



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών
Τομέας Τοπογραφίας
Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας

**ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ
ΟΧΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΑΛΛΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΕ
ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ**



ΚΑΠΟΚΑΚΗΣ ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ:

ΑΡΑΜΠΑΤΖΗ ΟΡΘΟΔΟΞΙΑ, ΛΕΚΤΟΡΑΣ ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ 2014



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών
Τομέας Τοπογραφίας
Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας

**ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ
ΟΧΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΑΛΛΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΕ
ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΚΑΠΟΚΑΚΗ ΣΤΥΛΙΑΝΟΥ

Επιβλέπουσα : Ορθοδοξία Αραμπατζή
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή:

(Υπογραφή)

.....
Σταθάς Δημοσθένης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

(Υπογραφή)

.....
Γκίκας Βασίλειος
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

(Υπογραφή)

.....
Ορθοδοξία Αραμπατζή
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Απρίλιος 2014

(Υπογραφή)

.....
ΚΑΠΟΚΑΚΗΣ ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ

Διπλωματούχος Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Copyright © Καποκάκης Στυλιανός, 2014

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας διπλωματικής εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό χαρακτήρα πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	i
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	iv
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	vii
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	viii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	ix
ABSTRACT.....	x

Εισαγωγή

Γενικά.....	1
Ανάγκες.....	1
Στόχοι.....	2

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑ: ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ, ΟΡΙΣΜΟΙ, ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ, ΑΚΡΙΒΕΙΕΣ, ΣΦΑΛΜΑΤΑ

1.1. Η επιστήμη της Γεωδαισίας.....	4
1.2. Τεχνική Γεωδαισία.....	4
1.3. Βιομηχανική Γεωδαισία.....	5
1.3.1. Ιστορικά.....	5
1.3.2. Μεθοδολογία της Βιομηχανικής Γεωδαισίας.....	6
1.3.2.1. Γενικά.....	6
1.3.2.2. Η μέθοδος των πολικών συντεταγμένων.....	6
1.3.2.3. Η μεθοδολογία της εμπροσθοτομίας.....	8
1.3.2.4. Εμπροσθοτομία με σταθερό δίκτυο.....	9
1.3.2.5. Εμπροσθοτομία με ελεύθερο δίκτυο.....	10
1.4. Ακρίβειες στη Βιομηχανική Γεωδαισία.....	10
1.5. Πηγές σφαλμάτων στη Βιομηχανική Γεωδαισία.....	13
1.5.1. Γενικά.....	13
1.5.2. Σφάλματα χειριστών στη βιομηχανική γεωδαισία.....	13
1.5.3. Σφάλματα εξοπλισμού.....	13
1.5.4. Σφάλματα περιβάλλοντος.....	15

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

2.1. Ο εξοπλισμός της εφαρμογής.....	16
2.2. Γεωδαιτικοί σταθμοί.....	16
2.2.1. Leica TDA 5005.....	16
2.2.2. Leica TCA 1800.....	18
2.3. Το λογισμικό Leica Axyz.....	21
2.3.1. Γενικά.....	21
2.3.2. Το λογισμικό.....	23
2.3.2.1. CDM.....	23
2.3.2.2. DM.....	24
2.3.2.3. STM/MTM.....	24

2.3.2.4. LTM.....	25
2.3.2.5. View/CAD.....	25
2.4. Φορητός υπολογιστής και παρελκόμενα.....	25
2.5. Τρίποδες.....	26
2.6. Ράβδος κλίμακας.....	27
2.7. Ράβδος κρυφού σημείου.....	27
2.8. Προσοφθάλμιο Laser.....	28

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

ΠΡΟΕΡΓΑΣΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

3.1. Εξοικείωση με τον εξοπλισμό.....	29
3.2. Προσανατολισμός των γεωδαιτικών σταθμών.....	30
3.3. Πρώτη προπαρασκευαστική εφαρμογή (μετρήσεις σημείων σε πλάκα κανάβου)	34
3.4. Δεύτερη προπαρασκευαστική εφαρμογή (Μετρήσεις σημείων σε Επίπεδο – Κατακόρυφος τοίχος)	37
3.5. Τρίτη προπαρασκευαστική εφαρμογή (Μετρήσεις σημείων σε Δορυφορική Κεραία)	38
3.6. Συμπεράσματα από τις προπαρασκευαστικές εφαρμογές.....	41

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

ΕΦΑΡΜΟΓΗ – ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΕΔΙΟΥ

4.1. Οι ανάγκες στο χώρο της βιομηχανίας.....	42
4.2. Η εφαρμογή.....	43
4.3. Ορισμός σημείων ελέγχου.....	44
4.4. Σημεία ελέγχου.....	45
4.4.1. Επισήμανση σημείων.....	45
4.4.2. Κάλυψη αντικειμένου.....	46
4.5. Υλοποίηση σχήματος μετρήσεων στο πεδίο.....	48
4.6. Πρόβλεψη ακρίβειας μετρήσεων.....	49
4.7. Η διαδικασία των μετρήσεων.....	50
4.7.1. Γενικά.....	50
4.7.2. Η διάταξη του εξοπλισμού και οι προεργασίες.....	50
4.7.3. Μετρήσεις επί των οχημάτων.....	52

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

5.1. Γενικά.....	56
5.2. Το σύνολο των δεδομένων.....	56
5.3. Επεξεργασία αρχικών δεδομένων.....	56
5.4. Επεξεργασία δεδομένων αναφοράς και ελέγχου.....	59

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

6.1. Σύγκριση των δυο σειρών μετρήσεων.....	63
---	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

7.1. Σχολιασμός αποτελεσμάτων.....	66
7.2. Προβλήματα κατά τη διάρκεια της εφαρμογής.....	68
7.3. Προτάσεις.....	69

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	71
--------------------------	-----------

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1. Πολικές Συντεταγμένες [Σημειώσεις Τεχνικής Γεωδαισίας ΕΜΓ 2005].....	7
Σχήμα 1.2. Φωτογραφία αυτοκόλλητου στόχου.....	7
Σχήμα 1.3. Σφαιρικό κάτοπτρο Leica [http://www.metraca.gr].....	8
Σχήμα 1.4. Διάταξη εμπροσθοτομίας [Σημειώσεις Γεωδαισίας, Δίκτυα - Αποτυπώσεις - Χαράξεις, 2000].....	9
Σχήμα 1.5. Πλακέτα εξαναγκασμένης κέντρωσης [www.geometriki.com].....	10
Σχήμα 1.6. Ελλείψεις σφάλματος σημείων με 2 θεοδόλιχα τοποθετημένα αντικριστά [Χαρίσης Φ. 2010].....	14
Σχήμα 2.1. Leica TDA 5005 [http://www.metraca.gr].....	16
Σχήμα 2.2. Leica TCA 1800 [http://www.metraca.gr].....	19
Σχήμα 2.3. Leica Axyz [http://www.leica-geosystems.com].....	21
Σχήμα 2.4. Leica Axyz CDM.....	24
Σχήμα 2.5. Leica Axyz DM.....	24
Σχήμα 2.6. Φωτογραφία HP Omnibook XE ³	26
Σχήμα 2.7. Leica Aluminum Tripod AT08[http://www.leica-geosystems.com].....	26
Σχήμα 2.8. Φωτογραφία από την εφαρμογή Leica Aluminum Tripod και Scale Bar.....	27
Σχήμα 2.9. Leica Hidden point device [http://www.leica-geosystems.com].....	28
Σχήμα 2.10. Leica DL2 Diode [http://www.leica-geosystems.com].....	28
Σχήμα 3.1. Leica Axyz CDM.....	30
Σχήμα 3.2. Leica Axyz Station Setup.....	31
Σχήμα 3.3. Leica Axyz Atmospheric Correction.....	31
Σχήμα 3.4. Leica Axyz Aproximate Collimation.....	32
Σχήμα 3.5. Leica Axyz DM.....	32

Σχήμα 3.6. Leica Axyz Scale Bar.....	32
Σχήμα 3.7. Leica Axyz Scale Bar Measurment.....	37
Σχήμα 3.8. Leica Axyz Solution Data.....	37
Σχήμα 3.9. Καναβόπλακα και μετρητικό σύστημα, φωτογραφία από AutoCAD.....	35
Σχήμα 3.10. Αποστάσεις μεταξύ των σημείων της καναβόπλακας, φωτογραφία από AutoCAD.....	35
Σχήμα 3.11. Βέλτιστο επίπεδο, φωτογραφία από AutoCAD.....	37
Σχήμα 3.12. Βέλτιστο παραβολοειδές και κύκλος, φωτογραφία από AutoCAD.....	39
Σχήμα 4.1. Φωτογραφία, επισκευασμένο όχημα και εξοπλισμός.....	44
Σχήμα 4.2. Φωτογραφία εμπρόσθιου τμήματος σκελετού και σημεία ελέγχου.....	44
Σχήμα 4.3. Φωτογραφία εμπρόσθιου τμήματος σκελετού και σημεία ελέγχου.....	45
Σχήμα 4.4. Φωτογραφία, ράβδος κρυφού σημείου και βοηθητικός τρίποδα στήριξης.....	46
Σχήμα 4.5. Φωτογραφία περιοχής ελέγχου.....	47
Σχήμα 4.6. Φωτογραφίες των σημείων ελέγχου, επί των οποίων έχει τοποθετηθεί η ράβδος κρυφού σημείου.....	48
Σχήμα 4.7. Φωτογραφία κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.....	49
Σχήμα 4.8. Φωτογραφία των οργάνων μετά τις συνδέσεις.....	51
Σχήμα 4.9. Φωτογραφία του στόχου της ράβδου κλίμακας.....	51
Σχήμα 4.10. Φωτογραφία της ράβδου κλίμακας εμπρός από το αντικείμενο προσδιορισμών.....	52
Σχήμα 4.11. Φωτογραφίες αντί αυτοσχέδιου πεδίου.....	52
Σχήμα 5.1. Εικόνα από το λογισμικό Axyz.....	57
Σχήμα 5.2. Εικόνα από το λογισμικό Axyz.....	57
Σχήμα 5.3. Απόσπασμα οθόνης αποτελεσμάτων του προσανατολισμού του δικτύου του οχήματος προς έλεγχο.....	58

Σχήμα 5.4. Απόσπασμα οθόνης από το λογισμικό Axyz των αποτελεσμάτων του προσανατολισμού του δικτύου του οχήματος αναφοράς.....	58
Σχήμα 5.5. Απόσπασμα οθόνης από το λογισμικό Axyz με τα δεδομένα για τη ράβδο κρυφού σημείου.....	60
Σχήμα 5.6. Απόσπασμα οθόνης από το λογισμικό Axyz με την επιλογή για τη ράβδο κρυφού σημείου.....	60
Σχήμα 5.7. Φωτογραφία από το λογισμικό Axyz με τη φόρμα υπολογισμού του κρυφού σημείου.....	61
Σχήμα 6.1. Φωτογραφία σημείων αναφοράς.....	63
Σχήμα 6.2. Εικόνα από το λογισμικό AutoCAD όπου απεικονίζεται γραφικά το αποτέλεσμα.....	64
Σχήμα 7.1. Σημεία αναφοράς, ελέγχου και διανύσματα μετατόπισης.....	66
Σχήμα 7.1. Φωτογραφία του σημείου Νο3.....	67
Σχήμα 7.2. Φωτογραφία του σημείου Νο4.....	67

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1. Απαιτούμενες ακρίβειες - όργανα βιομηχανικής γεωδαισίας [Γκουντινάκος Γ, 2004].....	11
Πίνακας 1.2. Σύγκριση συστημάτων βιομηχανικής γεωδαισίας [Γκουντινάκος Γ, 2004].....	12
Πίνακας 2.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά Leica TDA 5005 [www.leica-geosystems.com].....	18
Πίνακας 2.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά Leica TCA 1800 [www.leica-geosystems.com].....	20
Πίνακας 3.1. Αποστάσεις μεταξύ οπών.....	35
Πίνακας 3.2. Διαφορές ονομαστικών - υπολογισθισών αποστάσεων.....	36
Πίνακας 3.3. RMS και μέση αποχή.....	37
Πίνακας 3.4. Σφάλματα στις τρεις διαστάσεις.....	38
Πίνακας 3.5. Μέσα τετραγωνικά σφάλματα ανά διεύθυνση.....	38
Πίνακας 3.6. Σφάλματα σημείων κατά την προσαρμογή του κύκλου.....	39
Πίνακας 3.7. Σφάλματα και αποκλίσεις κατά την προσαρμογή του παραβολοειδούς.....	40
Πίνακας 3.8. Έναπομείναντα σφάλματα προσαρμογής κύκλου.....	40
Πίνακας 3.9. Έναπομείναντα σφάλματα προσαρμογής παραβολοειδούς.....	40
Πίνακας 4.1. Δεδομένα αποτύπωσης του οχήματος αναφοράς.....	54
Πίνακας 4.2. Δεδομένα αποτύπωσης του επισκευασμένου οχήματος.....	55
Πίνακας 5.1. Συντεταγμένες σημείων οχήματος αναφοράς.....	61
Πίνακας 5.2. Συντεταγμένες σημείων οχήματος προς έλεγχο.....	62
Πίνακας 6.1. Συντεταγμένες σημείων αναφοράς και ελέγχου, διανύσματα μετατόπισης.....	65
Πίνακας 7.1. Αποτελέσματα σύγκρισης.....	66

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θερμές ευχαριστίες οφείλονται στη Λέκτορα της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών κα Ορθοδοξία Αραμπατζή για την επίβλεψη της εργασίας μου, για τη βοήθεια και τις πολύτιμες συμβουλές που μου προσέφερε.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά επίσης τον κ. Στέφανο Δογγούρη, Επιστημονικό Συνεργάτη της Σχολής, για την υποστήριξή του σε όλα τα στάδια της εργασίας και το χρόνο που διέθεσε στο εργαστήριο και στην τελική επεξεργασία των κειμένων.

Ευχαριστίες οφείλονται στην εταιρία Metrica και ιδιαίτερα στον κ. Ερρίκο Σκάση για τη συνεργασία του ως αντιπροσώπου της κατασκευάστριας εταιρίας.

Στη συνέχεια οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στο Θεόδωρο Ξενάκη, Αγρονόμο Τοπογράφο Μηχανικό για το χρόνο που διέθεσε και τις συμβουλές του σε ζητήματα εξοπλισμού.

Τέλος οφείλω να ευχαριστήσω τους φίλους Βίκη Αλεξανδράκη και Ιάσωνα Πετρούτσο, οι οποίοι παρείχαν τα οχήματά του ως αντικείμενα μελέτης.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Κύριος στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί ο γεωμετρικός έλεγχος παραμορφώσεων επιβατηγού αυτοκινήτου (ι.χ.) μετά από σύγκρουση ως βιομηχανικό προϊόν. Επειδή δεν κατέστη δυνατή η διάθεση των αρχικών κατασκευαστικών σχεδίων του αντικειμένου ελέγχου (όχημα Renault Clio) ως αντικείμενο σύγκρισης χρησιμοποιήθηκε απαραμόρφωτο όχημα της ίδιας σειράς. Η στρατηγική μετρήσεων στηρίζεται στην εμπροσθοτομία στο χώρο με χρήση δυο γεωδαιτικών σταθμών υψηλής ακρίβειας. Χρησιμοποιούνται μόνο μετρήσεις γωνιών και με την σκόπευση ειδικής διατάξεως (ράβδος κλίμακας) παρέχεται κλίμακα στο δίκτυο.

Οι προπαρασκευαστικές εργασίες που συντελέστηκαν για εξοικείωση και έλεγχο του εξοπλισμού περιλαμβάνουν τον έλεγχο καμπυλότητας πλάκας κανάβου, τον έλεγχο επιπεδότητας τοίχου και τον έλεγχο κατασκευαστικής ακρίβειας παραβολοειδούς δορυφορικής κεραίας. Εφόσον εξακριβώθηκε πως το σύστημα αποδίδει τις αναμενόμενες ακρίβειες εκτελέστηκε η κύρια εφαρμογή, ο έλεγχος, δηλαδή, του σχήματος και των διαστάσεων του οχήματος μετά από σύγκρουση.

Τα κύρια μέρη του εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκε είναι οι δυο γεωδαιτικοί σταθμοί υψηλής ακρίβειας της Leica TDA 5005 και TCA 1800, το λογισμικό διαχείρισης των οργάνων στο πεδίο και την μετέπειτα επεξεργασία των δεδομένων Leica Axyz και η ράβδος κλίμακας.

Η μέθοδος βιομηχανικής γεωδαισίας που χρησιμοποιήθηκε είναι αυτή του εμπροσθοτομικού προσδιορισμού σε ελεύθερο δίκτυο, στρατηγικά επιλεγμένων σημείων. Από τις προπαρασκευαστικές εργασίες αποδείχθηκε ότι η ακρίβεια της μεθόδου μπορεί υπό συνθήκες να είναι της τάξεως του ενός δεκάτου του χιλιοστού ($\pm 0,100\text{mm}$) ή και καλύτερη με τη χρήση αποκλειστικά γωνιών.

Κλίμακα στο δίκτυο εισάγεται με την σκόπευση ειδικής ράβδου (κλίμακας) δεδομένου μήκους το οποίο έχει υπολογιστεί με ακρίβεια μικρόμετρου ($0,001\text{mm}$).

Οι εργασίες πεδίου που προσομοιάζουν με συνθήκες γραμμής βιομηχανικής παραγωγής περιλαμβάνουν δυο σειρές μετρήσεων. Μια για το όχημα αναφοράς και μία για το προς έλεγχο όχημα. Τα δεδομένα επιλύονται άμεσα και επιτόπου και αποθηκεύονται ως συντεταγμένες στον φορητό υπολογιστή όπου είναι συνδεδεμένοι οι γεωδαιτικοί σταθμοί.

Από την επεξεργασία και τη σύγκριση των δυο σειρών μετρήσεων προκύπτει πως η εφαρμογή πετυχαίνει καλύτερη ακρίβεια από την αρχικά επιδιωκόμενη η οποία είχε τεθεί στο μισό χιλιοστό ($\pm 0,500\text{mm}$) για να μπορεί να ανιχνεύσει παραμορφώσεις της τάξεως του χιλιοστού ($\pm 1\text{mm}$) ή μικρότερες. Πιο συγκεκριμένα η ακρίβεια των μετρήσεων ήταν της τάξεως του $\pm 0,15\text{mm}$ και οι παραμορφώσεις που εντοπίστηκαν κυμαίνονται μεταξύ ενός και πέντε εκατοστών (1-5cm).

ABSTRACT

Main objective of this diploma thesis is to study the deformation of a vehicle after conflict as an industrial product. Since no detailed construction drawings of the vehicle were available (Renault Clio), another vehicle of the same series, that had not suffered deformations, was used as reference data object. The measurements strategy is based on the determination of coordinates of homologous control points on both vehicles using 3D resections. For this reason two high accuracy total stations were used. Only measurements of angles took place. Scale was provided to the network pointing to a scale bar, which length is regarded as precisely known (certified).

The preparatory work for purposes of familiarization and equipment checking includes the testing of curvature of a drawing plate, the testing of the flatness of a wall and the testing of constructional precision of a paraboloid satellite antenna. The main application took place by the time the system (total stations + laptop + software) was ascertained that reaches the expected precision.

The main instruments that were used are two high accuracy total stations, Leica TDA 5005 and TCA 1800, the software Leica Axyz, which managed the total stations in the field and undertook the data analysis, and the scale bar.

The industrial geodesy method used is the one that establishes a free network utilizing multiple 3D resections on strategically selected points. The preparatory work proved that the precision of this method can, under certain conditions, be $\pm 0,1$ mm or even higher, measuring only angles. Scale in the network is derived by pointing to the scale bar, device with known (certified) length determined with precision of one micrometer (0,001mm).

The work on the field is similar to the conditions met in a production line. Two series of measurements took place. One for the reference vehicle and one for the one to be studied. The data are resolved in real time and stored as coordinates in the laptop which was connected with the total stations.

The processing and the comparison of the series of measurements show that the application achieves better precision than initially sought. The aim was to attain measurements accuracy of half millimetre ($\pm 0,5$ mm), in order to define deformations of one millimetre (± 1 mm) or more. Concluding, the precision of the coordinates calculated was $\pm 0,15$ mm and actual determined deformations were between one and five centimetres (1-5 cm).

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Γενικά

Ως Βιομηχανική Γεωδαισία ορίζεται η ιδιαίτερα υψηλής ακρίβειας μεθοδολογία προσδιορισμού της θέσης, σχήματος, διαστάσεων και η παρακολούθηση μεταβολών αντικειμένων που έχουν σχέση με τη βιομηχανία. Αυτά μπορεί να είναι είτε μηχανές ή παράγωγα – προϊόντα αυτών.

Το πρόβλημα που καλείται να αντιμετωπίσει μια εφαρμογή Βιομηχανικής Γεωδαισίας είναι εν γένει ο ακριβής προσδιορισμός των συντεταγμένων ενός σημειοσυνόλου (π.χ. στόχοι επί του σώματος οχήματος, φράγματος, βραχώδους πρανούς κλπ) ή επί μαθηματικής επιφάνειας (π.χ. τοίχος, δορυφορικές κεραίες, κάτοπτρα κλπ).

Βασική παράμετρος στην επιλογή μεθόδου και οργάνων μετρήσεως αποτελεί η επιδιωκόμενη ακρίβεια προσδιορισμού των ως άνω συντεταγμένων ανάλογα με τη φύση του προβλήματος και που οπωσδήποτε πρέπει να είναι ανώτερη της κατασκευαστικής ακρίβειας του αντικειμένου της έρευνας.

Εξίσου σημαντική παράμετρο αποτελεί ο διαθέσιμος χώρος γύρω από το αντικείμενο μελέτης για την εγκατάσταση των οργάνων μέτρησης και την επίτευξη ικανοποιητικής γεωμετρίας, καθώς και η ύπαρξη ενδεχόμενων 'κρυφών' ή κρυμμένων περιοχών του προς μέτρηση αντικειμένου.

Η παρούσα διπλωματική εργασία αναφέρεται στην επιλογή διαδικασιών και οργάνων, παρουσιάζει τις μετρήσεις, την ανάλυση και τα συμπεράσματα τεσσάρων εφαρμογών. Ειδικότερα:

- α) Έλεγχος καμπυλότητας ειδικής μεταλλικής επιφάνειας (πλάκα κανάβου) με διατρήσεις σε αυστηρά προκαθορισμένες θέσεις (κατανομημένες σε κανονικό κάναβο 10x10εκ.)
- β) Έλεγχος επιπεδότητας τοίχου στο εργαστήριο Λ23.
- γ) Έλεγχος κατασκευαστικής ακρίβειας παραβολοειδούς δορυφορικής κεραίας.
- δ) Έλεγχος αποκατάστασης διαστάσεων οχήματος μετά από σύγκρουση.

Ανάγκες

Οι ανάγκες που οδήγησαν στην ανάπτυξη του τομέα της βιομηχανικής γεωδαισίας ήταν ο έλεγχος παραμορφώσεων, η χάραξη σημείων ή η τοποθέτηση στο χώρο και ο ποιοτικός έλεγχος βιομηχανικών προϊόντων ή βιομηχανικού εξοπλισμού.

Σε μια βιομηχανική μονάδα συχνά υπάρχει η ανάγκη για έλεγχο της θέσης μηχανημάτων ή τμημάτων αυτών. Π.χ. αν και κατά πόσο τα τμήματα μιας τουρμπίνας σε μονάδα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος είναι συνευθειακά.

Εκεί η βιομηχανική γεωδαισία μπορεί να δώσει αποτελέσματα και αν υπάρχει ανάγκη να υποδείξει διορθώσεις.

Μια ανάγκη ακόμα της βιομηχανίας είναι ο προσδιορισμός της σχετικής θέσης και του προσανατολισμού μηχανημάτων μέσα σε μια μονάδα. Π.χ. η θέση του κυλιόμενου διαδρόμου σε σχέση με την προηγούμενη και την επόμενη μηχανή παραγωγής.

Στη βιομηχανία συχνά υπάρχει ανάγκη ελέγχου επιφανειών ή σημειοσυνόλων για το αν πληρούν ή όχι τις προδιαγραφές κατασκευής. Ο έλεγχος αυτός βρίσκει εφαρμογή και σε βιομηχανικό εξοπλισμό και σε βιομηχανικά προϊόντα. Ένα παράδειγμα ελέγχου προϊόντος είναι ο έλεγχος σκελετού οχήματος αν είναι εντός ή εκτός των ανοχών που ορίζει ο κατασκευαστής. Ένα παράδειγμα ελέγχου βιομηχανικού εξοπλισμού είναι εάν τα κέντρα ενός τόννου κείτονται επί της ίδιας ευθείας καθόλη τη διάρκεια της κίνησής του και εάν τελικά ταυτίζονται όταν έρθουν σε επαφή. Στην περίπτωση μιας τέτοιας μελέτης εφόσον διαπιστωθούν αποκλίσεις είναι δυνατόν να υποδειχθούν διορθώσεις.

Τέτοιου είδους ανάγκες παράλληλα με την τεχνολογική εξέλιξη του γεωδαιτικού εξοπλισμού δημιούργησαν τις συνθήκες για την εξέλιξη της βιομηχανικής γεωδαισίας και τη δυνατότητά της να συνεισφέρει στη βιομηχανία.

Στόχοι

Κύριο αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί ο έλεγχος αποκατάστασης οχήματος μετά από σύγκρουση. Ελέγχεται δηλαδή κατά πόσο ήταν επιτυχημένη ή όχι η επισκευή του πλαισίου ενός οχήματος σύμφωνα με το αρχικό σχέδιο του κατασκευαστή ή σύμφωνα με ένα άθικτο όχημα της ίδιας σειράς (παραγωγής).

Για την διεξαγωγή των πειραμάτων επελέγη η μέθοδος εμπροσθοτομικού προσδιορισμού σε ελεύθερο δίκτυο, στρατηγικά επιλεγμένων σημείων με την βοήθεια ειδικού συστήματος οργάνων και λογισμικού που διαθέτει το Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας (Ε.Γ.Γ.).

Παράλληλος στόχος υπήρξε η εξοικείωση και η αξιοποίηση του συστήματος βιομηχανικής γεωδαισίας του εργαστηρίου τεχνικής γεωδαισίας του οποίου τα βασικά στοιχεία είναι δυο total stations υψηλής ακρίβειας, το λογισμικό Axyz και κάποια παρελκόμενα.

Στο πλαίσιο της εξοικείωσης με το σύστημα, προγραμματίστηκαν και πραγματοποιήθηκαν τρεις προπαρασκευαστικές εφαρμογές που αφορούν σε:

- α) Έλεγχο επιπεδότητας τοίχου στο εργαστήριο Λ23.
- β) Έλεγχο καμπυλότητας ειδικής μεταλλικής επιφάνειας (πλάκα κανάβου) με διατρήσεις σε αυστηρά προκαθορισμένες θέσεις (κατανομημένες σε κανονικό κানাβο 10x10εκ.)
- γ) Έλεγχο κατασκευαστικής ακρίβειας παραβολοειδούς δορυφορικής κεραίας.

Οι στόχοι, λοιπόν, της παρούσας εργασίας συνοψίζονται στην αξιολόγηση του συστήματος του εργαστηρίου και στην αποτελεσματικότητά του για εφαρμογές αντίστοιχες με τις πραγματοποιηθείσες.

Στο πλαίσιο της αξιοποίησης του συστήματος έγινε επιτόπου και άμεση (real time) εξαγωγή συντεταγμένων σημείων ελέγχου και έλεγχος προσαρμογής μαθηματικών επιφανειών σε σημεία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑ: ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ, ΟΡΙΣΜΟΙ, ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ, ΑΚΡΙΒΕΙΕΣ, ΣΦΑΛΜΑΤΑ

1.1. Η επιστήμη της Γεωδαισίας

Ο όρος Γεωδαισία προκύπτει από τη σύνθεση των λέξεων Γη και δαίω (διαίρω, μοιράζω). Η ερμηνεία της λέξης θα μπορούσε να σημαίνει υποδιαίρεση της Γης ή διαμερισμός της. Σήμερα ο όρος αυτός ορίζει μια περιοχή των επιστημών που ασχολούνται με τον Πλανήτη Γη στο σύνολό του ή σε τμήματα αυτού. Για τον Τοπογράφο Μηχανικό η Γεωδαισία ορίζει την περιοχή που μελετά θεωρητικά και πρακτικά, και ειδικότερα:

- Το σχήμα (μορφή), το μέγεθος (διαστάσεις) και το πεδίο βαρύτητας της Γης, στην επιφάνειά της και έξω από αυτήν.
- Ζητήματα σχετικά με τον προσδιορισμό σημείων αναφοράς και γενικά θέσεων στην φυσική της επιφάνεια, κάτω και πάνω από αυτήν.
- Τις διαχρονικές μεταβολές του σχήματος, του μεγέθους και του πεδίου βαρύτητας, καθώς και τις διαχρονικές μετατοπίσεις σημείων αναφοράς και θέσεων.
- Και τέλος την απεικόνιση όλων των προηγούμενων αντικειμένων της.

