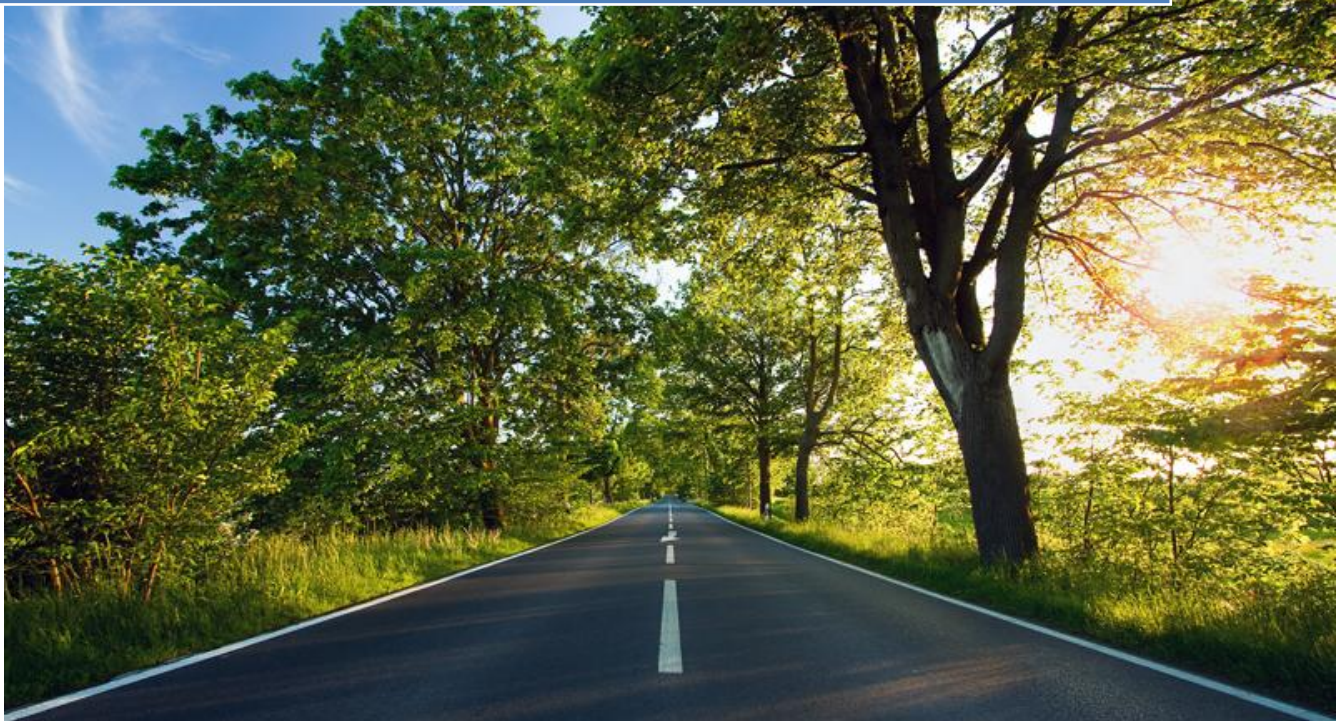


ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΝΙΚΗΣ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ



# ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΜΕΣΩ ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΣΑΡΩΣΕΩΝ LASER



**ΜΑΡΚΟΥ ΙΟΥΛΙΑ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ:**

**ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΑΝΤΩΝΙΟΥ**

**ΜΑΡΙΑ ΤΣΑΚΙΡΗ**

**ΑΘΗΝΑ 2012**



## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Η παρούσα εργασία μου ανατέθηκε από την κα. Μαρία Τσακίρη, Επίκουρη Καθηγήτρια της Ε.Μ.Π. και από τον κ. Κωνσταντίνο Αντωνίου, Επίκουρο Καθηγητή του Ε.Μ.Π.. Θα ήθελα λοιπόν να τους ευχαριστήσω θερμά για την καθοδήγηση που μου παρείχαν καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης αυτής της διπλωματικής εργασίας, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξαν, καθώς και για το ότι με στήριξαν, παρά της δυσκολίες, στην διεκπεραίωση αυτής της ιδιαίτερα ενδιαφέρουσας για μένα έρευνας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω θερμά τον φίλο και συμφοιτητή μου Πάυλο Αλεξαντωνάκη, για την πολύτιμη βοήθεια και στήριξη του στην εκπόνηση και επεξεργασία των μετρήσεων, καθώς επίσης και τον Σπύρο Γεωργαλά ΑΤΜ, ο οποίος με ιδιαίτερη θέρμη μου παρέδωσε τα αρχεία των μετρήσεων που πραγματοποίησε στην προσωπική του διπλωματική εργασία, και με βοήθησε στο να ξεπεράσω αρκετά τεχνικά προβλήματα που προέκυψαν.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στον κ. Βασίλειο Ψαριανό, Καθηγητή του Ε.Μ.Π. και διευθυντή του Εργαστηρίου Συγκοινωνιακής Τεχνικής της Σ.Α.Τ.Μ. για τις παρεμβάσεις και την υποστήριξη του, καθώς επίσης και τον κ. Ανδρέα Γεωργόπουλο, Καθηγητή του Ε.Μ.Π. για την πραγματικά σημαντική ηθική του υποστήριξη και το πολύτιμο χρόνο που μου διέθεσε για την επίλυση σοβαρών προβλημάτων.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Κωνσταντίνο Γκίνη για την πολύτιμη στήριξη του στις τεχνικές δυσκολίες που παρουσιάστηκαν κατά την επεξεργασία των μετρήσεων και την διαρκή εμπύχωση, τους φίλους Αναγνωστόπουλο Βασίλη και Βελέντζα Δημοσθένη για την βοήθεια τους κατά την συλλογή των δεδομένων, καθώς επίσης και την οικογένεια μου, και ιδιαίτερα τον πατέρα μου, που με εμπύχωσε και με στήριξε στην ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας αλλά και των σπουδών μου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το οδόστρωμα με την πάροδο του χρόνου και υπό την επίδραση της κυκλοφορίας και των κλιματολογικών συνθηκών χάνει την αρχική του κατάσταση στα πλαίσια του κύκλου ζωής του. Κατά συνέπεια, στην περίπτωση που δεν γίνει κάποια επέμβαση για την συντήρηση του, υποβαθμίζεται το επίπεδο εξυπηρετικότητας του. Μέχρι σήμερα ο ακριβής προσδιορισμός των επιφανειακών φθορών γίνεται έπειτα από επί τόπου επιθεωρήσεις από εξειδικευμένο προσωπικό, που έχουν ως στόχο την εξασφάλιση πραγματικών δεδομένων για την κατάσταση του οδοστρώματος με σκοπό την βέλτιστη συντήρηση του.

Στα πλαίσια των εργασιών αξιολόγησης υπεισέρχεται πάντα ο ανθρώπινος παράγοντας, συνεπώς και το στοιχείο της υποκειμενικότητας. Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας, η οποία θα επιτρέπει την δημιουργία μιας αντικειμενικής διαχρονικής βάσης δεδομένων που θα περιλαμβάνει στοιχεία της υφιστάμενης λειτουργικής κατάστασης του εθνικού δικτύου μιας χώρας.

Η ανάλυση επικεντρώθηκε σε τρία οδικά τμήματα διαφορετικής λειτουργικής κατάστασης. Με την βοήθεια ενός επίγειου σαρωτή επετεύχθη η συλλογή τρισδιάστατης πληροφορίας σχετικά με την υφιστάμενη κατάσταση των προς μελέτη οδοστρωμάτων, σε πολύ ικανοποιητική ακρίβεια και ταχύτητα. Επιπλέον, σημαντικό εργαλείο αποτέλεσε η χρήση ενός λογισμικού παραγωγής τρισδιάστατων μοντέλων και δισδιάστατων σχεδίων. Μέσα από τα παράγωγα σχέδια και μοντέλα, καθώς επίσης και μέσα από επιτόπιες μετρήσεις, πραγματοποιήθηκε αξιολόγηση της λειτουργικότητας του οδοστρώματος. Δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στην ποιότητα απορροής των υδάτων, και στην εμφάνιση υδρολίσθησης.

Τα αποτελέσματα έδειξαν πως μπορεί να γίνει βαθμολόγηση της παρούσας κατάστασης ενός οδικού τμήματος μέσα από τα μοντέλα επιφάνειας σε αρκετά ικανοποιητικό βαθμό. Όλες οι παράμετροι που καθορίζουν την επιλογή κλίμακας εμφάνισης και σοβαρότητας κάθε παραμόρφωσης ή φθοράς που εμφανίζεται, μπορούν να αξιολογηθούν και να ποσοτικοποιηθούν στην ζητούμενη ακρίβεια που απαιτεί η μεθοδολογία. Όλα τα στοιχεία αντιπροσωπεύουν αντικειμενικούς δείκτες της υφιστάμενης κατάστασης και μπορούν να αποτελέσουν το υπόβαθρο για μελλοντικές συγκρίσεις και αξιολογήσεις των μεταβολών της λειτουργικότητας ενός οδοστρώματος.

## SYNOPSIS

The pavement, as time passes and under the effect of traffic and the climatic conditions, loses its original state during its lifecycle. As a result, in case that no action is taken for its preservation, it degrades in the level of its Present Serviceability Index. Until today, the precise determination of the superficial damage is done after on the spot inspections from specialized personnel, which target the obtaining of real data about the condition of the pavement, for the purpose of its optimal maintenance.

The framework of evaluation is always affected by the human factor and thus the element of subjectivity. The goal of this thesis is the development of a methodology which will allow the creation of an objective diachronic database which will contain elements of the present state of functionality of a country's national road network.

The analysis was focused on three road sections of different functional state. With the aid of a terrestrial laser scanner, the collection of three dimensional data, regarding the present situation of the pavement, was accomplished, in very high precision and speed. Furthermore, an important tool was the use of a three dimensional rendering and two dimensional drawings software. Through all the derivative drawings and models, as well as the on location measurements, the evaluation of the functionality of the pavement was realized. Special care was given to the quality of the liquid drainage, and the appearance of aquaplaning.

The results showed that present serviceability of a road segment can be graded, through the surface models quite satisfactorily. Every parameter that affects the choice of scale of appearance and severity of each deformation or damage that occurs can be evaluated and quantified in the precision required by the methodology. Every element represents objective indicators of the present situation and can provide the basis for future comparisons and evaluations of the variations of the pavement's functionality.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	vi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	x
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	xviii
1. Εισαγωγή	1
1.1. Θεωρητικό Πλαίσιο	1
1.2. Στόχος Και Πεδίο Εφαρμογής	2
1.3. Διάρθρωση Διπλωματικής Εργασίας	4
2. Αρχές Οδοστρωμάτων	5
2.1. Η Λειτουργία Της Επιφανειακής Στρώσης Ενός Οδοστρώματος	5
2.2. Καταπόνηση Οδοστρωμάτων	6
2.2.1. Είδη Φθοράς Οδοστρωμάτων	7
2.2.2. Φθορές Και Δομικές Αποτυχίες Εύκαμπτων Οδοστρωμάτων	10
2.3. Αξιολόγηση Οδοστρώματος	10
2.3.1. Μη Δειγματοληπτικοί Έλεγχοι	11
2.3.2. Δειγματοληπτικοί Έλεγχοι	16
2.3.3. Διαδικασία Αξιολόγησης Κατάστασης Οδοστρώματος Στο Οχάιο	21
2.3.4. Διαδικασία Αξιολόγησης Καταπονήσεων Βάσει Του TRB	22
2.3.5. Ερμηνεία Αποτελεσμάτων Αξιολόγησης GFP	23
2.4. Υδρολίσηση	26
2.4.1. Αιτίες Υδρολίσησης	26

2.4.2. Αιτίες Παρουσίας Λιμναζόντων Νερών	27
2.4.3. Είδη Υδρολίσθησης	30
2.4.4. Εφαρμογές Στην Υδρολίσθηση	31
2.4.5. Συνοπτικά Στοιχεία Μελετών Υδρολίσθησης	36
3. Μέθοδοι Αποτύπωσης	38
3.1. Μέθοδος Αποτύπωσης Με Χρήση Laser Scanner	38
3.1.1. Λειτουργικότητα	39
3.1.2. Ακρίβεια Μετρήσεων	43
3.1.3. Πλεονεκτήματα Και Αδυναμίες Των Παραπάνω Μεθόδων	46
3.2. Εφαρμογες Laser Scanning Στην Οδοποιία	47
3.2.1. Εισαγωγή	47
3.2.2. Τρισδιάστατη Απεικόνιση Σηράγγων	48
3.2.3. Καταγραφή Στοιχείων Οδοστρώματος (Διαβάσεις Πεζών, Διαγραμμίσεις)	50
3.2.4. Σαρώσεις Laser Scanner Στις Υπηρεσίες Των ΑΜΕΑ	53
3.2.5. Ανάλυση Κατασκευών Οδικού Δικτύου Με Χρήση Επίγειων Σαρωτών	54
3.2.6. Χρήση Τεχνολογίας Laser Scanning Μέσω Κινητών Συστημάτων Χαρτογράφησης (MMS)	55
3.2.7. Μελέτη Ορατότητας	57
3.2.8. Αξιολόγηση Οδικής Ασφάλειας	59
3.3. Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DTM)	61
3.3.1. Κατηγορίες DTM	61
3.3.2. Δημιουργία Ενός Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους	61
3.3.3. Δημιουργία DTM Με Τη Χρήση Τεχνολογίας Laser	65
4. Συλλογή Δεδομένων	68

4.1.	Επιλογή Οδικών Τμημάτων Προς Μελέτη	68
4.2.	Αναγνώριση Περιοχής	72
4.2.1.	Οδικό Τμήμα Πολυτεχνειούπολης	73
4.2.2.	Οδικό Τμήμα Π.Ε.Ο. Αθηνών – Χαλκίδος	75
4.3.	Συλλογή Δεδομένων Σάρωσης	77
4.3.1.	Εκτέλεση Μετρήσεων Στον Χώρο Της Πολυτεχνειούπολης	78
4.3.2.	Εκτέλεση Μετρήσεων Στο Οδικό Τμήμα Π.Ε.Ο. Αθηνών – Χαλκίδος	81
4.3.3.	Συνοπτική Παρουσίαση Μετρήσεων	84
5.	Επεξεργασία Δεδομένων	85
5.1.	Συνένωση Νεφών Σημείων	85
5.1.1.	Συνένωση Νεφών Σημείων Π.Ε.Ο. Αθηνών – Χαλκίδος	86
5.2.	Δημιουργία Μοντέλου Επιφανειών	90
5.2.1.	Μοντελοποίηση Οδοστρώματος Περιοχής Πολυτεχνειούπολης	90
5.2.2.	Μοντελοποίηση Οδοστρώματος Αστικού Κόμβου	96
5.2.3.	Μοντελοποίηση Οδοστρώματος Π.Ε.Ο. Αθηνών – Χαλκίδος	103
5.2.4.	Συνοπτικά Στοιχεία Διαδικασιών Μοντελοποίησης	113
6.	Επισκόπηση & Αξιολόγηση Οδικών Τμημάτων	114
6.1.	Αξιολόγηση Υφιστάμενης Κατάστασης Οδοστρώματος Με Επιτόπιες Μετρήσεις	114
6.1.1.	Λειτουργία Μεθόδου PCR (Pavement Condition Rating)	115
6.1.2.	Διαδικασία Εντοπισμού Και Αξιολόγησης Καταπονήσεων Στο Οδικό Τμήμα Της Πολυτεχνειούπολης	116
6.1.3.	Συμπλήρωση Τελικού Πίνακα Αξιολόγησης Οδικού Τμήματος Πολυτεχνειούπολης	126
6.1.4.	Αξιολόγηση Οδοστρώματος Στην Π.Ε.Ο. Αθηνών – Χαλκίδος	127



6.1.5. Συμπλήρωση Τελικού Πίνακα Αξιολόγησης Οδικού Τμήματος Π.Ε.Ο. Αθηνών - Χαλκίδος	133
6.1.6. Αξιολόγηση Οδοστρώματος Αστικού Κόμβου Κοκκινοπούλου – Αγήνορος	134
6.1.7. Συμπλήρωση Τελικού Πίνακα Αξιολόγησης Οδικού Τμήματος Κοκκινοπουλου	140
6.2. Συγκριση Αποτελεσμάτων GSP Manual – Laser Scanner	141
6.2.1. Εντοπισμός Και Μετρήσεις Φθορων – Παραμορφωσεων Στο 3D Μοντέλο Της Πολυτεχνειούπολης	141
6.2.2. Εντοπισμός Και Μετρήσεις Φθορών – Παραμορφώσεων Στο 3D Μοντέλο Της Οδου Κοκκινοπούλου	155
6.2.3. Εντοπισμός Και Μετρήσεις Φθορων – Παραμορφώσεων Στο 3D Μοντέλο Της Π.Ε.Ο. Αθηνων - Χαλκίδος	162
6.2.4. Τελικά Συμπεράσματα	166
6.3. Μελέτη Υδρολίσθησης Στην Π.Ε.Ο. Αθηνών – Χαλκίδος	169
6.3.1. Δημιουργία Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους Της Π.Ε.Ο. Αθηνών – Χαλκίδος	170
6.3.2. Εξαγωγή Στοιχείων Μελέτης Υδρολίσθησης	179
7. Συμπεράσματα Προτάσεις	184
7.1. Συμπεράσματα	184
7.1.1. Συλλογή Δεδομένων Σάρωσης	185
7.1.2. Μοντελοποίηση Δεδομένων	186
7.1.3. Επισκόπηση – Αξιολόγηση Κατάστασης Οδοστρώματος	187
7.2. Προτάσεις	189

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1 Όχημα Profiler (Πηγή: Lenz, 2011).....	12
Εικόνα 2.2 Λεπτομέρεια οχήματος Profiler (Πηγή: Lenz, 2011).....	13
Εικόνα 2.3 Bump Integrator Πηγή (Ευαγγελίδης, 2004) .....	13
Εικόνα 2.4 Λεπτομέρεια στο ρυμουλκούμενο όχημα (Πηγή: Lenz, 2011).....	14
Εικόνα 2.5 Απαραίτητα οχήματα για την διενέργεια μετρήσεων ολισθηρότητας (Πηγή: Lenz, 2011) .....	15
Εικόνα 2.6 Φίλτρα και τρισδιάστατη χαρτογράφηση (Πηγή: Saleh, 2009).....	16
Εικόνα 2.7 Αποτελέσματα υπέρυθρων λήψεων (Πηγή: Saleh, 2009).....	16
Εικόνα 2.8 Πλευρικά τοιχώματα προφίλ στρωμάτων οδοστρώματος (Πηγή: Lenz, 2011) .....	17
Εικόνα 2.9 Απομάκρυνση ασφαλικού κομματιού (Πηγή: Lenz, 2011) .....	17
Εικόνα 2.10 Δειγματοληπτικοί πυρήνες (Πηγή: Lenz, 2011).....	18
Εικόνα 2.11 Πολύ καλή ποιότητα οδοστρώματος (Πηγή: Oregon, 2010).....	24
Εικόνα 2.12 Καλή ποιότητα οδοστρώματος (Πηγή: Oregon, 2010).....	24
Εικόνα 2.13 Επιτρεπτή ποιότητα οδοστρώματος (Πηγή: Oregon, 2010).....	25
Εικόνα 2.14 Κακή ποιότητα οδοστρώματος (Πηγή: Oregon, 2010).....	25
Εικόνα 2.15 Πολύ κακή ποιότητα οδοστρώματος (Πηγή: Oregon, 2010).....	26
Εικόνα 3.1 Σαρωτής με περιστρεφόμενους καθρέφτες .....	41
Εικόνα 3.2 Αρχή τριγωνισμού .....	42
Εικόνα 3.3 Δημιουργία νέφους σημείων με τριγωνισμό .....	43
Εικόνα 3.4 Μοντέλο σάρωσης σήραγγας στην Αυστρία (Πηγή: Riegl, 2003) .....	49
Εικόνα 3.5 Σύγκριση επιφανειών μετά από ψηφιακή επεξεργασία (Πηγή: Cowan et al., 2002).....	50

