





## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την κ. Μαρία Τσακίρη, Επίκουρη Καθηγήτρια της ΣΑΤΜ και τον κ. Κωνσταντίνο Αντωνίου, Επίκουρο καθηγητή της ΣΑΤΜ για την πολύτιμη καθοδήγησή τους κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Επίσης θέλω να ευχαριστήσω τους ΙΔΑΧ και υποψήφιους διδάκτορες ΕΜΠ κ. Γ. Πηνιώτη, κ. Δ. Τσίνη και κ. Σ. Ταπεινάκη για τη βοήθεια και τις συμβουλές τους.

Ακόμα ευχαριστώ θερμά τη συμφοιτήριά μου Σταθοπούλου Έλλη για τις συμβουλές και τις πληροφορίες που μου παρείχε κατά την επεξεργασία των δεδομένων

Τέλος, ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω να δώσω στους φίλους και συμφοιτητές μου Γιαννακάκη Γιώργο, Θεοφιλοπούλου Φωτεινή και Σκριμιζέα Ειρήνη για την βοήθειά τους κατά την συλλογή των δεδομένων καθώς και για την διαρκή υποστήριξη.



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι κόμβοι αποτελούν τις κυκλοφοριακές επιφάνειες που είναι υπεύθυνες για την συγκέντρωση και διανομή των κυκλοφοριακών ρευμάτων. Ως εκ τούτου χαρακτηρίζονται από τη συσσώρευση της κυκλοφορίας με αποτέλεσμα η ασφάλεια στο περιβάλλον τους να αποτελεί ένα ιδιαίτερο σημαντικό ζήτημα. Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση της χρήσης επίγειου σαρωτή laser τόσο στην αποτύπωση οδικών κόμβων, όσο και στη μελέτη συγκεκριμένων προβλημάτων που σχετίζονται με την οδική ασφάλεια, όπως η επισκόπηση της επιφάνειας του οδοστρώματος και η μελέτη ορατότητας.

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας έγινε επιλογή δύο κόμβων με διαφορετικά λειτουργικά χαρακτηριστικά. Συγκεκριμένα επιλέχθηκε ένας αστικός και ένας υπεραστικός οδικός κόμβος. Η χρήση επίγειου σαρωτή οδήγησε στη συλλογή τρισδιάστατης πληροφορίας με ταχύτητα και μεγάλη λεπτομέρεια. Με βάση τα δεδομένα που συλλέχθηκαν, δημιουργήθηκαν τα αντίστοιχα μοντέλα επιφάνειας. Στη συνέχεια, τα μοντέλα εισήχθησαν στο περιβάλλον του λογισμικού Autocad για την παραγωγή δισδιάστατων σχεδίων.

Τα προβλήματα που αναλύθηκαν είναι οι φθορές των οδοστρωμάτων και η ορατότητα αναχώρησης από δευτερεύουσα οδό. Μέσω της παραγωγής μοντέλου επιφάνειας εντοπίστηκαν και επισημάνθηκαν με σαφήνεια όλες οι αλλοιώσεις στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Παράλληλα, παρουσιάστηκε αναλυτικά με εικόνες και σχέδια η ορατότητα κατά την αναχώρηση από δευτερεύουσα οδό. Τα αποτελέσματα κατέδειξαν πως ο αστικός κόμβος παρουσιάζει σημαντικά προβλήματα σε σχέση με την ποιότητα του οδοστρώματος αλλά και την ορατότητα στο περιβάλλον του όσον αφορά στα επιβατικά οχήματα. Αντίθετα αποδείχθηκε ότι ο υπεραστικός κόμβος πληροί τις προϋποθέσεις οδικής ασφάλειας που μελετήθηκαν.



## **SYNOPSIS**

Road intersections are responsible for gathering and distributing traffic flows. The accumulation of traffic results in many safety issues that need to be studied. Most of these issues prior to their individual study require detailed mapping of the intersections. The main aim of this project thesis is to investigate the use of terrestrial laser scanning technology in intersection mapping. Along with the detailed mapping, certain problems that are linked with road safety will be studied, specifically, intersection sight distances and the ability to locate surface damages from the obtained 3D model.

Two intersections with different operational characteristics were chosen; an urban and an interurban intersection. From the collected terrestrial laser scanner data ,the surface models were created which then were inputted in a design package such as autocad software for the production of 2D maps.

The problems that were further studied from the created model were the deterioration of paving and the intersection sight distance from minor roads. All the damages on the road surface were detected and identified through the production of the surface models. Moreover, the intersection sight triangles from minor road were presented in detail, via images and maps. The results showed that the urban intersections has significant problems concerning the quality of the surface as well as the intersection sight distance regarding the passenger vehicles whereas the interurban intersection fulfills the safety conditions.





## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

### Περίληψη

### Synopsis

<b>Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή.....</b>	<b>1</b>
1.1. Οδική ασφάλεια και αποτύπωση κόμβων.....	1
1.2. Σκοπός της Διπλωματικής εργασίας.....	2
1.3. Η δομή της Διπλωματικής εργασίας.....	3
<b>Κεφάλαιο 2. Προβλήματα οδικών κόμβων και μέθοδοι εντοπισμού τους</b>	<b>5</b>
2.1. Εισαγωγή.....	5
2.2. Οδικοί κόμβοι- Μελέτη ορατότητας και φθορά οδοστρώματος.....	6
2.2.1. Οδικός κόμβος.....	6
2.2.2. Μελέτη ορατότητας σε περιβάλλον κόμβου.....	7
2.2.3. Φθορά οδοστρώματος.....	10
2.3. Μέθοδοι αποτύπωσης κόμβου.....	11
2.3.1. Αποτύπωση με χρήση ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών.....	12
2.3.2. Αποτύπωση με χρήση φωτογραμμετρικών μεθόδων.....	12
2.3.3. Αποτύπωση με χρήση της τεχνολογίας Laser και GPS.....	13
2.4. Μέθοδοι εντοπισμού φθοράς οδοστρώματος.....	14
2.4.1. Χειρωνακτικές μέθοδοι.....	15
2.4.2. Αυτοματοποιημένες μέθοδοι.....	16
2.5. Μέθοδος αποτύπωσης με χρήση επίγειου σαρωτή.....	20
2.5.1. Τεχνική σάρωσης με ακτίνες laser.....	20
2.5.2. Μέθοδοι σάρωσης.....	21
2.5.3. Τεχνικά χαρακτηριστικά σάρωσης με χρήση επίγειου σαρωτή.....	24
<b>Κεφάλαιο 3. Συλλογή δεδομένων.....</b>	<b>29</b>
3.1. Επιλογή οδικών κόμβων.....	29
3.1.1. Αστικός κόμβος.....	30
3.1.2. Υπεραστικός κόμβος.....	32
3.2. Ίδρυση τοπικού δικτύου οριζόντιου και κατακόρυφου ελέγχου.....	35
3.2.1. Αναγνώριση περιοχής- Τοποθέτηση κορυφών όδευσης.....	35
3.2.2. Εκτέλεση των μετρήσεων.....	38
3.3. Συλλογή δεδομένων σάρωσης.....	40

3.3.1. Επίγειος σαρωτής Leica Scanstation 2.....	40
3.3.2. Διαδικασία σάρωσης.....	43
3.3.3. Σάρωση αστικού κόμβου.....	45
3.3.4. Σάρωση υπεραστικού κόμβου.....	47
3.3.5. Συνολική χρονική διάρκεια.....	49
3.4. Αποτύπωση με χρήση γεωδαιτικού σταθμού.....	49
<b>Κεφάλαιο 4. Επεξεργασία Δεδομένων- Αποτελέσματα.....</b>	<b>53</b>
4.1. Εισαγωγή.....	53
4.2. Επίλυση όδευσης.....	53
4.3. Συνένωση νεφών σημείων και απαλοιφή θορύβου.....	54
4.3.1. Διαδικασία συνένωσης.....	54
4.3.2. Συνένωση σαρώσεων αστικού κόμβου.....	55
4.3.3. Συνένωση σαρώσεων υπεραστικού κόμβου.....	60
4.3.4. Απαλοιφή θορύβου.....	61
4.4. Μοντελοποίηση νεφών σημείου.....	62
4.4.1. Δημιουργία ψηφιακού μοντέλου επιφάνειας.....	63
4.5. Διερεύνηση φθορών οδοστρώματος.....	71
4.6. Μελέτη ορατότητας.....	76
4.7. Συμπεράσματα.....	81
<b>Κεφάλαιο 5. Συμπεράσματα- Προτάσεις.....</b>	<b>83</b>
5.1. Συμπεράσματα.....	83
5.2. Προτάσεις.....	87

## **Βιβλιογραφία**

## **Παράρτημα**

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1: Χρονικό χάσμα για δεξιά στροφή και διέλευση από δευτερεύουσα οδό...	9
Πίνακας 2.2: Χρονικό χάσμα για αριστερή στροφή από δευτερεύουσα οδό.....	10
Πίνακας 3.1: Χαρακτηριστικά σαρωτή Leica Scanstation 2.....	42
Πίνακας 3.2: Χαρακτηριστικά σαρώσεων σε αστικό και υπεραστικό κόμβο.....	49
Πίνακας 4.1: Συντεταγμένες κορυφών οδεύσεων.....	54

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΧΑΡΤΩΝ

Χάρτης 1: Σαρώσεις σε αστικό κόμβο.....	48
Χάρτης 2: Σαρώσεις σε υπεραστικό κόμβο.....	48
Χάρτης 3: Τρίγωνο ορατότητας δεξιάς στροφής σε αστικό κόμβο.....	78
Χάρτης 4: Τρίγωνο ορατότητας διέλευσης σε αστικό κόμβο .....	78
Χάρτης 5: Τρίγωνο ορατότητας δεξιάς στροφής σε υπεραστικό κόμβο .....	80
Χάρτης 6: Τρίγωνα ορατότητας διέλευσης σε υπεραστικό κόμβο.....	80
Χάρτης 7: Τρίγωνα ορατότητας διέλευσης σε υπεραστικό κόμβο .....	80

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1: Τρίγωνα ορατότητας αναχώρησης.....	8
Σχήμα 2.2: Διάταξη σάρωσης με τη μέθοδο του τριγωνισμού.....	23
Σχήμα 3.1: Σκαρίφημα ανεξάρτητης κλειστής όδευσης σε αστικό κόμβο.....	36
Σχήμα 3.2: Σκαρίφημα ανεξάρτητης κλειστής όδευσης σε υπεραστικό κόμβο.....	37
Σχήμα 3.3: Διάταξη λειτουργίας επίγειου σαρωτή.....	41

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1: Ανισόπεδος κόμβος.....	6
Εικόνα 2.2: Λακούβες και ρηγματώσεις στο οδόστρωμα.....	11
Εικόνα 2.3: Αυλάκωση οδοστρώματος.....	11
Όχημα με ενσωματωμένο σύστημα Laser σάρωσης και δορυφορικού εντοπισμού.....	13
Εικόνα 2.5: Χειρονακτική μέτρηση αυλακώσεως.....	15
Εικόνα 2.6: Ορθοφωτογραφία και περίγραμμα λακούβας σε ψηφιακό φωτογραμμετικό λογισμικό.....	18
Εικόνα 2.7: Υπερηχητικοί αισθητήρες και laser σημείου.....	19
Εικόνα 2.8: Τμήμα οδοστρώματος που έχει ληφθεί με υπέρυθρη κάμερα.....	20
Εικόνα 2.9: Αποτέλεσμα σάρωσης σήραγγας με χρήση επίγειου σαρωτή.....	21

Εικόνα 3.1: Χωροθέτηση επιλεχθέντος αστικού κόμβου.....	30
Εικόνα 3.2: Ορθοφωτογραφία της περιοχής του αστικού κόμβου σε κλίμακα 1:1000...	31
Εικόνα 3.3: Φθορές οδοστρώματος.....	32
Εικόνα 3.4: Χωροθέτηση επιλεχθέντος υπεραστικού κόμβου.....	33
Εικόνα 3.5: Ορθοφωτογραφία της περιοχής του υπεραστικού κόμβου σε κλίμακα 1:1000.....	34
Εικόνα 3.6: Μεγάλη κατά μήκος ανωφερής κλίση επί της οδού Ερχείας.....	34
Εικόνα 3.7: Χρωματική επισήμανση κορυφής όδευσης.....	38
Εικόνα 3.8: Ρομποτικός γεωδαιτικός σταθμός Topcon IS.....	38
Εικόνα 3.9: Ίδρυση όδευσης με χρήση του γεωδαιτικού σταθμού Topcon IS 203.....	39
Εικόνα 3.10: Επίγειος σαρωτής Leica Scanstation 2 .....	41
Εικόνα 3.11: Σύνδεση σαρωτή με ηλεκτρονικό υπολογιστή για μέτρηση στο πεδίο.....	44
Εικόνα 3.12: Ειδικοί στόχοι- σφαίρες σε διαδικασία σάρωσης σε αστικό κόμβο.....	45
Εικόνα 3.13: Διαδικασία σάρωσης σε αστικό κόμβο.....	46
Εικόνα 3.14: Πραγματοποίηση δεύτερης σάρωσης σε υπεραστικό κόμβο.....	48
Εικόνα 4.1:Συνένωση νεφών σημείων.....	56
Εικόνα 4.2: Ομόλογα σημεία επί σταθμευμένου οχήματος.....	57
Εικόνα 4.3: Πίνακας παραμέτρων διαδικασίας συνένωσης.....	58
Εικόνα 4.4: Τελικό νέφος αποτύπωση αστικού κόμβου.....	59
Εικόνα 4.5: Πίνακας παραμέτρων δεύτερης συνένωσης αστικού κόμβου.....	59
Εικόνα 4.6: Νέφος σημείων με σάρωση από την κορυφή Σ3.....	61
Εικόνα 4.7: Θόρυβος στις μετρήσεις εξαιτίας διερχόμενων οχημάτων.....	62
Εικόνα 4.8: Άποψη νέφους σημείων υπεραστικού κόμβου στο περιβάλλον του Geomagic.....	63
Εικόνα 4.9: Κενά στην πληροφορία από τη σάρωση του αστικού κόμβου.....	65
Εικόνα 4.10: Κενά στη μοντελοποιημένη επιφάνεια.....	66
Εικόνα 4.11: Λάθος σχηματισμένο τρίγωνο στην επιφάνεια του οδοστρώματος.....	67
Εικόνα 4.12: Λανθασμένος σχηματισμός της επιφάνειας του αυτοκινήτου.....	68
Εικόνα 4.13: Άποψη τελικής μοντελοποιημένης επιφάνειας.....	69
Εικόνα 4.14: Αρχική εικόνα μοντέλου υπεραστικού κόμβου.....	70
Εικόνα 4.15: Τελικό μοντέλο νέφους υπεραστικού κόμβου.....	71
Εικόνα 4.16:Ρηγματώσεις στη συμβολή των δύο οδών.....	72
Εικόνα 4.17: Έντονη διάβρωση οδοστρώματος.....	72
Εικόνα 4.18: Καθίζηση οδοστρώματος.....	73
Εικόνα 4.19: Αλλοίωση οδοστρώματος.....	74
Εικόνα 4.20: Ρηγματώσεις στο οδόστρωμα του υπεραστικού κόμβου.....	74
Εικόνα 4.21: Ισοϋψείς καμπύλες στην επιφάνεια του οδοστρώματος του αστικού κόμβου.....	75

Εικόνα 4.22: Τρίγωνο ορατότητας για δεξιά στροφή από δευτερεύουσα οδό στο περιβάλλον του λογισμικού Geomagic.....	78
Εικόνα 4.23: Τρίγωνο ορατότητας για διέλευση από δευτερεύουσα οδό στο περιβάλλον του λογισμικού Geomagic.....	78
Εικόνα 4.24: Τρίγωνο ορατότητας για δεξιά στροφή από δευτερεύουσα οδό στο περιβάλλον του λογισμικού Geomagic.....	80
Εικόνα 4.25: Τρίγωνο ορατότητας για αριστερή στροφή από δευτερεύουσα οδό στο περιβάλλον του λογισμικού Geomagic.....	80
Εικόνα 4.26: Τρίγωνα ορατότητας για διέλευση από δευτερεύουσα οδό στο περιβάλλον του λογισμικού Geomagic.....	81

**Συνοδευτικό Υλικό:**

Επισυνάπτεται CD που περιλαμβάνει το κείμενο της Διπλωματικής Εργασίας σε ηλεκτρονική μορφή καθώς και τους χάρτες που δημιουργήθηκαν για τις ανάγκες της εργασίας σε μορφή AutoCad.



## **Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή**

### **1.1 Οδική ασφάλεια και αποτύπωση κόμβων**

Η οδική ασφάλεια αποτελεί ένα θέμα μείζονος σημασίας με σοβαρές επιπτώσεις στην οικονομική και κοινωνική ζωή. Ειδικά τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια διαρκώς αυξανόμενη ζήτηση για μετακινήσεις που διαμορφώνεται από τον σύγχρονο τρόπο ζωής. Η αυξημένη ζήτηση έχει οδηγήσει στον πολλαπλασιασμό των θυμάτων από τροχαία ατυχήματα στη χώρα μας μετατρέποντας την ασφάλεια του οδικού δικτύου σε σημαντικό κοινωνικό ζήτημα. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι το 2010 οι θανόντες από τροχαία ατυχήματα ανέρχονταν σε 1280.

Η μείωση τέτοιων φαινομένων εξαρτάται από τα μέτρα που λαμβάνονται τα οποία έχουν κατά βάση δύο κατευθύνσεις. Η πρώτη κατεύθυνση αφορά στους χρήστες του οδικού δικτύου. Γίνεται προσπάθεια για την εκπαίδευση και κατάρτιση των οδηγών καθώς και την ευαισθητοποίησή τους σε θέματα οδικής ασφάλειας. Η δεύτερη κατεύθυνση έχει να κάνει με την βελτίωση της ποιότητας του οδικού δικτύου. Η ανάγκη για αύξηση των δεικτών ασφάλειας στο οδικό δίκτυο της χώρας απαιτεί την ύπαρξη άριστων υποδομών. Συνακόλουθα, καθίσταται ιδιαίτερος σημαντική η γνώση της κατάστασης του οδικού δικτύου και συγκεκριμένα των κόμβων που αποτελούν τις κυκλοφοριακές επιφάνειες στις οποίες συσσωρεύεται η κυκλοφορία. Η γνώση αυτή αποκτάται μέσω αποτύπωσης των κόμβων.

Κατά την πραγματοποίηση επίγειων αποτυπώσεων χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι και τεχνικές. Η πιο συχνή μέθοδος αφορά στη χρήση ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών με τη δημιουργία οδεύσεων οι οποίες εξαρτώνται από τριγωνομετρικά σημεία ή συνδέονται με το κρατικό σύστημα μέσω δεκτών GPS. Ακόμα, χρησιμοποιούνται φωτογραμμετρικές τεχνικές που βασίζονται στη λήψη φωτογραφιών σε έναν οδικό άξονα ή έναν κόμβο και στη μέτρηση πάνω σε αυτές. Τέλος χρησιμοποιείται η τεχνολογία laser μέσω σαρωτών σε ειδικά διαμορφωμένα οχήματα ή και επίγειων.

Ειδικότερα για τον εντοπισμό αλλοιώσεων στο οδόστρωμα χρησιμοποιούνται παρόμοιες αυτοματοποιημένες μέθοδοι που έχουν αντικαταστήσει τις χειρωνακτικές τεχνικές του παρελθόντος. Πρόσφατες ανακαλύψεις σε αυτόν τον τομέα αποτελούν οι

ενσωματωμένοι σε οχήματα υπερηχητικοί αισθητήρες και η χρήση υπέρυθρης ακτινοβολίας.

Η μέθοδος σάρωσης laser με χρήση επίγειου σαρωτή είναι αυτή που επιλέχθηκε για την αποτύπωση των επιλεγμένων οδικών κόμβων. Αποτελώντας μια μέθοδο συλλογής δεδομένων από απόσταση η σάρωση laser βασίζεται στην αποστολή και λήψη ακτίνων laser. Ένας μεγάλος αριθμός ακτίνων εξαπολύεται από τον σαρωτή, προσπίπτει στο αντικείμενο και καταγράφεται. Η μέθοδος χρησιμοποιείται ευρέως τα τελευταία χρόνια για την τρισδιάστατη ψηφιακή αποτύπωση αντικειμένων και περιοχών σε πληθώρα εφαρμογών.

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου περιλαμβάνουν την υψηλή ταχύτητα λήψης δεδομένων και την αποτελεσματικότητα στην αποτύπωση πολύπλοκων επιφανειών. Ειδικότερα σε περιβάλλον οδικών κόμβων η χρήση της μεθόδου δεν απαιτεί τη διακοπή της κυκλοφορίας ειδικά αν ο κόμβος βρίσκεται σε δίκτυο ταχείας κυκλοφορίας. Επιπλέον, ο χρήστης λαμβάνει τρισδιάστατη πληροφορία η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα για την παραγωγή ψηφιακών μοντέλων χρήσιμων σε μεγάλη ποικιλία εφαρμογών.

## **1.2 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας**

Ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση της χρήσης γεωδαιτικών τεχνικών και της τεχνολογίας της επίγειας σάρωσης laser στην αποτύπωση οδικών κόμβων για τον εντοπισμό προβλημάτων που αφορούν στην οδική ασφάλεια. Τα προβλήματα που ερευνώνται είναι οι φθορές στην επιφάνεια των οδοστρωμάτων και η ορατότητα αναχώρησης από δευτερεύων οδικό άξονα. Η μελέτη διεξήχθη σε 2 διαφορετικούς οδικούς κόμβους με βασικό κριτήριο διαφοροποίησης τον λειτουργικό χαρακτήρα.

Στην παρούσα εργασία, πρωταρχικό ζήτημα ήταν η εύρεση των κατάλληλων οδικών κόμβων για να πραγματοποιηθεί η μελέτη. Η επιλογή των κόμβων έγινε με κριτήριο την παρατήρηση σχετικών με το θέμα προβλημάτων οδικής ασφάλειας. Ακολούθησε η σάρωση τους με σκοπό τη λήψη όλων των απαραίτητων δεδομένων που θα χρειαστούν για την επισκόπηση της ποιότητας του οδοστρώματος και την ανάλυση ορατότητας. Στη συνέχεια, δημιουργήθηκαν τα ψηφιακά μοντέλα



επιφάνειας για κάθε κόμβο ώστε να εντοπιστούν τυχόν αλλοιώσεις των οδοστρωμάτων. Τα μοντέλα αυτά σε συνδυασμό με τα σχέδια που παρήχθησαν, αποτέλεσαν ένα ολοκληρωμένο προϊόν για την τεκμηρίωση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης ορατότητας. Οι επιμέρους στόχοι και τα αποτελέσματα της εργασίας είναι συνοπτικά τα εξής:

➤ **Επιμέρους στόχοι**

- Χρήση επίγειου σαρωτή σε κόμβους με διαφορετικό λειτουργικό χαρακτήρα.
- Σύγκριση λογισμικών για την επεξεργασία δεδομένων σάρωσης.
- Αξιολόγηση του μεγέθους των αστοχιών στην επιφάνεια του οδοστρώματος.
- Διερεύνηση των εμποδίων στο οπτικό πεδίο του οδηγού.

➤ **Αποτελέσματα**

- Πραγματοποίηση σάρωσης σε αστικό και σε υπεραστικό κόμβο.
- Παραγωγή τρισδιάστατων μοντέλων για κάθε κόμβο.
- Δημιουργία διαγράμματος ισοϋψών καμπύλων στην επιφάνεια του οδοστρώματος.
- Παραγωγή τριγώνων ορατότητας σε οριζοντιογραφία και στο ύψος του οπτικού πεδίου του οδηγού.

### 1.3 Δομή της διπλωματικής εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει δομηθεί ως εξής:

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στα θέματα στα οποία επικεντρώθηκε η διπλωματική εργασία, παρουσιάζεται το αντικείμενο μελέτης και προσδιορίζεται το πλαίσιο των ενεργειών για την εκπόνησή της.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφονται τα δύο προβλήματα σε οδικούς κόμβους που επεξεργάζεται η παρούσα διπλωματική εργασία. Παράλληλα γίνεται αναφορά σε μεθοδολογίες για την τοπογραφική αποτύπωση οδικών κόμβων και για τον εντοπισμό

φθορών στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Αναλύεται, τέλος, η μέθοδος σάρωσης laser με χρήση επίγειου σαρωτή.

Στο τρίτο κεφάλαιο της εργασίας γίνεται πλήρης περιγραφή των εργασιών που έλαβαν χώρα στο πεδίο με σκοπό την συλλογή των απαραίτητων δεδομένων. Οι εργασίες πεδίου περιελάμβαναν την επιλογή των κατάλληλων κόμβων, την ίδρυση τοπικού γεωδαιτικού δικτύου οριζοντίου και κατακόρυφου ελέγχου, τη συλλογή των δεδομένων σάρωσης και την αποτύπωση με χρήση ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύονται όλες οι διαδικασίες που ακολουθήθηκαν για την επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων καθώς και τα αποτελέσματα που εξήχθησαν. Τα στάδια της επεξεργασίας αποτελούνταν από την επίλυση των οδεύσεων, τη συνένωση των νεφών σημείων στο περιβάλλον του λογισμικού Cyclone, τη μοντελοποίηση των τελικών νεφών στο περιβάλλον του λογισμικού Geomagic, τον εντοπισμό φθορών στην επιφάνεια του οδοστρώματος και την μελέτη ορατότητας.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αναλύονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εκτέλεση των εργασιών και την επεξεργασία των δεδομένων. Παράλληλα δίνονται προτάσεις για την συνέχιση της εργασίας και την πραγματοποίηση παρεμφερών μελετών.

Τέλος, στο παράρτημα παρουσιάζονται όλοι οι υπολογισμοί που διεξήχθησαν για την επίλυση των δικτύων ελέγχου στο ύπαιθρο και την εύρεση των συντεταγμένων των σημείων της αποτύπωσης.

## **Κεφάλαιο 2: Προβλήματα οδικών κόμβων και μέθοδοι εντοπισμού τους**

### **2.1 Εισαγωγή**

Η τοπογραφική αποτύπωση οδικών κόμβων καθίσταται σήμερα ιδιαίτερα σημαντική, καθώς αυξάνεται όλο και περισσότερο ο αριθμός των χρηστών που διέρχονται καθημερινά από αυτούς. Μια τέτοια αποτύπωση παρέχει στοιχεία για τη γεωμετρία των κόμβων, αλλά και τη μελέτη ορατότητας, συμβάλλοντας στην ασφαλέστερη διέλευση των χρηστών. Η ανάγκη αυτή, για τη σαφή και ολοκληρωμένη γνώση της γεωμετρίας των κόμβων, έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη διαφόρων μεθόδων και τεχνικών.

Επιπλέον, ένα δεύτερο στοιχείο που καθορίζει σημαντικά την οδική ασφάλεια σε περιβάλλον κόμβου, είναι η ποιότητα των οδοστρωμάτων. Ο εντοπισμός φθορών στο οδόστρωμα γινόταν με χρήση χειρωνακτικών μεθόδων από ειδικά εκπαιδευμένους μηχανικούς. Τα τελευταία χρόνια όμως, αναπτύσσεται πληθώρα τεχνικών, με σκοπό τον αυτόματο εντοπισμό κάθε είδους αστοχίας και την λεπτομερή επεξεργασία της σε πολύπλοκα ψηφιακά προγράμματα.

Στο παρόν κεφάλαιο, δίνεται ο ορισμός του οδικού κόμβου, περιγράφονται οι συνηθέστεροι τύποι φθορών που υφίσταται το οδόστρωμα και αναλύεται μια μεθοδολογία για την μελέτη ορατότητας σε περιβάλλον κόμβου. Παράλληλα, γίνεται αναφορά στις σημαντικότερες μεθόδους, μέσω των οποίων γίνεται γεωμετρική αποτύπωση οδικών κόμβων και περιγράφονται συστήματα για την παρακολούθηση της ποιότητας των οδοστρωμάτων. Παρατηρείται ότι ακόμα και σήμερα χρησιμοποιούνται αρκετά απλουστευμένες μεθοδολογίες οι οποίες όμως αντικαθίστανται από περισσότερο πολύπλοκες, κατά τις οποίες γίνεται χρήση ψηφιακών οργάνων και προγραμμάτων υψηλών δυνατοτήτων. Μια τέτοια μεθοδολογία αποτελεί η τεχνολογία σάρωσης laser με χρήση επίγειου σαρωτή, για την οποία γίνεται εκτενής αναφορά, δεδομένου ότι αποτελεί η χρήση του το κύριο αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας.

## 2.2 Οδικοί κόμβοι – Μελέτη ορατότητας και φθορά οδοστρώματος

### 2.2.1 Οδικός κόμβος

Κόμβοι είναι οι κυκλοφοριακές επιφάνειες που χρησιμοποιούνται από κυκλοφοριακά ρεύματα και που είναι απαραίτητες για τη συγκέντρωση και τη διανομή των κατευθύνσεων που πρέπει να εξυπηρετηθούν ταυτόχρονα από μία οδό.

Διακρίνονται (Κανελλαΐδης κ.α., 2005) βασικά σε 2 τύπους :

#### 1) Ισόπεδοι κόμβοι

Ισόπεδοι κόμβοι είναι οι περιοχές που συνδέονται ισόπεδα δύο ή περισσότερες οδοί περιλαμβανομένων των διαμορφώσεων – εξοπλισμού των οδών και του παρόδιου χώρου για την εξυπηρέτηση της κυκλοφορίας

#### 2) Ανισόπεδοι κόμβοι

Ανισόπεδοι κόμβοι (Εικόνα 2.1) είναι οι περιοχές που συνδέονται ανισόπεδα δύο ή περισσότερες οδοί περιλαμβανομένων των έργων υψομετρικού διαχωρισμού, των οδικών κλάδων σύνδεσης (ράμπες) και των διαμορφώσεων – εξοπλισμού των οδών και του παρόδιου χώρου για την εξυπηρέτηση της κυκλοφορίας.



**Εικόνα 2.1** : Ανισόπεδος κόμβος (Πηγή : <http://www.tovima.gr/>)

Αποτέλεσμα της συγκεντρώσεως των κυκλοφοριακών ρευμάτων είναι το μεγάλο ποσοστό ατυχημάτων στην περιοχή των κόμβων, όπως και η συσσώρευση της κυκλοφορίας και η απώλεια χρόνου.

Βασικά κάθε κόμβος πρέπει να καλύπτει τις παρακάτω απαιτήσεις :

- 1) Καλή ροή κυκλοφορίας, που να προσαρμόζεται με την κυκλοφορία της υπόλοιπης οδού.
- 2) Μεγάλη ασφάλεια που θα επιτυγχάνεται με διαχωρισμό των ρευμάτων κυκλοφορίας με φωτεινή σηματοδότηση, νησίδες ή διαχωρισμό κατά επίπεδα.
- 3) Μεγάλη κυκλοφοριακή ικανότητα.
- 4) Αποδεκτό κατασκευαστικό κόστος.

Στο περιβάλλον ενός κόμβου εμφανίζονται πολλών ειδών προβλήματα, που επηρεάζουν ουσιαστικά την οδική ασφάλεια. Τα προβλήματα, που θα αναλυθούν στην παρούσα εργασία είναι η ορατότητα σε κόμβο και οι φθορές στην επιφάνεια του οδοστρώματος.

### **2.2.2 Μελέτη Ορατότητας σε περιβάλλον κόμβου**

Κατά την κατασκευή ενός κόμβου, πρέπει να υπάρχει μέριμνα για την ασφάλεια της κίνησης σε αυτόν. Σημαντικό ρόλο στην ασφάλεια της κίνησης σε έναν κόμβο παίζει η ορατότητα. Η ορατότητα σε έναν οδικό κόμβο πρέπει να είναι τέτοια, ώστε ο οδηγός που πλησιάζει σε μια ισόπεδη διασταύρωση να έχει ανεμπόδιστη θέα όλης της περιοχής του κόμβου, ώστε να μπορεί να ελέγξει το όχημά του σε περίπτωση εμποδίου. Η ανεμπόδιστη θέα επεκτείνεται, όχι μόνο κατά μήκος των οδών που διασταυρώνονται, αλλά και μέσα στην γωνία που σχηματίζουν οι διασταυρώσεις σε αρκετή απόσταση, έτσι ώστε να επιτρέπεται στους οδηγούς που πλησιάζουν, να δουν ο ένας τον άλλον και να αποφύγουν την σύγκρουση. Οι σχέσεις μεταξύ του χώρου, χρόνου και ταχύτητας ορίζουν ένα ελάχιστο τρίγωνο ορατότητας, που χρειάζεται για ανεμπόδιστη θέα (Κοφίτσας, 1986). Όλα τα εμπόδια μέσα στο τρίγωνο ορατότητας, που ενδέχεται να εμποδίζουν το οπτικό πεδίο του οδηγού πρέπει να αφαιρούνται. Τα δύο είδη τριγώνου ορατότητας, που λαμβάνονται υπ' όψιν κατά το σχεδιασμό ενός κόμβου, είναι το τρίγωνο ορατότητας προσέγγισης και το τρίγωνο ορατότητας αναχώρησης (Easa , 2003). Στην παρούσα εργασία θα μελετηθεί το τρίγωνο ορατότητας αναχώρησης, καθώς το τρίγωνο ορατότητας προσέγγισης δεν υφίσταται, εφόσον στον κόμβο υπάρχει σήμανση για υποχρεωτική διακοπή πορείας.

Για τα τρίγωνα ορατότητας αναχώρησης, ένα τρίγωνο το οποίο δεν διαθέτει εμπόδια προσδίδει μια επαρκή απόσταση θέασης για τον οδηγό, που έχει σταματήσει επί του δευτερεύοντος δρόμου και ετοιμάζεται να εισέλθει ή να διασχίσει τον πρωτεύοντα δρόμο. Οι διαστάσεις του τριγώνου ορατότητας προτείνονται από την AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) και βασίζονται σε παραδοχές, που προήλθαν από παρατήρηση στο πεδίο. Στο Σχ. 2.1 παρουσιάζονται τυπικά τρίγωνα ορατότητας αναχώρησης προς τα αριστερά και προς τα δεξιά για σταματημένα αυτοκίνητα σε δευτερεύουσα οδό. Οι παράμετροι  $a$  και  $b$  που αναφέρονται στο σχήμα περιγράφονται παρακάτω.



**Σχήμα 2.1 :** Τρίγωνα ορατότητας αναχώρησης ( Πηγή : Easa, 2003)

#### ➤ Υπολογισμός πλευρών τριγώνου ορατότητας

Το τρίγωνο ορατότητας εδραιώνεται λαμβάνοντας ως ύψος οφθαλμού του οδηγού αλλά και ύψος επιβατικού οχήματος τα 3,5 πόδια ή 1,08 μέτρα σύμφωνα με τις νέες παραδοχές της AASHTO (2001). Για να γίνει ο πλήρης σχεδιασμός πρέπει να υπολογιστούν οι δύο διαστάσεις κατά μήκος της δευτερεύουσας και της πρωτεύουσας οδού,  $a$  και  $b$  αντίστοιχα ( Easa, 2003).

Το μήκος  $a$  υπολογίζεται από το άθροισμα των παρακάτω αποστάσεων : (1) απόσταση από τον οφθαλμό του οδηγού μέχρι το μπροστινό όριο του αυτοκινήτου ( 2,44 m για επιβατικά οχήματα), (2) απόσταση από το μπροστινό όριο του οχήματος μέχρι τα όρια της πρωτεύουσας οδού ( 2,00 m), (3) απόσταση από τα όρια της πρωτεύουσας οδού μέχρι τον άξονα επί του οποίου κινείται ένα όχημα το οποίο

διασχίζει την πρωτεύουσα οδό ( 0,5 x πλάτος λωρίδας για την δεξιά στροφή και 1,5 x πλάτος λωρίδας για την αριστερή στροφή)

Το μήκος b υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο :

$$ISD = 0,278 * V_{major} * t_g \quad (2.1)$$

Όπου : ISD, το μήκος της πλευράς του τριγώνου επί της πρωτεύουσας οδού (m)

$V_{major}$ , η ταχύτητα σχεδιασμού της πρωτεύουσας οδού (km/h)

$t_g$ , το χρονικό χάσμα ώστε το όχημα που κινείται επί της δευτερεύουσας οδού να εισέλθει στη πρωτεύουσα. (sec)

Οι τιμές που λαμβάνονται για το χρονικό χάσμα (AASHTO του 2001) φαίνονται στους παρακάτω πίνακες.

