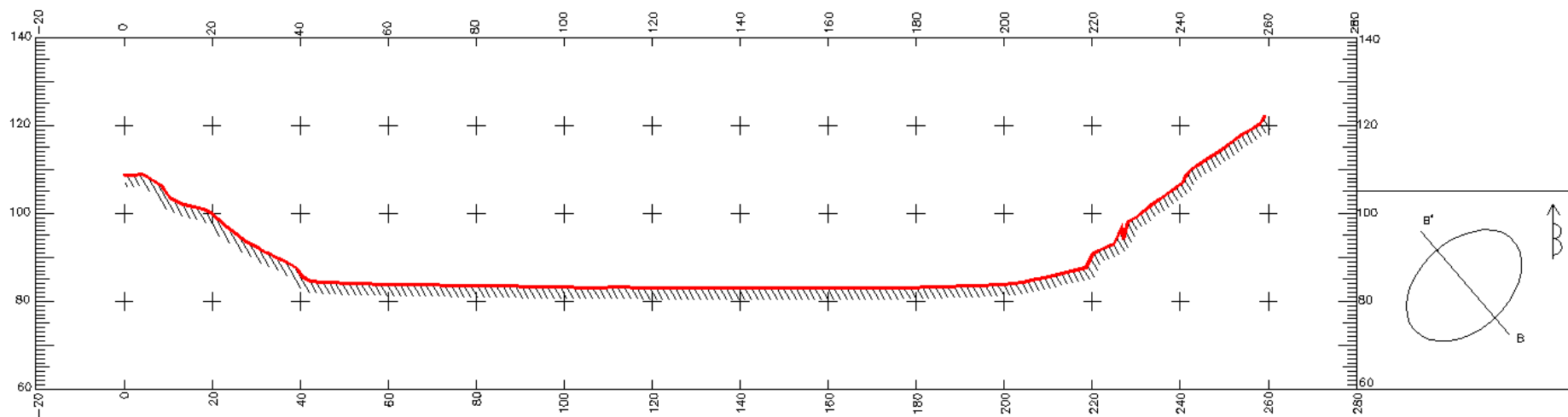


Εικόνα 4.15: Κατακόρυφη τομή A-A' – VX με βήμα σάρωσης 2m

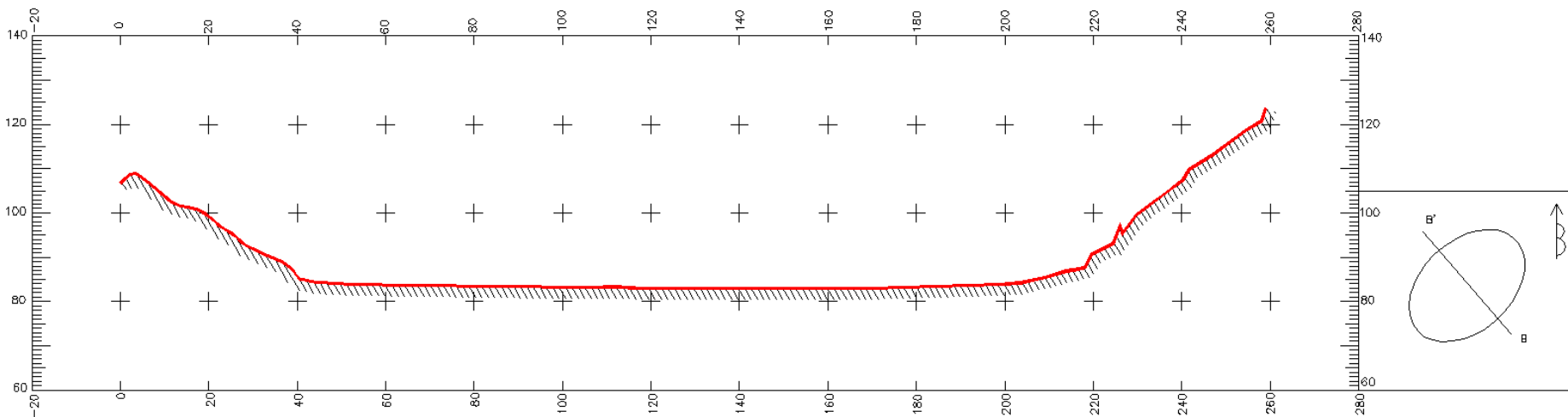


Εικόνα 4.16: Κατακόρυφη τομή B-B' –IS με βήμα σάρωσης 1m

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΜΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ

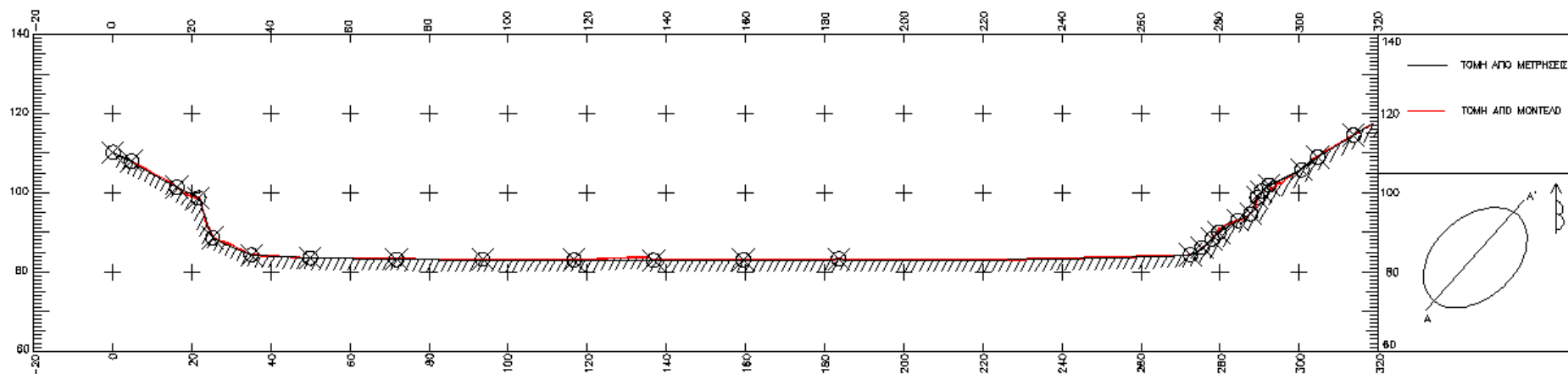


Εικόνα 4.17: Κατακόρυφη τομή B-B' - VX με βήμα σάρωσης 1m

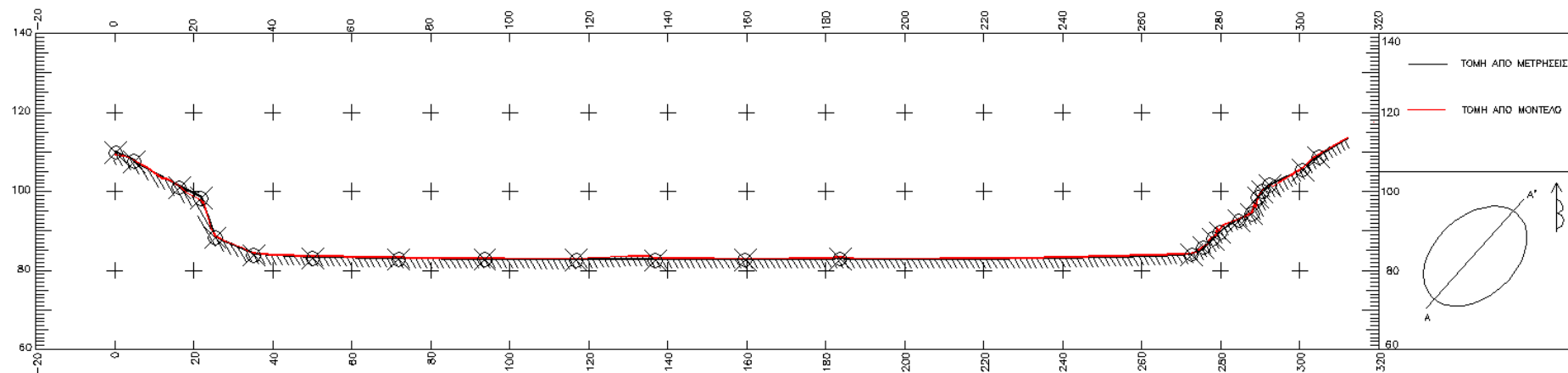


Εικόνα 4.18: Κατακόρυφη τομή B-B' - VX με βήμα σάρωσης 2m

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΜΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ

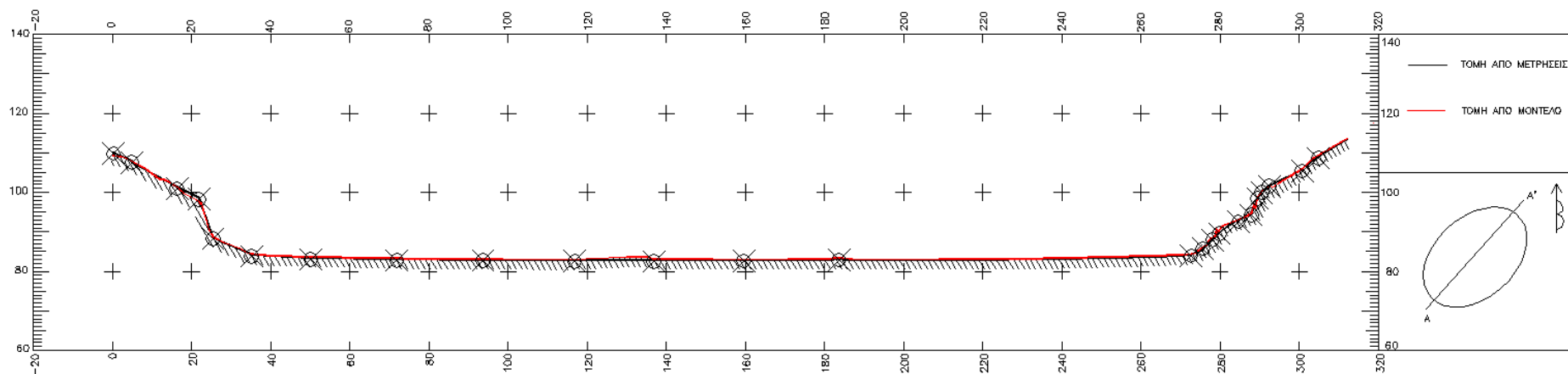


Εικόνα 4.19: Σύγκριση γεωδαιτικής τομής – IS 1m τομής A-A'

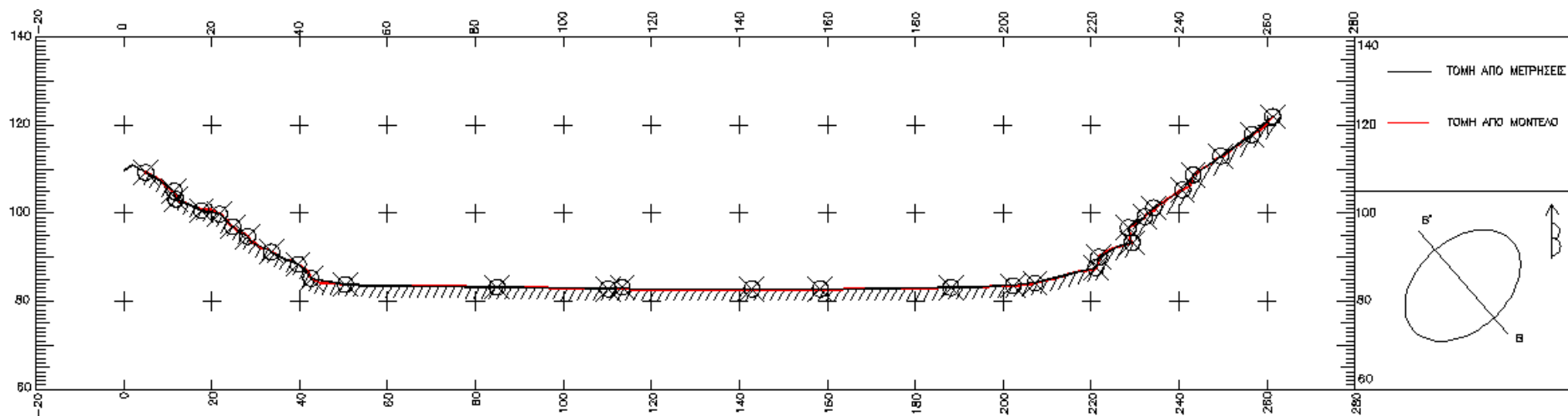


Εικόνα 4.20: Σύγκριση γεωδαιτικής τομής – VX 1m τομής A-A'

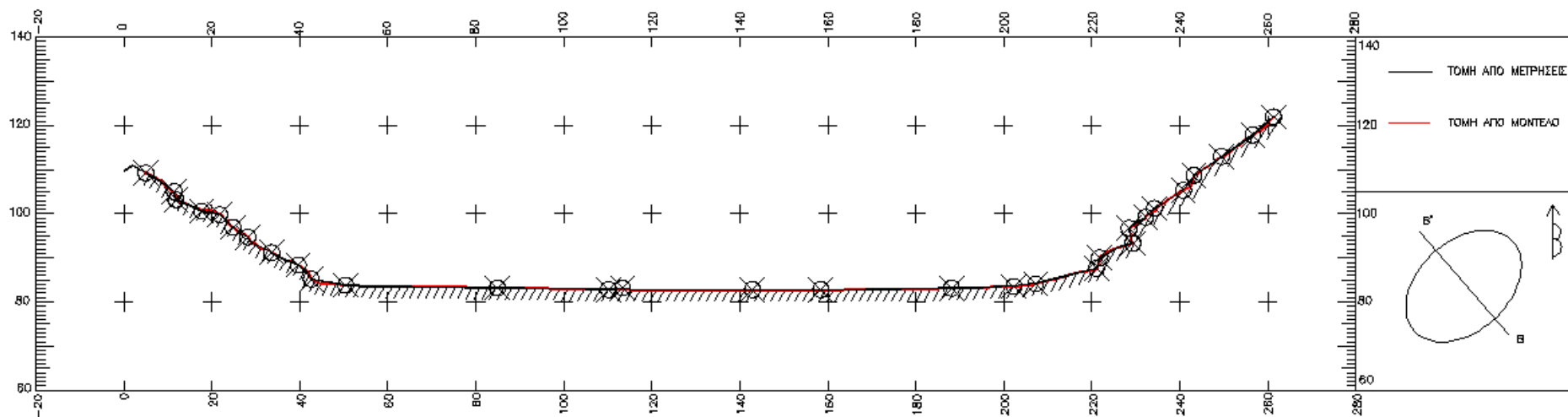
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΜΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ



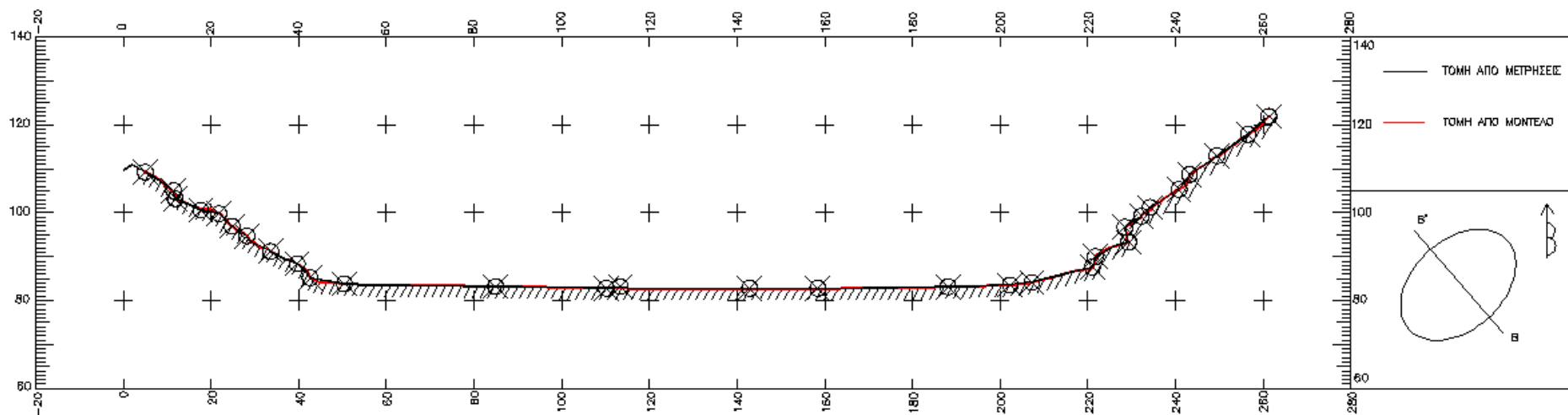
Εικόνα 4.21: Σύγκριση γεωδαιτικής τομής – VX 2m τομής A-A'



Εικόνα 4.22: Σύγκριση γεωδαιτικής τομής – IS 1m τομής B-B'



Εικόνα 4.23: Σύγκριση γεωδαιτικής τομής – VX 1m τομής B-B'

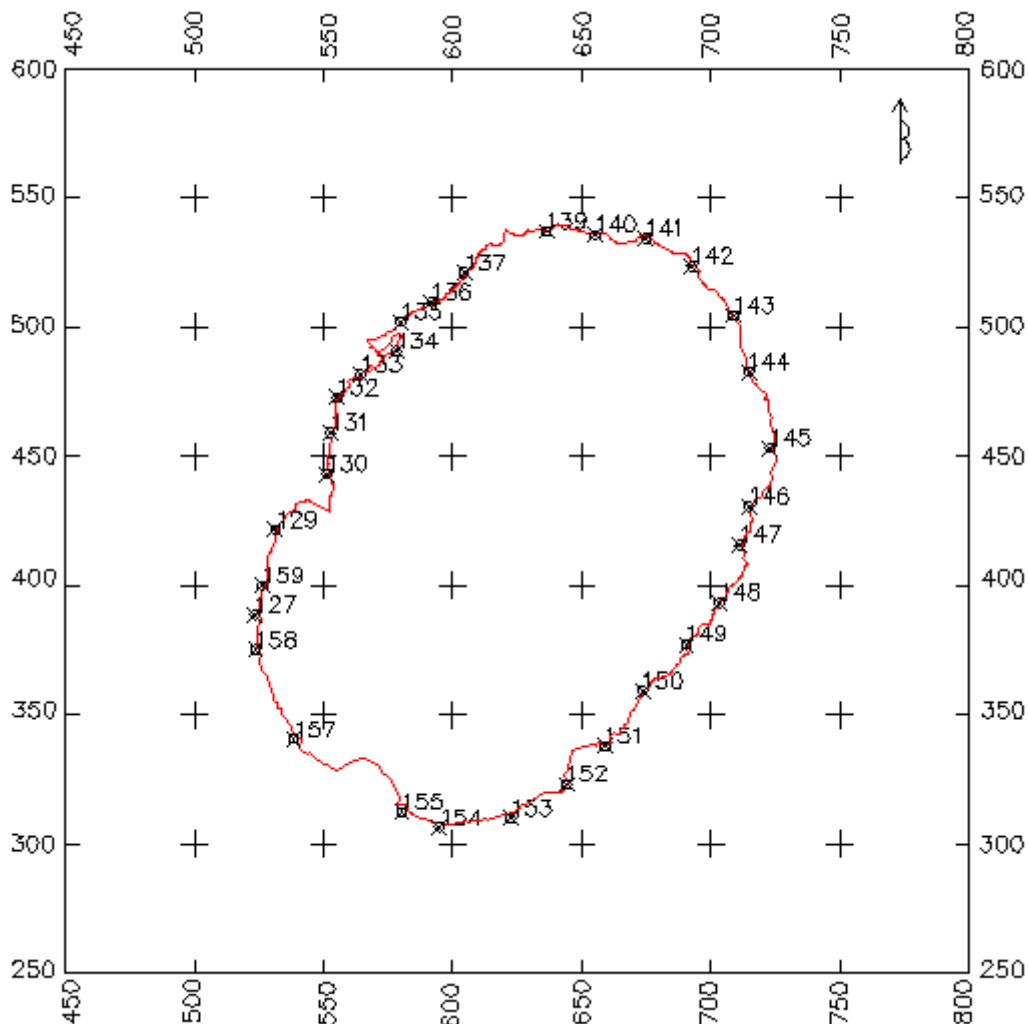


Εικόνα 4.24: Σύγκριση γεωδαιτικής τομής – VX 2m τομής B-B'

4.7. Οριζόντια τομή του κρατήρα

Εκτός από την μέτρηση σημείων για την δημιουργία των κατακόρυφων τομών του κρατήρα του ηφαιστείου, μετρήθηκαν και σημεία για την δημιουργία μιας οριζόντιας τομής. Η οριζόντια τομή έγινε σε τυχαίο ύψος από τον πυθμένα του κρατήρα. Το υψόμετρο στο οποίο μετρήθηκαν τα σημεία της οριζόντιας τομής είναι το 84.574m.

Στην συνέχεια μετρήθηκαν περιμετρικά του κρατήρα του ηφαιστείου 30 σημεία ώστε να συγκριθούν και να ελεγχθούν με την οριζόντια τομή που θα προέκυπτε από το μοντέλο του ηφαιστείου. Συγκεκριμένα δημιουργήθηκε η οριζόντια τομή του τελικού μοντέλου του ηφαιστείου και στην συνέχεια ελέγχθηκαν κατά πόσο τα σημεία συμφωνούσαν με την τομή αυτή. Στην εικόνα 4.25 παρουσιάζεται η οριζόντια τομή καθώς και τα μετρημένα σημεία.



Εικόνα 4.25: Οριζόντια τομή

Ωστόσο δεν ήταν δυνατή η κατασκευή της οριζόντιας τομής από τα μετρημένα σημεία και μόνο, καθώς αυτά ήταν πολύ λίγα για να την αποδώσουν με καλή ακρίβεια. Επίσης δεν δημιουργήθηκαν οριζόντιες τομές από κάθε ένα μοντέλο ξεχωριστά γιατί το επίπεδο που επιλέχθηκε ήταν αρκετά κοντά στο δάπεδο του κρατήρα με αποτέλεσμα οι όποιες διαφοροποιήσεις ανάμεσα στα μοντέλα να μην επηρεάζουν την οριζόντια τομή στο συγκεκριμένο ύψος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΤΡΙΔΙΑΣΤΑΤΗ ΕΚΤΥΠΩΣΗ – RAPID PROTOTYPING

5.1. Εισαγωγή

Η **τριδιάστατη εκτύπωση** (3D printing) είναι μια μέθοδος προσθετικής κατασκευής στην οποία κατασκευάζονται αντικείμενα μέσω της διαδοχικής πρόσθεσης επάλληλων στρώσεων υλικού. Στη τριδιάστατη εκτύπωση μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφοροι τύποι υλικού, κυρίως κεραμικά και πολυμερή. Ωστόσο ο ορθότερος όρος για την περιγραφή αυτής της διαδικασίας είναι ο όρος Ταχεία Κατασκευή Πρωτοτύπων (Rapid Prototyping)

Ιστορικά η δημιουργία τριδιάστατων μοντέλων ή καλύτερα πρωτοτύπων βρίσκει εφαρμογή αιώνες πίσω, αφού αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά βήματα για τη σχεδίαση ενός προϊόντος. Κι αυτό γιατί πριν την έναρξη της πλήρους παραγωγής προϊόντων, κατασκευάζονται και δοκιμάζονται πρωτότυπα.

Στην πρώτη φάση και για πολλούς αιώνες κατασκευάζονταν χειροποίητα πρωτότυπα από ειδικευμένους τεχνίτες.

Η δεύτερη φάση της πρωτοτυποποίησης ξεκίνησε στα μέσα 1970 όταν ένα μαλακό μοντέλο που αποτελούνταν από τριδιάστατες καμπύλες και επιφάνειες μπορούσε να επεξεργαστεί από ένα εικονικό περιβάλλον και να δοκιμαστεί ακριβώς όπως το πραγματικό προϊόν.

Έτος	Τεχνολογία
1770	Μηχανοποίηση
1946	Πρώτος Η/Υ
1952	Πρώτη διαχείριση μηχανής μέσω Η/Υ
1960	Πρώτη ακτίνα laser
1961	Πρώτο Robot
1963	Πρώτο σύστημα διαλογικών γραφικών (πρώιμη έκδοση CAD)
1988	Πρώτο σύστημα Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων (RP)

Πίνακας 5.1: Ιστορική εξέλιξη της RP και των συγγενών τεχνολογιών

Τρίτη και τελευταία φάση στην εξέλιξη της δημιουργία πρωτοτυποποίησης ξεκίνησε στα μέσα του 1980 όταν εκτινάχθηκε η τεχνολογία των υπολογιστικών προγραμμάτων σχεδίασης(CAD). Έτσι πλέον ήταν δυνατή η ακριβής κατασκευή στερεών μοντέλων με εναπόθεση υλικού σε στρώματα.

5.2. Η βασική αρχή της Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων (RP)

Σε όλες τις κατασκευές ενός πρωτότυπου(μοντέλου) ακολουθείται μία βασική αρχή κατά την κατασκευή. Το πρωτότυπο κατασκευάζεται με την απόθεση στρωμάτων όπου περιέχεται όλη η πληροφορία σε ένα επίπεδο δύο διαστάσεων x-y. Η τρίτη διάσταση z δημιουργείται από τις μεμονωμένες στρώσεις που στοιβάζονται η μία πάνω στην άλλη, χωρίς ωστόσο να είναι συνεχόμενη η z συντεταγμένη.

Αυτό λοιπόν έχει ως αποτέλεσμα τα πρωτότυπα να έχουν μεγάλη ακρίβεια κατά τους άξονες x-y, αλλά όχι κατά τον z άξονα αφού δημιουργούνται σκαλοπάτια από τις διάφορες στρώσεις. Ωστόσο αν το μοντέλο κατασκευαστεί με πολλές λεπτές στρώσεις, τότε πετυχαίνεται μικρότερη εμφάνιση των σκαλοπατιών με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγάλη ομοιότητα με το θεωρητικό.