Εικόνα 3.6 Αξιολόγηση της ακρίβειας του μοντέλου (Πηγή: Jaakkola et al, 2008).....	51
Εικόνα 3.7 Παρουσία καθιζήσεων ασφάλτου σε αυτοκινητόδρομο (Πηγή: Chow, 2007) .....	52
Εικόνα 3.8 Μέτρηση στοιχείων πάνω από ένα οδικό τμήμα (Πηγή: Chow, 2007) .....	53
Εικόνα 3.9 Τρισδιάστατο μοντέλο ανακατασκευής υπάρχοντος οδικού δικτύου (Πηγή:Shi et al) ..	53
Εικόνα 3.10 Παραδείγματα νεφών σημείων με τη βοήθεια MMS (Πηγή: <a href="http://www.profsurv.com">http://www.profsurv.com</a> ) .....	56
Εικόνα 3.11 Τρίγωνα ορατότητας αναχώρησης (Πηγή: Easa, 2003) .....	57
Εικόνα 3.12 Τρίγωνο ορατότητας στο περιβάλλον του λογισμικού Geomagic (Πηγή: Γεωργαλάς, 2010) .....	58
Εικόνα 3.13 Τρίγωνο ορατότητας στο περιβάλλον του λογισμικού Geomagic (Πηγή: Γεωργαλάς, 2010) .....	58
Εικόνα 3.14 Σαρώσεις διασταυρώσεων (Πηγή: Πατακιά, 2004) .....	59
Εικόνα 3.15 Δεδομένα σάρωσης από ατύχημα (Πηγή: Jenkins, 2005) .....	60
Εικόνα 3.16 Παράδειγμα αποτυπώματος ελαστικού ύστερα από σάρωση σε απόσταση 20 μέτρων (Πηγή: Πατακιά, 2004) .....	60
Εικόνα 3.17 Σχηματική διαδικασία παραγωγής ψηφιακής ορθοφωτογραφίας (Πηγή: Σιεητάνης, 2008) .....	63
Εικόνα 3.18 Γενική διάταξη Lidar με περιστρεφόμενο κάτοπτρο, (Πηγή: Χατζόπουλος, 2006) .....	64
Εικόνα 3.19 Mobile Mapping System (Πηγή: <a href="http://www.gim-international.com">http://www.gim-international.com</a> ).....	66
Εικόνα 3.20 Η κατασκευή ROAMER (Πηγή: Kukko, 2007) .....	67
Εικόνα 4.1 Τμήμα σάρωσης εντός της Πολυτεχνειούπολης (Πηγή: Google maps) .....	69
Εικόνα 4.2 Περιοχή σάρωσης αστικού κόμβου (Πηγή: Google maps) .....	70
Εικόνα 4.3 Περιοχή σάρωσης στην Π.Ε.Ο. Αθηνών – Χαλκίδος (Πηγή: Google maps) .....	71
Εικόνα 4.4 Πυκνή ροή οχημάτων στο προς μελέτη οδικό τμήμα Π.Ε.Ο. (Πηγή: Κτηματολόγιο ΑΕ).72	
Εικόνα 4.5 Τμήμα οπτικού πεδίου σάρωσης από τη στάση 5.....	73
Εικόνα 4.6 Σκαρίφημα περιοχής σάρωσης εντός της Πολυτεχνειούπολης .....	74

Εικόνα 4.7 Τμήμα οπτικού πεδίου σάρωσης από τη στάση 2.....	74
Εικόνα 4.8 Τμήμα οπτικού πεδίου σάρωσης από τη στάση 4.....	75
Εικόνα 4.9 Τμήμα οπτικού πεδίου σάρωσης από τη στάση 2.....	76
Εικόνα 4.10 Γενική εποπτεία κατάστασης οδοστρώματος .....	76
Εικόνα 4.11 Σκαρίφημα περιοχής μετρήσεων.....	77
Εικόνα 4.12 Οπτικό πεδίο σαρωτή (Πηγή: <a href="http://www.prweb.com/releases/leicageosystem">http://www.prweb.com/releases/leicageosystem</a> ) .....	78
Εικόνα 4.13 Παράθυρο Modelspace - Προεπισκόπηση μετρήσεων .....	79
Εικόνα 4.14 Επιλογή εύρους πεδίου σάρωσης (Στάση 1) .....	82
Εικόνα 4.15 Εντοπισμός και σάρωση ειδικών στόχων .....	83
Εικόνα 4.16 Εκτέλεση σάρωσης από την στάση 5.....	83
Εικόνα 5.1 Τελικά αποτελέσματα πρώτης συνένωσης.....	87
Εικόνα 5.2 Ομόλογα σημεία συνένωσης .....	88
Εικόνα 5.3 Τελικό αποτέλεσμα σαρώσεων .....	89
Εικόνα 5.4 Αποτέλεσμα σαρώσεων ύστερα από απαλλαγή θορύβου .....	89
Εικόνα 5.5 Εισαγωγή σημείων στο Geomagic 10 .....	90
Εικόνα 5.6 Shading points – Χρωματισμένα σημεία .....	91
Εικόνα 5.7 Παράμετροι εντολής μείωσης θορύβου.....	92
Εικόνα 5.8 Αποτέλεσμα αλγορίθμου μείωσης θορύβου .....	93
Εικόνα 5.9 Διαδικασία μείωσης αριθμού σημείων .....	94
Εικόνα 5.10 Αποτελέσματα μοντέλου τριγώνων.....	95
Εικόνα 5.11 Κεντρικό και νότιο τμήμα σάρωσης.....	96
Εικόνα 5.12 Σημεία εισαγωγής στο λογισμικό Geomagic .....	97
Εικόνα 5.13 Επιλογή περιττών σημείων μοντέλου.....	98
Εικόνα 5.14 Νέο σύνολο σημείων προς επεξεργασία.....	98

Εικόνα 5.15 Αποτέλεσμα αλγορίθμου μείωσης θορύβου .....	99
Εικόνα 5.16 Αποτελέσματα μοντέλου τριγώνων.....	100
Εικόνα 5.17 Επιλογή κενού προς συμπλήρωση στο μοντέλο .....	101
Εικόνα 5.18 Επιτυχής συμπλήρωση κενών μοντέλου .....	102
Εικόνα 5.19 Επιλογή οχήματος με λανθασμένη μπλε απόχρωση.....	102
Εικόνα 5.20 Εφαρμογή αλγορίθμου αλλαγής απόχρωσης .....	103
Εικόνα 5.21 Επιτυχής εφαρμογή αλγορίθμου αλλαγής απόχρωσης .....	103
Εικόνα 5.22 Εισαγωγή 12 εκ. σημείων στο λογισμικό Geomagic.....	104
Εικόνα 5.23 Διαδικασία μείωσης θορύβου .....	105
Εικόνα 5.24 Πρώτη δοκιμή μείωσης δεδομένων .....	106
Εικόνα 5.25 Αποτέλεσμα πρώτης προσπάθειας .....	106
Εικόνα 5.26 Κοντινή εικόνα πρώτης προσπάθειας .....	107
Εικόνα 5.27 Πλάγια εποπτεία τμήματος του μοντέλου .....	107
Εικόνα 5.28 Αλλαγές στον αλγόριθμο Uniform Sample .....	108
Εικόνα 5.29 Αποτέλεσμα δεύτερης προσπάθειας.....	108
Εικόνα 5.30 Κοντινή εικόνα δεύτερης προσπάθειας .....	109
Εικόνα 5.31 Επιλογή βαθμίδας "5" .....	109
Εικόνα 5.32 Αποτέλεσμα τρίτης προσπάθειας.....	110
Εικόνα 5.33 Συγκριτική εικόνα 1ης και 3ης προσπάθειας .....	110
Εικόνα 5.34 Σημεία θορύβου προς απομάκρυνση.....	111
Εικόνα 5.35 Αποτέλεσμα απομάκρυνσης θορύβου .....	112
Εικόνα 5.36 Βελτιωμένο τμήμα μοντέλου .....	112
Εικόνα 6.1 Κλίμακα διαβάθμισης ποιότητας οδοστρώματος (Πηγή: PCEM).....	116
Εικόνα 6.2 Εκδορές οδοστρώματος.....	117

Εικόνα 6.3 Εκδορές οδοστρώματος.....	117
Εικόνα 6.4 Έντονη παρουσία συνθετικών ασφαλτομίγματος.....	118
Εικόνα 6.5 Μέγιστο βάθος τροχαυλάκωσης .....	119
Εικόνα 6.6 Γενικότερη εποπτεία τροχαυλάκωσης.....	119
Εικόνα 6.7 Βάθος λακούβας.....	120
Εικόνα 6.8 Βάθος λακούβας.....	120
Εικόνα 6.9 Κριτήρια αξιολόγησης σοβαρότητας φαινομένου. (Πηγή: PCEM, 2001).....	121
Εικόνα 6.10 Επιφάνεια επισκευών .....	121
Εικόνα 6.11 Διάσταση πρώτου μπαλώματος .....	122
Εικόνα 6.12 Διάσταση δεύτερου μπαλώματος .....	122
Εικόνα 6.13 Παραδείγματα ρωγμών λόγω υδάτινων ρευμάτων .....	123
Εικόνα 6.14 Ρηγματώσεις στα ίχνη τροχού .....	124
Εικόνα 6.15 Διαμήκεις ρωγμές .....	124
Εικόνα 6.16 Διαμήκης ρηγμάτωση .....	125
Εικόνα 6.17 Αστοχία στην άκρη του οδοστρώματος.....	126
Εικόνα 6.18 Εκδορές οδοστρώματος.....	128
Εικόνα 6.19 Εκδορές οδοστρώματος.....	128
Εικόνα 6.20 Παρουσία συνθετικών ασφαλτομίγματος.....	129
Εικόνα 6.21 Αποκολλήσεις στην Π.Ε.Ο. ....	130
Εικόνα 6.22 Χαρακτηριστικό βάθος αποκολλήσεων.....	130
Εικόνα 6.23 Διαμήκεις ρωγμές .....	131
Εικόνα 6.24 Πλάτος διαμηκών ρωγμών.....	131
Εικόνα 6.25 Ρωγμές άκρου οδοστρώματος.....	132
Εικόνα 6.26 Ρωγμές άκρου οδοστρώματος.....	132

Εικόνα 6.27 Εκδορές οδοστρώματος.....	134
Εικόνα 6.28 Λακκούβες οδοστρώματος .....	135
Εικόνα 6.29 Αποκολλήσεις ανώτερης στρώσης οδοστρωσίας.....	136
Εικόνα 6.30 Επιφάνεια επισκευής φθορών.....	137
Εικόνα 6.31 Ρηγματώσεις λόγω υδάτων .....	137
Εικόνα 6.32 Ρηγματώσεις λόγω υδάτων .....	138
Εικόνα 6.33 Ρηγματώσεις κατά μήκος της πορείας οχήματος.....	139
Εικόνα 6.34 Διαμήκεις ρωγμές .....	139
Εικόνα 6.35 Τρισδιάστατο μοντέλο Geomagic .....	142
Εικόνα 6.36 Υφιστάμενη κατάσταση .....	142
Εικόνα 6.37 Κοντινή παρατήρηση μοντέλου .....	143
Εικόνα 6.38 Παρουσία συνθετικών ασφάλτου .....	143
Εικόνα 6.39 Ελεύθερη παρουσία ασφαλτικών υλικών στο 3D μοντέλο.....	144
Εικόνα 6.40 Τροχαυλακώσεις στο 3D μοντέλο.....	145
Εικόνα 6.41 Διατομή οδοστρώματος.....	146
Εικόνα 6.42 Μέτρηση μέγιστου βάθους τροχαυλάκωσης .....	147
Εικόνα 6.43 Αστοχίες οδοστρώματος.....	148
Εικόνα 6.44 Υφιστάμενη κατάσταση οδοστρώματος.....	148
Εικόνα 6.45 Μετρήσεις διαμέτρου λακκουβών .....	149
Εικόνα 6.46 Μετρήσεις βάθους λακκουβών .....	149
Εικόνα 6.47 Ρηγματώσεις μοντέλου .....	150
Εικόνα 6.48 Αναμενόμενα σημεία ρηγματώσεων.....	151
Εικόνα 6.49 Ρηγματώσεις κατά μήκος της πορείας οχήματος.....	151
Εικόνα 6.50 Υφιστάμενη κατάσταση δρόμου.....	152

Εικόνα 6.51 Κοντινή εικόνα πρώτου κύκλου ρηγματώσεων λόγω τροχού οχήματος .....	153
Εικόνα 6.52 Διαμήκεις ρηγματώσεις βόρειου τμήματος .....	153
Εικόνα 6.53 Ρωγμές στην άκρη του οδοστρώματος.....	154
Εικόνα 6.54 Εκδορές οδοστρώματος.....	155
Εικόνα 6.55 Μικρό ποσοστό εμφάνισης εκδορών (μικρότερο του 20%) .....	156
Εικόνα 6.56 Βάθος μετρούμενης βύθισης.....	157
Εικόνα 6.57 Χαρακτηριστικό σημείο βύθισης οδοστρώματος.....	157
Εικόνα 6.58 Φθορές και καθιζήσεις οδοστρώματος .....	158
Εικόνα 6.59 Φθορές και καθιζήσεις οδοστρώματος .....	158
Εικόνα 6.60 Επιφάνεια επισκευής .....	159
Εικόνα 6.61 Υπολογισμός εμβαδού επιφάνειας επισκευής φθορών .....	159
Εικόνα 6.62 Μη ικανοποιητική καταγραφή ρηγματώσεων υδάτων.....	160
Εικόνα 6.63 Διαμήκεις ρηγματώσεις στο μοντέλο .....	161
Εικόνα 6.64 Μέτρηση πλάτους ρηγματώσεως .....	162
Εικόνα 6.65 Σύγκριση μοντέλου - υφιστάμενης κατάστασης ως προς την υφή.....	163
Εικόνα 6.66 Σύγκριση μοντέλου - υφιστάμενης κατάστασης ως προς την παρουσία συνθετικών.....	163
Εικόνα 6.67 Τομή στο μέγιστο βάθος της βύθισης .....	164
Εικόνα 6.68 Ακρίβεια μέτρησης βάθους βυθίσεως.....	164
Εικόνα 6.69 Σύγκριση μοντέλου - υφιστάμενης κατάστασης ως προς το άκρο του οδοστρώματος .....	166
Εικόνα 6.70 Συγκριτική εικόνα αποτελεσμάτων Πεδίου – Μοντέλου Πολυτεχνειούπολης.....	167
Εικόνα 6.71 Συγκριτική εικόνα αποτελεσμάτων Πεδίου – Μοντέλου αστικού κόμβου.....	168
Εικόνα 6.72 Συγκριτική εικόνα αποτελεσμάτων Πεδίου – Μοντέλου Π.Ε.Ο. Αθηνών – Χαλκίδος .....	168
Εικόνα 6.73 Συντεταγμένες σημείων αποτύπωσης.....	171



Εικόνα 6.74 Εισαγωγή συντεταγμένων σε αρχείο καννάβου.....	172
Εικόνα 6.75 Αποτέλεσμα ισοϋψών λογισμικού Surfer.....	173
Εικόνα 6.76 Νέος χάρτης ισοψών με ισοδιάστατη 0,05m .....	174
Εικόνα 6.77 Τρισδιάστατο μοντέλο Surfer .....	175
Εικόνα 6.78 Wireframe επιφάνεια λογισμικού Surfer .....	175
Εικόνα 6.79 Κοντινή επισκόπηση γραφήματος πλέγματος Surfer .....	176
Εικόνα 6.80 Πλέγμα τριγώνων με εμφανή τα σημεία θορύβου .....	177
Εικόνα 6.81 Επιλογή και διαγραφή λανθασμένων τριγώνων .....	177
Εικόνα 6.82 Παράμετροι διαμόρφωσης ισοϋψών καμπυλών .....	178
Εικόνα 6.83 Αποτέλεσμα διαδικασίας στο λογισμικό Cyclone .....	178
Εικόνα 6.84 Εναλλακτικές διαδρομές υδάτων .....	179
Εικόνα 6.85 Οπτικά αποτελέσματα αξιολόγησης.....	182

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2-1 Πίνακας αξιολόγησης εύκαμπτων οδοστρωμάτων (Πηγή: Zairen, 2005) .....	22
Πίνακας 2-2 Σύνοψη φθορών κατά την αναφορά 1-37 <sup>A</sup> (Πηγή: Zairen, 2005) .....	23
Πίνακας 2-3 Επιλεγμένες αρχές και μέθοδοι σχεδιασμού για την υδρολίσηση, (Πηγή: Chesterton, 2006) .....	36
Πίνακας 3-1 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων (Πηγή: Jaakkola et al, 2008) .....	52
Πίνακας 3-2 Πίνακας αποτελεσμάτων μετρήσεων μελέτης (Πηγή: Kretschmer et al. ) .....	55
Πίνακας 3-3 Πλεονεκτήματα Laser Scanner - Φωτογραμμετρίας (Πηγή: Συμειωνίδης, 2006) .....	66
Πίνακας 4-1 Στοιχεία εργασιών πεδίου .....	84
Πίνακας 5-1 Συνοπτικά στοιχεία και αποτελέσματα μοντελοποίησης .....	113
Πίνακας 6-1 Παράδειγμα υπολογισμού συντελεστή βαρύτητας σοβαρότητας .....	115
Πίνακας 6-2 Τελικός πίνακας αξιολόγησης .....	127
Πίνακας 6-3 Κριτήρια αξιολόγησης σοβαρότητας φαινομένου. (Πηγή: PCEM, 2001) .....	130
Πίνακας 6-4 Τελικός πίνακας αξιολόγησης .....	134
Πίνακας 6-5 Κριτήρια αξιολόγησης σοβαρότητας φαινομένου. (Πηγή: PCEM, 2001) .....	136
Πίνακας 6-6 Τελικός πίνακας αξιολόγησης .....	140
Πίνακας 6-7 Αποτελέσματα μετρήσεων κλίσεων από χάρτη ισοψών .....	180
Πίνακας 6-8 Αποτελέσματα υπολογισμών .....	181

# 1.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1.ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Το οδόστρωμα είναι ένα από τα σημαντικότερα πάγια περιουσιακά στοιχεία για τους φορείς διαχείρισης του εθνικού δικτύου μιας χώρας. Η συντήρηση του αποτελεί το 50% του συνολικού κόστους συντήρησης της οδού. Η λειτουργικότητα του οδοστρώματος εκφράζει την ικανότητα του οδοστρώματος να εξυπηρετεί με ασφάλεια, άνεση και οικονομία το χρήστη, συνεπώς τον αφορά άμεσα η κατάσταση στην οποία βρίσκεται (Λοΐζος, 2011).

Το οδόστρωμα με την πάροδο του χρόνου και την επίδραση της κυκλοφορίας και των κλιματολογικών συνθηκών χάνει την αρχική του δομική αντοχή στο πλαίσιο του κύκλου ζωής του. Η διατήρηση του σε κατάσταση παρόμοια με αυτή που είχε κατά το χρόνο της κατασκευής του είναι πρακτικά αδύνατη. Έτσι, μετά από ορισμένο χρονικό διάστημα αρχίζουν να εμφανίζονται μεταβολές στην επιφανειακή υφή, στην ομαλότητα και στην αντιολισθηρότητα της οδού. Οι πρώτες επιφανειακές φθορές κάνουν την εμφάνισή τους, γεγονός το οποίο υποδεικνύει πως το οδόστρωμα έχει καταπονηθεί σημαντικά. Η εμφάνιση των διαφόρων φθορών και παραμορφώσεων πιθανότατα να οφείλεται σε αστοχία του ασφαλτομίγματος ή της στρώσης έδρασης. Όλα τα παραπάνω είναι απαραίτητο να εντοπίζονται και να καταγράφονται άμεσα από εξειδικευμένο προσωπικό, έτσι ώστε εν συνεχεία, να διατυπωθούν τα κατάλληλα προγράμματα συντήρησης και προτεραιότητας που θα συμβάλλουν στην

καταπολέμηση της πηγής του προβλήματος, και στην αύξηση του χρόνου ζωής της οδού.