Τύπος οχήματος	Χρόνος διαδρομής(sec) με βάση την ταχύτητα σχεδιασμού της πρωτεύουσας οδού
Επιβατικό όχημα	6.5sec
Φορτηγό	8.5sec
Φορτηγό με ρυμουλκούμενο	10.5sec

Πίνακας 2.1 : Χρονικό χάσμα για δεξιά στροφή και διέλευση από δευτερεύουσα οδό  
( Πηγή : The Kiewit Center for Infrastructure and Transportation, 2005)

\* Τυπικές συνθήκες :

Αυτοκινητόδρομοι 2 λωρίδων κυκλοφορίας χωρίς νησίδα και με κατά μήκος κλίσεις  $\leq 3\%$ .

\* Τροποποίηση για περισσότερες των 2 λωρίδες :

Για τη διέλευση μιας πρωτεύουσας οδού με περισσότερες από 2 λωρίδες, προστίθεται 0,5 sec για επιβατικά αυτοκίνητα και 0,7 sec για φορτηγά για κάθε επιπλέον λωρίδα και για στενές νησίδες όπου δεν δύναται να σταματήσει το όχημα σχεδιασμού.

\* Τροποποίηση για τις κατά μήκος κλίσεις :

Αν η κατά μήκος κλίση της δευτερεύουσας οδού είναι ανωφερική και ξεπερνάει την τιμή 3%, προστίθεται 0,1 sec για κάθε εκατοστιαία μονάδα.

Τύπος οχήματος	Χρόνος διαδρομής(sec) με βάση την ταχύτητα σχεδιασμού της πρωτεύουσας οδού
Επιβατικό όχημα	7.5sec
Φορτηγό	9.5sec
Φορτηγό με ρυμουλκούμενο	11.5sec

Πίνακας 2.2 : Χρονικό χάσμα για αριστερή στροφή από δευτερεύουσα οδό (Πηγή :  
The Kiewit Center for Infrastructure and Transportation, 2005)

\* Τυπικές συνθήκες :

Αυτοκινητόδρομοι 2 λωρίδων κυκλοφορίας χωρίς νησίδα και με κατά μήκος κλίσεις  $\leq 3\%$ .

\* Τροποποίηση για περισσότερες των 2 λωρίδες :

Για αριστερή στροφή σε μια πρωτεύουσα οδό με περισσότερες από 2 λωρίδες, προστίθεται 0,5 sec για επιβατικά αυτοκίνητα και 0,7 sec για φορτηγά για κάθε επιπλέον λωρίδα.

\* Τροποποίηση για τις κατά μήκος κλίσεις :

Αν η κατά μήκος κλίση της δευτερεύουσας οδού είναι ανωφερική και ξεπερνάει την τιμή 3%, προστίθεται 0,2 sec για κάθε εκατοστιαία μονάδα.

### 2.2.3 Φθορά Οδοστρώματος

Η φθορά των οδοστρώματων αποτελεί ένα ιδιαίτερα συχνό φαινόμενο στα Ελληνικά οδικά δίκτυα και εξελίσσεται σε ένα μείζον θέμα. Η κατάσταση του οδοστρώματος αφορά άμεσα τους χρήστες της οδού δεδομένου ότι συνδέεται με την ποιότητα κύλισης, την ασφάλεια της κυκλοφορίας, το λειτουργικό κόστος του οχήματος, την ταχύτητα των οχημάτων, τους χρόνους μετακίνησης και γενικά με το κόστος που επιβαρύνει τους χρήστες της οδού. Γι 'αυτό είναι απαραίτητος ο εντοπισμός των αστοχιών στην επιφάνεια του οδοστρώματος και η περαιτέρω αποκατάστασή του.

Φθορά ονομάζεται κάθε είδους ανωμαλία, η οποία επιδεινώνει τις συνθήκες κύλισης των οχημάτων στην επιφάνεια ενός οδοστρώματος. Οι φθορές είναι συγχρόνως αιτίες και αποτέλεσμα καθώς οι αρχικές φθορές αποτελούν συνήθως αιτία



νέων φθορών του ίδιου ή διαφορετικού τύπου. Οι φθορές που εμφανίζονται στα οδοστρώματα μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις κατηγορίες (Κολλάρος κ.α., 2005) : ρηγματώσεις (Εικόνα 2.2), παραμορφώσεις παντός είδους, αποσαθρώσεις και λείανση της επιφάνειας κύλισης. Εξελίσσονται είτε προοδευτικά σε μεγάλο χρονικό διάστημα όπως οι αυλακώσεις (Εικόνα 2.3) ή γρήγορα και ξαφνικά σε ελάχιστο χρονικό διάστημα όπως οι μεγάλες λακούβες, οι διογκώσεις και οι καθιζήσεις.



**Εικόνα 2.2 :** Λακούβες και ρηγματώσεις στο οδόστρωμα ( Πηγή : Google)



**Εικόνα 2.3 :** Αυλάκωση οδοστρώματος ( Πηγή : <http://www.hellaskps.gr/>)

Οι κυριότεροι παράγοντες, που επηρεάζουν την συμπεριφορά ή απόδοση ενός οδοστρώματος είναι η ποιότητα της κατασκευής, η καταλληλότητα των χρησιμοποιούμενων υλικών, η ορθότητα της μελέτης διαστασιολόγησης, ο κυκλοφοριακός φόρτος (Φορτίο ανά άξονα, διάρκεια εφαρμογής φορτίου, σύνθεση της κυκλοφορίας, ταχύτητα της κυκλοφορίας) και οι συνθήκες του περιβάλλοντος.

### **2.3 Μέθοδοι αποτύπωσης κόμβου**

Κατά την πραγματοποίηση επίγειων αποτυπώσεων χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι και τεχνικές. Τα όργανα που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι ψηφιακοί γεωδαιτικοί σταθμοί, συστήματα δεκτών GPS, ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές, και επίγειοι σαρωτές laser.

### **2.3.1 Αποτύπωση με χρήση ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών**

Για τις επίγειες αποτυπώσεις χρησιμοποιούνται συχνά συμβατικά όργανα όπως είναι οι ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί. Αρχικά γίνεται εγκατάσταση των σημείων που θα αποτελέσουν τις κορυφές των οδεύσεων. Τα σημεία αυτά επιλέγονται έτσι, ώστε από αυτά να είναι δυνατή η αποτύπωση της περιοχής και να δημιουργούνται οδεύσεις που αρχή και τέλος να έχουν σημεία με γνωστές συντεταγμένες. Οι συντεταγμένες των σημείων αυτών προσδιορίζονται είτε με οπισθοτομία, αν υπάρχει οπτική επαφή με κάποιο γνωστό τριγωνομετρικό σημείο, είτε με χρήση GPS. Στη συνέχεια δημιουργούνται οι οδεύσεις και γίνεται η μέτρηση των στοιχείων τους και η επίλυσή τους. Ακολουθούν οι απαραίτητες μετρήσεις από κάθε κορυφή του πολυγωνομετρικού δικτύου με την λήψη πολικών συντεταγμένων των ταχυμετρικών σημείων που είναι απαραίτητα ώστε να αποδοθεί πλήρως η μορφή των ιδιοκτησιών, δρόμων, πλατειών καθώς και η μορφολογία του εδάφους, οι κλίσεις των δρόμων κ.λ.π. Μετά το τέλος των εργασιών υπαίθρου, ακολουθούν οι εργασίες γραφείου όπου γίνεται ο υπολογισμός των συντεταγμένων όλων των σημείων σε αυθαίρετο ή κρατικό σύστημα αναφοράς. Ακολουθεί η σχεδίαση σε ψηφιακό περιβάλλον και κατασκευάζονται τα τοπογραφικά διαγράμματα ή διαγράμματα κλίσεων, επικλίσεων, υψομετρικών καμπύλων κ.λ.π.

### **2.3.2 Αποτύπωση με χρήση φωτογραμμετρικών μεθόδων**

Για την αποτύπωση οδικών δικτύων συχνά χρησιμοποιούνται φωτογραμμετρικές μέθοδοι. Η φωτογραμμετρία είναι η επιστήμη και η τεχνολογία απόκτησης τρισδιάστατης πληροφορίας από δισδιάστατες μετρήσεις κατά βάση πάνω σε ψηφιακές εικόνες. Η μέθοδος βασίζεται στη λήψη φωτογραφιών από ψηφιακές μηχανές που έχουν στηθεί έτσι ώστε να έχουν επικαλυπτόμενα οπτικά πεδία πάνω στις οποίες γίνεται μια σειρά μετρήσεων (Templeton, 2002). Συχνά χρησιμοποιούνται και αεροφωτογραφίες με κατά μήκος και κατά πλάτος επικάλυψη ώστε να υπάρχουν κοινά σημεία ανάμεσά τους. Κατά τη διαδικασία της φωτογραμμετρικής ανάλυσης είναι απαραίτητη η ύπαρξη σημείων ελέγχου στο έδαφος με γνωστές συντεταγμένες που βοηθάνε στην γεωαναφορά των φωτογραφιών και αυξάνουν την αξιοπιστία των μετρήσεων. Έχοντας γνωστά κοινά σημεία μεταξύ των εικόνων, ο αεροτριγωνισμός με δέσμες μπορεί να δώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα για τον εξωτερικό

προσανατολισμό της εικόνας και να αυξήσει την ακρίβεια θέσης κατά την αποτύπωση. Η φωτογραμμετρική διαδικασία σε συνδυασμό με το ψηφιακό μοντέλο του εδάφους συντελεί στην κατασκευή ορθοφωτοχαρτών που διαθέτουν ενιαία κλίμακα και αποτελούν σημαντικά τοπογραφικά εργαλεία. Πολλές φορές χρησιμοποιούνται συστήματα δορυφορικού εντοπισμού (GPS) για την συλλογή πρόσθετων παρατηρήσεων που συντελούν στην μείωση των σημείων γνωστών συντεταγμένων στο έδαφος. Γενικά η φωτογραμμετρική μέθοδος είναι πιο γρήγορη, ασφαλής και οικονομική σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους και η ακρίβεια της είναι της τάξης των μερικών χιλιοστών.

### 2.3.3 Αποτύπωση με χρήση της τεχνολογίας laser και GPS

Η χρήση της τεχνολογίας laser για τη συλλογή πληροφοριών σε εφαρμογές αποτύπωσης είναι σημαντική ειδικά όταν το αντικείμενο μελέτης είναι ένας οδικός κόμβος ή ένα οδικό δίκτυο και επιδιώκεται η μεγιστοποίηση της παραγωγικότητας και η πληρότητα πληροφοριών. Συνήθως χρησιμοποιούνται οχήματα με ενσωματωμένο σύστημα MMS (ολοκληρωμένο σύστημα ψηφιακής καταγραφής). Αυτά τα οχήματα, καλύπτοντας συνεχώς το χώρο που διεξάγεται η εργασία, βοηθούν στην συγκέντρωση όλων των απαραίτητων γεωμετρικών και περιγραφικών πληροφοριών. Επιπλέον τα οχήματα αυτά είναι συχνά εφοδιασμένα με δέκτες GPS για τον ακριβή εντοπισμό της θέσης του οχήματος. Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελούν τα ειδικά διαμορφωμένα οχήματα της εταιρείας Mitsubishi electric (Εικόνα 2.4).



**Εικόνα 2.4 :** Όχημα με ενσωματωμένο σύστημα laser σάρωσης και δορυφορικού εντοπισμού ( Πηγή : <http://www.lidarmap.org>)

Ένα τέτοιο όχημα διαθέτει έως και τέσσερις σαρωτές laser με σκοπό την παραγωγή πυκνών νεφών σημείων. Παράλληλα διαθέτει κάμερες υψηλής ανάλυσης και σύστημα δορυφορικού εντοπισμού. Το σύστημα αυτό αποτελείται από 3 κεραίες και την αδρανειακή μονάδα (IMU). Οι 3 κεραίες είναι εγκατεστημένες με τέτοιο τρόπο ώστε να εντοπίζεται η θέση του οχήματος με μεγάλη ακρίβεια. Οι μετρήσεις με αυτήν την μέθοδο έχουν απόλυτη ακρίβεια 10cm και σχετική ακρίβεια 1cm.

Η περιγραφή ενός πολύπλοκου οδικού κόμβου θα ήταν ένας ιδιαίτερα δύσκολος στόχος χρησιμοποιώντας μόνο επίγεια οχήματα. Σημαντικά προβλήματα δημιουργούνται όταν η αλλαγή πορείας του οχήματος δεν είναι εύκολη. Για αυτού του είδους τους οδικούς κόμβους κρίνεται απαραίτητη η κάλυψη όλης της διακλάδωσης έτσι ώστε να υπάρχει ολοκληρωμένη πληροφορία. Η χρήση επίγειων σαρωτών laser μπορεί να προσφέρει μεγαλύτερη ποσότητα πληροφορίας σε πολύ λίγο χρόνο. Πειραματικά στοιχεία δείχνουν ότι η τεχνολογία laser μπορεί να αποτελέσει μια βασική λύση τόσο στην λεπτομερή περιγραφή της γεωμετρίας της οδού, όσο και στην ενημέρωση και επικύρωση της χαρτογραφίας μεγάλης και μεσαίας κλίμακας ( Caroti et al, 2003).

Γενικότερα, η χρήση επίγειων σαρωτών laser σε έρευνες που αφορούν οδικά έργα αποδεικνύεται ιδιαίτερα σημαντική καθώς αποτελούν άκρως αποτελεσματικά εργαλεία. Αντίθετα με τα παραδοσιακά όργανα μέτρησης απόστασης όπου πολλές φορές γίνονται περισσότερες της μιας μετρήσεις, ο επίγειος σαρωτής διαθέτει πολύ πιο γρήγορο ρυθμό συλλογής πληροφορίας καθώς ενδέχεται να μην χρειάζεται πάνω από μία σάρωση. Λόγω αυτού του χαρακτηριστικού, μειώνεται αισθητά ο χρόνος των εργασιών πεδίου και αποκτάται η δυνατότητα μετρήσεων σε υψηλής ταχύτητας οδικά τμήματα ανεξαρτήτως της ροής οχημάτων. Έτσι, δεν είναι απαραίτητη η διακοπή λειτουργίας του οδικού δικτύου κατά τη διάρκεια των τοπογραφικών εργασιών. Εκτός από το σημαντικό πλεονέκτημα της ασφάλειας, αποφεύγονται οι οικονομικές συνέπειες της διακοπής της κυκλοφορίας καθώς και η κοινωνική δυσαρέσκεια (Chow, 2007).

## **2.4 Μέθοδοι εντοπισμού φθοράς οδοστρώματος**

Ο εντοπισμός και η αξιολόγηση των φθορών των οδοστρωμάτων μπορεί να γίνει με διάφορες μεθόδους και τεχνικές. Η συνήθης πρακτική των προηγούμενων

χρόνων που χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα, είναι οι επί τόπου χειρωνακτικές έρευνες. Τα τελευταία χρόνια όμως αυτές αντικαθίστανται από ραγδαία αναπτυσσόμενες αυτοματοποιημένες μεθόδους.

#### 2.4.1 Χειρωνακτικές Μέθοδοι

Οι χειρωνακτικές μέθοδοι που βασίζονται στην οπτική παρατήρηση, αποτελούν ακόμα και σήμερα ίσως τον πιο διαδεδομένο τρόπο για την επιθεώρηση και την αξιολόγηση των κινδύνων των οδοστρωμάτων. Οι μέθοδοι αυτές πραγματοποιούνται από εκπαιδευμένους μηχανικούς που εργάζονται ή οδηγούν κατά μήκος του δρόμου και μετρούν την κάθε αστοχία. Χρησιμοποιούνται αρκετές τεχνικές καθώς η φθορά των οδοστρωμάτων εκφράζεται με αρκετούς τρόπους όπως ρωγμές, αυλακώσεις, διογκώσεις κ.α. Για παράδειγμα, η μέτρηση ενός αυλακιού μπορεί να γίνει με χρήση ενός χάρακα σε συνδυασμό είτε με μια επίπεδη επιφάνεια ή με ένα σύρμα (Εικόνα 2.5). Δύο μέλη του συνεργείου εξασφαλίζουν ότι το σύρμα είναι τεντωμένο κατά μήκος του αυλακιού πατώντας το, ενώ ένα τρίτο μέλος μετράει το βάθος του αυλακιού από το ύψος του σύρματος μέχρι το κάτω μέρος του. (Wang, 2005).



**Εικόνα 2.5 :** Χειρωνακτική μέτρηση αυλακώσεως  
(Πηγή : Wang, 2005)

Είναι προφανές ότι μέθοδοι όπως αυτή που περιγράφηκε παραπάνω, οι οποίες αφορούν επιτόπιες επιθεωρήσεις διακρίνονται από πληθώρα μειονεκτημάτων. Στο προαναφερθέν παράδειγμα οι ομάδες των εκπαιδευμένων μηχανικών καταγράφουν δύο ή τρεις δειγματοληψίες ανά χιλιόμετρο με αποτέλεσμα το συνολικό προφίλ των αυλακιών ενός οδικού δικτύου να είναι τουλάχιστον ατελές. Συνολικά πρόκειται για μεθόδους που είναι αργές, δαπανηρές και απαιτούν υψηλής εντάσεως εργασία. Η μεγάλη χρονική διάρκεια των εργασιών οφείλεται στην ανελαστικότητα των μεθόδων καθώς και στους διαφορετικούς τύπους των φθορών, γεγονός που εμποδίζει την επανάληψη πανομοιότυπων τεχνικών παρακολούθησης και την συνακόλουθη αύξηση της παραγωγικότητας. Το υψηλό κόστος τους οφείλεται στον μεγάλο αριθμό μηχανικών που χρησιμοποιούνται. Επιπλέον οι χειρωνακτικές μέθοδοι οδηγούν σε αρκετά σφάλματα, αφού δεν μπορεί να γίνει απόλυτη μέτρηση της επιφάνειας, καθώς υπεισέρχεται μεγάλος βαθμός υποκειμενικότητας. Το πιο σημαντικό όμως μειονέκτημα αυτών των μεθόδων είναι οι κίνδυνοι στους οποίους εκτίθεται το προσωπικό καθώς οι εργασίες γίνονται παράλληλα με υψηλό κυκλοφοριακό φόρτο σε μεγάλες ταχύτητες ( Mustaffar et al., 2008).

#### **2.4.2 Αυτοματοποιημένες μέθοδοι**

Ως επακόλουθο των επίπονων και αρκετά επικίνδυνων χειρωνακτικών ερευνών, αναπτύχθηκαν διάφορες αυτοματοποιημένες μέθοδοι για την παρακολούθηση και αξιολόγηση των φθορών του οδοστρώματος. Οι μέθοδοι αυτές προσανατολίζονται στον καθορισμό τεχνικών συλλογής δεδομένων που να καθιστά δυνατή την απόκτηση κατάλληλης γνώσης εντός περιορισμένου χρόνου και κόστους διαχείρισης. Μια τέτοια μέθοδος πρέπει να μπορεί να αναγνωρίζει όλους τους τύπους επιφανειακής αστοχίας και να χρησιμοποιεί ένα ευρύ φάσμα ταχυτήτων συλλογής δεδομένων κάτω από διαφορετικές καιρικές συνθήκες. Κατά τις δύο περασμένες δεκαετίες διάφορες εταιρίες προσπάθησαν να αναπτύξουν μεθόδους για την αναγνώριση, ταξινόμηση και μέτρηση των αστοχιών του οδοστρώματος. Αυτές βασίζονται κυρίως στις τεχνικές της φωτογραμμετρίας και την τεχνολογία σάρωσης laser και χρησιμοποιούνται ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές και σαρωτές.

##### **➤ Φωτογραμμετρικές τεχνικές**

Ανάμεσα στις νέες τεχνολογίες που αναπτύχθηκαν, σημαντικό ρόλο έπαιξαν οι ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές οι οποίες αντικατέστησαν τις αναλογικές μηχανές

που παρουσίαζαν διάφορα προβλήματα σύμφωνα με τον Wang(1999). Εξάλλου, οι αναλογικές εικόνες έπρεπε να ψηφιοποιηθούν, έτσι ώστε να μπορούν να υποστούν επεξεργασία μέσω ενός προγράμματος εντοπισμού φθορών. Για την επεξεργασία των δεδομένων χρησιμοποιούνται τεχνικές της ψηφιακής φωτογραμμετρίας. Το σύστημα γίνεται ακόμα πιο αξιόπιστο με την κατάλληλη ανάλυση επεξεργασίας εικόνας. Σε ένα τέτοιο σύστημα αναπτύσσεται μια τεχνική στερεοσκοπικής μέτρησης για την παρακολούθηση και αξιολόγηση της συμπεριφοράς του οδοστρώματος. Για να επιτευχθεί αυτό πρέπει να γίνει μια σειρά από διαδικασίες. Αρχικά γίνεται βαθμονόμηση της ψηφιακής φωτογραφικής μηχανής και λαμβάνονται ζεύγη στερεοσκοπικών φωτογραφιών με τους άξονες της κάμερας κάθετους στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Η λήψη μπορεί να γίνει και μέσω ψηφιακών μηχανών τοποθετημένων πάνω σε ένα κινητό μέσο. Η γεωαναφορά των εικόνων γίνεται με χρήση δέκτη GPS ο οποίος συγχρονίζεται με την στιγμή λήψης των εικόνων. Μετά την αποκατάσταση των προσανατολισμών, παράγεται το τρισδιάστατο μοντέλο εδάφους, δημιουργούνται οι ορθοφωτογραφίες και σχεδιάζεται το περίγραμμα της αστοχίας του οδοστρώματος σε κατάλληλο φωτογραμμετρικό λογισμικό (Εικόνα 2.6). Η περαιτέρω επεξεργασία των δεδομένων γίνεται με την ανάπτυξη ενός προγράμματος αυτοματοποιημένης απεικόνισης οδοστρώματος σε προγραμματιστικό περιβάλλον όπως το Matlab. Το πρόγραμμα περιλαμβάνει διάφορες τεχνικές όπως: τεχνικές ενίσχυσης της φωτογραφίας σε μια προσπάθεια να αφαιρεθεί ο θόρυβος, τεχνικές κατάτμησης ώστε να απομονωθεί η αστοχία, τεχνικές αυτόματης κατηγοριοποίησης των αστοχιών και τεχνικές μέτρησης μήκους, πλάτους και εμβαδού των διαφόρων αστοχιών.



**Εικόνα 2.6 :** Ορθοφωτογραφία και περίγραμμα λακούβας σε ψηφιακό φωτογραμμετρικό λογισμικό ( Πηγή : Mustaffar et.al, 2008)

➤ **Τεχνικές laser**

Μια ακόμα προσπάθεια αυτοματοποιημένης απόκτησης και επεξεργασίας δεδομένων γίνεται με χρήση σαρωτή και υπερηχητικών αισθητήρων (Εικόνα 2.7). Η εταιρία PSI (Phoenix scientific inc.) χρησιμοποιεί ένα ραντάρ λέιζερ τοποθετημένο σε όχημα που κινείται, με δυνατότητα μέτρησης φάσης για να μετρηθούν οι τρισδιάστατες ιδιότητες του οδοστρώματος. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί σάρωση με λέιζερ και δημιουργεί μια τρισδιάστατη επιφάνεια της οδού καθώς το όχημα κινείται κατά μήκος της διεύθυνσης κίνησης των οχημάτων. Άλλες εταιρείες χρησιμοποιούν στάσιμους σαρωτές όπως η GIE Technologies Inc του Καναδά για την δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων επιφάνειας του οδοστρώματος. Με το σύστημα LaserVISION της συγκεκριμένης εταιρίας χρησιμοποιούνται 4 στάσιμοι σαρωτές για να καλυφθεί όλο το πλάτος της οδού. Και από τα δύο συστήματα, μετά από επεξεργασία των δεδομένων, μπορούν να παραχθούν στοιχεία κυρίως για την τραχύτητα και τις αυλακώσεις του οδοστρώματος. Ένα άλλο σύστημα για την εκτίμηση των αυλακώσεων είναι οι υπερηχητικοί αισθητήρες. Οι αισθητήρες αυτοί είναι οι φθηνότεροι και χρησιμοποιούνται σε συστήματα όπως τα ROMDAS και ARAN. Αυτά έχουν αισθητήρες ανά 100mm και μετρούν μέχρι 3m κατά μήκος του οδοστρώματος. Χρησιμοποιείται τέλος, η τεχνολογία των λέιζερ σημείου (Εικόνα 2.7). Τα όργανα αυτά δίνουν το υψόμετρο κάθε σημείου. Όντας πολύ πιο γρήγοροι από τους υπερηχητικούς αισθητήρες, τα λέιζερ σημείου καταγράφουν το εγκάρσιο προφίλ της οδού ανά διάστημα 10mm. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούν κινητές μονάδες καταγραφής διαθέτουν σύστημα GPS για τον ακριβή προσδιορισμό της θέσης κάθε στιγμή ( Bennett et al, 2002).

Βασική διαφορά της τεχνολογίας σάρωσης laser σε σχέση με την φωτογραμμετρία είναι η δυνατότητα εύρεσης επί τόπου τρισδιάστατων συντεταγμένων για ακανόνιστες επιφάνειες. Γίνεται δηλαδή άμεση συλλογή 3D πληροφορίας ενώ με χρήση φωτογραφικών μηχανών, είναι απαραίτητη η πραγματοποίηση πολύπλοκων διαδικασιών για την δημιουργία ενός τρισδιάστατου μοντέλου. Η μεγαλύτερη όμως διαφορά μεταξύ τεχνολογίας σάρωσης laser και φωτογραμμετρίας είναι ότι η πρώτη υιοθετεί ενεργητικό δέκτη(ακτίνες laser) ενώ η δεύτερη παθητικό(φωτογραφική μηχανή).



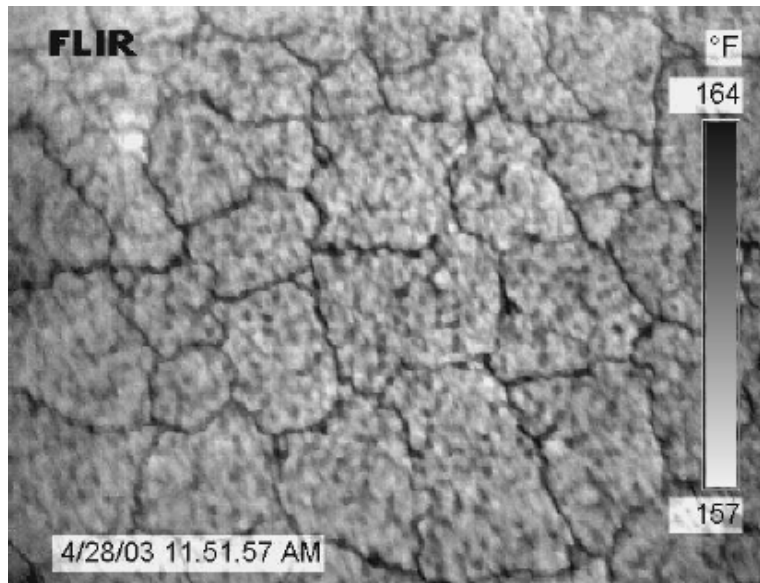


**Εικόνα 2.7 :** Υπερηχητικοί αισθητήρες και λέιζερ σημείου

(Πηγή : Bennett et al., 2002)

### ➤ Υπέρυθρη ακτινοβολία

Μια από τις πλέον πρόσφατες ανακαλύψεις στην προσπάθεια εντοπισμού ρωγμών του οδοστρώματος είναι η χρήση κάμερας υπέρυθρης ακτινοβολίας. Τέτοιες κάμερες χρησιμοποιούνται κυρίως για επιθεωρήσεις σκεπών ή καταστρώματος γεφυρών. Πρόσφατα εξετάστηκαν για την περίπτωση εξεύρεσης ρωγμών στο οδόστρωμα (Εικόνα 2.8) ,σύμφωνα με τον Monem, σε σύγκριση με τις κλασσικές ψηφιακές μηχανές. Αποδείχθηκε ότι οι υπέρυθρες μηχανές παράγουν εικόνες υψηλής ποιότητας και αξιοπιστίας σε ήλιο αλλά και υπό σκιά, αν και δεν έχουν την ίδια ανάλυση με τις ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές. Αυτό συμβαίνει επειδή οι υπέρυθρες βασίζονται στις εναλλαγές της θερμοκρασίας και στη δυνατότητα ακτινοβολίας των αντικειμένων ενώ οι ψηφιακές βασίζονται στις εναλλαγές των χρωμάτων (Oloufa et al., 2004). Γι' αυτό το λόγο πρέπει το οδόστρωμα να έχει δεχθεί αρκετή ηλιακή ακτινοβολία και θερμότητα κατά την διάρκεια της ημέρας έτσι ώστε τα αποτελέσματα στην υπέρυθρη εικόνα να είναι ικανοποιητικά. Προβλήματα στην εικόνα μπορεί να προκαλέσει επίσης η υγρασία στο οδόστρωμα λόγω απώλειας θερμοκρασίας που επηρεάζει την εκπομπή ακτινοβολίας.



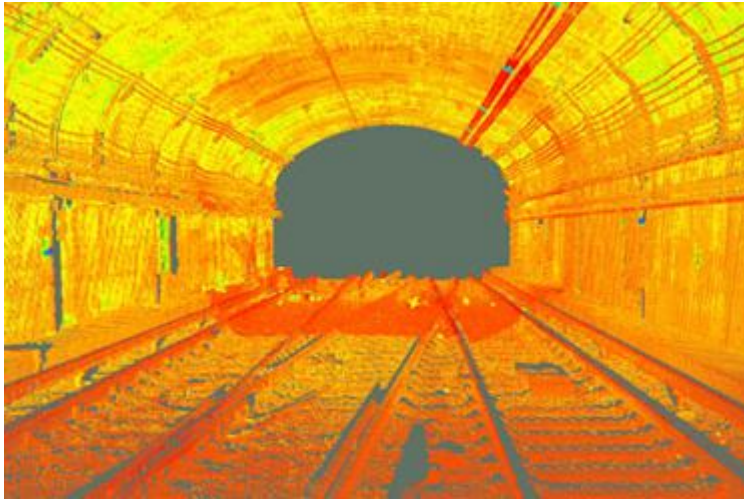
**Εικόνα 2.8 :** Εικόνα οδοστρώματος που έχει ληφθεί με υπέρυθη κάμερα (Πηγή : Monem et al., 2005)

## 2.5 Μέθοδος αποτύπωσης με χρήση επίγειου σαρωτή

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, έγινε χρήση επίγειου σαρωτή laser για την αποτύπωση των κόμβων που επιλέχθηκαν. Σκοπός ήταν η τρισδιάστατη απεικόνιση της επιφάνειας του κόμβου με σκοπό τον εντοπισμό φθορών του οδοστρώματος αλλά και τη μελέτη ορατότητας.

### 2.5.1 Τεχνική σάρωσης με ακτίνες laser

Η σάρωση με ακτίνες laser είναι μία τεχνική συλλογής χωρικών δεδομένων από απόσταση και χρησιμοποιείται για τη συγκέντρωση πληροφοριών για ένα αντικείμενο ή ένα περιβάλλον, που μπορούν να αξιοποιηθούν για την παραγωγή ενός τρισδιάστατου μοντέλου και την μετέπειτα επεξεργασία του. Η τεχνική αυτή βασίζεται στην αποστολή και λήψη ακτίνων laser. Υπάρχει ένα τεράστιο πλήθος εφαρμογών της τεχνικής σάρωσης με laser που κυμαίνεται από την εξαιρετικά εξειδικευμένη σάρωση για μικροσκοπικές εφαρμογές σε επιστημονικά εργαστήρια έως την τρισδιάστατη σάρωση μεγάλων τεχνικών έργων (Εικόνα 2.9) και αντικειμένων ιστορικής αξίας που δεν μπορούν να μελετηθούν λόγω κινδύνου φθοράς παρά μόνο σε μια αναδομημένη μορφή με την βοήθεια της laser σάρωσης.



**Εικόνα 2.9 :** Αποτέλεσμα σάρωσης σήραγγας με χρήση επίγειου σαρωτή

(Πηγή : <http://www.geographica.hr/>)

Τα όργανα που χρησιμοποιούνται για την σάρωση με ακτίνες laser ονομάζονται laser scanners ή αλλιώς επίγειοι σαρωτές. Σε κάθε περίπτωση σάρωσης οι ακτίνες laser χρησιμοποιούνται σε χαμηλή ισχύ, έτσι ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος φθοράς του αντικειμένου που σαρώνεται. Ένας μεγάλος αριθμός ακτίνων εξαπολύεται από το σαρωτή, προσπίπτει στο αντικείμενο και καταγράφεται. Τα δεδομένα που προκύπτουν από μια διαδικασία σάρωσης με laser παίρνουν τη μορφή ενός νέφους σημείων, δηλαδή μιας συλλογής μικροσκοπικών σημειακών δεδομένων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη χαρτογράφηση ενός αντικειμένου. Η επεξεργασία των δεδομένων αυτών γίνεται μέσα από ειδικά προγράμματα σε υπολογιστή και δημιουργείται ένα τρισδιάστατο μοντέλο. Το μοντέλο αυτό στη συνέχεια υφίσταται περαιτέρω επεξεργασία ανάλογα με τις ανάγκες της εργασίας.

### 2.5.2 Μέθοδοι σάρωσης

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται κατά τη διαδικασία της σάρωσης. Για να γίνει αποτύπωση μεγάλων σε έκταση περιοχών χρησιμοποιείται η μέθοδος "time of flight" (TOF). Άλλες μέθοδοι σάρωσης όπως η μέθοδος της διαφοράς φάσης και του τριγωνισμού, χρησιμοποιούνται για μικρότερα αντικείμενα και για περισσότερο ακριβείς μετρήσεις. Αυτές οι τεχνικές περιορίζονται ως προς την εμβέλεια τους για λιγότερο από 10 μέτρα. Από την άλλη, τα TOF συστήματα έχουν την απαιτούμενη εμβέλεια αλλά δεν υποστηρίζουν τις μεγάλες ακρίβειες που δίνουν

τα συστήματα που χρησιμοποιούν τις μεθόδους της διαφοράς φάσης και του τριγωνισμού.

#### ➤ **Μέθοδος Time Of Flight**

Σε ένα TOF σύστημα ένας παλμός λέιζερ στέλνεται και μια ποσότητα αυτού του παλμού ανακλάται από όποια επιφάνεια συναντήσει. Η απόσταση από την επιφάνεια υπολογίζεται από το χρόνο που κάνει ο παλμός να επιστρέψει στο όργανο. Δεδομένης της ταχύτητας του φωτός, η απόσταση του αντικειμένου μπορεί να υπολογιστεί πολύ εύκολα. Στα περισσότερα συστήματα, υψηλής ακρίβειας συστήματα καθρεφτών ελέγχουν τις οριζόντιες και κατακόρυφες γωνίες της ακτίνας, συντελώντας στο να κινείται ο παλμός στο σύνολο της επιφάνειας με κανονικό ρυθμό. Οι γωνίες των καθρεφτών χρησιμοποιούνται για να υπολογιστούν οι τιμές των X και Y για κάθε παλμό. Κάθε σύστημα τότε παράγει ένα σύνολο δεδομένων που περιλαμβάνει πολλαπλές τιμές XYZI, όπου το I αντιπροσωπεύει την τιμή έντασης του σαρωτή.

Η ακρίβεια και η ανάλυση των σαρωτών που χρησιμοποιούν τη μέθοδο TOF είναι αρκετά περιορισμένη εξαιτίας της μεγάλης ταχύτητας του φωτός και της συνακόλουθης δυσκολίας ακριβούς μέτρησης του ταξιδιού. Επιπλέον η ακρίβεια μπορεί να χαθεί όταν η ακτίνα προσπίπτει στη γωνία ενός αντικειμένου καθώς η πληροφορία που επιστρέφει στο όργανο είναι από 2 τοποθεσίες για ένα μόνο παλμό laser. Έτσι, οι συντεταγμένες που θα προκύψουν στο σύστημα του σαρωτή, θα υπολογιστούν με βάση το μέσο όρο με αποτέλεσμα την εσφαλμένη τοποθέτηση του σημείου στο χώρο. Όταν η σάρωση γίνεται με μεγάλη ανάλυση, αυξάνονται και οι πιθανότητες να προσπέσει η ακτίνα σε γωνία αντικειμένου δημιουργώντας "θόρυβο" στο αποτέλεσμα. Η ακρίβεια της μεθόδου TOF υπολογίζεται στα +/- 6mm, γι' αυτό και τέτοιοι σαρωτές δεν χρησιμοποιούνται για την αποτύπωση λεπτομερειών.