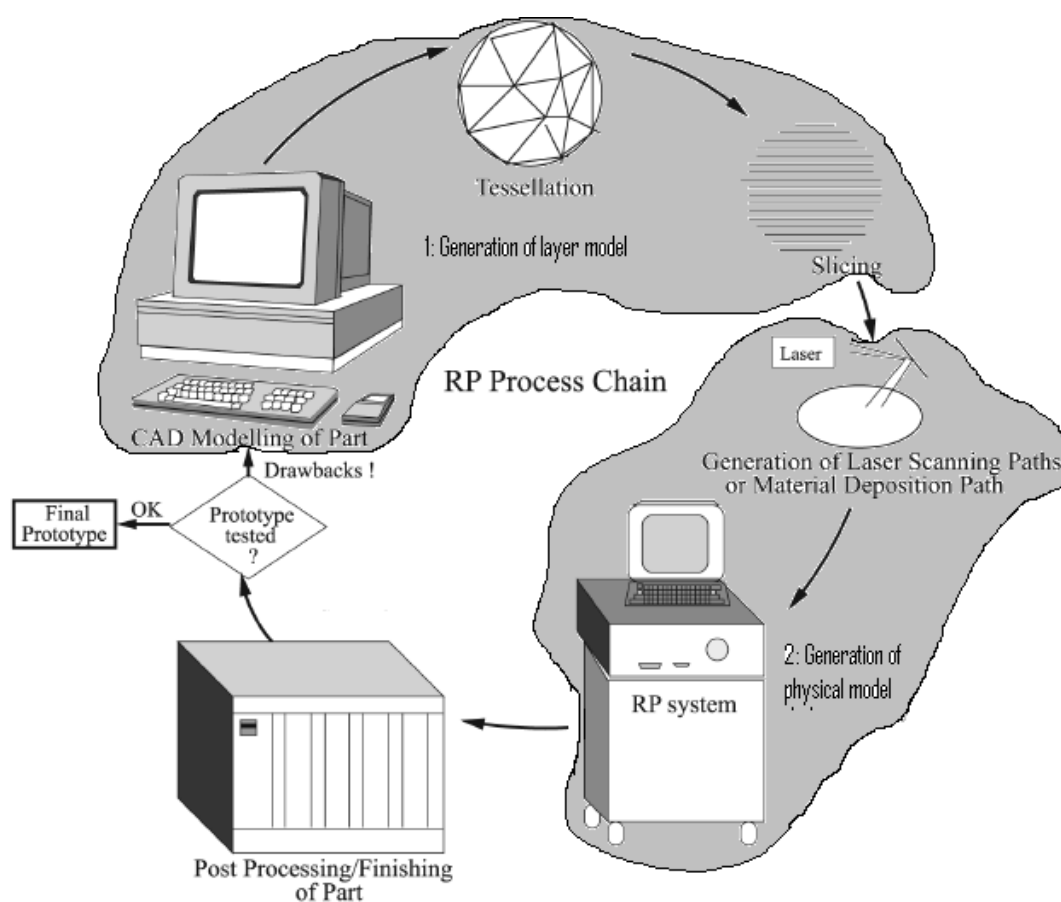
Η διαδικασία της Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων ακολουθεί κάποια βήματα εικόνα 5.1 τα οποία οδηγούν από την σχεδίαση στην παραγωγή του τριδιάστατου μοντέλου.

Αρχικά ξεκινά η τριδιάστατη μοντελοποίηση του πρωτοτύπου με την βοήθεια ενός προγράμματος CAD. Η επιφάνεια ενός πρωτοτύπου CAD τμηματικά προσεγγίζεται από μία σειρά από τρίγωνα. Ο αριθμός και η επιφάνεια των τριγώνων αυτών καθορίζονται από την ακρίβεια την οποία είναι επιθυμητή η δημιουργία του μοντέλου. Η επιφάνεια του μοντέλου ελέγχεται για ελαττώματα όπως είναι ασυνέχειες, επικαλυπτόμενα μέρη, έντονες κορυφές και επισκευάζεται εφόσον βρεθεί κάτι το ελαττωματικό. Στην συνέχεια εξάγεται η τριδιάστατη μοντελοποίηση σε αρχεία STL.

Τα βασικά στάδια της εκτύπωσης-παραγωγής ενός πρωτοτύπου είναι:

- Επιλέγεται το πάχος της στρώσης, η ποιότητα και η ακρίβεια της επιφάνειας, ο προσανατολισμός της επιφάνειας και τότε δημιουργούνται κάποιες πρότυπες μορφές δεδομένων ανάλογα με την μέθοδο που θα χρησιμοποιηθεί.

- Εισάγονται τα δεδομένα αυτά σε μία RP μηχανή και ξεκινάει η παραγωγή του μοντέλου.
- Το επόμενο στάδιο στην αλυσίδα της διαδικασίας παραγωγής τρισδιάστατου μοντέλου είναι εργασίες καθαρισμού και ολοκλήρωσης του πρωτοτύπου. Σε αυτό το στάδιο καθαρίζεται το μοντέλο και αφαιρείται το επιπλέον υλικό
- Τέλος το τρίψιμο, η στίλβωση και μερικές φορές και η ζωγραφική για καλύτερο φινίρισμα της επιφάνειας.



Εικόνα 5.1: Η διαδικασία δημιουργίας πρωτοτύπου
 [Pulak M. Pandey, « Rapid Prototyping Technologies, Applications and Part Deposition Planning»]

5.3. Μέθοδοι Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων

Για την κατασκευή τρισδιάστατων πρωτοτύπων με την χρήση των μηχανών RP υπάρχουν διάφορες μέθοδοι οι οποίες είναι:

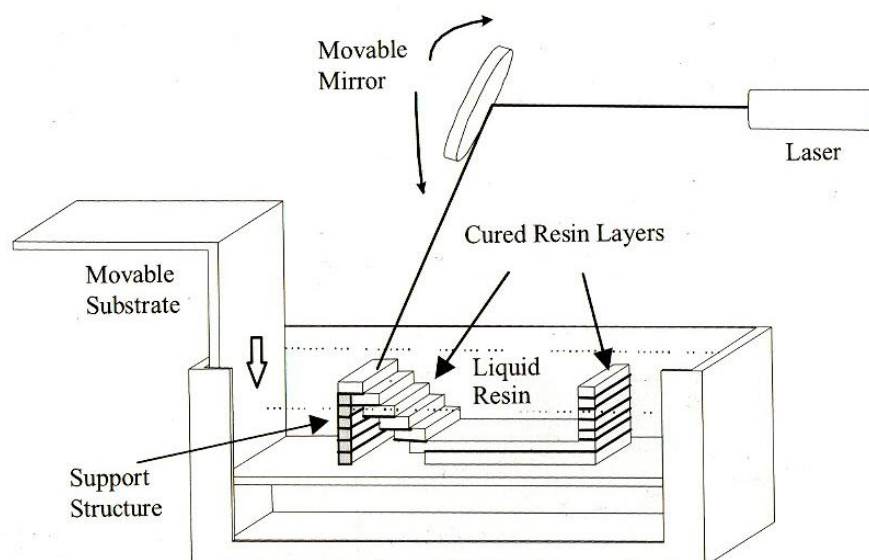
- η στερεολιθογραφία
- Selective Laser Sintering (SLS)
- Fused Deposition Modeling (FDM)
- Laminated Object Manufacturing (LOM)

οι οποίες αναλύονται παρακάτω διεξοδικά.

5.3.1. Στερεολιθογραφία

Σε αυτή την μέθοδο σχηματίζεται ένα στερεό πολυμερές με την χρήση υγρής φωτοευαίσθητης ρητίνης όταν εκτίθεται σε υπεριώδες φως. Λόγω της απορρόφησης και σκέδασης της υπεριώδους ακτίνας, η αντίδραση λαμβάνει χώρα μόνο κοντά στην επιφάνεια και έτσι σχηματίζονται στερεά πολυμερή.

Μια μηχανή στερεολιθογραφίας εικόνα 5.2, αποτελείται από μια πλατφόρμα κατασκευής (υπόστρωμα), το οποίο είναι τοποθετημένο σε ένα κάδο που περιέχει ρητίνη και μίας UV Ηλίου Καδμίου ή Αργού ακτίνας λέιζερ. Το λέιζερ σαρώνει το πρώτο στρώμα και η πλατφόρμα κατόπιν χαμηλώνει σε απόσταση ίση με ένα πάχος τομής και αφήνεται για σύντομο χρονικό διάστημα (dip-καθυστέρηση) έτσι ώστε το υγρό πολυμερές να σχηματίσει μια λεία και επίπεδη επιφάνεια και να εμποδιστεί ο σχηματισμός φυσαλίδων.



Εικόνα 5.2: Στερεολιθογραφία
[Pulak M. Pandey, « Rapid Prototyping Technologies, Applications and Part Deposition Planning»]

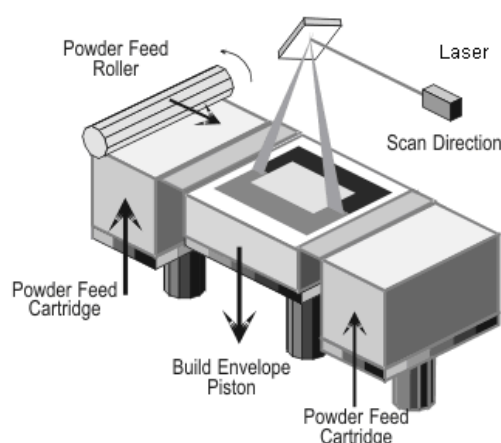
Γενικά η τεχνική της στερεολιθογραφίας διέπεται από τα εξής χαρακτηριστικά:

- Δημιουργείται καλή ποιότητα επιφάνειας αλλά με μικρή αντοχή κομματιών(δεν ενδείκνυται για λειτουργικές δομές). Ωστόσο τα τελευταία χρόνια έχει βελτιωθεί σημαντικά η αντοχή των υλικών που χρησιμοποιούνται.
- Παρέχεται η δυνατότητα πολύπλοκης γεωμετρίας με μεγάλη ακρίβεια.
- Το κόστος των υλικών και της μηχανής είναι αρκετά υψηλό.
- Έχει μικρή δυνατότητα επεξεργασίας επιφανειών.

5.3.2. Selective Laser Sintering (SLS)

Σε αυτή την μέθοδο, χρησιμοποιείται μια πολύ λεπτή σκόνη πολυμερών με διάμετρο κόκκων από 20μm έως 100μm η οποία απλώνεται επί του υποστρώματος με την βοήθεια ενός κυλίνδρου. Πριν από την έναρξη του σκαναρίσματος από την CO₂ ακτίνα λέιζερ για την σύμπτυξη μεταξύ των διαδοχικών στρώσεων, ανυψώνεται ολόκληρο το υπόστρωμα όπου με υπέρυθη ακτινοβολία θερμαίνεται με σκοπό την ελαχιστοποίηση της θερμικής παραμόρφωσης αλλά και την διευκόλυνση της συγχώνευσης της επόμενης με την προηγούμενη στρώση.

Στη συνέχεια αφού περάσει η ακτίνα σάρωσης, χαμηλώνει το υπόστρωμα με τις στρώσεις και ψεκάζεται ένα κάλυμμα σκόνης στον κύλινδρο περιστροφής όπου περνάει πάνω από την περιοχή της κατασκευής και προσθέτει μία στρώση υλικού στο υπό κατασκευή αντικείμενο.



Εικόνα 5.3: Αρχή λειτουργίας μεθόδου Selective Laser Sintering [Pulak M. Pandey, « Rapid Prototyping Technologies, Applications and Part Deposition Planning»]

Τα κύρια χαρακτηριστικά της μεθόδου είναι τα εξής:

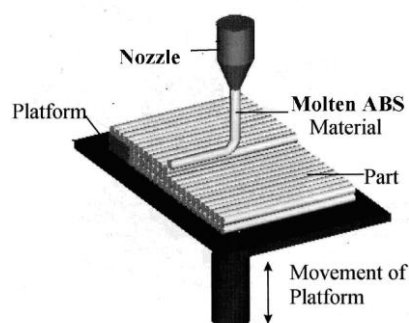
- Έχει την δυνατότητα να χρησιμοποιεί μεγάλη ποικιλία υλικών, κυρίως το νάιλον. Επίσης μπορεί να κατασκευάσει μεταλλικά κομμάτια.
- Δεν απαιτείται ιδιαίτερη επεξεργασία του μοντέλου μετά την κατασκευή.
- Τα κομμάτια που κατασκευάζονται παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή και ακρίβεια.
- Έχει την δυνατότητα να κατασκευάζει σχετικά μεγάλα αντικείμενα (μέχρι 0.5m)

5.3.3. Fused Deposition Modeling (FDM)

Η διαδικασία που ακολουθεί αυτή η μέθοδος στηρίζεται στη κίνηση που κάνει ένα κινητό ακροφύσιο κατά τις διευθύνσεις x-y για την κατάθεση του τηγμένου πολυμερούς υλικού πάνω στις προηγούμενες στρώσεις. Το υλικό κατασκευής θερμαίνεται ελαφρώς πάνω (περίπου 0.5 C) από την θερμοκρασία τήξεως του έτσι ώστε να στερεοποιείται μέσα σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα (περίπου 0.1 s) μετά την εξώθησή του. Έτσι δημιουργεί ψυχρές συγκολλήσεις στο προηγούμενο στρώμα όπως φαίνεται στην εικόνα 5.4.

Ωστόσο θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν σημαντικοί παράγοντες έτσι ώστε το αποτέλεσμα να είναι το επιθυμητό όπως:

- η σταθερότητα του ακροφυσίου
- η ταχύτητα εκβολής του υλικού
- η ταχύτητα με την οποία κινείται η κεφαλή του ακροφυσίου η οποία επηρεάζει το πάχος της στρώσης.



Εικόνα 5.4: Αρχή λειτουργίας της τεχνικής Fused Deposition Modeling [Pulak M. Pandey, « Rapid Prototyping Technologies, Applications and Part Deposition Planning»]

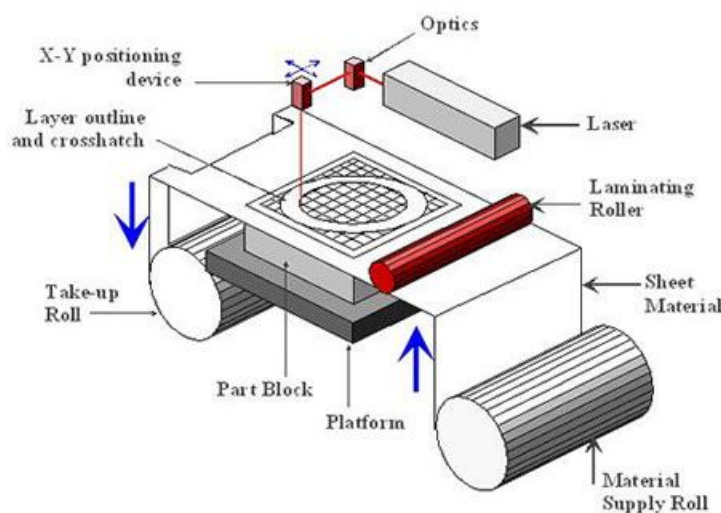
Τα κύρια χαρακτηριστικά αυτής της μεθόδου είναι:

- Δημιουργούνται κομμάτια από πλαστικό με μεγάλη αντοχή και σχετικά καλή ακρίβεια.
- Παρέχει την δυνατότητα συναρμολόγησης των κομματιών και ελέγχου των δυναμικών τους στοιχείων.
- Η ταχύτητα κατασκευής επηρεάζεται σημαντικά από την γεωμετρία του αντικειμένου.
- Τα πρωτότυπα που κατασκευάζονται έχουν μία ελαφρώς τραχεία επιφάνεια με μικρή δυνατότητα επεξεργασίας.