Η γενική μέθοδος αξιολόγησης που χρησιμοποιείται εδώ και πάρα πολλά χρόνια, είναι η περιοδική επισκόπηση των οδοστρωμάτων σε μια περιοχή και κατάταξη των συνθηκών τους, έτσι ώστε να μπορούν με κάποια λογική να καταστρωθούν τα κατάλληλα προγράμματα συντήρησης. Πραγματοποιούνται ανά τακτά χρονικά διαστήματα επιθεωρήσεις από εξειδικευμένο προσωπικό, με σκοπό την αξιολόγηση της λειτουργικής και δομικής κατάστασης του. Υπό ιδανικές συνθήκες, για οποιοδήποτε τμήμα μιας οδού, δύο ή περισσότεροι αξιολογητές θα καταλήξουν σε όμοια συμπεράσματα. Ωστόσο, εξακολουθούν και υπάρχουν πολλές πτυχές κατά την αξιολόγηση οι οποίες είναι αρκετά υποκειμενικές, θέτοντας ως παράδειγμα την σωστή επιλογή του ποσοστού της επιφάνειας του οδοστρώματος που εμφανίζει ρωγμές αλιγοτορικής μορφής. Η επιλογή για τον κάθε αξιολογητή επηρεάζεται σε σημαντικό βαθμό από την οξύτητα όρασης του καθενός.

Για την αποτύπωση ενός αντικειμένου μελέτης και την παραγωγή ψηφιακών μοντέλων εδάφους, χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα τοπογραφικές, φωτογραμμετρικές, τηλεπισκοπικές μέθοδοι. Τα τελευταία χρόνια με την αλματώδη ανάπτυξη της τεχνολογίας αναπτύχθηκε και χρησιμοποιείται ευρέως και η μέθοδος αποτύπωσης με επίγειους laser σαρωτές. Η τεχνολογία laserscanning προάγει τη γρήγορη και πολύ ποιοτική διαδικασία συλλογής δεδομένων μεγάλων εκτάσεων, εφιστώντας παράλληλα την προσοχή στους χρήστες για την ομαλή επεξεργασία των ογκωδών πακέτων δεδομένων. Με την επεξεργασία του νέφους σε κατάλληλο λογισμικό, μπορούν να προκύψουν δισδιάστατα ή τρισδιάστατα προϊόντα όπως οριζόντιες και κατακόρυφες τομές του προς μελέτη αντικειμένου.

## 1.2.ΣΤΟΧΟΣ ΚΑΙ ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση των προϊόντων που προέρχονται από την αποτύπωση οδικών κόμβων και άλλων ανεξάρτητων οδικών τμημάτων με την χρήση της τεχνολογίας επίγειας laser σάρωσης.

Μέσα από την διαδικασία της μοντελοποίησης έγινε ανάλυση των γεωμετρικών στοιχείων σάρωσης και παραγωγή δισδιάστατων σχεδίων και τομών βάσει των οποίων προχώρησε η επισκόπηση της κατάστασης του οδοστρώματος.

Η μελέτη διεξήχθη σε τρία διαφορετικά οδικά τμήματα, το κάθε ένα με διαφορετική λειτουργική υφιστάμενη κατάσταση. Αρχικά πραγματοποιήθηκε οπτική αναγνώριση, ποσοτικοποίηση και τελική αξιολόγηση της κατάστασης του οδοστρώματος. Εν συνεχεία, με τη βοήθεια του επίγειου σαρωτή αποτυπώθηκαν και επαναξιολογήθηκαν τα συγκεκριμένα οδικά τμήματα μέσα από τα παραχθέντα τρισδιάστατα μοντέλα. Όλα τα παραπάνω δεδομένα συλλογής αποτέλεσαν ένα ολοκληρωμένο προϊόν για την ανάπτυξη της μεθοδολογίας που απαιτείται προς την συμπλήρωση μιας ενιαίας βάσης δεδομένων που θα μπορέσει εν τέλει, να διατηρήσει τον αντικειμενικό χαρακτήρα των αποτελεσμάτων διαχρονικά.

Οι επιμέρους στόχοι της παρούσας εργασίας συνοπτικά είναι:

- ✓ Διερεύνηση μεθόδου σάρωσης και μοντελοποίησης οδικών τμημάτων, τα οποία παρουσιάζουν φθορές και παραμορφώσεις σε διαφορετικό βαθμό
- ✓ Εξαγωγή μετρητικής πληροφορίας, δισδιάστατων και τρισδιάστατων προϊόντων σάρωσης
- ✓ Οπτική επιθεώρηση και μέτρηση των χαρακτηριστικών του οδοστρώματος
- ✓ Αξιολόγηση της λειτουργικής και δομικής κατάστασης του οδοστρώματος βάσει των τρισδιάστατων μοντέλων επιφάνειας και των οπτικών παρατηρήσεων
- ✓ Σύγκριση των επιμέρους αξιολογήσεων
- ✓ Μελέτη υδρολίσθησης σε οδικό τμήμα υψηλών ταχυτήτων
- ✓ Εξαγωγή συμπερασμάτων και διατύπωση προτάσεων για περαιτέρω έρευνα

### 1.3.ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία δομείται στα παρακάτω κεφάλαια:

Το κεφάλαιο 1 αποτελεί μια εισαγωγή στα θέματα που αφορούν στο αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, και τους επιμέρους στόχους της.

Στο κεφάλαιο 2 γίνεται αναφορά στις διάφορες μεθοδολογίες αποτύπωσης και στο φαινόμενο της υδρολίσθησης. Επιπροσθέτως, παρουσιάζονται αναλυτικά όλα τα είδη φθορών και παραμορφώσεων που εμφανίζει ένα οδόστρωμα με την πάροδο του χρόνου, καθώς επίσης και όλες οι μεθοδολογίες αξιολόγησης των «εν χρήσει» οδοστρωμάτων.

Το κεφάλαιο 3 αναφέρεται στην διαδικασία που ακολουθήθηκε για την επιλογή των προς μελέτη οδικών τμημάτων, την αναγνώριση της περιοχής, και την τελική συλλογή των δεδομένων σάρωσης.

Το κεφάλαιο 4 περιγράφει αναλυτικά την διαδικασία συνένωσης των νεφών σημείων, την μοντελοποίηση και την εξαγωγή μετρητικής πληροφορίας από τα παραγόμενα προϊόντα. Επιπροσθέτως, παρουσιάζει αναλυτικά τη μεθοδολογία αξιολόγησης των παρατηρούμενων φθορών του οδοστρώματος και εμβαθύνει στο πρόβλημα της υδρολίσθησης.

Τέλος, στο κεφάλαιο 5 αναλύονται όλα τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την τη διαδικασία αξιολόγησης. Παραθέτονται επίσης προτάσεις για μελλοντικές εφαρμογές.

# 2.

## ΑΡΧΕΣ

## ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

Σε αυτό το κεφάλαιο, γίνεται αναφορά στις διάφορες μορφές φθορών και παραμορφώσεων που μπορεί κάποιος να συναντήσει στην επιφάνεια ενός οδοστρώματος, καθώς επίσης και στο φαινόμενο της υδρολίσθησης. Γίνεται εκτενής αναφορά στις διάφορες μεθόδους επισκόπησης και αξιολόγησης της υφιστάμενης κατάστασης μιας οδού, που χρησιμοποιούνται ευρέως τα τελευταία χρόνια.

### 2.1. Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΣΤΡΩΣΗΣ ΕΝΟΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

Ο προορισμός της επιφανειακής στρώσης είναι να παρέχει μια λεία και ασφαλή επιφάνεια κυκλοφορίας. Η επιφάνεια πρέπει να είναι αντλιοσθητική, να παρουσιάζει αντοχή σε ρηγμάτωση λόγω φορτίου ή άλλης αιτίας και να ανθίστανται στις μόνιμες παραμορφώσεις. Η επιφανειακή στρώση πρέπει να ικανοποιεί πολλές λειτουργικές και κατασκευαστικές απαιτήσεις.

Όπως αναφέρουν οι Yodek και Witzak (1975), επειδή υπάρχει μεγάλος αριθμός ασφαλικών υλικών διαθέσιμων για κατασκευές και ευελιξία στις τεχνικές κατασκευών,

μπορούν να κατασκευαστούν πολλοί τύποι ασφαλικών επιφανειών. Ο τύπος της επιφάνειας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το φορτίο, που θα εξασκηθεί στο οδόστρωμα, καθώς και από τα οικονομικά δεδομένα και τα διαθέσιμα υλικά κατασκευής.

Η επιφανειακή στρώση είναι η στρώση ή οι στρώσεις των υλικών πάνω από την συμπυκνωμένη βάση. Τα κύρια στοιχεία της ασφαλικής στρώσης είναι η επιφανειακή στρώση και η συνδετική στρώση. Η ανώτερη επιφάνεια είναι η επιφανειακή στρώση, που είναι συνήθως κάπως λεπτότερη από την κατώτερη συνδετική στρώση. Γενικά, η στρώση αυτή περιέχει μικρότερα αδρανή και λίγο περισσότερη άσφαλτο από την συνδετική στρώση.

Η συνδετική στρώση είναι μια μεταβατική στρώση ανάμεσα στη βάση και την επιφανειακή στρώση. Μια συνδετική επίστρωση εφαρμόζεται ανάμεσα στην επιφανειακή στρώση και στην συνδετική στρώση. Μια πρώτη επίστρωση χρησιμοποιείται ανάμεσα στη συνδετήρια στρώση και τη βάση, και μια σφραγιστική επίστρωση εφαρμόζεται επάνω στην επιφανειακή στρώση (Yodek, Witczak, 1975).

Αν και ένα ιδανικό οδόστρωμα αποτελείται από συνδετική και επιφανειακή στρώση εντούτοις, πολλά εύκαμπτα οδοστρώματα κατασκευάζονται με μία μόνο στρώση.

## 2.2.ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

Με βάση τα στοιχεία μελέτης των Yodek και Witczak (1975), η υπερβολική μετακίνηση εύκαμπτων οδοστρωμάτων, που τελικά δημιουργεί ανώμαλη επιφάνεια κυκλοφορίας οχημάτων, οφείλεται σε κακής ποιότητας υπέδαφος, υπόβαση βάση ή επιφανειακή στρώση. Ένα ποιοτικό μέτρο της επίδρασης της μετακίνησης προσδιορίζεται μόνο ύστερα από προσεκτική διερεύνηση που μπορεί να γίνει με την διάνοιξη χαντακιών και οπτική εξέταση της διατομής του οδοστρώματος. Ακόμη μπορούν να γίνουν μετρήσεις διαφόρων στρώσεων μέσα και έξω από τις λωρίδες κυκλοφορίας. Η δοκιμή στις



διάφορες στρώσεις του οδοστρώματος βοηθάει στον εντοπισμό της πιθανής αιτίας της καταπόνησης.

Κάθε καταπόνηση πρέπει να αξιολογείται για να καθοριστεί αν είναι προοδευτική ή αδρανής. Στις ατέλειες που προκαλούνται από κατάκλιση ή εφίδρωση του ασφαλτικού μπετόν πρέπει να δοθεί μεγάλη προσοχή ιδιαίτερα από την άποψη αντίστασης σε ολίσθηση.

---

### 2.2.1. ΕΙΔΗ ΦΘΟΡΑΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

Υπάρχουν δύο είδη φθοράς. Το πρώτο, η δομική φθορά, είναι η κατάρρευση της δομής του οδοστρώματος ή η βλάβη μιας ή περισσότερων στρώσεων του οδοστρώματος σε τέτοιο βαθμό, ώστε το οδόστρωμα να μην είναι σε θέση να παραλάβει τα φορτία που εξασκούνται στην επιφάνεια του. Το δεύτερο είδος, η λειτουργική φθορά, μπορεί να συνοδεύεται ή όχι από δομική φθορά, αλλά είναι τέτοια, ώστε το οδόστρωμα να μην μπορεί να λειτουργήσει χωρίς να ταλαιπωρεί τους μετακινούμενους ή χωρίς να προκαλεί ισχυρές καταπονήσεις στο όχημα που το διατρέχει, λόγω της ανώμαλης επιφάνειάς του.

Βέβαια ο βαθμός καταπόνησης διαβαθμίζεται και για τις δύο κατηγορίες και η σοβαρότητα της φθοράς ενός οδοστρώματος εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την υποκειμενική γνώμη του προσώπου που την κρίνει. Πάντως, η διαφορά μεταξύ των δύο τύπων καταπόνησης είναι σημαντική και ο μηχανικός πρέπει να είναι σε θέση να την διακρίνει. Σαν παράδειγμα αναφέρεται η περίπτωση ενός δύσκαμπτου οδοστρώματος με ασφαλτική επίστρωση. Η επιφάνεια ενδέχεται να παρουσιάσει ανωμαλίες σαν αποτέλεσμα φθοράς της ασφαλτικής επιφανειακής στρώσης (λειτουργική βλάβη) χωρίς δομική βλάβη της όλης κατασκευής. Αντίθετα, το ίδιο οδόστρωμα είναι δυνατόν να παρουσιάσει ρήγματα και φθορές σαν αποτέλεσμα υπερφόρτισης (δομική βλάβη). Τα μέτρα συντήρησης για την πρώτη περίπτωση μπορούν να περιοριστούν σε ανανέωση της επιφανειακής στρώσης για την εξασφάλιση λείας επιφάνειας. Η δομική φθορά, όμως, ίσως να χρειάζεται πλήρη ανακατασκευή (Yodek, Witczak, 1975).

Υπάρχουν τρεις αιτίες που προκαλούν συνθήκες καταπόνησης. Πρώτον, υπερφόρτιση με μεγάλα μικτά φορτία, υψηλός βαθμός επανάληψης των φορτίων και υψηλές πιέσεις ελαστικών ενδέχεται να προκαλέσουν είτε δομική είτε λειτουργική βλάβη. Δεύτερον, κλιματικές καθώς και περιβαλλοντικές συνθήκες είναι δυνατόν να προκαλέσουν επιφανειακές ανωμαλίες και στατικές ανεπάρκειες. Π.χ. η διόγκωση λόγω παγετού, η μεταβολή όγκου του εδάφους λόγω ύγρανσης ή ξήρανσης, η χαλάρωση λόγω πήξης και τήξης ή η ανεπαρκής αποστράγγιση μπορεί να είναι η κύρια αιτία καταπόνησης του οδοστρώματος. Πολλές από τις κλιματικές μεταβλητές μπορούν να εκτιμηθούν, αλλά πρόγνωση των κλιματικών συνθηκών είναι αβέβαιη.

Μια τρίτη αιτία μπορεί να είναι η αποσάθρωση των υλικών οδοστρωσίας λόγω πήξης και τήξης ή ύγρανσης και ξήρανσης. Η απολέπιση των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων π.χ. ενδέχεται να οφείλεται σε μη ανθεκτικά αδρανή υλικά και να προκληθεί ή να επιδεινωθεί από την χρησιμοποίηση αλάτων στις οδούς για την εξουδετέρωση του πάγου. Τα υλικά της βασικής στρώσης φθείρονται, δημιουργώντας λεπτόκοκκα υλικά που ευνοούν τη δημιουργία ασταθών προσμίξεων. Την επίδραση των κλιματικών συνθηκών δέχονται επίσης και τα υπεδάφη. Οι μέθοδοι κατασκευής ενδέχεται να έχουν κάποια επίδραση. Για παράδειγμα, αν κατά την κατασκευή δημιουργηθούν στο υπέδαφος αύλακες και λακκούβες που ευνοούν τη συσσώρευση νερού και επομένως τη χαλάρωση του υπεδάφους μετά την αποπεράτωση της κατασκευής, τότε δημιουργείται φθορά του οδοστρώματος. Η χρήση ακάθαρτων αδρανών και η ανεπαρκής επίβλεψη της κατασκευής είναι προφανείς παράγοντες φθοράς του οδοστρώματος. Οι μέθοδοι σχεδιασμού πρέπει να συνοδεύονται από αυστηρή επίβλεψη και έλεγχο κατασκευής για οδοστρώματα καλής ποιότητας (Yodek, Witczak, 1975).

Πολλά είδη καταπόνησης των οδοστρωμάτων είναι συνάρτηση της συντήρησης ή, πιο σωστά, έλλειψης της συντήρησης. Η σφράγιση ρηγμάτων και αρμών σε κανονικά χρονικά διαστήματα εξασφαλίζει συμπαγή επιφανειακή στρώση, γιατί εμποδίζει τη διείσδυση νερού. Κατά τον ίδιο τρόπο, το σφράγισμα επιφανειών εύκαμπτων οδοστρωμάτων είναι εξαιρετικά ευεργετικό.

Από τα παραπάνω πρέπει να αναγνωριστεί ότι ο ανεπαρκής στατικός σχεδιασμός δεν είναι παρά ένας από τους πολλούς παράγοντες που μπορεί να προκαλέσουν καταπόνηση του οδοστρώματος. Κατά το στάδιο της μελέτης είναι δυνατόν να ληφθούν

υπόψη πολλές από τις κλιματικές συνθήκες, καθώς και οι μέθοδοι κατασκευής και συντήρησης.

Στα οδοστρώματα παρουσιάζονται διαφόρων ειδών ρηγματώσεις:

- ❖ Ρηγμάτωση μορφής αλιγάτορα
- ❖ Ρωγμές ανάκλασης
- ❖ Ρωγμές συστολής ή συρρίκνωσης
- ❖ Διαμήκειες ρωγμές
- ❖ Εγκάρσιες ρωγμές
- ❖ Ρωγμές ολίσθησης

Αλλά και παραμορφώσεις, οι οποίες διακρίνονται σε:

- ❖ Αυλακώσεις
- ❖ Ανοιξιάτικη θραύση
- ❖ Εφίδρωση
- ❖ Καθίζηση ή μετακίνηση θεμελίωσης
- ❖ Ρυτιδώσεις
- ❖ Δυσμενείς συνθήκες υδροφόρου ορίζοντα
- ❖ Αποτυχίες σε διάτμηση
- ❖ Διόγκωση παγετού

Τέλος, στην επιφάνεια οδοστρωμάτων παρουσιάζονται αρκετά συχνά μορφές αποσύνθεσης του, οι οποίες πιο συγκεκριμένα μπορεί να είναι:

- ❖ Απόσπαση αδρανών
- ❖ Εμφάνιση λάκκων
- ❖ Λειάνσεις οδοστρώματος
- ❖ Αποκόλληση κατά πλάκες
- ❖ Ανάδυση ασφάλτου

Όλα τα παραπάνω, περιγράφονται αναλυτικά στο παράρτημα Β της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Επισημαίνονται χαρακτηριστικά γνωρίσματα τους, αλλά και οι αιτίες εμφάνισής τους.

### 2.2.2. ΦΘΟΡΕΣ ΚΑΙ ΔΟΜΙΚΕΣ ΑΠΟΤΥΧΙΕΣ ΕΥΚΑΜΠΤΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

Δομικές αποτυχίες σε εύκαμπτα οδοστρώματα οφείλονται σε κόπωση της επιφάνειας, στερεοποίηση ή διάτμηση που αναπτύσσονται στο υπέδαφος, την υπόβαση, τη βάση ή την επιφανειακή στρώση. Το πλάτος μιας αυλάκωσης δείχνει γενικά το βάθος της αποτυχημένης στρώσης. Οι αποτυχίες του υπεδάφους σε διάτμηση εκδηλώνεται με επιφανειακές διογκώσεις σε κάποια απόσταση από την αυλάκωση, ενώ οι αποτυχίες της επιφανειακής στρώσης σε διάτμηση καταλήγουν σε διόγκωση σε μικρή σχετικά απόσταση από το ίχνος του τροχού.