Το αντικείμενο της Γεωδαισίας είναι ευρύτατο και εμπίπτει πλέον σε κλάδους. Ενδεικτικά αναφέρονται οι σημαντικότεροι:

- Φυσική Γεωδαισία
- Δορυφορική Γεωδαισία
- Τοπογραφία
- Υδρογραφία
- Τεχνική Γεωδαισία

Επιγραμματικά, η Φυσική Γεωδαισία μελετά το γήινο πεδίο βαρύτητας και τις μεταβολές του. Η Δορυφορική Γεωδαισία ασχολείται με τον προσδιορισμό θέσης μέσω συλλογής δεδομένων που εκπέμπουν γεωδαιτικοί δορυφόροι. Η Τοπογραφία δίνει τις μεθόδους για την αποτύπωση του χώρου και τη χάραξη σημείων στο χώρο. Η Υδρογραφία μελετά τις υδάτινες μάζες, συνδράμει στη ναυσιπλοΐα και ασχολείται με παράκτιες κατασκευές. Η Τεχνική γεωδαισία περιλαμβάνει τις μεθόδους και τον εξοπλισμό της μελέτης τεχνικών εφαρμογών.

1.2. Τεχνική Γεωδαισία

Η τεχνική γεωδαισία μελετά τις μεθόδους και τον εξοπλισμό για να δώσει λύσεις σε ειδικές εφαρμογές. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται περιλαμβάνουν ως βασικό συστατικό τους οριζοντιογραφικά και υψομετρικά

δίκτυα. Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται προδιαγράφεται, συνήθως, ως ο ακριβέστερος δυνατός. Για παράδειγμα περιλαμβάνει total stations ακρίβειας 1"-3" ανάλογα την εφαρμογή. Σε μεγάλης έκτασης εφαρμογές χρησιμοποιείται τεχνολογία GPS αν και γενικά ιδρύονται τοπικά δίκτυα υψηλής ακρίβειας.

Χαρακτηριστικές εφαρμογές που καλύπτει η Τεχνική Γεωδαισία:

- Παρακολούθηση μικρομετακινήσεων μεγάλων τεχνικών έργων και του στερεού φλοιού της γης.
- Χαράξεις μεγάλων τεχνικών έργων όπως οδοί μεταξύ πόλεων, γέφυρες, φράγματα, αθλητικές εγκαταστάσεις κ.α.
- Υπόγεια έργα, σήραγγες και αποτυπώσεις μεγάλης κλίμακας.
- Καλύπτει επίσης τις μεθόδους Βιομηχανικής Γεωδαισίας που αποτελούν αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής εργασίας και θα αναλυθούν διεξοδικά στη συνέχεια.

1.3. Βιομηχανική Γεωδαισία

1.3.1. Ιστορικά

Η Βιομηχανική Γεωδαισία απαντάται ως ανεξάρτητος τομέας της Τεχνικής Γεωδαισίας αρχικά κατά την δεκαετία του 1980. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι αυτές της κλασσικής Γεωδαισίας. Η τεχνολογική εξέλιξη των γεωδαιτικών σταθμών, εν τούτοις, είναι αυτή που θα δώσει τη δυνατότητα εφαρμογής μεθόδων και τεχνικών στη βιομηχανία εφόσον οι απαιτούμενες ακρίβειες καλύπτουν το αντικείμενο.

Αρχικά στο επίπεδο της κλασσικής γεωδαισίας ακόμα, η έλλειψη οργάνων ικανών να μετρήσουν αποστάσεις με υψηλή ακρίβεια απαιτούσε να πραγματοποιούνται κατά κανόνα γωνιομετρήσεις. Τα μετρούμενα μήκη ήσαν μόνο τα απαραίτητα τα οποία θα έδιναν την κλίμακα στο δίκτυο. Πλέον το εμπόδιο αυτό έχει ξεπεραστεί με την πρόοδο της τεχνολογίας και την ανάπτυξη των E.D.M. Οι μετρήσεις των αποστάσεων έγιναν πολύ πιο γρήγορες και ακριβείς. Αποτέλεσμα ήταν να προτιμώνται τα τριπλευρικά δίκτυα από τα τριγωνομετρικά. Στο επίπεδο των γωνιομετρήσεων επήλθε κι εκεί εξέλιξη με την χρήση ηλεκτρονικών θεοδολίχων με ψηφιακή ανάγνωση σε όλο το εύρος των δίσκων γεγονός που επέτρεψε μέτρηση γωνιών με μεγάλη ακρίβεια και κυρίως χωρίς την ανάγκη ιδιαίτερα μεγάλου αριθμού περιόδων.

Με τη μετάβαση στη ψηφιακή εποχή τα total station πλέον είναι σε θέση να κάνουν ψηφιακή καταγραφή των μετρήσεων και να τις αποθηκεύουν σε αφαιρούμενα καταγραφικά μέσα ή και να τα μεταδίδουν απευθείας σε υπολογιστή συνδεδεμένο με αυτά κατά τη φάση της καταγραφής. Η δυνατότητα αυτή έκανε εφικτή την άμεση και επιτόπου (real time) επεξεργασία των δεδομένων και την εξαγωγή αποτελεσμάτων.

Ο κύριος παράγοντας ο οποίος επέτρεψε την εφαρμογή γεωδαιτικών μεθόδων στη βιομηχανία είναι η εξέλιξη των γωνιομετρικών οργάνων. Επίσης

η δυνατότητα μέτρησης τυχαίων μη προσημασμένων σημείων πάνω στις παρατηρούμενες επιφάνειες σε μια ημιπερίοδο και με μεγάλη ακρίβεια. Η δυνατότητα σύνδεσης σε υπολογιστή περισσοτέρων του ενός οργάνου πέρα από τον επιτόπου και άμεσο προσδιορισμό συντεταγμένων, κατέστησε, εξάλλου, δυνατή και την επίλυση πολλαπλών εμπροσθοτομιών ή και δικτύων.

1.3.2. Μεθοδολογία της Βιομηχανικής Γεωδαισίας

1.3.2.1. Γενικά

Η Βιομηχανική Γεωδαισία αποσκοπεί στον υπολογισμό συντεταγμένων στην επιφάνεια του προς μελέτη αντικειμένου. Ο σκοπός είναι ο καθορισμός του σχήματος ή των διαστάσεων του αντικειμένου μια δεδομένη χρονική στιγμή ή κατά την διάρκεια αλληλουχίας χρονικών στιγμών. Οι συντεταγμένες που υπολογίζονται ανήκουν σε ένα τοπικό σύστημα αναφοράς που μπορεί να μετασχηματιστεί σε οποιοδήποτε άλλο, όπως π.χ. σε ειδικό τοπικό σύστημα αναφοράς συγκεκριμένου αντικειμένου (μελέτης). Όποια μορφή συντεταγμένων κι αν επιλεγεί, θα συγκριθούν για την εξαγωγή αποτελεσμάτων, με αυτές που δίνει ο κατασκευαστής ή ο μελετητής ή με έναν προηγούμενο υπολογισμό συντεταγμένων που θεωρείται ως σειρά δεδομένων αναφοράς. Έτσι εξετάζονται και τεκμηριώνονται τυχόν μεταβολές ή παραμορφώσεις.

Οι ακρίβειες που μπορούν σήμερα να επιτευχθούν με βάσει τις μεθοδολογίες και τον διαθέσιμο εξοπλισμό μπορούν να φτάσουν μέχρι και την τάξη του ενός εκατοστού του χιλιοστού (0,01mm).

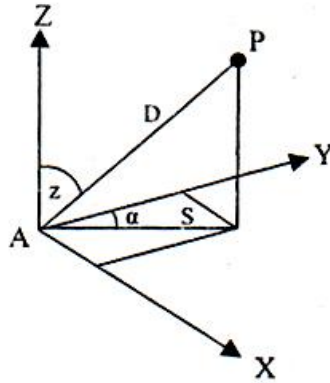
Οι αρχές (ή οι μέθοδοι) στις οποίες βασίζονται τα σχήματα μετρήσεων και οι υπολογισμοί των συντεταγμένων είναι δυο.

- Η μέθοδος των πολικών συντεταγμένων.
- Η μέθοδος της εμπροσθοτομίας.

1.3.2.2. Η μέθοδος των πολικών συντεταγμένων

Πρόκειται για τη βασικότερη μέθοδο προσδιορισμού σημείων. Από ένα γνωστό σημείο μετρούνται οριζόντιες ως προς μια αρχική διεύθυνση αναφοράς, καθώς και κατακόρυφες γωνίες και κεκλιμένες αποστάσεις προς τα προς προσδιορισμό σημεία.

Τη μέθοδο αυτή εφαρμόζουν μεταξύ άλλων τα συστήματα των laser trackers και των total stations όταν τα δεύτερα λειτουργούν αυτόνομα. Και από τα δύο συστήματα καταγράφονται μετρήσεις οριζόντιας γωνίας, κατακόρυφης γωνίας και απόστασης.



Σχήμα 1.1. Πολικές Συντεταγμένες [Σημειώσεις Τεχνικής Γεωδαισίας ΕΜΠ 2005]

Στο Σχήμα 1.1. φαίνονται οι γωνίες και η κεκλιμένη απόσταση που μετρώνται. Στη συνέχεια υπολογίζεται η οριζόντια απόσταση και τελικά υπολογίζονται οι συντεταγμένες από τις σχέσεις:

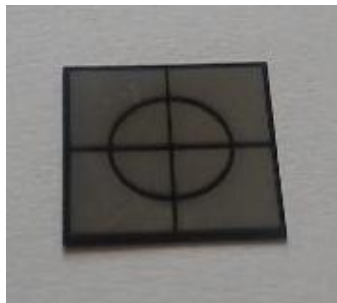
$$\begin{aligned} X_p &= X_A + S \sin \alpha \\ Y_p &= Y_A + S \cos \alpha \\ Z_p &= Z_A + D \cos z \end{aligned}$$

Καθοριστική για την ακρίβεια προσδιορισμού της θέσης του σημείου είναι η ακρίβεια μέτρησης της απόστασης. Η συμβολή της στον προσδιορισμό της τεταγμένης X είναι

$$\sigma_{x_p} = (\sin \alpha \sigma_s)^2 + (S \cos \alpha \sigma_\alpha)^2$$

ενώ αντίστοιχη είναι η συμβολή της στον προσδιορισμό της τεταγμένης Y και του υψομέτρου Z. Περισσότερη έμφαση στην ακρίβεια της απόστασης δίδεται διότι εκεί τεχνολογικά υπάρχει υστέρηση.

Άλλοι παράγοντες που δρουν αρνητικά στις μετρήσεις των αποστάσεων είναι η χρήση του κατάφωτου το οποίο λόγω του μεγέθους του προσθέτει σφάλμα στη διαδικασία. Για το λόγο αυτό υπάρχουν ειδικοί αυτοκόλλητοι στόχοι/κατάφωτα, στη λύση όμως αυτή παρουσιάζεται πρόβλημα στην ακριβή τοποθέτηση των στόχων στα σημεία ενδιαφέροντος.



Σχήμα 1.2. Φωτογραφία αυτοκόλλητου στόχου

Λύση στο πρόβλημα αυτό θα μπορούσε να δοθεί με χρήση οργάνων που μετρούν απόσταση χωρίς τη χρήση κατάφωτου (reflector less). Στην περίπτωση αυτή βελτιώνεται σημαντικά η ακρίβεια της σκόπευσης αλλά η τεχνολογία του εξοπλισμού δεν έχει φτάσει σε επίπεδο τέτοιο όπου η ακρίβεια μέτρησης της απόστασης να καλύπτει τις εφαρμογές της Βιομηχανικής Γεωδαισίας.

Ως προς το μέγεθος του κάτοπτρου, μια λύση έχει δοθεί π.χ. με το σφαιρικό κάτοπτρο της εταιρίας τοπογραφικού εξοπλισμού Leica. Το εν λόγω κάτοπτρο, λόγω του σχήματος του, διατηρεί σταθερή απόσταση μεταξύ του σημείου επαφής του, στην επιφάνεια ενδιαφέροντος, και το οπτικό του κέντρο. Αποτέλεσμα της παραπάνω ιδιότητας είναι η διόρθωση στις συντεταγμένες του σημείου να είναι σταθερή.



Σχήμα 1.3. Σφαιρικό κάτοπτρο Leica [<http://www.metrica.gr>]

1.3.2.3. Η μεθοδολογία της εμπροσθοτομίας

Η μέθοδος της εμπροσθοτομίας εφαρμόζεται από δυο total stations τα οποία λειτουργούν συνδυαστικά. Μετρώνται οριζόντιες και κατακόρυφες γωνίες από δυο γνωστές κορυφές προς τα σημεία που ενδιαφέρουν. Μήκη δεν μετρώνται σε αυτή τη μέθοδο και η κλίμακα του δικτύου προσδιορίζεται από την απόσταση μεταξύ των δυο γνωστών κορυφών. Τα πρώτα συστήματα βιομηχανικής γεωδαισίας βασίστηκαν σε αυτή την αρχή.

Η διαδικασία προβλέπει ως πρώτο βήμα την εγκατάσταση μιας βάσης από δύο (2) σταθερά σημεία στο χώρο. Το μήκος, μεταξύ των δύο σημείων (ή της βάσης) προσδιορίζεται με ιδιαίτερα υψηλή ακρίβεια.

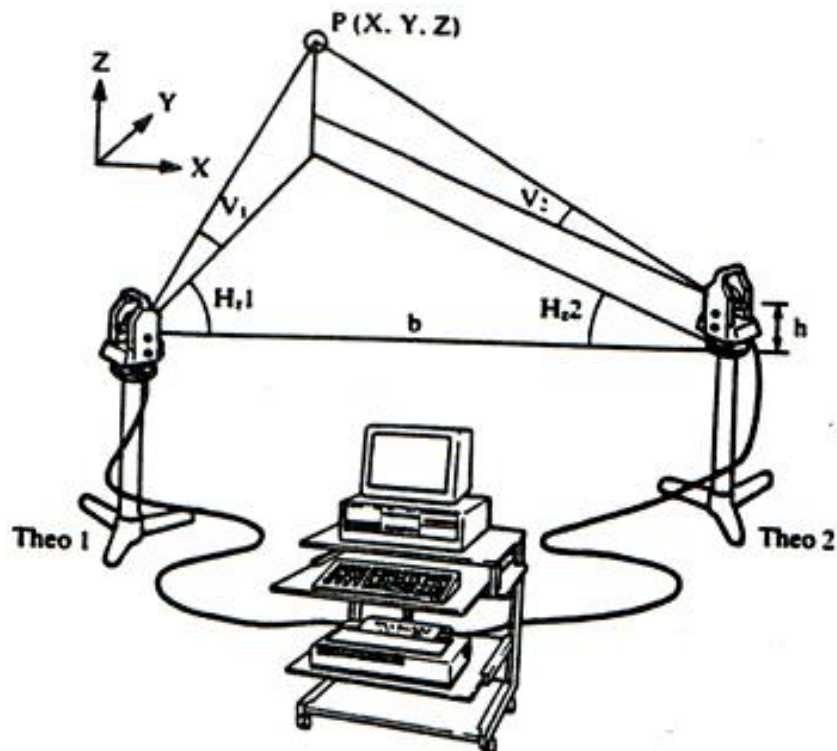
Οι ανωτέρω δύο κορυφές ήταν οι γνωστές στάσεις και η τρίτη το προς προσδιορισμό σημείο. Για την επίλυση του τριγώνου που δημιουργείται, απαιτείται να είναι γνωστά τρία στοιχεία του εκ των οποίων το ένα να είναι μήκος πλευράς για να δοθεί κλίμακα στο τρίγωνο. Λόγω της φύσης της εφαρμογής τα άλλα δυο στοιχεία του τριγώνου κάθε φορά είναι οι μετρούμενες γωνίες προς το άγνωστο σημείο. Η απόσταση πάντα είναι η απόσταση μεταξύ των δυο γνωστών κορυφών στις οποίες είναι στημένα τα total stations.

Στην περίπτωση που εκτός από γωνίες μετρηθούν και αποστάσεις προς το σκοπευόμενο σημείο, τότε αυξάνεται ο βαθμός ελευθερίας στην επίλυση του τριγώνου.

Αξίζει να σημειωθεί πως για τον συνυπολογισμό των αποστάσεων αυτών στο πρόβλημα πρέπει να θεωρηθούν σχετικά βάρη εφόσον οι μετρήσεις αποστάσεων υστερούν σε ακρίβεια σε σχέση με τη μέτρηση γωνιών.

Οι κορυφές στις οποίες στήνονται τα total stations ιδρύονται με δύο τρόπους.

- Με σταθερές, γνωστές κορυφές εκ των προτέρων οπότε το δίκτυο που ιδρύεται είναι σταθερο.
- Με τυχαίες κορυφές, τα σημεία υλοποιούνται σε ελεύθερες θέσεις οπότε το δίκτυο που ιδρύεται είναι ελεύθερο.



Σχήμα 1.4. Διάταξη εμπροσθοτομίας [Σημειώσεις Γεωδαισίας, Δίκτυα - Αποτυπώσεις - Χαράξεις, 2000]

1.3.2.4. Εμπροσθοτομία με σταθερό δίκτυο

Στην περίπτωση αυτή τα total stations τοποθετούνται σε γνωστές κορυφές, συνήθως βάθρα με διάταξη εξαναγκασμένης κέντρωσης. Η απόσταση μεταξύ των κορυφών είναι προσδιορισμένη με πολύ μεγάλη ακρίβεια.

Στο Σχήμα 1.3. φαίνεται μια διάταξη βιομηχανικής γεωδαισίας που χρησιμοποιεί εμπροσθοτομίες. Κατά τη μέθοδο των σταθερών δικτύων οι τρίποδες, εφόσον είναι δυνατόν, αντικαθίστανται από βάθρα.



Σχήμα 1.5. Πλακέτα εξαναγκασμένης κέντρωσης [www. geometriki.com]

Τέτοιου είδους δίκτυα απαντώνται σε βιομηχανίες με εργαστήρια ελέγχου όπου ο έλεγχος των βιομηχανικών παραγώγων αποτελεί στάδιο της γραμμής παραγωγής.

1.3.2.5. Εμπροσθοτομία με ελεύθερο δίκτυο

Στην περίπτωση εφαρμογής της μεθόδου με ελεύθερο δίκτυο τα total stations τοποθετούνται σε τυχαίες θέση. Ακριβώς όπως εμφανίζονται στο Σχήμα 1.3.

Η μεθοδολογία αυτή είναι πιο ευέλικτη. Τα πλεονεκτήματά της είναι, ότι λόγω της αυθαίρετης επιλογής κορυφών επιτυγχάνεται καλύτερη γεωμετρία, μπορούν να προστεθούν περισσότερες των δυο κορυφών για καλύτερη κάλυψη του αντικειμένου. Μπορεί επίσης εάν υπάρχει ανάγκη για ιδιαίτερα υψηλή ακρίβεια να σκοπευθούν σημεία από περισσότερες των δυο κορυφών και να υπολογιστούν πολλαπλές εμπροσθοτομίες.

Υπάρχουν όμως και κάποια μειονεκτήματα. Απαιτούνται επιπλέον μετρήσεις για τον προσδιορισμό της γνωστής πλευράς του τριγώνου πάνω στην οποία στηρίζεται όλη η μέθοδος. Πρέπει να υλοποιηθεί η πλευρά με αλληλοσκόπηση των οργάνων για να υλοποιηθεί ο οπτικός άξονας μεταξύ των σταυρονημάτων των οργάνων. Έπειτα η μεταξύ τους απόσταση και η κλίμακα σε όλο το δίκτυο θα αποδοθεί μέσω σκόπησης δυο σημείων όπου είναι γνωστή η μεταξύ τους απόσταση με πολύ μεγάλη ακρίβεια. Τα σημεία αυτά τα ορίζει η ράβδος κλίμακας η οποία είναι τμήμα του εξοπλισμού της βιομηχανικής γεωδαισίας. Η εν λόγω ράβδος είναι κατασκευασμένη από κράμα με πολύ μικρό συντελεστή διαστολής και έχει προσδιοριστεί το μήκος της με ακρίβεια μερικών χιλιοστών του χιλιοστού (μερικά 0,001mm). [βλέπε παρ. 2.6.]

1.4. Ακρίβειες στη Βιομηχανική Γεωδαισία

Οι ακρίβειες που μπορούν να επιτευχθούν με τις μεθόδους της βιομηχανικής μπορούν να προσεγγίσουν το εκατοστό του χιλιοστού (0,01mm). Ανάλογα την εφαρμογή καλείται ο μελετητής να επιλέξει τον εξοπλισμό ο οποίος με το μικρότερο κόστος, θα δώσει προϊόν το οποίο θα ικανοποιεί τις ανάγκες για ακρίβεια της εκάστοτε εφαρμογής.

Ακολουθεί πίνακας στον οποίο παρουσιάζονται οι ακρίβειες που μπορούν να επιτευχθούν ανάλογα με τον εξοπλισμό που θα χρησιμοποιηθεί.

Μέγιστη διάσταση αντικειμένου (mm)	Απαιτούμενη ακρίβεια μέτρησης (mm)	Διάστημα ανοχής των μετρήσεων (mm)	Παράδειγμα εφαρμογής	Συστήματα οργάνων
5000	0,2	0,05	Αεροδιαστημική	Laser tracker
10000	1	0,5	Αεροδιαστημική	Laser tracker, Θεοδόλιχα, Φωτ/μετρία
15000	3	2	Ναυπήγηση	Θεοδόλιχα
1000	0,1	0,02	Αεροδιαστημική	Θεοδόλιχα και Φωτ/με-τρία
10000	1	0,2	Ναυπήγηση	Θεοδόλιχα

Πίνακας 1.1. Απαιτούμενες ακρίβειες - όργανα βιομηχανικής γεωδαισίας [Γκουντινάκος Γ, 2004]

Μια εκτενέστερη σύγκριση των χαρακτηριστικών των μεθόδων της βιομηχανικής γεωδαισίας όπου παρουσιάζονται εκτός από ακρίβειες και οικονομοτεχνικά στοιχεία παρουσιάζεται στη συνέχεια. Τέτοιοι πίνακες χρησιμεύουν στην αρχική αναζήτηση μεθόδου προς εφαρμογή σε μια μελέτη.

Μετρητικό σύστημα	Total station	Δυο θεοδόλιχα	3 θεοδόλιχα	Laser tracker	Εγγύς Φωτογραμμετρία
Ακρίβεια σε περιβάλλον εργαστηρίου	0,1 mm-0,5 mm	0,1 mm - 0,5 mm	0,1 mm-0,2 mm	0,01 mm - 0,2 mm	0,1 mm - 0,5 mm
Ακρίβεια εκτός ελεγχόμενων συνθηκών	1-3 mm	1-3 mm	1-3 mm	Συνήθως δεν υπάρχει τέτοια περίπτωση	0,25-3 mm
Μέγιστο εύρος μετρήσεων	Έως 1000 m	Έως 30-40 m	Έως 100 m	30 m	30 m
Πρακτικό εύρος μετρήσεων	2-200 m	2-40 m	2-100 m	1-30 m	4-30 m
Χρόνος προετοιμασίας	10 min χωρίς καλιμπράρισμα	30-60 min, απαιτείται καλιμπράρισμα	30-60 min, απαιτείται καλιμπράρισμα	2-4 h, ζέσταμα, καλιμπράρισμα	Δεν έχει εκτός της τοποθέτησης στόχων
Συντεταγμένες σε άμεσο χρόνο	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Μερικές φορές
Απαιτούμενη προεπεξεργασία	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	Ναι
Αριθμός χειριστών	1	1-2	1-3	1-2	1
Γνώσεις χειριστή	2	3	3-4	5	5
Τιμή κατά προσέγγιση (σε χιλιάδες €, δεν είναι σημερινές)	30-45	80-100	120-140	100-200	80-180
Έξοδα συντήρησης	1	1-2	2-3	5	2-3
Ευκολία μεταφοράς	1	3	3	5	1

Πίνακας 1.2. Σύγκριση συστημάτων βιομηχανικής γεωδαισίας [Γκουντινάκος Γ, 2004]

1.5. Πηγές σφαλμάτων στη Βιομηχανική Γεωδαισία

1.5.1. Γενικά

Τα σφάλματα σε μια μεθοδολογία μετρήσεων μπορεί να είναι συστηματικά, χονδροειδή ή τυχαία.

Τα συστηματικά σφάλματα οφείλονται συνήθως στον εξοπλισμό. Πιο συγκεκριμένα, πηγή συστηματικών σφαλμάτων μπορεί να είναι ατέλειες των οργάνων, ατελείς ρυθμίσεις των οργάνων ή συνθήκες περιβάλλοντος. Τα σφάλματα αυτά μπορούν ως επί το πλείστον να εκφραστούν με μια μαθηματική σχέση και κατά συνέπεια να διορθωθούν.

Τα χονδροειδή σφάλματα οφείλονται σε λάθος του παρατηρητή, και μπορούν να εντοπιστούν με επαναληπτικές διαδικασίες.

Τα τυχαία σφάλματα είναι αυτά τα οποία διαχειρίζεται η Θεωρία Σφαλμάτων και Συνορθώσεων. Είναι αυτά που απομένουν ως διασπορά γύρω από την πραγματική τιμή του μεγέθους.

Μια γενική αρχή που ισχύει είναι ότι στους χειριστές οφείλονται κυρίως τα χονδροειδή σφάλματα. Στον εξοπλισμό και τις συνθήκες κατά τη στιγμή των μετρήσεων οφείλονται κυρίως τα συστηματικά σφάλματα. Με βάση αυτήν την κατηγοριοποίηση θα αναλυθούν τα σφάλματα και το πώς αυτά μπορούν να αποφευχθούν ή να συνυπολογιστούν στην επίλυση.

1.5.2. Σφάλματα χειριστών στη βιομηχανική γεωδαισία

Ειδικά σε αυτόν τον τομέα της γεωδαισίας, εφόσον στόχος είναι οι υψηλές ακρίβειες, το προσωπικό θα πρέπει να είναι καλά καταρτισμένο, έμπειρο και σχολαστικό. Η ύπαρξη πρωτοκόλλου διαδικασιών και η πιστή εφαρμογή του μπορεί να αποτρέψει χονδροειδή σφάλματα. Τέτοια μπορεί να προκύψουν π.χ. λόγω μέτρησης λάθους σημείου, χρήση λάθος στόχου ή εισαγωγή παραμέτρων διαφορετικού στόχου από αυτόν που τελικά χρησιμοποιήθηκε στο πεδίο.

Πιθανότητα χονδροειδών σφαλμάτων πάντα υπάρχει, με τις παραπάνω προτάσεις μπορεί να ελαχιστοποιηθεί η πιθανότητα εμφάνισής τους.

Σημειώνεται πως παλαιότερα παρουσιάζονταν χονδροειδή σφάλματα αναγνώσεων και καταγραφής τα οποία πλέον έχουν εκλείψει λόγω της αυτόματης καταγραφής και μεταφοράς δεδομένων.

1.5.3. Σφάλματα εξοπλισμού

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι κυριότεροι λόγοι που εισάγουν σφάλματα στις μετρήσεις μιας εφαρμογής βιομηχανικής γεωδαισίας και η σχετική μέριμνα που πρέπει να λαμβάνεται για την αποφυγή αυτών.

Όργανα που παρουσιάζουν αρκετά χαμηλότερη ακρίβεια από την ονομαστική λόγω εκτεταμένης χρήσης, λανθασμένης μεθοδολογίας ή ελλιπούς συντήρησης είναι οι κυριότερες αιτίες στις οποίες μπορεί να οφείλονται σφάλματα. Τα τελευταία υπεισέρχονται στις γωνιομετρήσεις και στις μετρήσεις μηκών και κατά συνέπεια στο τελικό αποτέλεσμα.

Πέρα από τα όργανα προσοχή πρέπει να δοθεί και στα περιφερειακά (στόχοι, ράβδοι κλίμακας, συσκευές κρυφού σημείου).