5.3.4. Laminated Object Manufacturing (LOM)

Ένα τυπικό σύστημα αυτής της μεθόδου φαίνεται στην εικόνα 5.5. Όπως φαίνεται από την εικόνα σε κάθε μια από τις στρώσεις κόβεται το απαιτούμενο περίγραμμα με την χρήση μίας 25-50 watt ακτίνας λέιζερ. Η κάθε στρώση συνδέεται και κολλάει με την προηγούμενη με την χρήση ενός θερμού κυλίνδρου, ο οποίος ενεργοποιεί ένα ευαίσθητο στην θερμοκρασία συγκολλητικό.

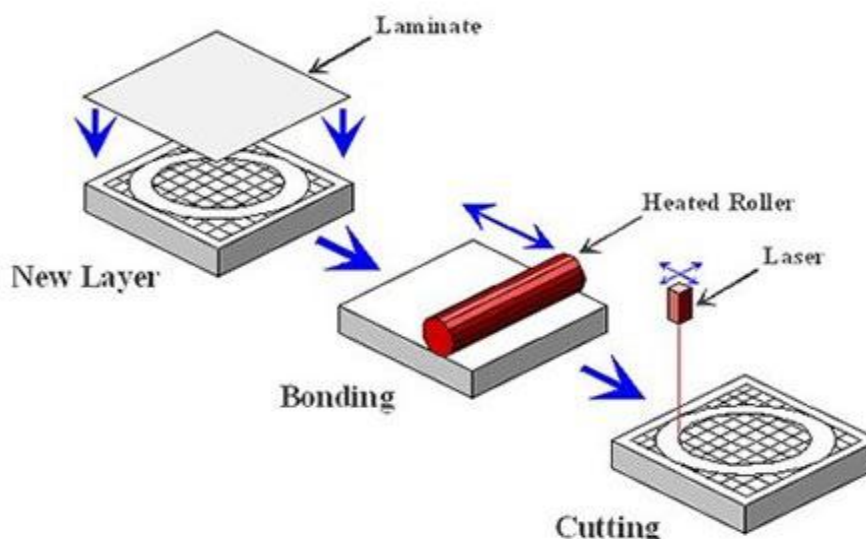
Εκτός όμως από το υλικό που χρησιμοποιείται για την κατασκευή του πρωτοτύπου, το ανεπιθύμητο υλικό κόβεται σε ορθογώνια για να είναι εύκολη η αφαίρεση του αργότερα.



Εικόνα 5.5: Αρχή λειτουργίας της μεθόδου Laminated Object Manufacturing

[Pulak M. Pandey, « Rapid Prototyping Technologies, Applications and Part Deposition Planning»]

Στην συνέχεια μόλις ένα κομμάτι ολοκληρωθεί, η πλατφόρμα κατεβαίνει για να έρθει το επόμενο κομμάτι του ρολού. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρις ότου κατασκευαστεί ολόκληρο το αντικείμενο (εικόνα 5.6).



Εικόνα 5.6: Διαδικασία παραγωγής πρωτοτύπων
[Pulak M. Pandey, « Rapid Prototyping Technologies, Applications and Part Deposition Planning»]

Μετά την ολοκλήρωση κατασκευής το αντικείμενο καθαρίζεται προσεκτικά από το περιττό υλικό και εμποτίζεται από βερνίκι για να εμποδιστεί η παραμόρφωσή του από την απορρόφηση υγρασίας. Σε αυτή την μέθοδο τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι σχετικά φθηνότερα σχετικά με τις άλλες μεθόδους όπως χαρτί, πλαστικό κλπ. Ωστόσο αυτή η τεχνική έχει ορισμένους περιορισμούς στην κατασκευή αντικειμένων που σχηματίζουν κοίλες εσοχές και περίεργα γεωμετρικά χαρακτηριστικά.

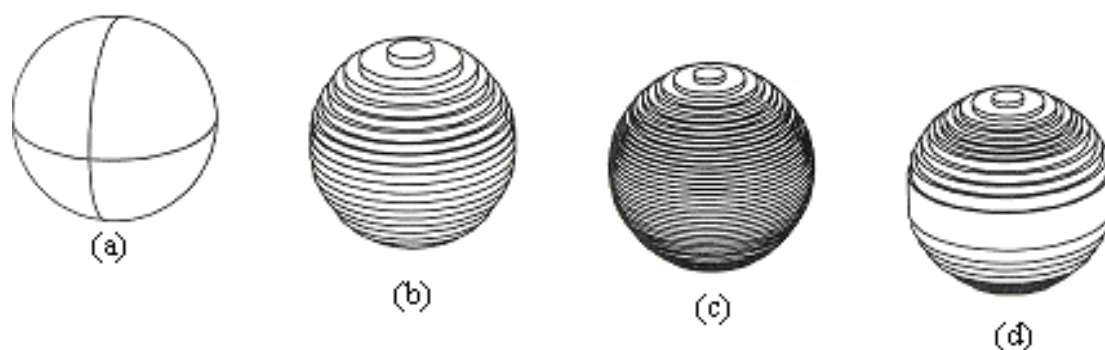
5.4. Ακρίβεια των πρωτοτύπων

Η ακρίβεια του μοντέλου επηρεάζεται πολύ από τα σφάλματα που προκαλούνται κατά την διάρκεια της προσέγγισης επιφανειών του αντικειμένου με την χρήση προγραμμάτων CAD αλλά και από το πάχος των στρώσεων κατά την διάρκεια της κατασκευής.

Τα σφάλματα κατά την προσέγγιση της επιφάνειας στη διαδικασία της μοντελοποίησης του αντικειμένου οφείλονται κυρίως στην χρήση τριγώνων. Αυτό συμβαίνει γιατί με την χρήση τριγώνων σε επιφάνειες όπως η σφαίρα, χάνεται η ακριβείς χωρική πληροφορία. Ωστόσο αν

μειωθεί το μέγεθος των τριγώνων η απόκλιση μεταξύ των πραγματικών επιφανειών και της προσέγγισης μπορεί να μειωθεί αρκετά.

Τα σφάλματα που προκαλούνται από το πάχος των στρώσεων κατά την διαδικασία της κατασκευής παίζουν σημαντικό ρόλο στην ακρίβεια του πρωτοτύπου. **Όσο πιο μεγάλο είναι το πάχος της στρώσης τόσο μεγαλώνει και η απόκλιση από το πραγματικό αντικείμενο.** Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα (εικόνα 5.7), όπου φαίνεται πως αλλοιώνεται η επιφάνεια μιας σφαίρας αλλά και πώς διορθώνεται ανάλογα το πάχος στρώσης.



*Εικόνα 5.7: Μοντέλο σφαίρας ανάλογα το πάχος των στρώσεων
a)πρότυπη σφαίρα b)μέσο πάχος c)λεπτό πάχος d)προσαρμοσμένο πάχος
[Pulak M. Pandey, « Rapid Prototyping Technologies, Applications and Part Deposition Planning»]*

5.5. Εφαρμογές των τεχνολογιών RP

Οι τεχνολογία της Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων βρίσκει σήμερα εφαρμογές σε πολλούς τομείς. Κι αυτό γιατί εισέρχεται κατά τον σχεδιασμό των προϊόντων κατά την παραγωγική διαδικασία. Έχει την ικανότητα της βελτίωσης της ανάπτυξης του προϊόντος, ενώ ταυτόχρονα μειώνεται σημαντικά το κόστος.

Παρόλο που υπάρχει το μειονέκτημα ότι τα πρωτότυπα έχουν φτωχό επιφανειακό τελείωμα και περιορισμένη ανθεκτικότητα χρησιμοποιούνται με επιτυχία από διάφορες βιομηχανίες όπως η αεροδιαστημική, η αυτοκινητοβιομηχανία, η κατασκευή κοσμημάτων και αθλητικών ειδών, η βιοϊατρική κλπ.

Ωστόσο εκτός από τις διάφορες βιομηχανίες, η τεχνολογία RP βρίσκει εφαρμογή και σε διάφορες τοπογραφικές και χαρτογραφικές εφαρμογές. Με την χρήση αυτών των τεχνολογιών είναι εύκολη η

κατασκευή ενός πρωτότυπου τρισδιάστατου ψηφιακού μοντέλου εδάφους

5.6. Εφαρμογή της τεχνολογίας RP στο ηφαιστειο της Νισύρου

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας και όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο δημιουργήθηκε το τριδιάστατο μοντέλο του κρατήρα του ηφαιστείου της Νισύρου. Στη συνέχεια κρίθηκε σκόπιμο να εκτυπωθεί τρισδιάστατα.

Αρχικά δημιουργήθηκε ένα μοντέλο επιφανειών του κρατήρα του ηφαιστείου που περιείχε συνολικά όλη την χωρική πληροφορία και από τους δύο γεωδαιτικούς σταθμούς.

Επεξεργάστηκε κατάλληλα το μοντέλο ώστε να εξαλειφθούν και να διορθωθούν τυχόν ασυνέχειες και προβληματικές περιοχές.

Έγινε και επαρκής λείανση (smooth) του μοντέλου ώστε να ομαλοποιηθούν οι κορυφές των τριγώνων που χρησιμοποιήθηκαν κατά την προσέγγιση της επιφάνειας. Από το μοντέλο επιφανειών με εξώθηση της επιφάνειας δημιουργήθηκε το στερεό μοντέλο του κρατήρα, απαραίτητα για την κατασκευή του πρωτοτύπου.

Στην συνέχεια έγινε εξαγωγή του στερεού μοντέλου σε αρχείο STL για να είναι δυνατή η κατασκευή σε μηχανή κατασκευής πρωτοτύπων.

Επιλέχθηκε η κατασκευή του πρωτοτύπου να γίνει στα εργαστήρια της σχολής των Μηχανολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π. που διαθέτουν μηχανές κατασκευής πρωτοτύπων. Η μέθοδος με την οποία επιλέχθηκε να γίνει η κατασκευή του μοντέλου ήταν με την Laminated Object Manufacturing (LOM),(παρ. 5.3.4). Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την παραγωγή και ολοκλήρωση του τρισδιάστατου μοντέλου ήταν η εξής:

Αρχικά εισάγεται στο λογισμικό της μηχανής το αρχείο STL και ρυθμίστηκαν κατάλληλα οι παράμετροι (ισχύς ακτίνας λείζερ στα 2.5 Watt, το πάχος στρώσης στα 0.1mm, κλίμακα εκτύπωσης κτλ) ώστε να ξεκινήσει η κατασκευή του μοντέλου.

Η κλίμακα που επιλέχθηκε να γίνει η εκτύπωση ήταν η 1:2000. Υπολογίστηκαν οι διαστάσεις του μοντέλου ώστε να διαπιστωθεί αν μπορεί να κατασκευαστεί σε ένα κομμάτι. Οι διαστάσεις του συγκεκριμένου μοντέλου ήταν περίπου 16cm x 17.5cm x 1.8cm, οι

οποίες ήταν μικρότερες από τις μέγιστες προβλεπόμενες της μηχανής καθιστώντας δυνατή την κατασκευή σε ένα κομμάτι. Αρχικά κολλήθηκε στην πλατφόρμα της μηχανής ειδική χοντρή ταινία έχοντας τον ρόλο του υποστρώματος και της βάσης πάνω στην οποία θα ξεκινήσει η κατασκευή.

Αφού ολοκληρώθηκε αυτό το στάδιο ξεκίνησε η κατασκευή του μοντέλου μας. Η μηχανή που χρησιμοποιήθηκε ήταν η LOM1015 ΤΚΠ, του αρμόδιου εργαστηρίου Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων και Εργαλείων – Αντίστροφου Σχεδιασμού της Σχολής των Μηχανολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π. Η διαδικασία με την οποία δημιουργήθηκαν οι στρώσεις και τοποθετούνταν η μία πάνω στην άλλη ακολουθεί ακριβώς την διαδικασία με την οποία λειτουργεί η μέθοδος *Laminated Object Manufacturing (LOM)* (εικόνα 5.5,5.6).

Οι συνολικές στρώσεις που απαιτήθηκαν για την κατασκευή του τρισδιάστατου πρωτότυπου ήταν 250 και η συνολική διάρκεια κατασκευής 9 ώρες. Χρειάστηκε τόσος πολύς χρόνος καθώς το μοντέλο είχε μεγάλη λεπτομέρεια κατά την x-y διεύθυνση και απαιτούνταν αρκετός χρόνος ώστε να κοπεί από την ακτίνα λέιζερ.

Αν επιλέγετο η κλίμακα εκτύπωσης να ήταν η 1:1000 το συγκεκριμένο μοντέλο θα είχε διαστάσεις περίπου 32cm x 35x 3.5cm. Έτσι λόγω έλλειψης χώρου καθώς η συγκεκριμένη μηχανή κατασκευάζει πρωτότυπα διαστάσεων 20cm x 20cm x 20cm, το εν λόγω μοντέλο θα έπρεπε να κοπεί και να κατασκευαστεί σε 4 τεταρτημόρια. Το συνολικό πρωτότυπο θα προέκειπτε από την συνένωση των 4 μικρότερων κομματιών.

Το τελικό στάδιο μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής ήταν η αφαίρεση του επιπλέον αχρείαστου υλικού και το φινίρισμα της επιφάνειας. Το πρωτότυπο που κατασκευάστηκε εμφανίζει πολύ ικανοποιητική οπτική πιστότητα σε σχέση με το μοντέλο CAD από το οποίο κατασκευάστηκε και ομοιότητα με τον πραγματικό κρατήρα όπως προκύπτει και από την σύγκριση με φωτογραφικό υλικό της περιοχής.