Η μετατόπιση της επιφανειακής στρώσης προκαλείται συνήθως από στερεοποίηση και επομένως καθίζηση μιας ή περισσότερων στρώσεων του οδοστρώματος, χωρίς να συνοδεύεται από διόγκωση. Η πλευρική ώθηση προκαλεί επίσης επιφανειακές ανωμαλίες. Καταπόνηση προξενείται από υπερβολική ή ανεπαρκή ποσότητα ασφάλτου, ενώ η αποτυχία της επιφανειακής στρώσης οφείλεται ίσως σε παγετό ή τήξη (Yodek, Witzak, 1975).

Οι διερευνήσεις γίνονται με επιλεκτική διάνοιξη τομών και οπτική επισκόπηση ή μετρήσεις για να προσδιοριστούν οι στρώσεις που μετατοπίστηκαν κατακόρυφα ή οριζόντια. Δοκιμές σε κάθε στρώση του οδοστρώματος δίνουν πολύτιμες πληροφορίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά την ανάλυση.

## 2.3. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

Η αξιολόγηση οδοστρώματος είναι ένα σύνολο εργασιών που αποσκοπεί στον καθορισμό των λειτουργικών και δομικών συνθηκών ενός τμήματος οδού, και πραγματοποιείται είτε στα πλαίσια συστηματικών προγραμματισμένων διενεργειών ελέγχου, είτε με αφορμή τον προγραμματισμό διαδικασιών εφαρμογής διορθωτικών έργων. Η λειτουργική κατάσταση περιλαμβάνει παραμέτρους όπως την ποιότητα κύλισης ενός οχήματος και την υφή της επιφάνειας του προς μελέτης τμήματος οδού. Η

δομική κατάσταση περιλαμβάνει την παραμέτρους όπως παραμορφώσεις, πάχη οδοστρωσίας και ιδιότητες των υλικών που τις αποτελούν.

Σε επίπεδο δικτύου, οι τακτικές αξιολογήσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη διαφόρων μοντέλων απόδοσης που δίνουν προτεραιότητα στην διατήρηση ή αποκατάσταση των ικανοποιητικών λειτουργικών στοιχείων ενός οδικού δικτύου μέσω ορθής χρηματοδότησης. Με την αξιολόγηση οι αρμόδιοι φορείς μπορούν να εντοπίσουν κινδύνους και τις αιτίες που τους προκαλούν, προωθώντας με αυτόν τον τρόπο σωστές στρατηγικές πρόληψης και αποκατάστασης. Η διαχείριση σε επίπεδο έργου έχει ως σκοπό την εφαρμογή τεχνικών συντήρησης, που πρέπει να εφαρμοστούν σε συγκεκριμένα προγράμματα συντήρησης των οδοστρωμάτων για συγκεκριμένα τμήματα μιας οδού. Λεπτομερείς οδηγίες δίνουν πληροφορίες για εναλλακτικές τεχνικές, που αφορούν στη συντήρηση, αποκατάσταση ή μελέτη νέων οδοστρωμάτων, βάσει των στρατηγικών, που αποφασίστηκαν σε επίπεδο δικτύου. Εφαρμόζονται κοστολογικές αναλύσεις, προτείνονται εναλλακτικές λύσεις συντήρησης και εξετάζονται οι αιτίες εμφάνισης φθορών του οδοστρώματος χρησιμοποιώντας μεθοδολογίες κόστους / οφέλους (Russel et al. 2011).

---

### 2.3.1. ΜΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ

Οι μη δειγματοληπτικός έλεγχος χρησιμοποιείται για τον έλεγχο λειτουργικών και δομικών χαρακτηριστικών του οδοστρώματος. Στα λειτουργικά χαρακτηριστικά περιλαμβάνεται η τραχύτητα και η ολισθηρότητα ενός δρόμου.

#### *Τραχύτητα*

Τραχύτητα είναι η απουσία ή η έλλειψη ομαλότητας στο διαμήκες ή εγκάρσιο προφίλ της επιφάνειας ενός δρόμου, γεγονός το οποίο προκαλεί κακής ποιότητας κύλιση. Η τραχύτητα μπορεί να παραχθεί από την καταπόνηση των επιφανειακών ή κατώτερων στρωμάτων της οδού, από κακή ποιότητα κατασκευής, ή και από κακή συμπίκνωση των κατώτερων κατασκευαστικών στρωμάτων της οδού. Η σωστή και έγκαιρη διάγνωση των αιτιών που προκαλούν την εμφάνιση της τραχύτητας στο οδόστρωμα, μπορεί να αποτρέψει εύκολα την περαιτέρω εξάπλωση του φαινομένου, και άρα την αύξηση του χρόνου ζωής του.

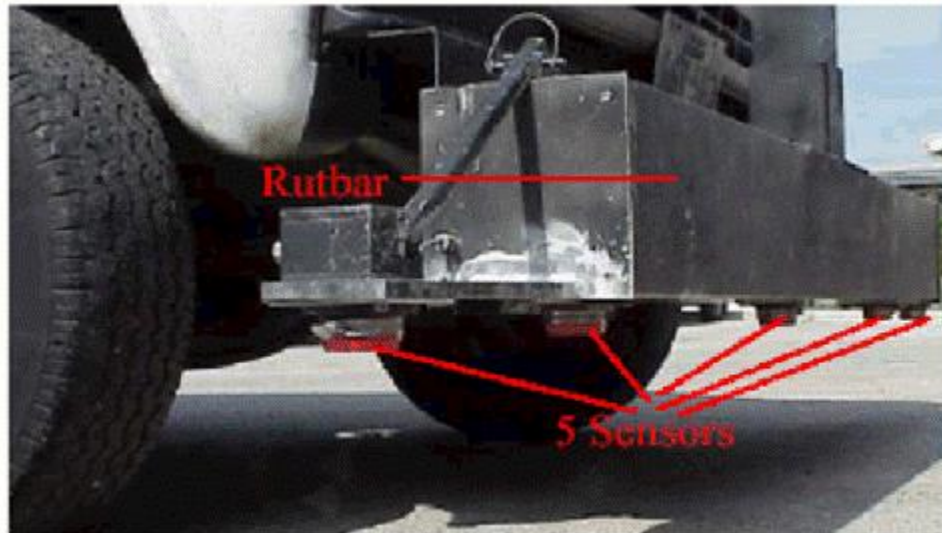
Τα οδοστρώματα πρέπει να «αρχίζουν» τη ζωή τους με τη μικρότερη δυνατή τραχύτητα που επιτρέπουν τα κατασκευαστικά στοιχεία. Μεγάλα φορτία κυκλοφορίας μπορούν να επιδεινώσουν το φαινόμενο αυτό σε ασθενείς περιοχές. Καθώς αυξάνεται η τραχύτητα, αυξάνει και το κόστος επισκευής των προβλημάτων που παρουσιάζονται και χρήζουν σημασίας για την ασφάλεια όλων των χρηστών της οδού.

Για την καταγραφή επικίνδυνων φαινομένων στην εγκάρσια και διαμήκη επιφάνεια του δρόμου χρησιμοποιούνται ειδικά διαμορφωμένα οχήματα με ηλεκτρονικά μέσα. Στη οριζόντια κατεύθυνση η συσκευή καταγραφής χρησιμοποιεί τον συνδυασμό δύο ακτινών λέιζερ, δύο επιταχυνσιόμετρα και ένα ειδικά διαμορφωμένο σήμα για την μέτρηση των απαραίτητων αποστάσεων του αδρανειακού προφίλ για την κάθε διαδρομή του τροχού. Στην κάθετη κατεύθυνση, γίνεται αξιολόγηση μέσω του βάθους των ρωγμών (Lenz, 2011).

Αντιπροσωπευτικά συστήματα αυτής της κατηγορίας είναι το High-Speed Road Monitor (Μ. Βρετανία), το ARRB Profilometer (Αυστραλία), ARAN (ΗΠΑ, Ολλανδία, Ιταλία Ελβετία κ.α.) Laser Profilometer (Δανία), Road Surface Monitoring System (Φινλανδία), Dynatest (Δανία) κ.α. συνεπικουρούμενα από κατάλληλα συστήματα βαθμονόμησης (Ευαγγελίδης, 2004).



Εικόνα 2.1 Όχημα Profiler (Πηγή: Lenz, 2011)



Εικόνα 2.2 Λεπτομέρεια οχήματος Profiler (Πηγή: Lenz, 2011)

Ο Russel Lenz (2011) επίσης αναφέρει, πως εκτός από την παραπάνω μεθοδολογία, υπάρχουν και συστήματα με φέρον τροχό μέτρησης προσανατολισμένο σε ειδικό ρυμουλκό. Ως μετρήσεις λαμβάνονται οι κατακόρυφες μετακινήσεις του τροχού λαμβάνοντας ως οριζόντιο επίπεδο αναφοράς το σκελετό του ρυμουλκού ή εναλλακτικά οι κάθετες επιταχύνσεις του άξονα του τροχού με τη βοήθεια επιταχυνσιομέτρων. Οι ταχύτητες μέτρησης της ομαλότητας ανάλογα με τον τύπο του συστήματος κυμαίνονται από 30χλμ/ώρα – 60χλμ/ώρα. Αντιπροσωπευτικά συστήματα αυτής της κατηγορίας είναι το Bump Integrator (Ευρωπαϊκές Χωρες), Bayerischer Unebenheitsmesser (Γερμανία).



Εικόνα 2.3 Bump Integrator Πηγή (Ευαγγελίδης, 2004)

### Ολισθηρότητα

Η ολισθηρότητα αποτελεί συνάρτηση της μικρο- και μακρο-υφής της επιφάνειας του οδοστρώματος. Η μικροϋφή αφορά στην τραχύτητα της επιφάνειας των αδρανών, ενώ η μακροϋφή στην τραχύτητα (ανάγλυφο) της επιφάνειας του οδοστρώματος ως σύνολο. Η κατάλληλη μικροϋφή του οδοστρώματος συντελεί στην καταστροφή του υμένα ύδατος, που σχηματίζεται σε βρεγμένο οδόστρωμα μεταξύ του ελαστικού και της επιφάνειας του οδοστρώματος. Η κατάλληλη μακροϋφή συντελεί στην ταχεία απομάκρυνση των επιφανειακών υδάτων από το οδόστρωμα και επομένως περιορίζει τα φαινόμενα υδρολίσθησης των οχημάτων, με αποτέλεσμα την ασφάλεια των χρηστών της οδού.

Η μικροϋφή (βάθος υφής) μετράται με δύο διαφορετικούς τρόπους, τη μέθοδο της κηλίδας άμμου και με ειδικά συστήματα λέιζερ. Η μέθοδος της κηλίδας της άμμου είναι απλή μέθοδος, κατά την οποία συγκεκριμένη ποσότητα άμμου απλώνεται με κυκλικές κινήσεις στην επιφάνεια του οδοστρώματος, ώστε να σχηματιστεί μια κυκλική κηλίδα άμμου. Το βάθος υφής υπολογίζεται ως ο λόγος του όγκου της άμμου που διαστρώθηκε προς το εμβαδό της κυκλικής κηλίδας. (Ευαγγελίδης, 2004)

Τιμές στον ανάλογο δείκτη δίνονται μέσω των μετρήσεων που λαμβάνονται από locked-wheel skid trailer το οποίο ρυμουλκείται από ένα κατάλληλα διαμορφωμένο όχημα. Το δεύτερο όχημα διαθέτει ένα ειδικό σπρέι νερού, το οποίο είναι τοποθετημένο στον μπροστινό αριστερό τροχό του. Οι απαραίτητοι έλεγχοι πραγματοποιούνται σε ταχύτητες 22m/s, ψεκάζοντας προκαθορισμένη ποσότητα νερού ανά τακτά χρονικά διαστήματα και πραγματοποιώντας τις απαραίτητες μετρήσεις στο ρυμουλκούμενο όχημα.



Εικόνα 2.4 Λεπτομέρεια στο ρυμουλκούμενο όχημα (Πηγή: Lenz, 2011)



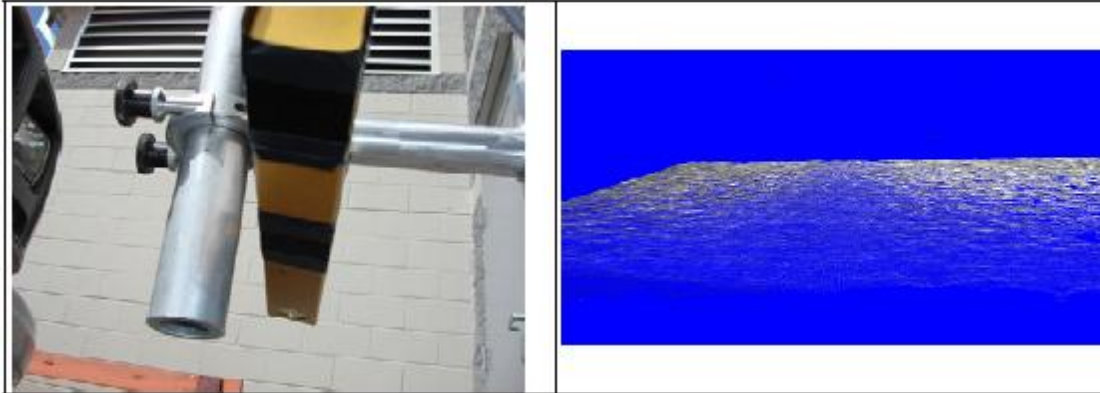


Εικόνα 2.5 Απαραίτητα οχήματα για την διενέργεια μετρήσεων ολισθηρότητας (Πηγή: Lenz, 2011)

#### *Ανάλυση υφής πεζοδρομίου με υπέρυθρη στερεοσκοπική παρατήρηση*

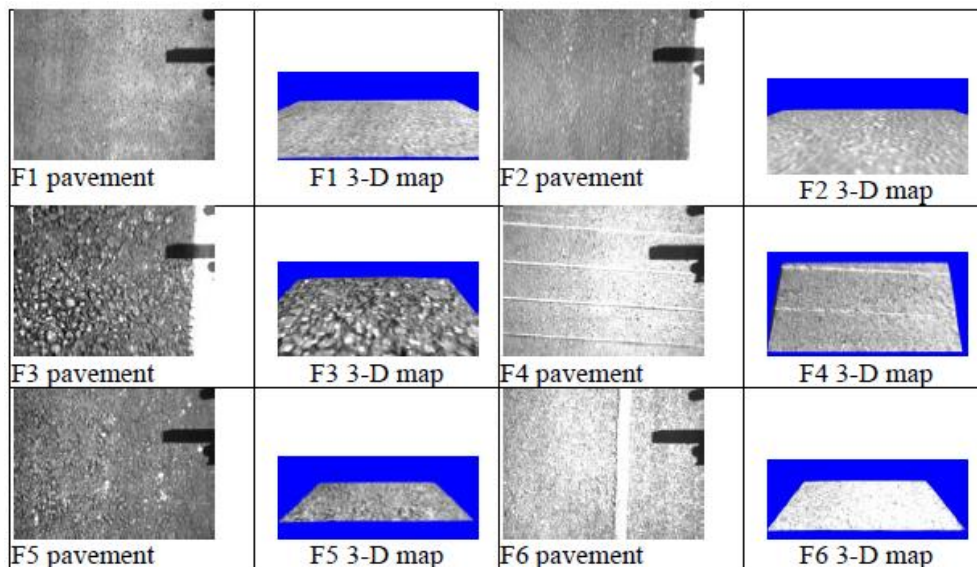
Η υφή είναι μία από τις πιο σημαντικές παραμέτρους χαρακτηρισμού ενός οδοστρώματος, διότι χάρις αυτή αλληλεπιδρούν σωστά τα ελαστικά των οχημάτων με την ανώτατη επιφανειακή στρώση. Οι μετρήσεις της υφής μπορούν να αποτελέσουν σημαντικοί δείκτες αξιολόγησης της ασφάλειας και της άνεσης που προσφέρει το προς μελέτη οδικό τμήμα.

Με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού, είναι εφικτή η στερεοσκοπική παρατήρηση εικόνων των ίδιου θέματος που έχουν ληφθεί με υπέρυθρη ακτινοβολία, από δύο κάμερες κατάλληλα προσαρμοσμένες σε κινούμενο όχημα. Τα αποτελέσματα των παρατηρήσεων δίνουν μια τρισδιάστατη χαρτογράφηση της επιφάνειας του οδοστρώματος, επιτρέποντας έτσι περαιτέρω ανάλυση της υφής, που ενδιαφέρει τον μελετητή.



Εικόνα 2.6 Φίλτρα και τρισδιάστατη χαρτογράφηση (Πηγή: Saleh, 2009)

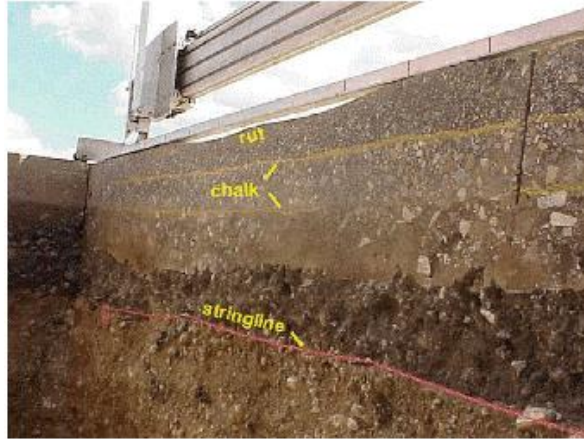
Στην εικόνα 2.7, φαίνονται οι διορθωμένες εικόνες που παρήχθησαν από την τρισδιάστατη χαρτογράφηση της επιφάνειας της οδού.



Εικόνα 2.7 Αποτελέσματα υπέρυθρων λήψεων (Πηγή: Saleh, 2009)

### 2.3.2. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ

Η λήψη πυρήνων και οι εκσκαφές αποτελούν τις κύριες μορφές δειγματοληπτικών ελέγχων που πραγματοποιούνται για τον προσδιορισμό των προβληματικών κατασκευαστικών στρωμάτων μιας οδού.



Εικόνα 2.8 Πλευρικά τοιχώματα προφίλ στρωμάτων οδοστρώματος (Πηγή: Lenz, 2011)

Κατά τη διενέργεια εκσκαφών, γίνεται συλλογή δειγμάτων, ελαχιστοποιώντας παράλληλα την πιθανότητα διαταραχών στο υλικό βάσης. Το μέγεθος του μοτίβου το οποίο αφαιρείται κάθε φορά, είναι 1x4μ και λαμβάνονται κάθε φορά τα κατάλληλα μέτρα έτσι ώστε να μην σπάσει κατά την απομάκρυνση του. Μετά το πέρας των εργασιών αφαίρεσης γίνονται οι απαραίτητες δειγματοληψίες στα κατώτερα στρώματα.



Εικόνα 2.9 Απομάκρυνση ασφαλτικού κομματιού (Πηγή: Lenz, 2011)

Κατά την εξαγωγή δειγμάτων πυρήνα, ο ειδικός εξοπλισμός τοποθετείται στην επιθυμητή θέση, και το «βαρέλι – ψύκτης νερού» τίθεται σε λειτουργία. Η κάννη αρχίζει να περιστρέφεται με περίπου 500 rpm και σταδιακά αρχίζει να κατεβαίνει στα κατώτερα πάχη ασφάλτου, έως ότου ληφθεί το απαραίτητο δείγμα για τη μελέτη

αξιολόγησης. Στη συνέχεια ο πυρήνας αφαιρείται με τη βοήθεια ειδικών ράβδων συγκόλλησης ή με τη βοήθεια βρόγχων από λεπτό σύρμα. Η διάμετρος του καθενός κυμαίνεται μεταξύ 10 – 15 εκατοστών (Lenz, 2011).