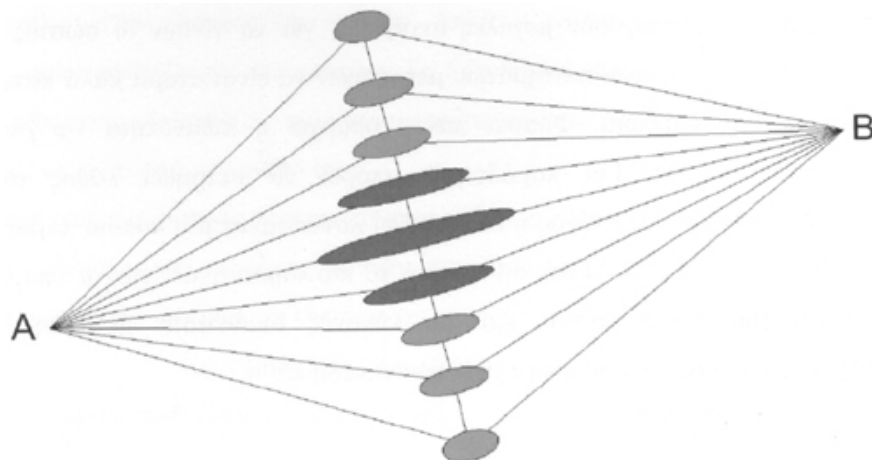
Οι στόχοι πρέπει να επιλέγονται ανάλογα την εφαρμογή έχοντας το καταλληλότερο σχήμα, χρώμα και γεωμετρικά χαρακτηριστικά για την επίτευξη της βέλτιστης δυνατής σκόπευσης. Η γωνία πρόσπτωσης της ακτίνας του οργάνου στο στόχο θα πρέπει να προσεγγίζει την κάθετη ως προς το επίπεδο της επιφάνειας του στόχου. Η τοποθέτηση του στόχου με ακρίβεια στο σημείο ενδιαφέροντος είναι μια ακόμα σημαντική παράμετρος καθώς στην περίπτωση που ο η κέντρωση δεν είναι εξαναγκασμένη υπάρχουν μετατοπίσεις, κατά την τοποθέτηση του στόχου, ως προς το σημείο ενδιαφέροντος.

Η ράβδος κλίμακας [βλ. 2.6.] πρέπει κάθε φορά να τοποθετείται σε θέση τέτοια ούτως ώστε οι τρεις κορυφές, δυο των οργάνων και μια το κέντρο της ράβδου να προσεγγίζουν ισόπλευρο ή ισοσκελές τρίγωνο.

Η συσκευή κρυφού σημείου [βλ. 2.7.] θα πρέπει να τοποθετείται με ακρίβεια στα "κρυφά" σημεία και εάν είναι δυνατόν η κέντρωση να είναι εξαναγκασμένη. Η τοποθέτηση της συσκευής στο σημείο θα πρέπει να γίνεται υπό ευνοϊκή γεωμετρία και θα πρέπει να αποφεύγονται τοποθετήσεις με μεγάλες αποκλίσεις από την κάθετο της επιφάνειας προς αποτύπωση.

Μία ακόμα σημαντική παράμετρος που εισάγει αβεβαιότητα στο αποτέλεσμα είναι η γεωμετρία που έχει επιλεγεί. Ιδανικά τα δυο όργανα και το αντικείμενο μελέτης πρέπει να βρίσκονται στις κορυφές ενός ισόπλευρου τριγώνου. Εναλλακτικά οι γωνίες πρόσπτωσης των οπτικών ακτινών των οργάνων θα πρέπει να προσεγγίζουν γωνία τομής της τάξεως των 100 βαθμών. Στην περίπτωση που η γωνία αυξάνεται αρκετά πάνω ή κάτω από τους 100 βαθμούς εισάγεται αβεβαιότητα προσδιορισμού του σημείου.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι ελλείψεις σφάλματος στην περίπτωση που η γωνία τομής ξεπερνάει τους 100 βαθμούς.



Σχήμα 1.6. Ελλείψεις σφάλματος σημείων με 2 θεοδόλιχα τοποθετημένα αντικριστά [Χαρίσης Φ. 2010]

1.5.4. Σφάλματα περιβάλλοντος

Παράγοντες του περιβάλλοντος που επηρεάζουν τις μετρήσεις είναι:

- Η οπτική διάθλαση. Ανομοιομορφίες στα χαρακτηριστικά (θερμοκρασία, πίεση, υγρασία) της ατμόσφαιρας έχουν ως αποτέλεσμα τη διάθλαση της οπτικής δέσμης. Τα στοιχεία αυτά σε ένα εργαστήριο είναι γνωστά και σταθερά οπότε μπορούν να εισαχθούν στο σύστημα ως παράμετροι για να γίνουν οι κατάλληλες διορθώσεις.
- Οι διαφορικές μετακινήσεις. Κινήσεις που προέρχονται από π.χ. το άνοιγμα ή το κλείσιμο μιας πόρτας, κίνηση οχημάτων κ.α. επιφέρουν μεταβολές στο σύστημα οι οποίες δεν μπορούν να υπολογιστούν με αποτέλεσμα να μειώνεται η ακρίβεια του αποτελέσματος συνολικά.

Από τα παραπάνω γίνεται σαφές πως για την βέλτιστη ακρίβεια των αποτελεσμάτων οι σταθερές συνθήκες του εργαστηρίου είναι μονόδρομος. Αυτό βέβαια δεν είναι εφικτό στο πεδίο, οπότε πρέπει να λαμβάνονται μέτρα για τις κατά το δυνατόν αδιατάρακτες συνθήκες μέτρησης και να συνυπολογίζονται οι συνθήκες, θερμοκρασίας, πίεσης και υγρασίας για την αναγωγή των μετρήσεων.

Οι τιμές που ικανοποιούν τέτοιες εφαρμογές είναι για την θερμοκρασία προσδιορισμός της με ακρίβεια ± 1 βαθμό C και για την πίεση προσδιορισμός της με ακρίβεια $\pm 3\text{mb}$.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

2.1. Ο εξοπλισμός της εφαρμογής

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση αυτής της εφαρμογής. Επιγραμματικά τα τμήματα αυτού είναι:

- Δυο γεωδαιτικοί σταθμοί υψηλής ακρίβειας (Leica TDA 5005 και TCA 1800).
- Λογισμικό επεξεργασίας των δεδομένων και χειρισμού των γεωδαιτικών σταθμών, Leica Axyz.
- Φορητός υπολογιστής
- Τρίποδες. Δυο βαρέως τύπου και ένας συμβατικός.
- Ράβδος κλίμακας.
- Ράβδος κρυφού σημείου και βοηθητικός τρίποδας στήριξης.
- Προσοφθάλμιο laser.

2.2. Γεωδαιτικοί σταθμοί

2.2.1. Leica TDA 5005

Ο γεωδαιτικός σταθμός Leica TDA 5005 αποτελεί εξοπλισμό υψηλής ακρίβειας για εφαρμογές στη βιομηχανία, αστρονομία κ.α.



Σχήμα 2.1. Leica TDA 5005 [<http://www.metrice.gr>]

Η ονομαστική ακρίβεια στις γωνιομετρήσεις είναι 1.5^{cc} και η ανάγνωση των γωνιών στην οθόνη γίνεται με 0.1^{cc} . Το γωνιακό αυτό σφάλμα εάν αναχθεί σε γραμμικό για τις συνήθεις αποστάσεις που απαντώνται σε εφαρμογές

βιομηχανικής γεωδαισίας, δηλαδή 10m με 60m, τότε αυτό μεταφράζεται σε αβεβαιότητα 0.024mm έως 0.141mm αντίστοιχα. Δηλαδή ακρίβειες κάτω των δυο δεκάτων του χιλιοστού (0.2mm).

Η ονομαστική ακρίβεια στη μέτρηση αποστάσεων είναι 1mm +2ppm. Η εμβέλεια του γεωδαιτικού σταθμού αγγίζει τα 3500m με ένα κάτοπτρο ή τα 5000m με τρία κάτοπτρα. Σε αποστάσεις αυτής της τάξης μεγέθους μπορούν να εισαχθούν παράμετροι θερμοκρασίας, πίεσης, διάθλασης, παραμόρφωσης λόγω χαρτογραφικής προβολής και καμπυλότητας της γης για να γίνετε αυτόματη διόρθωση των αποστάσεων κατά τη μέτρηση. Μπορεί να ορισθεί επίσης να γίνονται μετρήσεις χαμηλότερης ακρίβειας για να μειώνεται ο χρόνος της κάθε μέτρησης.

Διαθέτει διπλό αντισταθμιστή εύρους 7^{cc} με ακρίβεια μέτρησης αποκλίσεων, άρα και ακρίβεια των διορθώσεων 1^c. Ακόμη διαθέτει σφαιρική αεροστάθμη ευαισθησίας 4'/2mm ενώ δεν διαθέτει σωληνωτή αλλά ηλεκτρονική αεροστάθμη με ευαισθησία 2". Αυτό σημαίνει ότι με βάση τη σχέση

$$\delta\alpha = i \tan u \sin\alpha$$

η μεταβολή των οριζόντιων γωνιών για $i=2''$ για $u=20^\circ$, $\alpha=90^\circ$ θα είναι 0,73". Σε γραμμικό μέγεθος ενός σημείου, αυτό μεταφράζεται σε μεταβολή 0.21mm για απόσταση 60m. Η μεταβολή αυτή μειώνεται περαιτέρω λόγω της λειτουργίας του αντισταθμιστή. Επίσης διαθέτουν πολλές δυνατότητες αυτοελέγχου.

Ο αντικειμενικός φακός του τηλεσκοπίου είναι 42mm και έχει ικανότητα μεγέθυνσης 32x. Σύμφωνα με τον προσεγγιστικό τύπο:

$$\delta^{cc}=37,5/d$$

ο οποίος προσδιορίζει τη διακριτική ικανότητα του τηλεσκοπίου, προκύπτει πως η διακριτική ικανότητά του είναι 8,929^{cc} (37,5/4,2). Αυτό σημαίνει πως σε απόσταση 10m είναι διακριτά σημεία που απέχουν 0,14mm ενώ αντίστοιχα σε αποστάσεις των 60m, σημεία που απέχουν 0,84mm.

Η επικοινωνία με τον υπολογιστή υλοποιείται μέσω θύρας RS232 και υπάρχει η δυνατότητα αποθήκευσης 4500-36000 σημείων σε PCMCIA κάρτα μνήμης. Το ενσωματωμένο λογισμικό του δίνει δυνατότητα εκτέλεσης διαφόρων προγραμμάτων όπως οπισθοτομίας, χάραξης κ.α. Είναι δυνατόν επίσης να εισάγει ο χρήστης δικό του πρόγραμμα προς εφαρμογή.

Ο χειρισμός του οργάνου βασίζεται σε ατέρμονους κοχλίες ρυθμιζόμενους από το χρήστη. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα ρομποτικής λειτουργίας η οποία βασίζεται στους ενσωματωμένους σερβομηχανισμούς. Βασικές λειτουργίες που μπορούν να πραγματοποιούν είναι η κίνηση από πρώτη σε δεύτερη θέση τηλεσκοπίου και αντίθετα χωρίς την βοήθεια του χειριστή ή και αυτόματη παρακολούθηση στόχου.

Υπάρχει δυνατότητα σύνδεσης με συσκευή ράδιο-ζεύξης η οποία επικοινωνεί με την αντίστοιχη συσκευή την οποία φέρει ο χρήστης στο στυλεό. Με τον τρόπο αυτό ο στόχος παρακολουθείται από το γεωδαιτικό σταθμό ρομποτικά και δεν απαιτείται παρατηρητής. Για την καταγραφή των σημείων αντιλαμβάνεται την παύση της κίνησης και τότε καταχωρείται το σημείο αυτόματα. Η δυνατότητα αυτόματης αναγνώρισης του στόχου βασίζεται σε μια ψηφιακή κάμερα (CCD) η οποία βρίσκεται ενσωματωμένη στο όργανο. Η συσκευή στέλνει μια δέσμη laser και κατά την επιστροφή γίνεται έλεγχος για το πόσο αποκλίνει από το κέντρο της κάμερας. Υπολογίζονται οι διορθώσεις που απαιτούνται και υλοποιούνται από τους σερβομηχανισμούς.

Η ακρίβεια του ATR στην επιφάνεια του στόχου είναι 1-3mm από το κέντρο του στόχου και εξαρτάται από την απόσταση. Η ακρίβεια τοποθέτησης του ATR είναι 1,5^{cc}, όσο δηλαδή και η ακρίβεια του οργάνου αλλά και η ακρίβεια κίνησης των σερβομηχανισμών. Η ακρίβεια του ATR εξαρτάται κύρια από τις εξωτερικές συνθήκες, το είδος του στόχου και τη συχνότητα βαθμονόμησής του.

Ακολουθούν τα τεχνικά χαρακτηριστικά του γεωδαιτικού σταθμού Leica TDA 5005:

Ανάγνωση οριζόντιων & κατακόρυφων	0,1 ^{cc}
Ακρίβεια οριζόντιων & κατακόρυφων	1,5 ^{cc}
Ανάγνωση αποστάσεων	0,01mm
Ακρίβεια αποστάσεων	1mm+ 2ppm
Μέγιστη απόσταση μέτρησης	3500/5000m (1 / 3 πρίσματα)
Εύρος διπλού αντισταθμιστή	7 ^c
Ακρίβεια διπλού αντισταθμιστή	1 ^c
Ευσαιθησία σφαιρικής αεροστάθμης	4'/2mm
Ευσαιθησία ηλεκτρονικής αεροστάθμης	2"
Διάμετρος αντικειμενικού φακού	42mm
Ικανότητα μεγέθυνσης	32x
Μέγιστη ακρίβεια ATR	1,5 ^{cc}
Εύρος μέτρησης με ATR	έως 1000m
Διάρκεια λειτουργίας με 1 μπαταρία	600 μετρήσεις γωνιών/αποστάσεων

Πίνακας 2.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά Leica TDA 5005 [www.leica-geosystems.com]

2.2.2. Leica TCA 1800

Ο γεωδαιτικός σταθμός Leica TCA 1800 αποτελεί και αυτός εξοπλισμό υψηλής ακρίβειας για εφαρμογές στη βιομηχανία, αστρονομία κ.α. Είναι όμως προγενέστερος του TDA 5005.



Σχήμα 2.2. Leica TCA 1800 [<http://www.metraca.gr>]

Η ακρίβεια στις γωνιομετρήσεις είναι $3''$ και η ανάγνωση των γωνιών στην οθόνη γίνεται με $1''$. Το γωνιακό αυτό σφάλμα εάν αναχθεί σε γραμμικό για τις συνήθεις αποστάσεις που απαντώνται σε εφαρμογές βιομηχανικής γεωδαισίας, δηλαδή 10m με 60m, μεταφράζεται σε αβεβαιότητα 0.047mm έως 0.283mm αντίστοιχα, δηλ. ακρίβειες κάτω των τριών δεκάτων του χιλιοστού (0.3mm).

Η ακρίβεια κατά την μέτρηση αποστάσεων είναι 1mm +2ppm. Η εμβέλεια του γεωδαιτικού σταθμού αγγίζει τα 2500m σε ιδανικές συνθήκες. Σε αποστάσεις αυτής της τάξης μεγέθους μπορούν να εισαχθούν παράμετροι θερμοκρασίας, πίεσης, διάθλασης, παραμόρφωσης λόγω χαρτογραφικής προβολής και καμπυλότητας της γης για να γίνεται αυτόματη διόρθωση των αποστάσεων κατά τη μέτρηση. Μπορεί να ορισθεί επίσης να γίνονται μετρήσεις χαμηλότερης ακρίβειας για να μειώνεται ο χρόνος της κάθε μέτρησης.

Διαθέτει σφαιρική αεροστάθμη ευαισθησίας $4\frac{1}{2}$ mm ενώ δεν διαθέτει σωληνωτή αλλά ηλεκτρονική αεροστάθμη με ευαισθησία 2".

Ο αντικειμενικός φακός του τηλεσκοπίου είναι 42mm και έχει ικανότητα μεγέθυνσης 30x. Σύμφωνα με τον προσεγγιστικό τύπο:

$$\delta'' = 37,5/d$$

ο οποίος προσδιορίζει τη διακριτική ικανότητα του τηλεσκοπίου, προκύπτει πως η διακριτική του ικανότητα είναι $8,929''$ ($37,5/4,2$). Αυτό σημαίνει πως σε απόσταση 10m είναι διακριτά σημεία που απέχουν 0,14mm ενώ αντίστοιχα σε αποστάσεις των 60m, σημεία που απέχουν 0,84mm.

Η επικοινωνία με τον υπολογιστή υλοποιείται μέσω θύρας RS232 και υπάρχει η δυνατότητα αποθήκευσης 4500-36000 σημείων σε PCMCIA κάρτα μνήμης. Το ενσωματωμένο λογισμικό του δίνει δυνατότητα εκτέλεσης διαφόρων

προγραμμάτων όπως οπισθοτομίας, χάραξης κ.α. Είναι δυνατόν επίσης να εισάγει ο χρήστης δικό του πρόγραμμα προς εφαρμογή.

Ο χειρισμός του οργάνου βασίζεται σε ατέρμονους κοχλίες ρυθμιζόμενους από το χρήστη. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα ρομποτικής λειτουργίας η οποία βασίζεται στους ενσωματωμένους σερβομηχανισμούς. Βασικές λειτουργίες που μπορεί να πραγματοποιεί είναι η κίνηση από πρώτη σε δεύτερη θέση τηλεσκοπίου και αντίθετα χωρίς την βοήθεια του χειριστή ή και αυτόματη παρακολούθηση στόχου.

Υπάρχει δυνατότητα ακριβούς εντοπισμού του στόχου υπό την προϋπόθεση ότι έχει οριστεί μια περιοχή διερεύνησης. Η δυνατότητα αυτόματης αναγνώρισης του στόχου βασίζεται σε μια ψηφιακή κάμερα (CCD) η οποία βρίσκεται ενσωματωμένη στο όργανο. Η συσκευή στέλνει μια δέσμη laser και κατά την επιστροφή γίνεται έλεγχος για το πόσο αποκλίνει από το κέντρο της κάμερας. Υπολογίζονται οι διορθώσεις που απαιτούνται και υλοποιούνται από τους σερβομηχανισμούς. Η ακρίβεια του ATR στην επιφάνεια του στόχου είναι 1-3mm από το κέντρο του στόχου και εξαρτάται κυρίως από τις εξωτερικές συνθήκες, το είδος του στόχου, τη συχνότητα βαθμονόμησής του και την απόσταση.

Ακολουθούν τα τεχνικά χαρακτηριστικά του γεωδαιτικού σταθμού Leica TCA 1800:

Ανάγνωση οριζόντιων & κατακόρυφων	1 ^{cc}
Ακρίβεια οριζόντιων & κατακόρυφων	3 ^{cc}
Ανάγνωση αποστάσεων	0,1mm
Ακρίβεια αποστάσεων	1 mm+ 2 ppm
Μέγιστη απόσταση μέτρησης	2500 (1 πρίσμα)
Ευαισθησία σφαιρικής αεροστάθμης	4'/2mm
Ευαισθησία ηλεκτρονικής αεροστάθμης	2"
Διάμετρος αντικειμενικού φακού	42mm
Ικανότητα μεγέθυνσης	30x
Μέγιστη ακρίβεια ATR	1mm μέχρι 200m
Εύρος μέτρησης με ATR	έως 1000m
Διάρκεια λειτουργίας με 1 μπαταρία	400 μετρήσεις γωνιών/αποστάσεων

Πίνακας 2.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά Leica TCA 1800 [www.leica-geosystems.com]

2.3. Το λογισμικό Leica Axyz

2.3.1. Γενικά

Το λογισμικό πακέτο Axyz της Leica Geosystems αποτελεί το βασικό εργαλείο διαχείρισης των γεωδαιτικών σταθμών και της επεξεργασίας του υπολογιστικού μέρους της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

- Έχει σχεδιαστεί με στόχο τον γεωμετρικό έλεγχο υψηλής ακρίβειας, κυρίως σε βιομηχανικές και άλλες εφαρμογές.
- Μπορεί να διαχειριστεί έναν (1) έως δεκαέξι (16) γεωδαιτικούς σταθμούς και ένα (1) έως εννέα (9) laser tracker.
- Δημιουργεί συστήματα αναφοράς ανάλογα με τις ανάγκες, μπορεί δηλαδή να δεχθεί παραμέτρους ορισμού γεγονός ιδιαίτερα χρήσιμο όταν πρέπει να γίνουν εργασίες στο σύστημα αναφοράς του αντικειμένου που μελετάται.
- Μπορεί να κάνει προσαρμογή σημείων σε μαθηματικές επιφάνειες (κύκλος, κύλινδρος, σφαίρα κλπ) και να δώσει τις πιθανές αποκλίσεις.
- Επιλύει δίκτυα συνδεδεμένων γεωδαιτικών σταθμών.
- Επιλέγει, απορρίπτει ή αποδέχεται μερικώς σημεία και τις γεωμετρικές προσαρμογές με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων και με συντελεστές βαρύτητας.
- Έχει δυνατότητα για επιτόπου και άμεση επεξεργασία δεδομένων και εξαγωγή αποτελεσμάτων.
- Δίνει τη δυνατότητα ελέγχου των γεωδαιτικών σταθμών από τον υπολογιστή.



Σχήμα 2.3. Leica Axyz [<http://www.leica-geosystems.com>]

Πιο αναλυτικά το Axyz είναι ένα σύστημα το οποίο περιλαμβάνει ένα σύνολο οπτικών οργάνων τα οποία ελέγχονται από υπολογιστή με σκοπό την πραγματοποίηση γεωδαιτικών εφαρμογών. Μπορεί να υπολογίζει άμεσα και επιτόπου (real time) συντεταγμένες σημείων και να παρέχει μια πληθώρα υπολογιστικών/συγκριτικών διαδικασιών για τη μελέτη του αντικειμένου.

Ο υπολογιστής πρέπει να έχει επεξεργαστή έναν Intel 486 ή κάποιον μεταγενέστερο με λειτουργικό Windows 95 ή κάποια μεταγενέστερη έκδοση. Σχετικά με το ζήτημα των απαιτήσεων του λειτουργικού συστήματος φάνηκε ότι πολύ μεταγενέστερες εκδόσεις hardware και software είχαν τα αντίθετα αποτελέσματα από τα επιθυμητά. Σε επεξεργαστή Pentium 4 η εφαρμογή δεν μπόρεσε να εκτελεστεί αποτελεσματικά όποτε αναζητήθηκε προγενέστερος υπολογιστής με επεξεργαστή έναν Intel Pentium 3 και Windows XP στον οποίο λειτούργησε κανονικά.

Στα οπτικά όργανα περιλαμβάνονται υψηλής ακρίβειας βιομηχανικά θεοδόλιχα, γεωδαιτικοί σταθμοί και Laser trackers.

Αυτά τα οπτικά όργανα εφαρμόζουν τεχνικές τριγωνισμού στην περίπτωση θεοδολίχων ή πολικούς προσδιορισμούς συντεταγμένων στην περίπτωση των γεωδαιτικών σταθμών και των laser trackers. Οι διαδικασίες αυτές προσδιορίζουν συντεταγμένες συγκεκριμένων σημείων ή σύνολα σημείων που προσεγγίζουν την επιφάνεια των αντικειμένων προς μελέτη.

Από τα παραπάνω γίνεται σαφές ότι το Axyz είναι ένα λογισμικό που δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να επιλέξει το ή τα όργανα που θα χρησιμοποιήσει για να πετύχει το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Το σύστημα αυτό μπορεί να χωριστεί σε τρία τμήματα. Τα δεδομένα του μετρούμενου αντικειμένου, τα όργανα που εκτελούν τις μετρήσεις και τον υπολογιστή, ουσιαστικά τη λειτουργική μονάδα που διαχειρίζεται το λογισμικό και τα όργανα των μετρήσεων.

Από την πλευρά του λογισμικού τα μετρημένα στοιχεία είναι στην πραγματικότητα μια συλλογή δεδομένων τα οποία πρέπει να υποστούν επεξεργασία και διαχείριση. Αυτό όμως δεν περιλαμβάνει μόνο της τρισδιάστατες πληροφορίες αλλά και τις αρχικές γωνιομετρήσεις και πλευρομετρήσεις όπως επίσης και ποιοτικές πληροφορίες όπως, π.χ. περιγραφή και ημερομηνία της μέτρησης. Για όλα τα παραπάνω υπάρχει μια εκτενής βάση δεδομένων που καλύπτει αυτές τις ανάγκες.

Τα όργανα που εκτελούν τις μετρήσεις στο εν λόγω σύστημα δεν λειτουργούν ανεξάρτητα από τα υπόλοιπα στοιχεία αυτού. Το λογισμικό των οργάνων συνδέεται με το λογισμικό συνολικής διαχείρισης (Axyz). Το δεύτερο καταγράφει τις αναγνώσεις των οργάνων και τις μετατρέπει σε τρισδιάστατες πληροφορίες.

Ο υπολογιστής που εκτελεί την συνολική διαχείριση είναι η καρδιά του συστήματος καθώς "τρέχει" το λογισμικό και σε αυτόν συνδέονται τα όργανα τα οποία διαχειρίζεται και συλλέγει τα δεδομένα τους.

Κλείνοντας την περιγραφή του λογισμικού γίνεται σαφές ότι πρόκειται για μια ολοκληρωμένη εφαρμογή που διαχειρίζεται τα όργανα παρατήρησης, επεξεργάζεται τα δεδομένα και δίνει τα τελικά προϊόντα της μελέτης.

Στη συνέχεια ακολουθεί η παρουσίαση του βασικού κατάλογου επιλογών (menu) και των υποπρογραμμάτων που συνθέτουν την εφαρμογή.

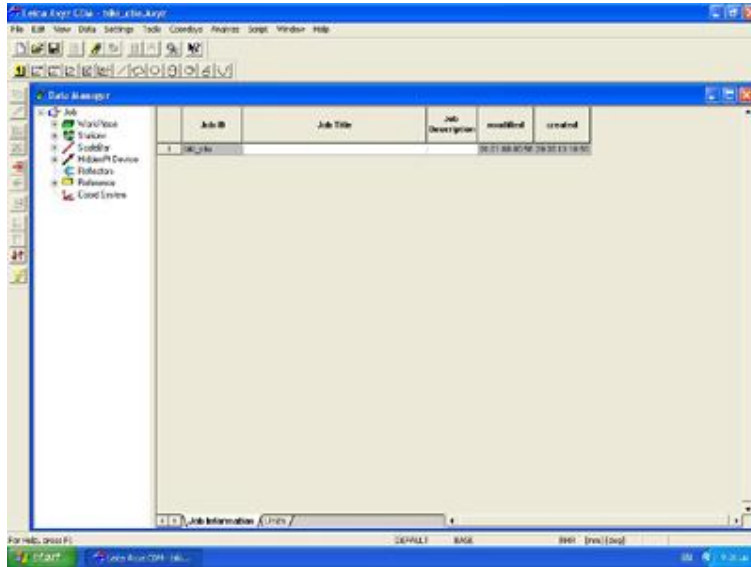
2.3.2. Το λογισμικό

Το εν λόγω λογισμικό αποτελείται από μία κύρια πλατφόρμα διαχείρισης και ένα πλήθος υποπρογραμμάτων που το ολοκληρώνουν. Η κύρια πλατφόρμα ονομάζεται Core Data Module (CDM) και τα υποπρογράμματα είναι:

- DM – Data Manager. Το εν λόγω υποπρόγραμμα διαχειρίζεται τη βάση δεδομένων του λογισμικού.
- STM/MTM – Single/Multiple Theodolite Modules. Το συγκεκριμένο υποπρόγραμμα διαχειρίζεται τα δεδομένα για τα θεοδόλιχα και παρέχει την επικοινωνία μεταξύ αυτών και του υπολογιστή. Μέσω αυτής της εφαρμογής καλείται και το πρόγραμμα προσανατολισμού των οργάνων η οποία είναι ανεξάρτητη εφαρμογή αλλά καλείται μόνο μέσω αυτού του υποπρογράμματος (STM/MTM).
- LTM – Laser Tracker Module. Το εν λόγω υποπρόγραμμα διαχειρίζεται τα δεδομένα για τα Laser Trackers και παρέχει την επικοινωνία μεταξύ αυτών και του υπολογιστή.
- View/CAD Το εν λόγω υποπρόγραμμα κάνει προεπισκόπηση του έργου και επιτρέπει την εισαγωγή και σύγκριση δεδομένων γραφικά.

2.3.2.1. CDM

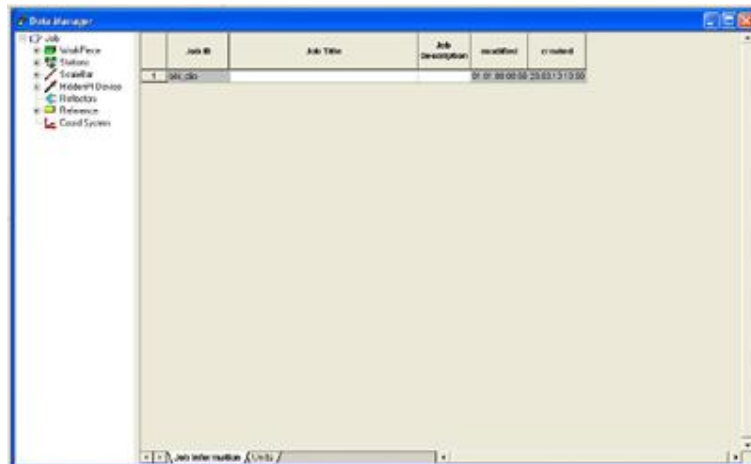
Core Data Module. Η κύρια πλατφόρμα διαχείρισης. Εδώ γίνονται οι βασικές ρυθμίσεις, μαθηματικοί υπολογισμοί, διεργασίες όπως γεωμετρικές προσαρμογές, μετασχηματισμοί συστημάτων αναφοράς, γεωμετρικοί υπολογισμοί κ.α. Από αυτήν την πλατφόρμα ενεργοποιούνται οι εφαρμογές (scripts) και τα υποπρογράμματα.