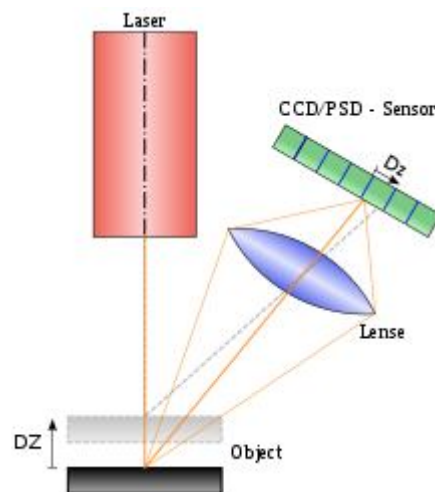
#### ➤ **Μέθοδος Διαφοράς Φάσης**

Η μέθοδος της διαφοράς φάσης είναι πολύ γνωστή καθώς σε αυτήν βασίζεται η χρήση των ταχυμετρικών οργάνων. Σε αυτήν την μέθοδο, η εκπεμπόμενη δέσμη διαμορφώνεται από ένα αρμονικό κύμα και η απόσταση υπολογίζεται βάσει της διαφοράς φάσης ανάμεσα στο εκπεμπόμενο και το λαμβανόμενο κύμα. Η μέθοδος αυτή δε διαφέρει σημαντικά από τη μέθοδο TOF αλλά εξαιτίας της πολυπλοκότερης ανάλυσης του σήματος ενδέχεται τα αποτελέσματα να είναι πιο ακριβή σε βάρος

βέβαια της ταχύτητας μέτρησης. Η ακρίβεια με αυτήν την μέθοδο είναι της τάξης των 1-2mm. Δεδομένου ότι είναι απαραίτητο ένα καλά ορισμένο επιστρεφόμενο σήμα, οι σαρωτές που βασίζουν τη λειτουργία τους στη συγκεκριμένη μέθοδο ενδέχεται να έχουν μειωμένη εμβέλεια (της τάξης των 200m) και τείνουν να παράγουν περισσότερα λανθασμένα σημεία (Boehler et al., 2002).

### ➤ Μέθοδος Τριγωνισμού

Κατά τη μέθοδο του τριγωνισμού, μια λεπτή λωρίδα λέιζερ φωτός προβάλλεται σε όλη την επιφάνεια ενός αντικείμενου και παρακολουθείται από μια ψηφιακή κάμερα. Ανάλογα με την απόσταση κατά την οποία η λωρίδα laser προσπίπτει σε ένα αντικείμενο, διαφέρει και η θέση της στο οπτικό πεδίο της ψηφιακής κάμερας. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται τριγωνισμός καθώς το στίγμα του laser, η κάμερα και η πηγή εκπομπής της δέσμης δημιουργούν ένα τρίγωνο. Μια τέτοια διάταξη φαίνεται στο σχήμα 2.2.



**Σχήμα 2.2 :** Διάταξη σάρωσης με την μέθοδο του τριγωνισμού

(Πηγή: <http://en.wikipedia.org>)

Καθώς οι θέσεις της κάμερας και της πηγής εκπομπής του λέιζερ είναι γνωστές, γίνεται απλώς ο υπολογισμός της θέσης των σημείων κατά μήκος της λωρίδας λέιζερ σε 3 διαστάσεις. Οι σαρωτές που χρησιμοποιούν τη συγκεκριμένη μεθοδολογία έχουν πολύ υψηλή ανάλυση και ακρίβεια, γεγονός που τους κάνει ιδανικούς για την αποτύπωση λεπτομερειών με υψηλές απαιτήσεις ακρίβειας. Συγκεκριμένα η ακρίβεια της μεθόδου είναι της τάξης των δεκάδων μικρομέτρων. Αντίθετα, η μέθοδος του τριγωνισμού δεν συνιστάται για μεγάλες αποστάσεις καθώς

η ακρίβεια του βεληνεκούς μειώνεται με το τετράγωνο της απόστασης μεταξύ σαρωτή και αντικειμένου.

### 2.5.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά σάρωσης με χρήση επίγειου σαρωτή

Υπάρχουν κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά των συστημάτων σάρωσης laser που ειδικά στην περίπτωση σάρωσης μεγάλων περιοχών, επηρεάζουν σημαντικά το αποτέλεσμα. Αυτά έχουν να κάνουν κυρίως με τις ιδιότητες του φωτός, τη γεωμετρία των συστημάτων αλλά και με τις επιφάνειες που πρόκειται να σαρωθούν (Boehler et al., 2002).

#### ➤ Οπτικό πεδίο σάρωσης

Η χρήση του σαρωτή επηρεάζεται από 2 κεντρικά στοιχεία της γεωμετρίας των συστημάτων. Το πρώτο στοιχείο είναι ότι η περιοχή που μπορεί να μετρηθεί πρέπει να φαίνεται καθαρά από τον σαρωτή. Κάθε σαρωτής έχει ένα αποτελεσματικό οπτικό πεδίο. Το οπτικό πεδίο αυτό αυξομειώνεται και έτσι ένα μεγαλύτερο οπτικό πεδίο θα απαιτούσε λιγότερες μεμονωμένες σαρώσεις. Όμως συχνά περιοχές που είναι αρκετά απομακρυσμένες από τον σαρωτή, δεν φαίνονται καθαρά από το όργανο και δεν απεικονίζονται στα αποτελέσματα των μετρήσεων. Επιπλέον, ένα αντικείμενο μπροστά από ένα άλλο πιθανότατα θα εμποδίσει την απόκτηση πληροφορίας από το δεύτερο. Η πρόκληση της "σκιάς" στην σάρωση είναι πολύ σημαντική για την σάρωση μεγάλων περιοχών με υψηλή πυκνότητα και πρέπει να δίνεται μεγάλη προσοχή κατά τον προγραμματισμό των μετρήσεων. Είναι πολύ σημαντική η προεπισκόπηση κάθε σάρωσης ώστε να γίνει αναγνώριση τυχόν περιοχών που δεν διακρίνονται και να εξασφαλιστεί η κάλυψη όλων των περιοχών. Κατά συνέπεια, σε ιδιαίτερα μεγάλες περιοχές επιβάλλεται η πραγματοποίηση πολλαπλών σαρώσεων ώστε να αποκλειστεί η πιθανότητα απώλειας πληροφορίας. Ο αριθμός των σαρώσεων αυτών καθώς και η τοποθεσία τους εξαρτάται από την πολυπλοκότητα της περιοχής. Τα νέφη σημείων που προκύπτουν από κάθε σάρωση συγχωνεύονται στη συνέχεια μέσω μιας διαδικασίας που ονομάζεται registration ή αλλιώς συνένωση. Η διαδικασία της συνένωσης παρουσιάζεται αναλυτικά στην ενότητα 5.2.

➤ **Ιδιότητες φωτός**

Το δεύτερο στοιχείο αφορά τις έμφυτες ιδιότητες της μετάδοσης του φωτός σύμφωνα με τις οποίες ο παλμός διαχέεται καθώς κινείται έξω από το όργανο. Για να γίνει η μέτρηση μιας απόστασης, μόνο μια ποσότητα του παλμού πρέπει να ανακλαστεί από την επιφάνεια προς το αντικείμενο. Όσο αυξάνεται η απόσταση από την επιφάνεια προς σάρωση, μειώνεται αντίστοιχα και η ενέργεια του επιστρεφόμενου παλμού. Επιπλέον, αν το οπτικό πεδίο είναι μεγάλο και η απόσταση από την επιφάνεια προς σάρωση είναι επίσης μεγάλη, τότε επιφάνειες στις άκρες του οπτικού πεδίου μπορεί να βρίσκονται σημαντικά μακρύτερα και σε πολύ περισσότερο λοξές γωνίες. Αυτό είναι το πρόβλημα με τις μεγάλες επιφάνειες αποτύπωσης όπου ο σαρωτής δεν μπορεί να τοποθετηθεί σε θέση που να αποκλείει την ύπαρξη τέτοιων γωνιών. Έτσι σε πολλές περιπτώσεις, ακόμα και με σαρωτές με αρκετά σημαντικά οπτικά πεδία, συνιστάται η μείωση του πεδίου και η πραγματοποίηση πολλαπλών σαρώσεων με σκοπό την ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων. Παράλληλα, χρησιμοποιούνται σαρωτές με μικρότερο πλάτος δέσμης που όμως διαθέτουν περιορισμένη εμβέλεια εξαιτίας της αύξησης του πλάτους της δέσμης συναρτήσει της απόστασης. Μια άλλη λύση προέρχεται από το λογισμικό που χρησιμοποιείται κατά την επεξεργασία των δεδομένων στο οποίο μπορεί να καθοριστεί ότι το πρώτο αντικείμενο στο οποίο θα προσπέσει η δέσμη απορρίπτει τα δεδομένα από την ύπαρξη ενός δεύτερου

➤ **Κινήσεις και κραδασμοί αντικειμένου**

Ένα άλλο πρόβλημα έχει να κάνει με τις παραμορφώσεις που δημιουργούνται στο τελικό αποτέλεσμα λόγω κινήσεων ή κραδασμών του αντικειμένου. Με ταχύτητα σάρωσης 10.000 σημείων το δευτερόλεπτο, οι σαρώσεις χαμηλής ανάλυσης μπορούν να πραγματοποιηθούν σε λιγότερο από ένα δευτερόλεπτο, αλλά οι σαρώσεις υψηλής ανάλυσης που απαιτούν εκατομμύρια σημεία θα χρειαστούν αρκετά λεπτά για σαρωτές που χρησιμοποιούν τη μέθοδο TOF. Από τη στιγμή που κάθε σημείο μετράται σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, οποιαδήποτε κίνηση του αντικειμένου της σάρωσης θα προκαλέσει σφάλματα κατά τη συλλογή των πληροφοριών. Γι' αυτό το λόγο είναι απαραίτητο να τοποθετείται τόσο ο σαρωτής όσο και το αντικείμενο σε σταθερές βάσεις ώστε να επιτευχθεί η ελαχιστοποίηση των κραδασμών. Η χρήση των συγκεκριμένων σαρωτών για αποτύπωση αντικειμένων εν κινήσει κρίνεται εξαιρετικά δύσκολη.

➤ **Θερμοκρασία**

Ένα ακόμα στοιχείο που μπορεί να επιδράσει στις μετρήσεις είναι η θερμοκρασία. Κάθε επίγειος σαρωτής λειτουργεί ικανοποιητικά σε περιβάλλον όπου η θερμοκρασία βρίσκεται μέσα σε ένα συγκεκριμένο εύρος. Ακόμα βέβαια και σε αυτό το εύρος μπορεί να παρατηρηθούν σφάλματα ιδιαίτερα σε μετρήσεις μεγάλων αποστάσεων. Επιπλέον κατά την σάρωση σε ένα σημείο για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα, ενδέχεται να προκύψει ελαφρά μετακίνηση στη θέση του οργάνου εξαιτίας μιας αλλαγής στη θερμοκρασία. Για παράδειγμα, αν ο σαρωτής έχει τοποθετηθεί σε ένα τρίποδο, η ύπαρξη ισχυρής ηλιακής ακτινοβολίας σε μία πλευρά του οργάνου ενδέχεται να προκαλέσει επέκταση εκείνης της πλευράς του τρίποδα και μια συνακόλουθη παραμόρφωση της πληροφορίας. Γι' αυτό το λόγο κάποιιοι σαρωτές διαθέτουν ένα σύστημα αντιστάθμισης έτσι ώστε να εξουδετερώνεται οποιαδήποτε κίνηση του σαρωτή κατά τη διάρκεια της σάρωσης.

➤ **Ανακλαστικότητα αντικειμένου**

Η επίδραση της ανακλαστικότητας της επιφάνειας του αντικειμένου προς σάρωση, αποδεικνύεται ιδιαίτερα σημαντική. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι επίγειοι σαρωτές laser βασίζονται εν πολλοίς στην επιστροφή του σήματος από την επιφάνεια του αντικειμένου. Ανεξαρτήτως της μεθόδου που θα χρησιμοποιηθεί, η ένταση του επιστρεφόμενου σήματος εξαρτάται -μαζί με άλλα στοιχεία όπως η απόσταση, οι ατμοσφαιρικές συνθήκες, η γωνία πρόσπτωσης- από τις δυνατότητες αντανάκλασης της επιφάνειας. Επιφάνειες που ανακλούν τον παλμό σε υψηλό βαθμό, επιστρέφουν μεγαλύτερη ενέργεια και άρα είναι δυνατή η μέτρησή τους σε μεγαλύτερες αποστάσεις και η πραγματοποίηση σαρώσεων με αυξημένο οπτικό πεδίο. Παράλληλα, επιφάνειες που καλύπτονται από ένα λεπτό στρώμα νερού, όπως είναι το βρεγμένο οδόστρωμα είναι πολύ δύσκολο να σαρωθούν εξαιτίας της μεγάλης ανακλαστικότητας του νερού. Λευκές επιφάνειες αποδίδουν εντονότερη αντανάκλαση σε αντίθεση με σκούρες και κυρίως μαύρες επιφάνειες όπου η αντανάκλαση είναι ασθενής. Οι επιδράσεις των χρωματισμένων επιφανειών εξαρτώνται από τα φασματικά χαρακτηριστικά του laser (πράσινο, κόκκινο, εγγύς υπέρυθρο). Επιπλέον η καταγραφή λαμπερών επιφανειών αποδεικνύεται αρκετά δύσκολη. Παράλληλα έχει παρατηρηθεί ότι επιφάνειες που παρουσιάζουν διαφορές ως προς την ανακλαστικότητά τους, οδηγούν σε συστηματικά σφάλματα κατά την



μέτρηση. Για κάποια υλικά αυτά τα σφάλματα μπορεί να είναι αρκετές φορές μεγαλύτερα από την τυπική απόκλιση μιας μέτρησης (Boehler et al., 2002).

➤ **Ατμοσφαιρικές επιδράσεις**

Η επίδραση της ατμόσφαιρας μπορεί να αποδειχθεί ιδιαίτερα σημαντική κατά τις μετρήσεις ενός επίγειου σαρωτή. Από τη στιγμή που μετρώνται σχετικά μικρές αποστάσεις, οι αλλαγές που ενδέχεται να προκύψουν στην ταχύτητα διάδοσης του φωτός εξαιτίας των μεταβολών πίεσης και θερμοκρασίας είναι αμελητέες. Αντιθέτως κατά τις μετρήσεις μεγάλων αποστάσεων, που πραγματοποιούνται σε περιβάλλον, όπου υπάρχει σκόνη και ατμός, μπορεί να προκύψουν συστηματικά σφάλματα. Γενικά, οι επίγειοι σαρωτές δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται κάτω από δυσμενείς καιρικές συνθήκες όπως σε ομιχλώδη ή και βροχερό καιρό καθώς οι σταγόνες της βροχής μπορεί να προκαλέσουν θόρυβο στις μετρήσεις (Boehler et al., 2002).

➤ **Φυσικό περιβάλλον**

Η χρήση των επίγειων σαρωτών σε μετρήσεις στο φυσικό περιβάλλον ενδέχεται να παρουσιάσει δυσκολίες πέρα από αυτές των ατμοσφαιρικών συνθηκών. Όπως συμβαίνει και με τα συμβατικά όργανα μετρήσεων, είναι απαραίτητη η ανεμπόδιστη οπτική επαφή κατά την μέτρηση στοιχείων στο έδαφος. Έτσι, δεν είναι εύκολο ο σαρωτής να πραγματοποιήσει μετρήσεις για την αποτύπωση του προφίλ του εδάφους ενός πρανού που καλύπτεται από βλάστηση. Για να υπάρξει μια πλήρης εικόνα του εδαφικού προφίλ, είναι απαραίτητος ο καθαρισμός της βλάστησης, πριν τη σάρωση ή η πραγματοποίηση συμπληρωματικών μετρήσεων με συμβατικές μεθόδους.

➤ **Απόδοση σαρωτών**

Πέρα από τις παραπάνω επισημάνσεις υπάρχουν και άλλες παράμετροι που επηρεάζουν τις μετρήσεις και έχουν να κάνουν με την απόδοση των επίγειων σαρωτών σύμφωνα με τους Boehler και Marbs (2002). Τέτοιες είναι η ταχύτητα μέτρησης, η εμβέλεια, το οπτικό πεδίο, η ποιότητα του laser, οι δυνατότητες των προγραμμάτων συνένωσης των διαφόρων νεφών, η διαθεσιμότητα των ψηφιακών καμερών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν μαζί με τον σαρωτή, το βάρος και η ευκολία μεταφοράς, η πηγή τροφοδοσίας (μπαταρία), η δυνατότητα λειτουργίας σε κακές καιρικές συνθήκες και εχθρικά περιβάλλοντα και φυσικά η ποιότητα του λογισμικού που χρησιμοποιείται.



## Κεφάλαιο 3: Συλλογή Δεδομένων

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται οι εργασίες πεδίου, καθώς και τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν, για την πραγματοποίησή τους. Στόχος των εργασιών πεδίου είναι η επιλογή των οδικών κόμβων που θα χρησιμοποιηθούν για τη μελέτη και η αποτύπωσή τους με χρήση του επίγειου σαρωτή Scanstation 2 της εταιρίας Leica. Η αποτύπωση αυτή θα χρησιμοποιηθεί, για να γίνει η μελέτη ορατότητας για τους κόμβους, καθώς και η επισκόπηση της κατάστασης του οδοστρώματος.

Τα βασικά μέρη των εργασιών πεδίου ήταν τα εξής:

- η επιλογή των κατάλληλων κόμβων
- η ίδρυση τοπικού γεωδαιτικού δικτύου οριζοντίου και κατακόρυφου ελέγχου
- η συλλογή των δεδομένων σάρωσης
- η αποτύπωση με χρήση γεωδαιτικού σταθμού

### 3.1 Επιλογή Οδικών κόμβων

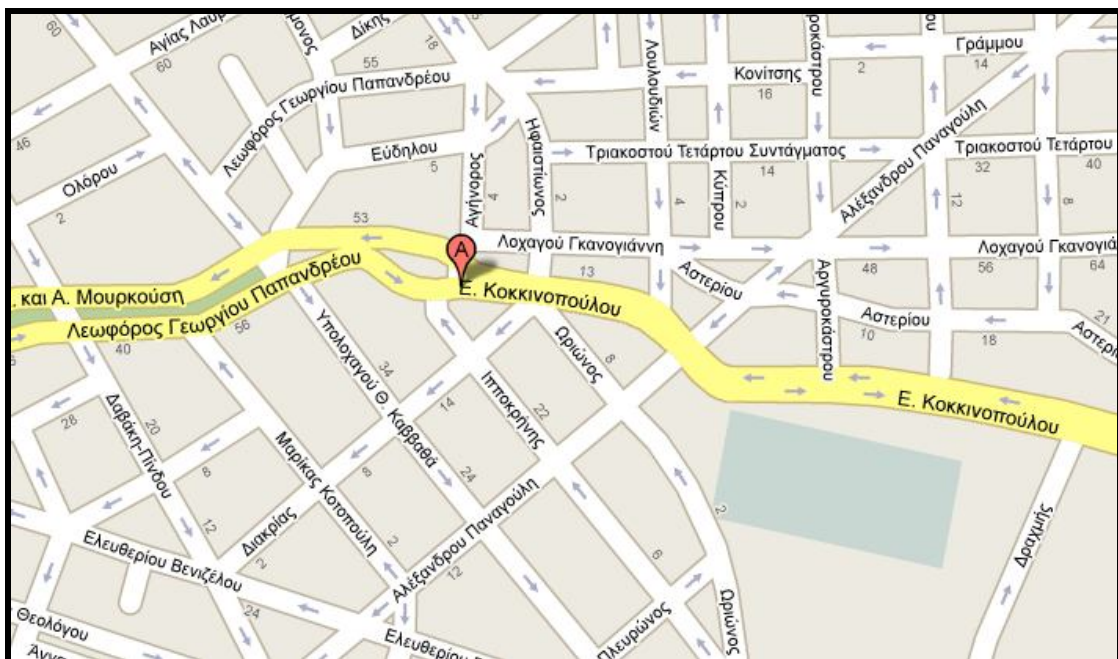
Το στάδιο των εργασιών στο πεδίο ξεκινάει με την επιλογή των κόμβων, που παρουσιάζουν σημαντικά προβλήματα στον τομέα της ορατότητας, καθώς και στην ποιότητα του οδοστρώματος. Κατά τη διαδικασία της επιλογής χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Google earth, με σκοπό την εύρεση πιθανών επικίνδυνων κόμβων και ακολούθησε επιτόπια έρευνα, ώστε να διαπιστωθεί το εκάστοτε πρόβλημα. Η διαδικασία διήρκεσε μεγάλο χρονικό διάστημα, καθώς έπρεπε να επιλεγούν τα σημεία που θα συγκεντρώνουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον. Παράλληλα, η πραγματοποίηση μιας ολοκληρωμένης μελέτης αποτύπωσης κόμβων οδικού δικτύου με χρήση επίγειου σαρωτή επέτασσε την επιλογή κόμβων, που θα είχαν διαφορετικά χαρακτηριστικά μεταξύ τους. Η διαφοροποίηση αυτή έγκειται στο περιβάλλον του κόμβου και καθόρισε σημαντικά τις επιλογές. Έτσι, αποφασίστηκε η πραγματοποίηση μετρήσεων σε 2 κόμβους, ο ένας εκ των οποίων ανήκει σε αστικό περιβάλλον, ενώ ο δεύτερος σε υπεραστικό.

Σε κάθε κόμβο υπήρχαν συγκεκριμένες πρακτικές δυσκολίες, που έπρεπε να αντιμετωπιστούν. Σε έναν αστικό κόμβο η συχνή διέλευση οχημάτων και πεζών

δημιουργεί κενά στις σαρώσεις. Επιπλέον, η ύπαρξη σταθμευμένων αμαξιών και άλλων εμποδίων, σε όλο το εύρος του κόμβου, καθιστά αδύνατη την αποτύπωση του συνόλου των σημείων με χρήση του επίγειου σαρωτή. Από την άλλη, σε έναν υπεραστικό κόμβο οι αποστάσεις είναι μεγαλύτερες, με αποτέλεσμα να είναι δύσκολη η αποτύπωση ολόκληρης της έκτασης. Επιπλέον, ενδέχεται να είναι δύσκολο να βρεθούν τα κατάλληλα σημεία, για να στηθεί ένα όργανο, όπως έγινε και στην συγκεκριμένη περίπτωση.

### 3.1.1 Αστικός κόμβος

Ο αστικός οδικός κόμβος που επιλέχθηκε, βρίσκεται στη συνοικία Γουδή του δήμου Ζωγράφου, που αποτελεί μια αρκετά πυκνοκατοικημένη περιοχή με συνεχή ροή κυκλοφορίας. Πιο συγκεκριμένα ο κόμβος συνιστά τη συμβολή των οδών Κοκκινοπούλου και Αγήνορος (Εικόνες 3.1,3.2). Η οδός Κοκκινοπούλου συνδέει τη Λεωφόρο Κατεχάκη με την περιοχή του Ζωγράφου, αλλά και το δήμο Αθηναίων και αποτελεί μια ιδιαίτερα σημαντική κυκλοφοριακή αρτηρία για την περιοχή. Το γεγονός αυτό εξηγεί τον ιδιαίτερα υψηλό ημερήσιο κυκλοφοριακό φόρτο, που διατρέχει τον επιλεγμένο κόμβο. Διαθέτει μία λωρίδα ανά κατεύθυνση κίνησης πλάτους 6m κοντά στην περιοχή του κόμβου. Η οδός Αγήνορος είναι μονής κατεύθυνσης και διαθέτει μία λωρίδα κυκλοφορίας με πλάτος 4.5m.



Εικόνα 3.1: Χωροθέτηση επιλεγμένου αστικού κόμβου ( Πηγή : Google maps)

Το πρόβλημα που παρατηρήθηκε, μετά από επιτόπια έρευνα, είναι η έλλειψη ορατότητας για τους οδηγούς που εισέρχονται στον κόμβο από την οδό Αγήνορος. Ειδικά η κίνηση προς το ρεύμα που οδηγεί στη λεωφόρο Κατεχάκη, είναι επικίνδυνη και ο καθρέφτης που έχει εγκατασταθεί στην περιοχή δεν βελτιώνει ικανοποιητικά την κατάσταση, όπως διαπιστώνεται και από τα συχνά ατυχήματα.



**Εικόνα 3.2:** Ορθοφωτογραφία της περιοχής του κόμβου σε κλίμακα 1:1000

( Πηγή : <http://gis.ktimanet.gr/>)

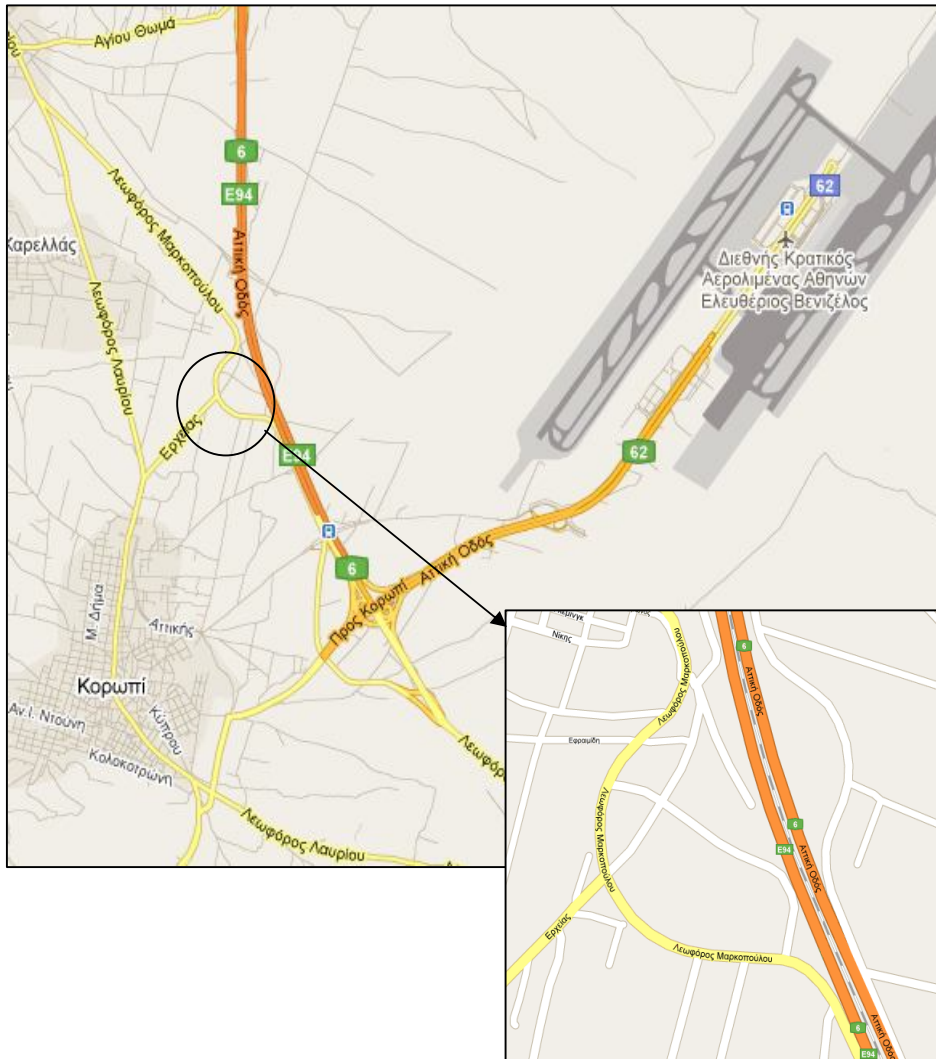
Παράλληλα το οδόστρωμα είναι έντονα διαβρωμένο, γεγονός που δυσχεραίνει σημαντικά την ομαλή και ασφαλή κίνηση των οχημάτων(Εικόνα 3.3). Οι λόγοι αυτοί οδήγησαν στην επιλογή του συγκεκριμένου οδικού κόμβου για αποτύπωση, με σκοπό τη μελέτη ορατότητας και την επισκόπηση της κατάστασης του οδοστρώματος.



**Εικόνα 3.3:** Φθορές οδοστρώματος

### 3.1.2 Υπεραστικός κόμβος

Ο υπεραστικός κόμβος που επιλέχθηκε να μελετηθεί στην παρούσα διπλωματική εργασία, είναι ισόπεδος και βρίσκεται στην περιοχή της Ανατολικής Αττικής. Πιο συγκεκριμένα, αποτελεί τη συμβολή της λεωφόρου Μαρκοπούλου με την οδό Ερχείας (Εικόνες 3.4,3.5). Η λεωφόρος Μαρκοπούλου αποτελεί ένα σημαντικό οδικό άξονα, καθώς συνδέει την περιοχή της Παιανίας με το Μαρκόπουλο Μεσογαίας. Παράλληλα, ευρισκόμενη πλησίον του διεθνούς Κρατικού αερολιμένα Αθηνών, εξυπηρετεί ένα μέρος του κυκλοφοριακού φόρτου του αεροδρομίου. Διαθέτει μία λωρίδα κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση πλάτους 7 m κοντά στον κόμβο που μελετάται. Η οδός Ερχείας είναι μονής κατεύθυνσης με μία λωρίδα κυκλοφορίας πλάτους 10 m πλησίον του κόμβου.



**Εικόνα 3.4 :** Χωροθέτηση επιλεχθέντος υπεραστικού κόμβου ( Πηγή : Google maps)

Στον κόμβο αυτό παρατηρήθηκε ένα σημαντικό πρόβλημα ορατότητας, όσον αφορά στα οχήματα που εισέρχονται από την οδό Ερχειάς. Το πρόβλημα δημιουργείται λόγω της ανωφερούς κλίσης του άξονα της οδού Ερχειάς που ξεπερνάει το 5%, καθώς και της γεωμετρίας του κόμβου (Εικόνα 3.6). Οι φωτεινοί σηματοδότες που έχουν τοποθετηθεί στον κόμβο, δεν έχουν τεθεί σε λειτουργία, με αποτέλεσμα οι οδηγοί να αναγκάζονται να εισέρχονται παρακινδυνευμένα.



**Εικόνα 3.5 :** Ορθοφωτογραφία της περιοχής του κόμβου σε κλίμακα 1:1000 ( Πηγή : <http://gis.ktimanet.gr/>)

Το πρόβλημα εντείνεται εξαιτίας των υψηλών ταχυτήτων, με τις οποίες κινούνται τα οχήματα επί της λεωφόρου. Έτσι, αποφασίστηκε η αποτύπωση του συγκεκριμένου υπεραστικού κόμβου, με σκοπό την μελέτη ορατότητας στο εσωτερικό του.



**Εικόνα 3.6 :** Μεγάλη κατά μήκος ανωφερής κλίση επί της οδού Ερχειάς



### **3.2 Ίδρυση τοπικού δικτύου οριζόντιου και κατακόρυφου ελέγχου**

Η πραγματοποίηση των μετρήσεων απαιτεί την ίδρυση ενός δικτύου οριζόντιου και κατακόρυφου ελέγχου με τη δημιουργία μιας πολυγωνικής όδευσης. Το δίκτυο αυτό αποφασίστηκε να είναι τοπικό, με τυχαίες συντεταγμένες Χ, Ψ στην πρώτη κορυφή και τυχαία γωνία διεύθυνσης στην πρώτη πλευρά. Αυτό έγινε, γιατί δεν υπήρχε κοντά σε κάποια από τις 2 περιοχές μετρήσεων τριγωνομετρικό σημείο, ώστε να γίνει εξάρτηση των οδεύσεων. Οι βασικές διαδικασίες που ακολουθήθηκαν, για την ίδρυση του δικτύου περιελάμβαναν:

- την αναγνώριση της περιοχής
- την επιλογή των θέσεων των κορυφών της όδευσης
- την εκτέλεση των μετρήσεων

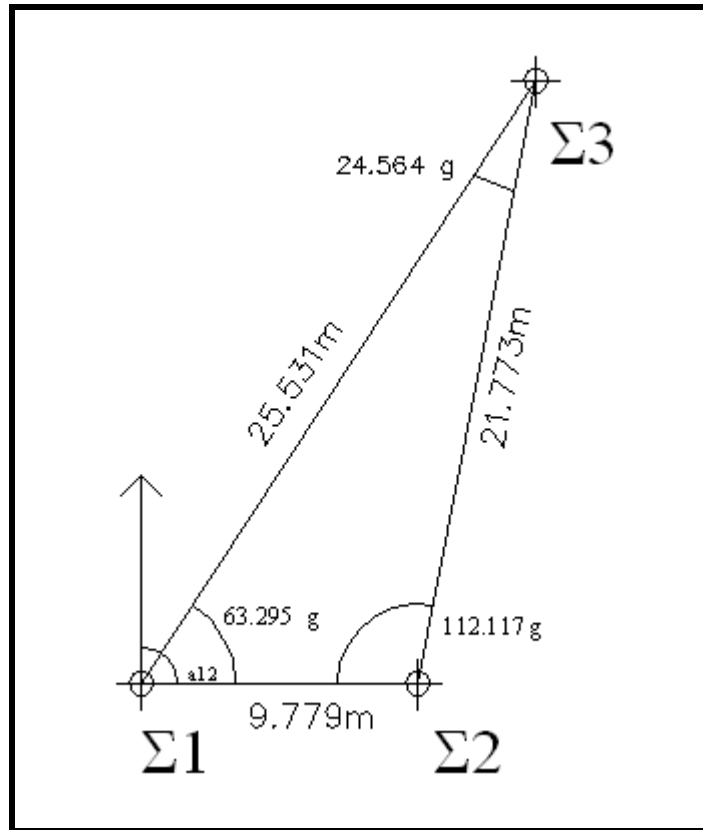
#### **3.2.1 Αναγνώριση περιοχής – Τοποθέτηση κορυφών όδευσης**

Η αναγνώριση της περιοχής, όπου πρόκειται να γίνει η εγκατάσταση των οδεύσεων, είναι βασική προϋπόθεση για το σωστό προγραμματισμό των μετρήσεων. Η καλή γνώση της περιοχής μελέτης εξασφαλίζει την ορθή επιλογή των κορυφών των οδεύσεων, που θα αποτελέσουν το βασικό υπόβαθρο για την αποτύπωση μιας περιοχής.

##### **➤ Αστικός κόμβος**

Στον αστικό κόμβο, η αναγνώριση της περιοχής αποτέλεσε μια ιδιαίτερα προσεκτική και σημαντική διεργασία. Βασικά κριτήρια στην επιλογή των κορυφών της όδευσης ήταν η αμοιβαία ορατότητα μεταξύ τους και η δυνατότητα αποτύπωσης του συνόλου του κόμβου. Αυτό ήταν ιδιαίτερα δύσκολο, καθώς η ύπαρξη πολλών σταθμευμένων αμαξιών στην περιοχή του κόμβου εμπόδισε την ίδρυση κορυφών σε αρκετά προεπιλεγμένα σημεία. Παράλληλα, έγινε έλεγχος της δυνατότητας να στηθεί όργανο, γεγονός που αποδείχθηκε προβληματικό σε ορισμένα σημεία, λόγω των στενών πεζοδρομίων και της συνεχούς διέλευσης πεζών. Τέλος λήφθηκε υπόψη και η σωστή γεωμετρία, που θα πρέπει να έχει το δίκτυο, ώστε να επιτευχθεί η επιδιωκόμενη ακρίβεια. Το αποτέλεσμα της διαδικασίας αναγνώρισης ήταν η επιλογή ίδρυσης μιας ανεξάρτητης κλειστής όδευσης, που αποτελείται από 3 κορυφές με καλή

γεωμετρία μεταξύ τους, όπως αυτές αποτυπώνονται στο σχήμα 3.1. Ακολούθησε η ίδρυση των σημείων με καρφιά στο έδαφος και ταυτόχρονη χρωματική επισήμανση.