Εικόνα 2.10 Δειγματοληπτικοί πυρήνες (Πηγή: Lenz, 2011)

#### *Μελέτες οπτικής αξιολόγησης*

Οι οπτικές έρευνες κατάστασης οδοστρώματος καλύπτουν πτυχές τόσο της λειτουργικής όσο και της δομικής κατάστασης του προς μελέτη οδοστρώματος. Γενικότερα τέτοιου είδους μελέτες χρησιμεύουν ως ένα ποιοτικό εργαλείο συνολικής αξιολόγησης της κατάστασης μιας οδού. Για την ποσοτικοποίηση των λειτουργικών και δομικών χαρακτηριστικών που παρατηρούνται από τους αρμόδιους μελετητές, χρησιμοποιείται εξειδικευμένος εξοπλισμός. Υπό ιδανικές συνθήκες, για οποιοδήποτε τμήμα μιας οδού, δύο ή περισσότεροι αξιολογητές θα καταλήξουν σε όμοια συμπεράσματα. Ωστόσο, εξακολουθούν και υπάρχουν πολλές πτυχές κατά την αξιολόγηση οι οποίες είναι αρκετά υποκειμενικές, θέτοντας ως παράδειγμα την σωστή επιλογή του ποσοστού της επιφάνειας του οδοστρώματος που εμφανίζει ρωγμές αλιγομορφικής μορφής. Η επιλογή για τον κάθε αξιολογητή επηρεάζεται σε σημαντικό βαθμό από την οξύτητα όρασης του καθενός. Γι' αυτό το λόγο γίνονται συνεχώς προσπάθειες αυτοματοποίησης των διαδικασιών αξιολόγησης και συνεπώς εξάλειψης της υποκειμενικότητας των οπτικών ερευνών.

Ο σχεδιαστής / μελετητής, ενδιαφέρεται για το είδος, την έκταση και τη σοβαρότητα του ορατού κινδύνου που παρατηρεί στα διάφορα τμήματα οδοστρώματος. Σημαντικός παράγοντας διαδραματίζουν και οι καταγραφές προγενέστερων εργασιών

αποκατάστασης. Ανάλογα με το είδος των προβλημάτων που παρουσιάζονται, καταγράφεται η εμφάνιση τους ανά συγκεκριμένη απόσταση σε μήκος ή σε αριθμό (Lenz, 2011).

Για την αξιολόγηση επίπεδων τμημάτων δρόμου επιλέγεται ως μήκος αναφοράς η απόσταση των 160 μέτρων, τα οποία περαιτέρω συνοψίζονται σε αποστάσεις των 800μ. Οι έρευνες διεξάγονται πολλές φορές επί ποδός, έτσι ώστε να καταγραφούν λεπτομερών όλα τα είδη και η έκταση των αστοχιών που παρουσιάζονται στο προς μελέτη οδικό τμήμα.

Όλες οι έρευνες αξιολόγησης κατάστασης οδοστρώματος διεξάγονται από δύο ομάδες – πρόσωπα που έχουν κατάλληλα εκπαιδευτεί για την ορθή αναγνώριση επιφανειακών κινδύνων. Οι ομάδες έρευνας αποτελούνται από άτομα που έχουν εκπαιδευτεί από το Διοικητικό Προσωπικό Οδοστρώματος (Pavement Management Staff). Όλο το καταρτισμένο προσωπικό είναι σε θέση να διατυπώσει συμπεράσματα βάσει της βαθμολογίας Καλό – Θεμιτό – Ανεπαρκές (GFP) Οδόστρωμα, σε τμήματα του κρατικού εθνικού δικτύου (Oregon, 2010).

Σε κάθε ομάδα αξιολόγησης παρέχονται κατάλογοι τμημάτων προς γνωμάτευση, στα οποία συμπεριλαμβάνονται γεωγραφικές πληροφορίες και κωδικοποίηση βάσει της ταξινόμησης η οποία έχει προηγηθεί για όλες τις κρατικές εθνικές οδούς. Οι βαθμολογητές είναι σε θέση να επιβραδύνουν ή και να σταματήσουν το όχημα στο οποίο επιβαίνουν κατά την αξιολόγηση, για την ορθή αναγνώριση και ποσοτικοποίηση των προβλημάτων που παρουσιάζονται στο προς μελέτη οδικό τμήμα. Εάν οι συνθήκες διαφέρουν σημαντικά μεταξύ των λωρίδων, η αξιολόγηση θα πρέπει να βασίζεται στην κατάσταση της χειρότερης λωρίδας. Οι ομάδες πρέπει να πραγματοποιούν τις έρευνες τους σε οδούς με μηδενική παρουσία νερού στην επιφάνειά τους (Oregon, 2010).

Τα δύο άτομα που απαρτίζουν την ομάδα αξιολόγησης εκτελούν διαφορετικές εργασίες. Και οι δύο διεξάγουν έρευνες οπτικής βαθμολόγησης, όμως ένα από τα δύο άτομα είναι υπεύθυνο για την ασφαλή και ορθή λειτουργία του οχήματος στο οποίο επιβαίνουν. Το δεύτερο άτομο είναι υπεύθυνο για την παροχή γενικών πληροφοριών σχετικά με το οδόστρωμα το οποίο αξιολογούν (BMP, EMP, την ηλικία, τον τύπο επιφάνειας, κλπ.), καθώς επίσης και για την καταγραφή των παρατηρήσεων και των δύο βαθμολογητών.

Ως προς το σύστημα βαθμολογίας «Καλό – Θεμιτό – Ανεπαρκές (GFP)», παρουσιάζονται τα τελευταία χρόνια ορισμένες αλλαγές (Oregon, 2010). Αρχικά χρησιμοποιούταν η κλίμακα 1 έως 5. Σήμερα η κλίμακα αυτή έχει αντικατασταθεί από τις τιμές 0 έως 100, με ακρίβεια εκτίμησης τις 5 μονάδες, εκτός από το κομμάτι 96 με 100, όπου η βαθμολόγηση πρέπει να είναι πολύ ακριβής, δηλαδή, θα πρέπει να γίνονται εκτιμήσεις με ακρίβεια 1 μονάδας.

Το πρώτο βήμα βαθμολόγησης είναι η επιλογή της γενικότερης κλίμακας στην οποία ανήκει το οδικό τμήμα (από το «πολύ καλό» μέχρι το «πολύ κακό»), και το επόμενο βήμα είναι η εκχώρηση μιας τιμής από 0 έως 100, η οποία να αντιπροσωπεύει την συνολική κατάσταση του τμήματος σύμφωνα με το φύλλο αναφοράς του GFP οδηγού.

Εν συνεχεία, από το 2010 και μετά, η FHWA (Ομοσπονδιακή Διοίκηση Αυτοκινητοδρόμων) έχει απαιτήσει να συλλέγονται όλα τα συμπληρωματικά στοιχεία των αστοχιών της οδοστρωσίας με βάση τους οδηγούς HPMS (Σύστημα Παρακολούθησης Απόδοσης Αυτοκινητοδρόμων). Λόγω της θέσης και της σποραδικής φύσης των δειγμάτων, έχει αποφασιστεί η συλλογή στοιχείων και από περιοχές που δεν συγκαταλέγονται στις παραπάνω κατηγορίες δειγματοληψίας.

Τα πρόσθετα στοιχεία που απαιτούνται για την αξιολόγηση ενός εύκαμπτου οδοστρώματος περιλαμβάνουν:

- Ρηγματώσεις ανά ποσοστό εμβαδού
- Κατά μήκος ρηγματώσεις
- Μετρήσεις ρηγματώσεων με ακρίβεια 0,1"

Για την απλουστοποίηση των μετρήσεων σχετικά με τις εγκάρσιες ρωγμές, υπολογίζεται κάθε φορά ο αριθμός αυτών και όχι το μήκος τους.

Τα πρόσθετα στοιχεία που απαιτούνται για την αξιολόγηση ενός δύσκαμπτου οδοστρώματος περιλαμβάνουν:

- Ποσοστό ραγισμένων πλακών
- Μετρήσεις προβληματικών σημείων με ακρίβεια 0,1"

### 2.3.3. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΟΧΑΙΟ

Η διαδικασία υπολογισμού του PCR (βαθμολογία κατάστασης οδοστρώματος) στο Οχάιο, περιγράφεται αναλυτικά στο εγχειρίδιο “Pavement Condition Manual” (Saraf, 1998). Η τιμή του PCR υπολογίζεται με βάση το άθροισμα των συντελεστών μείωσης για κάθε τύπο παρατηρούμενης καταπόνησης του οδοστρώματος. Οι συντελεστές μείωσης αποτελούν συνάρτηση του τύπου αστοχίας, της σοβαρότητας και της έκτασης του φαινομένου. Ο συντελεστής μείωσης για κάθε τύπο αστοχίας υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας το βάρος του εμφανιζόμενου φαινομένου με το βάρος της κλίμακας σοβαρότητας του και το βάρος της κλίμακας έκτασης του. Το μαθηματικό μοντέλο για τον υπολογισμό του PCR είναι:

$$PCR = 100 - \sum_i^N Deduct(i)$$

$$Deduct(i) = W_d \cdot W_s \cdot W_e$$

Όπου

- N είναι ο αριθμός των παρατηρούμενων φαινομένων
- $W_d$  το βάρος του φαινομένου
- $W_s$  το βάρος της σοβαρότητας του φαινομένου
- $W_e$  το βάρος της έκτασης του φαινομένου

Οι συντελεστές ορίζονται βάσει των τεσσάρων ειδών οδοστρώματος που παρουσιάζονται και οι τύποι των φαινομένων βάσει των στοιχείων που συλλέγονται κατά την οπτική επιθεώρηση.

Έχουν διαμορφωθεί τρία επίπεδα σοβαρότητας για το κάθε φαινόμενο: χαμηλό (L), μεσαίο (M) και υψηλό (H). Τέλος, έχουν διαμορφωθεί τρία επίπεδα κλίμακα έκτασης του φαινομένου: περιστασιακό (O), συχνό (P) και εκτεταμένο (E) (Zairen, 2005).

**2.3.4. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΩΝ ΒΑΣΕΙ ΤΟΥ TRB**

Στην έκδοση 1-37<sup>A</sup> του ερευνητικού προγράμματος εθνικών οδών (NCHRB) του συμβουλίου ερευνών μεταφορών, ο εντοπισμός των αστοχιών βασίζεται στο εγχειρίδιο αναγνώρισης φθορών για το μακροπρόθεσμο σχέδιο απόδοσης οδοστρώματος. Η σοβαρότητα της φθοράς και η μετρητική πληροφορία αυτής υπολογίζεται για κάθε τύπο φθοράς που παρουσιάζεται. Ο πίνακας 2-2 συνοψίζει τις φθορές και τα κριτήρια αναγνώρισης τους (Zairen, 2005).

Φθορά	Βάρος φθοράς	Σοβαρότητα			Κλίμακα εμφάνισης		
		Μικρή	Μεσαία	Μεγάλη	Περιστασιακή	Συχνή	Εκτεταμένη
Αποκόλληση υλικών	10	Ελάχιστη παρουσία άμμου	Ανοιχτή υφή	Κομμάτια αποκόλλησης	<20%	20-50%	>50%
Λείανση επιφάνειας	5	Μη μετρήσιμη	Ελάχιστα εμφανής	Μαύρη επιφάνεια	<10%	10-30%	>30%
Επιφάνεια επισκευών	5	< 1 ft <sup>2</sup>	< 1 yd <sup>2</sup>	< 1 yd <sup>2</sup>	<10/mile	10-20/mile	>20/mile
Λακκούβες αποκόλλησης	10	Βάθος <1" Επιφάνεια < 1 yd <sup>2</sup>	<1", < 1 yd <sup>2</sup> >1" > 1 yd <sup>2</sup>	Βάθος >1" Επιφάνεια > 1 yd <sup>2</sup>	<5/mile	5-10/mile	>20/mile
Έλλειψη στεγανοποίησης ρωγμών	5	Δεν λαμβάνεται υπόψη	Δεν λαμβάνεται υπόψη	Δεν λαμβάνεται υπόψη	<20%	20-50%	>50%
Διαμήκεις Αυλακώσεις	10	> 1/4"	1/4 - 1"	>1"	<20%	20-50%	>50%
Settlements	10	Αισθητό στην οδήγηση	Μερική δυσφορία	Άσχημη οδήγηση	<2/mile	2-4/mile	>4/mile
Εγκάρσιες αυλακώσεις	5	Αισθητό στην οδήγηση	Μερική δυσφορία	Άσχημη οδήγηση	<10%	10-30%	>30%
Ρηγματώσεις λόγω ελαστικών	15	Μονές / Πολλαπλές ρηγματώσεις <1/4"	Πολλαπλές ρηγματώσεις >1/4"	Αλφατορικές > 1/4"	<20%	20-50%	>50%
Μπλοκ ρηγματώσεων	10	<1/4" πλάτος	1/4 - 1" πλάτος	>1" πλάτος	<20%	20-50%	>50%
Διαμήκης ρηγματώση	5	Μονή <1/4"	Μονές / Πολλαπλές ρηγματώσεις 1/4 - 1"	Πολλαπλές >1"	<20%	20-50%	>50%
Γωνιακή ρηγματώση	5	Μικρές < 1/4"	> 1/4" Μερικοί θρυμματισμοί	> 1/4" Πολλοί θρυμματισμοί	<20%	20-50%	>50%
Ακανόνιστες ρηγματώσεις	5	> 1/4"	1/4 - 1"	>1"	<20%	20-50%	>50%

**Πίνακας 2-1 Πίνακας αξιολόγησης εύκαμπτων οδοστρωμάτων (Πηγή: Zairen, 2005)**



**ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΜΕΣΩ  
ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΣΑΡΩΣΕΩΝ LASER**

Γενική Περιγραφή	Μορφή φθοράς	Σοβαρότητα			Ποσότητα (Μονάδα μέτρησης)
		Μικρή	Μεσαία	Μεγάλη	
Ρηγματώσεις	Κοπώσεων	Με λίγες ενωμένες ρηγματώσεις	Μερικοί θρυμματισμοί	Ρηγματώσεις και σοβαροί θρυμματισμοί	m <sup>2</sup>
	Διαμήκεις	< 1/4" πλάτος	1/4 - 3/4"	> 3/4"	m
	Προβληματικές	< 1/4" πλάτος	1/4 - 3/4"	> 3/4"	νούμερο, m
	Εγκάρσιες	< 1/4" πλάτος	1/4 - 3/4"	> 3/4"	νούμερο, m
	Επιφάνειες	< 1/4" πλάτος	1/4 - 3/4"	> 3/4"	m <sup>2</sup>
	Των άκρων	Ελάχιστες φθορές	Μερικοί θρυμματισμοί	Ρηγματώσεις και σοβαροί θρυμματισμοί	m
Παραμορφώσεις επιφάνειας	Αυλακώσεις	N/A			cm
	Παραμορφώσεις λόγω πιέσεων	N/A			νούμερο, m <sup>2</sup>
Ελαττώματα επιφανειών	Εκδορές	Μικρή απώλεια υλικών	Ανοιχτή υφή	Κομμάτια αποκόλλησης	m <sup>2</sup>
	Λειάνσεις	Χρωματικές αλλαγές	Έλλειψη υφής	Λαμπερή επιφάνεια	m <sup>2</sup>
Επιφάνειες επισκευών και λακκούβες	Επιφάνειες	Μικρή σοβαρότητα	Μεσαία	Υψηλή	νούμερο, m <sup>2</sup>
	Λακκούβες	< 1 inch βάθος	1 - 2 inches	> 2 inches	νούμερο, m <sup>2</sup>

**Πίνακας 2-2 Σύνοψη φθορών κατά την αναφορά 1-37<sup>A</sup> (Πηγή: Zairen, 2005)**

### 2.3.5. ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ GFP

Μετά το πέρας των εργασιών αξιολόγησης ενός προς μελέτη οδοστρώματος, δίνεται στο συγκεκριμένο τμήμα μια βαθμολόγηση στην κλίμακα 0 – 100, και ένας επιθετικός προσδιορισμός. Ο τελευταίος χαρακτηρισμός, αποτελεί επικεφαλίδα μιας γενικότερης κατηγορίας κατάστασης οδοστρώματος.

Από πολλούς οδηγούς δίνεται και φωτογραφική ανάλυση του κάθε ερμηνευτικού επιθετικού προσδιορισμού. Πιο συγκεκριμένα, από τον οδηγό αξιολόγησης του Όρεγκον (2010):

*Κατάσταση – Πολύ καλή*

Δομή ασφαλτόστρωσης σταθερή. Δεν υπάρχουν ρηγματώσεις, επιφάνειες επισκευών, ή προφανείς παραμορφώσεις. Ποιότητα οδήγησης καταπληκτική. Τίποτε δεν θα μπορούσε να βελτιώσει την υφιστάμενη κατάσταση. Σε αυτή την κατηγορία τα οδοστρώματα είναι αρκετά καινούρια.



Εικόνα 2.11 Πολύ καλή ποιότητα οδοστρώματος (Πηγή: Oregon, 2010)

#### Κατάσταση – Καλή

Οδοστρώμα σταθερό. Μικρές ρηγματώσεις μπορεί να εμφανίζονται αλλά η ανίχνευση τους είναι ιδιαίτερα δύσκολη. Ελάχιστες μονάδες επιφανειών επισκευής και παραμορφώσεων. Μπορεί να έχουν στεγνή ή ανοιχτόχρωμη εμφάνιση. Πολύ καλή ποιότητα οδήγησης. Οι αυλακώσεις είναι μικρότερες των  $\frac{1}{2}$  ".



Εικόνα 2.12 Καλή ποιότητα οδοστρώματος (Πηγή: Oregon, 2010)

#### Κατάσταση – Επιτρεπτή

Δομή οδοστρώματος γενικά σταθερή, με μικρές περιοχές αστοχιών να είναι εμφανείς. Οι ρηγματώσεις είναι εύκολο να ανιχνευτούν. Μπορούν να επιδιορθωθούν ικανοποιητικά. Καλή έως αποδεκτή η ποιότητα οδήγησης. Οι αυλακώσεις είναι μικρότερες των  $\frac{3}{4}$ .



Εικόνα 2.13 Επιτρεπτή ποιότητα οδοστρώματος (Πηγή: Oregon, 2010)

### Κατάσταση – Κακή

Το οδόστρωμα έχει περιοχές αστάθειας, αποτέλεσμα αστοχιών κατασκευής. Μεγάλες ρωγμές (κυρίως αλιγατορικής μορφής), βαριές και πολυάριθμες επιφάνειες επισκευών. Οι παραμορφώσεις είναι πολύ αισθητές. Ποιότητα οδήγησης από αποδεκτή έως κακή. Σε πιθανή παρουσία αυλακώσεων, το βάθος τους είναι μεγαλύτερο των  $\frac{3}{4}$  ".



Εικόνα 2.14 Κακή ποιότητα οδοστρώματος (Πηγή: Oregon, 2010)

### Κατάσταση – Πολύ Κακή

Το οδόστρωμα βρίσκεται σε αρκετά επιδεινωμένη κατάσταση. Υφίστανται πολλές περιοχές αστάθειας. Στην πλειοψηφία του τμήματος παρουσιάζονται αστοχίες κατασκευής. Η ποιότητα οδήγησης είναι απαράδεκτη (Ο οδηγός τις περισσότερες φορές καλείται να επιβραδύνει).



Εικόνα 2.15 Πολύ κακή ποιότητα οδοστρώματος (Πηγή: Oregon, 2010)

Αντίστοιχο φωτογραφικό υλικό παρουσιάζεται στον οδηγό και για δύσκαμπτα οδοστρώματα.