Σχήμα 2.4. Leica Axyz CDM

2.3.2.2. DM

Data Manager. Το βασικό αυτό υποπρόγραμμα διαχειρίζεται τη βάση δεδομένων. Μέσω αυτού εισάγονται και εξάγονται δεδομένα, υπολογισμένα στοιχεία, δείκτες ποιότητας, και οποιαδήποτε πληροφορία αφορά όλα τα προηγούμενα.



Σχήμα 2.5. Leica Axyz DM

2.3.2.3. STM/MTM

Single/Multiple Theodolite Manager ή απλά Theodolite Manager. Το υποπρόγραμμα αυτό διαχειρίζεται το ή τα θεοδόλιχα που θα χρησιμοποιηθούν. Κατά την έναρξη αυτό το υποπρόγραμμα ανιχνεύει και εγκαθιστά τους γεωδαιτικούς σταθμούς, συλλέγει τις πληροφορίες/παράμετρους (θερμοκρασίας, πίεσης κλπ) και μέσω αυτής της εφαρμογής ενεργοποιείται η εφαρμογή για τον προσανατολισμό των οργάνων

(Orientation Module). Το συγκεκριμένο υποπρόγραμμα δίνει την επιλογή μεταφοράς του γεωδαιτικού σταθμού σε άλλη στάση και συνέχιση της καταγραφής στο ίδιο μοντέλο.

2.3.2.4. LTM

Laser Tracker Manager. Το συγκεκριμένο υποπρόγραμμα διαχειρίζεται το ή τα laser tracker που θα χρησιμοποιηθούν στην εφαρμογή. Αντίστοιχα με το προηγούμενο υποπρόγραμμα ανιχνεύει, εγκαθιστά και εδραιώνει την επικοινωνία μεταξύ του υπολογιστή και των οργάνων που θα χρησιμοποιηθούν στην εφαρμογή.

2.3.2.5. View/CAD

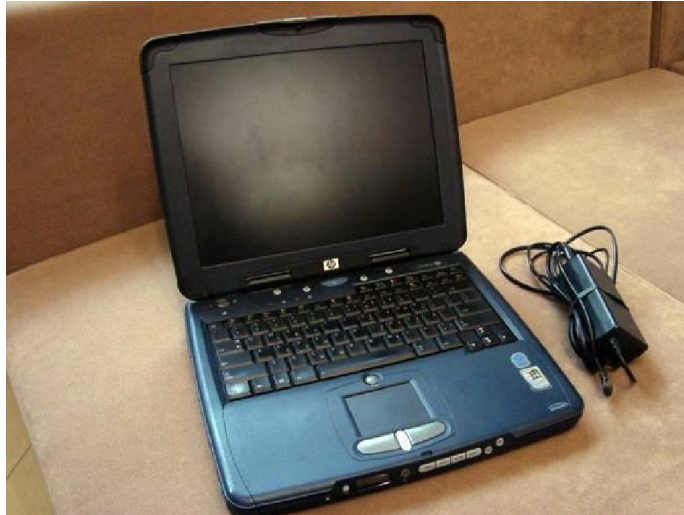
Το εν λόγω υποπρόγραμμα κάνει μια προεπισκόπηση του έργου με κάποιες επιπλέον εφαρμογές όπως μετρήσεις αποστάσεων, αναγνώριση σημείων, εισαγωγή δεδομένων CAD και σύγκριση αυτών με μετρηθέντα στοιχεία. Είναι επίσης ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για την ανίχνευση λαθών κατά τη διάρκεια της συλλογής των δεδομένων. Δίνει τρισδιάστατη απεικόνιση, δυνατότητα στροφής όλου του συνόλου των δεδομένων (σημεία, γραμμικά στοιχεία, σχήματα) και μπορεί να γίνει επιλογή ποια στοιχεία να παρουσιάζονται και ποια να αποκρύπτονται.

2.4. Φορητός υπολογιστής και παρελκόμενα

Ο φορητός υπολογιστής που χρησιμοποιήθηκε είναι ένας Hewlett Packard Omnibook XE³ με χαρακτηριστικά:

- Επεξεργαστή 800MHz Intel Pentium III
- Μνήμη 128MB RAM
- Σκληρό δίσκο 20GB
- Θύρες 2xUSB, 1xLPT, 1xRS232
- Λειτουργικό σύστημα Windows XP SP3

Για τις ανάγκες της εφαρμογής ήταν απαραίτητες δυο θύρες RS232, εφόσον ο φορητός υπολογιστής διαθέτει μόνο μια χρησιμοποιήθηκε καλώδιο USB to RS232 και το σχετικό πρόγραμμα οδήγησης (drivers).



Σχήμα 2.6. Φωτογραφία HP Omnibook XE³

Αξίζει να σημειωθεί ότι η εφαρμογή ξεκίνησε σε ένα μεταγενέστερο φορητό υπολογιστή, Sony VAIO Intel Pentium 4 με λειτουργικό σύστημα Windows XP SP3 στο οποίο όμως το λογισμικό Axyz δεν μπόρεσε να λειτουργήσει με επιτυχία, πιθανότατα λόγω ασυμβατοτήτων.

Αντίστοιχα, γίνεται επιτακτική η αναθεώρηση του λογισμικού, ώστε να λειτουργεί χωρίς προβλήματα σε σύγχρονους Η/Υ.

2.5. Τρίποδες

Οι τρίποδες που χρησιμοποιήθηκαν στην εφαρμογή ήταν τρεις. Δυο βαρέως τύπου βιομηχανικής γεωδαισίας και ένας συμβατικός. Στους δυο βαρέως τύπους στηρίχθηκαν οι γεωδαιτικοί σταθμοί και στο συμβατικό η ράβδος κλίμακας.



Σχήμα 2.7. Leica Aluminum Tripod AT08 [<http://www.leica-geosystems.com>]

Οι τρίποδες βιομηχανικής γεωδαισίας διαθέτουν κινούμενους δίσκους για να εδράζονται στο δάπεδο, ειδική σύνδεση μεταξύ των σκελών και ειδικό σύστημα ανύψωσης του γεωδαιτικού σταθμού. Η κατασκευή είναι πολύ στιβαρότερη των συμβατικών τριπόδων όπως αρμόζει σε εφαρμογές υψηλών ακριβειών.

Ο συμβατικός τρίποδας ήταν ένα από τα πιο απλά μοντέλα τις Leica. Εξυπηρέτησε τις ανάγκες στήριξης της ράβδου κλίμακας.

2.6. Ράβδος κλίμακας

Η ράβδος κλίμακας είναι ένα αναπόσπαστο κομμάτι του εξοπλισμού και ουσιώδους σημασίας. Ουσιαστικά είναι η μοναδική γνωστή απόσταση σε ολόκληρη την εφαρμογή, που παρέχει κλίμακα στο δίκτυο.

Το υλικό κατασκευής της είναι κάποιο αδιάσταλο κράμα και το μήκος της έχει προσδιοριστεί με ακρίβεια μικρόμετρου (0,001mm).



Σχήμα 2.8. Φωτογραφία από την εφαρμογή Leica Aluminum Tripod και Scale Bar

2.7. Ράβδος κρυφού σημείου

Η ράβδος κρυφού σημείου (Hidden point device) είναι μια βαθμονομημένη ράβδος, η συγκεκριμένη ανά 10εκ. Σκοπεύοντας δυο από τα πέντε σημεία της παρέχει τις συντεταγμένες της αιχμής της κάνοντας δυνατή την αποτύπωση σημείων που δεν ήταν ορατά από το τηλεσκόπιο του γεωδαιτικού σταθμού. Ιδιαίτερα στη βιομηχανική γεωδαισία η ράβδος αυτή είναι πολύ συχνά απαραίτητη λόγω της φύσης του αντικειμένου.



Σχήμα 2.9. Leica Hidden point device [<http://www.leica-geosystems.com>]

2.8. Προσοφθάλμιο Laser

Το προσοφθάλμιο laser είναι μια συσκευή η οποία προσαρμόζεται στον έναν από τους δυο γεωδαιτικούς σταθμούς. Τροφοδοτείται από μπαταρία και έχει ποτενσιόμετρο για τη ρύθμιση της έντασης της δέσμης.

Η κύρια χρήση του είναι όταν δεν είναι ορισμένο το σημείο ενδιαφέροντος (π.χ. κάποιο σημείο στην επιφάνεια ενός τοίχου). Στην περίπτωση αυτή ο ένας χειριστής εστιάζει σε κάποιο σημείο τη δέσμη του laser και ο άλλος σκοπεύει στο σημείο αυτό.



Σχήμα 2.10. Leica DL2 Diode [<http://www.leica-geosystems.com>]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

ΠΡΟΕΡΓΑΣΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

3.1. Εξοικείωση με τον εξοπλισμό

Πριν από κάθε εφαρμογή απαιτείται μια προεργασία με τον εξοπλισμό για να εξασφαλιστεί ότι όλα συνεργάζονται αρμονικά και στο τέλος μετά την επεξεργασία τα στοιχεία που προκύπτουν πληρούν τις προδιαγραφές της εφαρμογής σύμφωνα με τα όρια που έχουν τεθεί αρχικά σχετικά με ακρίβειες ή οποιοσδήποτε άλλες απαιτήσεις.

Ξεκινώντας, έπρεπε να διασφαλιστεί η σύνδεση και επικοινωνία των γεωδαιτικών σταθμών με το διατιθέμενο φορητό υπολογιστή και το ειδικό λογισμικό (Leica Axyz).

Ο πρώτος υπολογιστής που δοκιμάστηκε υπήρξε ένας Sony VAIO Pentium M740 1.73GHz, 512MB RAM με κάρτα γραφικών Gforce 6400 128MB με λειτουργικό Windows XP SP3). Στο συγκεκριμένο υπολογιστή εγκαταστάθηκε το λογισμικό Leica Axyz και συνδέθηκαν οι γεωδαιτικοί σταθμοί, ο TDA 5005 με καλώδιο μετατροπής RS232 σε USB ενώ ο TCA 1800 απευθείας στην θύρα RS232.

Το λογισμικό τα αναγνώριζε ως θεοδόλιχα τύπου E2 και όχι όλες τις φορές. Παρά τις πολλαπλές προσπάθειες αυτή η σύνδεση δεν επετεύχθη οπότε ο υπολογιστής εγκαταλείφθηκε και αναζητήθηκε παλαιότερο μοντέλο καθώς διαπιστώθηκε ότι το λογισμικό είναι έκδοσης του 2000.

Η επόμενη δοκιμή έγινε σε έναν φορητό υπολογιστή της Hewlett Packard προγενέστερο μοντέλο του Sony VAIO με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: Επεξεργαστής Pentium III 800MHz, μνήμη 128MB RAM, σκληρό δίσκο 20GB και λειτουργικό σύστημα Windows XP SP3. Υπήρχαν και σε αυτό το μοντέλο κάποιες δυσκολίες όπως το γεγονός ότι χρειάστηκε να εγκατασταθεί πρόγραμμα οδήγησης (driver) για το καλώδιο που υλοποιούσε τη δεύτερη θύρα RS232. Έπειτα διαπιστώθηκε ότι το καλώδιο αυτό (RS232 to USB) έπρεπε να συνδεθεί στον υπολογιστή μόνο μετά την έναρξη του λογισμικού Axyz διαφορετικά αναγνωριζόταν ως διαφορετική συσκευή. Επίσης από τον υπολογιστή πρέπει να οριστεί ότι η εικονική θύρα RS232 έχει τον επόμενο αριθμό αρίθμησης από την κανονική.

Οι γεωδαιτικοί σταθμοί, για να ενταχθούν στο σύστημα, θα πρέπει να έχουν εγκατεστημένο το λογισμικό επικοινωνίας Axyz Comm. Το TDA 5005 το είχε ενσωματωμένο από κατασκευής ενώ στο TCA 1800 χρειάστηκε να εγκατασταθεί εκ των υστέρων γεγονός που είχε συμβεί πριν την παρούσα διπλωματική. Για να αποκατασταθεί λοιπόν η επικοινωνία έπρεπε να είναι τα γεωδαιτικά όργανα στο μενού του Axyz Comm και τότε να γίνει αναζήτηση από το λογισμικό.

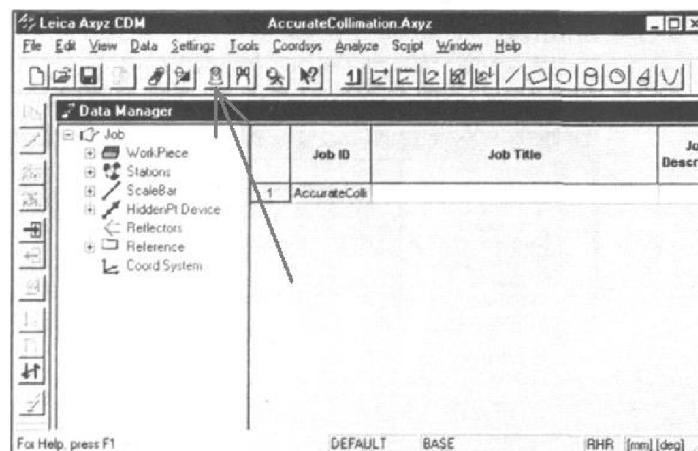
Διαπιστώθηκε ότι εξειδικευμένα προγράμματα της αγοράς δεν είναι συμβατά με την τρέχουσα τεχνολογία των Η/Υ (hardware, λειτουργικά συστήματα). Για παράδειγμα δεν υφίστανται πλέον Η/Υ με θύρες PCMCIA και στις τρέχουσες εκδόσεις του λογισμικού Windows δεν “τρέχουν” δαπανηρά επαγγελματικά προγράμματα. Με βάση και άλλες εφαρμογές, στις οποίες έχει απαντηθεί το φαινόμενο θα μπορούσε να διατυπωθεί προς τις εταιρείες παροχής επαγγελματικών προγραμμάτων η απαίτηση να ενημερώνουν το λογισμικό τους ακολουθώντας την εξέλιξη της τεχνολογίας των Η/Υ ή να ορίζουν προδιαγραφές των Η/Υ που απαιτούνται για την επιτυχή ενσωμάτωσή τους στο σύστημα.

3.2. Προσανατολισμός των γεωδαιτικών σταθμών

Τον προγραμματισμό της εργασίας και τον καθορισμό της γεωμετρίας (θέσεις των γεωδαιτικών σταθμών μετρήσεως σε σχέση με το αντικείμενο αποτύπωσης – ή έρευνας) ακολουθεί η εγκατάσταση του συστήματος μετρήσεως.

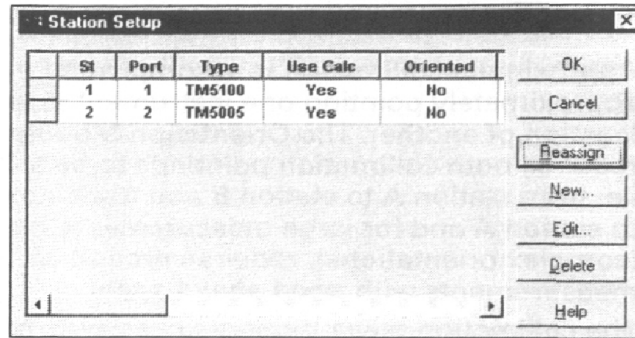
Μετά την οριζοντίωση και τη σύνδεση των γεωδαιτικών σταθμών ακολουθεί ο προσανατολισμός τους. Σημειώνεται ότι εφόσον το σύστημα είναι ελεύθερο οι κορυφές των οργάνων δεν είναι ορισμένες αλλά τυχαίες, οπότε δεν είναι απαραίτητη η ακριβής κέντρωσή τους.

Αρχικά επιλέγεται η επιλογή διαχείρισης των γεωδαιτικών σταθμών.



Σχήμα 3.1. Leica Axyz CDM

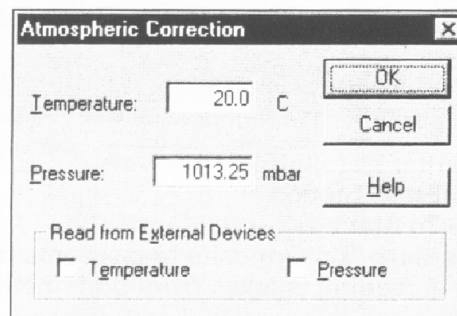
Στο μενού που ανοίγει η επιλογή “Autoscan” ανιχνεύει και καταχωρεί τα γεωδαιτικά όργανα.



Σχήμα 3.2. Leica Axyz Station Setup

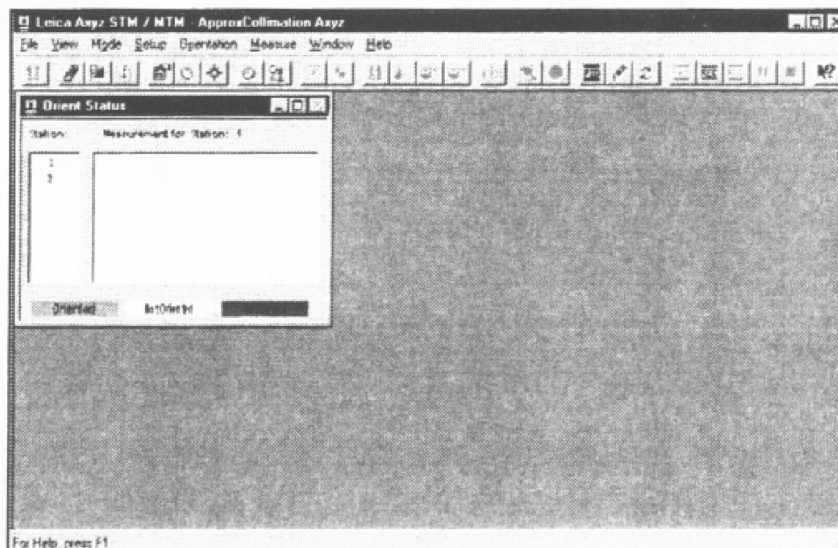
Εάν οι γεωδαιτικοί σταθμοί δεν αναγνωριστούν από το λογισμικό Axyz για οποιοδήποτε λόγο, όπως για την περίπτωση όπου η αναζήτηση γίνει χωρίς να έχει ενεργοποιηθεί το λογισμικό Axyz Comm στα όργανα, τότε ο παραπάνω πίνακας (Σχήμα 3.2.) παραμένει ενεργός για περαιτέρω αναζήτηση. Το γεγονός ήδη παρατηρήθηκε λόγω της ασυμβατότητας του πρώτου φορητού υπολογιστή με το λογισμικό. Κατόπιν πολλών προσπαθειών σύνδεσης το καλύτερο αποτέλεσμα που προέκυπτε ήταν τα όργανα να αναγνωριστούν ως "E2". Το γεγονός ερμηνεύθηκε ως ασυμβατότητα και οδήγησε στην αντικατάσταση του φορητού υπολογιστή. Στον νέο έγινε κανονικά η αναγνώριση, οπότε η διαδικασία συνεχίστηκε.

Μετά την αναγνώριση των οργάνων από το λογισμικό παρουσιάζεται ο παρακάτω πίνακας για να γίνει καταχώρηση στοιχείων θερμοκρασίας και πίεσης ούτως ώστε να γίνουν οι σχετικές διορθώσεις και αναγωγές.



Σχήμα 3.3. Leica Axyz Atmospheric Correction

Ακολουθεί η διαδικασία ταύτισης των οπτικών αξόνων των οργάνων (Collimation). Το λογισμικό δίνει δυο εναλλακτικές για την ευθυγράμμιση. Μια για ακριβή και μια για κατά προσέγγιση ευθυγράμμιση. Επειδή η ακριβής ευθυγράμμιση είναι χρονοβόρα διαδικασία, χωρίς εμφανές αποτέλεσμα, επελέγη η κατά προσέγγιση ευθυγράμμιση.



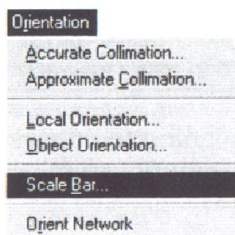
Σχήμα 3.4. Leica Axyz Approximate Collimation

Για την υλοποίηση του συστήματος αναφοράς απαιτείται η σκόπευση τουλάχιστον πέντε (5) σημείων και από τα δύο όργανα. Στις εφαρμογές που ακολουθούν σκοπεύθηκαν οκτώ (8) σημεία. Έπειτα αποδόθηκε κλίμακα στο σύστημα με σκοπεύσεις στην ράβδο κλίμακας. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα οκτώ αυτά σημεία μπορούν να υλοποιηθούν με τοποθετήσεις τις ράβδου κλίμακας σε τέσσερα (4) διαφορετικά σημεία στο χώρο και σκόπευση αυτής.

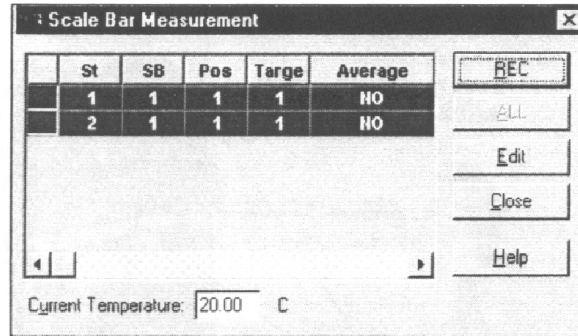
	Workpiece ID	Point ID	Station	Device point	Hz	V	D	use
1	DEFAULT	op1	1	0	250.8155	112.4969	0.000	<input type="checkbox"/>
2	DEFAULT	op1	2	0	204.9776	112.1917	0.000	<input type="checkbox"/>
3	DEFAULT	op2	1	0	266.6196	97.8677	0.000	<input type="checkbox"/>
4	DEFAULT	op2	2	0	223.0041	99.4989	0.000	<input type="checkbox"/>
5	DEFAULT	op3	1	0	250.7166	83.4192	0.000	<input type="checkbox"/>
6	DEFAULT	op3	2	0	204.8668	83.8149	0.000	<input type="checkbox"/>
7	DEFAULT	op4	1	0	247.0477	80.7312	0.000	<input type="checkbox"/>
8	DEFAULT	op4	2	0	210.9389	80.9080	0.000	<input type="checkbox"/>

Σχήμα 3.5. Leica Axyz DM

Ακολουθεί η σκόπευση της ράβδου κλίμακας και η καταγραφή των σημείων της.

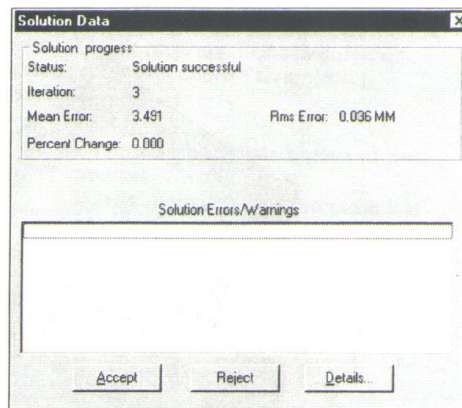


Σχήμα 3.6. Leica Axyz Scale Bar



Σχήμα 3.7. Leica Axyz Scale Bar Measurement

Αφού έχουν συγκεντρωθεί όλα τα απαραίτητα στοιχεία για την υλοποίηση του συστήματος αναφοράς, δηλαδή έχει γίνει μια χονδρική ευθυγράμμιση των οπτικών αξόνων, έχουν σκοπευθεί τα οκτώ σημεία και η ράβδος κλίμακας το λογισμικό τα επεξεργάζεται και ορίζει το σύστημα αναφοράς εφόσον πληρούνται οι προϋποθέσεις σε ακρίβεια και τα δεδομένα δεν παρουσιάζουν χονδροειδή σφάλματα. Για τον περαιτέρω έλεγχο το λογισμικό παρουσιάζει αναφορά και τη δυνατότητα να κάνει δεκτή ή όχι τη λύση ο χειριστής.



Σχήμα 3.8. Leica Axyz Solution Data

Στη συνέχεια για να γίνει έλεγχος του συστήματος πραγματοποιήθηκε η ακόλουθη εφαρμογή. Αποτυπώθηκαν τα σημεία της ράβδου κλίμακας, υπολογίστηκε η μεταξύ τους απόσταση και συγκρίθηκε με το πραγματικό μήκος που αυτή έχει.

Το ονομαστικό μήκος της ράβδου κλίμακας σύμφωνα με τον κατασκευαστή είναι:

$$1.305,540\text{mm} \pm 0,002\text{mm}$$

Από τις σκοπεύσεις και τους υπολογισμούς του συστήματος το μήκος της ράβδου κλίμακας προέκυψε ίσο με:

$$1.305,511\text{mm}$$

Η διαφορά, λοιπόν μεταξύ ονομαστικής και προσδιορισθείσης τιμής του μήκους προσδιορίστηκε ως ίση με:

0,029 mm

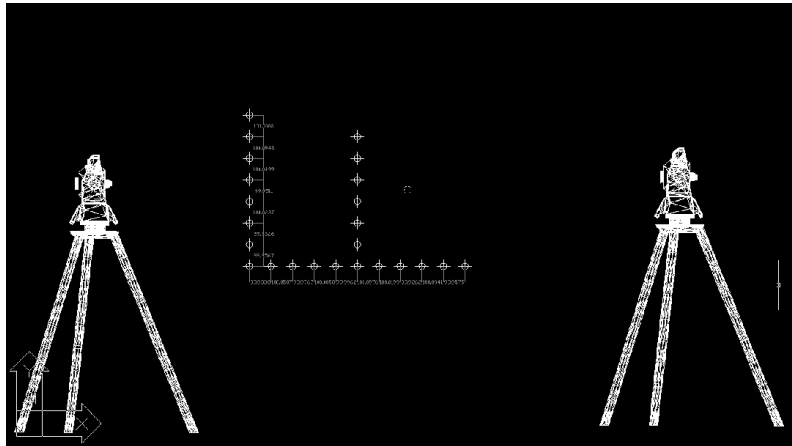
Το αποτέλεσμα θεωρείται ικανοποιητικό για την γεωμετρία του συστήματος και την ακρίβεια μετρήσεων των οργάνων οπότε κρίθηκε ότι μπορούν να πραγματοποιηθούν περαιτέρω οι προπαρασκευαστικές εφαρμογές της παρούσης.

3.3. Πρώτη προπαρασκευαστική εφαρμογή (μετρήσεις σημείων σε πλάκα κανάβου)

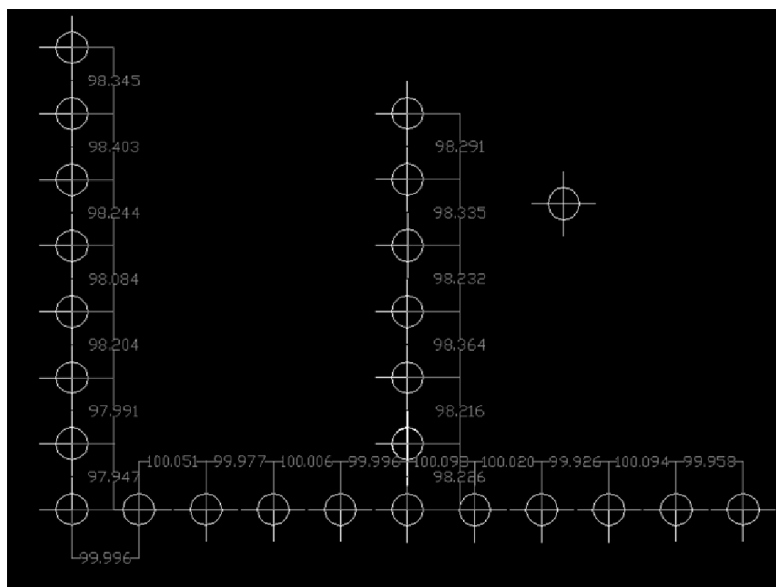
Για έλεγχο διαδικασίας με μετρήσεις υψηλής ακριβείας χρησιμοποιήθηκε ως πεδίο ελέγχου αντικείμενο που παραδοσιακά αποτελούσε συνώνυμο της ακρίβειας για τα τοπογραφικά σχέδια, δηλαδή η πλάκα κανάβου. Πρόκειται για έλασμα από αδιάσταλο κράμα μετάλλων διαστάσεων 80x110cm με κυκλικές οπές διαμέτρου 3mm σε διάταξη κανονικού κανάβου και ισαποχή μεταξύ των οπών 10cm. Η πλάκα κανάβου ετοποθετείται επί του υλικού σχεδίασεως, όπου θα σχεδιαζόταν το τοπογραφικό διάγραμμα. Ειδική συσκευή διατρήσεως που μπορούσε με ακρίβεια να τοποθετηθεί στις οπές και να υλοποιήσει το κέντρο τους, χρησιμοποιούσαν για να “τρυπήσει” το υλικό σχεδίασεως με σημειακές οπές ανά 10cm. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχανόταν σχεδιαστική ακρίβεια κανάβου καλύτερη από τη γραφική που θεωρείται ότι βρίσκεται μεταξύ των τιμών 0,12mm και 0,20mm στην κλίμακα του υπό σχεδίαση διαγράμματος. Άρα ως πεδίο ελέγχου επελέγη επίπεδη μεταλλική πλάκα με στόχους επί αυτής (οπές) με εκτιμώμενη κατασκευαστική ακρίβεια καλύτερη από 0,12 mm στην κλίμακα του εδάφους.