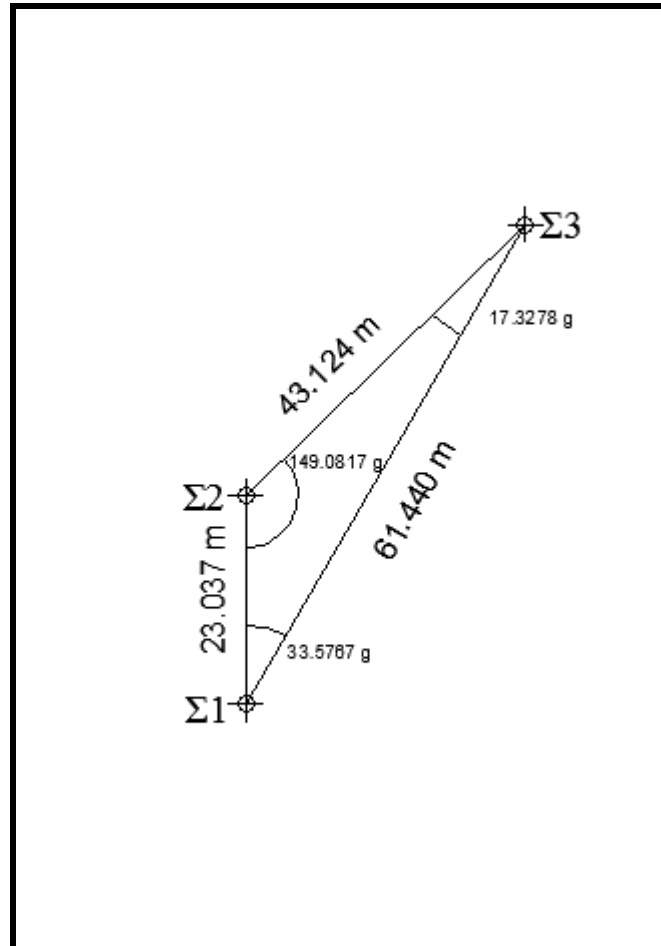


**Σχήμα 3.1:** Σκαρίφημα ανεξάρτητης κλειστής όδευσης σε αστικό κόμβο

#### ➤ Υπεραστικός κόμβος

Στην περίπτωση του υπεραστικού κόμβου, η επιλογή των κορυφών της όδευσης είχε επίσης αρκετές πρακτικές δυσκολίες. Κατά τη διαδικασία της αναγνώρισης, παρατηρήθηκε πως δεν υπήρχαν προβλήματα στο θέμα της ορατότητας στο εσωτερικό περιβάλλον του κόμβου, αποδείχθηκε όμως αρκετά χρονοβόρα η προσπάθεια εύρεσης σημείων, όπου μπορεί να στηθεί τοπογραφικό όργανο. Τα σημεία αυτά, από τα οποία έπρεπε να υπάρχει ορατότητα προς μεγάλες περιοχές του κόμβου, ήταν ελάχιστα. Τελικά, βρέθηκαν 2 σημεία, που να πληρούν τις προϋποθέσεις ασφαλείας του οργάνου και του συνεργείου και παράλληλα να διευκολύνουν την αποτύπωση του συνόλου του κόμβου. Σ' αυτά τα 2 σημεία ιδρύθηκαν οι κορυφές Σ2 και Σ3 της πολυγωνικής όδευσης, ενώ ιδρύθηκε και ένα

επιπλέον σημείο για λόγους ασφαλείας των μετρήσεων. Επιλέχθηκε έτσι μια κλειστή ανεξάρτητη όδευση με 3 κορυφές με καλή γεωμετρία μεταξύ τους, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2. Η ίδρυση των σημείων έγινε και εδώ με καρφιά και χρωματική επισήμανση (Εικόνα 3.7).



**Σχήμα 3.2:** Σκαρίφημα ανεξάρτητης κλειστής όδευσης σε υπεραστικό κόμβο



**Εικόνα 3.7:** Χρωματική επισήμανση κορυφής όδευσης

### 3.2.2 Εκτέλεση των μετρήσεων

Στο στάδιο των μετρήσεων, χρησιμοποιήθηκε ο ολοκληρωμένος ρομποτικός γεωδαιτικός σταθμός Topcon IS 203 (Εικόνα 3.8) της εταιρείας Topcon (<http://global.topcon.com>). Ο γεωδαιτικός σταθμός πραγματοποιεί μετρήσεις με ακρίβεια γωνίας 3cc και ακρίβεια απόστασης 5 mm. Παράλληλα, έχει την δυνατότητα να περιστρέφεται μηχανοκίνητα και να εκτελεί σκοπεύσεις χωρίς τη χρήση κατόπτρου. Η ψηφιακή κάμερα που διαθέτει, χρησιμοποιείται είτε για την καταγραφή on-line της εικονικής πληροφορίας, που μετράται από το γεωδαιτικό σταθμό ή για την καθοδήγηση του μηχανισμού μέτρησης μέσω ειδικού λογισμικού προς το σημείο του αντικειμένου, που επιθυμείται να μετρηθεί. Διαθέτει μεγάλη εμβέλεια μέτρησης τόσο με πρίσμα, όσο και χωρίς πρίσμα και αποτελεί ένα ιδιαίτερα εύχρηστο εργαλείο.



**Εικόνα 3.8:** Ρομποτικός γεωδαιτικός σταθμός Topcon Is

( Πηγή : <http://www.lengemann.us> )

Επίσης χρησιμοποιήθηκαν ανακλαστήρες, οι οποίοι τοποθετήθηκαν σε τρίποδα με τη βοήθεια τρικόχλιου ώστε να γίνει ακριβής οριζοντίωση και κέντρωση τους σε κάθε κορυφή κατά τις μετρήσεις.

Οι μετρήσεις που έγιναν στο πεδίο, περιλαμβάνουν οριζόντιες γωνίες, κατακόρυφες γωνίες και κεκλιμένα μήκη (Εικόνα 3.9). Ξεκινώντας με στήσιμο του οργάνου στην κορυφή Σ1 και μηδενισμό στην κορυφή Σ3, μετρήθηκαν όλες οι οριζόντιες γωνίες, καθώς και οι κατακόρυφες γωνίες και τα κεκλιμένα μήκη, από κάθε κορυφή της όδευσης προς όλες τις υπόλοιπες. Οι σκοπεύσεις των οριζόντιων γωνιών έγιναν σε δύο θέσεις τηλεσκοπίου και σε μία περίοδο, ενώ η βασική διεύθυνση αναφοράς ορίστηκε αυτόματα. Σε δύο θέσεις τηλεσκοπίου μετρήθηκαν και οι κατακόρυφες γωνίες. Έγινε παράλληλα μέτρηση υψών οργάνων και στόχων με ιδιαίτερη προσοχή, έτσι ώστε να χρησιμοποιηθούν αργότερα στην διαδικασία της τριγωνομετρικής υψομετρίας.



**Εικόνα 3.9:** Ίδρυση όδευσης με χρήση του γεωδαιτικού σταθμού topcon IS 203

Πρέπει να σημειωθεί πως, όσον αφορά στον αστικό κόμβο, κατά το στάδιο της επεξεργασίας των μετρήσεων κρίθηκε απαραίτητη η ίδρυση ενός επιπλέον σημείου, με σκοπό να καλυφθούν τα κενά που προέκυψαν στις αρχικές σαρώσεις

εξαιτίας της συχνής διέλευσης οχημάτων. Το όργανο στήθηκε στην κορυφή Σ2 και με μηδενισμό στην κορυφή Σ1, μετρήθηκαν οι πολικές συντεταγμένες (οριζόντια γωνία και απόσταση) του καινούργιου σημείου (Σ4).

Οι συντεταγμένες των κορυφών των οδεύσεων σε αυθαίρετο τοπικό σύστημα προέκυψαν με την υπολογιστική διαδικασία της επίλυσης όδευσης. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στην ενότητα 4.2 και η υπολογιστική διαδικασία παρουσιάζεται στο παράρτημα.

### **3.3 Συλλογή δεδομένων σάρωσης**

Ένα σημαντικό τμήμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η χρήση της επίγειας σάρωσης σε εφαρμογές αποτύπωσης οδικού κόμβου. Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε, ήταν ο επίγειος σαρωτής Scanstation 2 της εταιρίας Leica.

Η σάρωση σε περιβάλλον κόμβου και ιδιαίτερα ενός αστικού, αποτελεί ένα δύσκολο και απαιτητικό εγχείρημα. Η δυσκολία αυτή έγκειται κατά βάση στη διέλευση πεζών και οχημάτων. Το πρόβλημα αυτό διογκώνεται σε έναν αστικό κόμβο, όπου η διέλευση είναι συνεχής και μαζική κατά την διάρκεια της ημέρας. Κατά συνέπεια, γίνεται σάρωση σημείων, τα οποία δεν ανήκουν στον κόμβο και αποτελούν «θόρυβο» στις μετρήσεις. Παράλληλα, η σάρωση αυτών των σημείων αφήνει κενά στην επιφάνεια που πρέπει να σαρωθεί, με αποτέλεσμα την απώλεια πληροφορίας κατά την επεξεργασία. Σε έναν αστικό κόμβο, όπου οι ταχύτητες των οχημάτων είναι μικρές, ο θόρυβος που λαμβάνεται από τον σαρωτή είναι μεγαλύτερος και άρα μεγαλύτερα και τα κενά στην πληροφορία.

#### **3.3.1 Επίγειος σαρωτής Leica Scanstation 2**

Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής είναι ο επίγειος σαρωτής Scanstation 2 (Εικόνα 3.10) της εταιρίας Leica (<http://www.leica-geosystems.com>). Ο συγκεκριμένος σαρωτής κατασκευάστηκε το 2007 και αποτελεί ένα άρτιο όργανο επίγειας σάρωσης, καθώς διαθέτει μεγάλη ταχύτητα στιγμιαίας σάρωσης, σε συνδυασμό με την ακρίβεια και την ελευθερία ενός ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού. Επιπλέον, διαθέτει ενσωματωμένη ψηφιακή κάμερα υψηλής ανάλυσης.

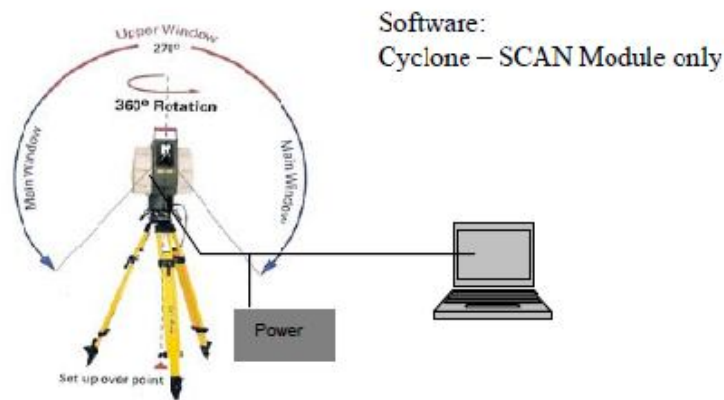


**Εικόνα 3.10 :** Επίγειος σαρωτής Leica Scanstation 2

(Πηγή : <http://www.surveyequipment.com>)

Ο σαρωτής Scanstation 2 λειτουργεί συνδεδεμένος με μία πηγή τροφοδοσίας ρεύματος (μπαταρία) και με έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή (Σχήμα 3.2). Όλες οι απαραίτητες ενέργειες για την πραγματοποίηση της σάρωσης γίνονται μέσω του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Η μέθοδος σάρωσης που χρησιμοποιείται, είναι η time of flight, που έχει περιγραφεί στην ενότητα 2.5.2 .

Σύμφωνα με τα στοιχεία που συλλέχτηκαν από τον ιστότοπο της εταιρίας Leica, το μεγάλο πλεονέκτημα του οργάνου είναι η ταχύτητα του, που μπορεί να φτάσει τα 50000 σημεία το δευτερόλεπτο, καθώς και το σχεδόν πλήρες οπτικό του πεδίο. Πιο συγκεκριμένα, διαθέτει πλήρες οριζόντιο πεδίο και ιδιαίτερα ευρύ κατακόρυφο οπτικό πεδίο που φτάνει τις 270°.



**Σχήμα 3.3:** Διάταξη λειτουργίας επίγειου σαρωτή (Πηγή : Chow, 2007)

Με την ψηφιακή κάμερα, την ακρίβεια σε κάθε μέτρηση, που φτάνει τα 4mm στις αποστάσεις και την εξαιρετική εμβέλεια, το Scanstation 2 διακρίνεται για την πολύπλευρη χρήση του. Ο χρήστης μπορεί να τοποθετήσει το όργανό σε γνωστό σημείο ή και να στοχεύσει την ορατή ακτίνα του σε ένα προκαθορισμένο σημείο και να εκτελέσει ενέργειες ενός total station, όπως η όδευση. Παράλληλα, ο σαρωτής διαθέτει ενσωματωμένη ψηφιακή κάμερα υψηλής ανάλυσης. Οι φωτογραφίες που λαμβάνονται, δίνουν τη δυνατότητα στο χρήστη να καθορίσει επακριβώς το παράθυρο σάρωσης στην οθόνη του υπολογιστή. Η εμβέλεια του οργάνου φτάνει τα 300m για το 90% της επιφάνειας ανάκλασης και του επιτρέπει έτσι να χρησιμοποιείται σε πληθώρα εφαρμογών. Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του οργάνου παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

<b>Ακρίβεια μέτρησης</b>	
Απόσταση	6mm
Θέση	6mm
Γωνία (οριζόντια/κατακόρυφη )	60mrad/60mrad
<b>Ακρίβεια μοντελοποιημένης επιφάνειας</b>	2mm
<b>Λήψη στόχου</b>	2mm τυπική απόκλιση
<b>Εμβέλεια</b>	300m για 90% αντανάκλαση επιφάνειας
<b>Ρυθμός σάρωσης</b>	Μέχρι 50000 σημεία/δευτερόλεπτο μέγιστη στιγμιαία ταχύτητα
<b>Οπτικό πεδίο</b>	
Οριζόντιο	360° (μέγιστο)
Κατακόρυφο	270° (μέγιστο)
<b>Θερμοκρασίες λειτουργίας</b>	0° C έως 40° C

**Πίνακας 3.1:** Χαρακτηριστικά σαρωτή Leica Scanstation 2

### 3.3.2 Διαδικασία σάρωσης

Για να ξεκινήσει η διαδικασία των μετρήσεων, αρχικά ο επίγειος σαρωτής τοποθετείται πάνω σε τρίποδα, οριζοντιώνεται και κεντρώνεται. Παράλληλα γίνεται



μέτρηση και του ύψους οργάνου, στοιχείο που είναι απαραίτητο για την πραγματοποίηση των μετρήσεων. Η διενέργεια μιας σάρωσης με τον επίγειο σαρωτή Scanstation 2 απαιτεί την ταυτόχρονη σύνδεσή του με πηγή παροχής ρεύματος, που είναι η μπαταρία, και με έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή (Εικόνα 3.11). Ο υπολογιστής είναι απαραίτητος, καθώς μέσω αυτού γίνονται όλες οι διαδικασίες και δίνονται οι εντολές στο σαρωτή. Αφού συνδέθηκε ο σαρωτής με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή και με την μπαταρία, έγινε εκκίνηση της εφαρμογής Cyclone, μέσω της οποίας γίνονται οι σαρώσεις. Το όργανο αρχικά διενεργεί ορισμένες περιστροφές, για να γίνει η διαδικασία του καλιμπράρισματος και παράλληλα ορίζεται το αρχείο, στο οποίο θα γίνουν οι εργασίες. Όταν ολοκληρωθεί το καλιμπράρισμα του οργάνου, γίνεται αναγνώριση της σύνδεσης με τον υπολογιστή από το όργανο με την επιλογή Scanner connect. Ακολούθως, γίνεται η λήψη φωτογραφιών της περιοχής που περιβάλλει το σαρωτή, από το παράθυρο Image με την επιλογή get image. Σ' αυτό το σημείο, πρέπει να οριστεί η κατάλληλη έκθεση του φακού της μηχανής του οργάνου με την επιλογή adjust exposure. Αυτό γίνεται, ώστε να έχει την κατάλληλη φωτεινότητα η φωτογραφία, γεγονός που εξαρτάται από τις συνθήκες φωτισμού κατά τη στιγμή της λήψης (Εσωτερικές – Εξωτερικές λήψεις). Μετά τη λήψη των φωτογραφιών, οι οποίες είναι ορατές στην οθόνη του υπολογιστή, ο χρήστης είναι σε θέση να καθορίσει την περιοχή, στην οποία θα γίνει η σάρωση, ορίζοντας τις κατάλληλες συντεταγμένες στον κάρναβο του προγράμματος. Επιπλέον, πρέπει να οριστεί η πυκνότητα, με την οποία θα γίνει η σάρωση, καθώς και η απόσταση, στην οποία το όργανο θα κάνει σάρωση με την συγκεκριμένη πυκνότητα με την επιλογή probe. Η πυκνότητα αυτή έχει να κάνει με την απόσταση που θα έχουν μεταξύ τους τα σημεία που σαρώνονται. Στη συνέχεια επιλέγεται η εφαρμογή scan και ξεκινάει η διαδικασία της σάρωσης. Στο κάτω μέρος της οθόνης εμφανίζεται ο χρόνος που διαρκεί η σάρωση.



**Εικόνα 3.11** : Σύνδεση σαρωτή με ηλεκτρονικό υπολογιστή για μέτρηση στο πεδίο

Όταν ολοκληρωθεί η διαδικασία της σάρωσης της περιοχής μελέτης, ενδέχεται να είναι απαραίτητη η ακριβέστερη σάρωση κάποιων ειδικών ανακλαστικών στόχων, που χρησιμεύουν για τη συνένωση σαρώσεων, καθώς και για τον ορισμό του συστήματος συντεταγμένων. Οι ειδικοί αυτοί στόχοι είναι είτε τετράγωνα στοχάκια είτε ειδικές σφαίρες που αναγνωρίζει αυτόματα το λογισμικό του σαρωτή. Η σκόπευσή τους γίνεται με την επιλογή *acquire targets*, αφού πρώτα έχουν υποδειχθεί οι στόχοι, μέσω του λογισμικού, στο προσωρινό μοντέλο σάρωσης που παράγεται.

Τέλος ένα σημαντικό στοιχείο της εργασίας στο πεδίο είναι ο προσανατολισμός της σάρωσης και ο ορισμός του συστήματος συντεταγμένων. Ο τρόπος που χρησιμοποιήθηκε, για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο, ήταν η τοποθέτηση του σαρωτή σε σημείο γνωστών συντεταγμένων και ο προσανατολισμός του σε ένα επίσης γνωστό σημείο. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε με την ενεργοποίηση του παραθύρου *field setup* αμέσως μετά από κάθε σάρωση. Επιλέγοντας *resection*, ορίζεται στο πρόγραμμα του οργάνου ότι θα γίνει προσανατολισμός. Με την επιλογή *add/replace coordinates*, προστίθενται στο σύστημα οι συντεταγμένες των δύο

γνωστών σημείων. Από το παράθυρο field setup ορίζεται ποιο από τα σημεία, που έχουν εισαχθεί, είναι το σημείο στο οποίο έχει στηθεί το όργανο και ποιο ο στόχος. Παράλληλα, εισάγονται και τα ύψη οργάνου και στόχου. Στη συνέχεια, με την επιλογή acquire, γίνεται στόχευση της ειδικής σφαίρας, που αποτελεί το σημείο γνωστών συντεταγμένων για τον προσανατολισμό και με την επιλογή calculate, γίνεται υπολογισμός της απόστασης μεταξύ οργάνου και στόχου. Με την επιλογή apply, ολοκληρώνεται η διαδικασία και αποθηκεύονται τα δεδομένα.

### 3.3.3 Σάρωση αστικού κόμβου

Κατά τη διαδικασία αποτύπωσης του αστικού κόμβου (Εικόνα 3.13) πραγματοποιήθηκαν δύο σαρώσεις από τις στάσεις Σ2 και Σ3, για να συμπεριληφθεί το σύνολο του κόμβου. Οι σαρώσεις έγιναν σε αρκετά πρωινές ώρες, ώστε να ελαχιστοποιηθούν τα κενά στην πληροφορία λόγω διέλευσης οχημάτων. Ειδικοί στόχοι – σφαίρες είχαν τοποθετηθεί στη στάση Σ1 και σε ένα ακόμα σημείο, το οποίο εμφανιζόταν σε κάθε σάρωση (Εικόνα 3.12). Παράλληλα είχαν τοποθετηθεί και δύο ακόμα ειδικοί τετράγωνοι στόχοι στις ρόδες οχήματος, που εμφανιζόταν και στις δύο σαρώσεις. Οι παραπάνω στόχοι αποτελούν τα κοινά σημεία που θα χρησιμοποιηθούν κατά την επεξεργασία των δεδομένων, για τη συνένωση των επιμέρους σαρώσεων.



**Εικόνα 3.12 :** Ειδικοί στόχοι – σφαίρες σε διαδικασία σάρωσης σε αστικό κόμβο

Για να γίνει εντοπισμός των φθορών του οδοστρώματος, έπρεπε να υπάρχει πολύ πυκνή πληροφορία από τις σαρώσεις. Αυτό θα βοηθούσε στην ακριβέστερη περιγραφή της επιφάνειας του οδοστρώματος, κατά τη δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου εδάφους. Επιπλέον, για να γίνει η μελέτη ορατότητας, έπρεπε να αποδοθεί όσο το δυνατόν ακριβέστερα, το περιβάλλον του κόμβου. Για τους παραπάνω λόγους, η πυκνότητα για κάθε σάρωση επιλέχθηκε στο 1cm. Η απόσταση, στην οποία ορίστηκε να τηρηθεί αυτή η πυκνότητα ήταν τα 25m, αφού οι μεγαλύτερες αποστάσεις που έπρεπε να καλυφθούν από τις σαρώσεις, για να αποτυπωθεί ο συγκεκριμένος κόμβος, έφταναν τα 22 m. Επιπλέον, με την επιλογή field setup ορίστηκαν οι συντεταγμένες της θέσης που βρισκόταν το όργανο κάθε φορά, καθώς και το σημείο προσανατολισμού (στάση Σ1) με τις συντεταγμένες του. Με αυτόν τον τρόπο οι μετρήσεις εντάχθηκαν αυτόματα στο σύστημα συντεταγμένων της όδευσης.

Κατά την εκτέλεση της δεύτερης σάρωσης, που έγινε με τοποθέτηση του οργάνου στην κορυφή Σ2, σταμάτησε η λειτουργία της μοναδικής πηγής τροφοδοσίας που ήταν διαθέσιμη. Η διαδικασία τερματίστηκε, πριν γίνει ο προσανατολισμός και η σάρωση των ειδικών στόχων. Έτσι, η σύνδεση των δύο νεφών έγινε με χρήση ομόλογων σημείων, όπως περιγράφεται αναλυτικά στην ενότητα 4.3.1.



**Εικόνα 3.13:** Διαδικασία σάρωσης σε αστικό κόμβο

Το μεγάλο κενό που δημιουργήθηκε λόγω του «θορύβου» από τη συχνή διέλευση οχημάτων μετά τις δύο σάρωσεις, αποφασίστηκε να καλυφθεί με μία επιπλέον σάρωση. Παράλληλα υπήρχαν μικρά κενά κοντά στις στάσεις του οργάνου, στις κορυφές Σ2 και Σ3, εξαιτίας της αδυναμίας θέασής τους από τον σαρωτή. Έτσι ιδρύθηκε μία νέα στάση, που ονομάστηκε Σ4, σε σημείο που εξυπηρετούσε την κάλυψη των παραπάνω κενών. Η ίδρυση έγινε με τη μέθοδο των πολικών συντεταγμένων. Ακολούθησε μία σάρωση με πυκνότητα 1cm, όπως και οι προηγούμενες, και εμβέλεια 20m και με την επιλογή field setup εισήχθη και αυτή η σάρωση στο σύστημα συντεταγμένων.

Οι σάρωσεις που πραγματοποιήθηκαν στο περιβάλλον του αστικού κόμβου φαίνονται στο χάρτη 1. Το χρονικό διάστημα, για τη λήψη όλων αυτών των σαρώσεων, ήταν της τάξης της μίας ώρας και 30 λεπτών. Συνολικά χρειάστηκαν 3 ολιγόωρες παρουσίες στο πεδίο, σε 3 διαφορετικές ημέρες, για να πραγματοποιηθούν όλες οι απαραίτητες εργασίες.

### **3.3.4 Σάρωση υπεραστικού κόμβου**

Η σάρωση στο περιβάλλον του υπεραστικού κόμβου αποδείχτηκε λιγότερο πολύπλοκη και χρονοβόρα. Η κυκλοφορία των οχημάτων, που ήταν ένα από τα βασικά πρακτικά προβλήματα κατά τη διαδικασία της σάρωσης σε αστικό κόμβο, λόγω της ταχύτητας τους και της συχνότητας διέλευσης, δεν αποτέλεσε αντικείμενο προβληματισμού. Τα οχήματα κινούνται με αισθητά μεγαλύτερες ταχύτητες, ενώ είναι μειωμένες και οι περιπτώσεις συσσώρευσης κυκλοφοριακού φόρτου μέσα στον κόμβο. Επιπλέον, απουσιάζουν τα σταθμευμένα οχήματα, που θα δημιουργούσαν σημαντικές απώλειες πληροφορίας και θα επέτασσαν την πραγματοποίηση περαιτέρω σαρώσεων.

Τα πρόβλημα που έπρεπε να αντιμετωπιστεί εδώ, ήταν η μεγάλη έκταση του κόμβου. Επιπλέον, έπρεπε να αποτυπωθεί επαρκής έκταση κατά μήκος της πρωτεύουσας οδού, ώστε να γίνει μια ολοκληρωμένη μελέτη ορατότητας. Έτσι, λόγω του χρονικού περιορισμού που έθετε η πηγή τροφοδοσίας, αλλά και ο ηλεκτρονικός υπολογιστής, αποφασίστηκε η πραγματοποίηση μιας σάρωσης με πυκνότητα 2cm και εμβέλεια 50m, που να περιλαμβάνει όμως το μεγαλύτερο κομμάτι του κόμβου. Άλλωστε, λόγω της καλής κατάστασης του οδοστρώματος, δεν ήταν απαραίτητη

περαιτέρω πυκνότητα στη σάρωση. Το όργανο οριζοντιώθηκε και κεντρώθηκε πάνω από την κορυφή Σ3 και η σάρωση ολοκληρώθηκε σε 45 λεπτά. Ειδικός στόχος – σφαίρα, τοποθετήθηκε στην κορυφή Σ2 και σε ένα ακόμα τυχαίο σημείο. Ο προσανατολισμός και το σύστημα συντεταγμένων της σάρωσης ορίστηκε με την ειδική σάρωση του στόχου στην κορυφή Σ2 γνωστών συντεταγμένων και την εισαγωγή στο σύστημα των συντεταγμένων της κορυφής Σ3.

Μια δεύτερη σάρωση πραγματοποιήθηκε με στήσιμο του οργάνου στην κορυφή Σ2 (Εικόνα 3.14). Αυτό έγινε, για να υπάρχει περισσότερη πληροφορία και να γίνει πύκνωση των αποτυπωμένων σημείων σε εκείνη την περιοχή του κόμβου. Η σάρωση έγινε με πυκνότητα 2cm και εμβέλεια 40m και ολοκληρώθηκε σε 33 λεπτά. Ο στόχος, που ήταν τοποθετημένος στην κορυφή Σ2, μετακινήθηκε στην κορυφή Σ1, για να γίνει ο προσανατολισμός και να οριστεί το σύστημα συντεταγμένων της δεύτερης σάρωσης. Επίσης, έγινε ειδική σάρωση του δεύτερου στόχου, όπως και στην πρώτη σάρωση, ώστε να λειτουργήσει ως κοινό σημείο κατά τη διαδικασία συνένωσης των 2 σαρώσεων. Η συνολική διάρκεια των εργασιών σάρωσης στον υπεραστικό κόμβο ήταν της τάξης των 4 ωρών. Οι εργασίες πραγματοποιήθηκαν σε μία ημέρα. Οι σαρώσεις που έγιναν φαίνονται στο χάρτη 2.



**Εικόνα 3.14:** Πραγματοποίηση δεύτερης σάρωσης σε υπεραστικό κόμβο

### 3.3.5 Συνολική χρονική διάρκεια

Συνολικά οι εργασίες που αφορούσαν στη σάρωση στο πεδίο διήρκεσαν αρκετές ώρες. Οι σαρώσεις που πραγματοποιήθηκαν, δεν ήταν ιδιαίτερα χρονοβόρες, όπως αυτό αποτυπώνεται και στον πίνακα 3.3, καθώς ο σαρωτής αποτυπώνει χιλιάδες σημεία σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Τα σημαντικότερα προβλήματα που επέτειναν τις εργασίες ήταν οι δυνατότητες του υπολογιστή και ο δυναμικός παράγοντας των κινούμενων οχημάτων.

Η χρονική διάρκεια των εργασιών επιμηκύνθηκε εξαιτίας των χαμηλών δυνατοτήτων του υπολογιστή, ο οποίος μπορούσε να παραμείνει σε συνεχή λειτουργία χωρίς εξωτερική τροφοδοσία, για λιγότερο από 2 ώρες. Γι' αυτό το λόγο ήταν απαραίτητη η φόρτισή του για 40 περίπου λεπτά μετά από κάθε σάρωση ώστε να εξασφαλιστεί η συνεχής λειτουργία του στη συνέχεια των μετρήσεων. Αυτό όμως που δυσκόλεψε αρκετά και επέτεινε τις εργασίες ήταν ο κυκλοφοριακός φόρτος στον αστικό κόμβο. Η απώλεια πληροφορίας λόγω της συχνής διέλευσης οχημάτων αλλά και της συσσώρευσης αυτών, δημιούργησε σημαντικό πρόβλημα σε ένα αρκετά μεγάλο κομμάτι του κόμβου. Η πραγματοποίηση μιας ακόμα σάρωσης ήταν απαραίτητη και έτσι παρατάθηκε η παραμονή στο πεδίο για μια επιπλέον ημέρα.

Θέση οργάνου	Κόμβος	Πυκνότητα(cm)	Εμβέλεια(m)	Διάρκεια(min)
	Αστικός			
Σ2		1	25	20
Σ3		1	25	27
Σ4		1	20	25
	Υπεραστικός			
Σ2		2	50	43
Σ3		2	40	33

**Πίνακας 3.2 :** Χαρακτηριστικά σαρώσεων σε αστικό και υπεραστικό κόμβο

### 3.4 Αποτύπωση με χρήση γεωδαιτικού σταθμού

Το τελευταίο στάδιο των εργασιών πεδίου αποτέλεσε η διαδικασία αποτύπωσης, τόσο του αστικού όσο και του υπεραστικού κόμβου, με χρήση γεωδαιτικού σταθμού. Την ανάγκη μιας επιπλέον αποτύπωσης επέτασσε η έλλειψη

πληροφορίας σχετικά με τις οριογραμμές της πρωτεύουσας και της δευτερεύουσας οδού σε ορισμένα σημεία, γεγονός που οφείλεται στην ύπαρξη σταθμευμένων αμαξιών και άλλων εμποδίων, όσον αφορά στο αστικό περιβάλλον. Γενικότερα, με τις σαρώσεις που πραγματοποιήθηκαν, έγινε αποτύπωση του συνόλου του οδικού κόμβου, αλλά δεν ήταν δυνατή η απόκτηση δεδομένων για την πρωτεύουσα οδό σε μεγάλη απόσταση έξω από τους κόμβους. Τα δεδομένα αυτά ήταν απαραίτητα για τον πλήρη και ορθό σχεδιασμό των οδών σε επαρκή απόσταση ώστε να δημιουργηθεί το τρίγωνο ορατότητας αναχώρησης, όπως επιτάσσει η μεθοδολογία που περιγράφηκε στην ενότητα 2.2.2.

#### ➤ **Αστικός κόμβος**

Η αποτύπωση διεξήχθη με χρήση του γεωδαιτικού σταθμού Topcon Is, που παρουσιάστηκε σε προηγούμενη ενότητα. Ο σταθμός οριζοντιώθηκε και κεντρώθηκε στην κορυφή Σ2 και έγινε προσανατολισμός στην κορυφή Σ1. Ακολουθώς, έγινε μέτρηση οριζόντιων και κατακόρυφων γωνιών και κεκλιμένων αποστάσεων προς 33 σημεία, σε όλη την έκταση του κόμβου. Μετρήθηκαν επίσης ύψος οργάνου και ύψη στόχων.

#### ➤ **Υπεραστικός κόμβος**

Και σε αυτόν τον κόμβο έγινε αποτύπωση με χρήση του γεωδαιτικού σταθμού Topcon IS. Η αποτύπωση διεξήχθη από 2 κορυφές, καθώς δεν υπήρχε οπτική επαφή προς όλα τα σημεία, που αποτελούν τις οριογραμμές των οδών. Αρχικά το όργανο οριζοντιώθηκε και κεντρώθηκε στην κορυφή Σ3 και έγινε μια πρώτη αποτύπωση με προσανατολισμό στην κορυφή Σ1. Στη συνέχεια ιδρύθηκε μια νέα κορυφή η οποία ονομάστηκε Σ4. Η κορυφή αυτή μετρήθηκε, όπως ένα ταχυμετρικό σημείο. Η ίδρυση μιας καινούργιας κορυφής ήταν απαραίτητη, καθώς υπήρχαν πολλά κενά στην πληροφορία από την πρώτη αποτύπωση. Ο προσανατολισμός και εδώ έγινε στην κορυφή Σ1. Μετρήθηκαν οριζόντιες και κατακόρυφες γωνίες, κεκλιμένες αποστάσεις, ύψος οργάνου και ύψη στόχων. Συνολικά, έγινε αποτύπωση 53 σημείων.

Τα σημεία που επιλέχθηκαν για την αποτύπωση ήταν επαρκή ώστε να δημιουργηθεί ένα πλήρες προφίλ των κόμβων και να είναι δυνατός ο σχεδιασμός τους σε προγραμματιστικό πακέτο. Παράλληλα, κατέστη δυνατός και ο σχεδιασμός της κύριας οδού σε αρκετή απόσταση, πριν συναντήσει τον κόμβο, της τάξης των 80m. Με αυτόν τον τρόπο, καλύφθηκαν όλα τα κενά, που είχαν δημιουργηθεί μετά τις



σαρώσεις και εξασφαλίστηκαν όλα τα απαραίτητα δεδομένα, για να πραγματοποιηθεί η μελέτη ορατότητας. Το υπολογιστικό μέρος της διαδικασίας της αποτύπωσης και οι συντεταγμένες των σημείων παρουσιάζονται στο παράρτημα.



## **Κεφάλαιο 4: Επεξεργασία Δεδομένων – Αποτελέσματα**

### **4.1 Εισαγωγή**

Μετά την ολοκλήρωση των εργασιών πεδίου και τη συλλογή όλων των απαραίτητων δεδομένων (Κεφάλαιο 3), ακολουθεί η διαδικασία της επεξεργασίας τους. Η επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων αποτέλεσε την πιο χρονοβόρα και απαιτητική διεργασία που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής. Τα στάδια που ακολουθήθηκαν για την επεξεργασία των μετρήσεων που έγιναν σε κάθε κόμβο ήταν τα εξής :

- Επίλυση όδευσης
- Συνένωση νεφών σημείων και απαλοιφή «θορύβου»
- Μοντελοποίηση νεφών σημείων
- Διερεύνηση φθορών οδοστρώματος
- Μελέτη ορατότητας

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά όλα τα παραπάνω βήματα της επεξεργασίας. Τα ψηφιακά προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν, επιλέχθηκαν με σκοπό την βελτιστοποίηση των αποτελεσμάτων για κάθε μία από τις παραπάνω διεργασίες. Η συνένωση των νεφών που προέκυψαν από τις σαρώσεις έγινε στο λογισμικό Cyclone 7.0 της εταιρείας Leica (<http://www.leica-geosystems.com>). Στη συνέχεια, για την μοντελοποίηση χρησιμοποιήθηκε το Geomagic studio 10 της εταιρείας Rainbow (<http://www.geomagic.com/>). Με βάση το μοντέλο που προέκυψε έγινε η διερεύνηση των φθορών του οδοστρώματος και η μελέτη ορατότητας για την οποία χρησιμοποιήθηκε επίσης και το λογισμικό Autocad της Autodesk (<http://usa.autodesk.com/>).