## 2.4.ΥΔΡΟΛΙΣΘΗΣΗ

Είναι το φαινόμενο εκείνο που παρουσιάζεται στα οχήματα ενός δρόμου, όταν μια ποσότητα νερού εγκλωβίζεται μεταξύ των ελαστικών του αυτοκινήτου και της επιφάνειας του οδοστρώματος, με συνέπεια την απώλεια πρόσφυσης και την μη ανταπόκριση του οχήματος στις εντολές του οδηγού, όπως αυτές της πέδησης και της επιτάχυνσης.

### 2.4.1. ΑΙΤΙΕΣ ΥΔΡΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

Επιθυμητές αλλαγές κατεύθυνσης ή ταχύτητας ενός οχήματος επιτυγχάνονται με την βοήθεια της τριβής μεταξύ ελαστικών και επιφάνειας οδοστρώματος. Με την παρουσία

νερού σε ένα ρεύμα κυκλοφορίας, η αναπτυσσόμενη τριβή μειώνεται σημαντικά. Οι αυλακώσεις που σχεδιάζονται στα ελαστικά από καουτσούκ, συμβάλλουν στην απομάκρυνση της επικίνδυνης ποσότητας νερού. Έτσι επιτυγχάνεται σημαντικός βαθμός τριβής, ακόμη και υπό τέτοιες δυσμενείς συνθήκες (Kurtus, 2008).

Το φαινόμενο της υδρολίσθησης παρουσιάζεται, όταν στις αυλακώσεις του ελαστικού εγκλωβίζεται ποσότητα νερού μεγαλύτερη από αυτή που μπορεί να απομακρύνει. Η πίεση του νερού μπροστά από τον τροχό προκαλεί ένα ρεύμα νερού κάτω απ' την άκρη του ελαστικού, με αποτέλεσμα να το σηκώνει απ' την επιφάνεια του οδοστρώματος. Έτσι, το ελαστικό τελικά γλιστρά πάνω σε μια πολύ λεπτή επιφάνεια νερού, με αποτέλεσμα να χάνεται η επαφή με τον δρόμο και άρα ο έλεγχος του οχήματος. Εάν το φαινόμενο αυτό παρουσιαστεί σε περισσότερους του ενός τροχούς, χάνεται ο έλεγχος διεύθυνσης του οχήματος μέχρις ότου συγκρουστεί με ένα εμπόδιο, ή επιβραδύνει αρκετά έως ότου και πάλι κάποιο από τα ελαστικά επανακτήσει την επαφή με το οδόστρωμα.

Ο κίνδυνος υδρολίσθησης αυξάνεται με την αύξηση του βάθους των λιμναζόντων νερών, καθώς επίσης και με την ευαισθησία του οχήματος στο βάθος του νερού.

---

#### 2.4.2. ΑΙΤΙΕΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣ ΛΙΜΝΑΖΟΝΤΩΝ ΝΕΡΩΝ

- *Βάθος τροχαυλακώσεων και μακροχρόνιων καταθλίψεων*

Τα βαρέα οχήματα μπορούν να δημιουργήσουν αυλάκια στο οδόστρωμα τα οποία επιτρέπουν την συσσώρευση λιμναζόντων νερών, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται αρνητικά και το φαινόμενο της αποστράγγισης.

- *Υφή οδοστρώματος*

Η ζεστή άσφαλτος προσφέρει μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στο σχηματισμό αυλακιών, αλλά εξαρτάται από την ηλικία του οδοστρώματος και τις μεθόδους ασφαλτόστρωσης.

- *Κλίση και επίκλιση οδοστρώματος*

Τα οχήματα είναι λιγότερο πιθανό να συναντήσουν φαινόμενα υδρολίσθησης σε δρόμους με θετικές κλίσεις, ενώ αντίθετα είναι πολύ πιθανό να παρουσιαστούν τέτοια φαινόμενα σε σημεία σύνδεσης δρόμων με αντίθετες κλίσεις. Στα περισσότερους κανονισμούς σχεδιασμού δρόμων δίνεται ως ελάχιστη κλίση απορροής η τιμή 0,5%. Με αυτόν τον περιορισμό αποφεύγεται η συσσώρευση λιμναζόντων νερών κατά τη διάρκεια μιας βροχόπτωσης ή και κατά το πέρας αυτής. Σε ορισμένες περιπτώσεις επικίνδυνα διαμορφωμένων κλίσεων η λύση είναι το υδροπερατό ασφαλτόμιγμα για την βελτίωση της αποστράγγισης.

- *Πλάτος οδοστρώματος*

Μεγαλύτερου πλάτους δρόμοι απαιτούν μεγαλύτερες επικλίσεις για την βελτίωση της αποστράγγισης.

- *Καμπυλότητα δρόμου*
- *Ένταση και διάρκεια βροχοπτώσεων*

Η ένταση των βροχοπτώσεων αποτελεί την πιο σημαντική συνθήκη στο φαινόμενο της υδρολίσθησης. Η ολισθηρότητα του δρόμου επηρεάζεται σε σημαντικό βαθμό. Αποτελεί την πιο σημαντική παράμετρο ατυχημάτων υδρολίσθησης σε πολλές χώρες του κόσμου

- *Ευαισθησία οχημάτων*
- *Ταχύτητα οχήματος, επιτάχυνση, επιβράδυνση και πηδαλιούχηση*
- *Φθορά πέλματος ελαστικού*

Τα φθαρμένα λάστιχα είναι πιο επιρρεπή στην υδρολίσθηση. Μπορεί να παρουσιαστεί το φαινόμενο αυτό και σε ταχύτητες μικρότερες κατά 7χλμ./ώρα σε σχέση με τα καλά συντηρημένα λάστιχα.

- *Επιφάνεια επαφής ελαστικού*

Όσο μεγαλύτερη και λεπτότερη είναι η επιφάνεια επαφής ελαστικού – οδοστρώματος, τόσο μικρότερη είναι και η πιθανότητα υδρολίσθησης. Συνεπώς, μικρής διαμέτρου και στενοί τροχοί παρουσιάζουν υψηλά ποσοστά επικινδυνότητας.

- *Βάρος οχήματος*

Εάν το βάρος του οχήματος είναι ιδιαίτερα υψηλό, τότε αυξάνει και η επιφάνεια επαφής ελαστικού – οδοστρώματος. Έτσι μειώνεται και ο κίνδυνος υδρολίσθησης. Βέβαια το βάρος του οχήματος μπορεί να επιδράσει αρνητικά, εάν το ελαστικό βρίσκεται υπό χαμηλή πίεση.

- *Τύπος οχήματος*

Είναι πιθανό να εμφανιστεί άνιση υδρολίσθηση σε συνδυασμούς οχημάτων, όπως ρυμουλκούμενα, λόγω άνισης κατανομής του βάρους τους.

### **Μοτοποδήλατα**

Λόγω του σχήματος των ελαστικών τους, τα μοτοποδήλατα είναι λιγότερο επιρρεπή στην υδρολίσθηση. Το βάρος του οχήματος είναι κατανεμημένο σε μικρότερη έκταση και τα στρογγυλοποιημένα ελαστικά απομακρύνουν ευκολότερα το νερό πλευρικά. Στην περίπτωση όμως της υδρολίσθησης τα μοτοποδήλατα είναι πιο ευάλωτα, θέτοντας σε υψηλό κίνδυνο τον αναβάτη τους.

Δεν υπάρχει ακριβής εξίσωση για τον καθορισμό της ταχύτητας στην οποία ένα όχημα είναι επιρρεπές στην υδρολίσθηση. Γενικότερα παρουσιάζονται φαινόμενα υδρολίσθησης σε ταχύτητες πάνω από 72χλμ/ώρα και σε αυλάκια βάθους τουλάχιστον 2,5mm, σε απόσταση 9 μέτρων ή περισσότερο.

### 2.4.3. ΕΙΔΗ ΥΔΡΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

#### **Ιξώδης υδρολίσθηση**

Σε μια επίπεδη επιφάνεια χαμηλής υψής, είναι πιθανή η εμφάνιση ιξώδους υδρολίσθησης, λόγω των υδαρών ιδιοτήτων του νερού. Μια συνεχής λεπτή επιφάνεια συσσωρευσης υδάτων, μεταξύ του ελαστικού και του οδοστρώματος, μπορεί πολύ εύκολα να οδηγήσει στην εμφάνιση του φαινομένου αυτού, ιδιαίτερα μάλιστα όταν οι ταχύτητες των οχημάτων είναι υψηλές. Μπορεί να εμφανιστεί και σε ταχύτητες μικρότερες αυτών που προκαλούν τη δυναμική υδρολίσθηση, αλλά απαιτείται μια λεία επιφάνεια ή κάποια που να λειτουργεί σαν λεία, όπως η άσφαλτος ή μια περιοχή επαφής επικαλυμμένη με συσσωρευμένο λάστιχο από προηγούμενες επαφές. Μια τέτοια επιφάνεια μπορεί να έχει τον ίδιο συντελεστή τριβής με τον υγρό πάγο.

#### **Δυναμική υδρολίσθηση**

Ακόμη κι αν η επιφάνεια μιας οδού είναι στεγνή, και η υφή του οδοστρώματος υψηλή, υπάρχουν πιθανότητες εμφάνισης δυναμικής υδρολίσθησης. Το ελαστικό πολλές φορές δεν είναι σε θέση να απομακρύνει επιτυχώς και γρήγορα το νερό που μπορεί να συσσωρευτεί στο πέλμα του με αποτέλεσμα το φαινόμενο αυτό να κάνει την εμφάνιση του. Η ταχύτητα παίζει σημαντικό ρόλο, και συμβάλλει στην αύξηση του κινδύνου του φαινομένου, με αντίστοιχη αύξηση της τιμής της.

#### **Υδρολίσθηση πέλματος ελαστικού**

Ένας τρίτος τύπος υδρολίσθησης είναι αυτός που εμφανίζεται όταν υφίστανται υψηλές πιέσεις μεταξύ ελαστικών και οδοστρώματος, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις φορτηγών και αεροπλάνων. Στην περίπτωση αυτή οι τροχοί χάνουν την πρόσφυση. Το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται κυρίως σε δρόμους μακροϋψής, αλλά κακής μικροϋψής. Ακόμη και μια πολύ λεπτή στρώση νερού μπορεί να προκαλέσει αυτού του είδους την υδρολίσθηση. Η ολίσθηση των ελαστικών παράγει αρκετή θερμότητα, με αποτέλεσμα να αναπτύσσονται σύννεφα ατμού, τα οποία κρατούν το ελαστικό στο οδόστρωμα (Nygårdhs, 2003).



#### 2.4.4. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΥΔΡΟΛΙΣΘΗΣΗ

Η ανάπτυξη εξισώσεων και μοντέλων πρόβλεψης του πάχους συσσώρευσης υδάτων και της έναρξης εμφάνισης δυναμικής υδρολίσθησης στα ελαστικά, αποτελεί πεδίο έρευνας για πάνω από 50 χρόνια. Αναπτύσσονται δυο ειδών μεθοδολογίες, και πιο συγκεκριμένα εκείνες που χρησιμοποιούν πληροφορίες από εμπειρικά δεδομένα, και εκείνες που προσπαθούν να δώσουν αποτελέσματα μέσα από μαθηματική μοντελοποίηση της υδροδυναμικής ροής του συσσωρευμένου νερού και της αλληλεπίδρασης του με τα ελαστικά του οχήματος. Οι πιο ευρέως γνωστές μεθοδολογίες χρησιμοποιούν ένα συνδυασμό των παραπάνω, και χρησιμοποιούν ως μια σημαντική παράμετρο την ένταση βροχόπτωσης στην περιοχή ενδιαφέροντος.

##### **Εμπειρικές μέθοδοι**

Από τον οδηγό σχεδιασμού αυτοκινητοδρόμων της Νέας Ζηλανδίας (Chesterton et al. 2006), δημοσιεύεται:

$$d = 0.046 \frac{(L_f I)^{\frac{1}{2}}}{S_f^{\frac{1}{3}}} \quad (1)$$

Όπου:

- $d$  = το βάθος ροής ή συγκέντρωσης ποσότητας υδάτων (mm) στο τέλος του ρεύματος ροής
- $L_f$  = το μήκος του ρεύματος ροής (m)
- $I$  = η ένταση βροχόπτωσης (mm/hr)
- $S_f$  = η κλίση του ρεύματος ροής

Για την ορθή χρήση του παραπάνω μαθηματικού τύπου απαιτούνται στοιχεία έντασης βροχόπτωσης διάρκειας δυο χρόνων. Επίσης το μέγιστο πάχος της ποσότητας

συσσώρευσης υδάτων δεν πρέπει να είναι παραπάνω από 4mm. Τέλος, δεν δίνονται περιθώρια βάθους της υφής του οδοστρώματος (Chesterton et al, 2006).

Οι Ivey, Lehtiruu και Button (1975) πρότειναν μια εμπειρική σχέση μεταξύ της έντασης βροχόπτωσης, της ορατότητας και της ταχύτητας οδήγησης. Μέσα από τη μελέτη που πραγματοποίησαν προκύπτει, πως από μια τιμή έντασης βροχόπτωσης και πάνω το φαινόμενο της υδρολίσθησης ουσιαστικά μειώνεται. Αυτό αποτελεί συνέπεια της προσεκτικότερης οδικής συμπεριφοράς ενός ατόμου, λόγω του μειωμένου πεδίου ορατότητας του.

$$S_v = \frac{2000}{i^{0.68}} \frac{40}{V_i} \quad (2)$$

Όπου:

- $S_v$  = Μήκος πεδίου ορατότητας (ft)
- $i$  = ένταση βροχόπτωσης (mm/hr)
- $V_i$  = ταχύτητα οχήματος (m/hr)

Προτείνεται ως μέγιστη τιμή έντασης βροχόπτωσης η τιμή 80mm/hr και ως μέγιστη τιμή ταχύτητας οχήματος η 94km/h.

Ακολούθως, το 1979 ο Gallaway διαμόρφωσε μια καινούρια μεθοδολογία πάνω στο φαινόμενο της υδρολίσθησης για λογαριασμό του Τμήματος Συγκοινωνιών της Αμερικής και πιο συγκεκριμένα αποτελεί τμήμα του εγχειριδίου σχεδιασμού υδραυλικών έργων του τομέα μεταφορών του Τέξας.

Αρχικά χρησιμοποιούνται ως δεδομένα η ένταση βροχόπτωσης και η γεωμετρία του δρόμου στην εφαρμογή του παρακάτω τύπου:

$$WFD = z \left\{ \frac{TXD^{0.11} L^{0.43} i^{0.59}}{S^{0.42}} \right\} - TXD \quad (3)$$

Όπου:

- $z = 0.01485$  (σταθερά)
- $L$  = μήκος ρεύματος ροής οδοστρώματος (m)
- $I$  = ένταση βροχόπτωσης (mm/hr)
- $S$  = κλίση οδοστρώματος (m/m)
- $TXD$  = βάθος υφής οδοστρώματος (mm) (προτεινόμενη τιμή 0,5mm)

Το συγκεκριμένο βάθος ελέγχεται με τον παρακάτω τύπο:

$$V = 0.9143SD^{0.04}P^{0.3}(TD + 0.794)^{0.06}A \quad (4)$$

Όπου:

- $V$  = η ταχύτητα στην οποία εμφανίζεται υδρολίσθηση (km/hr)
- $SD$  = ταχύτητα απόσβεσης στροφορμής
- $P$  = πίεση ελαστικού (Kpa)
- $A$  = μέγιστη τιμή μεταξύ των αποτελεσμάτων των εξισώσεων 5 και 6
- $TD$  = βάθος πέλματος ελαστικού (mm) (προτεινόμενη τιμή 0,5mm βάσει ορθού σχεδιασμού)

$$A = \frac{12.639}{WFD^{0.06}} + 3.50 \quad (5)$$

$$A = \left[ \frac{22.351}{WFD^{0.06}} - 4.97 \right] * TXD^{0.14} \quad (6)$$

η οποία τελικά ελέγχεται και ως προς την ταχύτητα σχεδιασμού, για να εξακριβωθεί το κατά πόσο η υδρολίσθηση θα εμφανιστεί στο προς μελέτη οδικό τμήμα.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί πως για την εφαρμογή των παραπάνω, απαιτείται η ταχύτητα μελέτης να είναι μεγαλύτερη των 95km/hr και η μέγιστη τιμή WFD που αναμένεται να προκύψει να μην είναι μεγαλύτερη των 4mm.

### Αναλυτικές μέθοδοι

Από το τμήμα NASA Langley Research Center, δημοσίευσαν μια εξίσωση που χρησιμοποιείται ευρέως μέχρι και σήμερα για την πρόβλεψη υδρολίσθησης επιβατηγών αυτοκινήτων (Horne, 1962):

$$v_p = 6.36\sqrt{p_t} \quad (7)$$

Όπου:

- $p_t$  = πίεση ελαστικών
- $v_p$  = ταχύτητα υδρολίσθησης σε km/h

Παρά την ευρεία χρήση της, η συγκεκριμένη εξίσωση εμφανίζει αδυναμίες μιας και παρουσιάζει πολλές φορές υπερεκτιμημένες τιμές κρίσιμων ταχυτήτων υδρολίσθησης. Παράλληλα, δεν λαμβάνει υπόψη το φορτίο που μεταφέρει ένα όχημα, κάτι το οποίο δεν ισχύει σε πραγματικές συνθήκες υδρολίσθησης, ειδικά στα βαρέα οχήματα.

Εν συνεχεία, ο Horne, στην ίδια δημοσίευση το 1962, πραγματοποίησε μια σειρά δοκιμών για διάφορες πιέσεις ελαστικών, με ένα αποτελεσματικό πάχος στρώματος νερού ίσο με 4,8mm. Τα αποτελέσματα αποτέλεσαν τα δεδομένα δημιουργίας μιας νέας εξίσωσης παλινδρόμησης:

$$v_p = 25(p_t)^{0.21} \left( \frac{1.4}{FAR} \right)^{0.5} \quad (8)$$

Όπου:

- FAR = αναλογία αποτυώματος, δηλαδή το ηλίκο της περιοχής επαφής του ελαστικού προς το συνολικό μήκος της επιφάνειας

Με την παραπάνω εξίσωση, ο Horne (1962) σημείωσε πως ένα βαρύ όχημα δημιουργεί μικρότερη τιμή FAR και άρα έχει μεγαλύτερη ταχύτητα υδρολίσθησης.

Τέλος, από το πανεπιστήμιο της Πενσυλβανίας, αναπτύχθηκε ένα λογισμικό που χρησιμοποιεί ως δεδομένο τη μονοδιάστατη μορφή της υφιστάμενης κατάστασης και χρησιμοποιεί την παρακάτω εξίσωση για τον υπολογισμό του βάθους της κοιλότητας συσσώρευσης υδάτων (Chesterton et al, 2006):

$$WFD = \left[ \frac{nLI}{105.425S^{0.5}} \right]^{0.6} - MTD \quad (9)$$

Όπου:

- WFD = βάθος κοιλότητας συσσώρευσης υδάτων
- MTD = βάθος βασικής υφής οδοστρώματος
- S = κλίση
- I = (i-f) = Υπέρβαση ποσοστού βροχοπτώσεων (mm/hr)
- i = ένταση βροχόπτωσης (mm/hr)
- f = διαπερατότητα οδοστρώματος
- n = συντελεστής Manning

$$n = \frac{1.49S^{0.306}}{N_R^{0.424}} \quad (10)$$

$$N_R = q/v \quad (11)$$

Όπου:

- NR = αριθμός Reynold
- $q$  = ποσότητα ροής ανά μονάδα πλάτους ( $m^3/s/m$ )
- $v$  = Κινηματικό ιξώδες του νερού

Το συγκεκριμένο πρόγραμμα χρησιμοποιεί έναν συνδυασμό των μαθηματικών σχέσεων που ανέπτυξαν παλαιότεροι ερευνητές (Gallaway, Huebner και Henry) για να συσχετίσει τα δεδομένα τραχύτητας στα οποία εμφανίζεται υδρολίσηση, με την τιμή WFD.