Για την υλοποίηση της εφαρμογής αυτής τοποθετήθηκε η πλάκα κανάβου στον τοίχο υπό κλίση για να μελετηθούν, μεταξύ άλλων, και οι παραμορφώσεις που δημιουργεί αυτή η στήριξη (κύρτωση). Αναμενόμενο ήταν οι απόστάσεις στο κέντρο της να εμφανίζονται μικρότερες από τις πραγματικές.

Τα προσδιορισθέντα σημεία επί της πλάκας κανάβου παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.9, και οι προσδιορισθείσες αποστάσεις μεταξύ τους στο Σχήμα 3.10.



Σχήμα 3.9. Καναβόπλακα και μετρητικό σύστημα, φωτογραφία από AutoCAD



Σχήμα 3.10. Αποστάσεις μεταξύ των σημείων της καναβόπλακας, φωτογραφία από AutoCAD

Το σύστημα συντεταγμένων ορίστηκε έτσι ώστε ο άξονας xx' να ταυτίζεται με τον ορίζοντα και ο yy' να ταυτίζεται με την κατακόρυφο και ο zz' κάθετος προς το επίπεδο xy , έτσι ώστε το σύστημα να είναι δεξιόστροφο. Ακολουθούν πίνακες με τις υπολογισθείσες αποστάσεις και τις διαφορές από τις ονομαστικές τιμές των αποχών των τομών των 100.000 mm.

Αποστάσεις μεταξύ των οπών κατά xx' (mm)	Αποστάσεις μεταξύ των οπών κατά yy' (mm)
99,996	98,345
100,051	98,403
99,997	98,244
100,006	98,084
99,996	98,204
100,098	97,991
100,020	97,947
99,926	-
100,094	-
99,958	-

Πίνακας 3.1. Αποστάσεις μεταξύ οπών

Διαφορές μεταξύ ονομαστικών και προσδιορισθεισών αποστάσεων κατά xx' (mm)	Διαφορές μεταξύ ονομαστικών και προσδιορισθεισών αποστάσεων κατά yy' (mm)
0,004	1,655
-0,051	1,597
0,003	1,756
-0,006	1,916
0,004	1,796
-0,098	2,009
-0,020	2,053
0,074	-
-0,094	-
0,042	-

Πίνακας 3.2. Διαφορές ονομαστικών - υπολογισθεισών αποστάσεων

Από τους παραπάνω πίνακες μπορεί να υπολογιστεί το μέσο σφάλμα και το RMS ανά διεύθυνση. Τα μεγέθη αυτά υπολογίζονται από τις παρακάτω σχέσεις.

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_n uu}{n-1}} \text{ και } \bar{u} = \frac{\sum u}{n}$$

	xx'	yy'
RMS (mm)	0,057	1,980
u (mm)	0,014	1,826

Πίνακας 3.3. RMS και μέση αποχή

Στη διεύθυνση κατά τον άξονα xx' όπου δεν υπάρχουν αισθητές παραμορφώσεις λόγω καμπυλότητας, η ακρίβεια που επιτεύχθηκε είναι σημαντικά καλύτερη από αυτή που θεωρήθηκε ως “κατασκευαστική” ($\pm 0,120\text{mm}$) και μάλιστα κοντά στο διπλάσιο αυτής ($\pm 0,060\text{mm}$). Οι οπές της κανναβόπλακας, δηλαδή, είναι κατασκευασμένες (διατρημένες) με ακρίβεια καλύτερη από $\pm 0,060\text{mm}$, αν υπολογίσει κανείς και τα αναπόφευκτα σφάλματα μετρήσεων.

Στη διεύθυνση κατά τον άξονα yy' όπου υφίστατο η εμφανής κύρτωση (παραμόρφωση) της πλάκας κανάβου το “RMS” είναι 1,980mm και το “μέσο σφάλμα” 1,826mm. Διαπιστώνεται, εξάλλου, ότι υπάρχει μια σταθερή τάση αύξησης της αποχής των προσδιορισθέντων αποστάσεων από τις ονομαστικές από τις υψηλότερες προς τις χαμηλότερες οπές της πλάκας.

Στην επιφάνεια της πλάκας τα σημεία υλοποιούνται με οπές σχήματος κύκλου και διαμέτρου 3mm γεγονός που δεν βοηθά στη σκόπευση. Απεναντίας ο παρατηρητής είναι αναγκασμένος να υπολογίζει κάθε φορά τη θέση του κέντρου κατά προσέγγιση. Ένας παράγοντας ακόμα που εισάγει αβεβαιότητα στο αποτέλεσμα είναι η κλίση με την οποία η διεύθυνση του οπτικού άξονα κάθε οργάνου συναντά την πλάκα. Με γωνίες πρόσπτωσης που απέχουν από την ορθή γωνία πάνω από είκοσι βαθμούς οι κύκλοι φαίνονται ως ελλείψεις και ο παρατηρητής πρέπει να εκτιμήσει τη θέση του κέντρου ελλείψεως. Για τη

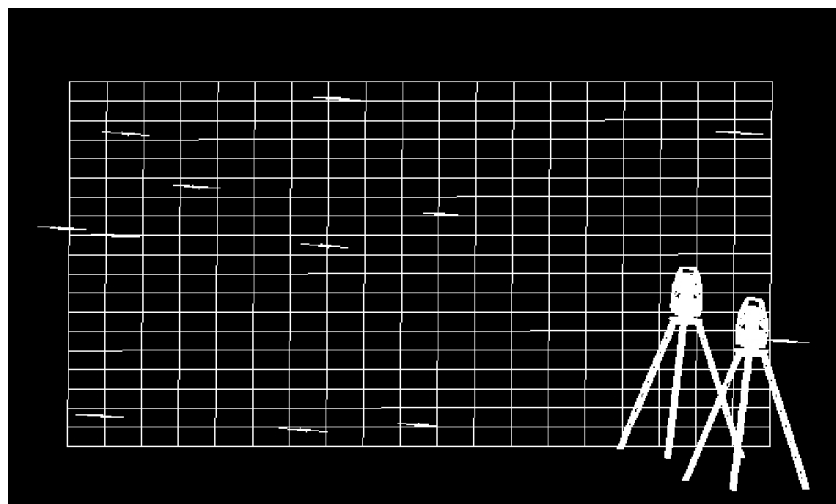
βέλτιστη σκόπευση θα έπρεπε να υπήρχε κάποια κατασκευή η οποία να εισέρχεται στην οπή και να ορίζει το κέντρο της μονοσήμαντα.

Η εφαρμογή αξιολογείται ως απόλυτα επιτυχής με μοναδικό μειονέκτημα τη σχετικά επισφαλή εκτίμηση του κέντρου των οπών (εκτίμηση κέντρου φαινομένων ελλείψεων) σε σκοπεύσεις υπό κλίση.

3.4. Δεύτερη προπαρασκευαστική εφαρμογή (Μετρήσεις σημείων σε Επίπεδο – Κατακόρυφος τοίχος)

Η εφαρμογή αναφέρεται στην έρευνα της ποιότητας της επιπεδότητας ενός τοίχου κτηρίου και ειδικότερα του εργαστηρίου Λ23 της σχολής, όπου ήδη είχε εγκατασταθεί το σύστημα μέτρησης. Περιελάμβανε την αποτύπωση τυχαίων σημείων στο επίπεδο του τοίχου με τη γεωμετρία των οργάνων όπως αυτή περιγράφηκε στην προηγούμενη εφαρμογή. Για την επισήμανση των σημείων της εφαρμογής χρησιμοποιήθηκε το προσοφθάλμιο Laser του ενός γεωδαιτικού σταθμού. Τα σημεία τα υλοποιούσε το ίχνος της ακτίνας laser από το ένα σταθμό και όταν και ο δεύτερος σκόπευε τη δέσμη, τότε και τα δύο κατέγραφαν τις γωνίες για τον υπολογισμό του σημείου. Το αποτέλεσμα ήταν να αποτυπωθούν σημεία χωρίς την σκόπευση (και άρα ερμηνεία της θέσης του κέντρου) οποιουδήποτε στόχου γεγονός που εκτιμάται ότι αυξάνει την ακρίβεια σκοπεύσεως.

Στη συνέχεια μέσω του λογισμικού Axyz προσαρμόστηκε το βέλτιστο επίπεδο που ορίζουν τα σημεία αυτά με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Τα δεδομένα αυτά εξήχθησαν σε μορφή που μπορεί να διαχειριστεί το λογισμικό AutoCAD.



Σχήμα 3.11. Βέλτιστο επίπεδο, φωτογραφία από AutoCAD

Παρατίθενται τα σημεία με τις αποκλίσεις τους και τα μέσα τετραγωνικά σφάλματα ανά διεύθυνση όπως προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων στο λογισμικό Axyz.

Point Deviations	dX	dY	dZ
FAULT/point42	0.000	0.000	0.641
FAULT/point43	0.000	-0.000	3.806
FAULT/point44	-0.000	-0.000	0.006
FAULT/point45	-0.000	-0.000	-2.465
FAULT/point46	-0.000	-0.000	-4.533
FAULT/point47	-0.000	-0.000	-0.884
FAULT/point48	-0.000	-0.000	3.398
FAULT/point49	-0.000	0.000	-0.354
FAULT/point50	0.000	-0.000	0.385

Πίνακας 3.4. Σφάλματα στις τρεις διαστάσεις

RMSx (mm)	0,000
RMSy (mm)	0,000
RMSz (mm)	2,452

Πίνακας 3.5. Μέσα τετραγωνικά σφάλματα ανά διεύθυνση

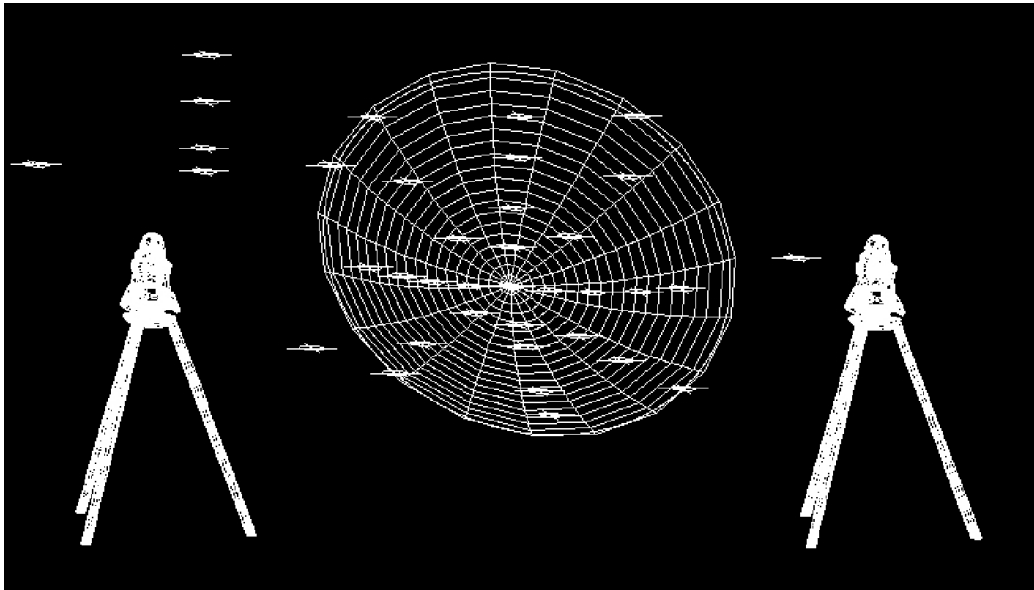
Όπως φάνηκε στην προηγούμενη εφαρμογή που περιλάμβανε μετρήσεις επί των στόχων της ράβδου κλίμακας ως σημεία αποτύπωσης, το σύστημα προσδιόριζε σημεία με ακρίβεια της τάξης των $\pm 0,030\text{mm}$. Από τις τιμές των Πινάκων 3.4 και 3.5 προκύπτει ότι η επιφάνεια του τοίχου-πεδίου ελέγχου παρουσιάζει ανωμαλίες ανώτερης τάξης μεγέθους και μάλιστα στο επίπεδο των $\pm 2,5\text{mm}$. Πληροφορία φέρουν και οι αποκλίσεις μεμονωμένων σημείων από το προσδιορισθέν μέσο κατακόρυφο επίπεδο. Δεν είναι σπάνιο η διαμορφωθείσα επιφάνεια του τοίχου να απέχει μέχρι και 4.5mm από το ιδεατό προσδιορισθέν κατακόρυφο επίπεδο.

Πράγματι, εφόσον πρόκειται για τοίχο συνήθους κατασκευής, τα αποτελέσματα των παραπάνω διαδικασιών αξιολογούνται ως συμβατά με τη φύση του αντικειμένου ελέγχου. Το σύστημα μετρήσεως είναι προφανώς υπέρ-επαρκές για να εντοπίζει παραμορφώσεις σε κατακόρυφη επιφάνεια της τάξης των $\pm 2\text{-}3\text{mm}$.

3.5. Τρίτη προπαρασκευαστική εφαρμογή (Μετρήσεις σημείων σε Δορυφορική Κεραία)

Στην εφαρμογή αυτή σκοπεύθηκαν δυο κατηγορίες σημείων στην επιφάνεια μιας δορυφορικής κεραίας.

- Σημεία στο “τελείωμα” της κεραίας, τα οποία βάσει των κατασκευαστικών χαρακτηριστικών του αντικειμένου πρέπει να ανήκουν σε περιφέρεια κύκλου, και
- Σημεία ομοιόμορφα κατανεμημένα στην κοίλη επιφάνεια της κεραίας, τα οποία μαζί με την προηγούμενη κατηγορία θα έπρεπε να σχηματίζουν ή να αποτελούν σημεία ενός παραβολοειδούς.



Σχήμα 3.12. Βέλτιστο παραβολοειδές και κύκλος, φωτογραφία από AutoCAD

Με αυτήν την εφαρμογή επιχειρείται ο έλεγχος την κατασκευαστικής ακρίβειας της κεραίας και μάλιστα με δυο κριτήρια:

- Πόσο “κύκλος” είναι το “τελείωμα” της κεραίας, και
- Πόσο ανταποκρίνεται η επιφάνεια της κεραίας στο μαθηματικό μοντέλο του παραβολοειδούς.

Ο έλεγχος υλοποιείται μέσω αλγορίθμου του λογισμικού Axyz το οποίο κατόπιν σχετικών εντολών προσαρμόζει περιφέρεια κύκλου και παραβολοειδούς στις αντίστοιχες ομάδες σημείων. Τα αποτελέσματα αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων του, μπορούν επίσης να εξαχθούν σε αρχείο AutoCAD.

Point Deviations	dX	dY	dZ	Planar	Radial
DEFAULT/point12	0.000	-0.126	-0.472	-0.472	0.126
DEFAULT/point13	0.118	0.016	0.445	0.445	-0.119
DEFAULT/point14	-0.001	0.110	-0.410	-0.410	0.110
DEFAULT/point15	-0.117	0.000	0.437	0.437	-0.117

Πίνακας 3.6. Σφάλματα σημείων κατά την προσαρμογή του κύκλου

nt Deviations	dX	dY	dZ	DEV
FAULT/point12	0.318	0.262	-0.663	0.780
FAULT/point13	-0.059	0.055	0.129	-0.152
FAULT/point14	-0.421	-0.351	-0.871	1.028
FAULT/point15	-0.069	0.083	-0.173	0.204
FAULT/point16	-0.577	0.101	1.149	-1.289
FAULT/point17	-0.298	0.055	0.766	-0.824
FAULT/point18	-0.075	0.014	0.303	-0.313
FAULT/point19	0.038	-0.008	-0.304	0.306
FAULT/point20	-0.000	-0.000	-0.026	0.026
FAULT/point21	-0.005	0.007	0.018	-0.020
FAULT/point22	-0.050	0.073	0.354	-0.364
FAULT/point23	-0.095	-0.472	-0.979	1.091
FAULT/point24	-0.015	-0.072	-0.195	0.208
FAULT/point25	-0.020	-0.097	-0.407	0.419
FAULT/point26	-0.004	-0.017	-0.147	0.149
FAULT/point27	0.016	0.013	0.050	-0.054
FAULT/point28	-0.076	-0.064	-0.381	0.394
FAULT/point29	0.831	-0.011	1.573	-1.779
FAULT/point30	0.450	-0.007	1.081	-1.170
FAULT/point31	-0.012	0.000	-0.053	0.054
FAULT/point32	-0.000	0.000	-0.000	0.000
FAULT/point33	0.079	-0.113	0.328	-0.356
FAULT/point34	-0.009	0.012	-0.088	0.089
FAULT/point35	0.011	0.400	-0.856	0.945
FAULT/point36	0.001	0.039	-0.110	0.117
FAULT/point37	0.000	0.069	-0.272	0.281
FAULT/point38	0.000	-0.010	0.079	-0.080
FAULT/point39	-0.008	-0.007	0.025	-0.028
FAULT/point40	0.050	0.047	-0.331	0.338

Πίνακας 3.7. Σφάλματα και αποκλίσεις κατά την προσαρμογή του παραβολοειδούς
Σημείωση: Με τον όρο DEV το λογισμικό Axyz ορίζει τη γραμμική απόκλιση.

Στους Πίνακες 3.6 και 3.7 παρουσιάζονται τα σημεία με τις αποκλίσεις τους και τα μέσα τετραγωνικά σφάλματά τους όπως αυτά προκύπτουν από το λογισμικό Axyz, για την περιφέρεια κύκλου και για το παραβολοειδές.

Σημειώνεται ότι το λογισμικό δέχεται συνολικά τέσσερα (4) σημεία, τρία (3) για να ορίσει τον κύκλο και ένα για να κάνει τον έλεγχο τις εφαρμογής. Θα ήταν πιο αντιπροσωπευτικό εάν μπορούσε να κάνει υπολογισμούς προσαρμογής για περισσότερα σημεία.

Για το παραβολοειδές απαιτούνται κατ' ελάχιστον πέντε (5) σημεία για να ορίσουν την μαθηματική επιφάνεια και ελέγχεται η προσαρμογή του με τα υπόλοιπα, όσα κι αν είναι αυτά.

Προσαρμογή κύκλου

RMS X	0,083
RMS Y	0,084
RMS Z	0,441
Total RMS	0,457

Πίνακας 3.8. Έναπομείναντα σφάλματα προσαρμογής κύκλου

Προσαρμογή παραβολοειδούς

RMS X	0,238
RMS Y	0,149
RMS Z	0,572
Total RMS	0,637

Πίνακας 3.9. Έναπομείναντα σφάλματα προσαρμογής παραβολοειδούς

Και στις δυο εφαρμογές παρατηρείται μια αδυναμία κατά τη διεύθυνση του άξονα των Z γεγονός που οφείλεται στη γεωμετρία του συστήματος. Η ακρίβεια που επετεύχθη στην προσαρμογή του παραβολοειδούς στην κεραία είναι της τάξεως των περίπου 6,5 δεκάτων του χιλιοστού (0,637mm), λίγο περισσότερο από μισό χιλιοστό ενώ η ακρίβεια προσαρμογής του κύκλου είναι της τάξεως του μισού χιλιοστού (0,457mm).

Η προσαρμογή του παραβολοειδούς κρίνεται ικανοποιητική λαμβάνοντας υπόψη το πλήθος των σημείων και το ότι υπήρχαν στόχοι που υλοποιούσαν τα σημεία γεγονός που εισάγει αβεβαιότητα στη λύση αφού οι στόχοι έχουν ένα υπολογίσιμο πάχος, αν και αυτοκόλλητοι, σε σχέση με την ακρίβεια που πετυχαίνει το σύστημα.

Η προσαρμογή του κύκλου δεν δείχνει να είναι τόσο ικανοποιητική αφού η ακρίβειά της είναι πολύ κοντά στην ακρίβεια προσαρμογής του παραβολοειδούς, τα σημεία που χρησιμοποιήθηκαν όμως είναι πολύ λιγότερα.

Η προσαρμογή του παραβολοειδούς δείχνει ότι η κεραία κατασκευαστικά έχει μεγάλη ακρίβεια και έχει υλοποιηθεί το μαθηματικό μοντέλο που την διέπει. Η προσαρμογή του κύκλου θα μπορούσε να ήταν καλύτερη. Πιθανόν οι στόχοι επηρέασαν το αποτέλεσμα όπως και το γεγονός ότι το “τελείωμα” της κεραίας που υλοποιεί τον κύκλο δεν ήταν σαφές.

Από την εφαρμογή προκύπτει ότι το σύστημα έχει τη δυνατότητα να καταγράφει και να εντοπίζει μετατοπίσεις σημείων της τάξης του μισού χιλιοστομέτρου ($\pm 0,500\text{mm}$).

3.6. Συμπεράσματα από τις προπαρασκευαστικές εφαρμογές

Με τις περιγραφείσες προπαρασκευαστικές εφαρμογές επετεύχθησαν οι στόχοι της προσπάθειας και ειδικότερα:

Λύθηκαν προβλήματα συμβατότητας συνδεσιμότητας και συνεργασίας των στοιχείων του εξοπλισμού. Δύο γεωδαιτικοί σταθμοί, ένας φορητός υπολογιστής και το λογισμικό λειτούργησαν αρμονικά ως ένα εργαλείο εμπροσθοποτικού προσδιορισμού σημείων.

Η επιτευχθείσα ακρίβεια προσδιορισμού σημείων εκτιμάται, βάσει των δεικτών που παρουσιάστηκαν (μεμονωμένες αποκλίσεις από τις προσδιορισθείσες ιδεατές/μαθηματικές επιφάνειες, μέσοι όροι και μέσα τετραγωνικά σφάλματα) στο επίπεδο των $\pm 0.030\text{mm}$ - $\pm 0.060\text{mm}$.

Με τις ίδιες συνθήκες μετρήσεως (σύστημα οργάνων και γεωμετρία) μπορούν να καταγραφούν παραμορφώσεις της αμέσως ανώτερης τάξης μεγέθους, δηλαδή της τάξεως των $\pm 0.100\text{ mm}$ και προφανώς μεγαλύτερες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

ΕΦΑΡΜΟΓΗ – ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΕΔΙΟΥ

4.1. Οι ανάγκες στο χώρο της βιομηχανίας

Σημαντικό μέρος της βιομηχανικής παραγωγής, ιδιαίτερα μετά την εγκατάσταση γραμμών παραγωγής, αποτελεί ο ποιοτικός έλεγχος επί μέρους, ή συνολικά των τελικών προϊόντων. Με τον όρο «ποιοτικός έλεγχος» νοείται πέρα από τις προδιαγραφές απόδοσης, ασφάλειας κ.α. το κατά πόσο το προϊόν ανταποκρίνεται στο αρχικό (κατασκευαστικό) σχέδιο. Η βιομηχανική γεωδαισία μπορεί να παρέχει αποτελεσματικές λύσεις στην υλοποίηση του ως άνω ελέγχου.

Στον τομέα της βιομηχανίας οχημάτων ποιοτικοί έλεγχοι πραγματοποιούνται σχεδόν σε κάθε φάση της παραγωγής. Μπορεί να γίνει κιόλας ένας διαχωρισμός καθώς απαιτείται έλεγχος των μερών που θα συνθέσουν το όχημα, έλεγχος της σχετικής θέσης μεταξύ των μερών μετά τη συναρμολόγηση και έλεγχος των “καλουπιών” (jigs) τα οποία χρησιμοποιούνται για τη στήριξη των επιμέρους εξαρτημάτων για συναρμολόγηση. Τα τελευταία βρίσκουν περισσότερο εφαρμογή στον τομέα της ναυπηγικής και αεροναυπηγικής καθώς στο χώρο της αυτοκινητοβιομηχανίας δεν απαιτούνται “καλούπια” (jigs) αφού τα επιμέρους τμήματα συνδέονται στο σκελετό του οχήματος.

Όσον αφορά στην αυτοκινητοβιομηχανία, κατά τον έλεγχο των τμημάτων που συνθέτουν το όχημα παρουσιάζεται, κατά πρώτον, ανάγκη ελέγχου κυρίως του σκελετού και του αμαξώματος αν πληροί τις κατασκευαστικές προδιαγραφές. Στη συνέχεια ελέγχονται τα βασικά μέρη του οχήματος και πώς αυτά έχουν τοποθετηθεί σε σχέση με το σκελετό. Κυρίως ενδιαφέρει ο κινητήρας και το σύστημα μετάδοσης της κίνησης έως και τους τροχούς καθώς αυτά είναι τα τμήματα του οχήματος που καθορίζουν το κέντρο βάρους του, την γεωμετρία και την κατευθυντικότητα του κατά τη χρήση του αργότερα. Στη συνέχεια ακολουθούν ποιοτικοί έλεγχοι για να εξακριβωθεί εάν το αμάξωμα έχει συνδεθεί σύμφωνα με το σχέδιο και είναι εντός των προδιαγραφών.

Μια ιδιαίτερη ανάγκη, που προκύπτει όταν το αντικείμενο του ελέγχου βρίσκεται πρακτικά εν κινήσει σε μια γραμμή παραγωγής, είναι ότι η επεξεργασία των δεδομένων και η απόδοση αποτελεσμάτων πρέπει να είναι άμεση και επιτόπου (real time). Οι στόχοι, δε, πρέπει να αναγνωρίζονται αυτόματα από το σύστημα μετρήσεως (π.χ. γεωδαιτικός σταθμός). Μια τέτοια διαδικασία μπορεί να υλοποιηθεί από το σύστημα οργάνων – λογισμικού που περιγράφηκε στις προηγούμενες παραγράφους και υλοποιήθηκε πειραματικά στο εργαστήριο, αφού υπολογίζει άμεσα και επιτόπου (real time) συντεταγμένες (λογισμικό Leica Axyz και γεωδαιτικοί σταθμοί TDA 5005 εφόσον διαθέτουν αυτόματη αναγνώριση στόχου).

Ένας ακόμα τομέας που αποτελεί παραδοσιακό τομέα εφαρμογής μεθόδων της βιομηχανικής γεωδαισίας είναι οι δοκιμές σύγκρουσης (crash tests). Υπολογίζονται συντεταγμένες των ίδιων σημείων πριν και μετά τη σύγκρουση για την εξαγωγή αποτελεσμάτων και πορισμάτων σε σχέση με την ασφάλεια του οχήματος. Ειδικοί εκτιμούν τις μεταβολές που μπορούν να τεκμηριωθούν γεωδαιτικά για να καταλήξουν σε συμπεράσματα.

4.2. Η εφαρμογή

Ο βασικός στόχος της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της πιστότητας και/ή των παραμορφώσεων ενός βιομηχανικού παραγώγου σε σχέση με το σχέδιο στο οποίο βασίστηκε η κατασκευή του. Το αντικείμενο που επελέγη ήταν ένα όχημα παραγωγής, το Renault Clio 2. Η έρευνα αφορούσε παραμορφώσεις στα βασικά δομικά μέρη του οχήματος, στον σκελετό του ή διαφορετικά στο σασί.

Για την απόκτηση των σχεδίων του οχήματος το εργαστήριο Γεν. Γεωδαισίας ήρθε σε επαφή αρχικά με την Renault Ελλάδας και έπειτα τη Renault Γαλλίας. Πληροφορηθήκαμε πως τα σχέδια δεν κοινοποιούνται. Κατόπιν τούτου χρειάστηκε να επαναδιατυπωθεί το αντικείμενο της παρούσης.

Έγινε σαφές λοιπόν πως για να γίνει η μελέτη πιστότητας-παραμορφώσεων ήταν αναγκαίο ένα σύνολο δεδομένων το οποίο θα εθεωρείτο ως «ορθό» ή απαραμόρφωτο (όχημα αναφοράς). Βάσει αυτού στη συνέχεια θα είναι δυνατή η σύγκριση με οποιοδήποτε εμφανώς, ή όχι, παραμορφωμένο όχημα.

Η λύση που δόθηκε ήταν ο έλεγχος να πραγματοποιηθεί αντί, μεταξύ σχεδίου και υλοποίησης, σε έλεγχο αποκατάστασης οχήματος μετά από σύγκρουση σε σχέση με ίδιο μοντέλο το οποίο δεν είχε υποστεί σύγκρουση.

Ο σκελετός του οχήματος, όπως φανερώνει και η λέξη, είναι το βασικό δομικό στοιχείο πάνω στο οποίο “χτίζεται” το όχημα. Κινητήρας, καμπίνα, αμάξωμα, διαφορικά, αναρτήσεις, τροχοί, ηλεκτρολογικός εξοπλισμός και ότι ακόμα πλαισιώνει ένα όχημα.