### **4.2 Επίλυση όδευσης**

Κατά τη διάρκεια των εργασιών πεδίου ιδρύθηκαν δύο οδεύσεις στους υπό εξέταση κόμβους (Ενότητα 3.2). Σκοπός ήταν η δημιουργία ενός τοπικού δικτύου οριζόντιου και κατακόρυφου ελέγχου και έτσι αποφασίστηκε να είναι οι οδεύσεις κλειστές ανεξάρτητες. Στις ανεξάρτητες οδεύσεις το σύστημα αναφοράς ορίζεται αυθαίρετα, δίνοντας τυχαίες συντεταγμένες X, Ψ στην πρώτη κορυφή και τυχαία γωνία διεύθυνσης στην πρώτη πλευρά. Η υπολογιστική διαδικασία με την οποία

προσδιορίζονται οι συντεταγμένες των κορυφών της όδευσης σε κάποιο σύστημα αναφοράς ονομάζεται επίλυση όδευσης. Στις κλειστές ανεξάρτητες οδεύσεις υπάρχει η δυνατότητα ελέγχου των σφαλμάτων που έχουν τυχόν γίνει στις γωνίες (Γωνιακός Έλεγχος) και στα μήκη (Γραμμικός Έλεγχος). Τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τις συντεταγμένες των κορυφών κάθε όδευσης αποτυπώνονται στον πίνακα 4.1.

Κορυφή Όδευσης	Κόμβος	x(m)	y(m)	z(m)
	Αστικός			
Σ1		0.000	0.000	100.000
Σ2		9.779	-0.001	99.932
Σ3		13.982	21.362	100.4578
	Υπεραστικός			
Σ1		0.000	0.000	0.000
Σ2		-0.002	23.037	0.2132
Σ3		30.927	53.088	2.7558

**Πίνακας 4.1 :** Συντεταγμένες κορυφών οδεύσεων

Η επίλυση για κάθε όδευση που ιδρύθηκε στο πεδίο παρουσιάζεται αναλυτικά με όλους τους απαραίτητους υπολογισμούς στο παράρτημα.

### 4.3 Συνένωση νεφών σημείων και απαλοιφή θορύβου

#### 4.3.1 Διαδικασία συνένωσης

Κατά τη διαδικασία αποτύπωσης, με χρήση επίγειου σαρωτή laser, ενός μεγάλου σε έκταση αντικειμένου όπως είναι ένας οδικός κόμβος είναι πιθανή και τις περισσότερες φορές αναγκαία η πραγματοποίηση πολλαπλών σαρώσεων. Τα νέφη σημείων που προκύπτουν από κάθε σάρωση συγχωνεύονται στον τρισδιάστατο χώρο μέσω μιας διαδικασίας που ονομάζεται registration η αλλιώς συνένωση. Στόχος δηλαδή της συνένωσης είναι η εύρεση ενός τρόπου μετασχηματισμού των δεδομένων έτσι ώστε να βρεθεί η βέλτιστη θέση τους ως προς το μοντέλο. Δημιουργείται έτσι ένα καινούργιο νέφος σημείων που περιέχει τα προηγούμενα και διαθέτει ενιαίο τοπικό σύστημα συντεταγμένων. Το αρχικό σύστημα συντεταγμένων ορίζεται από τη

θέση του οργάνου και τον προσανατολισμό. Η λήψη του προσανατολισμού αλλά και των κοινών σημείων μεταξύ των σαρώσεων γίνεται με χρήση ειδικών στόχων.

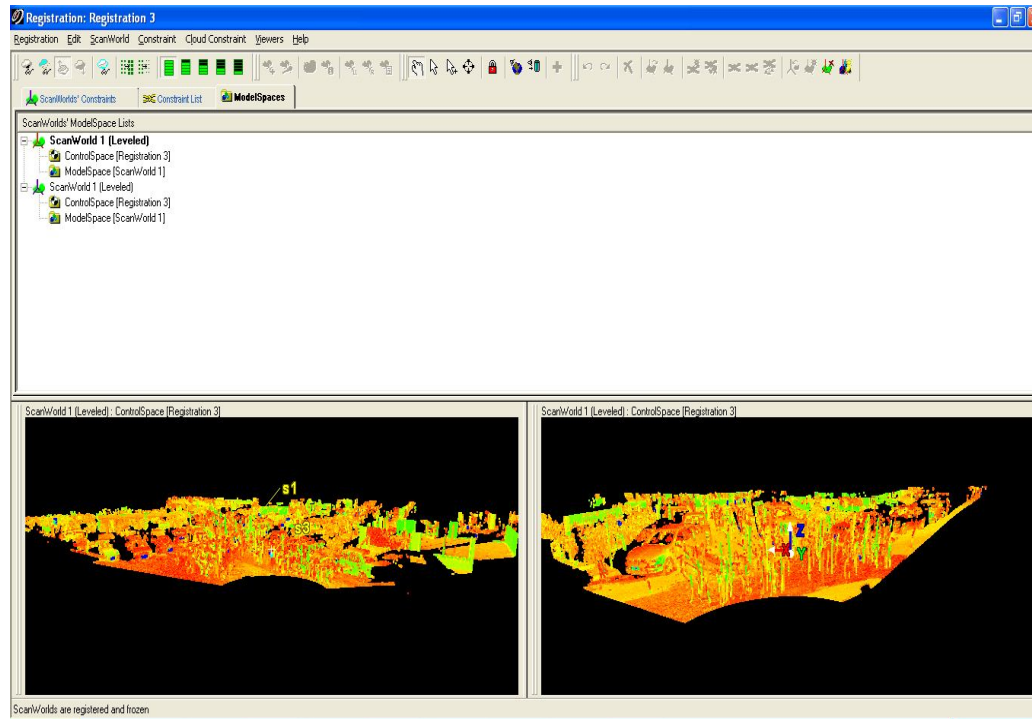
Για να επιτευχθεί η συνένωση χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Cyclone. Κατά τη διαδικασία της συνένωσης ένα από τα νέφη σημείων ονομάζεται κύριο νέφος. Όλα τα υπόλοιπα νέφη σημείων συνδέονται με το κύριο νέφος με βάση τα κοινά σημεία και γίνονται οι απαραίτητες μεταθέσεις και στροφές των αντίστοιχων αξόνων στις τρεις διευθύνσεις. Η αρχική δομή του κάθε νέφους δεν μεταβάλλεται. Το μόνο που αλλάζει είναι η θέση του σε σχέση με τα υπόλοιπα. Τουλάχιστον 3 κοινά σημεία είναι απαραίτητα για να γίνει η συνένωση. Αυτό έχει να κάνει με το γεγονός ότι κάθε σημείο μπορεί να μετακινηθεί και να στραφεί γύρω από τους 3 άξονες X, Y και Z. Αυτές οι 3 μεταθέσεις και στροφές αποτελούν τους 6 βαθμούς ελευθερίας οπότε είναι απαραίτητα 3 σημεία που το καθένα δίνει 2 συντεταγμένες. Για να τοποθετηθεί ένα αντικείμενο στον τρισδιάστατο χώρο πρέπει να καθοριστούν αυτοί οι βαθμοί ελευθερίας.

#### 4.3.2 Συνένωση σαρώσεων αστικού κόμβου

Στα πλαίσια της αποτύπωσης του αστικού κόμβου, επιλέχθηκε η πραγματοποίηση δύο σαρώσεων με τοποθέτηση τεσσάρων κοινών σημείων μεταξύ τους όπως περιγράφηκε στην ενότητα 3.3.2. Το πρόβλημα όμως που παρουσιάστηκε με την απουσία δεύτερης πηγής ρεύματος στο πεδίο, μείωσε σημαντικά το χρόνο λειτουργίας του σαρωτή με αποτέλεσμα να μην γίνει προσανατολισμός σάρωσης από την κορυφή Σ2. Επιπλέον δεν έγινε και ειδική σάρωση των κοινών σημείων. Έτσι μόνο η πρώτη σάρωση που έγινε με στήσιμο του οργάνου στην κορυφή Σ1 εισήχθη στο τοπικό σύστημα συντεταγμένων που είχε οριστεί μετά την επίλυση της όδευσης.

Η απουσία ειδικών στόχων ως κοινά σημεία ανάμεσα στις δύο σαρώσεις οδήγησε στην επιλογή χρήσης ομόλογων σημείων για να πραγματοποιηθεί η συνένωση. Από το αρχικό παράθυρο Navigator που εμφανίζεται με την έναρξη του Cyclone επιλέγεται το μενού Configure και η εντολή Databases. Έτσι εισήχθησαν στο πρόγραμμα όλα τα δεδομένα που είχαν μετρηθεί στο πεδίο. Στη συνέχεια, τα δύο νέφη σημείων τοποθετήθηκαν στο ίδιο project και έχοντας επιλεγμένο το project αυτό, έγινε εκκίνηση της εφαρμογής registration. Από το μενού Scanworld με την εντολή add scanworld, προστέθηκαν οι επιλεγμένες σαρώσεις στην διαδικασία. Οι

δύο σαρώσεις εμφανίστηκαν σε γειτονικά παράθυρα και με την επιλογή cloud constraints, ξεκίνησε η διαδικασία αναγνώρισης ομόλογων σημείων (Εικόνα 4.1).



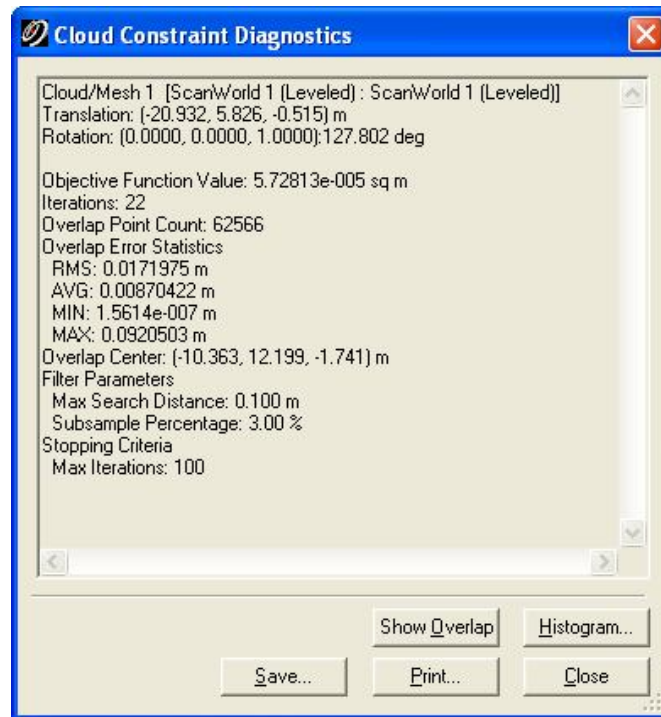
**Εικόνα 4.1** : Συνένωση νεφών σημείων

Για να υπάρχει μεγάλη ακρίβεια στο τελικό αποτέλεσμα έπρεπε να γίνει αναγνώριση σημείων με μεγάλη βεβαιότητα. Γι' αυτό προτιμήθηκαν χαρακτηριστικά σημεία όπως γωνίες πεζοδρομίων, πινακίδες κ.α. (Εικόνα 4.2). Τα απαραίτητα κοινά σημεία για να επιτευχθεί η συνένωση είναι τρία όμως προτιμήθηκε η συμμετοχή περισσότερων στην διαδικασία συνένωσης για να έχει μεγαλύτερη αξιοπιστία το τελικό αποτέλεσμα. Ως κύριο νέφος ορίστηκε αυτό που είχε εισαχθεί στο τοπικό σύστημα συντεταγμένων κατά την εκτέλεση των σαρώσεων και έτσι τα σημεία του συνενωμένου νέφους που προέκυψε είχαν σωστές συντεταγμένες. Μετά από αρκετές δοκιμές με διαφορετικά ομόλογα σημεία, επιλέχθηκαν τα εφτά χαρακτηριστικότερα σημεία. Για να προστεθούν τα τελικά επιλεγθέντα σημεία στη διαδικασία συνένωσης, ενεργοποιείται η εντολή add cloud constraints από το μενού cloud constraints.



**Εικόνα 4.2:** Ομόλογα σημεία επί σταθμευμένου οχήματος

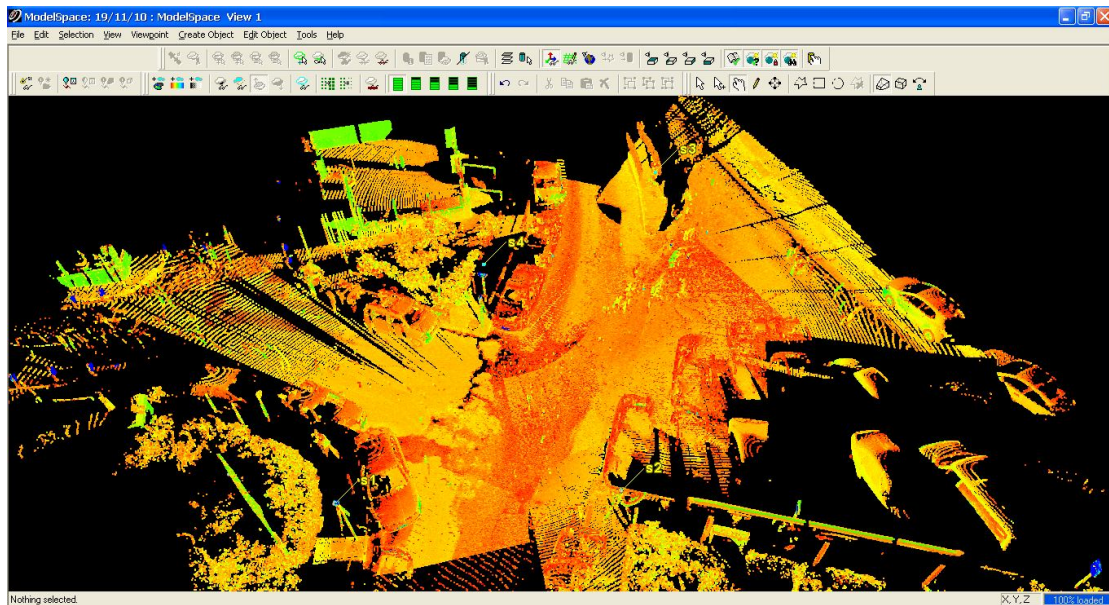
Με την επιλογή optimize cloud constraint, παρουσιάζεται το μέσο τετραγωνικό σφάλμα. Η συνένωση έκλεισε με μέσο τετραγωνικό σφάλμα 1,7 cm. Το σφάλμα αυτό είναι αποδεκτό με βάση τα ζητούμενα της παρούσας εργασίας. Η μελέτη ορατότητας και η επισκόπηση του οδοστρώματος δεν απαιτούν πολύ μεγάλες ακρίβειες. Σαφώς βέβαια θα ήταν προτιμότερο το σφάλμα να είναι της τάξης του 1cm, κάτι που μπορεί να επιτευχθεί βάσει των προδιαγραφών του σαρωτή. Από το μενού Registration, με την επιλογή register ολοκληρώνεται η συνένωση των νεφών. Επιλέγοντας Create Scanworld/Freeze registration, δημιουργείται ένα καινούργιο αρχείο το οποίο περιέχει το συνενωμένο νέφος. Όλες οι παράμετροι της διαδικασίας της συνένωσης παρουσιάζονται στον πίνακα cloud constraint diagnostics (Εικόνα 4.3).



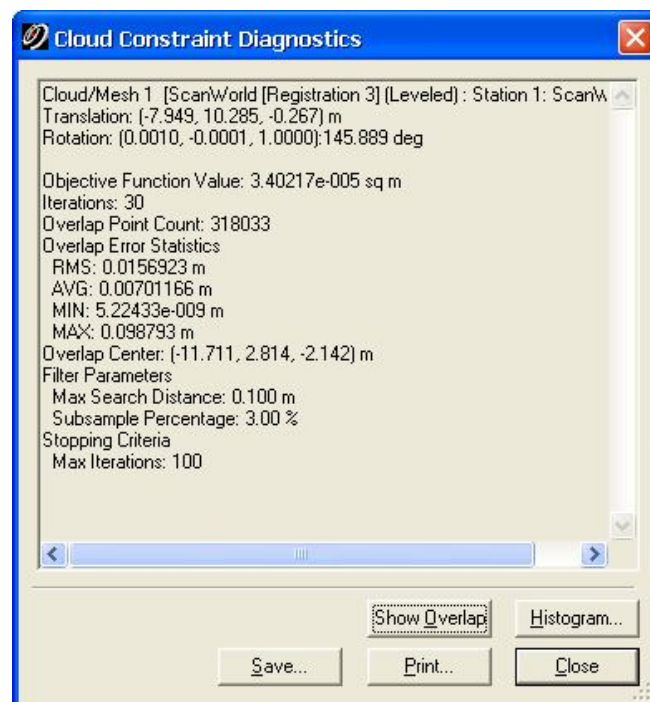
**Εικόνα 4.3** : Πίνακας παραμέτρων διαδικασίας συνένωσης

Ακολούθησε μια τρίτη σάρωση για να καλυφθούν τα κενά στην πληροφορία που προέκυψαν από τις πρώτες δύο σαρώσεις. Η σάρωση αυτή πραγματοποιήθηκε σε διαφορετική ημέρα από τις προηγούμενες με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η ύπαρξη στόχων ως κοινών σημείων ανάμεσα στις σαρώσεις. Έτσι, η διαδικασία της συνένωσης έγινε και εδώ με χρήση ομόλογων σημείων. Οι κοινές περιοχές ανάμεσα στα νέφη δεν ήταν πολλές καθώς δόθηκε προτεραιότητα στη σάρωση του οδοστρώματος με μεγάλη πυκνότητα, γεγονός που δυσχέρανε τη διαδικασία εύρεσης ομόλογων σημείων. Εντούτοις, προσδιορίστηκαν 6 ομόλογα σημεία και η συνένωση έκλεισε με μέσο τετραγωνικό σφάλμα 1,6 cm. Το καινούργιο αρχείο που δημιουργήθηκε με την ολοκλήρωση της συνένωσης αποτέλεσε το τελικό νέφος σημείων από την σάρωση του αστικού κόμβου (Εικόνα 4.4). Τα αναλυτικά αποτελέσματα για το σφάλμα της συνένωσης παρουσιάζονται στην Εικόνα 4.5





Εικόνα 4.4 : Τελικό νέφος αποτύπωσης αστικού κόμβου



Εικόνα 4.5 : Πίνακας παραμέτρων δεύτερης συνένωσης αστικού κόμβου

#### 4.3.2 Συνένωση σαρώσεων υπεραστικού κόμβου

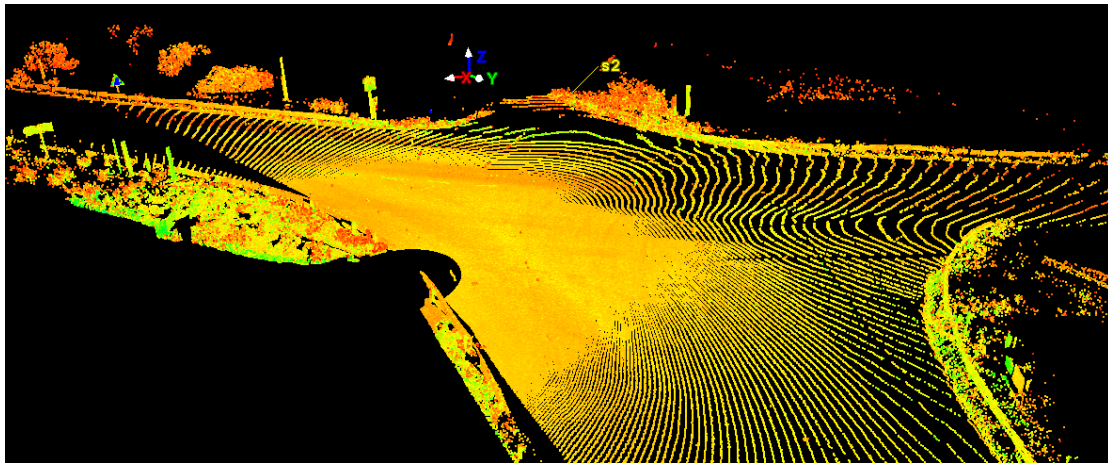
Κατά τη διαδικασία αποτύπωσης του υπεραστικού κόμβου προέκυψαν δύο σαρώσεις όπως περιγράφηκε στην ενότητα 3.3.3. Αφού προστέθηκαν στην εφαρμογή Registration, με την επιλογή auto add constraints προστίθενται αυτόματα τα κοινά σημεία-στόχοι για να γίνει η συνένωση. Για να ολοκληρωθεί η συνένωση ενεργοποιήθηκε όπως και πριν η επιλογή register. Ακολούθως εμφανίζεται το σφάλμα τόσο για την συνολική διαδικασία όσο και για κάθε στόχο ξεχωριστά.

Το συνολικό σφάλμα που προέκυψε κατά την συνένωση των νεφών του υπεραστικού κόμβου ήταν ιδιαίτερα υψηλό καθώς ξεπερνούσε τα 7cm. Αρκετά μεγάλο σφάλμα προέκυψε και για τους στόχους με αποτέλεσμα να μην γίνεται αποδεκτή η συνένωση αφού η ακρίβεια του συνολικού νέφους θα ήταν αρκετά μειωμένη. Τα σφάλματα αυτά οφείλονται πιθανότατα στο ότι οι στόχοι δεν είχαν σαρωθεί σωστά κατά την εκτέλεση των μετρήσεων. Παρατηρήθηκε αρκετές φορές κατά τις μετρήσεις ότι ενώ ο σαρωτής αναγνώριζε τους στόχους που είχαν υποδειχθεί, δεν αποτύπωνε με ακρίβεια την επιφάνειά τους παρά το γεγονός ότι αυτοί είχαν σαφώς υποδειχθεί μέσω του λογισμικού. Αυτό οφείλεται εν πολλοίς και στην απόσταση στόχου – σαρωτή που σε κάποιες περιπτώσεις ξεπερνούσε τα 40m. Το αποτέλεσμα είναι να δημιουργούνται σφάλματα ως προς τη θέση του στόχου στο αντίστοιχο νέφος.

Λόγω των σφαλμάτων που προέκυψαν από την παραπάνω διαδικασία, αποφασίστηκε η προσπάθεια συνένωσης του νέφους με χρήση ομόλογων σημείων, όπως ακριβώς και στην συνένωση των νεφών του αστικού κόμβου. Ακολουθήθηκαν τα ίδια βήματα και έγινε προσπάθεια αναγνώρισης κοινών σημείων. Όμως δεν υπήρχαν αρκετά χαρακτηριστικά σημεία στις κοινές περιοχές των 2 σαρώσεων. Επιπλέον, οι σαρώσεις έγιναν από πολύ διαφορετικές οπτικές γωνίες με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγάλη αβεβαιότητα κατά την επισήμανση ομόλογων σημείων. Τελικά, επισημάνθηκαν 5 κοινά σημεία και η συνένωση έκλεισε με μέσο τετραγωνικό σφάλμα 2,5 cm. Το σφάλμα αυτό ήταν αρκετά μεγαλύτερο από αυτό που προέκυψε κατά την συνένωση των νεφών του αστικού κόμβου και δεν έγινε δεκτό. Εκτός από την αβεβαιότητα κατά την εύρεση ομόλογων σημείων, το σφάλμα αυτό οφείλεται και στην μειωμένη πυκνότητα των συγκεκριμένων σαρώσεων που είχε οριστεί στα 2 cm. Με λιγότερα σημεία, είναι πιο δύσκολο να βρεθούν ομόλογα σημεία με μεγάλη

ακρίβεια. Επιπλέον βρέθηκαν ομόλογα σημεία σε πολύ απομακρυσμένες περιοχές των σαρώσεων, γεγονός που σίγουρα επηρέασε το σφάλμα της συνένωσης.

Τελικά εξαιτίας των σφαλμάτων που προέκυψαν αποφασίστηκε να μην γίνει η συνένωση αλλά να χρησιμοποιηθεί μόνο το ένα νέφος σημείων από την στάση Σ3 (Εικόνα 4.6). Το νέφος αυτό περιείχε την περισσότερη πληροφορία και τα σημεία που ήταν άκρως απαραίτητα για να δημιουργηθεί το μοντέλο εδάφους και να μελετηθεί ο κόμβος.



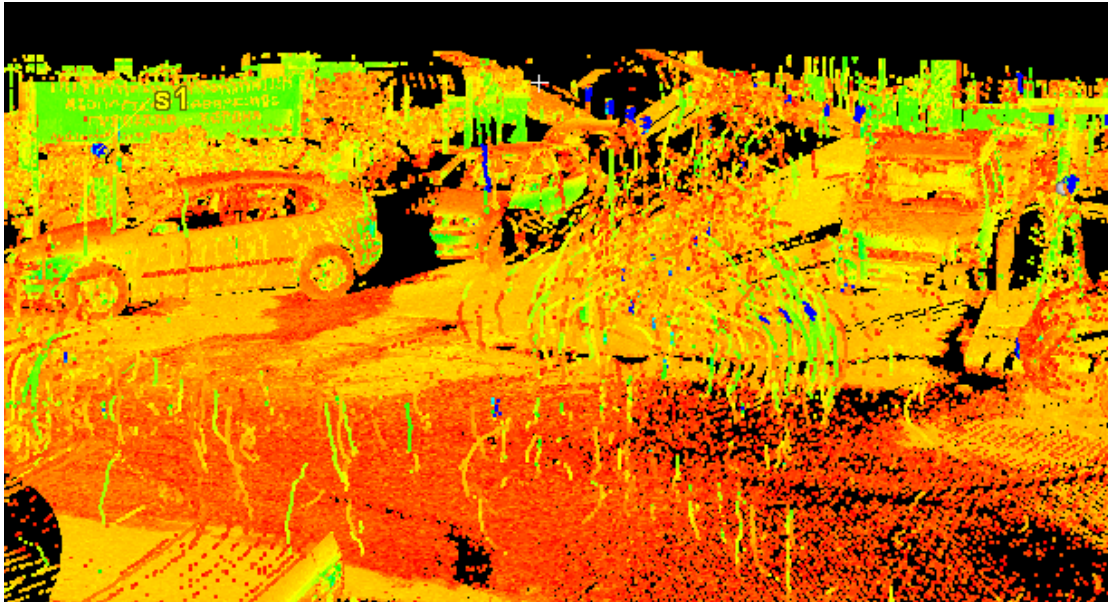
**Εικόνα 4.6 :** Νέφος σημείων με σάρωση από την κορυφή Σ3

### 4.3.3 Απαλοιφή θορύβου

Προτού ξεκινήσει η διαδικασία μοντελοποίησης των νεφών σημείων που προέκυψαν μετά την συνένωση, έπρεπε να διαγραφούν τα σημεία που αποτελούσαν «θόρυβο» στις μετρήσεις (Εικόνα 4.7). Η ύπαρξη τέτοιων σημείων οφείλεται στην συνεχή διέλευση οχημάτων καθώς και πεζών κατά την εκτέλεση των σαρώσεων. Ο σαρωτής αποτυπώνει σημεία τα οποία δεν ανήκουν στην επιφάνεια του κόμβου και πρόκειται να δυσχεράνουν την μοντελοποίηση προκαλώντας σφάλματα στο ψηφιακό μοντέλο. Επιπλέον, οι δύο σαρώσεις αποτελούνταν από εκατομμύρια σημεία, με αποτέλεσμα να καθίσταται δύσκολη η επεξεργασία τους από τα λογισμικά που είχαν επιλεγεί. Έτσι, έγινε διαγραφή και άλλων σημείων που είχαν αποτυπωθεί από τον σαρωτή αλλά δεν ήταν απαραίτητα κατά την περαιτέρω επεξεργασία.

Οι διεργασίες διαγραφής σημείων έγιναν στο λογισμικό Cyclone. Εκτός από τις δυνατότητες συνένωσης των νεφών σημείων, το λογισμικό αυτό διαθέτει αρκετά εργαλεία που απλοποιούν τον χειρισμό του νέφους. Τα σημεία που έχουν αποτυπωθεί

είναι χρωματισμένα έτσι ώστε να είναι εύκολη η αναγνώριση των αντικειμένων και να διευκολύνεται η πλοήγηση μέσα στο νέφος. Αυτό δίνει την δυνατότητα να είναι εμφανή όλα εκείνα τα σημεία τα οποία δεν αποτελούν μέρος της επιφάνειας του κόμβου καθώς είναι εφικτή η θέαση από πολλές διαφορετικές οπτικές γωνίες. Η διαγραφή γίνεται με τη βοήθεια του εργαλείου fence. Με το εργαλείο αυτό επιλέγονται τα σημεία που πρέπει να διαγραφούν και ενεργοποιείται η εντολή delete. Μετά την διαγραφή των λανθασμένων και των πλεοναζόντων σημείων, δημιουργούνται αρκετά κενά στις επιφάνειες που πρέπει να καλυφθούν πριν ξεκινήσει η διαδικασία της μοντελοποίησης. Η επεξεργασία αυτή γίνεται στο περιβάλλον του λογισμικού Geomagic.



**Εικόνα 4.7 :** Θόρυβος στις μετρήσεις εξαιτίας διερχόμενων οχημάτων

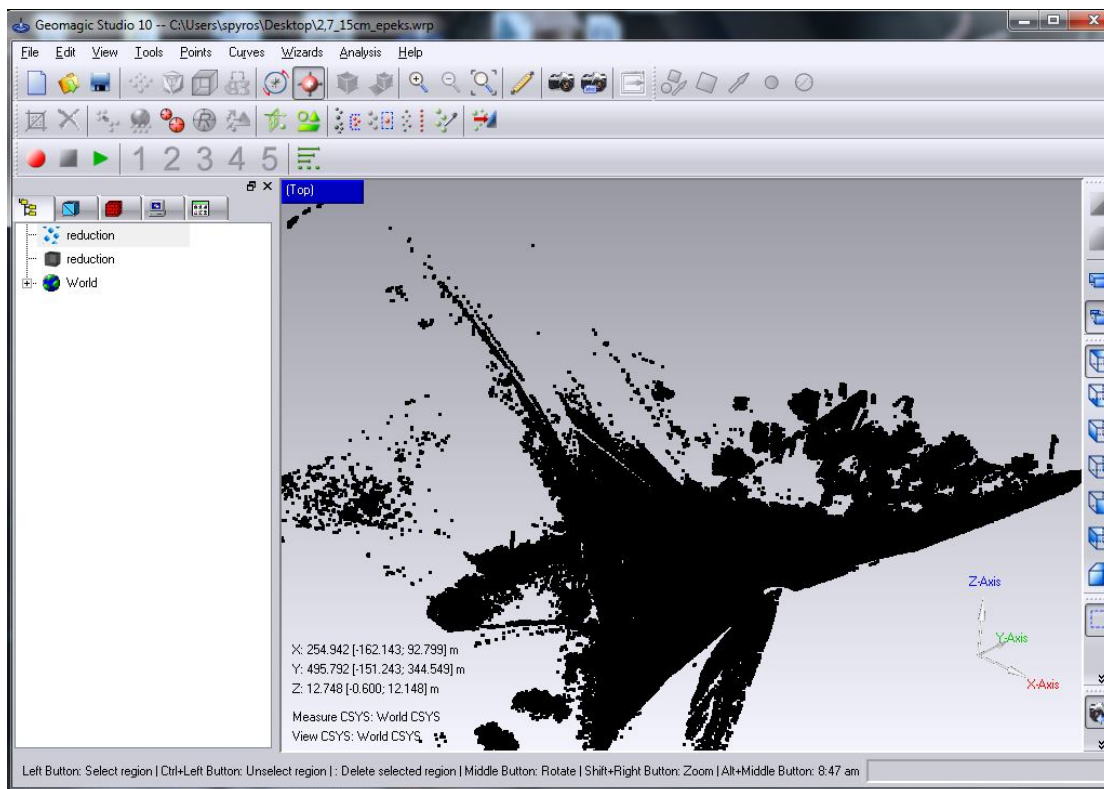
#### **4.4 Μοντελοποίηση νεφών σημείων**

Η περαιτέρω επεξεργασία των νεφών σημείων που προέκυψαν από τις σαρώσεις στο πεδίο, προϋπέθετε την μοντελοποίηση τους. Στην ουσία έπρεπε να δημιουργηθεί για κάθε νέφος το ψηφιακό μοντέλο επιφάνειας. Το πρόγραμμα που επιλέχθηκε για να πραγματοποιηθεί η μοντελοποίηση των νεφών ήταν το Geomagic Studio 10. Το λογισμικό αυτό χρησιμοποιεί ειδικούς αλγόριθμους και δημιουργεί αξιόλογα μοντέλα επιφάνειας ανάλογα με την πυκνότητα που επιλέγει ο χρήστης. Επιπλέον, η προσπάθεια μοντελοποίησης στο περιβάλλον του Cyclone δεν έδωσε

ικανοποιητικά αποτελέσματα. Τα μοντέλα που δημιουργήθηκαν είχαν πληθώρα σφαλμάτων των οποίων η διόρθωση ήταν εξαιρετικά δύσκολη και χρονοβόρα.

#### 4.4.1 Δημιουργία ψηφιακού μοντέλου επιφάνειας

Για να ξεκινήσει η μοντελοποίηση έπρεπε αρχικά να εισαχθούν τα δεδομένα στο καινούριο λογισμικό. Αρχικά έγινε εξαγωγή των νεφών από το Cyclone με την μορφή .pts η οποία αναγνωρίζεται από το Geomagic. Τα δεδομένα εισήχθησαν με την επιλογή Import. Έτσι, εμφανίστηκαν τα νέφη σημείων τα οποία διατηρούν το σύστημα συντεταγμένων που έχει οριστεί κατά την σάρωση. Τα σημεία είναι χρωματισμένα με μαύρο χρώμα με αποτέλεσμα να μην είναι εμφανή τα αντικείμενα στο βαθμό που αυτό ήταν εφικτό στο Cyclone (Εικόνα 4.8). Το γεγονός αυτό δικαιολογεί την πραγματοποίηση της διαδικασίας απαλοιφής σημείων στο περιβάλλον του Cyclone.

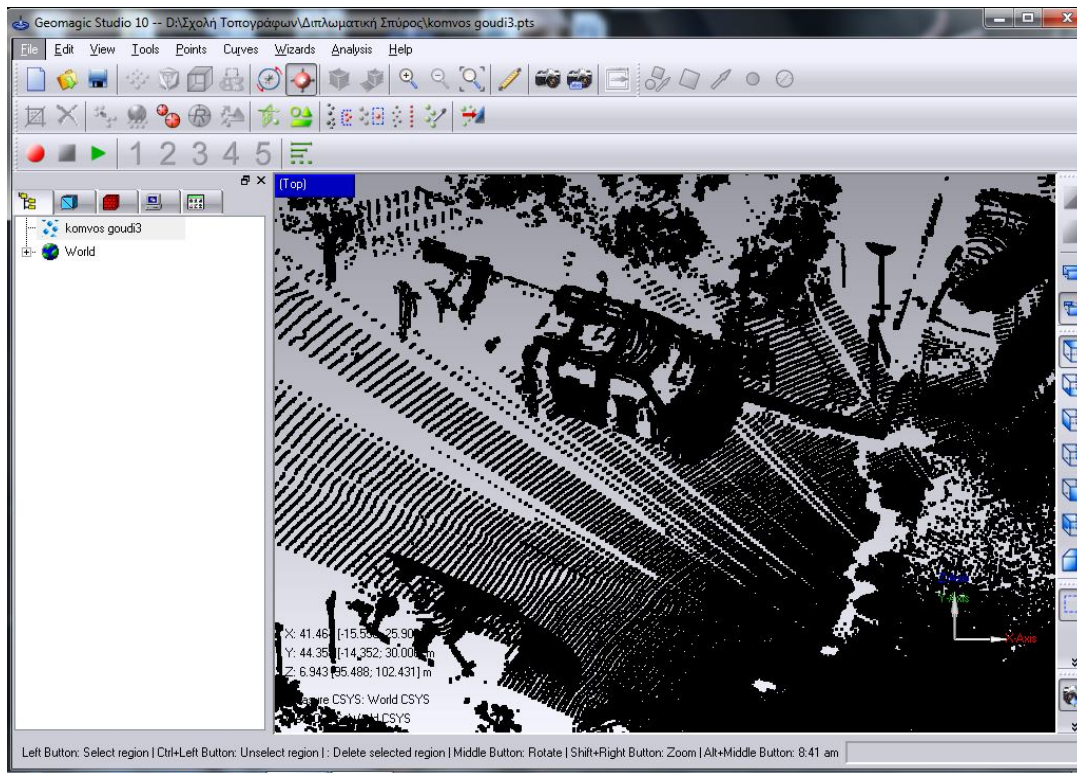


**Εικόνα 4.8 :** Άποψη νέφους σημείων υπεραστικού κόμβου στο περιβάλλον του Geomagic

Η δημιουργία ενός ψηφιακού μοντέλου εδάφους αποτελεί ουσιαστικά την μετατροπή ενός νέφους σημείων σε ένα αντικείμενο που αποτελείται από πολύγωνα. Δημιουργείται με αυτόν τον τρόπο μια πολυγωνική επιφάνεια που στο συγκεκριμένο μοντέλο αποτελείται από τρίγωνα. Από το μενού Points επιλέγεται η εντολή Wrap και ανοίγει το παράθυρο για την εκτέλεση της μοντελοποίησης. Εδώ επιλέγεται η μέθοδος της μοντελοποίησης που είναι το surface δηλαδή το μοντέλο επιφάνειας. Το μοντέλο επιφάνειας επιλέγεται για τα περισσότερα αντικείμενα και κυρίως για τα μεγαλύτερα όπως ένας οδικός κόμβος. Έτσι δημιουργείται άμεσα μια επιφάνεια που αποτελείται από τρίγωνα με κορυφές τα σημεία του νέφους. Επιπλέον, από το ίδιο παράθυρο μπορεί να επιλεγεί η πυκνότητα με την οποία θα σχηματιστούν τα τρίγωνα με την εντολή point spacing. Η πυκνότητα αυτή εκφράζεται από τις διαστάσεις του ελάχιστου τριγώνου και επηρεάζει άμεσα την πιστότητα και λεπτομέρεια με την οποία αναπαρίσταται μια επιφάνεια.