Εικόνα 5.8: Πρωτότυπο του κρατήρα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

6.1. Συμπεράσματα

Η διπλωματική εργασία έχει ως βασικό αντικείμενο την μελέτη, ανάλυση και αξιολόγηση των βασικών παραμέτρων της σάρωσης με την χρήση των χωροεικονογεωδαιτικών σταθμών και παράλληλα την εφαρμογή με τη δημιουργία μοντέλων που απεικονίζουν γεωμετρικές και μή επιφάνειες.

Με τη χρήση της μεθόδου Monte Carlo, επιχειρείται η θεωρητική ανάλυση της σάρωσης και η αβεβαιότητα που επιτυγχάνεται στο τελικό γεωμετρικό αποτέλεσμα, από διάφορες αποστάσεις και διαφορετικής αβεβαιότητας όργανα.

Έγινε εφαρμογή της διαδικασίας σάρωσης σε ένα βιομηχανικό πρότυπο ορθογωνικής διατομής, σε μία σφαίρα και σε μία τυχαία μη γεωμετρική επιφάνεια, στον κρατήρα του Ηφαιστείου της Νισύρου.

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν είναι τα παρακάτω:

- Η θεωρητική ανάλυση με τη χρήση της μεθόδου MC απέδειξε ότι αβεβαιότητα των $\pm 16\text{mm}$ προσαρμογής μπορεί να επιτευχθεί από απόσταση σάρωσης 10m. Η αβεβαιότητα εξαρτάται από την αβεβαιότητα στη μέτρηση γωνιών και μηκών που παρέχει ο γεωδαιτικός σταθμός που θα χρησιμοποιηθεί, την απόσταση σάρωσης και τις διαστάσεις του αντικειμένου.

Η σάρωση των γεωμετρικών επιφανειών, έγινε με κατακόρυφο και οριζόντιο βήμα σάρωσης 3mm, ενώ η ανάλυση έδειξε ότι βήμα σάρωσης 1cm είναι επαρκές και επιτυγχάνει την ίδια αβεβαιότητα της τάξης των $\pm 5\text{mm}$.

- Η τριδιάστατη απεικόνιση-μοντελοποίηση του ορθογωνικού δοκιμίου επετεύχθει με αβεβαιότητα $\pm 4\text{mm}$ και οι διαστάσεις του μοντέλου που δημιουργήθηκε είχαν διαφορά από το πρότυπο 2.1mm, όταν χρησιμοποιήθηκε ο γεωδαιτικός σταθμός Topcon IS και -6.7mm με τη χρήση του γεωδαιτικού σταθμού Trimble VX. Οι

διαφορές αυτές βρίσκονται εντός του διαστήματος σφάλματος για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

- Η σάρωση της σφαίρας έγινε με την ίδια αβεβαιότητα $\pm 4\text{mm}$ και οι διαστάσεις του μοντέλου που δημιουργήθηκε είχαν διαφορά από το πρότυπο -3.9mm για τον γεωδατικό σταθμό IS και 2.4mm για τον γεωδαιτικό σταθμό VX. Και αυτές οι διαφορές αυτές βρίσκονται εντός του διαστήματος σφάλματος για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.
- Για την εφαρμογή της μεθόδου Monte Carlo στη σάρωση με χωροεικονογεωδαιτικούς σταθμούς και την προεκτίμηση απαιτείται η γνώση των συντεταγμένων κάποιων σημείων πάνω στο αντικείμενο που πρόκειται να σαρωθεί. Αυτό μπορεί να γίνει ή με τη μέτρηση κάποιου αριθμού σημείων με έναν απλό γεωδαιτικό σταθμό ή αν είναι γνωστή η γενική μαθηματική εξίσωση της επιφάνειας (π.χ επίπεδο, ελλειπτικό παραβολοειδές, κ.α).
- Η εφαρμογή της μεθόδου Monte Carlo στην σάρωση μη γεωμετρικών επιφανειών δεν είναι δυνατή καθώς οι μη γεωμετρικές επιφάνειες δεν εκφράζονται από μαθηματική εξίσωση, στοιχείο απαραίτητο για την εκτέλεση της διαδικασίας Monte Carlo. Εκτός και αν γίνει προσέγγιση της μη γεωμετρικής επιφάνειας από μία γενικότερη εξίσωση. Τότε θα είναι δυνατή η χρήση της μεθόδου, η οποία θα δώσει αποτελέσματα, βάση της εξίσωσης με την οποία προσεγγίστηκε η μη γεωμετρική επιφάνεια.
- Κατά την εφαρμογή στον μεγαλύτερο κρατήρα στο ηφαίστειο της Νισύρου, η επιλογή του βήματος σάρωσης ίσο με 1m έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα όσον αφορά την γεωμετρία του κρατήρα αλλά και την πιστή αναπαράσταση του αναγλύφου του. Παρόλα αυτά και η σάρωση με βήμα ίσο με 2m έδωσε επίσης ικανοποιητικά αποτελέσματα. Από αυτό συμπεραίνεται ότι για εργασίες μέσης ακρίβειας ένα μεγάλο βήμα σάρωσης αρκεί για να υπάρξουν τα επιθυμητά αποτελέσματα.

- Από τη δημιουργία του τριδιάστατου μοντέλου του μεγαλύτερου κρατήρα του ηφαιστείου της Νισύρου προέκυψαν οι διαστάσεις του. Ο κρατήρας έχει μια μέση διάμετρο στον πυθμένα του, της τάξης των 200m και μέσο ύψος των πρανών που τον περιβάλλουν της τάξης των 35m.
- Η σύγκριση των τομών αποτελεί τον έλεγχο της αβεβαιότητας σάρωσης και της δημιουργίας του πρότυπου (μοντέλου) της μη γεωμετρικής επιφάνειας. Οι διαφορές που παρατηρούνται σε μερικά σημεία κυμαίνονται από 3cm – 7cm, άρα εντός του θορύβου των μετρήσεων. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν ήταν πολύ ικανοποιητικά.
- Κατά τη χρήση των λογισμικών Image Master και Realworks για την επεξεργασία των δεδομένων και την δημιουργία των τριδιάστατων μοντέλων των αντικειμένων, υπήρχαν διαφορές όσον αφορά τον τρόπο λειτουργίας και την ευκολία χειρισμού τους. Το λογισμικό Image Master ήταν πιο προσιτό και πιο εύκολο στον χειρισμό και στην επεξήγηση των βασικών του λειτουργιών, καθώς και πιο γρήγορο στους υπολογισμούς και την επεξεργασία των δεδομένων. Το λογισμικό Realworks παρόλου που ήταν πιο δύσχρηστο, παρείχε περισσότερες επιλογές στις λειτουργίες επεξεργασίας δεδομένων.
- Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, πλεονέκτημα αποτελεί ο ορισμός ενός ενιαίου συστήματος συντεταγμένων για την σάρωση με χωροεικονογεωδαιτικό σταθμό σε σχέση με τα κλασικά Laser Scanner. Δεν χρειάζεται συνένωση νέφων σημείων, με αποτέλεσμα να ελαχιστοποιούνται τα σφάλματα.
- Η σάρωση της επιφάνειας του μεγαλύτερου κρατήρα του ηφαιστείου της Νισύρου ήταν επιτυχής και η αντίστοιχη με Laser Scanner δεν θα πρόσθετα τίποτα επιπλέον στο αντικείμενο. Επιπρόσθετα σε πολλές περιπτώσεις αυτή η σάρωση με Laser Scanner είναι ασύμφορη και αδύνατη λόγω δυσκολίας μεταφοράς

στα σημεία. Η αβεβαιότητα του μοντέλου που θα προέκυπτε από αυτό είναι μεγαλύτερη αφενός γιατί τα πρωτογενή μετρημένα σημεία μετρώνται με μεγαλύτερη αβεβαιότητα και αφετέρου επιβαρύνεται με επιπλέον σφάλμα λόγω συνένωσης των επιμέρους μοντέλων, που στους χωροεικονογεωδαιτικούς σταθμούς αυτό δεν χρειάζεται. Άρα οι χωροεικονογεωδαιτικοί σταθμοί μπορούν επιτυχώς να χρησιμοποιηθούν σε τέτοιες εργασίες.

- Η τριδιάστατη εκτύπωση τέτοιων προτύπων ανοίγει νέους δρόμους στις γεωδαιτικές εφαρμογές στα πεδία των μετακινήσεων, των προβλέψεων των κατολισθήσεων και στερέωσης πρανών. Ένα ακριβές μοντέλο της υπό μελέτη περιοχής θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στο εργαστήριο για τη μελέτη από γεωτεχνικούς, πολιτικούς μηχανικούς και άλλες ειδικότητες και να προσφέρει ένα ακριβές υπόβαθρο μελέτης με σκοπό την εξαγωγή ακριβών συμπερασμάτων και δράσεων.
- Οι χωροεικονογεωδαιτικοί σταθμοί αποτελούν μια επανάσταση στις γεωεφαρμογές αφού προσφέρουν εύκολα, γρήγορα, ακριβή και πλήρη πρότυπα (μοντέλα) των αντικειμένων που σαρώνουν εφάμιλλα ή και καλύτερα από τα αντίστοιχα που προκύπτουν χρησιμοποιώντας Laser Scanner. Πολλές φορές η χρήση των χωροεικονογεωδαιτικών σταθμών είναι προσηγορική και συμφέρουσα σε σχέση με την χρήση Laser Scanner.

Στον πίνακα 6.1 παρουσιάζονται σε αντιστοιχία τα πιο αξιόλογα χαρακτηριστικά των δύο οργάνων-συστημάτων.

Χαρακτηριστικό	Χωροεικονογεωδαιτικοί σταθμοί	Laser Scanner
Βάρος	6kg	18kg
Όγκος	223x353x342 (mm)	265x370x510 (mm)
Τροφοδοσία	Ενσωματωμένες επαναφορτιζόμενες μπαταρίες λιθίου	Εξωτερική μπαταρία βάρους 12Kg
Σύστημα Συντεταγμένων	Ενιαίο σύστημα στάσεων-νέφος σημείων	Αυθαίρετο σε κάθε στάση οργάνου
Συνένωση Μοντέλων	Δεν απαιτείται	Απαιτείται
Αβεβαιότητα	±3mm	±6mm
Ποιοτική Πληροφορία	Ναι, με την βοήθεια φωτογραφιών	Ναι, με την βοήθεια φωτογραφιών
Χρώμα	Ναι	Ναι
Η/Υ στο ύπαιθρο	Δεν απαιτείται	Απαιτείται, αφού αποτελεί την μονάδα ελέγχου
Επεξεργασία	Δημιουργία τριδιάστατου μοντέλου, χρωματισμός επιφάνειας	Προσανατολισμός νέφων σημείων,συνένωση με την βοήθεια σημείων ελέγχου,δημιουργία ενός ενιαίου νέφους σημείων, δημιουργία τριδιάστατης επιφάνειας, χρωματισμός επιφάνειας
Όγκος Δεδομένων	10-50 MB	>>>>1GB
Η/Υ Γραφείου	Μέτρια υπολογιστική μονάδα	Πολύ ισχυρή υπολογιστική μονάδα
Κόστος	50.000€	150.000€
Διαδικασία Τοποθέτησης	Τοποθέτηση σε στάση, οριζοντίωση – κέντρωση, μηδενισμός	Τοποθέτηση στο επιθυμητό σημείο, τοποθέτηση σφαιρικών στόχων ομοιόμορφα στην επικαλυπτόμενη επιφάνεια
Άλλη χρήση	Αποτύπωση, χάραξη, οπισθοτομία, εμπροσθοτομία, αυτόματη παρακολούθηση και μέτρηση στόχου	Όχι

Πίνακας 6.1: Σύγκριση βασικών χαρακτηριστικών χωροεικονογεωδαιτικών σταθμών – Laser Scanner

6.2. Προτάσεις

Από την πραγματοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας και ύστερα από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων της, προέκυψαν οι παρακάτω προτάσεις:

- Κρίνεται σκόπιμο η μελετή των παραμέτρων για την σάρωση αντικειμένων με την χρήση της μεθόδου Monte Carlo να γίνεται υποχρεωτικά πριν την εκτέλεση οποιασδήποτε εργασίας σάρωσης καθώς η γνώση του βήματος και της απόστασης σάρωσης από πρίν βοηθα στην οργάνωση των εργασιών. Έτσι αποφεύγεται περιττός κόπος και χρόνος.
- Για την σάρωση μη γεωμετρικών επιφανειών μεγάλων διαστάσεων, όπως μεγάλα πρανή η επιλογή βήματος σάρωσης μπορεί να είναι αρκετά μεγάλη της τάξεως 1m, αφού επιτυγχάνεται σχετικά εύκολα η γεωμετρία του αντικείμενου και η αναπαράσταση του αναγλυφου του.

6.3. Κατανομή εργασιών

Για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας απαιτήθηκαν τόσο εργασίες πεδίου όσο και εργασίες γραφείου.

Οι εργασίες πεδίου περιλάμβαναν τις σαρώσεις των αντικειμένων, ορθογωνικό δοκίμιο και σφαίρα, που επιλέχθηκαν να είναι τα αντικείμενα εφαρμογής της μεθόδου Monte Carlo. Οι σαρώσεις πραγματοποιήθηκαν στην αίθουσα Υ23 του κτηρίου Λαμπαδαρίου στην Σχολή Τοπογράφων Μηχανικών του Ε.Μ.Π. Διήρκησαν 3 μέρες και περιλάμβαναν την εκμάθηση των οργάνων, την τοποθέτηση του συστήματος σάρωσης και τις μετρήσεις.