Το αντικείμενο της μελέτης είναι τελικά ο έλεγχος εναπομεινουσών παραμορφώσεων στο σκελετό («σασί») επισκευασμένου οχήματος μετά από σύγκρουση σε σχέση με το ίδιο μοντέλο το οποίο δεν έχει κάποια σύγκρουση στο ιστορικό του.

Σημειώνεται πως το όχημα το οποίο είχε τη σύγκρουση, είχε παρουσιάσει παραμόρφωση στο σκελετό του στο εμπρός δεξί τμήμα του.



Σχήμα 4.1. Φωτογραφία, επισκευασμένο όχημα και εξοπλισμός

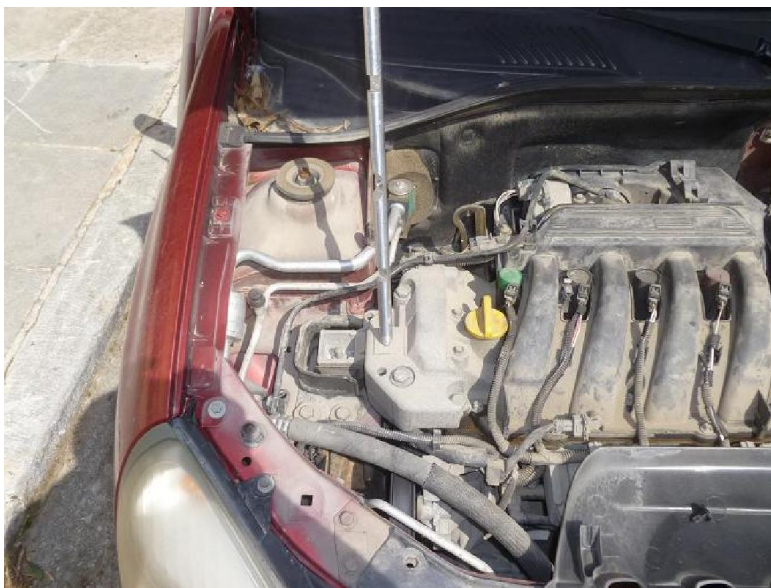
4.3. Ορισμός σημείων ελέγχου

Για τα σημεία ελέγχου έπρεπε να σχεδιαστεί και να υλοποιηθεί μια διαδικασία η οποία να εξασφαλίζει ότι τα σημεία και στους δυο σκελετούς των οχημάτων είναι ακριβώς τα ίδια. Για το λόγο αυτό σκόπιμα αποφεύχθηκε η τοποθέτηση στόχων. Η λύση που επελέγη ήταν να χρησιμοποιηθούν προϋφιστάμενα σημεία στην κατασκευή του σκελετού τα οποία υλοποιούσαν κυκλικές οπές. Καθώς το εξεταζόμενο μοντέλο είναι ίδιο με το μοντέλο αναφοράς είναι προφανές πως οι σκελετοί κατασκευαστικά είναι ταυτοτικές κατασκευές.

Στη φωτογραφία που ακολουθεί παρουσιάζεται το πρόσθιο τμήμα του σκελετού το οποίο εξετάσθηκε και το τμήμα γύρω από τη θιγμένη από τη σύγκρουση περιοχή. Με κόκκινου κύκλους σημειώνονται ενδεικτικά σημεία που χρησιμοποιήθηκαν ως στόχοι κατά την εφαρμογή.



Σχήμα 4.2. Φωτογραφία εμπρόσθιου τμήματος σκελετού και σημεία ελέγχου,



Σχήμα 4.3. Φωτογραφία εμπρόσθιου τμήματος σκελετού και σημεία ελέγχου

4.4. Σημεία ελέγχου

4.4.1. Επισήμανση σημείων

Από τις εικόνες γίνεται σαφές πως κάποια από τα σημεία δεν είναι ορατά από τη θέση των οργάνων ενώ η γεωμετρία της σκόπευσης είναι δυσμενής καθώς ο παρατηρητής θα έπρεπε να εκτιμήσει το κέντρο των οπών υπό μεγάλη κλίση (κέντρα φαινόμενων ελλείψεων). Για την αποφυγή μιας τέτοιας διαδικασίας η οποία σίγουρα θα επέφερε αβεβαιότητα στα αποτελέσματα επελέγη η χρήση της ράβδου κρυφού σημείου για όλα τα σημεία τις εφαρμογής.

Με την επιλογή αυτή πέρα από το πρόβλημα των κρυφών σημείων, ξεπερνιέται και το πρόβλημα της σκόπευσης. Η ράβδος διαθέτει πέντε σχεδόν σημειακές οπές προς σκόπευση, που βρίσκονται στον άξονά της ανά 10cm. Στο λογισμικό Axyz εισάγονται ως παράμετροι τα δυο από τα πέντε σημεία που απαιτείται να σκοπευθούν και όντας γνωστές οι αποστάσεις μεταξύ των σημείων αυτών και της ακίδας της ράβδου, το λογισμικό εφαρμόζει την εξίσωση της ευθείας και υπολογίζει τις συντεταγμένες του προς υπολογισμού σημείου.

Σημειώνεται ότι ειδική μέριμνα έχει ληφθεί ώστε οι οπές του σκελετού να είναι τέτοιες όπου η ράβδος κρυφού σημείου να εδράζεται με τη βέλτιστη εφαρμογή και να κεντρώνει με απλή τοποθέτηση σε αυτές. Σε αυτό βοηθά η κωνική απόληξη του κατώτερου σημείου έδρασης.

Σημαντική παράμετρος επίσης είναι η σταθερότητα της ράβδου. Επιτυγχάνεται με χρήση βοηθητικού τρίποδα με ενσωματωμένο μάνταλο όπως φαίνεται στη φωτογραφία που ακολουθεί. Η ακλόνητη στήριξη κατά τη

διάρκεια μετρήσεων υψηλής ακρίβειας είναι προφανές πως είναι απαραίτητη για να είναι τα αποτελέσματα εντός των προδιαγραφών.



Σχήμα 4.4. Φωτογραφία, ράβδος κρουφού σημείου και βοηθητικός τρίποδας στήριξης

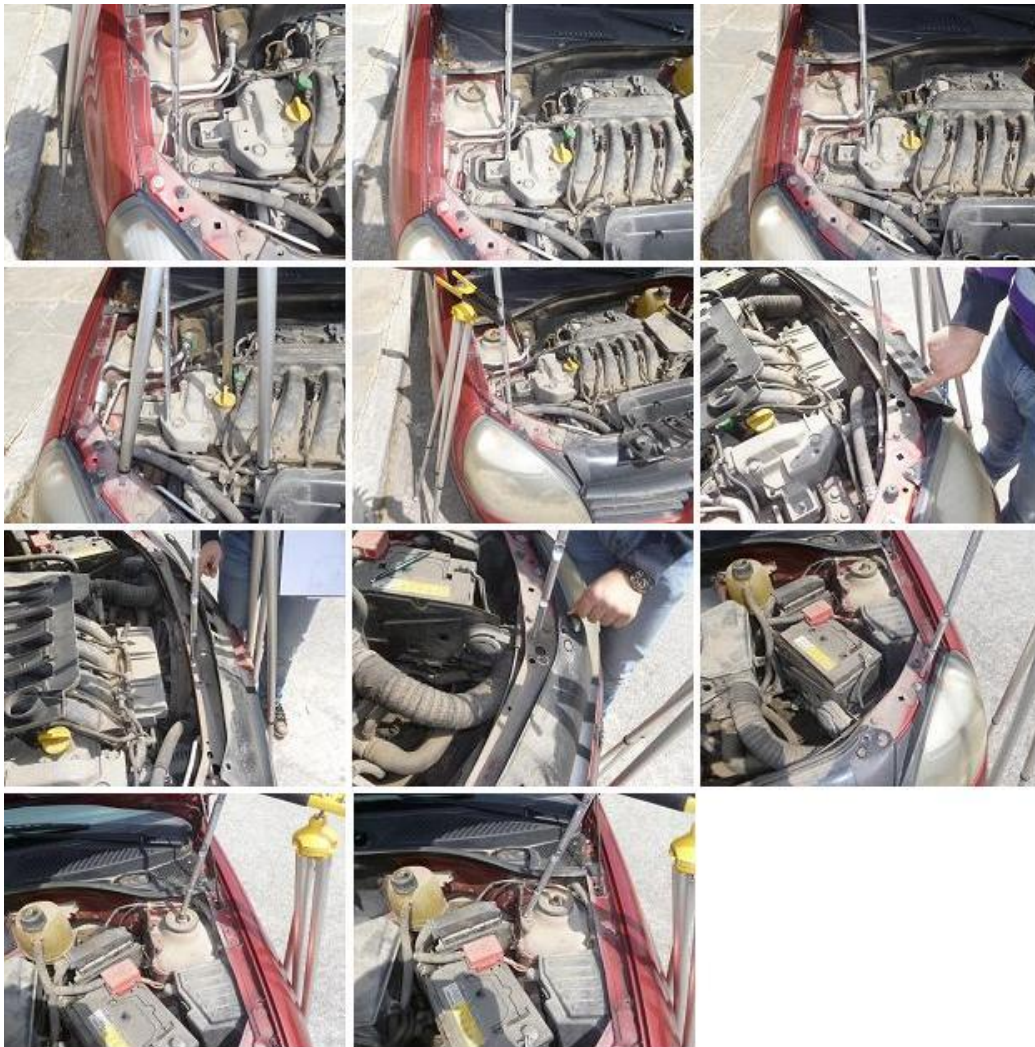
4.4.2. Κάλυψη αντικειμένου

Το αντικείμενο μελέτης εντοπίζεται στο πρόσθιο τμήμα του σκελετού των οχημάτων. Άλλες περιοχές θα απαιτούσαν αποσυναρμολόγηση του οχήματος, διαδικασία που θα απαιτούσε συνεργείο και εξειδικευμένους τεχνίτες. Επελέγη, λοιπόν όχημα με παραμορφώσεις λόγω πλαγιομετωπικής σύγκρουσης στο εμπρόσθιο δεξιό τμήμα του, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.5. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το τόξο που ακολουθούν τα σημεία ελέγχου. Με κόκκινο επισημαίνεται η περιοχή της σύγκρουσης.

Στις φωτογραφίες του σχήματος 4.6 παρουσιάζονται τα σημεία ελέγχου, όπως αυτά επισημάνθηκαν (και μετρήθηκαν) με διαδοχικές τοποθετήσεις της «ράβδου κρουφού σημείου». Σημειώνεται ότι λόγω της λύσης που μπορεί να πραγματοποιήσει το λογισμικό (υπολογισμός ευθυγράμμου τμήματος) δεν είναι απαραίτητη κατακορύφωση της ράβδου, διάταξη ιδιαίτερα προβληματική σε στενούς χώρους.



Σχήμα 4.5. Φωτογραφία περιοχής ελέγχου



Σχήμα 4.6. Φωτογραφίες των σημείων ελέγχου, επί των οποίων έχει τοποθετηθεί η ράβδος κρυφού σημείου.

4.5. Υλοποίηση σχήματος μετρήσεων στο πεδίο

Η επιθυμητή βέλτιστη γεωμετρία για εφαρμογές βιομηχανικής γεωδαισίας επιτυγχάνεται όταν οι γεωδαιτικοί σταθμοί και το προς μελέτη αντικείμενο βρίσκονται στις κορυφές ισόπλευρου και ορθογωνίου τριγώνου. Επί της ορθής γωνίας θα πρέπει να βρίσκεται το προς μελέτη αντικείμενο. Η γεωμετρία αυτή εξασφαλίζει κάθετη τομή των οπτικών αξόνων των οργάνων κατά την αποτύπωση των σημείων και ισαποχή αυτών από το σημείο αποτύπωσης.

Στο πεδίο πάντα υπάρχει μέριμνα για την κατά το δυνατόν προσέγγιση της παραπάνω γεωμετρίας. Σε συνθήκες εργαστηρίου είναι πιο εύκολο να επιτευχθεί καθώς ο χώρος είναι μελετημένος για τη συγκεκριμένη χρήση και απουσιάζουν περιορισμοί που υφίστανται λόγω παραμέτρων που επιβάλουν εξωτερικοί παράγοντες.

Στην παρούσα εργασία λόγω της φύσης του προς μελέτη αντικείμενου (όχημα) υπήρχαν περιορισμοί οι οποίοι παρατίθενται στη συνέχεια.

- Μέγεθος αντικείμενου μελέτης. Το εξεταζόμενο όχημα λόγω μεγέθους δεν μπορούσε να εισέλθει στο χώρο του εργαστηρίου και να τοποθετηθεί σε σημείο έτσι ώστε να υλοποιηθεί η βέλτιστη γεωμετρία.
- Ο χώρος στάθμευσης δεν ήταν ιδανικός για την υλοποίηση της βέλτιστης γεωμετρίας λόγω της ύπαρξης παρακείμενων οχημάτων τα οποία περιόριζαν την επιλογή της θέσης των γεωδαιτικών σταθμών.
- Η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος ήταν ένας ακόμα παράγοντας περιορισμού της θέσης του εξοπλισμού, και
- Οι μετρήσεις του συνόλου των σημείων ελέγχου θα έπρεπε να πραγματοποιηθούν από μία εγκατάσταση του εξοπλισμού. Εναλλακτικά θα έπρεπε να ιδρυθεί μικροτριγωνομετρικό δίκτυο, λύση αρκετά πιο σύνθετη για το μέγεθος και τις διαστάσεις του αντικείμενου έρευνας.

Λαμβάνοντας υπόψη τους παραπάνω περιορισμούς, το κύριο μέλημα κατά την υλοποίηση της γεωμετρίας του εξοπλισμού στην εν λόγω εργασία ήταν οι γωνίες τομής των οπτικών αξόνων των οργάνων να μην παρουσιάζουν μικρές τιμές (κάτω των 35 βαθμών) και οι αποστάσεις μεταξύ των γεωδαιτικών σταθμών και του οχήματος να είναι τέτοιες ώστε να εξασφαλίζεται μια ικανοποιητική απόσταση μεταξύ των γεωδαιτικών σταθμών (βάση), της αυτής τάξης μεγέθους με την μέση απόσταση μεταξύ σταθμών και αντικείμενου μετρήσεων.

Η απόκλιση των συνθηκών της πειραματικής διαδικασίας από ιδεατά σχήματα ανταποκρίνεται στην αντιμετώπιση πραγματικών συνθηκών σε χώρους γραμμής παραγωγής ή χώρου επισκευών.

Ακολουθεί φωτογραφία τους εξοπλισμού κατά τη διάρκεια μετρήσεων.



Σχήμα 4.7. Φωτογραφία κατά τη διάρκεια των μετρήσεων

4.6. Πρόβλεψη ακρίβειας μετρήσεων

Για να τεθούν οι προδιαγραφές της εφαρμογής, εφόσον τα σχέδια του οχήματος δεν ήταν κοινοποιήσιμα και η εφαρμογή πλέον ελέγχει παραμορφώσεις που έχουν παραμείνει σε επισκευασμένο όχημα, ήρθαμε σε επαφή με συνεργεία επισκευής οχημάτων μετά από σύγκρουση. Το συμπέρασμα που προέκυψε ήταν πως η βέλτιστη προσέγγιση που μπορεί να επιτευχθεί είναι της τάξεως του ενός εκατοστού (1cm). Εντύπωση προκάλεσε η διαπίστωση ότι επισκευασμένα οχήματα μπορούν να κυκλοφορήσουν μετά την επισκευή ακόμα και με σχετικές αποκλίσεις σημείων της τάξης των πέντε εκατοστών (5cm) αρκεί οι διαγώνιες αποστάσεις μεταξύ ομόλογων σημείων επί του σκελετού του οχήματος να είναι ίσες. Άρα η ακρίβεια του συστήματος πρέπει να είναι καλύτερη από ένα εκατοστό ($\pm 1\text{cm}$).

Από τις προπαρασκευαστικές εφαρμογές η ακρίβεια που επετεύχθη ήταν της τάξης του μισού χιλιοστομέτρου ($\pm 0,500\text{mm}$), σαφέστατα ανώτερης τάξης από αυτήν που απαιτεί η παρούσα εφαρμογή. Η γεωμετρία ελέγχου του οχήματος αναφοράς ήταν δυσμενέστερη από αυτές των προπαρασκευαστικών εφαρμογών για τους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω. Ως εκ τούτου η ακρίβεια της εφαρμογής αυτής αναμένεται να είναι χειρότερη. Ακόμα και δέκα φορές χειρότερη να είναι, δηλαδή της τάξης του μισού εκατοστού ($\pm 0,5\text{cm}$), υπερκαλύπτει τις ανάγκες της εφαρμογής αφού εναπομένουσες μετά την επισκευή παραμορφώσεις θα εντοπιστούν στην περίπτωση που οι διαφορές μεταξύ ομόλογων σημείων ξεπερνούν το ένα εκατοστό ($\pm 1\text{cm}$).

4.7. Η διαδικασία των μετρήσεων

4.7.1. Γενικά

Οι μετρήσεις, εφόσον δεν ήταν δυνατόν τα οχήματα να εισέλθουν στο εργαστήριο, πραγματοποιήθηκαν στο πεδίο. Η διαδικασία έλαβε χώρο στο χώρο στάθμευσης μεταξύ των κτηρίων Λαμπαδαρίου και Βέη. Οι συνθήκες ήταν όμοιες για τις μετρήσεις στο όχημα αναφοράς και στο όχημα προς μελέτη. Με τον όρο συνθήκες νοείται η θερμοκρασία, η πίεση και ώρα της ημέρας. Καθότι κάθε σειρά μετρήσεων απαιτούσε σε διάρκεια ένα πρωινό λήφθηκε μέριμνα ώστε οι μέρες της εκτέλεσης να είναι διαδοχικές με καιρικές συνθήκες κατά το δυνατόν όμοιες και χρονικά τις ίδιες ώρες τις ημέρας.

Σε μετρήσεις υψηλής ακρίβειας οι εξωτερικοί παράγοντες οφείλουν να είναι σταθεροί καθώς επηρεάζουν την ακρίβεια του παραγώγου. Αυτός είναι και ο λόγος που ο χώρος ενός εργαστηρίου είναι απαραίτητος.

Στη συνέχεια ακολουθεί η διαδικασία των μετρήσεων η οποία ήταν κοινή και για το όχημα αναφοράς και για το προς μελέτη όχημα.

4.7.2. Η διάταξη του εξοπλισμού και οι προεργασίες

Αρχικά τοποθετήθηκαν οι γεωδαιτικοί σταθμοί σε απόσταση περίπου τρεισήμισι μέτρων ($\sim 3,5\mu.$) μεταξύ τους. Δεν υπήρχε λόγος ακριβούς κέντρωσης καθώς το δίκτυο που υλοποιείται είναι ελεύθερο. Με άλλα λόγια, οι κορυφές στις οποίες εγκαθίστανται τα όργανα είναι τυχαίες, η μία θα είναι η αρχή του συστήματος αναφοράς και η άλλη λαμβάνει τιμές συντεταγμένων κατά την επίλυση. Οπότε η μόνη απαραίτητη διαδικασία κατά το στήσιμο των οργάνων είναι η οριζοντίωση. Σημειώνεται πως ιδιαίτερη σημασία έχει η σχολαστικότητα οριζοντιώσεων, και των σκοπεύσεων σε όλες τις φάσεις της εφαρμογής για να επιτευχθούν οι προδιαγεγραμμένες ακρίβειες.

Το όχημα τοποθετήθηκε κατά το δυνατόν πλησιέστερα στη μεσοκάθετο της βάσης που ορίζεται από τα όργανα και σε απόσταση από αυτά περί τα τέσσερα μέτρα ($\sim 4\mu.$), έτσι ώστε τα τρίγωνα που δημιουργούνται να είναι όσο το δυνατόν ισόπλευρα.

Έγιναν οι απαραίτητες συνδέσεις των οργάνων με το φορητό υπολογιστή, ο υπολογιστής συνδέθηκε με παροχή ρεύματος καθώς οι απαιτήσεις για λειτουργία ήταν υψηλές και τέθηκε σε εφαρμογή το λογισμικό.

Η πρώτη εργασία που γίνεται είναι η κατά προσέγγιση ευθυγράμμιση των οπτικών αξόνων. Τα όργανα αλληλοσκοπεύονται σε δυο θέσεις τηλεσκοπίου σε θέσεις που προσεγγίζουν το σταυρόνημα. Η θέση αυτή μπορεί να είναι η χονδρική σκόπευση του τηλεσκοπίου ή κατά προσέγγιση το κέντρο του φακού εάν η απόσταση το επιτρέπει.



Σχήμα 4.8. Φωτογραφία των οργάνων μετά τις συνδέσεις.

Ακολούθως πρέπει να σκοπευθούν οκτώ (8) σημεία γύρω από την περιοχή του προς μελέτη αντικειμένου. Τα σημεία αυτά επελέγη να υλοποιηθούν από την ράβδο κλίμακας τοποθετώντας την σε τέσσερις θέσεις γύρω από το όχημα και τα όργανα. Ο λόγος είναι ότι οι στόχοι που διαθέτει η ράβδος αποτελούν ιδανική επιλογή για σκόπευση.



Σχήμα 4.9. Φωτογραφία του στόχου της ράβδου κλίμακας.

Έπειτα σκοπεύθηκε η ράβδος κλίμακας σε δύο θέσεις τηλεσκοπίου. Ο ορισμός του μήκους, στο λογισμικό, μεταξύ των δύο ακραίων σημείων παρέχει την κλίμακα στο δίκτυο.



Σχήμα 4.10. Φωτογραφία της ράβδου κλίμακας εμπρός από το αντικείμενο προσδιορισμών.

Τα παραπάνω οκτώ (8) σημεία απαιτούνται για την ακριβή υλοποίηση του οπτικού άξονα των γεωδαιτικών σταθμών. Σε συνδυασμό με τη σκόπευση της ράβδου κλίμακας και τις προσεγγιστικές σκοπεύσεις που υλοποιούν μια προσέγγιση του οπτικού άξονα μεταξύ των οργάνων, το λογισμικό υπολογίζει το σύστημα αναφοράς.

Εφόσον έχει υλοποιηθεί το σύστημα αναφοράς το σύστημα των οργάνων είναι έτοιμο να προχωρήσει στην καταγραφή σημείων λεπτομερειών του αντικειμένου. Σημειώνεται ότι οι δύο γεωδαιτικοί σταθμοί θα πρέπει να παραμείνουν στο εξής απολύτως αμετακίνητοι και αδιατάραχτοι για όλες τις επόμενες διαδικασίες. Διαταραχή σταθμού επιβάλλει την επανάληψη της διαδικασίας.

4.7.3. Μετρήσεις επί των οχημάτων

Τα υπό προσδιορισμό σημεία ορίστηκαν κατά τις εργασίες αποτύπωσης στο όχημα αναφοράς. Μια γενική φωτογραφία του πρόσθιου τμήματος και φωτογραφία κάθε σημείου κατά την καταγραφή αποτέλεσαν το αυτοσχέδιο πεδίου.



Σχήμα 4.11. Φωτογραφίες αντί αυτοσχέδιου πεδίου

Η διαδικασία αποτύπωσης προϋποθέτει τοποθέτηση της ράβδου κρυφού σημείου σε κάθε σημείο και στήριξή της με το βοηθητικό τριποδίσκο, σκόπευση των δύο από τα πέντε σημεία της ράβδου και από τα δύο όργανα και καταχώρηση των δεδομένων στον φορητό υπολογιστή. Για κάθε σημείο, γίνεται καταγραφή μόνο οριζόντιας και κατακόρυφης γωνίας. Υπενθυμίζεται ότι η μόνη απόσταση που εισάγεται στο σύστημα είναι αυτή της ράβδου κλίμακας.

Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για κάθε σημείο ξεχωριστά και λαμβάνονται σημειώσεις για το που έχουν γίνει οι σκοπεύσεις για κάθε σημείο στη ράβδο κλίμακας. Τα δεδομένα αποθηκεύονται στο φορητό υπολογιστή και η επεξεργασία τους γίνεται αργότερα στο γραφείο. Επεξεργασία απαιτείται λόγω της χρήσης της ράβδου κρυφού σημείου. Τα σημεία στο σώμα της κάθε φορά που εκτελούνται οι σκοπεύσεις (δύο ανά σημείο) υπολογίζονται άμεσα κι επιτόπου (real time) και οι συντεταγμένες του είναι άμεσα διαθέσιμες. Υποθετικά, εάν υπήρχαν οι συντεταγμένες των σημείων τους αποτυπώνονται και το σύστημα είχε παραμετροποιηθεί έτσι ώστε να λειτουργεί στο ίδιο σύστημα αναφοράς το αποτέλεσμα θα ήταν η άμεση και επιτόπου (real time) ανίχνευση παραμορφώσεων/μετατοπίσεων σημείων.

Τα βήματα αυτά ακολουθούνται τόσο για το όχημα αναφοράς όσο και για το επισκευασμένο όχημα.

Ακολουθούν πίνακες με τα δεδομένα όπως κατεγράφησαν.