#### ➤ **Αστικός κόμβος**

Το νέφος που προέκυψε από την σάρωση στο περιβάλλον του αστικού κόμβου περιείχε αρκετά κενά. Τα κενά αυτά δημιουργήθηκαν εξαιτίας της αποτύπωσης λανθασμένων σημείων κατά την εκτέλεση των μετρήσεων. Επιπλέον, δημιουργήθηκαν κενά εξαιτίας του νερού που είχε συσσωρευτεί σε ορισμένα σημεία του οδοστρώματος το οποίο δεν επιστρέφει πληροφορία. Ακόμα, δεν ήταν δυνατή η αποτύπωση του συνόλου του κόμβου καθώς παρέμειναν περιοχές που η πληροφορία δεν ήταν αρκετά πυκνή. Κενά υπήρχαν περισσότερο σε αρκετές περιοχές του οδοστρώματος και στα σταθμευμένα οχήματα (Εικόνα 4.9). Έτσι, το πρώτο βήμα αφορούσε την προσπάθεια κάλυψης των κενών στην πληροφορία. Από το μενού Points και την εντολή Add points προστέθηκαν χειροκίνητα αρκετά σημεία σε κατάλληλες θέσεις. Αυτό έγινε με τον ορισμό του επιπέδου στο οποίο θα προστίθεντο τα σημεία με την επιλογή Define plane. Επιπλέον χρησιμοποιήθηκε και η αυτόματη προσθήκη σημείων με την εντολή fill point holes. Με την εντολή αυτή το πρόγραμμα γεμίζει αυτόματα τις επιλεγμένες περιοχές χωρίς όμως να λαμβάνει υπ' όψιν την πυκνότητα των γύρω σημείων με αποτέλεσμα να είναι εμφανής η ανομοιογένεια. Η εντολή αυτή επιλέχθηκε για περιορισμένο αριθμό περιοχών του νέφους.

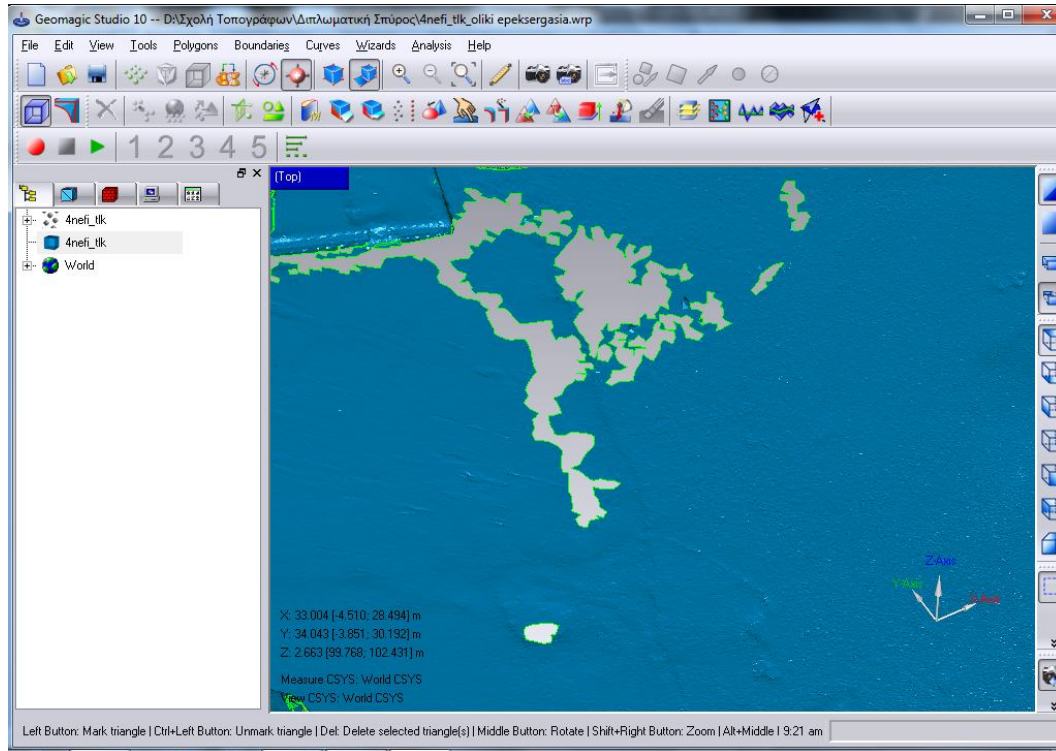


**Εικόνα 4.9** : Κενά στην πληροφορία από τη σάρωση του αστικού κόμβου

Μετά την επικάλυψη των κενών στην πληροφορία που ήταν απαραίτητη για την συνέχεια της εργασίας, ακολούθησε η διαδικασία της δημιουργίας του μοντέλου επιφάνειας. Εδώ επιλέχτηκε να γίνει ένα ιδιαίτερα πυκνό σε πληροφορία μοντέλο έτσι ώστε να είναι εμφανείς όλες οι λεπτομέρειες της επιφάνειας του οδοστρώματος. Το point spacing ορίστηκε στο 1cm και δημιουργήθηκαν 2,7 εκατομμύρια τρίγωνα για να περιγράψουν την επιφάνεια. Το αποτέλεσμα της μοντελοποίησης ήταν ικανοποιητικό αλλά υπήρχαν αρκετά προβλήματα τα οποία έπρεπε να διορθωθούν.

Αρχικά, λόγω του μικρού μεγέθους τριγώνων που τέθηκε, σημεία τα οποία είχαν αρκετή απόσταση μεταξύ τους δεν ενώθηκαν. Συνολικά, παρατηρήθηκαν αρκετά κενά στην μοντελοποιημένη επιφάνεια (Εικόνα 4.10). Σ' αυτήν την περίπτωση έπρεπε να προστεθούν τρίγωνα είτε χειροκίνητα είτε αυτόματα. Από το μενού Polygons και την εντολή Edit Polygons→Add triangles, γίνεται η χειροκίνητη προσθήκη καινούριων τριγώνων ώστε να καλυφθούν τα κενά. Από το ίδιο μενού με την εντολή Fill holes, γίνεται η αυτόματη προσθήκη τριγώνων. Ο χρήστης είναι σε θέση να υποδηλώσει την κενή περιοχή και το πρόγραμμα την καλύπτει με τέτοιο

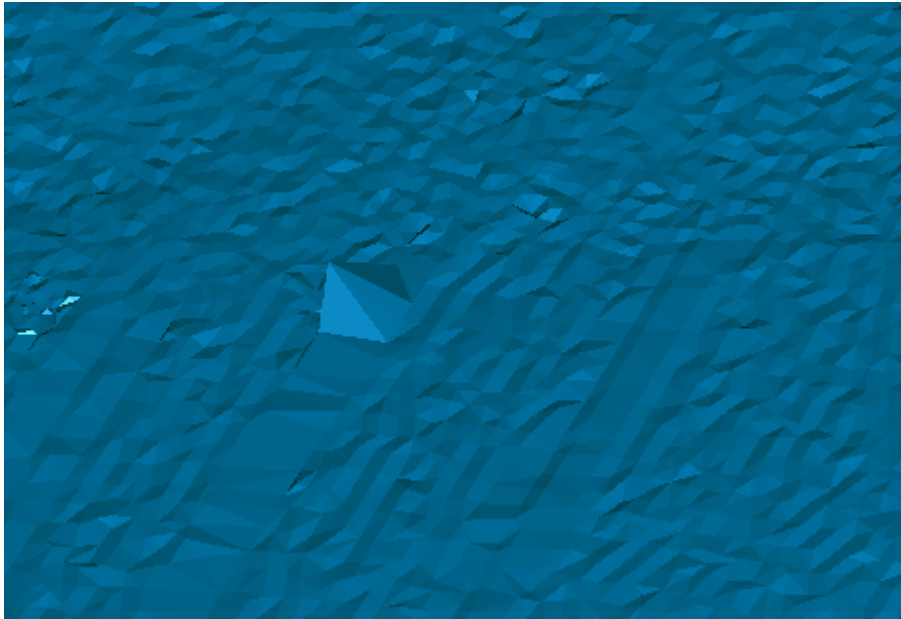
τρόπο ώστε να διατηρείται σωστή η υφή και η γεωμετρία της επιφάνειας. Αυτό γίνεται με την επιλογή της μεθόδου curvature based filling.



**Εικόνα 4.10:** Κενά στη μοντελοποιημένη επιφάνεια

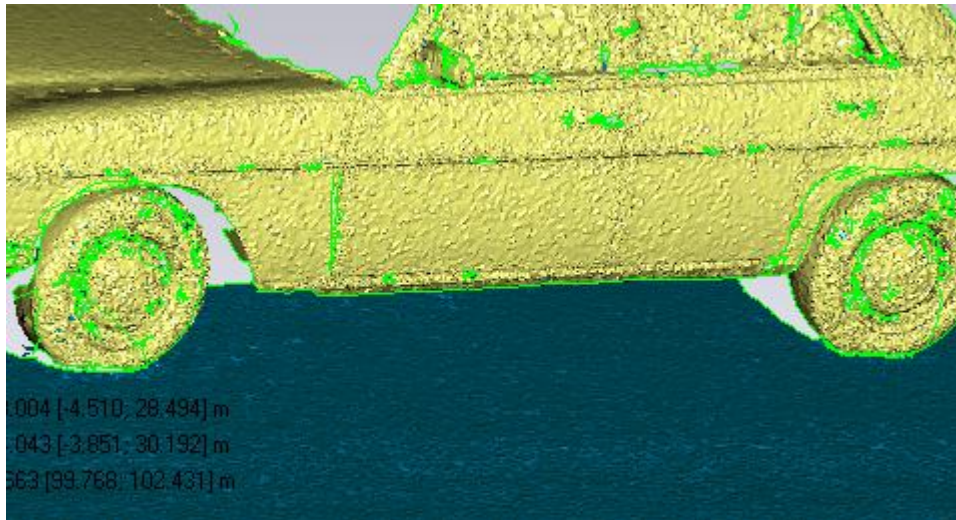
Παράλληλα σε πολλές περιοχές το μοντέλο παρουσίασε σφάλματα κατά τη δημιουργία των τριγώνων. Τα τρίγωνα είχαν δημιουργηθεί με λανθασμένο τρόπο, με αποτέλεσμα να μην αποδίδεται σωστά η επιφάνεια (Εικόνα 4.11). Επίσης ο μικρός αριθμός λανθασμένων σημείων που είχαν απομείνει στο νέφος οδήγησε στη δημιουργία πολλών τριγώνων σε λάθος θέση. Η εντολή που χρησιμοποιήθηκε για να διαγραφούν τα λάθος τρίγωνα ονομαζόταν delete polygons από το μενού Polygons. Στη συνέχεια, τα κενά που προέκυψαν καλύφθηκαν με τους τρόπους που παρουσιάστηκαν προηγουμένως. Από το ίδιο μενού, με την εντολή Relax τα λάθος τρίγωνα γίνονται περισσότερο επίπεδα ώστε να προσομοιάζουν την μορφή της υπόλοιπης επιφάνειας. Τέλος με την εντολή repair intersections, διορθώνονται τα τεμνόμενα τρίγωνα που προκύπτουν από σφάλματα κατά τη δημιουργία του μοντέλου.





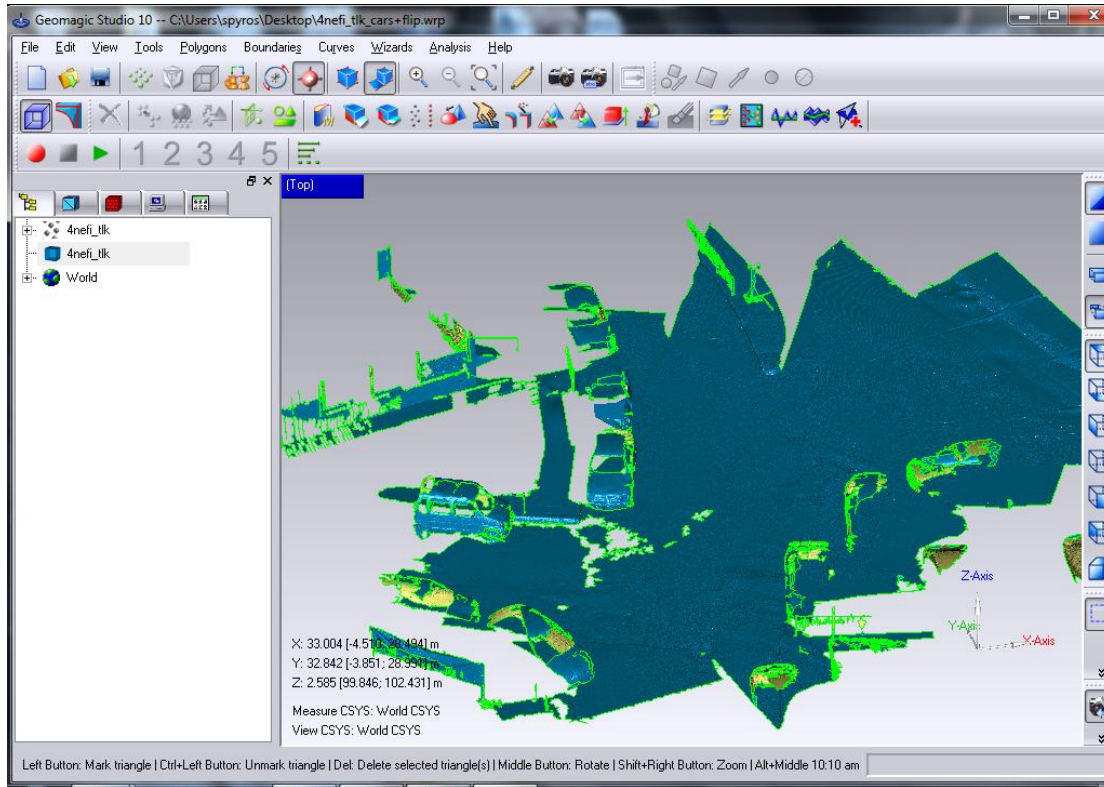
**Εικόνα 4.11:** Λάθος σχηματισμένο τρίγωνο στην επιφάνεια του οδοστρώματος

Το τελευταίο κομμάτι που έπρεπε να διορθωθεί, είχε να κάνει με τον χρωματισμό της κάθε επιφάνειας. Το λογισμικό Geomagic μέσω της επιλογής Backfacing παρουσιάζει με διαφορετικό χρώμα την ορθή επιφάνεια ενός αντικειμένου σε σχέση με την ανάστροφη. Πιο συγκεκριμένα, η ορθή επιφάνεια εμφανίζεται με μπλε χρώμα και η ανάποδη με κίτρινο (Εικόνα 4.12). Σε αρκετές περιπτώσεις το μοντέλο είχε βάλει με λάθος τρόπο την ορθή επιφάνεια με αποτέλεσμα το σε πολλά σημεία του μοντέλου να είναι κίτρινο. Η διόρθωση γίνεται με την εντολή flip normals από το μενού Polygons. Απαραίτητη προϋπόθεση εδώ είναι η επιλογή της λάθος χρωματισμένης επιφάνειας και η απομόνωσή της από το υπόλοιπο μοντέλο.



**Εικόνα 4.12 :** Λανθασμένος χρωματισμός της επιφάνειας του αυτοκινήτου

Το αποτέλεσμα που προέκυψε μετά την επεξεργασία του μοντέλου ήταν αρκετά ικανοποιητικό. Ο αστικός κόμβος και ιδιαίτερα η επιφάνεια του οδοστρώματος είχαν περιγραφεί με μεγάλη πιστότητα και λεπτομέρεια. Εντούτοις, παρέμειναν κάποια κενά λόγω της έλλειψης περαιτέρω πληροφορίας κυρίως στην επιφάνεια των αυτοκινήτων και στα πεζοδρόμια. Οι σαρώσεις που έγιναν στο ύπαιθρο επικεντρώθηκαν στην ορθή και ολοκληρωμένη αποτύπωση της επιφάνειας του οδοστρώματος και των σταθμευμένων οχημάτων επί της πρωτεύουσας οδού. Τα στοιχεία αυτά θα χρησιμοποιηθούν για την μελέτη του οδοστρώματος και της ορατότητας του κόμβου. Η πληθώρα αντικειμένων, όμως, στον συγκεκριμένο κόμβο όπως οχήματα πεζοδρόμια κάγκελα κ.α., απαιτούσε την ύπαρξη ακόμα περισσότερης πληροφορίας ώστε αυτά να περιγραφούν σωστά. Η απουσία αυτής της πληροφορίας δεν εμπόδισε την ακριβή περιγραφή της εικόνας του κόμβου αλλά επηρέασε αισθητικά το τελικό αποτέλεσμα. Το τελικό μοντέλο μετά την επεξεργασία φαίνεται στην εικόνα 4.13.



Εικόνα 4.13 : Άποψη τελικής μοντελοποιημένης επιφάνειας

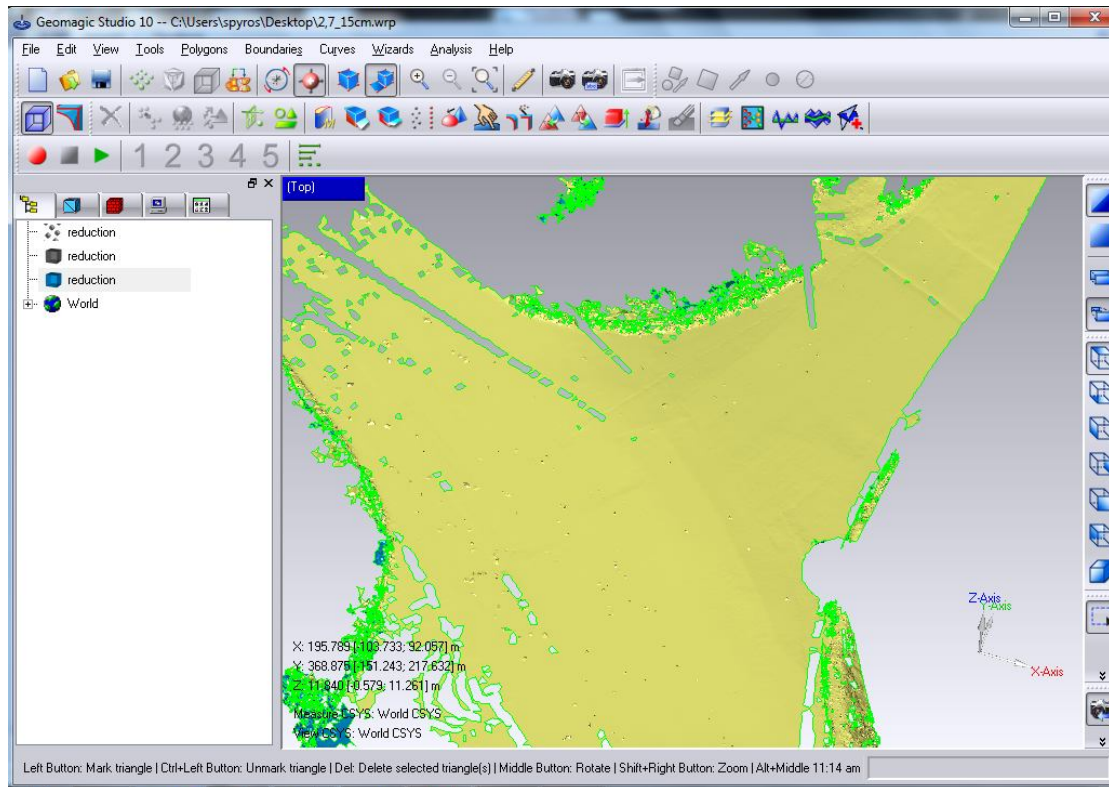
### ➤ Υπεραστικός κόμβος

Οι διαδικασίες που ακολουθήθηκαν για την δημιουργία του μοντέλου επιφάνειας στο περιβάλλον του υπεραστικού κόμβου δεν διαφέρουν σημαντικά σε σχέση με όσα περιγράφηκαν προηγουμένως. Εδώ η διαδικασία της μοντελοποίησης ήταν αρκετά πιο απλή καθώς τα αντικείμενα που έπρεπε να περιγραφούν ήταν μόνο το οδόστρωμα και τα στηθαία στην οριογραμμή των οδών. Επιπλέον λόγω των μεγάλων ταχυτήτων με τις οποίες κινούνται τα οχήματα στον συγκεκριμένο κόμβο αλλά και λόγω της απουσίας πεζών, ο «θόρυβος» στο νέφος των σημείων ήταν αισθητά μειωμένος. Συνακόλουθα, δεν υπήρχαν τόσο μεγάλα κενά στην πληροφορία.

Αρχικά για να εισαχθούν τα δεδομένα στο περιβάλλον του λογισμικού Geomagic, έπρεπε να μειωθούν αισθητά. Το νέφος αποτελούνταν από 11 εκατομμύρια σημεία, γεγονός που δυσχέραινε σε μεγάλο βαθμό την επεξεργασία του. Συγκεκριμένα ήταν αδύνατον να πραγματοποιηθεί η διαδικασία της μοντελοποίησης. Με την εντολή Sample επιλέχθηκε η αραιώση του νέφους έτσι ώστε να μειωθεί η πληροφορία. Η μείωση αυτή γίνεται ομοιόμορφα στο σύνολο του μοντέλου ώστε να

μη χαθεί ουσιώδης πληροφορία από κάποια περιοχή. Τα τελικά σημεία που απέμειναν ήταν της τάξης των 2,7 εκατομμυρίων.

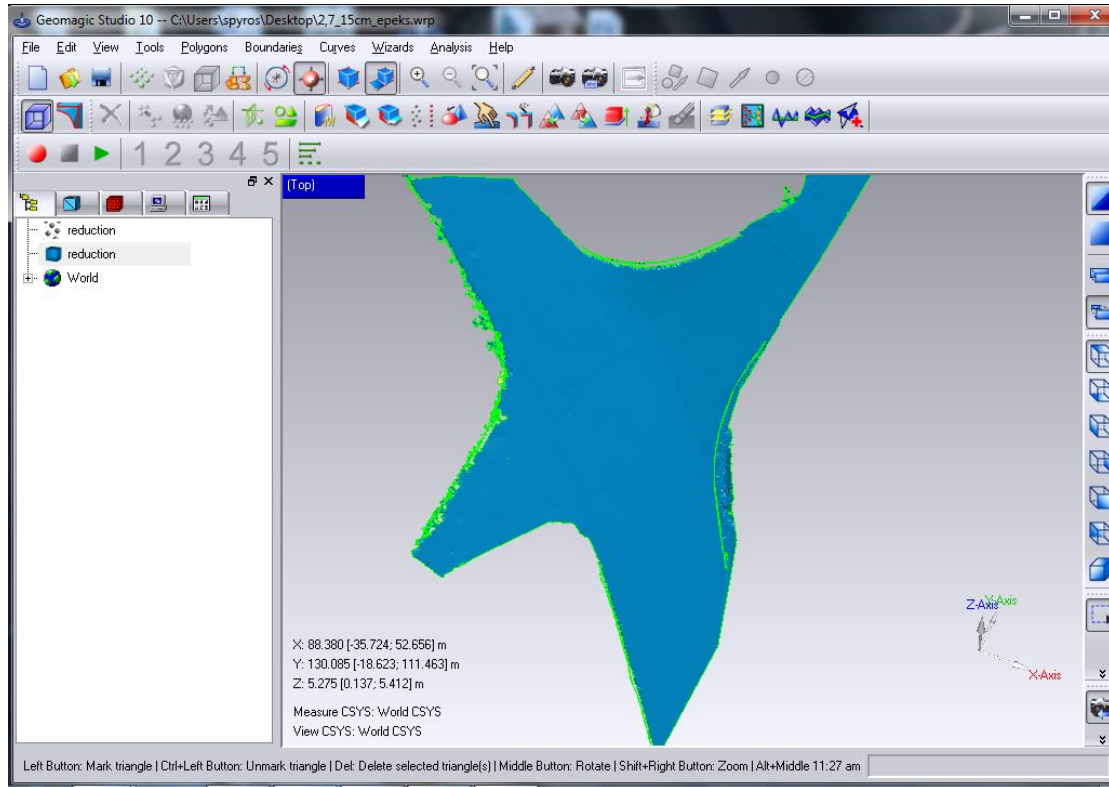
Στη συνέχεια ενεργοποιήθηκε η εντολή wpar χωρίς να γίνει προσθήκη περαιτέρω πληροφορίας. Εξαιτίας της μεγάλης έκτασης του κόμβου αλλά και των πολλών σημείων, επιλέχθηκε η δημιουργία ενός λιγότερο πυκνού μοντέλου ώστε να μπορεί το πρόγραμμα να το επεξεργαστεί. Επιπλέον είχε διαπιστωθεί ότι δεν υφίστανται σημαντικές φθορές στο οδόστρωμα ώστε να απαιτείται η λεπτομερής περιγραφή του. Έτσι δημιουργήθηκε ένα μοντέλο χρησιμοποιώντας μέγεθος ελάχιστου τριγώνου στα 15 cm. Το αρχικό αποτέλεσμα φαίνεται στην εικόνα 4.14.



**Εικόνα 4.14 :** Αρχική εικόνα μοντέλου υπεραστικού κόμβου

Και εδώ παρουσιάζονται τα ίδια προβλήματα όπως στο μοντέλο του αστικού κόμβου. Υπάρχουν αρκετά κενά, λανθασμένα σημεία ενώ και ο χρωματισμός της ορθής επιφάνειας του κόμβου δεν αποδόθηκε σωστά. Τα βήματα που ακολουθήθηκαν ήταν η διαγραφή ή διόρθωση των λανθασμένων τριγώνων, η προσθήκη τριγώνων σε κενές περιοχές και ο σωστός χρωματισμός της επιφάνειας. Οι εντολές που εκτελέστηκαν δεν διέφεραν από αυτές που περιγράφηκαν εκτενέστερα

προηγουμένως. Στην εικόνα 4.15 φαίνεται το τελικό μοντέλο μετά την επεξεργασία που διεξήχθη.



Εικόνα 4.15 : Τελικό μοντέλο νέφους υπεραστικού κόμβου

#### 4.5 Διερεύνηση φθορών οδοστρώματος

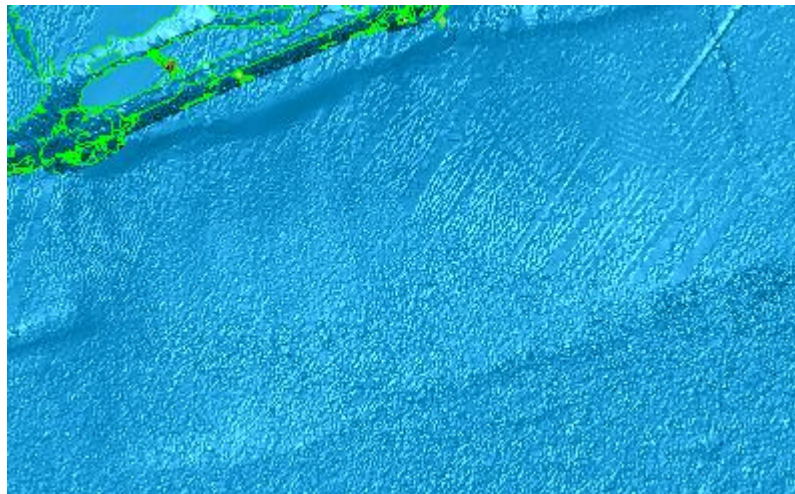
Μετά την μοντελοποίηση των νεφών που προέκυψαν από τις σαρώσεις στο περιβάλλον των κόμβων ή επιφάνεια των οδοστρωμάτων σχηματίστηκε με την μεγαλύτερη δυνατή λεπτομέρεια. Με αυτόν τον τρόπο έγιναν εμφανείς όλες οι φθορές και οι αστοχίες του οδοστρώματος. Το αποτέλεσμα ήταν ιδιαίτερα εντυπωσιακό στο μοντέλο του αστικού κόμβου που ήταν και το πιο λεπτομερές.

Η επιφάνεια του οδοστρώματος του αστικού κόμβου παρουσιάζει σημαντικές αστοχίες που εμφανίζονται στο μοντέλο με πολύ μεγάλη λεπτομέρεια. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρούνται αστοχίες που διαταράσσουν την ομαλότητα της επιφάνειας κυρίως στην περιοχή συμβολής των δύο οδών. Το οδόστρωμα είναι έντονα διαβρωμένο και το γεγονός αυτό δημιουργεί προβλήματα στην ασφαλή είσοδο των οχημάτων στην πρωτεύουσα οδό. Η διάβρωση εμφανίζεται με την μορφή δύο μεγάλων ρηγματώσεων (Εικόνα 4.16).



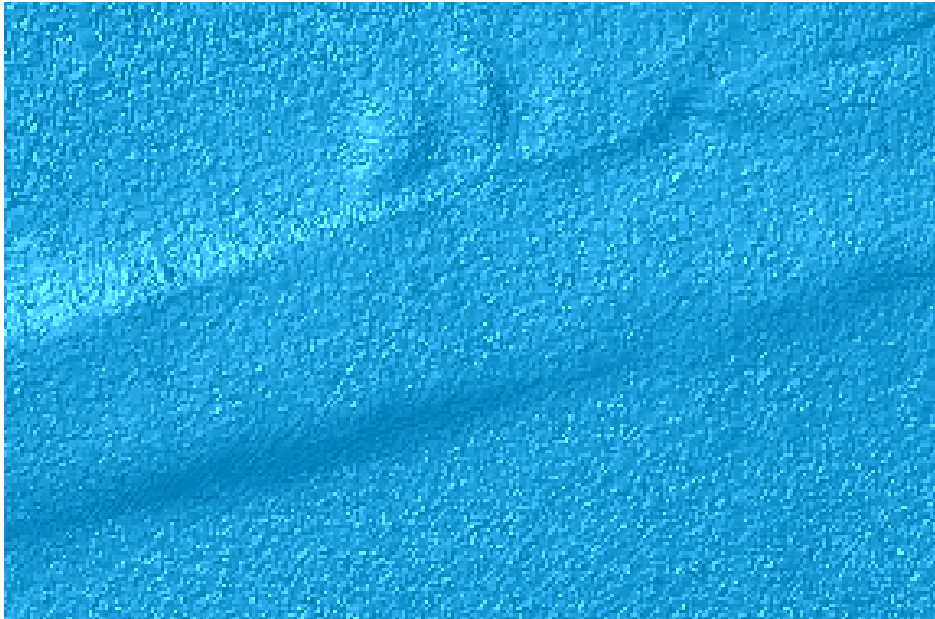
**Εικόνα 4.16:** Ρηγματώσεις στη συμβολή των δύο οδών

Επιπλέον, το οδόστρωμα εμφανίζεται διογκωμένο σε μία μεγάλη περιοχή του κόμβου επί της πρωτεύουσας οδού (Εικόνα 4.17). Η αστοχία είναι αρκετά έντονη και δημιουργεί προβλήματα ασφάλειας στην κίνηση των οχημάτων, ιδιαίτερα όταν αυτή γίνεται με μεγάλη ταχύτητα.



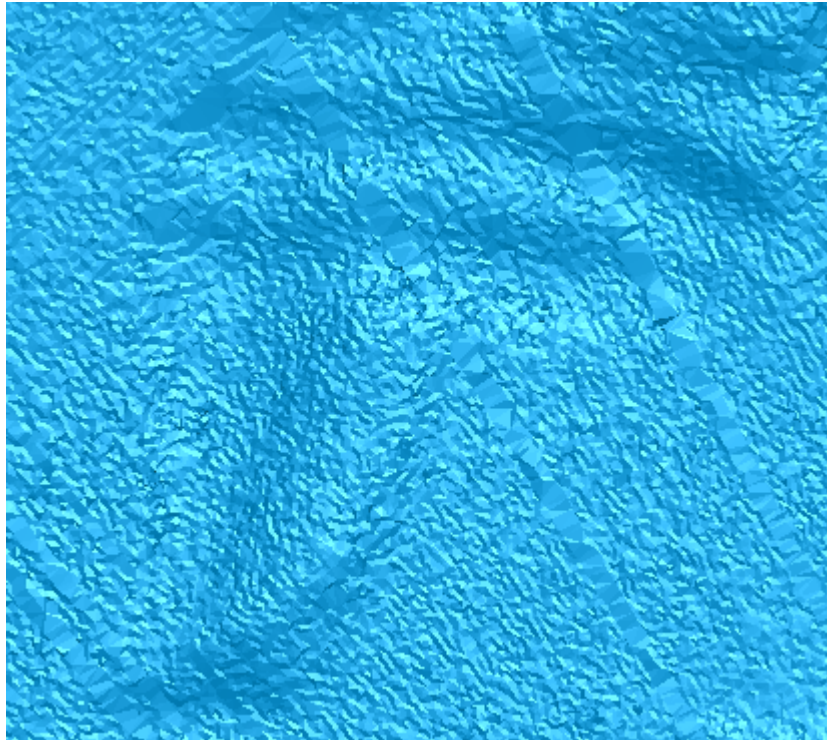
**Εικόνα 4.17:** Έντονη διάβρωση οδοστρώματος

Σε άλλο σημείο, το οδόστρωμα έχει υποστεί καθίζηση (Εικόνα 4.18). Η αστοχία αυτή είναι εμφανές ότι οφείλεται σε εργασίες που έγιναν στο παρελθόν πιθανότατα για την διέλευση ενός υπόγειου αγωγού. Εδώ το πρόβλημα εντοπίζεται στην κίνηση των οχημάτων για αριστερή στροφή επί του πρωτεύοντα δρόμου. Η συγκεκριμένη αλλοίωση εκτείνεται σε μήκος πολλών μέτρων.



**Εικόνα 4.18:** Καθίζηση οδοστρώματος

Τέλος, στην κίνηση της αριστερής στροφής υπάρχει άλλο ένα σημείο όπου το οδόστρωμα εμφανίζεται να έχει αλλοιωθεί σημαντικά (Εικόνα 4.19). Αιτία της αλλοίωσης είναι πιθανότατα η μεγάλη αναμονή οχημάτων στο συγκεκριμένο σημείο για την πραγματοποίηση της αριστερής στροφής. Οι ρόδες των οχημάτων έχουν καθιζάνει το οδόστρωμα το οποίο δείχνει να έχει αλλοιωθεί πλήρως. Η μεγάλη αλλοίωση οφείλεται σαφέστατα και στα βαρέα οχήματα που διέρχονται από τον κόμβο.