---

#### 2.4.5. ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕΛΕΤΩΝ ΥΔΡΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

Μια συνοπτική παρουσίαση των όσων προαναφέρθηκαν δίνεται από τον πίνακα 2-3, που θέλει την μεθοδολογία του Gallaway ως την πιο επικρατούσα.

Αρχή εφαρμογής	Εφαρμογή
Queensland Main Roads	Gallaway
Western Australia Main Roads	Gallaway
VICROADS	RLL and Gallaway
AASHTO	Ivey
US Army Corps of Engineers	Gallaway and Ivey
Transit New Zealand	RLL
Texas Department of Transportation	Gallaway

Πίνακας 2-3 Επιλεγμένες αρχές και μέθοδοι σχεδιασμού για την υδρολίσηση, (Πηγή: Chesterton, 2006)

Η μέθοδος Gallaway αποδείχθηκε η πιο εύκολη μεθοδολογικά. Κατά την εφαρμογή της, στις περισσότερες περιπτώσεις, δεν απαιτήθηκαν τροποποιήσεις, και ακολουθήθηκαν πιστά οι προϋποθέσεις χρήσης της.

Μέσα από μια έρευνα που δημοσιεύθηκε στο 8ο ετήσιο συνέδριο των NZIHT & Transit NZ (2006), μέσα από την οποία πραγματοποιήθηκε σύγκριση των μεθοδολογιών Gallaway και RRL προέκυψε, πως η μέθοδος Gallaway δίνει μικρότερες τιμές WFD από αυτές της RRL, λόγω του ευρύ φάσματος τύπων οδοστρώματος που χρησιμοποιεί.

Η μέθοδος RRL είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στις τροποποιήσεις των τιμών της έντασης βροχόπτωσης και του μήκους ρεύματος ροής, ενώ η μέθοδος Gallaway είναι ευαίσθητη στις τροποποιήσεις των τιμών έντασης βροχόπτωσης, όταν αυτές παίρνουν υψηλές τιμές, και στις τιμές των κλίσεων, όταν αυτές είναι ιδιαίτερα χαμηλές. Η μέθοδος Gallaway συμπερασματικά, αξιολογεί περισσότερες τιμές, και δείχνει μεγαλύτερη ευαισθησία από τη μέθοδο RRL (Chesterton, Nancekivell, Tunnicliffe, 2006).

Περισσότερα βιβλιογραφικές αναφορές για το φαινόμενο της υδρολίσθησης υπάρχουν στο παράρτημα Γ της παρούσας διπλωματικής.

# 3.

## ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ

Η ενότητα αυτή περιλαμβάνει μια εισαγωγή στα θέματα που αφορούν τις αποτυπώσεις με τη βοήθεια επίγειου σαρωτή laser. Γίνεται αποσαφήνιση των διαφόρων μορφών μεθοδολογιών δημιουργίας ενός ψηφιακού μοντέλου εδάφους, και αναφέρονται αναλυτικά διάφορες εφαρμογές επίγειων σαρώσεων που συμβάλλουν σημαντικά στην επιστήμη της οδοποιίας.

### 3.1. ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ LASER SCANNER

Ένα όργανο επίγειας σάρωσης είναι μια συσκευή η οποία επιτρέπει την ανάλυση ενός αντικειμένου ή του περιβάλλοντα χώρου με τη συλλογή δεδομένων που σχετίζονται με το σχήμα και πιθανότατα την εμφάνιση του. Τα δεδομένα που συλλέγονται εμφανίζονται στον χρήστη ως τριών διαστάσεων μοντέλα. Η τεχνολογία της επίγειας σάρωσης laser (terrestrial laser scanner) επιτρέπει την αποτύπωση, σαρώνοντας μια επιφάνεια, καταγράφοντας τις τρισδιάστατες συντεταγμένες των σημείων υπό τη μορφή νέφους σημείων. Τα νέφη σημείων είναι αυτά που επιτρέπουν τον προσδιορισμό της μορφής του σχήματος. Κοινές εφαρμογές των συσκευών αυτών είναι



ο βιομηχανικός σχεδιασμός, η αποτύπωση της πολιτιστικής κληρονομιάς ή μηχανική κα.

Πολλές διαφορετικές τεχνολογίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή των συσκευών τρισδιάστατης σάρωσης, η κάθε μία με τα δικά της όρια, τα δικά της πλεονεκτήματα, και το δικό της κόστος. Ουσιαστικά οι σαρωτές ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες, στους σαρωτές βεληνεκούς και στους σαρωτές τριγωνισμού. Οι σαρωτές βεληνεκούς μετρούν οριζόντιες και κατακόρυφες γωνίες και υπολογίζουν αποστάσεις είτε με την μέθοδο των παλμών (time of light), είτε συγκρίνοντας τις φάσεις του εκπεμπόμενου και του λαμβανόμενου σήματος. Οι σαρωτές τριγωνισμού περιλαμβάνουν μια βάση. Αναλύουν τη θέση του περιβαλλόμενου στίγματος του λέιζερ χρησιμοποιώντας μια ή δύο CCD κάμερες (Boehler, Marbs, 2000).

---

### 3.1.1. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ

Οι επίγειοι σαρωτές έχουν έναν κώνο ως οπτικό πεδίο και όπως οι φωτογραφικές μηχανές, μπορούν να συλλέγουν πληροφορίες μόνο από τις επιφάνειες που μπορεί να δει άμεσα η συσκευή. Η «εικόνα» που παράγεται περιγράφει την απόσταση από μια επιφάνεια, για κάθε σημείο που την αποτελεί.

Όπως αναφέρουν οι Bernardini και Rushmeier (2002), στις περισσότερες περιπτώσεις δεν είναι εφικτό να παραχθεί ένα ολοκληρωμένο τρισδιάστατο μοντέλο του θέματος με μία μόνο σάρωση. Συνήθως απαιτούνται πολλαπλές σαρώσεις από πολλές και διαφορετικές κατευθύνσεις, έτσι ώστε να ληφθεί όλη η απαραίτητη πληροφορία από όλες τις πλευρές του θέματος. Οι σαρώσεις πρέπει να γίνουν σε ένα κοινό σύστημα αναφοράς, το οποίο κατά την επεξεργασία θα επιτρέψει την συνένωση των νεφών σημείων και τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου μοντέλου.

Τα είδη των τρισδιάστατων σαρωτών είναι:

- ❖ 3D Σαρωτές επαφής (Σύστημα μέτρησης συντεταγμένων)

- ❖ 3D Σαρωτές μη επαφής
  - Παθητικοί
    - Στερεοσκοπικά συστήματα
    - Αυτόματες φωτογραμμετρικές μέθοδοι
    - Silhouette – Sparse from shading / texture / contour
  - Ενεργητικοί
    - Time of flight – Μέθοδος των παλμών
    - Phase Shift – Διαφοράς φάσης
    - Τριγωνισμού με ένα ή δύο CCD
    - Δομημένο φως

*Μέθοδος των παλμών (Time of light)*

Ένας παλμός λέιζερ στέλνεται στο αντικείμενο και η απόσταση ανάμεσα στην εκπεμπόμενη και στην ανακλώμενη επιφάνεια υπολογίζεται από το χρόνο πτήσης ανάμεσα στο σήμα εκπομπής και στο σήμα λήψης.

Η απόσταση μεταξύ του αντικειμένου και οργάνου δίνεται από την σχέση:

$$p=0.5*c*\Delta t$$

όπου  $c$  = η ταχύτητα του φωτός (m/sec)

$\Delta t$  = η διαφορά του χρόνου μετάβασης και επιστροφής του σήματος (sec)

Οι σαρωτές χρησιμοποιούν μικρές περιστρεφόμενες συσκευές (μηχανισμός κατόπτρων) για την γωνιακή απόκλιση του παλμού του λέιζερ (τουλάχιστον σε μία από τις δύο γωνίες) και χρησιμοποιούν σχετικά απλούς αλγορίθμους για τις μετρήσεις βεληνεκούς και αποστάσεων, γεγονός που οδηγεί σε όχι και τόσο ακριβείς τιμές σε σύγκριση με τα ηλεκτρονικά ταχεόμετρα (EDM). Χρησιμοποιεί ομοαξονικές ακτίνες εκπομπής και λήψης. Ο πομπός στέλνει ένα σήμα στον στόχο και ο δέκτης μετρά το χρόνο μετάβασης – επιστροφής.

Οι σαρωτές μου χρησιμοποιούν τη συγκεκριμένη μέθοδο είναι σχετικά αργοί (40 – 50 εκατομμύρια σημεία το δευτερόλεπτο), κι έχουν εμβέλεια μερικές εκατοντάδες μέτρα ή λίγα χιλιόμετρα.

#### *Μέθοδος διαφοράς φάσης*

Με αυτή τη μέθοδο ο εκπεμπόμενος παλμός μοντελοποιείται σε ένα αρμονικό κύμα και η απόσταση υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τη διαφορά φάσης ανάμεσα στο εκπεμπόμενο και στο λαμβανόμενο σήμα. Η μέθοδος αυτή δεν διαφέρει πάρα πολύ από τη μέθοδο των παλμών. Εξαιτίας όμως της πολύπλοκης ανάλυσης του σήματος τα αποτελέσματα είναι πιο ακριβή εις βάρος όμως του βεληνεκούς, αφού εμφανίζεται μειωμένο.



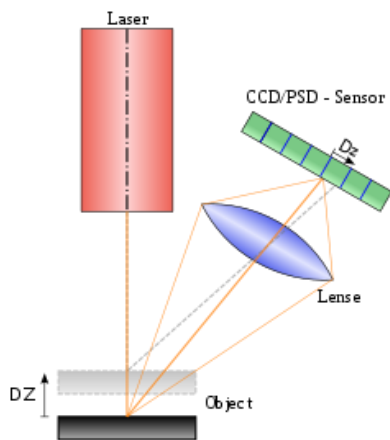
Εικόνα 3.1 Σαρωτής με περιστρεφόμενους καθρέφτες

Οι σαρωτές διαφοράς φάσης είναι γρήγοροι (1000 εκατομμύρια σημεία / δευτερόλεπτο), με μειωμένη εμβέλεια (περίπου 70m).

### Μέθοδος του τριγωνισμού

Οι σαρωτές που χρησιμοποιούν αυτή τη μέθοδο λειτουργίας χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, στους σαρωτές που περιέχουν στο σύστημα τους μία μόνο κάμερα CCD και στους σαρωτές που χρησιμοποιούν διπλή κάμερα.

Το είδος των σαρωτών της πρώτης κατηγορίας αποτελείται από μια συσκευή εκπομπής η οποία στέλνει ένα παλμό λέιζερ κατά μια καθορισμένη γωνία, η οποία δύναται να αυξάνει, από το ένα άκρο μιας μηχανικής βάσης, επάνω στο αντικείμενο και από μια CCD κάμερα στο άλλο άκρο της βάσης η οποία ανιχνεύει τον παλμό του λέιζερ πάνω στο αντικείμενο, χωρίς όμως το μήκος της βάσης να μπορεί να μεταβληθεί κατά βούληση. Η τρισδιάστατη θέση του ανακλώμενου στοιχείου επιφάνειας μπορεί να προσδιορισθεί από το τρίγωνο που σχηματίζουν το σύστημα αντικείμενου, βάσης και καθρέφτη. Αυτή η αρχή χρησιμοποιείται και στις απλές τοπογραφικές εφαρμογές. Αυτοί οι σαρωτές είναι πολύ πιο ακριβείς από τους σαρωτές βεληνεκούς όταν πρόκειται να σαρωθούν μικρά αντικείμενα σε κοντινές αποστάσεις.



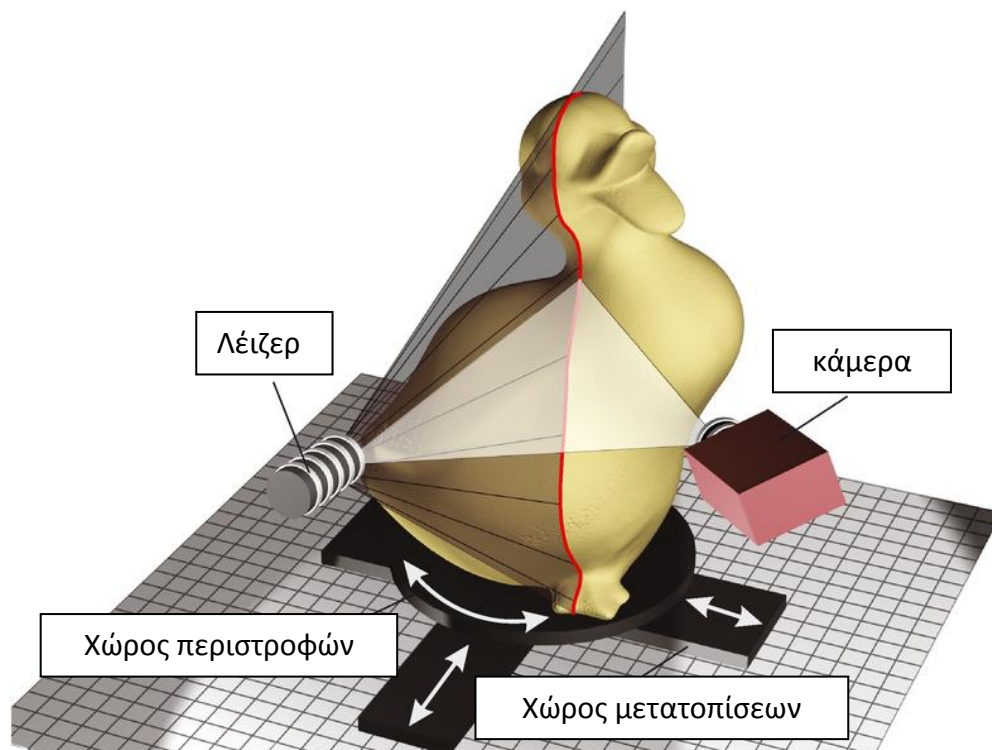
Μια παραλλαγή της αρχής του τριγωνισμού προκύπτει από τη χρήση δύο CCD μηχανών τοποθετημένες στα δύο άκρα της βάσης. Το στίγμα του λέιζερ ή το μοντέλο που πρόκειται να ανιχνευθεί παράγεται από έναν ξεχωριστό προβολέα φωτός που δεν έχει καμία μετρητική λειτουργία. Όλες οι συσκευές με δύο κάμερες δεν καταμετρούν μεγάλο αριθμό σημείων και ούτε καταγράφουν τις τρισδιάστατες συντεταγμένες σε πραγματικό χρόνο. Αν όμως προσφέρουν μεγάλο αριθμό σημείων και τρισδιάστατες συντεταγμένες σε πραγματικό χρόνο τότε μπορούν να θεωρηθούν ως μια εναλλακτική των τρισδιάστατων σαρωτών.

Εικόνα 3.2 Αρχή τριγωνισμού

Οι σαρωτές τριγωνισμού έχουν μικρό βεληνεκές, αλλά πολύ υψηλή ακρίβεια (50 - 250μm)

### 3.1.2. ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Κάθε τοπογραφική εργασία ανεξάρτητα της μεθόδου με την οποία υλοποιείται, θα πρέπει να έχει κάποια συγκεκριμένη ακρίβεια που επιβάλλει η εκάστοτε εφαρμογή. Θα πρέπει να διερευνηθεί κατά πόσο οι προδιαγραφές ακρίβειας των λέιζερ σαρωτών που δίνονται από τις κατασκευάστριες εταιρίες ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα. Υπάρχουν διακυμάνσεις ακρίβειας λόγω των διαφορετικών συνθηκών μεταχείρισης και προφύλαξης από τον χρήστη, σύμφωνα με τους Boehler, Bordas και Marbs (2003).



Εικόνα 3.3 Δημιουργία νέφους σημείων με τριγωνισμό

### *Γωνιακή ακρίβεια*

Ο παλμός λέιζερ εκτρέπεται από μια μικρή περιστρεφόμενη συσκευή (καθρέφτης ή πρίσμα) μέσα στο σαρωτή και εκπέμπεται από εκεί προς το αντικείμενο. Η δεύτερη γωνία ανάκλασης που είναι κάθετη με την πρώτη, μπορεί να αλλάξει με την χρήση ενός μηχανικού άξονα ή κάποιας άλλης περιστρεφόμενης οπτικής συσκευής. Οι αναγνώσεις γι' αυτές τις γωνίες χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των τρισδιάστατων συντεταγμένων των σημείων του νέφους. Οποιοσδήποτε αποκλίσεις θα προκαλέσουν σφάλματα κάθετα στην πορεία διάδοσης της ακτινοβολίας.

### *Ακρίβεια βεληνεκούς*

Στην περίπτωση των σαρωτών βεληνεκούς, το βεληνεκές υπολογίζεται με την μέθοδο των παλμών. Οι σαρωτές βεληνεκούς ως τα 100 μέτρα εμφανίζουν την ίδια ακρίβεια βεληνεκούς για οποιαδήποτε απόσταση.

Οι σαρωτές τριγωνισμού προσδιορίζουν την ακρίβεια βεληνεκούς από ένα τρίγωνο που σχηματίζεται από τον εκτροπέα του σήματος λέιζερ του οργάνου, το σημείο ανάκλασης στην επιφάνεια του αντικειμένου και το προβολικό κέντρο της κάμερας τοποθετημένο σε συγκεκριμένη απόσταση από τον εκτροπέα. Η κάμερα χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της διεύθυνσης του σήματος επιστροφής. Σε αντίθεση με τους σαρωτές βεληνεκούς η ακρίβεια στους σαρωτές τριγωνισμού μειώνεται με το τετράγωνο της απόστασης μεταξύ του σαρωτή και του αντικειμένου.

### *Ανάλυση*

Ο όρος ανάλυση από την άποψη του χρήστη περιγράφει την ικανότητα ανίχνευσης μικρών αντικειμένων ή τμημάτων αντικειμένων σε ένα νέφος σημείων. Ουσιαστικά είναι η μικρότερη δυνατή αύξηση της γωνίας ανάμεσα σε δύο διαδοχικά σημεία, καθώς και η μικρότερη δυνατή αύξηση του μεγέθους της κουκίδας του λέιζερ πάνω στο αντικείμενο.

### *Επίδραση ακμών*

Με την μέθοδο των παλμών αλλά και με την μέθοδο του τριγωνισμού, παρατηρούνται αδυναμίες ως προς την αποτύπωση γωνιών, μιας και επιστρέφεται στο όργανο παλμός

από δύο διαφορετικά επίπεδα επιφανειών. Οι τελικές συντεταγμένες του σημείου σε μια γωνία που ενδιαφέρει τον χρήστη, θα προκύψουν από τον μέσο όρο των δυο παλμών που φτάνουν στο δέκτη. Συνεπώς το τελικό σημείο θα αποκλίνει από την πραγματική του θέση. Σαρωτές με μικρό πλάτος δέσμης μπορούν να εξαλείψουν ως ένα βαθμό το πρόβλημα αυτό. Σε αυτά τα «επικίνδυνα» σημεία, το σφάλμα του βεληνεκούς μπορεί να ποικίλει από ένα χιλιοστό μέχρι και μερικά εκατοστά.

#### *Περιβαλλοντικές συνθήκες*

##### *Θερμοκρασία*

Κάθε σαρωτής μπορεί να λειτουργήσει κανονικά μόνο όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι εντός επιτρεπτών ορίων. Υψηλότερες ή χαμηλότερες θερμοκρασίες μπορούν να δημιουργήσουν σφάλματα στην μέτρηση των αποστάσεων.

##### *Ατμόσφαιρα*

Η παρουσία σκόνης ή ατμού στην ατμόσφαιρα μπορεί να επιδεινώσει σε ένα βαθμό το τελικό αποτέλεσμα των μετρήσεων. Γενικότερα όμως, εφόσον μετρούνται μικρές αποστάσεις, η διαφορά πίεσης και θερμοκρασίας δεν επηρεάζουν σημαντικά τις μετρήσεις.