	Workpiece ID	Point ID	X	Y	Z	Std X	Std Y	Std Z	RMS X	RMS Y	RMS Z	Total RMS	Mean Error	Apex	Type
1	DEFAULT	point1	-2540.781	-1299.085	-177.519	0.801	0.410	0.053	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0003	14.7041	Measured
2	DEFAULT	point2	-1951.079	-2466.569	-99.743	0.252	0.353	0.022	0.000	0.000	0.008	0.008	0.2011	26.4304	Measured
3	DEFAULT	point3	2118.872	-5402.571	-84.946	0.070	0.181	0.024	0.000	0.000	0.026	0.026	1.7973	33.7929	Measured
4	DEFAULT	point4	3423.420	-5398.158	-28.277	0.107	0.179	0.025	0.000	0.000	0.017	0.017	0.7209	31.1248	Measured
5	DEFAULT	point5	7308.110	-6527.942	191.598	0.697	0.634	0.040	0.001	0.003	0.064	0.064	4.2672	16.7166	Measured
6	DEFAULT	point6	8294.826	-5671.737	182.271	0.997	0.691	0.044	0.000	0.000	0.006	0.006	0.0359	14.3093	Measured
7	DEFAULT	point7	8478.306	-2656.600	111.203	1.707	0.542	0.047	0.002	0.012	0.144	0.144	27.0094	9.8180	Measured
8	DEFAULT	point8	8784.837	-1386.017	54.895	3.660	0.582	0.056	0.001	0.013	0.112	0.113	16.5976	5.2710	Measured
9	DEFAULT	point9	4307.463	-3257.019	-593.425	0.026	0.046	0.016	0.000	0.005	0.032	0.032	3.6504	35.5768	Measured
10	DEFAULT	point10	4286.654	-3202.738	-401.923	0.025	0.045	0.015	0.001	0.005	0.046	0.046	7.6633	36.0835	Measured
11	DEFAULT	point11	4180.936	-3237.820	-577.038	0.024	0.044	0.016	0.001	0.017	0.105	0.106	41.1392	36.8687	Measured
12	DEFAULT	point12	4189.715	-3226.599	-377.510	0.024	0.044	0.014	0.000	0.001	0.011	0.012	0.4662	36.9588	Measured
13	DEFAULT	point13	4152.678	-3355.986	-698.007	0.024	0.045	0.017	0.000	0.004	0.020	0.020	1.4332	36.5420	Measured
14	DEFAULT	point14	4145.359	-3343.693	-498.502	0.024	0.045	0.015	0.000	0.004	0.027	0.027	2.6775	36.8212	Measured
15	DEFAULT	point15	4092.992	-3371.074	-663.627	0.023	0.045	0.016	0.003	0.039	0.217	0.221	175.125	37.0452	Measured
16	DEFAULT	point16	4104.652	-3349.591	-464.996	0.023	0.045	0.015	0.001	0.014	0.111	0.112	45.4489	37.1914	Measured
17	DEFAULT	point17	4051.157	-3369.261	-670.842	0.023	0.044	0.016	0.001	0.009	0.050	0.051	9.3080	37.4223	Measured
18	DEFAULT	point18	4051.857	-3360.315	-470.963	0.023	0.044	0.015	0.002	0.017	0.138	0.139	71.4619	37.6252	Measured
19	DEFAULT	point19	3953.005	-3230.851	-696.918	0.021	0.041	0.016	0.002	0.025	0.124	0.126	51.5746	38.8851	Measured
20	DEFAULT	point20	3975.462	-3232.762	-497.134	0.021	0.042	0.015	0.001	0.014	0.098	0.099	38.0337	38.9511	Measured
21	DEFAULT	point21	3835.095	-3476.121	-729.840	0.021	0.043	0.016	0.001	0.012	0.062	0.063	14.8812	38.6883	Measured
22	DEFAULT	point22	3852.031	-3468.792	-531.010	0.021	0.044	0.015	0.000	0.005	0.033	0.034	4.2275	38.6810	Measured
23	DEFAULT	point23	3793.064	-3696.016	-722.683	0.022	0.046	0.017	0.001	0.009	0.047	0.048	8.1402	37.8063	Measured
24	DEFAULT	point24	3797.560	-3690.422	-522.765	0.022	0.046	0.016	0.001	0.009	0.072	0.072	18.8674	37.9967	Measured
25	DEFAULT	point25	3788.121	-4180.820	-887.907	0.024	0.053	0.018	0.000	0.006	0.037	0.037	4.2763	35.2637	Measured
26	DEFAULT	point26	3783.587	-4166.694	-488.399	0.024	0.053	0.017	0.001	0.008	0.080	0.081	20.5842	35.5319	Measured
27	DEFAULT	point27	3872.244	-4360.825	-646.510	0.026	0.057	0.019	0.000	0.002	0.015	0.015	0.6424	33.9536	Measured
28	DEFAULT	point28	3883.698	-4349.388	-447.205	0.026	0.057	0.018	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0005	34.0571	Measured
29	DEFAULT	point29	4209.972	-4373.853	-544.385	0.030	0.061	0.019	0.000	0.002	0.017	0.017	0.7771	32.0722	Measured
30	DEFAULT	point30	4167.769	-4396.420	-350.080	0.030	0.061	0.018	0.001	0.003	0.049	0.050	6.7546	32.3052	Measured
31	DEFAULT	point31	4199.587	-4301.380	-579.709	0.030	0.060	0.019	0.003	0.028	0.227	0.228	145.052	32.3973	Measured
32	DEFAULT	point32	4169.645	-4316.521	-382.665	0.029	0.060	0.018	0.001	0.005	0.070	0.070	13.7140	32.6049	Measured
33	DEFAULT	point33	4334.682	-3084.350	-1225.997	0.025	0.043	0.021	0.001	0.025	0.068	0.073	18.2780	35.2516	Measured
34	DEFAULT	point34	4291.847	-3082.508	-1281.461	0.025	0.042	0.022	0.002	0.039	0.101	0.109	41.1995	35.5839	Measured
35	DEFAULT	point35	4346.954	-3088.664	-1324.935	0.026	0.043	0.022	0.004	0.063	0.159	0.171	99.9593	34.9901	Measured
36	DEFAULT	point36	4390.909	-3091.033	-1269.310	0.026	0.044	0.022	0.002	0.034	0.088	0.095	30.3828	34.6498	Measured
37	DEFAULT	point37	4340.200	-3093.990	-1275.114	0.026	0.043	0.022	0.003	0.049	0.127	0.136	83.7722	35.1043	Measured
38	DEFAULT	point38	6814.804	-3291.850	-1098.999	0.111	0.088	0.034	0.000	0.009	0.031	0.033	1.8797	17.5898	Measured
39	DEFAULT	point39	6755.416	-3267.971	-1137.261	0.107	0.086	0.035	0.001	0.010	0.032	0.033	1.9613	17.8655	Measured
40	DEFAULT	point40	6793.273	-3292.716	-1196.501	0.109	0.087	0.036	0.002	0.044	0.134	0.141	35.0435	17.7359	Measured
41	DEFAULT	point41	6852.371	-3296.055	-1158.487	0.112	0.089	0.036	0.001	0.012	0.038	0.040	2.8265	17.4445	Measured
42	DEFAULT	point42	-5098.097	-13084.18	427.716	0.232	0.458	0.053	0.002	0.004	0.151	0.151	8.7980	11.4145	Measured
43	DEFAULT	point43	-3756.530	-5178.800	216.528	0.116	0.128	0.026	0.002	0.006	0.185	0.185	45.3858	17.7762	Measured
44	DEFAULT	point44	16907.199	-18912.00	1459.374	0.981	1.232	0.127	0.003	0.019	0.213	0.214	6.4825	6.0733	Measured
45	DEFAULT	point45	18246.721	-11274.43	1070.423	1.215	0.844	0.107	0.002	0.019	0.169	0.171	5.9838	5.3461	Measured
46	DEFAULT	point46	19052.259	-6440.033	891.812	1.900	0.721	0.120	0.007	0.106	0.605	0.615	89.6735	3.6032	Measured

Πίνακας 4.1. Δεδομένα αποτύπωσης του σχήματος αναφοράς

	Point ID	X	Y	Z	Std X	Std Y	Std Z	RMS X	RMS Y	RMS Z	Total RMS	Mean Error	Apex	Type
1	point1	-2469.459	-2053.816	-99.238	1.322	1.099	0.051	0.000	0.000	0.004	0.003	0.0383	20.6908	Measured
2	point2	-2056.367	-3292.583	-97.883	0.636	1.017	0.035	0.000	0.000	0.003	0.002	0.0203	27.2144	Measured
3	point3	2195.034	-6744.843	-52.590	0.188	0.579	0.030	0.000	0.000	0.032	0.025	1.8320	28.6874	Measured
4	point4	3472.991	-6477.825	-51.169	0.215	0.407	0.030	0.000	0.000	0.021	0.016	0.7820	28.1238	Measured
5	point5	6617.812	-7653.782	142.809	0.748	0.872	0.039	0.000	0.000	0.003	0.002	0.0060	18.4580	Measured
6	point6	7637.281	-6837.974	144.180	0.990	0.895	0.042	0.001	0.002	0.063	0.048	3.7443	16.7706	Measured
7	point7	9342.109	-4562.067	140.734	2.220	1.090	0.062	0.000	0.002	0.041	0.032	1.6126	11.8008	Measured
8	point8	9877.055	-3370.502	142.118	3.600	1.232	0.089	0.000	0.000	0.003	0.003	0.0111	8.9038	Measured
9	point9	4249.089	-3596.848	-423.054	0.024	0.047	0.016	0.001	0.005	0.051	0.039	8.5066	37.3228	Measured
10	point10	4295.333	-3613.881	-617.013	0.025	0.048	0.017	0.001	0.015	0.098	0.076	31.6229	36.7313	Measured
11	point11	4166.043	-3599.024	-600.463	0.023	0.046	0.016	0.001	0.008	0.054	0.042	10.0554	37.8886	Measured
12	point12	4165.238	-3596.075	-400.530	0.023	0.046	0.016	0.001	0.012	0.118	0.091	47.7893	38.0495	Measured
13	point13	4179.948	-3709.123	-723.613	0.024	0.048	0.018	0.001	0.019	0.105	0.081	36.5174	37.1462	Measured
14	point14	4226.228	-3706.470	-529.076	0.025	0.048	0.017	0.001	0.016	0.121	0.093	47.7831	36.9491	Measured
15	point15	4122.009	-3728.430	-690.157	0.023	0.047	0.017	0.001	0.021	0.121	0.094	49.4082	37.5375	Measured
16	point16	4183.596	-3717.999	-500.052	0.024	0.048	0.016	0.001	0.013	0.104	0.080	35.4361	37.2547	Measured
17	point17	4069.040	-3730.537	-694.249	0.023	0.047	0.017	0.001	0.011	0.065	0.051	14.5629	37.9335	Measured
18	point18	4098.632	-3738.559	-496.648	0.023	0.047	0.016	0.001	0.016	0.129	0.100	56.1756	37.8269	Measured
19	point19	3952.871	-3583.001	-718.705	0.021	0.044	0.017	0.002	0.029	0.156	0.121	88.7286	39.6229	Measured
20	point20	3947.659	-3573.965	-518.890	0.021	0.044	0.016	0.000	0.001	0.006	0.005	0.1288	39.9183	Measured
21	point21	3840.042	-3833.394	-750.336	0.021	0.046	0.017	0.002	0.027	0.144	0.112	73.2038	39.0121	Measured
22	point22	3851.822	-3836.765	-550.735	0.021	0.046	0.016	0.001	0.009	0.071	0.055	17.3272	39.1085	Measured
23	point23	3821.863	-4063.855	-742.592	0.022	0.049	0.018	0.001	0.012	0.070	0.054	16.0252	37.8234	Measured
24	point24	3847.551	-4067.452	-544.311	0.022	0.050	0.017	0.001	0.007	0.053	0.041	9.1543	37.8162	Measured
25	point25	3834.888	-4557.319	-707.312	0.025	0.058	0.020	0.001	0.018	0.127	0.098	45.7599	35.1492	Measured
26	point26	3835.208	-4573.232	-507.918	0.025	0.058	0.019	0.001	0.010	0.099	0.076	27.5723	35.2030	Measured
27	point27	3912.145	-4726.771	-667.226	0.027	0.061	0.020	0.002	0.022	0.165	0.128	72.8758	33.9748	Measured
28	point28	3894.656	-4732.847	-468.048	0.025	0.061	0.019	0.001	0.012	0.133	0.103	47.4510	34.1442	Measured
29	point29	4264.176	-4714.877	-566.348	0.030	0.065	0.020	0.001	0.014	0.123	0.095	37.7453	32.3569	Measured
30	point30	4225.027	-4737.193	-371.483	0.030	0.065	0.019	0.001	0.009	0.129	0.099	41.3735	32.5454	Measured
31	point31	4241.002	-4657.179	-605.753	0.030	0.064	0.020	0.002	0.019	0.156	0.120	61.8602	32.6873	Measured
32	point32	4190.756	-4700.143	-416.937	0.029	0.064	0.019	0.002	0.015	0.190	0.146	91.8525	32.8555	Measured
33	point33	4360.764	-3402.283	-1243.973	0.025	0.045	0.021	0.000	0.008	0.024	0.019	1.9975	36.3422	Measured
34	point34	4287.061	-3395.986	-1275.333	0.024	0.044	0.021	0.002	0.040	0.113	0.092	46.8462	36.9457	Measured
35	point35	4318.784	-3400.423	-1349.002	0.024	0.045	0.022	0.001	0.009	0.025	0.020	2.2797	36.5446	Measured
36	point36	4392.103	-3406.514	-1317.406	0.025	0.045	0.022	0.001	0.010	0.029	0.024	2.9931	35.9562	Measured
37	point37	6817.328	-3489.447	-1133.631	0.099	0.086	0.033	0.000	0.006	0.019	0.015	0.6752	19.2036	Measured
38	point38	6745.652	-3487.937	-1165.842	0.095	0.084	0.033	0.000	0.005	0.018	0.014	0.6039	19.5745	Measured
39	point39	6777.064	-3490.002	-1237.739	0.096	0.085	0.035	0.002	0.034	0.104	0.083	20.4775	19.4410	Measured
40	point40	6849.744	-3492.210	-1205.697	0.100	0.086	0.035	0.001	0.012	0.038	0.031	2.7599	19.0700	Measured
41	point41	-3263.860	-5750.502	193.996	0.095	0.126	0.026	0.002	0.006	0.222	0.170	63.5550	19.8968	Measured
42	point42	-4200.649	-13709.79	405.140	0.193	0.449	0.053	0.000	0.001	0.033	0.026	0.4172	12.1702	Measured
43	point43	18073.773	-18415.38	1436.395	1.057	1.208	0.127	0.002	0.016	0.181	0.139	4.5509	6.0402	Measured
44	point44	19022.946	-10718.58	1047.681	1.305	0.829	0.108	0.002	0.028	0.240	0.185	11.6481	5.1846	Measured
45	point45	19628.374	-5853.668	869.336	2.101	0.707	0.125	0.000	0.008	0.044	0.034	0.4556	3.3487	Measured

Πίνακας 4.2. Δεδομένα αποτύπωσης του επισκευασμένου οχήματος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

5.1. Γενικά

Όπως έγινε αντιληπτό από την εφαρμογή το λογισμικό Axyz είναι ικανό για άμεση και επιτόπου (real time) επεξεργασία των δεδομένων που καταγράφει και την άμεση εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Ως αποτελέσματα νοούνται οι συντεταγμένες των σημείων που σκοπεύθηκαν. Τα σημεία αυτά, στη συνέχεια, θα συγκριθούν για να εξαχθούν αποτελέσματα σε σχέση με το ζητούμενο, αν δηλαδή υπάρχουν εναπομένουσες παραμορφώσεις στο επισκευασμένο όχημα σε σχέση με το όχημα αναφοράς.

Σημειώνεται πως όλες οι διαδικασίες πραγματοποιήθηκαν δυο φορές, μία για το όχημα αναφοράς και μια για το όχημα προς έλεγχο.

5.2. Το σύνολο των δεδομένων

Τα δεδομένα που συλλέγονται στο πεδίο είναι τα ακόλουθα:

- Γωνιομετρήσεις για την ευθυγράμμιση των οπτικών αξόνων των γεωδαιτικών σταθμών.
- Γωνιομετρήσεις των οκτώ σημείων που θα υλοποιήσουν την ευθυγράμμιση των οπτικών αξόνων.
- Γωνιομετρήσεις στα άκρα της ράβδου κλίμακας
- Μήκος της ράβδου κλίμακας
- Συντεταγμένες αποτυπωθέντων σημείων

Κάποια από αυτά υφίστανται επεξεργασία άμεσα από το λογισμικό ενώ κάποια άλλα εκ των υστέρων στο γραφείο.

5.3. Επεξεργασία αρχικών δεδομένων

Τα δεδομένα τα οποία απαιτούνται από το λογισμικό Axyz για να ξεκινήσει η αποτύπωση των σημείων είναι τα ακόλουθα:

- Γωνιομετρήσεις για την ευθυγράμμιση των οπτικών αξόνων των γεωδαιτικών σταθμών.
- Γωνιομετρήσεις των οκτώ σημείων που θα υλοποιήσουν την ευθυγράμμιση των οπτικών αξόνων.
- Γωνιομετρήσεις στα άκρα της ράβδου κλίμακας, και το
- Μήκος της ράβδου κλίμακας

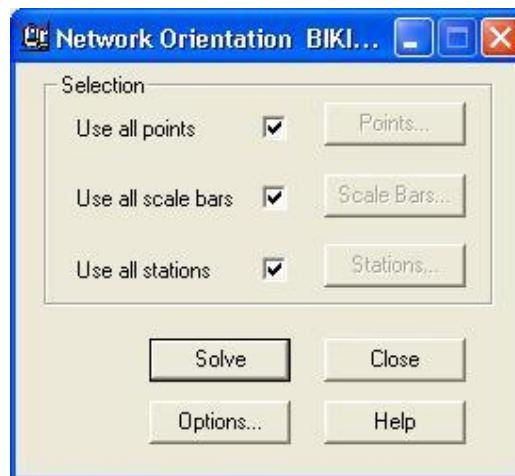
Η επεξεργασία των δεδομένων αυτών γίνεται άμεσα μετά την ολοκλήρωση της καταγραφής τους. Η συλλογή αυτών περιγράφεται στο Κεφάλαιο 4. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η επεξεργασία τους.

Στο λογισμικό Axyz επιλέγουμε από το μενού επιλογών: tools, network orientation.



Σχήμα 5.1. Εικόνα από το λογισμικό Axyz

Εμφανίζεται το παράθυρο επιλογής σημείων που θα συμπεριληφθούν στην επίλυση του δικτύου.

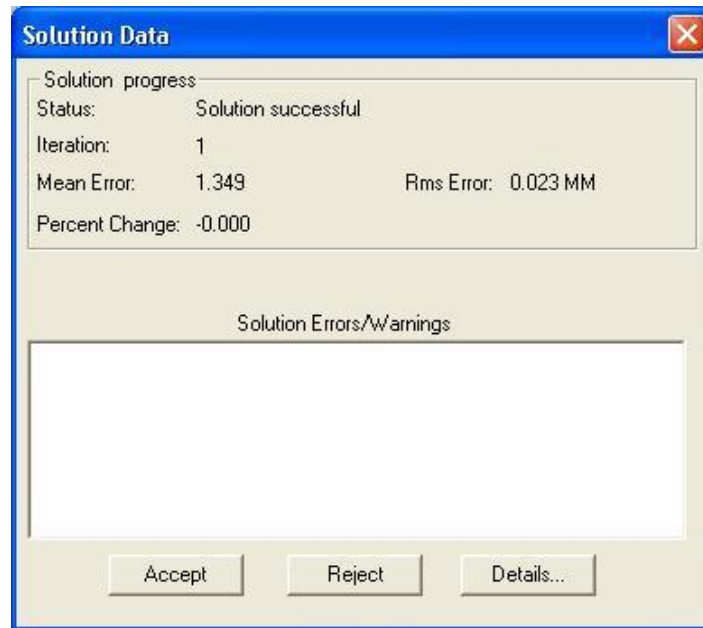


Σχήμα 5.2. Εικόνα από το λογισμικό Axyz

Επελέγησαν τα σημεία που ορίζουν την ράβδο κλίμακας και τα οκτώ ακόμα που απαιτούνται για να μπορέσει το λογισμικό να δώσει λύση. Ο ελάχιστος αριθμός που απαιτείται είναι πέντε σημεία, τα οκτώ προτείνονται από τον κατασκευαστή για μεγαλύτερη ασφάλεια στα αποτελέσματα. Μαζί με την χονδρική αλληλοσκόπευση των οργάνων για υλοποίηση του οπτικού μεταξύ τους άξονα και το μήκος της ράβδου κλίμακας το λογισμικό είναι έτοιμο να προσανατολίσει το δίκτυο. Η διαδικασία εκτελείται με την εντολή "solve".

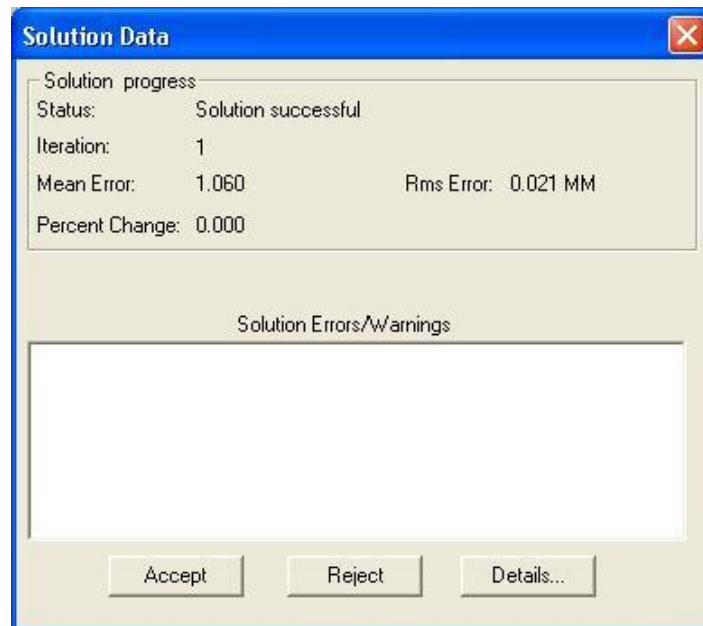
Μετά από μία διαδικασία διαδοχικών προσεγγίσεων (iterative solution) το λογισμικό προσδιορίζει τους αγνώστους και παρέχει για έλεγχο το μέσο

τετραγωνικό σφάλμα του δικτύου. Εάν είναι ικανοποιητικό τότε η λύση γίνεται αποδεκτή.



Σχήμα 5.3. Απόσπασμα οθόνης αποτελεσμάτων του προσανατολισμού του δικτύου του οχήματος προς έλεγχο

Στη συνέχεια ακολουθούν τα αποτελέσματα για το όχημα αναφοράς και το όχημα προς έλεγχο.



Σχήμα 5.4. Απόσπασμα οθόνης από το λογισμικό Αχχζ των αποτελεσμάτων του προσανατολισμού του δικτύου του οχήματος αναφοράς

Στους δείκτες της λύσης (Σχήματα 5.3 και 5.4) παρέχονται τιμές του υπολογισθέντος μέσου τετραγωνικού σφάλματος, που αποτελούν εκτίμηση

της επιτευχθείσης ακριβείας. Προκύπτει ότι, για τις παρούσες σειρές μετρήσεων, η αξιοπιστία προσδιορισμού των δικτύων, όπως αυτά ορίστηκαν με τις πραγματοποιηθείσες μετρήσεις βρίσκεται στο επίπεδο ± 0.025 mm. Ειδικότερα το μέσο τετραγωνικό σφάλμα του δικτύου του οχήματος αναφοράς και του οχήματος προς έλεγχο ήταν $\pm 0,021$ και $\pm 0,023$ χιλιοστόμετρα αντίστοιχα.

Στο σημείο αυτό ολοκληρώνεται η εισαγωγή και επεξεργασία των αρχικών δεδομένων και το σύστημα είναι έτοιμο για να σκοπευθούν τα σημεία αναφοράς και ελέγχου επί των οχημάτων.

5.4. Επεξεργασία δεδομένων αναφοράς και ελέγχου

Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι ως δεδομένα λαμβάνουμε τα σημεία που αποτυπώθηκαν επί της ράβδου κρυφού σημείου ενώ θα περίμενε κανείς ως πρωτογενή δεδομένα να συλλέξει γωνιομετρήσεις, αποστάσεις και από αυτά να εξάγει συντεταγμένες.

Στην εφαρμογή αυτή, και στις δυο σειρές μετρήσεων, προσδιορίζονται συντεταγμένες δυο σημείων επί της ράβδου κλίμακας τα οποία κατόπιν επεξεργασίας θα υλοποιήσουν το σημείο ενδιαφέροντος το οποίο κάθε φορά βρίσκεται στο σημείο έδρασης αυτής.

Τα παραπάνω σημεία παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1. για το όχημα αναφοράς και στον Πίνακα 4.2. για το προς έλεγχο όχημα. Παρουσιάζεται επίσης η τυπική απόκλιση (Std) και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMS) των σημείων ανά διεύθυνση. Τα στοιχεία αυτά προκύπτουν από τις αποκλίσεις που παρουσιάζονται κατά την τομή των οπτικών δεσμών που ξεκινούν από τα όργανα και καταλήγουν σε κάθε σημείο που αποτυπώνεται. Εδώ πρέπει να αναφερθεί πως οι συντεταγμένες των παραπάνω σημείων προσδιορίζονται με εμπροσθοτομία. Δυο οπτικοί άξονες ξεκινούν από τα όργανα και εκεί που θα τμηθούν βρίσκεται το σημείο που αποτυπώνεται. Τα παραπάνω μεγέθη (τυπική απόκλιση, μέσο τετραγωνικό σφάλμα) προκύπτουν και χαρακτηρίζουν την τομή των οπτικών αξόνων.

Στην συνέχεια παρουσιάζεται ο τρόπος, βάσει του οποίου προκύπτουν τα σημεία στο σκελετό των οχημάτων από τα σημεία που σκοπεύθηκαν επί της ράβδου κρυφού σημείου.

Αρχικά εισήχθησαν τα «στοιχεία βαθμονόμησης» της ράβδου κρυφού σημείου. Διαπιστώθηκε ότι σύμφωνα με τις προδιαγραφές, κάθε σημείο της ράβδου κλίμακας απείχε από το προηγούμενο και το επόμενο δέκα εκατοστά. Η ακίδα της ράβδου, εν τούτοις, λόγω φθοράς είχε απομειώσει το μήκος της συσκευής κατά 1,5 χιλιοστόμετρο, γεγονός που εξακριβώθηκε με χρήση παχύμετρου. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5.5, μία τέτοια παραμόρφωση μπορεί να ενταχθεί στις παραμέτρους της διαδικασίας στο λογισμικό και να αποτελέσει μέρος των προσδιορισμών.

	Device ID	Device pt #	X or Distance	Y	Z	Std/Tip X	Std/Tip Y	Std/Tip Z
1	501	1	98.500	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001
2	501	2	198.500	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001
3	501	3	298.500	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001
4	501	4	398.500	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001
5	501	5	498.500	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001

Σχήμα 5.5. Απόσπασμα οθόνης από το λογισμικό Axyz με τα δεδομένα για τη ράβδο κρυφού σημείου

Στη συνέχεια μέσω της αντίστοιχης επιλογής ενεργοποιήθηκε η φόρμα υπολογισμού κρυφών σημείων.

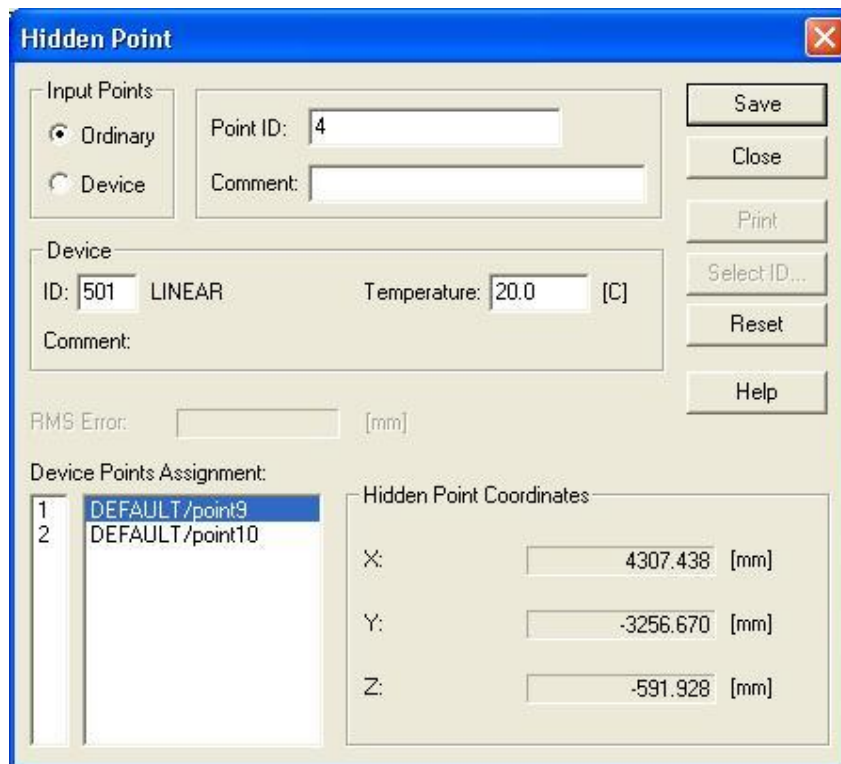
The screenshot shows the 'Analyze' menu with the following options and shortcuts:

- Compare Points... Ctrl+M
- Two Point... Ctrl+Q
- Angle... Ctrl+A
- Distance... Ctrl+F
- Arc Distance... Ctrl+K
- Line... Ctrl+1
- Plane... Ctrl+2
- Circle... Ctrl+3
- Cylinder... Ctrl+4
- Sphere... Ctrl+5
- Cone... Ctrl+6
- Paraboloid... Ctrl+7
- Intersect... Ctrl+I
- Perpendicular... Ctrl+U
- Parallel... Ctrl+R
- Bisect... Ctrl+B
- Projection... Ctrl+W
- Hidden Point... Ctrl+H**
- Divide Line... Ctrl+L
- Single Point... Ctrl+S

The 'Hidden Point...' option is highlighted in blue. The background shows the same data table as in Figure 5.5.

Σχήμα 5.6. Απόσπασμα οθόνης από το λογισμικό Axyz με την επιλογή για τη ράβδο κρυφού σημείου

Η φόρμα που ενεργοποιείται δίνει επιλογές για την ονομασία του σημείου που θα υπολογιστεί επίσης αντιστοιχίζεται κάθε σημείο που αποτυπώθηκε πάνω στη ράβδο με τη θέση στην οποία βρίσκεται.



Σχήμα 5.7. Φωτογραφία από το λογισμικό Axyz με τη φόρμα υπολογισμού του κρυφού σημείου

Στο χωρίο “point ID” δίδεται η ονομασία του κρυφού σημείου που θα υπολογιστεί. Στο χωρίο “Device ID” ορίζεται η ράβδος κρυφού σημείου που χρησιμοποιήθηκε και στο χωρίο “Device Points Assignment” αντιστοιχίζονται τα σημεία με τη θέση που βρίσκονται επί της ράβδου. Με την επιλογή “solve” γίνεται η επίλυση με χρήση της εξίσωσης της ευθείας στο χώρο και οι συντεταγμένες παρουσιάζονται στο χωρίο “Hidden Point Coordinates”.

Τα νέα σημεία που υπολογίστηκαν καταχωρούνται με την ένδειξη “hidden” στη βάση δεδομένων του λογισμικού.

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται τα σημεία του οχήματος αναφοράς και τα αντίστοιχα του προς έλεγχο οχήματος όπως αυτά προσδιορίστηκαν με την παραπάνω διαδικασία.