**Εικόνα 4.19:** Αλλοίωση οδοστρώματος

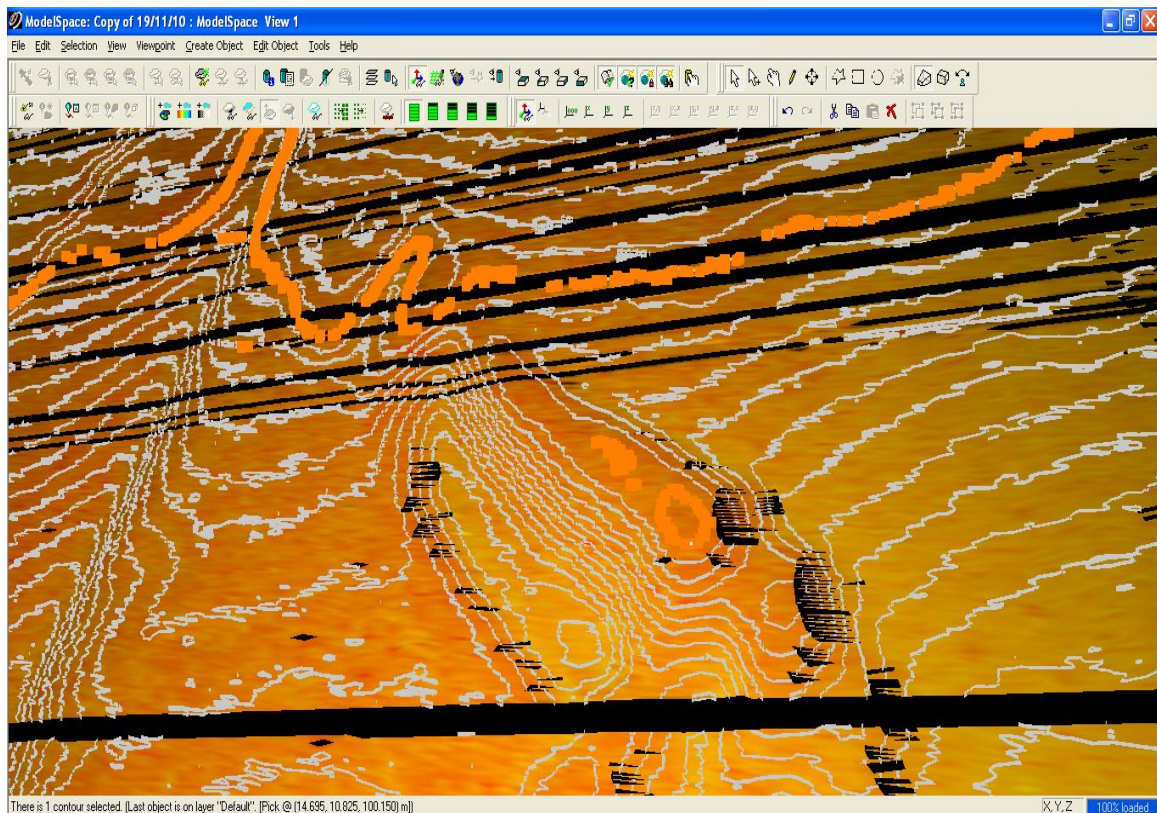
Στο οδόστρωμα του υπεραστικού κόμβου δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές αστοχίες κατά την παρουσία στο πεδίο. Το ίδιο αποτέλεσμα κατέδειξε και το μοντέλο επιφάνειας που δημιουργήθηκε. Οι σημαντικότερες αλλοιώσεις παρατηρήθηκαν στην επιφάνεια της δευτερεύουσας οδού και εμφανίζονται με την μορφή μεγάλων σε μήκος ρηγματώσεων (Εικόνα 4.20). Αντίθετα η πρωτεύουσα οδός που αποτελεί έναν ιδιαίτερα σημαντικό οδικό άξονα ,όπως έχει περιγραφεί και στην ενότητα 3.1.2., δεν παρουσιάζει προβλήματα καθώς το οδόστρωμα διατηρείται σε πολύ καλή κατάσταση.



**Εικόνα 4.20:** Ρηγματώσεις στο οδόστρωμα του υπεραστικού κόμβου



Το μέγεθος των φθορών που περιγράφηκαν παραπάνω φαίνεται ποσοτικά μέσα από ένα διάγραμμα ισοψών καμπυλών. Το διάγραμμα κατασκευάστηκε στο περιβάλλον του λογισμικού Cyclone με την βοήθεια ενός μοντέλου επιφάνειας. Το μοντέλο δημιουργείται από το μενού Tools με την εντολή Mesh→Complex meshing. Το μοντέλο που παράγεται, αποτελείται από τρίγωνα που σχηματίζονται με βάση τριάδες γειτονικών σημείων τα οποία πιθανώς βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο. Δημιουργείται έτσι ένα ωραίο οπτικά αποτέλεσμα το οποίο όμως περιέχει πολλά κενά. Με την επιλογή Create contours ανοίγει το παράθυρο στο οποίο ορίζεται το εύρος των υψομέτρων στο οποίο θα σχηματιστούν οι ισοψείς καθώς και η ισοδιάσταση. Εν συνεχεία δημιουργείται το διάγραμμα ισοψών καμπυλών. Με βάση το διάγραμμα αυτό εξετάστηκαν οι δύο σημαντικότερες αστοχίες στην επιφάνεια του οδοστρώματος που προήλθαν από την καθημερινή χρήση τους. Σύμφωνα με αυτό η καθίζηση επί της πρωτεύουσας οδού έχει αρκετά μεγάλο βάθος. Πιο συγκεκριμένα, το κατώτερο μέρος της αλλοίωσης διαφέρει από το ανώτερο 6 cm (Εικόνα 4.21).



**Εικόνα 4.21:** Ισοψείς καμπύλες στην επιφάνεια του οδοστρώματος του αστικού κόμβου

Όσον αφορά στην ανύψωση του οδοστρώματος επί της πρωτεύουσας οδου, παρατηρήθηκε πως αυτή φτάνει σε ύψος τα 3cm. Παράλληλα μετρήθηκε το εμβαδόν και η περίμετρος της στο περιβάλλον του autocad. Το εμβαδόν υπολογίστηκε στα 11,5 m<sup>2</sup> και η περίμετρος στα 14m. Τα δεδομένα αυτά αποδεικνύουν πως πρόκειται για μια μεγάλη σε έκταση αστοχία.

#### 4.6 Μελέτη ορατότητας

Στην ενότητα αυτή μελετάται η ορατότητα για αναχώρηση από την δευτερεύουσα οδό σε κάθε κόμβο με βάση την μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στην ενότητα 2.2.2. Για να επιτευχθεί η μελέτη χρησιμοποιήθηκαν και οι αποτυπώσεις με χρήση ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού που διεξήχθησαν και στους δύο κόμβους (Ενότητα 3.4) καθώς οι σαρώσεις δεν παρείχαν όλη την απαιτούμενη πληροφορία.

Μέσω των πρόσθετων αποτυπώσεων στο ύπαιθρο σχεδιάστηκαν οι οριογραμμές των οδών ώστε να είναι εφικτή η κατασκευή των τριγώνων ορατότητας. Παρατηρείται ότι η αποτύπωση ταυτίζεται με την σάρωση κατά το σχεδιασμό στο λογισμικό autocad. Υπάρχουν μόνο κάποιες μικρές αποκλίσεις της τάξης των 2-3cm. Οι αποκλίσεις αυτές οφείλονται στο σφάλμα της συνένωσης των σαρώσεων καθώς και σε μεμονωμένα λάθη κατά τη διαδικασία της αποτύπωσης. Ακολούθως, σχεδιάστηκαν οι άξονες τόσο του δευτερεύοντα όσο και του πρωτεύοντα δρόμου για κάθε κόμβο. Οι άξονες ταυτίζονται με τους άξονες κίνησης των οχημάτων, επί των οποίων γίνεται η μέτρηση των διαστάσεων των τριγώνων ορατότητας. Μετά τους απαραίτητους υπολογισμούς, οι οποίοι περιγράφονται παρακάτω, κατασκευάστηκαν τα τελικά τρίγωνα ορατότητας στο περιβάλλον του Autocad οριζοντιογραφικά. Κατόπιν, έγινε μεταφορά των τριγώνων στο λογισμικό Geomagic ώστε αυτά να σχεδιαστούν στο σωστό ύψος. Ο σχεδιασμός έγινε με βάση το ύψος του ματιού του οδηγού στον δευτερεύοντα δρόμο και το ύψος των επιβατικών οχημάτων που κινούνται στον πρωτεύοντα δρόμο. Υπενθυμίζεται ότι τα δύο ύψη είναι ίσα με την τιμή 1,067 m.

➤ **Αστικός Κόμβος**

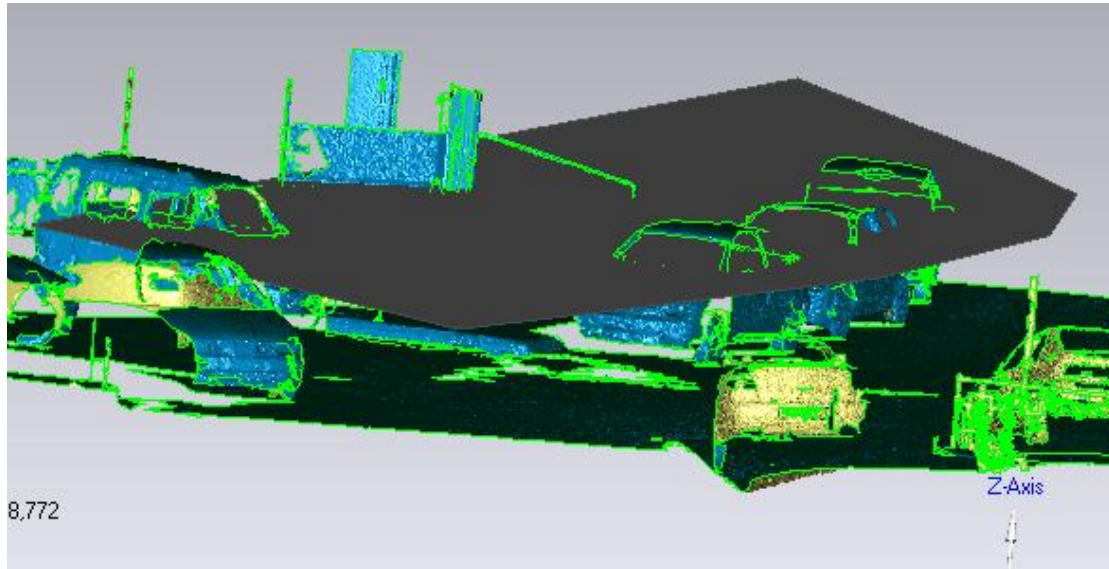
Αρχικά έγινε υπολογισμός του τριγώνου ορατότητας για τον αστικό κόμβο. Είχε παρατηρηθεί εκ των προτέρων από την έρευνα στο πεδίο πως υπάρχει ένα σαφέστατο πρόβλημα ορατότητας για την δεξιά στροφή από τον δευτερεύοντα δρόμο προς τον πρωτεύοντα και τη διέλευση. Το πρόβλημα παρατηρήθηκε πως οφείλεται τόσο στα σταθμευμένα οχήματα επί της πρωτεύουσας οδού, όσο και στην ύπαρξη κτιρίου το οποίο εμποδίζει την ορατότητα λόγω της στροφής του άξονα της οδού. Το σενάριο αυτό επιβεβαιώθηκε από την μελέτη που διεξήχθη με βάση τη μεθοδολογία που προτείνεται από την AASHTO.

Όσον αφορά στη δεξιά στροφή, λαμβάνεται υπ' όψιν η τιμή του πίνακα 2.1 για το χρονικό χάσμα καθώς δεν υπάρχει ανωφερής κλίση επί της δευτερεύουσας οδού. Η διάσταση  $a$  υπολογίζεται 4.44m μέχρι το όριο της πρωτεύουσας οδού επί τον άξονα κίνησης των οχημάτων στην δευτερεύουσα οδό και επεκτείνεται μέχρι τον άξονα κίνησης της πρωτεύουσας οδού. Και στις δύο περιπτώσεις θεωρώ ότι ο άξονας κίνησης ταυτίζεται με τον άξονα της οδού. Η διάσταση  $b$  από τον τύπο 2.1 υπολογίζεται 91m λαμβάνοντας ως ταχύτητα σχεδιασμού 50 km/h για οδό σε αστικό περιβάλλον και μετράται επί του άξονα της πρωτεύουσας οδού.

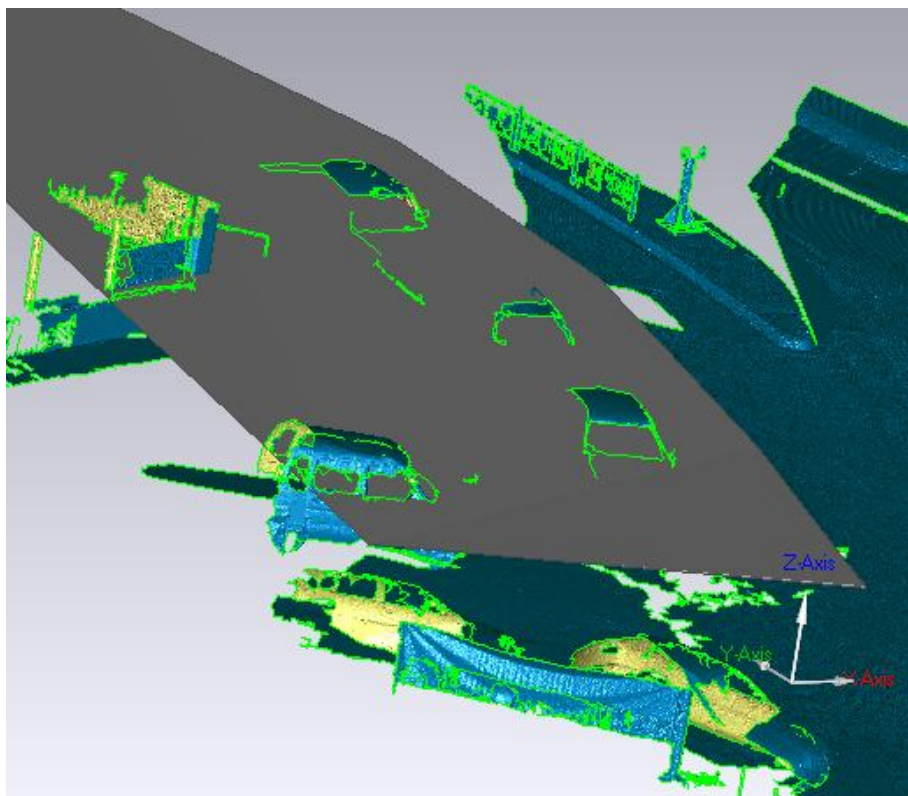
Για την διέλευση πρέπει να γίνουν κάποιες υποθέσεις εξαιτίας της γεωμετρίας του συγκεκριμένου κόμβου. Πιο συγκεκριμένα, τα τρίγωνα ορατότητας αναχώρησης για δεξιά στροφή και για διέλευση θεωρητικά είναι ταυτόσημα. Όμως η διέλευση κατά την μεθοδολογία απαιτεί την ύπαρξη 2 λωρίδων για να υπολογιστεί το τρίγωνο ορατότητας με το δοθέν χρονικό χάσμα. Στην προκειμένη περίπτωση γίνεται διέλευση μίας λωρίδας ούτως ώστε ο οδηγός να σταματήσει μπροστά από τη νησίδα με σκοπό να επιχειρήσει την αριστερή στροφή καθώς δεν υπάρχει οπτική επαφή προς το αντίθετο ρεύμα της οδού. Γι' αυτό το λόγο γίνεται η υπόθεση πως πρέπει να μειωθεί το χρονικό χάσμα κατά 0.5 δευτερόλεπτα. Στον υπολογισμό που θα ακολουθήσει το χρονικό χάσμα για τη διέλευση ισούται με 6 sec. Επιπλέον για τον ίδιο λόγο το τρίγωνο ορατότητας θα δημιουργηθεί μόνο προς τη μία κατεύθυνση. Η διάσταση  $a$  παραμένει ίδια με τη περίπτωση της δεξιάς στροφής και η διάσταση  $b$  με βάση τον τύπο 2.1 υπολογίζεται 84 m επί τον άξονα της πρωτεύουσας οδού.

Τα 2 τρίγωνα ορατότητας αναχώρησης σχεδιάστηκαν μέχρι το μήκος των 50m για την διάσταση  $b$  καθώς ήδη παρατηρήθηκε ότι το οπτικό πεδίο διακοπτόταν λόγω

της ύπαρξης κτιρίου(Χάρτες 3 και 4). Ακολούθως έγινε εισαγωγή τους στο περιβάλλον του Geomagic (Εικόνες 4.22-23).



**Εικόνα 4.22:** Τρίγωνο ορατότητας για δεξιά στροφή από δευτερεύουσα οδό στο περιβάλλον του λογισμικού Geomagic



**Εικόνα 4.23 :** Τρίγωνο ορατότητας για διέλευση από δευτερεύουσα οδό στο περιβάλλον του λογισμικού Geomagic

Τα τρίγωνα που σχηματίστηκαν στο σωστό ύψος αποδεικνύουν πως τόσο τα σταθμευμένα οχήματα όσο και το κτίριο εμποδίζουν το οπτικό πεδίο του οδηγού στον δευτερεύοντα δρόμο.

Σ' αυτό το σημείο προσδιορίστηκε το οπτικό πεδίο του οδηγού μέχρι το σημείο που εμποδίζεται από το κτίριο επί της πρωτεύουσας οδού. Υπολογίστηκε από την οριζοντιογραφία στο περιβάλλον του Autocad ότι η διάσταση  $b$  για αυτό το τρίγωνο είναι 31m επί του άξονα κίνησης της πρωτεύουσας οδού. Γι' αυτή τη διάσταση υπολογίστηκε η απαιτούμενη ταχύτητα σχεδιασμού η οποία προέκυψε στα 17 km/h.

#### ➤ Υπεραστικός κόμβος

Τα τρίγωνα ορατότητας που υπολογίστηκαν για τον υπεραστικό κόμβο αφορούν δεξιά και αριστερή στροφή και διέλευση. Το πρόβλημα ορατότητας που παρατηρήθηκε στο πεδίο οφείλεται στην μεγάλη κατά μήκος ανωφερή κλίση του άξονα της δευτερεύουσας οδού.

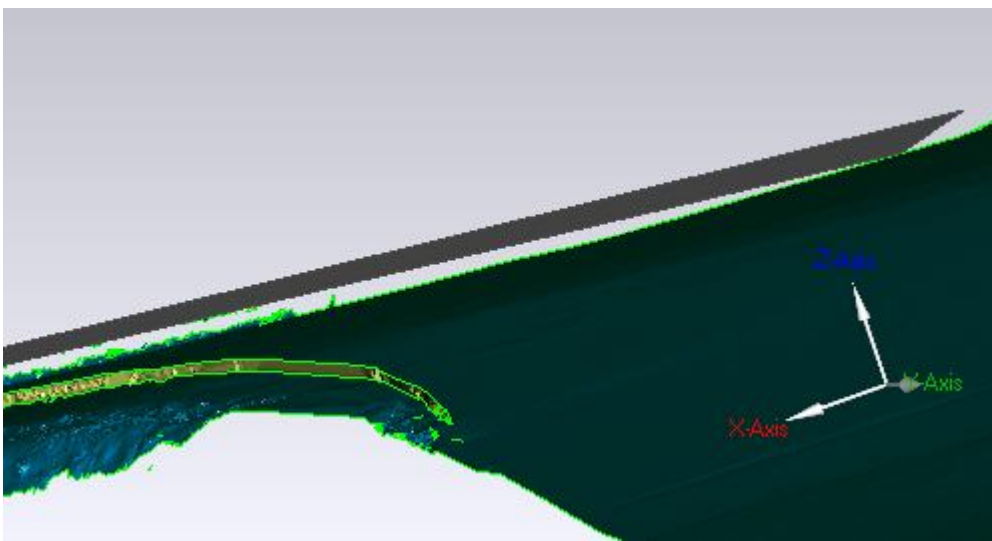
Για την δεξιά στροφή η διάσταση  $a$  υπολογίζεται 4.44m μέχρι το όριο της πρωτεύουσας οδού επί τον άξονα κίνησης των οχημάτων στην δευτερεύουσα οδό και επεκτείνεται μέχρι τον άξονα κίνησης της πρωτεύουσας οδού. Και στις δύο περιπτώσεις γίνεται η θεώρηση ότι ο άξονας κίνησης ταυτίζεται με τον άξονα της οδού. Η ταχύτητα σχεδιασμού της πρωτεύουσας οδού είναι 40 km/h. Η ρύθμιση που πρέπει να γίνει εδώ αφορά στο χρονικό χάσμα που θα ληφθεί υπ' όψιν κατά τον υπολογισμό. Η κατά μήκος κλίση του άξονα του δευτερεύοντος δρόμου ξεπερνάει κατά πολύ το τυπικό όριο του 3%. Η κλίση υπολογίστηκε 6%. Άρα με βάση τον πίνακα 2.1 προστίθενται 0.3 sec στο χρονικό χάσμα και αυτό παίρνει την τιμή 6.8 sec. Άρα η διάσταση  $b$  με βάση τον τύπο 2.1 υπολογίζεται 76 m επί τον άξονα της πρωτεύουσας οδού.

Τα ίδια δεδομένα ισχύουν και για την διέλευση της πρωτεύουσας οδού. Εδώ όμως σχηματίζονται 2 τρίγωνα ορατότητας, ένα για κάθε κατεύθυνση. Στο πρώτο τρίγωνο η διάσταση  $a$  υπολογίζεται 4.44 m μέχρι το όριο της πρωτεύουσας οδού και προστίθεται 0.5 x πλάτος λωρίδας. Στο δεύτερο τρίγωνο προστίθεται 1.5 x πλάτος λωρίδας. Η διάσταση  $b$  είναι ίδια με την δεξιά στροφή.

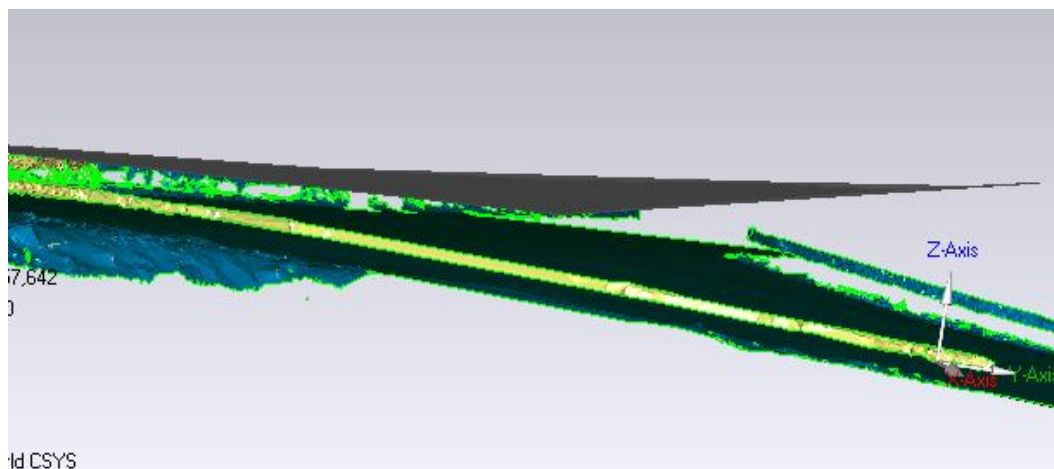
Για την αριστερή στροφή, ο σχεδιασμός της διάστασης  $a$  γίνεται λαμβάνοντας 4.44 m μέχρι το όριο της πρωτεύουσας οδού και προστίθεται 1.5 x πλάτος λωρίδας

Εδώ όμως έχω διαφορετικό χρονικό χάσμα όπως αυτό αποτυπώνεται στον πίνακα 2.2. Εξαιτίας της κατά μήκος κλίσης της δευτερεύουσας οδού το χρονικό χάσμα λαμβάνεται 7.8 s. Η διάσταση b υπολογίζεται για ταχύτητα σχεδιασμού 40 km/h στα 87m.

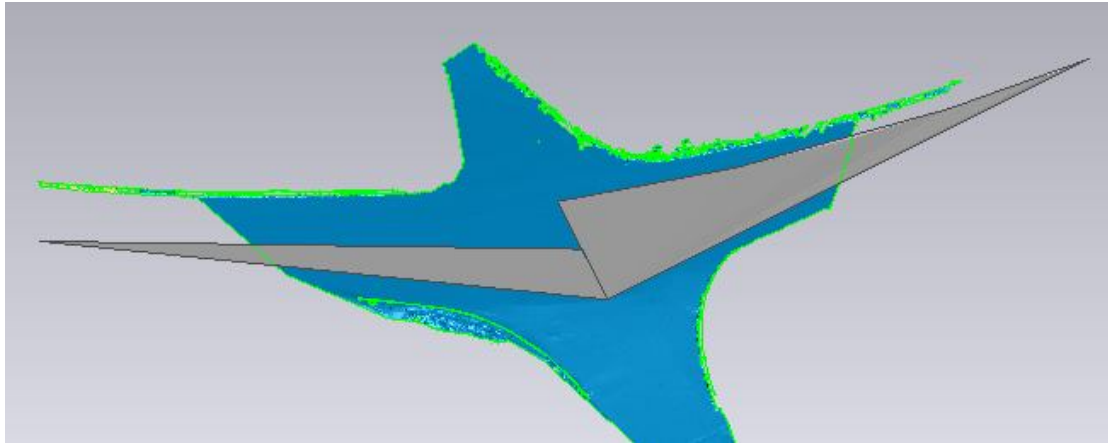
Τα τρίγωνα ορατότητας που υπολογίστηκαν, σχεδιάστηκαν στο περιβάλλον του Autocad (Χάρτες 5-7). Από την οριζοντιογραφία δεν γίνεται σαφές το οπτικό πεδίο του οδηγού καθώς δεν εμφανίζεται η κατά μήκος κλίση του δευτερεύοντα δρόμου. Τα τρίγωνα εισήχθησαν στο Geomagic για να τοποθετηθούν στο σωστό ύψος. Τα αποτελέσματα φαίνονται στις παρακάτω εικόνες.



**Εικόνα 4.24:** Τρίγωνο ορατότητας για δεξιά στροφή από δευτερεύουσα οδό στο περιβάλλον του λογισμικού Geomagic



**Εικόνα 4.25:** Τρίγωνο ορατότητας για αριστερή στροφή από δευτερεύουσα οδό στο περιβάλλον του λογισμικού Geomagic



**Εικόνα 4.26** : Τρίγωνα ορατότητας για διέλευση από δευτερεύουσα οδό στο περιβάλλον του λογισμικού Geomagic

Η σχεδίαση των τριγώνων στο περιβάλλον του Geomagic καθιστά σαφές πως δεν υπάρχει τελικά πρόβλημα ορατότητας στον συγκεκριμένο υπεραστικό κόμβο. Το σημείο απόφασης για τον οδηγό στον δευτερεύοντα δρόμο είναι αρκετά ψηλά ώστε να μην εμποδίζεται το οπτικό του πεδίο από την μεγάλη ανωφερή κλίση.

#### **4.7 Συμπεράσματα**

Συνοψίζοντας, μέσω του λογισμικού Geomagic παρήχθησαν αρκετά ικανοποιητικά μοντέλα επιφάνειας τα οποία απέδωσαν με πιστότητα την επιφάνεια των οδοστρωμάτων. Παράλληλα, απεικονίστηκαν σε μεγάλο βαθμό όλα εκείνα τα αντικείμενα που ήταν απαραίτητα ώστε να διαπιστωθεί το οπτικό πεδίο του οδηγού σε δευτερεύοντα δρόμο όταν αυτός πρέπει να πάρει την απόφαση να εισέλθει στον πρωτεύοντα.

Συνολικά, η μελέτη κατέδειξε πως ο αστικός κόμβος αντιμετωπίζει πολλά προβλήματα που αφορούν τόσο στην ορατότητα όσο και στην ποιότητα κίνησης των οχημάτων στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Πρόκειται για έναν κόμβο που πρέπει να υποστεί πολλές αλλαγές ώστε να διασφαλιστεί η ομαλή κυκλοφορία στο εσωτερικό του. Η μείωση του ορίου ταχύτητας στα επίπεδα των 17km/h όπως υπολογίστηκε παραπάνω, χαρακτηρίζεται ως ανέφικτη καθώς πρόκειται για ένα

ιδιαίτερα χαμηλό όριο. Μια πρόταση για βελτίωση του κόμβου είναι η εκ νέου ασφαλτόστρωση για να επισκευαστούν οι αλλοιώσεις του οδοστρώματος. Επιπλέον θα ήταν χρήσιμη η αλλαγή της γεωμετρίας του κόμβου ή έστω η τοποθέτηση φωτεινού σηματοδότη για να αποφευχθούν περαιτέρω ατυχήματα.

Αντίθετα, για τον υπεραστικό κόμβο αποδείχθηκε μέσω της έρευνας πως δεν υπάρχουν σημαντικά προβλήματα. Εντούτοις θεωρείται σημαντική η επαναλειτουργία των φωτεινών σηματοδοτών καθώς οι ταχύτητες κίνησης στον πρωτεύοντα δρόμο είναι μεγάλες παρά το πολύ χαμηλό επιτρεπτό όριο ταχύτητας που είναι στα 40km/h.



## **Κεφάλαιο 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ**

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται η αξιολόγηση της μελέτης που διεξήχθη στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας και παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που ανακύπτουν. Η αξιολόγηση γίνεται σε όλο το εύρος των εργασιών και περιλαμβάνει τόσο τη συλλογή των δεδομένων, όσο και την επεξεργασία αυτών. Παράλληλα γίνονται προτάσεις για την συνέχιση του θέματος και την βελτιστοποίηση των αποτελεσμάτων.

### **5.1 Συμπεράσματα**

#### **➤ Συλλογή δεδομένων**

Η διαδικασία συλλογής των δεδομένων στο πεδίο ανέδειξε τον επίγειο σαρωτή ως ένα ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο για τις τοπογραφικές αποτυπώσεις σε εφαρμογές οδοποιίας όπως είναι η αποτύπωση ενός κόμβου. Ο σαρωτής λαμβάνει μεγάλο όγκο τρισδιάστατης πληροφορίας σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Το γεγονός αυτό δίνει την δυνατότητα για αποτύπωση μεγάλων σε έκταση περιοχών. Στις αποτυπώσεις που διεξήχθησαν κρίθηκε απαραίτητη η λήψη δεδομένων με μεγάλη πυκνότητα. Ένα από τα ζητούμενα ήταν η επισκόπηση του οδοστρώματος, γεγονός που απαιτούσε τον λεπτομερή προσδιορισμό της επιφάνειάς του. Έτσι στις σαρώσεις που έγιναν, ορίστηκε μεγάλη πυκνότητα της τάξης του 1-2 cm. Τα νέφη σημείων που παρήχθησαν ανταποκρίθηκαν στις προσδοκίες ιδιαίτερα όσον αφορά στον αστικό κόμβο όπου οι αποστάσεις που έπρεπε να καλυφθούν ήταν αισθητά μικρότερες. Τα μοντέλα που παρήχθησαν στη συνέχεια απέδωσαν ικανοποιητικά την επιφάνεια των οδοστρωμάτων.

Παρά την μεγάλη ταχύτητα λήψης σημείων από τον σαρωτή, είναι δύσκολο να γίνουν πολλές μετρήσεις στο πεδίο όταν είναι απαραίτητη μεγάλη πυκνότητα σάρωσης εξαιτίας πρακτικών προβλημάτων τροφοδοσίας. Όπως επισημάνθηκε και προηγουμένως, κατά τις αποτυπώσεις που διεξήχθησαν στο πεδίο επιλέχθηκε υψηλή πυκνότητα σάρωσης που κυμαινόταν από 1cm έως 2cm. Μια τέτοια επιλογή αυξάνει το χρόνο της εργασίας. Ειδικά κατά τις μετρήσεις στον αστικό κόμβο όπου ήταν διαθέσιμη μόνο μία μπαταρία, δεν υπήρχε ο απαιτούμενος χρόνος για να ολοκληρωθούν οι σαρώσεις με βάση την πυκνότητα σάρωσης που επιλέχθηκε. Όσον

αφορά στον υπεραστικό κόμβο, οι αποστάσεις που έπρεπε να αποτυπωθούν ήταν τέτοιες ώστε να είναι η απαραίτητη η μείωση της πυκνότητας σάρωσης στα 2cm και της εμβέλειας στα 50m για να ολοκληρωθούν οι μετρήσεις. Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι πως πρέπει κατά τις μετρήσεις να λαμβάνονται υπ' όψιν τόσο οι ανάγκες της εργασίας όσο και ο διατιθέμενος εξοπλισμός και να γίνονται οι απαραίτητες τροποποιήσεις στην πυκνότητα και την εμβέλεια της σάρωσης ανάλογα με τις υπάρχουσες συνθήκες.

Ένα ιδιαίτερα χρήσιμο συμπέρασμα που προέκυψε από τις εργασίες στο πεδίο αφορά στις δυσκολίες των σαρώσεων σε περιβάλλον αστικού κόμβου. Η διαρκής διέλευση πεζών και οχημάτων με μικρές ταχύτητες οδηγεί στη λήψη λανθασμένων σημείων και στη δημιουργία κενών στο νέφος και στο παραγόμενο μοντέλο. Παράλληλα, η ύπαρξη πληθώρας αντικειμένων με κυριότερα τα σταθμευμένα οχήματα εμποδίζει την αποτύπωση του συνόλου ενός αστικού κόμβου. Ειδικότερα στην συγκεκριμένη εργασία, τα όρια των οδών δεν ήταν εμφανή σε κάποια σημεία παρά το γεγονός πως έγιναν τρεις σαρώσεις από διαφορετικές οπτικές γωνίες. Ακόμα, σε έναν πυκνό αστικό κόμβο όπως αυτός που επιλέχθηκε δεν είναι πολλά τα κατάλληλα σημεία για να στηθεί το όργανο. Τα προβλήματα που αντιμετωπίζονται είναι η απουσία επαρκούς χώρου και η ύπαρξη εμποδίων πολύ κοντά στον σαρωτή που μειώνουν δραστικά το οπτικό του πεδίο.

Τα κενά στα όρια των οδών οφείλονται σε εν μέρει και στις ανάγκες της εργασίας. Η σάρωση της επιφάνειας του οδοστρώματος με μεγάλη πυκνότητα αποτέλεσε τη βασική προτεραιότητα των μετρήσεων ώστε να δημιουργηθεί στη συνέχεια ένα πολύ λεπτομερές μοντέλο. Έτσι, ήταν απαραίτητη η αποτύπωση και με χρήση ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού ώστε να σχεδιαστούν οι οριογραμμές και, μάλιστα σε μεγάλη απόσταση, για να χρησιμοποιηθούν στην ανάλυση ορατότητας. Γίνεται λοιπόν σαφές ότι ανάλογα με τις ανάγκες κάθε εργασίας πεδίου ενδέχεται να είναι απαραίτητη η χρήση διαφορετικών μεθόδων ώστε να παραχθούν τα επιθυμητά αποτελέσματα.

Αντίθετα με τα παραπάνω, στο περιβάλλον ενός υπεραστικού κόμβου δεν υπάρχουν εμπόδια και τα κενά αποδείχθηκαν πολύ λιγότερα. Τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν εδώ έχουν να κάνουν με τα λίγα διαθέσιμα σημεία για στήσιμο του οργάνου και τις μεγάλες αποστάσεις ακόμα και στο εσωτερικό του κόμβου. Οι αποστάσεις αυτές εμποδίζουν την διατήρηση της ίδιας πυκνότητας πληροφορίας στα

σημεία μέγιστου ενδιαφέροντος όπως το σύνολο της επιφάνειας του οδοστρώματος. Επιπλέον οι μεγάλες αποστάσεις δημιούργησαν προβλήματα στην συνένωση των αποτελεσμάτων λόγω λαθών κατά τη σάρωση των ειδικών στόχων που απείχαν αρκετά από το όργανο. Άρα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στις θέσεις τόσο του οργάνου όσο και των στόχων κατά τη σάρωση μιας μεγάλης σε έκταση περιοχής όπως ένας υπεραστικός κόμβος.

Το τελευταίο συμπέρασμα που προέκυψε, αφορά στη σημασία της ιδρυθείσας όδευσης για τη συνέχεια των μετρήσεων.. Μέσω της όδευσης προσδιορίστηκαν οι συντεταγμένες των σημείων που στήθηκε ο σαρωτής. Αυτό βοήθησε στη συνέχεια ώστε να έχουν όλες οι σαρώσεις το ίδιο σύστημα συντεταγμένων όπως και το τελικό συνενωμένο νέφος. Επιπλέον, η αποτύπωση που έγινε με χρήση γεωδαιτικού σταθμού ήταν στο ίδιο σύστημα με τις σαρώσεις ώστε να γίνεται άμεση σύγκριση μεταξύ τους και σχεδιασμός στο περιβάλλον του autocad.