Οι εργασίες γραφείου αφορούσαν στην εκμάθηση των λογισμικών που απαιτούνταν για την επεξεργασία των δεδομένων σάρωσης, στην επεξεργασία των αποτελεσμάτων, στις κατάλληλες συγκρίσεις και στον σχολιασμό τους, όσο και βιβλιογραφική αναζήτηση πληροφοριών. Σημαντικό στάδιο για την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας αποτέλεσε η συγγραφή του τεύχους. Αυτές οι εργασίες διήρκησαν περίπου 4 μήνες. Η κατανομή των εργασιών παρουσιάζεται στο σχήμα 6.1.



Εικόνα 6.1: Κατανομή εργασιών

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αγάτζα – Μπαλοδήμου Α.Μ, «Θεωρία Σφαλμάτων και Συνορθώσεις Ι», Σ.Α.Τ.Μ.,Ε.Μ.Π., Αθήνα 2009
2. Αραμπατζή Ο., Μπαλοδήμος Δ.-Δ. , Σταθάς Δ., «Γεωδαισία-Δίκτυα-Αποτυπώσεις- Χαραξείς», Σ.Α.Τ.Μ.,Ε.Μ.Π., Αθήνα 2006
3. Βέης Γ., Μπιλλήρης Χ. & Παπαζήση Κ., «Κεφάλαια Ανώτερης Γεωδαισίας», Σ.Α.Τ.Μ.,Ε.Μ.Π., Αθήνα 2007
4. Δερμάνης Α., Ρωσσικόπουλος Δ., Φωτίου Α., «Τοπογραφικοί Υπολογισμοί και Συνορθώσεις Δικτύων», Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη 1994
5. Λάμπρου Ε.-Πανταζής Γ., «Εφαρμοσμένη Γεωδαισία», Εκδόσεις Ζήτη, Αθήνα 2010
6. Μπαλοδήμος Δ.-Δ. , Σταθάς Δ., «Γεωδαιτικά Όργανα και Μέθοδοι Μέτρησης Γωνιών και Μηκών», Σ.Α.Τ.Μ.,Ε.Μ.Π., Αθήνα 1993
7. Μπιλάλης Ν., «Πρωτυποποίηση», Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης Εργαστήριο CAD, Πολυτεχνείο Κρήτης 2010
8. Μπιλλήρης Χ. Μητσακάκη Χ.Σταθάς Δ., «Εισαγωγή στην Γεωδαισία», Αθήνα 2007
9. Νικολίτσας Κ., Πανταζής Γ., «Assesing the use of "light" laser scanners and the Monte Carlo technique for the documentation of geometric surfaces», FIG 2011
10. Πανταζής Γ., «Γεωμετρική Τεκμηρίωση Τεχνητών και Φυσικών Κατασκευών, Σημειώσεις Τεχνικής Γεωδαισίας», Αθήνα 2005
11. Σφαντζικόπουλος Μ.Μ., «Σχεδιασμός Μηχανολογικών Κατασκευών ΙΙ», Αθήνα 2003
12. Arthur H. Robinson, Joel L. Morrison, Phillip C. Muehrche, Jon Kimerling A., Stephen C. Gup till, «Στοιχεία Χαρτογραφίας», Εκδόσεις Ε.Μ.Π. Αθήνα 2002
13. Pulak M. Pandey, « Rapid Prototyping Technologies, Applications and Part Deposition Planning», Department of Mechanical Engineering
14. Wolf-Dieter Rase, «Visualization of Three-dimensional GIS objects using Rapid Prototyping Technology», Federal Institute for Buildin, Urban and Spatial Research (BBSR), March 2009

- 15.S. Agrawal, J.P. Antunes, E. Theron, M. Truscott, D.J. de Beer, « Physical modeling of catchment area by rapid prototyping using GIS data», (2006)
- 16.R.I. Campbell, D.J. de Beer, E. Pei, « Additive manufacturing in South Africa: building on the foundations», (2011)

Δικτυακοί Τόποι

1. www.Treecomp.gr
2. www.Topcon.co.jp
3. <http://www.topconstore.com/content/gpt-7000i-imaging-station>
4. www.Trimble.com
5. www.intergeo-east.com
6. <http://www.geodifhs.com/4/post/2010/4/80.html>
7. <http://www.hellenica.de/Math/Vector/SfairikesSyntagmenes.html>
8. <http://www.chem.unl.edu/zeng/joy/mclab/mcintro.html>
9. http://www.palisade.com/risk/monte_carlo_simulation.asp
10. <http://www.goldsim.com/Web/Introduction/Probabilistic/MonteCarlo/>
11. <http://www.metrica.gr>
12. <http://www.jgc.gr>
13. <http://www.civilshop.gr>
14. <http://www.cs.nyu.edu/courses/fall06/G22.2112-001/MonteCarlo.pdf>
15. <http://www.3drapidprototyping.com/gismapping.html>
16. http://www.leica-geosystems.com/en/Leica-Viva-TS15_86198.htm
17. <http://www.surveyequipment.com/total-stations/viva-total-stations/viva-ts15-total-stations/leica-viva-ts15-imaging-total-station>

18. <http://www.spatialsource.com.au/2010/10/07/article/Topcon-Imaging-Station-IS-robotic-total-station-combines-imaging-and-scanning-vi/XPCLPOIZLY.html>

MODELING OF GEOMETRIC AND NON-GEOMETRIC SURFACES BY USING SPATIAL IMAGING STATIONS

The subject of this thesis is the modeling of geometric and non geometric surfaces by using spatial-imaging stations. For these purposes the necessary measurements and the appropriate calculations are carried out. The whole work is presented in six chapters:

- The first chapter presents, analyzes and compared the characteristics of the spatial-imaging stations that used for the completion of the necessary measurements. The Trimble VX spatial station and the Topcon IS are used. Also a comparison is achieved between the spatial-imaging stations and the Laser Scanners.
- The second chapter discusses the Monte Carlo method and its application on the geometric surfaces of a sphere and a plane. The uncertainty of the coordinates and uncertainties of area adjustment for both surfaces are calculated based on the theoretical measurement uncertainty of the instrument and the scanning distance. Finally the calculation of the scanning parameters is analyzed namely, the scanning step.
- In the third chapter the experiment is described. Two objects, a ball and a rectangular specimen are scanned by using both the total stations. The experiment results are presented and a comparison is carried out between the extracted model and the real accurate dimensions of them.
- The fourth chapter presents all the procedures followed for the scanning of Stefanos crater of Nisyros volcano. The creation of a three-dimensional model and the extraction of the vertical and horizontal cross-sections of the crater in order to compare them to the ones which are measured at the site.
- The fifth chapter is a summary of the evolution of the rapid prototyping (three dimensional printing) and presents the construction of the three-dimensional model of the crater of the volcano of Nisyros at a scale of 1:2000 in one of these machines.
- Finally in the sixth chapter the conclusions drawn from the implementation of this thesis, some suggestions, as well as the duration of thesis are presented.

Some of the main results are:

The theoretical analysis by using the method MC in geometric objects demonstrated that the uncertainty of adjustment $\pm 16\text{mm}$ can be achieved at scanning distance of 10m. The uncertainty depends on the uncertainty of measurement of angles and distances of the total station that be used, the scanning distance and the size of the object.

The scanning of geometric surfaces was made with 3mm vertical and horizontal scanning step, while the theoretical analysis showed that 1cm scanning step is sufficient and can achieve the same uncertainty of adjustment of about $\pm 5\text{mm}$.

In implementing at the largest crater of the volcano of Nisyros, the choice of scanning step at 1m gave good results both at the crater's geometry and the terrain's representation. Nevertheless the use of 2m scanning step gave satisfactorily results, leading to the conclusion that for low accuracy works a large scanning step is sufficient to produce the desired results.

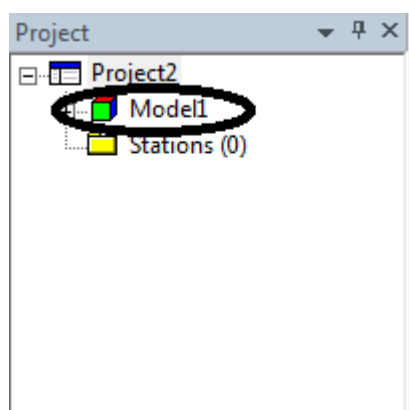
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

ΒΑΣΙΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΟΥ
ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ IMAGE MASTER

Με το άνοιγμα του προγράμματος υπάρχουν δύο επιλογές:

- New project: όπου δημιουργείται ένα καινούργιο project. Γίνεται και η επιλογή της περιοχής όπου θα αποθηκευτεί.
- Open project: όπου δίνεται η δυνατότητα να ανοιχθεί ένα project που είχε δημιουργεί παλαιότερα για να επεξεργαστεί.

Κατά το άνοιγμα ενός project η εμφάνιση της εργασίας που έχει γίνει, γίνεται κάνοντας διπλό κλικ στο εικονίδιο του μοντέλου που βρίσκεται αριστερά στο παράθυρο του project.



Παράθυρο project

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Για την εισαγωγή δεδομένων υπάρχουν οι εξής επιλογές:

- Η εισαγωγή σημείων που έχουν μετρηθεί γεωδαιτικά (π.χ. με ταχυμετρία, στάσεις, κ.τ.λ.)

File → Import → Point file → Εισαγωγή του αρχείου (.txt)

Το αρχείο .txt πρέπει να περιέχει 4 στήλες όπου θα διαχωρίζονται με κόμμα(,) και θα περιέχει κατά σειρά κωδικό σημείου,x σημείου,y σημείου,z σημείου.

- Η εισαγωγή νέφους σημείων

File → Import → Point cloud file → Εισαγωγή του αρχείου (.dxf, .txt)

Το αρχείο .txt πρέπει να περιέχει 3 στήλες όπου θα διαχωρίζονται με κόμμα(,) και θα περιέχει κατά σειρά x σημείου,y σημείου,z σημείου.

- Η εισαγωγή επιφάνειας

File → Import → Shape file → Εισαγωγή του αρχείου (.dxf)

Συνήθως το αρχείο επιφανείας που εισέρχεται έχει είτε επεξεργαστεί από το ίδιο πρόγραμμα είτε από άλλο παρόμοιο.

- Εισαγωγή δεδομένων από τον εικονογεωδαιτικό σταθμό IS

File → Import → TopSURV Scanning File → Εισαγωγή του αρχείου (.fsn)

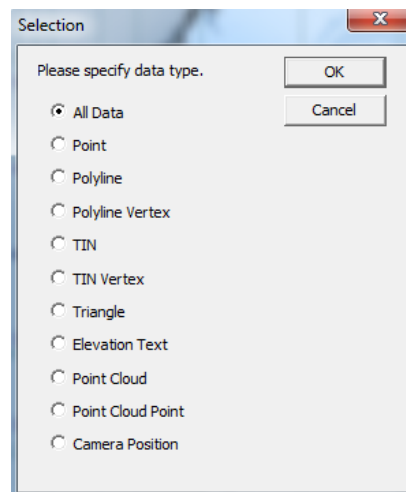
Για να εισαχθεί το αρχείο στο πρόγραμμα θα πρέπει να έχει κατέβει ολόκληρος ο φάκελος με τα δεδομένα από το όργανο στον Η/Υ.

2. ΕΠΙΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ


Αφού έχουν εισαχθεί τα δεδομένα για να μπορούν να επεξεργαστούν πρέπει πρώτα να επιλεγούν αυτά τα οποία πρόκειται να επεξεργαστούν. Η επιλογή των δεδομένων μπορεί να γίνει με 4 τρόπους:

- Επιλογή ενός τύπου δεδομένου (σημείο, τρίγωνο ψηφιακού μοντέλου εδάφους, κ.τ.λ.)

Αυτό γίνεται με την εντολή, Edit → Select → Επιλογή δεδομένου από μία λίστα με διάφορους τύπους δεδομένων, όπου εμφανίζεται το παράθυρο που ακολουθεί.




Λίστα δεδομένων


Επίσης η ίδια εντολή και η εμφάνιση του ίδιου παραθύρου μπορεί να δοθεί και από το εικονίδιο  στην μπάρα εργαλείων.

- Επιλογή πολλών δεδομένων όμοιου τύπου όπου υπάρχουν 2 τρόποι. Είτε επιλέγοντας την επιθυμητή περιοχή με ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο είτε με ένα ακανόνιστο σχήμα επιλέγοντας την όποια περιοχή.

1. Edit → Select Square Area → Επιλογή περιοχής→ Επιλογή τύπου δεδομένου από την λίστα δεδομένων (ορθογώνιο παραλληλόγραμμο)

Επίσης αυτή η εντολή μπορεί να γίνει με το εικονίδιο  από την γραμμή εργαλείων.

2. Edit → Select Polygonal Area → Επιλογή περιοχής→ Επιλογή τύπου δεδομένου από την λίστα δεδομένων (κατασκευή ελεύθερου πολυγώνου)

Επίσης αυτή η εντολή μπορεί να γίνει με το εικονίδιο  από την γραμμή εργαλείων.