	Point ID	X	Y	Z	Std X	Std Y	Std Z	RMS X	RMS Y	RMS Z	Total RMS	Mean Error	Apex	Type
47	ref1	4317.691	-3283.699	-687.553	0.038	0.062	0.035	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	Hidden
48	ref2	4167.837	-3254.563	-874.744	0.071	0.127	0.019	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	Hidden
49	ref3	4156.281	-3362.039	-796.238	0.037	0.070	0.021	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	Hidden
50	ref4	4067.257	-3361.443	-761.324	0.038	0.068	0.021	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	Hidden
51	ref5	4050.813	-3373.661	-769.163	0.036	0.069	0.019	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	Hidden
52	ref6	3956.867	-3230.062	-795.043	0.034	0.065	0.017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	Hidden
53	ref7	3826.748	-3469.876	-827.835	0.033	0.068	0.018	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	Hidden
54	ref8	3790.881	-3698.769	-821.073	0.034	0.071	0.019	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	Hidden
55	ref9	3790.353	-4187.771	-786.077	0.038	0.082	0.023	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	Hidden
56	ref10	3866.600	-4366.461	-744.727	0.042	0.089	0.022	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	Hidden
57	ref11	4230.722	-4362.758	-639.919	0.046	0.097	0.021	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	Hidden
58	ref12	4214.360	-4293.909	-676.929	0.045	0.095	0.021	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	Hidden

Πίνακας 5.1. Συντεταγμένες σημείων οχήματος αναφοράς

	Point ID	X	Y	Z	Std X	Std Y	Std Z	RMS X	RMS Y	RMS Z	Total RMS	Mean Error	Apex	Type
46	pt1	4339.141	-3630.017	-800.757	0.047	0.100	0.032	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	Hidden
47	pt2	4167.857	-3605.673	-1051.266	0.092	0.183	0.021	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	Hidden
48	pt3	4135.043	-3711.641	-908.165	0.054	0.104	0.023	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	Hidden
49	pt4	4063.655	-3736.314	-870.282	0.053	0.103	0.023	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	Hidden
50	pt5	4040.960	-3722.926	-881.744	0.050	0.102	0.022	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	Hidden
51	pt6	3957.809	-3591.564	-908.064	0.045	0.093	0.022	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	Hidden
52	pt7	3828.865	-3830.197	-939.706	0.047	0.100	0.021	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	Hidden
53	pt8	3797.490	-4050.442	-930.722	0.049	0.107	0.022	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	Hidden
54	pt9	3834.584	-4542.230	-896.387	0.054	0.125	0.024	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	Hidden
55	pt10	3928.727	-4721.010	-856.079	0.056	0.133	0.023	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	Hidden
56	pt11	4301.308	-4693.711	-751.167	0.064	0.142	0.025	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	Hidden
57	pt12	4288.633	-4616.450	-784.747	0.064	0.137	0.031	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	Hidden

Πίνακας 5.2. Συντεταγμένες σημείων οχήματος προς έλεγχο

Στη συνέχεια τα σημεία αυτά εξάγονται από το λογισμικό Axyz σε μορφή σχεδίου (αρχείο τύπου .dwg) που μπορεί να διαχειριστεί το λογισμικό AutoCAD. Στο λογισμικό αυτό θα γίνει η σύγκριση των δυο σειρών μετρήσεων με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων. Η ακρίβεια στις συντεταγμένες των σημείων όπως είναι εμφανές από τους παραπάνω πίνακες είναι της τάξης των δυο δεκάτων του χιλιοστομέτρου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

6.1. Σύγκριση των δυο σειρών μετρήσεων

Τα δεδομένα των δυο σειρών μετρήσεων εισήχθησαν στο σχεδιαστικό λογισμικό AutoCAD για επεξεργασία.

Για να συσχετισθούν οι δύο σειρές προσδιορισμών (μετρήσεων) επελέγη αρχικά τα δύο σημειοσύνολα να ταυτιστούν απαραμόρφωτα με την βοήθεια ενός σημείου, που θα εθεωρείτο σταθερό, και μίας διεύθυνσης. Η επιλογή του σημείου και της διεύθυνσης έγινε με βάση ποιο τμήμα του σκελετού είναι πιο στιβαρό και δεν διαταράχθηκε από την σύγκρουση. Το τμήμα αυτό του σκελετού είναι αυτό μεταξύ των θόλων. Στους θόλους στηρίζονται οι αναρτήσεις των πρόσθιων τροχών και η περιοχή γύρω από αυτά αποτελεί τμήμα στο οποίο συνδέονται οι βάσεις στήριξης του κινητήρα. Ως εκ τούτου, τα σημεία αυτά αποτελούν την ασφαλέστερη επιλογή όσο αφορά σε παραμορφώσεις που επήλθαν από τη σύγκρουση ως πιο αδιατάρακτα. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται η θέση των σημείων στο προς έλεγχο όχημα.



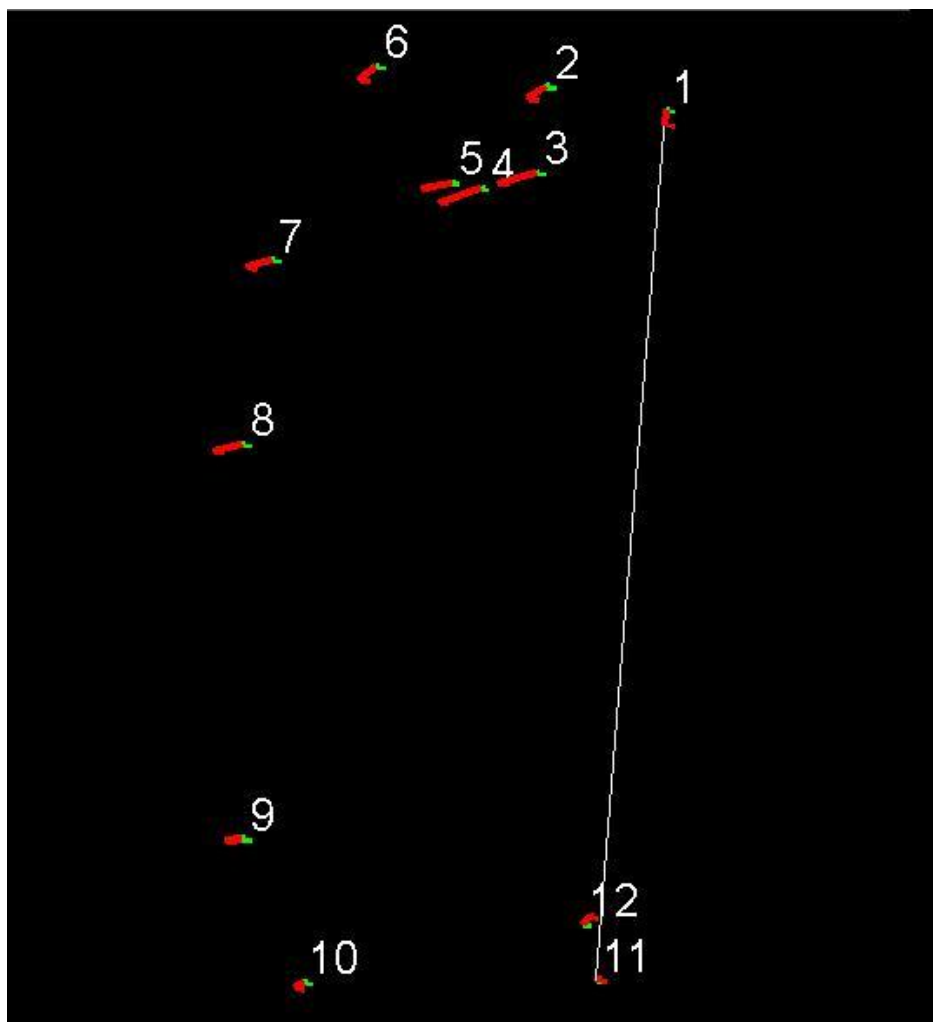
Σχήμα 6.1. Φωτογραφία σημείων αναφοράς

Η θιγμένη περιοχή από τη σύγκρουση είναι αυτή μπροστά από το σημείο 1. Για το λόγο αυτό ταυτίζεται το σημείο 11 του οχήματος αναφοράς με αυτό του οχήματος προς έλεγχο και επίσης θεωρείται σταθερή η διεύθυνση μεταξύ των σημείων αυτών (11-1). Η επιτυχία της επιλογής ελέγχεται οπτικά από την

παρουσία (ή μη) συστηματικών μετακινήσεων (παραμορφώσεων) στα υπόλοιπα σημεία.

Τα σημεία ελέγχου του οχήματος μετατοπίστηκαν ως σύνολο με τρόπο τέτοιο ώστε το σημείο 11 από κάθε σειρά μετρήσεων να ταυτιστεί. Στη συνέχεια το σύνολο των σημείων αυτών στράφηκε ως προς το επίπεδο για να ταυτιστεί η διεύθυνση 11-1 μεταξύ των δυο συνόλων σημείων. Η θέση των οχημάτων όμως δεν ήταν σε επίπεδο όταν αποτυπώθηκαν, ακόμα και μικρή διαφορά στην πίεση των ελαστικών μπορούσε να επιφέρει εκτροπή από αυτό. Χρειάστηκε άλλη μια στροφή για να ταυτιστεί η διεύθυνση 11-1 στο χώρο. Το επίπεδο αυτής της στροφής μπορεί να οριστεί από το σημείο 11 το οποίο πλέον είναι κοινό και τα σημεία 1 από κάθε σειρά μετρήσεων. Αφού ταυτίστηκε και η διεύθυνση στο χώρο μπορούσε να γίνει η σύγκριση.

Γραφικά το αποτέλεσμα παρουσιάζεται στη συνέχεια. Η λευκή γραμμή απεικονίζει τη διεύθυνση που ταυτίστηκε. Τα σημεία με πράσινο χρώμα είναι τα σημεία που αποτυπώθηκαν στο όχημα αναφοράς. Τα κόκκινα σημεία είναι τα σημεία που αποτυπώθηκαν στο προς έλεγχο όχημα. Τα διανύσματα μετατόπισης απεικονίζονται με κόκκινο χρώμα.



Σχήμα 6.2. Εικόνα από το λογισμικό AutoCAD όπου απεικονίζεται γραφικά το αποτέλεσμα

Στη συνέχεια υπολογίζονται τα μέτρα των διανυσμάτων και εξάγονται από το λογισμικό AutoCAD για αξιολόγηση.

No	Όχημα αναφοράς			Όχημα προς έλεγχο			Μήκος Μετατόπισης
	x	y	z	x	y	z	
1	279,655	405,052	77,499	278,194	387,044	78,294	18,084
2	129,801	434,188	-109,692	108,174	419,696	-112,132	26,148
3	118,245	326,712	-31,186	71,639	314,891	-29,303	48,119
4	49,221	307,308	3,728	-1,873	291,394	8,520	53,729
5	12,777	315,090	-4,111	-23,855	307,814	-2,900	37,367
6	-81,149	458,689	-29,991	-101,030	442,842	-28,870	25,449
7	-211,288	218,875	-62,783	-240,548	210,315	-61,115	30,532
8	-247,155	-10,018	-56,021	-282,219	-18,313	-52,724	36,183
9	-247,683	-499,020	-21,025	-266,774	-501,367	-19,641	19,284
10	-171,436	-677,710	20,325	-180,745	-684,294	20,194	11,402
11	192,686	-674,007	125,133	192,686	-674,007	125,133	0,000
12	176,324	-605,158	88,123	183,489	-596,168	91,754	12,056

Πίνακας 6.1. Συντεταγμένες σημείων αναφοράς και ελέγχου, διανύσματα μετατόπισης

Σημειώνεται πως όλα τα αποτελέσματα είναι σε χιλιοστά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

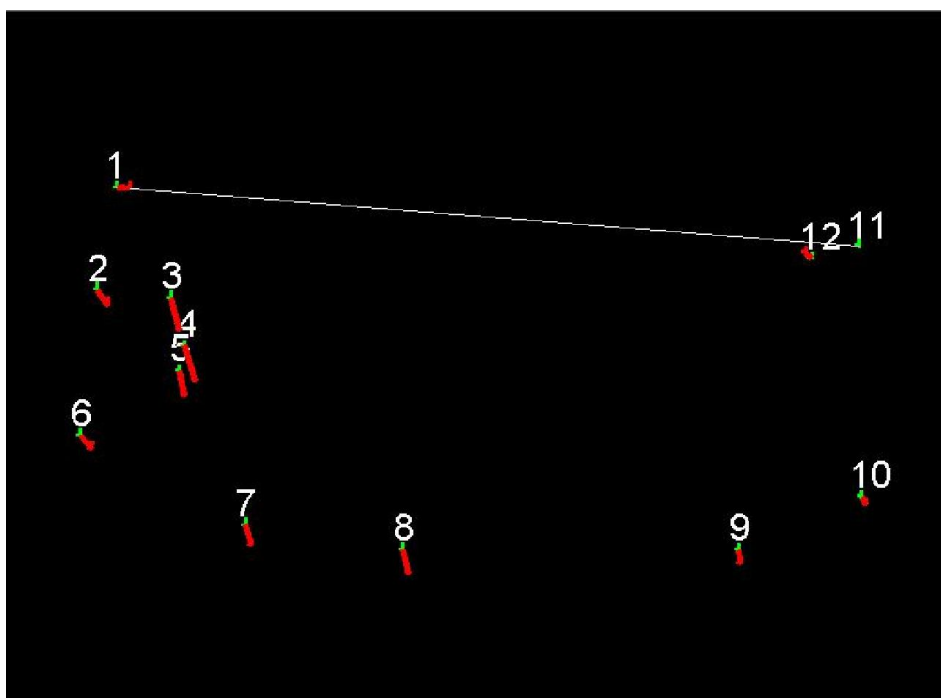
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

7.1. Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Παρατίθεται ο πίνακας των αποτελεσμάτων (οι τιμές σε χιλιοστά) προς σχολιασμό όπως και μια εικόνα με τα σημεία για καλύτερη κατανόηση μέσω της οπτικοποίησης.

No	Όχημα αναφοράς			Όχημα προς έλεγχο			Μήκος
	x	y	z	x	y	z	Μετατόπισης
1	279,655	405,052	77,499	278,194	387,044	78,294	18,084
2	129,801	434,188	-109,692	108,174	419,696	-112,132	26,148
3	118,245	326,712	-31,186	71,639	314,891	-29,303	48,119
4	49,221	307,308	3,728	-1,873	291,394	8,520	53,729
5	12,777	315,090	-4,111	-23,855	307,814	-2,900	37,367
6	-81,149	458,689	-29,991	-101,030	442,842	-28,870	25,449
7	-211,288	218,875	-62,783	-240,548	210,315	-61,115	30,532
8	-247,155	-10,018	-56,021	-282,219	-18,313	-52,724	36,183
9	-247,683	-499,020	-21,025	-266,774	-501,367	-19,641	19,284
10	-171,436	-677,710	20,325	-180,745	-684,294	20,194	11,402
11	192,686	-674,007	125,133	192,686	-674,007	125,133	0,000
12	176,324	-605,158	88,123	183,489	-596,168	91,754	12,056

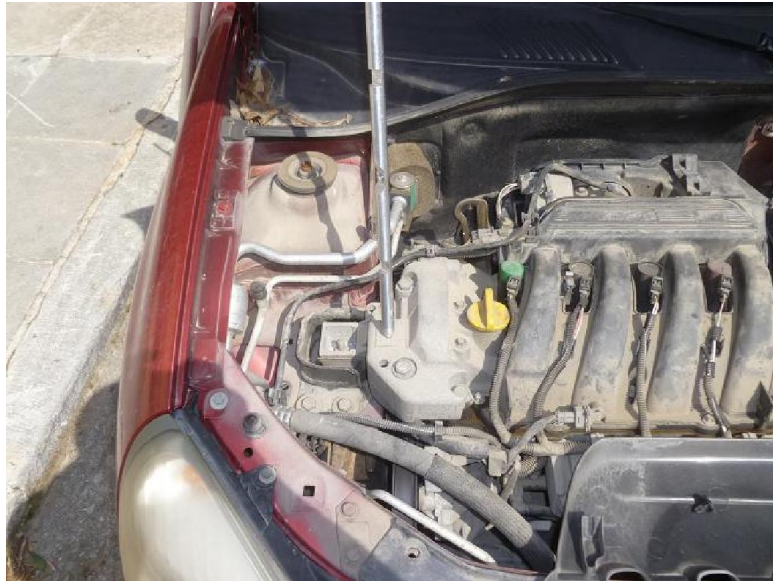
Πίνακας 7.1. Αποτελέσματα σύγκρισης



Σχήμα 7.1. Σημεία αναφοράς, ελέγχου και διανύσματα μετατόπισης

Ο Πίνακας 7.1. δείχνει ότι το όχημα προς έλεγχο έχει σοβαρές μετατοπίσεις οι οποίες κυμαίνονται από 11 έως 54 χιλιοστόμετρα περίπου. Η κατανομή τους στο σκελετό ακολουθεί την περιοχή σύγκρουσης που ορίζεται από τα σημεία 2, 6, 7 και 8. Στην περιοχή αυτή παρατηρούνται και οι μεγαλύτερες παραμορφώσεις του σκελετού και οι οποίες κυμαίνονται από 25 έως 36 χιλιοστόμετρα περίπου.

Τα σημεία 3 και 4 τα οποία εμφανίζουν μετατόπιση 48 και 53 χιλιοστομέτρων περίπου αντίστοιχα εάν ήταν επάνω στο σκελετό θα έπρεπε να μας προβληματίσουν για την αξιοπιστία του οχήματος. Τα σημεία αυτά όμως είναι σημεία τα οποία ανήκουν στον κινητήρα του οχήματος και όχι στον σκελετό.



Σχήμα 7.1. Φωτογραφία του σημείου Νο3



Σχήμα 7.2. Φωτογραφία του σημείου Νο4

Το γεγονός αυτό ενδεχομένως να οφείλεται σε μετατόπιση που έχει επέλθει από τη σύγκρουση και υποδεικνύει περαιτέρω σχετική μετατόπιση μεταξύ σκελετού και κινητήρα στο επισκευασμένο όχημα. Μια άλλη ερμηνεία είναι ότι ίσως έχει επέλθει φθορά στις βάσεις του κινητήρα είτε από τη σύγκρουση είτε από τη χρήση και χρειάζονται αλλαγή. Επίσης, μια τρίτη ερμηνεία είναι το ενδεχόμενο τα δύο οχήματα να είχαν τέτοιας τάξεως μεγέθους ασυμφωνίες από την κατασκευή τους.

Όσον αφορά στις διαπιστωθείσες παραμορφώσεις φαίνεται ότι είναι ακριβείς και απόλυτα ασφαλείς για την παρούσα εφαρμογή εφ' όσον οι μετρήσεις:

- Σχεδιάστηκαν ώστε να παρέχουν ακρίβεια της τάξεως των ± 0.500 mm,
- Διαπιστώθηκε από το λογισμικό ότι οι μετρήσεις του δικτύου υπήρξαν συμβατές μεταξύ τους στο επίπεδο των ± 0.025 mm, και
- Οι μετρήσεις επί της ράβδου κρυφού σημείου υπήρξαν συμβατές μεταξύ τους σε επίπεδο καλύτερο των ± 0.150 mm

Άρα η ακρίβεια της εφαρμογής που σχεδιάστηκε για να ανιχνεύσει παραμορφώσεις ,της τάξεως του μισού χιλιοστομέτρου (0,5mm), υπερκάλυψε τις απαιτήσεις και ανίχνευσε μετατοπίσεις (ή παραμορφώσεις) 10 mm – 50mm.

Συμπερασματικά η εφαρμογή έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα, κάλυψε τις ανάγκες σε ακρίβεια και προτείνεται για βιομηχανικές εφαρμογές υψηλής ακρίβειας.

7.2. Προβλήματα κατά τη διάρκεια της εφαρμογής

Το κύριο πρόβλημα που αντιμετωπίστηκε εντοπίζεται στη συνδεσμολογία των οργάνων με το φορητό υπολογιστή και στην επιλογή του δευτέρου ώστε να είναι συμβατός με το λογισμικό. Το σύστημα λειτουργεί ως σύνολο μετά την επιτυχή ενεργοποίηση του λογισμικού Axyz στον υπολογιστή και την εκτέλεση της εφαρμογής Axyz Comm στους γεωδαιτικούς σταθμούς. Από τις εμπειρίες των εφαρμογών της παρούσας εργασίας καταγράφονται τα ακόλουθα σχετικά προβλήματα:

- Η διατιθέμενη έκδοση του λογισμικού Axyz (v1.4.4) δεν συνεργάζεται με τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές (hardware και λειτουργικά συστήματα) που διατίθενται σήμερα στην αγορά. Η συγκεκριμένη έκδοση λειτούργησε μόνο σε ξεπερασμένης τεχνολογίας φορητό υπολογιστή.
- Οι υπολογιστές δεν διαθέτουν θύρες τύπου RS232 ή διαθέτουν μόνο μια οπότε απαιτούνται καλώδια μετατροπής από θύρα τύπου USB σε RS232. Το γεγονός αυτό απαιτεί πρόγραμμα οδήγησης (driver) πράγμα που μπορεί να καταστήσει το σύστημα ασταθές ή μη λειτουργικό.
- Οι θύρες πρέπει να έχουν διαδοχική αρίθμηση.
- Το κλειδί του λογισμικού Axyz κάποιες φορές δεν ήταν αναγνωρίσιμο από το λογισμικό με αποτέλεσμα το πρόγραμμα να μην ξεκινά ή να μένει σε φάση εκκίνησης.

Σημαντικό πρόβλημα εντοπίστηκε στα στοιχεία εξόδου από το σύστημα που χρησιμοποιήθηκε. Το λογισμικό Axyz χρησιμοποιεί βάση δεδομένων για την καταχώρηση των δεδομένων και των αποτελεσμάτων των επιλύσεων (ή των συνορθώσεων). Δεν υπάρχει, εν τούτοις, δυνατότητα για την εξαγωγή αυτών των στοιχείων σε μορφή αναγνώσιμη (π.χ. αρχεία τύπου .txt .doc .xls) και επεξεργάσιμη από άλλα προγράμματα σε άλλον υπολογιστή. Ο χειριστής έχει μόνο τη δυνατότητα να καταγράψει αρχεία εικόνας αποθηκεύοντας την οθόνη (διαδικασία “print screen”).

7.3. Προτάσεις

Ως προς το λογισμικό:

Η κύρια πρόταση που θα μπορούσε να γίνει αφορά στο λογισμικό. Η έκδοση του έγινε το 1998. Το λογισμικό στο οποίο είχε σχεδιαστεί να λειτουργεί είναι τα Microsoft Windows 1998 ή 2000. Συνεπώς κρίνεται ως απαραίτητη η ενημέρωσή του για να είναι απόλυτα συμβατό με την τρέχουσα τεχνολογία. Επίσης είναι εμφανής η απαξίωση και ο χρόνος κατά τον οποίο συμβαίνει (περίπου μία δεκαετία ή λιγότερο).

Κάτι ακόμα που παρατηρήθηκε είναι ότι, πέρα από τις ασυμβατότητες με την παρούσα τεχνολογία, μεταγενέστερα όργανα απουσιάζουν από τη λίστα που περιλαμβάνει τον συνεργαζόμενο εξοπλισμό.

Υπενθυμίζεται επίσης πως αναζητήθηκε προγενέστερος φορητός υπολογιστής για λόγους συμβατότητας.

Σχετικά με την επικοινωνία του λογισμικού μια πρόταση που θα μπορούσε να γίνει είναι να υπάρχει δυνατότητα εξαγωγής στοιχείων ή αναφορών σε ευρέως χρησιμοποιούμενους τύπους αρχείων με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται η απρόσκοπτη συνεργασία με τα υπόλοιπα λογισμικά της αγοράς.

Επίσης η απευθείας σύνδεση των οργάνων με τον υπολογιστή μέσω θυρών USB θα βοηθούσε στην αμεσότερη και ευκολότερη υλοποίηση της σύνδεσης και την προσθήκη περισσότερων οργάνων όταν αυτό είναι απαραίτητο στη φάση των εργασιών πεδίου.

Επισημαίνεται πως το λογισμικό για την εποχή του κρίνεται ως επαρκέστατο, δεν έχει ακολουθήσει όμως την εξέλιξη της τεχνολογίας. Επιπροσθέτως ήταν το μόνο διαθέσιμο αυτή τη στιγμή από τη σχολή. Σε αντίστοιχη εφαρμογή κάθε επαγγελματίας θα εξέταζε την αγορά αντίστοιχου λογισμικού βιομηχανικής γεωδαισίας σε σχέση με το κόστος και τις προβλέψεις της κατασκευάστριας εταιρείας για μελλοντικές αναβαθμίσεις.

Ως προς τον εξοπλισμό:

Σχετικά με το σύστημα μετρήσεων βελτιώσεις θα αφορούσαν τη ράβδο κρυφού σημείου. Η ράβδος ήταν κατασκευασμένη από αλουμίνιο, μέταλλο το οποίο φθείρεται εύκολα και επηρεάζεται από τις μεταβολές της θερμοκρασίας. Το μειονέκτημα φαίνεται ότι δεν επηρέασε την ακρίβεια της περιγραφείσας εφαρμογής καθώς έγινε προσεκτική χρήση και το πείραμα είχε μικρή διάρκεια με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν σημαντικές διακυμάνσεις στη θερμοκρασία ή εκτεταμένες φθορές. Η χρήση, αντίθετα, αδιάστατου κράματος, όπως της ράβδου κλίμακας μόνο θετικά αποτελέσματα θα είχε ως προς την ακρίβεια, ενώ για κάποιες εφαρμογές ίσως είναι απόλυτα απαραίτητο. Συγκεκριμένα με ένα τέτοιο κράμα οι μεταβολές της θερμοκρασίας δεν επηρεάζουν το μήκος της ράβδου και η χρήση ειδικής ακίδας μηδενίζει το σφάλμα λόγω φθοράς.

Ένας παράγοντας ακόμα που θα μπορούσε να βοηθήσει ως προς τα σημεία που σε βιομηχανικούς εξοπλισμούς συχνά δεν φαίνονται είναι ένας πιο στιβαρός τρίποδας στήριξης της ράβδου κρυφού σημείου.

Σχετικά με τις εγκαταστάσεις που θα μπορούσαν να φιλοξενήσουν μια τέτοια εφαρμογή. Ο χώρος στάθμευσης και μάλιστα εξωτερικός δεν είναι η βέλτιστη επιλογή. Για καλύτερες ακρίβειες απαιτείται κλειστός χώρος εργαστηρίου όπου το όχημα θα έχει πρόσβαση, με ελεγχόμενες συνθήκες θερμοκρασίας, πίεσης και απουσία ρευμάτων αέρα.

Μια ράμπα για να υπάρχει πρόσβαση στο όχημα από κάτω επίσης θα ήταν απαραίτητη, καθώς θα υπήρχε πρόσβαση στο μεγαλύτερο τμήμα του σκελετού όπως και σε άλλα σημαντικά μέρη ενός οχήματος όπου δεν εξετάστηκαν (π.χ. διαφορικά).

Σε έναν τέτοιο εργαστηριακό χώρο θα μπορούσαν να υπάρχουν υπερυψωμένες θέσης εξαναγκασμένης κέντρωσης των οργάνων σε κορυφές γνωστών συντεταγμένων. Αποτέλεσμα αυτού θα ήταν η πλήρης κάλυψη και μελέτη πέρα από το σκελετό του οχήματος, και του αμαξώματος του για παράδειγμα ή οποιουδήποτε αντικειμένου με μεγάλες διαστάσεις.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Διδακτικές σημειώσεις, Εισαγωγή στη Γεωδαισία
ΕΜΠ 2007
2. Ε. Λιβιεράτος
Εκδόσεις Ζήτη 1992
Θεωρία της Γεωδαισίας
3. Α.Μ. Αγατζά – Μπαλοδήμου
ΕΜΠ 2005
Θεωρία Σφαλμάτων και Συνορθώσεις I
4. Α.Μ. Αγατζά – Μπαλοδήμου
ΕΜΠ 2009
Θεωρία Σφαλμάτων και Συνορθώσεις II
5. Δ. Μπαλοδήμος, Δ. Σταθάς, Ο. Αραμπατζή
ΕΜΠ 2000
Γεωδαισία Δίκτυα-Αποτυπώσεις-Χαράξεις
6. Σημειώσεις Τεχνικής Γεωδαισίας
ΕΜΠ 2005
7. Leica Geosystems
TPS – System 5000 – en
Εγχειρίδιο γεωδαιτικού σταθμού Leica TDA 5005
8. INFOTOP
TPS – System 1000
Ελληνική απόδοση του εγχειριδίου χρήσης γεωδαιτικού σταθμού Leica
TCA 1800
9. Dr. Stephen Kyle
Leica Geosystems 2000
Axyz Theodolites Modules: Software Reference Manual, Hardware
Installation Manual
10. Α. Σόφης
ΕΜΠ 2008
Διπλωματική εργασία: «Γεωμετρική τεκμηρίωση νομέων Υ/Β με
μεθόδους βιομηχανικής γεωδαισίας»
11. Φ. Χαρίσης
ΕΜΠ 2010
Διπλωματική εργασία: «Γεωμετρικός έλεγχος ναυπηγικών γραμμών
σκαφών με χρήση συμβατικών γεωδαιτικών γεωδαιτικών μεθόδων και
επίγειου σαρωτή Laser»

12. Γκουντινάκος Γ.
ΕΜΠ 2004
Διπλωματική εργασία: «Ο Γεωδαιτικός σταθμός Leica TDA 5005 –
Εργαστηριακοί έλεγχοι – Συνδυασμένη χρήση με το λογισμικό
Βιομηχανικής Γεωδαισίας Axyz»
13. <http://www.metrica.gr>
14. www.leica-geosystems.com
15. www.geometriki.com