#### ➤ **Επεξεργασία πρωτογενών δεδομένων**

Αρχικά κατά την επεξεργασία των δεδομένων έγινε σαφές ότι για την βελτιστοποίηση των αποτελεσμάτων είναι απαραίτητη η χρήση αρκετών ψηφιακών προγραμμάτων ανάλογα με τα πλεονεκτήματα του καθενός. Το λογισμικό Cyclone αποδείχθηκε ιδιαίτερα χρήσιμο για την συνένωση των νεφών σημείων καθώς η διαδικασία ήταν απλή και προσέφερε ποιοτικά αποτελέσματα. Επιπλέον ευνοούσε την πλοήγηση στο πεδίο και την απαλοιφή του θορύβου, γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό με βάση τα χαρακτηριστικά των συγκεκριμένων σαρώσεων. Από την άλλη, η προσπάθεια για την παραγωγή ενός ψηφιακού μοντέλου εδάφους υψηλής ποιότητας δεν απέδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα στο περιβάλλον του Cyclone. Προτιμήθηκε, έτσι η εισαγωγή των δεδομένων στο λογισμικό Geomagic όπου δημιουργήθηκαν ποιοτικά ψηφιακά μοντέλα εδάφους γρήγορα και απλά χωρίς ιδιαίτερα μεγάλο αριθμό λαθών και με μεγάλη μετρητική αξία. Η επεξεργασία του μοντέλου αποτέλεσε μια χρονοβόρα διαδικασία αλλά σαφέστατα τα αποτελέσματα ήταν εξαρχής άκρως ικανοποιητικά.

Στη συνέχεια, η μελέτη της αλλοίωσης των οδοστρωμάτων και η ανάλυση ορατότητας παρείχαν απτά και ποιοτικά αποτελέσματα βασιζόμενα στο μοντέλο επιφάνειας. Όλα τα χαρακτηριστικά του οδοστρώματος ήταν εμφανή στις περιοχές που η σάρωση ήταν πολύ πυκνή. Αυτό υποδηλώνει πως η σάρωση που στοχεύει αποκλειστικά στην αποτύπωση μιας αστοχίας και όχι ολόκληρου του κόμβου,

αποκτώντας πυκνή πληροφορία, μπορεί να δώσει μια πολύ σαφή και ολοκληρωμένη εικόνα της κατάστασης. Παράλληλα με την παραγωγή του διαγράμματος ισουψών καμπύλων αξιολογήθηκαν οι αστοχίες και δόθηκε μια σαφής εικόνα του μεγέθους τους. Τα αποτελέσματα ενός τέτοιου διαγράμματος εξαρτώνται από την πυκνότητα με την οποία έχει γίνει η σάρωση. Αν υπάρχει πυκνή πληροφορία, τότε είναι δυνατή η αξιολόγηση κάθε τύπου και μεγέθους αστοχίας.

Επιπλέον μέσα από το λογισμικό Geomagic κατασκευάστηκαν τα τρίγωνα ορατότητας στο απαιτούμενο ύψος και αποδείχθηκε με κατηγορηματικό τρόπο η ύπαρξη ή μη προβλημάτων ορατότητας. Από την άλλη θα ήταν χρήσιμο να υπήρχε η δυνατότητα περαιτέρω επεξεργασίας των δεδομένων ώστε να υπάρχουν ακόμα πιο εντυπωσιακά αποτελέσματα. Η διαδικασία δημιουργίας του τριγώνου ορατότητας στο Geomagic ήταν αρκετά δύσκολη με βάση τα εργαλεία που παρείχε το πρόγραμμα. Γι' αυτό έγινε ουσιαστικά εισαγωγή του τριγώνου από το λογισμικό Autocad. Θα ήταν χρήσιμο να μπορεί να γίνει τοποθέτηση έτοιμων αντικειμένων στο περιβάλλον που δημιουργείται μέσω του μοντέλου εδάφους.

Ένα έτερο συμπέρασμα που προκύπτει από την επεξεργασία αφορά στον όγκο των δεδομένων. Κατά την αποτύπωση του υπεραστικού κόμβου, εξαιτίας των μεγάλων αποστάσεων, ο όγκος της πληροφορίας ήταν αρκετά μεγάλος και έφτανε τα δεκαπέντε εκατομμύρια σημεία. Η εργασία στα δύο προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν κατά βάση ήταν ιδιαίτερα χρονοβόρα και επίπονη με τόσο μεγάλη ποσότητα πληροφορίας. Αυτό φάνηκε ειδικότερα στο λογισμικό Cyclone όπου δεν έγινε η απαλοιφή όλων των απαραίτητων λανθασμένων σημείων καθώς ήταν εξαιρετικά δύσκολο. Επιπλέον στο Geomagic η διαδικασία παραγωγής μοντέλου καθυστερούσε χαρακτηριστικά και ήταν απαραίτητη η σημαντική αραίωση των δεδομένων. Άρα, πρέπει να λαμβάνεται κάθε φορά μόνο η απαραίτητη και αναγκαία πληροφορία που θα επιταχύνει τόσο τις εργασίες στο πεδίο όσο και την μετέπειτα επεξεργασία.

Το σφάλμα της συνένωσης των νεφών προέκυψε στα 1,7 cm. Το σφάλμα αυτό θεωρείται αποδεκτό για τέτοιου είδους εφαρμογές. Κρίνοντας από το γεγονός πως οι διαστάσεις του τριγώνου ορατότητας υπολογίζονται με μονάδα μέτρησης το 1m, η ακρίβεια που αναζητείται σε μια τέτοια εφαρμογή δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλη. Κατά συνέπεια ένα σφάλμα της τάξης των 2cm βρίσκεται μέσα στα αποδεκτά πλαίσια. Η αποτύπωση που διεξήχθη στη συνέχεια με γεωδαιτικό σταθμό, κατέδειξε πως οι

σαρώσεις ήταν αρκετά ακριβείς ως προς την απόλυτη ακρίβεια. Το σφάλμα της αποτύπωσης υπολογίστηκε 1.5 cm. Οι σαρώσεις συνέπεσαν ικανοποιητικά με την αποτύπωση στο περιβάλλον του λογισμικού autocad ενώ είχαν μόνο μικρές αποκλίσεις σε κάποια σημεία της τάξης των 2-3cm. Συνολικά, κρίνεται πως η σάρωση μπορεί να αποδώσει ικανοποιητικά και με την απαιτούμενη ακρίβεια εφαρμογές οδοποιίας.

## 5.2 Προτάσεις

Σ' αυτήν την ενότητα γίνονται οι προτάσεις για την συνέχιση της εργασίας και την περαιτέρω αξιοποίηση των δεδομένων που συλλέγονται από έναν επίγειο σαρωτή οι οποίες είναι οι εξής:

- Συνδυασμός ακόμα περισσότερων προγραμμάτων για την βελτιστοποίηση των αποτελεσμάτων. Προσθήκη και αφαίρεση αντικειμένων από το μοντέλο της σάρωσης ώστε να αναλυθεί η ορατότητα και κάτω από διαφορετικές συνθήκες όπως προσθήκη οχημάτων διαφορετικού τύπου.
- Περαιτέρω μελέτη και διερεύνηση της επίδρασης των αλλοιώσεων του οδοστρώματος στην ασφαλή οδήγηση. Έρευνα για το πώς επηρεάζει μια αστοχία στο οδόστρωμα το χρήστη της οδού, ανάλογα και με το μέγεθός της.
- Χρήση διαφορετικού επίγειου σαρωτή. Θα ήταν χρήσιμο ένα ακόμα πιο γρήγορο όργανο ώστε να ελαχιστοποιούνται τα κενά στην πληροφορία. Διερεύνηση της λειτουργίας σαρωτών εγκατεστημένων σε οχήματα για παρόμοιες εφαρμογές.
- Ενσωμάτωση εικόνων με αποκατεστημένο εσωτερικό και εξωτερικό προσανατολισμό. Θα δινόταν έτσι η δυνατότητα για παραγωγή ορθοφωτογραφίας καθώς και ενός πιστού φωτορεαλιστικού μοντέλου. Ένα τέτοιο μοντέλο θα διευκόλυνε σημαντικά την παρουσίαση των αποτελεσμάτων.



## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

### **Ξένη βιβλιογραφία**

Easa S.M. (2003), Geometric Design, CRC Press LLC, USA

Kiewit Center for Infrastructure and Transportation (2005), Intersection Sight Distance, Oregon State University, Oregon, USA

Bureau of Local Roads and Streets (2006), Bureau of Local Roads and Streets Manual, <http://www.dot.state.il.us/blr/manuals/Chapter%2028.pdf>

Cafiso S., Graziano A., Battiato S. (2006), Evaluation Of Pavement Surface Distress Using Digital Image Collection And Analysis, Seventh International Congress on Advances in Civil Engineering, Istanbul, Turkey

Mustaffar M., Ling T.C., Puan O.C. (2008), Automated Pavement Imaging Program (APIP) for Pavement Cracks Classification and Quantification – A Photogrammetric Approach, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Beijing, China

Wang H. (2005), Development of Laser System to Measure Pavement Rutting, Thesis submitted for the College of engineering, University of South Florida, USA

Tarek A.M. (2005), Infrared thermography and High Accuracy GPS for Automated Data Crack Detection, Thesis submitted for the University of Central Florida, Florida, USA

Caroti G., Piemonte A., Pucci B., Terrestrial Laser Scanning as Road's Cadastre Revision And Integration Support, Italy

Chow K.L. (2007), Engineering Survey Applications of Terrestrial Laser Scanner in Highways Department of the Government of Hong Kong Special Administration Region, Hong Kong SAR, China

Boehler W., Bordas V.M., Marbs A. (2003), Investigating Laser Scanner Accuracy, Institute for Spatial Information and Surveying Technology, XIXth Cipa Symposium at Antalya, Turkey

Bennett C. R., Wang H., Harmonising Automated Rut Depth Measurements, Data Collection Ltd., Transfund New Zealand, 2002

Tarek A.M., Oloufa A., Mahgoub A. (2005), Asphalt Crack Detection Using Thermography, Proceedings, University of Central Florida, USA

### **Ελληνική Βιβλιογραφία**

Κολλάρος Α.Γ., Αθανασοπούλου Δ.Α., Παπακωνσταντίνου Ε.Σ. (2006), Φθορές και Συντήρηση Οδοστρωμάτων,

Κανελλαΐδης Γ., Γλάρος Γ., Στοιχεία Ισόπεδων και Ανισόπεδων Κόμβων, Σημειώσεις Ε. Μ. Π., Αθήνα, 2006

Μπιλλήρης Χ., Μητσακάκη Χ., Μπαλοδήμου Μ.Α., Τσακίρη Μ., Εισαγωγή στη Γεωδαισία, Σημειώσεις Ε. Μ. Π., Αθήνα, 2005

Ψαριανός Β., Σημειώσεις Οδοποιίας Ι, Σημειώσεις Ε. Μ. Π., Αθήνα, 2001

Μπαλοδήμος Δ.Δ., Σταθάς Δ., Αραμπατζή Ο., Γεωδαισία Δίκτυα Αποτυπώσεις Χαράξεις, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα, 2006

Μπαλοδήμος Δ. Δ., Αραμπατζή Ο., Υψομετρία, Σημειώσεις Ε. Μ. Π., Αθήνα, 2004

Κοφίτσας Ι., Στοιχεία Μελέτης Οδού και Διασταυρώσεων, Αθήνα, 1986

### **Ιστότοποι**

#### **Autodesk**

<http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/pc/index?id=13779270&siteID=123112>

#### **Center for advanced spatial technologies**

<http://cast.uark.edu/home/research/archaeology-and-historic-preservation/archaeological-geomatics/archaeological-laser-scanning/archaeological-laser-scanning-techniques.html>

#### **Εθνος online**

<http://www.ethnos.gr/article.asp?catid=11424&subid=2&pubid=51536948>

#### **European Lidar Mapping Forum**

<http://www.lidarmap.org/ELMF/vehicles/>

#### **Geomagic**

<http://www.geomagic.com/>



### **Leica Geosystems**

[http://www.leica-geosystems.com/en/Products\\_885.htm](http://www.leica-geosystems.com/en/Products_885.htm)

[http://www.leica-geosystems.com/en/Leica-Cyclone\\_6515.htm](http://www.leica-geosystems.com/en/Leica-Cyclone_6515.htm)

[http://hds.leica-geosystems.com/en/Leica-ScanStation-2\\_62189.htm](http://hds.leica-geosystems.com/en/Leica-ScanStation-2_62189.htm)

[http://www.pacificsurvey.com/pdf/Leica\\_ScanStation\\_2\\_datasheet\\_en.pdf](http://www.pacificsurvey.com/pdf/Leica_ScanStation_2_datasheet_en.pdf)

### **Mitsubishi Electric**

<http://global.mitsubishielectric.com/>

<http://global.mitsubishielectric.com/bu/mms/index.html>

### **Topcon**

<http://www.topcon-positioning.eu/index.asp>

<http://www.topconpositioning.com/applications/digital-imaging/hardware/is-imaging-station.html>

<http://www.topcon-positioning.eu/index.asp?pageid=ef7bcf5ebd6d4614abaff71315801c22>

### **To Βήμα online**

<http://www.tovima.gr/default.asp?pid=2&ct=3&artid=155839&dt=14/12/2003>

### **Wikipedia**

[http://en.wikipedia.org/wiki/3D\\_scanner](http://en.wikipedia.org/wiki/3D_scanner)

### **WisegEEK**

<http://www.wisegEEK.com/what-is-laser-scanning.htm>



# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



## 1. ΕΠΙΛΥΣΗ ΟΔΕΥΣΗΣ ΑΣΤΙΚΟΥ ΚΟΜΒΟΥ

Σύμφωνα με τις μετρήσεις που έγιναν στο πεδίο, προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα για τις οριζόντιες γωνίες και τα οριζόντια μήκη.

Οριζόντιες γωνίες		Οριζόντια μήκη	
$\beta 1 =$	63,295 g	D12 =	9,781 m
$\beta 2 =$	112,117 g	D23 =	21,758 m
$\beta 3 =$	24,5640 g	D31 =	25,476 m

**Εφόσον η όδευση είναι ανεξάρτητη οριζόντια αυθαίρετα:**

x1 =	0,00	m
y1 =	0,00	m
$\alpha 12 =$	100,00	1,570796327 rad

### 1. Γωνιακός έλεγχος - Διορθώσεις γωνιών

Σε κάθε κλειστό πολύγωνο n κορυφών, το άθροισμα των γωνιών του δίνεται από τις σχέσεις:  
Εσωτερικές γωνίες  $\Sigma \beta = (2n-4) \cdot 100$

Για n = 3 έχω :	$\Sigma \beta =$	200	g
	$\Sigma \beta' =$	199,9760	g

Συνολική γωνιακή διόρθωση			
$W\beta = \Sigma \beta - \Sigma \beta'$	0,0240	<0,034	g

Με την παραδοχή ότι όλες οι γωνίες μετρήθηκαν με την ίδια ακρίβεια και τον ίδιο τρόπο, η διόρθωση για κάθε μία είναι:

$$\delta\beta = W\beta/n \quad 0,008 \quad g$$

Πριν γίνει η διόρθωση το  $W\beta$  ελέγχεται αν είναι μικρότερο από αυτό που ορίζουν οι προδιαγραφές βάσει του Π.Δ 696/74 το οποίο ισχύει.

Οι διορθωμένες γωνίες δίνονται από τη σχέση:

$$\beta = \beta' + \delta\beta$$

$\beta 1 =$	63,303	g
$\beta 2 =$	112,125	g
$\beta 3 =$	24,572	g

κατόπιν υπολογίζονται οι γωνίες διεύθυνσης κάθε πλευράς λαμβάνοντας υπόψη τις διορθωμένες γωνίες  $\beta$ .

Έτσι εφαρμόζοντας το 3ο θεμελιώδες πρόβλημα:

$\alpha 23 = \alpha 12 + 200 + \beta 1 -$		
$\epsilon \cdot 400$		
$\alpha 23 =$	187,88	2,951133599 rad

Όμοια, διαδοχικά, βρίσκονται

$$\alpha_{31} = \alpha_{23} + 200 + \beta_3 - \epsilon \cdot 400$$

$$\alpha_{31} = 363,30 \quad 5,706750179 \quad \text{rad}$$

$$\alpha_{12} = \alpha_{31} + 200 + \beta_1 - \epsilon \cdot 400$$

$$\alpha_{12} = 100,00 \quad \text{g} \quad \text{υπολογιστικός έλεγχος}$$

## 2. Γραμμικός έλεγχος-Διορθώσεις

Με δοσμένες τις συντεταγμένες του 1 ( $X_1=0$ ,  $\Psi_1=0$ ), χρησιμοποιώντας το πρώτο θεμελιώδες πρόβλημα υπολογίζονται τα  $\Delta X'$ ,  $\Delta \Psi'$  μεταξύ των κορυφών.

$$\Delta x'_{12} = D_{12} \cdot \sin(\alpha_{12}) = 9,781 \quad \text{m}$$

$$\Delta y'_{12} = D_{12} \cdot \cos(\alpha_{12}) = 0 \quad \text{m}$$

και οι προσωρινές συντεταγμένες

$$x'_2 = 9,781 \quad \text{m}$$

$$y'_2 = 0,00 \quad \text{m}$$

Όμοια για τις υπόλοιπες κορυφές

$$\Delta x'_{23} = D_{23} \cdot \sin(\alpha_{23}) = 4,119 \quad \text{m}$$

$$\Delta y'_{23} = D_{23} \cdot \cos(\alpha_{23}) = -21,365 \quad \text{m}$$

$$x'_3 = 13,900 \quad \text{m}$$

$$y'_3 = -21,365 \quad \text{m}$$

$$\Delta x'_{31} = D_{31} \cdot \sin(\alpha_{31}) = -13,885 \quad \text{m}$$

$$\Delta y'_{31} = D_{31} \cdot \cos(\alpha_{31}) = 21,359 \quad \text{m}$$

$$x'_1 = 0,015 \quad \text{m}$$

$$y'_1 = -0,005 \quad \text{m}$$

Υπολογίζονται οι διορθώσεις κατά  $x'$  και  $y'$  επειδή έχουμε κλειστή όδευση:

$$W_x = -\sum \Delta X'$$

$$W_\psi = -\sum \Delta \Psi'$$

θεωρητικά  $\sum \Delta x = \sum \Delta y = 0$

$$W_x = -0,015 \quad \text{m}$$

$$W_\psi = -0,005 \quad \text{m}$$

$$W_s = (W_x) \quad 0,015811 \quad < 0,088 \quad \text{m} \quad S = 57,015 \quad \text{m}$$

$$\delta X_{1,2} = (W_x / \sum D) \cdot D_{1,2} = -0,002573276 \quad \text{m}$$

$$\delta \Psi_{1,2} = (W_\psi / \sum D) \cdot D_{1,2} = -0,000857759 \quad \text{m}$$

$$\delta X_{2,3} = (W_x / \sum D) \cdot D_{2,3} = -0,005724302 \quad \text{m}$$

$$\delta \Psi_{2,3} = (W_\psi / \sum D) \cdot D_{2,3} = -0,001908101 \quad \text{m}$$

$$\delta X_{3,1} = (W_x / \sum D) \cdot D_{3,1} = -0,006702422 \quad \text{m}$$

$$\delta\psi_{3,1}=(W_y/\Sigma D)*D_{3,1}= -0,002234141 \text{ m}$$

και έτσι διορθώνονται οι προσωρινές τιμές  $\Delta x'$ ,  $\Delta y'$ .

$$\Delta x=\Delta x'+\delta x \quad \Delta y=\Delta y'+\delta y$$

x2=	9,779	m
y2=	-0,001	m
x3=	13,892	m
y3=	-21,368	m
x1=	0,000	m
y1=	0,000	m

### Υψόμετρα κορυφών της όδευσης

Οι κατακόρυφες γωνίες που προέκυψαν από τις μετρήσεις στο πεδίο είναι οι εξής:

z12 =	101,2220	g
z21 =	100,028	g
z23 =	98,5560	g
z32 =	102,0165	g
z13 =	99,0190	g
z31 =	101,4115	g

Θεωρώ ότι στο στην κορυφή Σ1 έχω υψόμετρο **z1 = 100,00 m**

Ο προσδιορισμός των υψομέτρων των κορυφών της όδευσης γίνεται μέσω της σχέσης της τριγωνομετρικής υψομετρίας.

$$\Delta H = L * \cos z + (1-k) * (D^2/2 * R) + \Psi O - \Psi \Sigma$$

για k = 0,16 και R = 6371000 m

Άρα θα έχω

$$\Delta H_{12} = L_{12} * \cos z_{12} + (1-k) * (D_{12}^2/2 * R) + \Psi O - \Psi \Sigma = -0,0687 \text{ m}$$

$$\Delta H_{21} = L_{21} * \cos z_{21} + (1-k) * (D_{21}^2/2 * R) + \Psi O - \Psi \Sigma = 0,0667 \text{ m}$$

$$\Delta H_{23} = L_{23} * \cos z_{23} + (1-k) * (D_{23}^2/2 * R) + \Psi O - \Psi \Sigma = 0,5236 \text{ m}$$

$$\Delta H_{32} = L_{32} * \cos z_{32} + (1-k) * (D_{32}^2/2 * R) + \Psi O - \Psi \Sigma = -0,5274 \text{ m}$$

Άρα προκύπτουν οι μέσοι όροι:

$$\Delta H'_{12} = -0,0677$$

$$\Delta H'_{12} = 0,5255$$

Και άρα θα έχω:

$$\mathbf{z2 = 99,9323 \text{ m}}$$

$$\mathbf{z3 = 100,4578 \text{ m}}$$

ΕΠΙΓΕΙΑ ΣΑΡΩΣΗ LASER ΣΕ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΟΔΟΠΟΙΑΣ - ΜΕΛΕΤΗ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ  
ΚΑΙ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

---

Οι τελικές συντεταγμένες των κορυφών της όδευσης είναι :

	<b>X(m)</b>	<b>Y(m)</b>	<b>Z(m)</b>
<b>Σ1</b>	0.000	0.000	0.000
<b>Σ2</b>	9.799	-0.001	99.932
<b>Σ3</b>	13.892	21.362	100.458



## 2. ΕΠΙΛΥΣΗ ΟΔΕΥΣΗΣ ΥΠΕΡΑΣΤΙΚΟΥ ΚΟΜΒΟΥ

Σύμφωνα με τις μετρήσεις που έγιναν στο πεδίο, προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα για τις οριζόντιες γωνίες και τα οριζόντια μήκη

<b>Οριζόντιες γωνίες</b>			<b>Οριζόντια μήκη</b>		
$\beta 1 =$	33,5767	g	D12 =	23,040	m
$\beta 2 =$	149,0817	g	D23 =	43,129	m
$\beta 3 =$	17,3278	g	D31 =	61,432	m
$\beta 4 =$	111,7855	g	D41 =	26,099	m

**Εφόσον η όδευση είναι ανεξάρτητη ορίζονται αυθαίρετα:**

$x 1 =$	0,00	m	
$y 1 =$	0,00	m	
$\alpha 12 =$	0,00		0

### 1. Γωνιακός έλεγχος - Διορθώσεις γωνιών

Σε κάθε κλειστό πολύγωνο  $n$  κορυφών, το άθροισμα των γωνιών του δίνεται από τις σχέσεις :

$$\text{Εσωτερικές γωνίες} \quad \Sigma \beta = (2n-4) \cdot 100$$

$$\begin{aligned} \text{Για } n = 3 \text{ έχω : } \Sigma \beta &= 200 \text{ g} \\ \Sigma \beta' &= 199,9862 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Συνολική γωνιακή διόρθωση} \\ W\beta = \Sigma \beta - \Sigma \beta' &= 0,0138 < 0,034 \text{ g} \end{aligned}$$

Με την παραδοχή ότι όλες οι γωνίες μετρήθηκαν με την ίδια ακρίβεια και τρόπο, η διόρθωση για κάθε μία είναι:

$$\delta \beta = W\beta / n = 0,0046 \text{ g}$$

Πριν γίνει η διόρθωση το ( $W\beta$ ) ελέγχεται αν είναι μικρότερο από αυτό που ορίζουν οι προδιαγραφές βάσει του Π.Δ 696/74.

Οι διορθωμένες γωνίες δίνονται από τη σχέση:

$$\beta = \beta' + \delta \beta \quad \text{Οι εξωτερικές γωνίες είναι:}$$

$\beta 1 =$	33,5813	g	$\beta 1 =$	366,419	g
$\beta 2 =$	149,0863	g	$\beta 2 =$	250,914	g
$\beta 3 =$	17,3324	g	$\beta 3 =$	382,668	g

κατόπιν υπολογίζονται οι γωνίες διεύθυνσης κάθε πλευράς λαμβάνοντας υπόψη τις διορθωμένες γωνίες  $\beta$ .

Έτσι εφαρμόζοντας το 3ο θεμελιώδες πρόβλημα

$$\begin{aligned} \alpha 23 &= \alpha 12 + 200 + \beta 2 - \varepsilon \cdot 400 \\ \alpha 23 &= 50,91 \quad 0,799750529 \text{ rad} \end{aligned}$$

Όμοια, διαδοχικά, βρίσκονται

$$\alpha_{31} = \alpha_{23} + 200 + \beta_3 - \varepsilon \cdot 400$$

$$\alpha_{31} = 233,58 \quad 3,66908648 \quad \text{rad}$$

$$\alpha_{12} = \alpha_{31} + 200 + \beta_1 - \varepsilon \cdot 400$$

$$\alpha_{12} = 0,00 \quad \text{g} \quad \text{υπολογιστικός έλεγχος}$$

$$\alpha_{34} = \alpha_{31} + 200 + \beta_1 - \varepsilon \cdot 400$$

$$\alpha_{34} = 145,37 \quad 2,283416355 \quad \text{rad}$$

## 2. Γραμμικός έλεγχος-Διορθώσεις

Με δοσμένες τις συντεταγμένες του 1 ( $X_1=0$ ,  $\Psi_1=0$ ) χρησιμοποιώντας το πρώτο θεμελιώδες πρόβλημα υπολογίζονται τα  $\Delta x'$ ,  $\Delta y'$  μεταξύ των κορυφών.

$$\Delta x'_{12} = D_{12} \cdot \sin(\alpha_{12}) = 0,000 \quad \text{m}$$

$$\Delta y'_{12} = D_{12} \cdot \cos(\alpha_{12}) = 23,040 \quad \text{m}$$

και οι προσωρινές συντεταγμένες

$$x'_2 = 0,000 \quad \text{m}$$

$$y'_2 = 23,04 \quad \text{m}$$

Όμοια για τις υπόλοιπες κορυφές

$$\Delta x'_{23} = D_{23} \cdot \sin(\alpha_{23}) = 30,931 \quad \text{m}$$

$$\Delta y'_{23} = D_{23} \cdot \cos(\alpha_{23}) = 30,056 \quad \text{m}$$

$$x'_3 = 30,931 \quad \text{m}$$

$$y'_3 = 53,096 \quad \text{m}$$

$$\Delta x'_{31} = D_{31} \cdot \sin(\alpha_{31}) = -30,923 \quad \text{m}$$

$$\Delta y'_{31} = D_{31} \cdot \cos(\alpha_{31}) = -53,081 \quad \text{m}$$

$$x'_1 = 0,008 \quad \text{m}$$

$$y'_1 = 0,015 \quad \text{m}$$

Υπολογίζονται οι διορθώσεις κατά  $x'$  και  $y'$ , επειδή έχουμε κλειστή όδευση:

$$W_x = -\sum \Delta X'$$

$$W_\psi = -\sum \Delta \Psi'$$

θεωρητικά  $\sum \Delta x = \sum \Delta y = 0$

$$W_x = -0,008 \quad \text{m}$$

$$W_\psi = -0,015 \quad \text{m}$$

$$W_s = (W_x) \quad 0,01693 \quad <0,088 \quad \text{m} \quad S = 127,601 \quad \text{m}$$

$$\delta x_{1,2} = (W_x / \sum D) \cdot D_{1,2} = -0,001531225 \quad \text{m}$$

$$\delta y_{1,2} = (W_\psi / \sum D) \cdot D_{1,2} = -0,002645773 \quad \text{m}$$

$$\delta x_{2,3} = (W_x / \sum D) \cdot D_{2,3} = -0,002866316 \quad \text{m}$$

$$\delta y_{2,3} = (W_\psi / \sum D) \cdot D_{2,3} = -0,004952649 \quad \text{m}$$

$$\delta x_{3,1} = (W_x / \sum D) \cdot D_{3,1} = -0,004082703 \quad \text{m}$$

$$\delta y_{3,1} = (W_\psi / \sum D) \cdot D_{3,1} = -0,007054418 \quad \text{m}$$

και έτσι διορθώνονται οι προσωρινές τιμές  $\Delta x'$ ,  $\Delta y'$ .

$$\Delta x = \Delta x' + \delta x \quad \Delta y = \Delta y' + \delta y$$

$$\begin{aligned} x_2 &= -0,00153 \text{ m} \\ y_2 &= 23,03742 \text{ m} \\ x_3 &= 30,92691 \text{ m} \\ y_3 &= 53,08841 \text{ m} \\ x_1 &= 0,000 \text{ m} \\ y_1 &= 0,000 \text{ m} \end{aligned}$$

#### Υψόμετρα κορυφών της όδευσης

$$\begin{aligned} z_{12} &= 99,6518 \text{ g} \\ z_{21} &= 100,7305 \text{ g} \\ z_{23} &= 96,5175 \text{ g} \\ z_{32} &= 104,0308 \text{ g} \\ z_{13} &= 97,3505 \text{ g} \\ z_{31} &= 102,8100 \text{ g} \end{aligned}$$

Θεωρώ ότι στο στην κορυφή Σ1 έχω υψόμετρο  $z_1 = 0,00 \text{ m}$

Ο προσδιορισμός των υψομέτρων των κορυφών της όδευσης γίνεται μέσω της σχέσης της τριγωνομετρικής υψομετρίας.

$$\Delta H = L \cdot \cos z + (1-k) \cdot (D^2/2 \cdot R) + \Psi_0 - \Psi_\Sigma$$

$$\text{για } k = 0,16 \quad \text{και } R = 6371000 \text{ m}$$

Άρα θα έχω

$$\Delta H_{12} = L_{12} \cdot \cos z_{12} + (1-k) \cdot (D_{12}^2/2 \cdot R) + \Psi_0 - \Psi_\Sigma = 0,2101 \text{ m}$$

$$\Delta H_{21} = L_{21} \cdot \cos z_{21} + (1-k) \cdot (D_{21}^2/2 \cdot R) + \Psi_0 - \Psi_\Sigma = -0,2164 \text{ m}$$

$$\Delta H_{23} = L_{23} \cdot \cos z_{23} + (1-k) \cdot (D_{23}^2/2 \cdot R) + \Psi_0 - \Psi_\Sigma = 2,54727 \text{ m}$$

$$\Delta H_{32} = L_{32} \cdot \cos z_{32} + (1-k) \cdot (D_{32}^2/2 \cdot R) + \Psi_0 - \Psi_\Sigma = -2,5379 \text{ m}$$

Άρα προκύπτουν οι μέσοι όροι

$$\Delta H'_{12} = 0,2132 \text{ m}$$

$$\Delta H'_{23} = 2,5426 \text{ m}$$

Και άρα θα έχω

$$z_2 = 0,2132 \text{ m}$$

$$z_3 = 2,7558 \text{ m}$$

**Οι τελικές συντεταγμένες των κορυφών της όδευσης είναι :**

	X(m)	Y(m)	Z(m)
<b>Σ1</b>	0.000	0.000	0.000
<b>Σ2</b>	-0.002	23.037	0.213
<b>Σ3</b>	30.927	53.088	2.756

### 3. ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΑΣΤΙΚΟΥ ΚΟΜΒΟΥ

Η αποτύπωση στον αστικό κόμβο έγινε με χρήση ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού. Το όργανο στήθηκε στην κορυφή Σ2. Έγινε αποτύπωση σημείων κατά μήκος των οριογραμμών των οδών και προσδιορίστηκαν οι συντεταγμένες της κορυφής Σ4

	<b>x(m)</b>	<b>y(m)</b>	<b>z(m)</b>
<b>Σ4</b>	4,311	12,602	100,163
<b>1</b>	0,839	-0,665	99,831
<b>2</b>	0,795	-2,706	99,803
<b>3</b>	-0,885	-10,100	99,721
<b>4</b>	4,384	9,647	99,923
<b>5</b>	6,178	17,026	100,086
<b>6</b>	6,582	19,300	100,114
<b>7</b>	6,745	21,220	100,149
<b>8</b>	6,759	23,468	100,162
<b>9</b>	6,459	26,778	100,308
<b>10</b>	9,410	29,639	100,286
<b>11</b>	5,707	31,962	100,307
<b>12</b>	9,146	41,155	100,329
<b>13</b>	10,101	43,226	100,375
<b>14</b>	12,507	31,072	100,395
<b>15</b>	12,847	28,549	100,406
<b>16</b>	13,162	25,076	100,358
<b>17</b>	13,244	21,953	100,290
<b>18</b>	13,253	22,297	100,296
<b>19</b>	13,163	19,415	100,212
<b>20</b>	13,070	17,640	100,160
<b>21</b>	13,276	17,400	100,159
<b>22</b>	13,676	17,643	100,167
<b>23</b>	14,447	19,252	100,220
<b>24</b>	14,908	21,231	100,295
<b>25</b>	14,960	24,284	100,383
<b>26</b>	14,573	28,243	100,404
<b>27</b>	14,000	31,282	100,402
<b>28</b>	12,180	40,619	100,369
<b>29</b>	20,271	31,054	100,244
<b>30</b>	25,199	-3,403	99,588
<b>31</b>	17,046	-1,097	99,686
<b>32</b>	8,890	1,210	99,781
<b>33</b>	7,084	-5,177	99,617

#### 4. ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΥΠΕΡΑΣΤΙΚΟΥ ΚΟΜΒΟΥ

Η αποτύπωση στον κόμβο του Μαρκόπουλου έγινε με χρήση ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού. Το όργανο στήθηκε αρχικά στην στάση Σ3 για να ιδρυθεί το σημείο Σ4.

Οι συντεταγμένες του σημείου Σ4 προέκυψαν ως εξής

x4 =	11,179	m
y4 =	70,153	m
z4 =	2,394	m

Στη συνέχεια έγιναν δύο αποτυπώσεις από τις κορυφές Σ3 και Σ4. Οι τελικές συντεταγμένες των σημείων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

	x(m)	y(m)	z(m)
1	30,170	48,125	3,029
2	31,519	43,342	3,203
3	32,884	40,247	3,257
4	40,249	27,244	3,319
5	52,673	6,305	3,510
6	58,100	-3,215	3,635
7	62,516	-12,018	3,760
8	67,194	-20,871	3,904
9	70,635	-28,914	4,030
10	75,656	-40,781	4,186
11	77,689	-46,806	4,283
12	82,171	-58,422	4,438
13	84,567	-66,250	4,541
14	86,011	-74,099	4,595
15	90,322	-86,664	4,672
16	90,317	-86,654	4,672
17	57,708	-27,145	3,130
18	48,644	-10,969	2,831
19	44,669	-4,932	2,700
20	39,165	3,514	2,540
21	32,191	12,857	2,358
22	30,071	15,713	2,298
23	22,650	24,939	2,072
24	22,649	24,943	2,072
25	20,911	26,850	2,008
26	-107,998	113,678	-0,056
27	-149,272	132,949	-0,002
28	-127,089	129,346	0,329
29	-116,052	126,635	0,499
30	-106,260	123,949	0,625
31	-97,744	121,385	0,762
32	-85,299	117,436	0,989
33	-84,360	117,011	0,991
34	-1,796	51,049	1,619
35	-3,929	53,545	1,605
36	-6,230	54,957	1,539

ΕΠΙΓΕΙΑ ΣΑΡΩΣΗ LASER ΣΕ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΟΔΟΠΟΙΑΣ - ΜΕΛΕΤΗ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ  
ΚΑΙ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

---

<b>37</b>	-8,881	57,263	1,489
<b>38</b>	-11,598	59,562	1,433
<b>39</b>	-14,447	62,050	1,374
<b>40</b>	-17,627	64,549	1,314
<b>41</b>	-19,609	66,084	1,280
<b>42</b>	-23,642	69,297	1,208
<b>43</b>	-26,366	71,241	1,162
<b>44</b>	-29,445	73,374	1,159
<b>45</b>	-33,577	76,230	1,156
<b>46</b>	19,514	57,208	3,639
<b>47</b>	-33,397	76,311	1,039
<b>48</b>	-39,634	80,760	0,936
<b>49</b>	-42,839	82,640	0,881
<b>50</b>	-53,395	89,079	0,710
<b>51</b>	-55,415	90,287	0,710
<b>52</b>	-62,342	94,129	0,565
<b>53</b>	-71,712	99,343	0,467