- Επιλογή όλων των δεδομένων που έχουν εισαχθεί

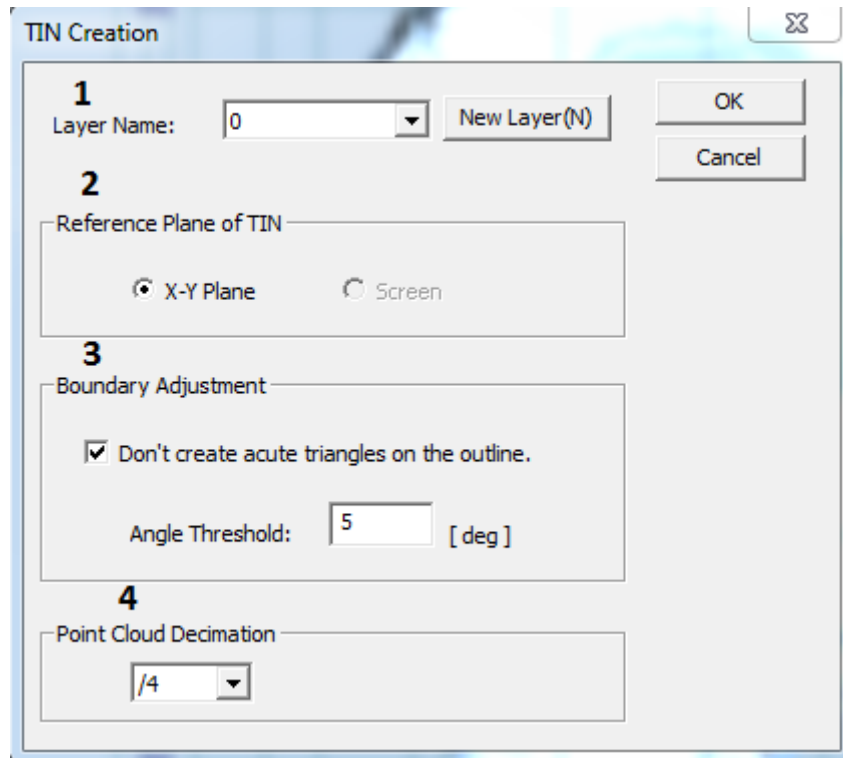
Edit → Select All

Γίνεται η επιλογή όλων των δεδομένων.

3. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ


Δημιουργία επιφάνειας από νέφος σημείων

Αυτό γίνεται με την εντολή, Data → Tin → Create → Εμφάνιση παραθύρου ρυθμίσεων, όπου εμφανίζεται το παράθυρο που ακολουθεί.



Παράθυρο ρυθμίσεων επιφάνειας

Επιλέγεται εδώ: 1) το όνομα του layer που πρόκειται να εισαχθεί η δημιουργούμενη επιφάνεια, 2) το επίπεδο αναφοράς με βάση το οποίο θα δημιουργηθεί η επιφάνεια, 3) η επιλογή δημιουργίας ή μη τριγώνων στα όρια και με ποια γωνία, 4) η ποσότητα των σημείων που θα χρησιμοποιηθούν.

Επίσης αυτή η εντολή και η εμφάνιση του ίδιου παραθύρου μπορεί να γίνει με το εικονίδιο  από την γραμμή εργαλείων.

Επιλογές επεξεργασίας επιφανειών

- Συγχώνευση δύο επιφανειών σε μία ενιαία επιφάνεια. Πρέπει να επιλεγούν και οι δύο επιφάνειες πρωτού χρησιμοποιηθεί αυτή η εντολή.

Data → Tin → Merge → Επιλογή ρυθμίσεων όπως και στην δημιουργία επιφάνειας

- Εναλλαγή των θέσεων (πάνω όψη – κάτω όψη) των τριγώνων

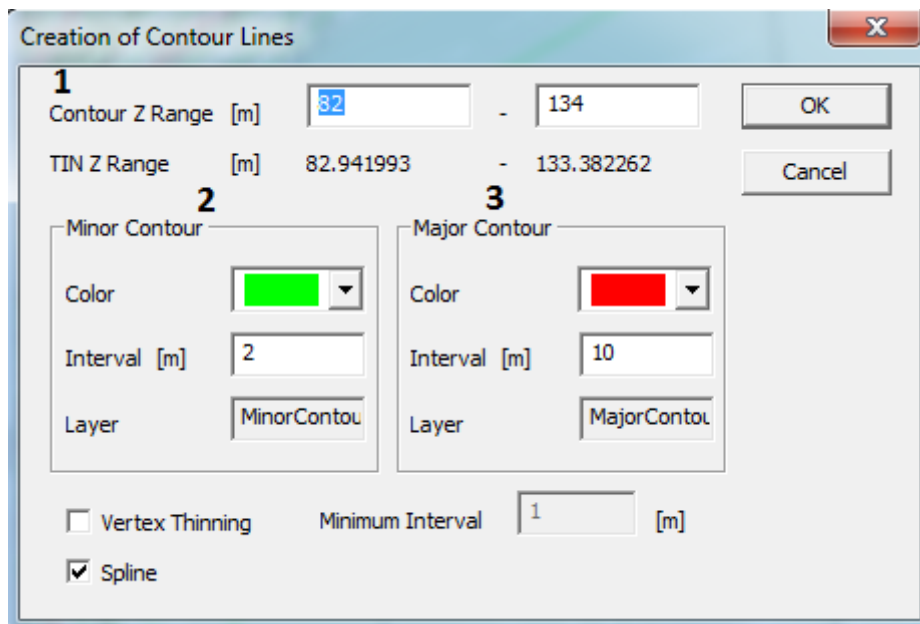
Data → Tin → Reverse Triangle

- Επιλογή των επιθυμητών τριγώνων.
Data -> Tin -> Select Triangle
- Διαγραφή των επιλεγμένων τριγώνων
Data -> Tin -> Cut
- Διαγραφή ολόκληρης της επιφάνεια
Data -> Tin -> Delete All

4. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΙΣΟΨΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ

Για την δημιουργία ισοψών καμπυλών επιλέγεται πρώτα η επιφάνεια και στην συνέχεια δημιουργούνται με βάση αυτήν οι ισοψείς καμπύλες.


Αυτό γίνεται με την εντολή, Data -> Contour Lines -> Create-> Εμφάνιση παραθύρου ρυθμίσεων, όπου εμφανίζεται το παράθυρο που ακολουθεί.




Παράθυρο ρυθμίσεων

Εδώ επιλέγεται: 1) το εύρος του υψομέτρου που θα καλύψουν οι ισοψείς, 2) το χρώμα, η ισοδιάσταση και το layer που θα αποθηκευτούν

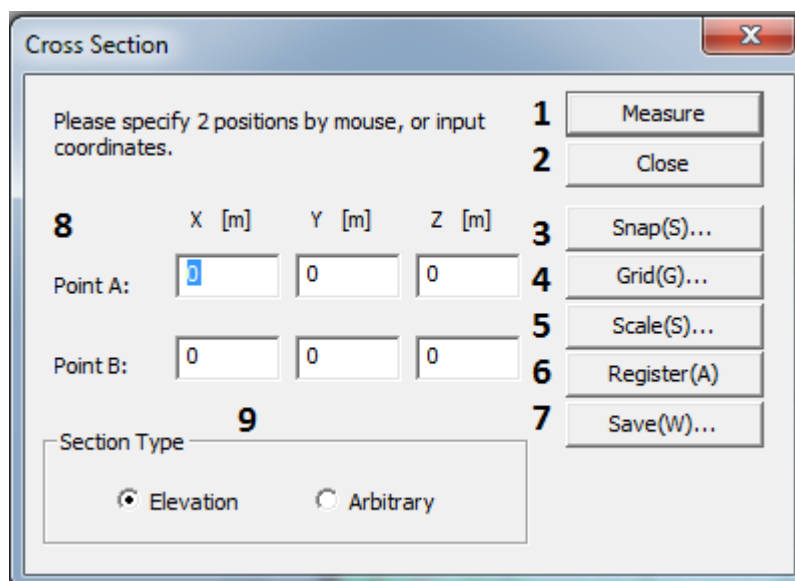
οι δευτερεύουσες ισοϋψείς, 3) το χρώμα, η ισοδιάσταση και το layer που θα αποθηκευτούν οι κύριες ισοϋψείς.

Επίσης αυτή η εντολή και η εμφάνιση του ίδιου παραθύρου μπορεί να γίνει με το εικονίδιο  από την γραμμή εργαλείων.

5. Δημιουργία τομών


Για την δημιουργία των τομών πρέπει πρώτα να χρησιμοποιηθεί η εντολή  από την γραμμή εντολών ώστε να είναι η επιφάνεια σε κάτωψη.

Αυτό γίνεται με την εντολή, Data → Cross Section → Create → Εμφάνιση παραθύρου ρυθμίσεων, όπου εμφανίζεται το παράθυρο που ακολουθεί.



Παράθυρο ρυθμίσεων

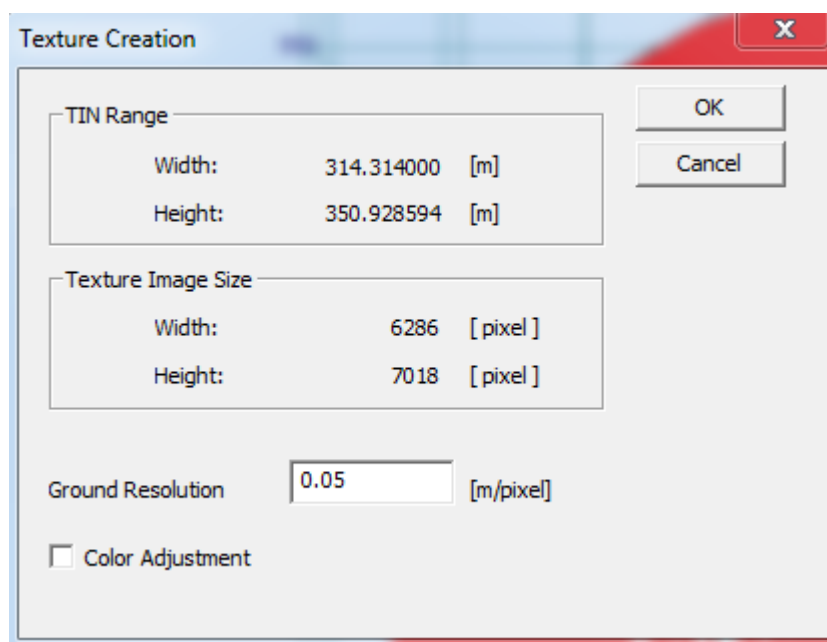
Όπου εδώ επιλέγουμε: 1) δημιουργία της τομής, 2) κλείσιμο παραθύρου ρυθμίσεων, 3) επιλογή σημείων από την επιφάνεια μας, 4) επιλογή καννάβου, 5) επιλογή κλίμακας απόδοσης της τομής, 6) ενσωμάτωση της τομής στην επιφάνεια, 7) εξαγωγή της τομής, 8) εισαγωγή συντεταγμένων των 2 ακραίων σημείων της τομής, 9) επιλογή οριζόντιας τομής (Elevation) ή κατακόρυφης τομής (Arbitrary).

Επίσης αυτή η εντολή και η εμφάνιση του ίδιου παραθύρου μπορεί να γίνει με το εικονίδιο  από την γραμμή εργαλείων.

6. ΕΠΕΝΔΥΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΜΕ ΧΡΩΜΑ

Για την επένδυση της επιφάνειας με χρώμα πρέπει πρώτα να επιλεγεί η επιφάνεια η οποία πρόκειται να επενδυθεί και η φωτογραφίες που έχουν ληφθεί κατά την διάρκεια σάρωσης.

Αυτό γίνεται με την εντολή, Data → Texture Mapping→ Εμφάνιση παραθύρου ρυθμίσεων, όπου εμφανίζεται το παράθυρο που ακολουθεί.



Παράθυρο ρυθμίσεων



Εδώ επιλέγεται μόνο η ανάλυση των pixel.

7. ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ


Για τον μετασχηματισμό των συντεταγμένων υπάρχουν 3 επιλογές: 1) μετατόπιση κατά τους άξονες, 2) στροφή κατά τους άξονες, 3) αλλαγή κλίμακας.

- 1) Setup → Coordinate Transformation → Parallel Translation → επιλογή μετατόπισης κατά τους άξονες x, y, z.
- 2) Setup → Coordinate Transformation → Rotational Transformation → Επιλογή γωνίας στροφής κατά τους άξονες x, y, z.
- 3) Setup → Coordinate Transformation → Scale Transformation → Επιλογή επιθυμητής κλίμακας

8. ΑΛΛΕΣ ΒΑΣΙΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ

- Μέτρηση απόστασης μεταξύ δύο σημείων.
Data → Distance → Plot on Screen (για την επιλογή σημείων από το νέφος σημείων)
Data → Distance → Specify Point Name (για την επιλογή των σημείων από το όνομά τους)
- Μέτρηση εμβαδού επιφάνειας.
Data → Area → Tin (Surface Area)
- Επιλογή στοιχείων που απεικονίζονται.
View → Displayed Items → Επιλογή από το παράθυρο ρυθμίσεων
- 3D Περιήγηση.
Για επιλογή του zoom:
View → Zoom → Zoom (για χειροκίνητη επιλογή)
Επίσης αυτή η εντολή μπορεί να γίνει με το εικονίδιο  από την γραμμή εργαλείων.
View → Zoom → Full Display (για πλήρη απεικόνιση του αντικειμένου)
Επίσης αυτή η εντολή μπορεί να γίνει με το εικονίδιο  από την γραμμή εργαλείων.
Για την επιλογή γωνιών θέασης:
View → Rotate → Angles → Επιλογή γωνιών στρέψης

View → Rotate → Και επιλογή ενός από τα εικονίδια για προκαθορισμένη στρέψη 

Επίσης αυτή η εντολή μπορεί να γίνει με τα εικονίδια  από την γραμμή εργαλείων.

- Επιλογή στοιχείων σημείου.

View → Point Cloud Resolution (επιλογή % σημείων από το νέφος που θα φαίνονται)

View → Point Size (επιλογή μεγέθους σημείου)

9. ΕΞΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Για την εξαγωγή δεδομένων υπάρχουν οι επιλογές να εξαχθούν αρχεία που να περιλαμβάνουν 1) αρχεία με τοπογραφικά σημεία, 2) αρχεία με νέφος σημείων, 3) αρχεία με επιφάνειες και χρησιμοποιούνται οι εξής εντολές:

- 1) File → Export → Point File → Επιλογή μέρους, ονόματος και τύπου αρχείου προς εξαγωγή.
- 2) File → Export → Point Cloud File → Επιλογή μέρους, ονόματος και τύπου αρχείου προς εξαγωγή.
- 3) File → Export → Shape File → Επιλογή μέρους, ονόματος και τύπου αρχείου προς εξαγωγή.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2
ΒΑΣΙΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΟΥ
ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ REALWORKS

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Για την εισαγωγή δεδομένων υπάρχουν οι εξής επιλογές:

- Εισαγωγή δεδομένων από τον εικονογεωδαιτικό σταθμό VX

File → Open → Εισαγωγή αρχείου .rwp

Για να εισαχθεί το αρχείο στο πρόγραμμα και να περιέχει όλη την πληροφορία θα πρέπει να έχει κατέβει ολόκληρος ο φάκελος μετρήσεων από το όργανο στον Η/Υ.

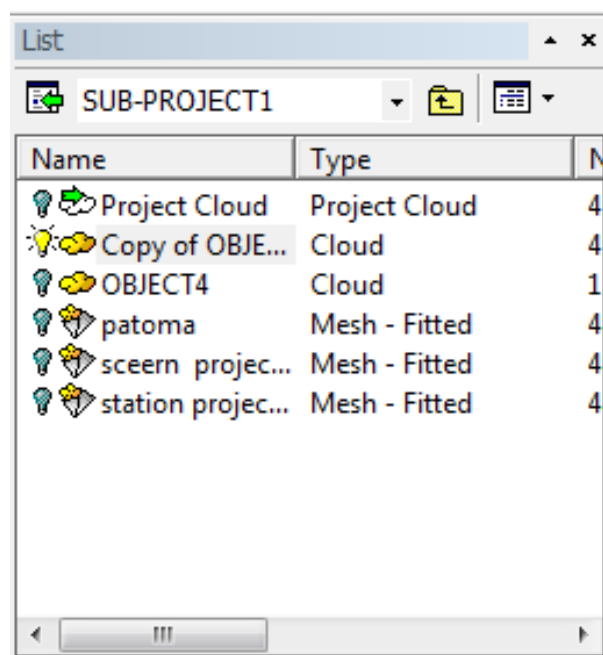
- Εισαγωγή οποιοδήποτε άλλων δεδομένων

File → Open → Εισαγωγή αρχείου

Υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής αρχείων που περιέχουν σημεία που προέρχονται από τοπογραφικές μετρήσεις(ταχυμετρία, στάσεις κ.τ.λ), νέφη σημείων, μοντέλα επιφανειών επιλέγοντας τον κατάλληλο τύπο αρχείου.

2. ΕΠΙΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Αφού έχουν εισαχθεί τα δεδομένα για να μπορούν να επεξεργαστούν πρέπει πρώτα να επιλεγούν αυτά τα οποία πρόκειται να επεξεργαστούν. Η επιλογή δεδομένων γίνεται με την επιλογή του επιθυμητού τύπου δεδομένων από την λίστα δεδομένων.



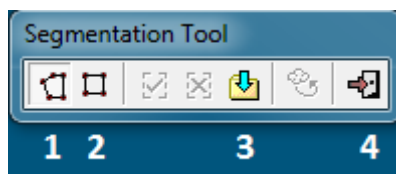
Λίστα δεδομένων

3. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

- Επεξεργασία σημείων


Αρχικά επιλέγονται από την λίστα δεδομένων τα σημεία και στην συνέχεια επεξεργάζονται.

Αυτό γίνεται με την εντολή, Tools → Segmentation Tool → Επιλογή ρυθμίσεων, όπου εμφανίζεται το παράθυρο που ακολουθεί.



Επιλογή ρυθμίσεων

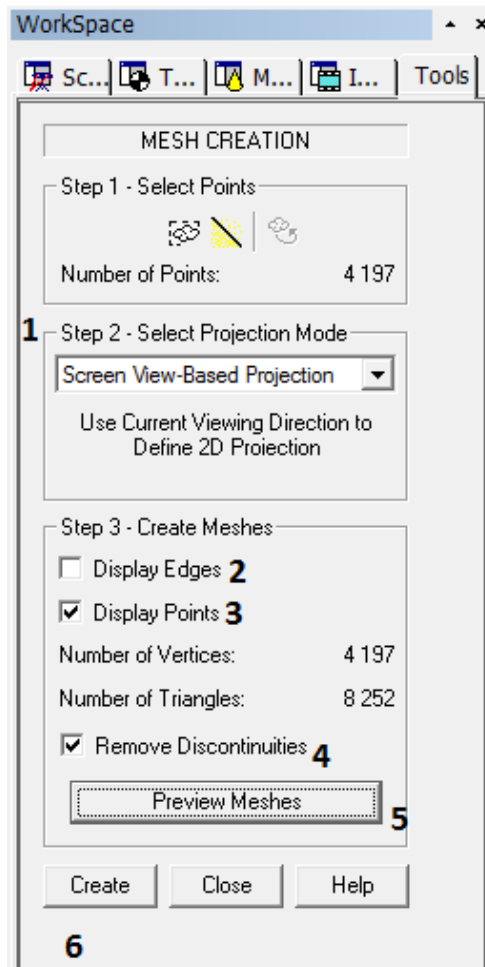
Όπου επιλέγεται εδώ: 1) επιλογή σημείων με δημιουργία περιοχής με μορφή ακανόνιστου πολυγώνου, 2) επιλογή σημείων με την δημιουργία ορθογώνιας περιοχής, 3) αποθήκευση των επιλεγμένων σημείων σε ξεχωριστό layer, 4) έξοδος.

Η εντολή αυτή και η εμφάνιση του ίδιου παραθύρου μπορεί να γίνει και με το εικονίδιο  από την γραμμή εργαλείων.

- Δημιουργία επιφάνειας


Αρχικά επιλέγονται τα σημεία από το οποία θα δημιουργηθεί η επιφάνεια και στην συνέχεια δημιουργείται η επιφάνεια μέσα από μία σειρά εντολών.

Αυτό γίνεται με την εντολή, Tools → Mesh Creation Tool → Επιλογή των κατάλληλων παραμέτρων, όπου εμφανίζεται το παράθυρο που ακολουθεί



Ρύθμιση παραμέτρων για την δημιουργία επιφάνειας

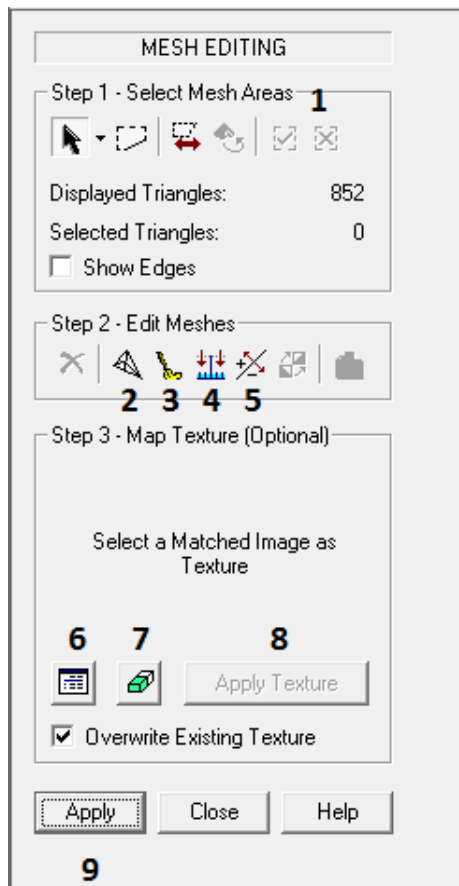
Όπου επιλέγονται εδώ: 1) ο τρόπος δημιουργίας του τριγωνικού πλέγματος, 2) εμφάνιση ή όχι των τριγώνων, 3) εμφάνιση ή όχι του νέφους σημείων της επιφάνειας, 4) αφαίρεση ασυνεχειών της επιφάνειας, 5) προεπισκόπηση της επιφάνειας, 6) δημιουργία της επιφάνειας.

Η εντολή αυτή και η εμφάνιση του ίδιου παραθύρου μπορεί να γίνει και με το εικονίδιο  από την γραμμή εργαλείων.

- Επεξεργασία επιφάνειας


Αρχικά επιλέγεται η επιφάνεια που πρόκειται να επεξεργαστεί και στη συνέχεια με την ρυθμίζονται οι κατάλληλοι παράμετροι.

Αυτό γίνεται με την εντολή, Tools → Mesh Editing Tool → Επιλογή των κατάλληλων ρυθμίσεων, όπου εμφανίζεται το παράθυρο που ακολουθεί.



Επιλογή ρυθμίσεων

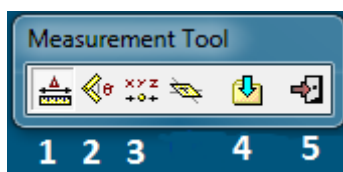
Όπου εδώ επιλέγεται: 1) επιλογή της περιοχής που πρόκειται να επεξεργαστεί, 2) βελτίωση επιφάνειας με τη δημιουργία μικρότερων τριγώνων, 3) λείανση επιφάνειας, 4) αφαίρεση ανώμαλων κορυφών, 5) εναλλαγή πλευρών των τριγώνων (μέσα-έξω), 6) επιλογή των φωτογραφιών του αντικειμένου, 7) εφαρμογή χρωματικής υφής με την χρήση των επιλεγμένων φωτογραφιών, 8) εφαρμογή και προεπισκόπηση της χρωματικής υφής, 9) εφαρμογή της επεξεργασίας της επιφάνειας.

Η εντολή αυτή και η εμφάνιση του ίδιου παραθύρου μπορεί να γίνει και με το εικονίδιο  από την γραμμή εργαλείων.

4. ΜΕΤΡΗΣΗ ΒΑΣΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ

Υπάρχει η δυνατότητα της μέτρησης βασικών μεγεθών των δεδομένων που έχουν εισαχθεί.


Αυτό γίνεται με την εντολή, Tools → Measurement Tool → Επιλογή της μέτρησης που πρόκειται να γίνει, όπου εμφανίζεται το παράθυρο που ακολουθεί.



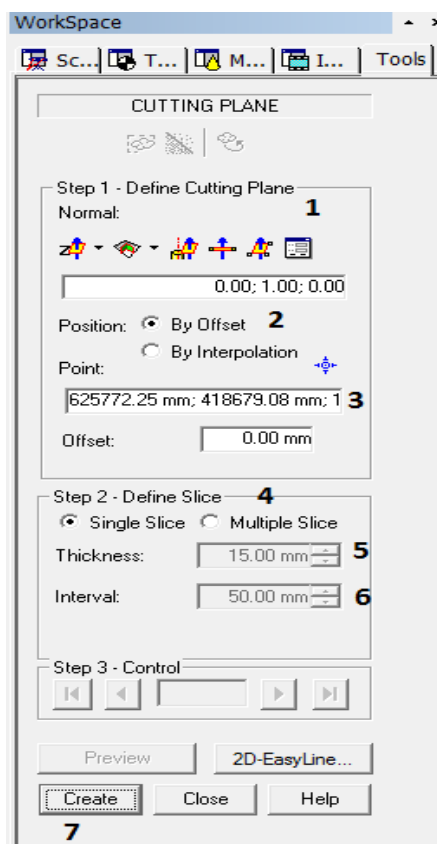
Παράθυρο εντολών

Όπου εδώ επιλέγονται: 1) μέτρηση αποστάσεων, 2) μέτρηση γωνιών, 3) εμφάνιση συντεταγμένων σημείου, 4) αποθήκευση των μετρήσεων, 5) έξοδος.

5. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΟΜΩΝ


Για την δημιουργία τομών χρησιμοποιείται πρώτα η εντολή  από την γραμμή εντολών ώστε να είναι η επιφάνεια σε κάτοψη.

Αυτό γίνεται με την εντολή, Tools → Cutting Plane Tool → Επιλογή των κατάλληλων ρυθμίσεων, όπου εμφανίζεται το παράθυρο που ακολουθεί.



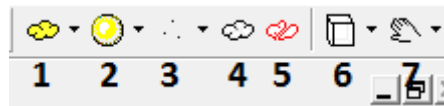
Ρύθμιση παραμέτρων τομών

Όπου εδώ επιλέγεται: 1) τα χαρακτηριστικά του επιπέδου τομής, 2) επιλογή χρησιμοποίησης ενός σημείου και offset ή δύο σημείων για την κατασκευή του επιπέδου, 3) εισαγωγή συντεταγμένων των παραπάνω σημείων, 4) επιλογή κατασκευής ενός ή περισσότερων επιπέδων τομής, 5) πάχος επιπέδου τομής, 6) επιλογή απόσταση ανά την οποία θα κατασκευαστούν τα πολλαπλά επίπεδα τομών, 7) δημιουργία τομής σε ξεχωριστό layer.

Η εντολή αυτή και η εμφάνιση του ίδιου παραθύρου μπορεί να γίνει και με το εικονίδιο  από την γραμμή εντολών.

6. ΑΛΛΕΣ ΒΑΣΙΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ

Υπάρχουν και άλλες εντολές που βοηθούν στην επιλογή της οπτικής των δεδομένων. Αυτές γίνονται με την χρήση των εικονιδίων από την γραμμή εντολών.



Άλλες βασικές λειτουργίες

Όπου εδώ επιλέγεται: 1) επιλογή χρώματος νέφους σημείων, 2) επιλογή εμφάνισης επιφάνειας ή τριγώνων ή χρωματικής υφής, 3) επιλογή μεγέθους σημείων, 4) επιλογή λείανσης επιφάνειας, 5) εμφάνιση ή μη των ασυνεχειών της επιφάνειας, 6) επιλογή προβολής των δεδομένων, 7) επιλογή περιήγησης στον χώρο δεδομένων.

7. ΕΞΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Για την εξαγωγή δεδομένων πρέπει πρώτα να επιλεγθεί τα δεδομένα που πρόκειται να εξαχθούν. Στην συνέχεια επιλέγεται η μορφή και ο τύπος του εξαγόμενου αρχείου.

File → Export → Επιλογή της εξαγόμενης μορφής