##### *Εξωτερική ακτινοβολία*

Τα λέιζερ λειτουργούν σε μία περιορισμένη ζώνη συχνοτήτων. Γι αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται φίλτρα στη μονάδα καταγραφής του σήματος, έτσι ώστε να καταγράφονται μόνο τα σήματα επιστροφής συγκεκριμένης συχνότητας. Η ακτινοβολία μια φωτεινής πηγής μπορεί να διαπεράσει τα φίλτρα εάν είναι πολύ ισχυρή σε σχέση με το σήμα του σαρωτή.

##### *Χρονικό διάστημα μετρήσεων*

Για ένα δείγμα 10000 σημείων ανά δευτερόλεπτο, σαρωτές χαμηλής ανάλυσης μπορούν να ολοκληρώσουν τις μετρήσεις σε χρόνο λιγότερο του ενός δευτερολέπτου, ενώ σαρωτές υψηλής ανάλυσης μπορούν να τις ολοκληρώσουν σε μερικά λεπτά. Στην τελευταία περίπτωση μπορεί να υπάρξει στρέβλωση του αποτελέσματος, εάν υπάρξει

κίνηση στον περιβάλλοντα χώρο του αντικειμένου. Σημεία σάρωσης σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, μπορούν να δώσουν λανθασμένο αποτέλεσμα. Γι αυτό το λόγο είναι απαραίτητη η λήψη μέτρων, που θα αποτρέψουν την παραμόρφωση των αποτελεσμάτων. Επίσης απαραίτητη προϋπόθεση σωστών αποτελεσμάτων είναι η αποφυγή κραδασμών τόσο του αντικειμένου, όσο και του σαρωτή.

#### *Ανακλαστικότητα επιφάνειας*

Η ισχύς του σήματος επιστροφής στους λέιζερ σαρωτές επηρεάζεται από την απόσταση, από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες αλλά και από την ανακλαστικότητα της επιφάνειας. Πιο συγκεκριμένα, έχει παρατηρηθεί πως οι επιφάνειες διαφορετικής ανακλαστικότητας οδηγούν στην δημιουργία συστηματικών σφαλμάτων βεληνεκούς, Στα αντικείμενα που αποτελούνται από διαφορετικά υλικά ή είναι χρωματισμένα με διάφορα χρώματα, παρατηρούνται σφάλματα, γεγονός που χρήζει ιδιαίτερης προσοχής κατά την επεξεργασία των μετρήσεων.

#### *Στόχοι σύνδεσης και ελέγχου*

Για την ολοκληρωμένη σάρωση ενός αντικειμένου, πιθανότατα να χρειαστούν πολλές τμηματικές σαρώσεις. Με την βοήθεια ειδικών στόχων είναι εφικτή οι σύνδεση πολλών νεφών σημείων σε ένα ενιαίο σύστημα αναφοράς. Επομένως είναι σημαντική η ακριβής μέτρηση των συντεταγμένων των στόχων και η σωστή σύνδεση τους στο λογισμικό επεξεργασίας των μετρήσεων.

### 3.1.3. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΔΥΝΑΜΙΕΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΠΑΝΩ ΜΕΘΟΔΩΝ

Η μέθοδος του τριγωνισμού και μέθοδος των παλμών έχουν πλεονεκτήματα και αδυναμίες, γεγονός που τις καθιστούν κατάλληλες σε διαφορετικές περιπτώσεις μετρήσεων.

Το πλεονέκτημα της μεθόδου των παλμών είναι, πως οι ανιχνευτές είναι σε θέση να λειτουργήσουν σε πολύ μεγάλες αποστάσεις, της τάξης των χιλιομέτρων. Επιτρέπουν την σάρωση μεγάλων κατασκευών, όπως κτιριακές εγκαταστάσεις, καθώς και



μορφολογικά χαρακτηριστικά του εδάφους. Το μειονέκτημα όμως που παρουσιάζεται σε αυτές τις περιπτώσεις είναι η ακρίβεια της μεθόδου. Λόγω της υψηλής ταχύτητας του φωτός, η μέτρηση του χρόνου επιστροφής του παλμού δεν μπορεί να είναι ιδιαίτερα ακριβής. Έτσι η ακρίβεια των αποστάσεων παραμένει στα μερικά χιλιοστά. Η ακρίβεια αντίθετα της μεθόδου του τριγωνισμού είναι αρκετά καλύτερη, αν και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περιορισμένο εύρος αποστάσεων του προς μελέτη αντικειμένου.

Η ακρίβεια του βεληνεκούς εξαρτάται ιδιαίτερα από την ανακλαστικότητα του ίδιου υλικού του αντικειμένου, από την καθαρότητα της ατμόσφαιρας, από την πρόσθετη ακτινοβολία προκαλούμενη από τον ήλιο, από την τεχνητή ακτινοβολία στο αντικείμενο κι από τις παρεμβαίνουσες πηγές κοντά του. Γενικά τα όργανα που χρησιμοποιούν τη μέθοδο των παλμών δεν αντιμετωπίζουν κάποιο ιδιαίτερο πρόβλημα όσον αφορά την ακρίβεια του βεληνεκούς, ενώ τα όργανα που χρησιμοποιούν τη μέθοδο της διαφοράς φάσης ή τη μέθοδο του τριγωνισμού είναι πιο ευαίσθητα και απαιτούν νυχτερινές λήψεις.

## 3.2. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ LASER SCANNING ΣΤΗΝ ΟΔΟΠΟΙΙΑ

### 3.2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Από το 1994 έχουν ξεκινήσει ποικίλες εφαρμογές που σχετίζονται με την παραγωγή ψηφιακών μοντέλων εδάφους με τη βοήθεια του επίγειου σαρωτή. Τα γραφεία τοπογραφίας και χαρτογράφησης των ομοσπονδιακών κρατιδίων της Γερμανίας, άρχισαν να αναπτύσσουν μια τεχνική που σήμερα επιτρέπει την αναλυτική μοντελοποίηση και περιγραφή της γήινης επιφάνειας, συμπεριλαμβανομένων των κτιρίων και της βλάστησης που την απαρτίζουν (Petzold, 1999).. Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DTM), που δημιουργείται από τη σάρωση μοντέλων μελέτης, αποτελεί ενδιαφέρον προϊόν για πολλές επιστήμες.

Οι τεχνικές σάρωσης συνεχώς εξελίσσονται, μειώνοντας χρόνο με το χρόνο το κόστος και το χρόνο κάλυψης των απαιτήσεων. Στην επιστήμη της οδοποιίας, η ανάγκη αύξησης της ακρίβειας των μετρήσεων και της μείωσης των εργασιών πεδίου, οδήγησε τα τελευταία χρόνια στη συστηματική αξιοποίηση της τεχνολογίας αυτής, κάτι το οποίο φαίνεται από τις ποικίλες εφαρμογές που παρουσιάζονται παρακάτω.

### 3.2.2. ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

Η απλή απεικόνιση του νέφους σημείων δίνει στον χρήστη μια ήδη πολύ καλή τρισδιάστατη προοπτική της σαρωμένης σκηνής ή του προς μελέτη αντικειμένου. Μερικοί τελικοί χρήστες προτιμούν να χρησιμοποιούν τα γεωαναφερμένα ή ανεπεξέργαστα δεδομένα νεφών σημείων ως έχουν, εντάσσοντας τα στη συνέχεια σε προγράμματα σχεδιασμού τρισδιάστατων μοντέλων ή σε βάσεις δεδομένων όπως το πρόγραμμα AutoCAD. Ωστόσο, προκειμένου να αναλυθεί ο χαρακτήρας και το σχήμα των σαρωμένων επιφανειών, είναι απαραίτητη η μετατροπή των ακανόνιστα κατανομημένων σημείων σε μια τρισδιάστατη επιφάνεια πληροφορίας. Στη γεωλογική μοντελοποίηση χρησιμοποιούνται ευρέως τεχνικές ανασυγκρότησης (Cowan et al, 2002). Ο στόχος της συγκεκριμένης εφαρμογής είναι η ανακαστασκευή μεγάλων τρισδιάστατων γεωλογικών σχηματισμών – όγκων, έχοντας ως βάση πληροφορίες από περιορισμένες γεωτρήσεις και γεωφυσικά προφίλ.

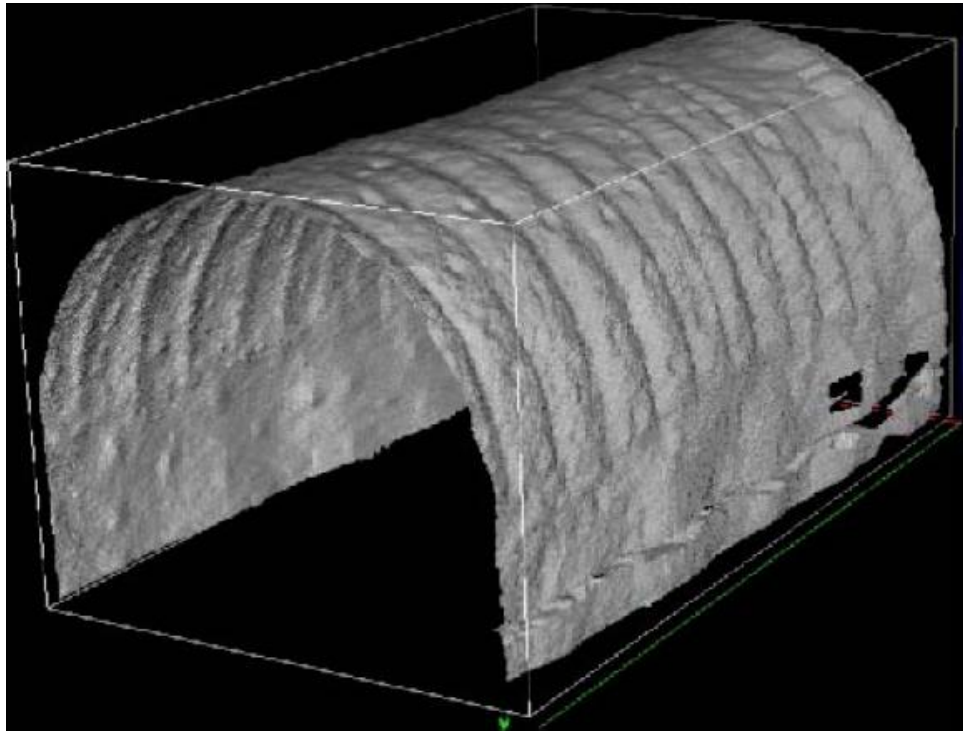
Εξειδικευμένοι σαρωτές λέιζερ έχουν αναπτυχθεί για την μέτρηση της γεωμετρίας μιας σήραγγας. Τα συγκεκριμένα όργανα μετρούν τη διαφορά φάσης εκπεμπόμενης και ανακλώμενης ακτινοβολίας, και υπολογίζουν τις απαιτούμενες αποστάσεις. Η τεχνολογία αυτή, όπως προαναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί επιτυχώς για μικρές αποστάσεις. Επιτυγχάνεται λεπτομερή καταγραφή της γεωμετρίας με ταχύτητα και ακρίβεια που εξαρτάται κάθε φορά από το όργανο που χρησιμοποιείται.

Δεδομένου ότι η εσωτερική γεωμετρία της σήραγγας καταγράφεται με πολύ μεγάλη ακρίβεια, είναι εφικτό με την πάροδο των χρόνων να γίνει παρακολούθηση πιθανών μικρομετακινήσεων στην κατασκευή, πραγματοποιώντας εκ νέου σαρώσεις, και συγκρίνοντας τις παλαιότερες με τις μελλοντικές μετρήσεις.

Με τη βοήθεια του laser scanner είναι εφικτή η απόκτηση μετρητικής πληροφορίας από πολλών ειδών τρισδιάστατα μοντέλα που δημιουργούνται ύστερα από τη σάρωση τους.

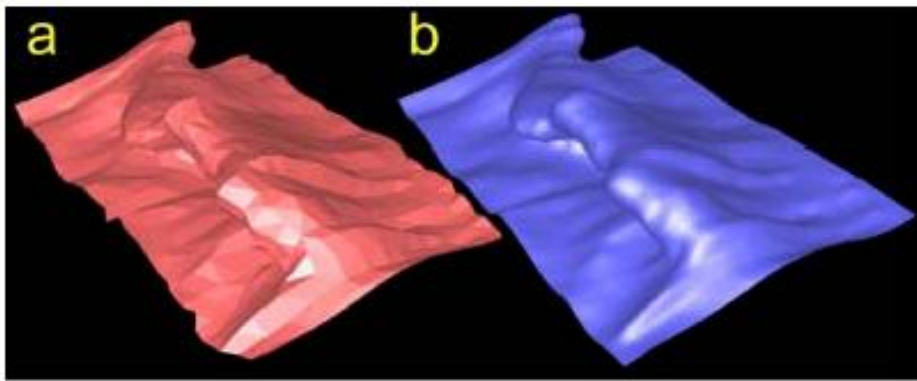
Συγκεκριμένα, είναι εφικτή:

- Η μέτρηση όγκου επιχωμάτων
- Η λεπτομερής και μεγάλης κλίμακας τοπογραφική χαρτογράφηση
- Η τοπογράφηση βραχωδών επιφανειών
- Η ψηφιακή χαρτογράφηση προεξοχών βράχων και ο χαρακτηρισμών των μαζών αυτών.



Εικόνα 3.4 Μοντέλο σάρωσης σήραγγας στην Αυστρία (Πηγή: Riegl, 2003)

Με τη βοήθεια αλγορίθμων αναδιαμόρφωσης επιφανειών είναι εφικτή η απόκτηση χαμένης μετρητικής πληροφορίας, λόγω διάβρωσης του προς μελέτη αντικειμένου. Με τη βοήθεια παραμετρικών τεχνικών, δημιουργούνται ακριβείς, πιο φυσικές αναπαραστάσεις των επιφανειακών δεδομένων, ιδίως σε τομές όπου παρουσιάζονται ελλείψεις δεδομένων, και απαιτείται περισσότερη υπολογιστική ισχύ στις πολυγωνικές τεχνικές παρεμβολής (Slob, Hack).



Εικόνα 3.5 Σύγκριση επιφανειών μετά από ψηφιακή επεξεργασία (Πηγή: Cowan et al., 2002).

### 3.2.3. ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ (ΔΙΑΒΑΣΕΙΣ ΠΕΖΩΝ, ΔΙΑΓΡΑΜΜΙΣΕΙΣ)

Ακριβή και έξυπνα, ενημερωμένα στοιχεία από το στατικό περιβάλλον είναι απαραίτητα για τον οδικό σχεδιασμό και τη μηχανική. Στοιχεία απαιτούνται και κατά τη φάση του σχεδιασμού αλλά και κατά τη φάση της συντήρησης. Στο πρώτο μέρος απαιτούνται κυρίως ακριβή υψομετρικά μοντέλα, σε συνδυασμό με τρισδιάστατες απεικονίσεις.

Ο μηχανικός, με τη βοήθεια των τρισδιάστατων μοντέλων μπορεί να τεκμηριώσει οδικές πληροφορίες που είναι απαραίτητες για την ενίσχυση άλλων εφαρμογών, όπως τη μοντελοποίηση του θορύβου, την οδική ασφάλεια, την συντήρηση του οδικού δικτύου, και την πλοήγηση πεζών και οχημάτων. Η αποτύπωση του οδικού περιβάλλοντος περιλαμβάνει τόσο τη γεωμετρία του δρόμου όσο και τον περιβάλλοντα χώρο. Με τον όρο γεωμετρία του δρόμου, εννοούνται όλες εκείνες οι παράμετροι που

χρησιμοποιούνται για την γεωμετρική σχεδίαση των δρόμων, όπως η ταχύτητα σχεδιασμού, η απόσταση ακινητοποίησης του οχήματος, η ορατότητα, το πλάτος της λωρίδας, τα υλικά οδοστρωμάτων, οι διαμήκεις και εγκάρσιες κλίσεις. Τα δεδομένα αυτά είναι απαραίτητα κυρίως για παλαιότερους δρόμους, όπου γίνονται μελέτες αναβάθμισης και αξιολόγησης της ποιότητάς τους. Με τον όρο του περιβάλλοντα χώρου, εννοείται η περιοχή που περιβάλλει το οδικό τμήμα, όπως τα κτίρια, η φυτοκάλυψη, οι σημάσεις κτλ. (Jaakkola et al, 2008).

Με την βοήθεια σαρωτών λέιζερ είναι εφικτή η μοντελοποίηση ενός δρόμου που αποτελείται από πεζοδρόμια και οδοστρώματα που έχουν «ζωγραφισμένα» πάνω τους διαβάσεις πεζών, γραμμές στάθμευσης κτλ. Κατακερματισμένα νέφη σημείων είναι εφικτά να συνενωθούν με τη βοήθεια προγραμμάτων που χρησιμοποιούν την ακανόνιστη τριγωνική μορφή δικτύου. Με τα πρώτα στοιχεία των μετρήσεων, δημιουργείται τριγωνισμός για να αναπαρασταθεί η επιφάνεια και για κάθε τρίγωνο εκτιμάται η κλίση του. Τελικά, χρησιμοποιώντας ως βάση ένα ποσοστό απόκλισης από τη μέση κλίση του οδοστρώματος, ομαλοποιούνται τα μοντέλα, και δίνεται πολύ καλύτερη εποπτεία του αποτελέσματος στον χρήστη.

Η καταγραφή γραμμών, διαβάσεων και πεζοδρομίων που συναντώνται πάνω και δίπλα σε ένα οδόστρωμα επετεύχθη σε ποσοστό 80,6%, 92,3% και 79,7% αντίστοιχα.



Εικόνα 3.6 Αξιολόγηση της ακρίβειας του μοντέλου (Πηγή: Jaakkola et al, 2008)

Στόχος	Πληρότητα	Ορθότητα	Μέση ακρίβεια
Γραμμές	86,6%	74,6%	80,6%
Διαβάσεις πεζών	95,1%	89,5%	92,3%
Κράσπεδα Πεζοδρομίων	73,9%	85,6%	79,7%

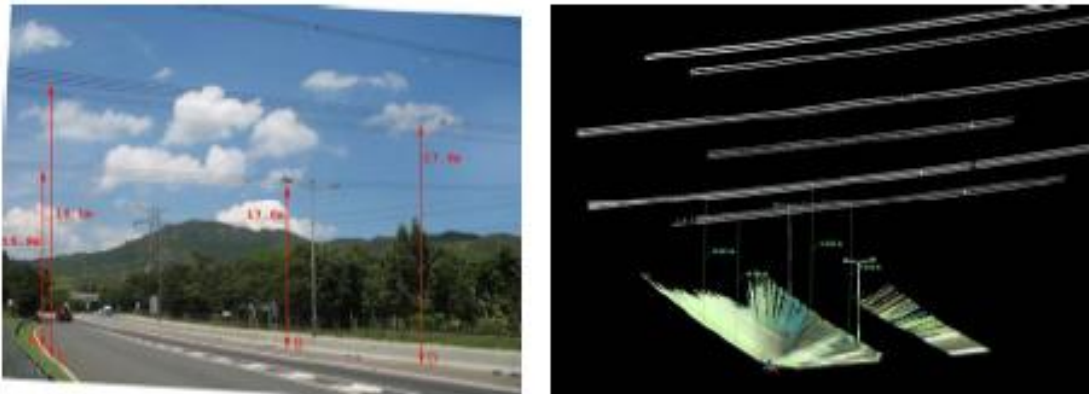
Πίνακας 3-1 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων (Πηγή: Jaakkola et al, 2008)

Με τη βοήθεια νεφών σημείων από σταθερό σαρωτή είναι εφικτός ο προσδιορισμός διαφορετικών υψομετρικών επιπέδων στην επιφάνεια ενός δρόμου. Επιλέγοντας το κατάλληλο εύρος πεδίου, και την κατάλληλη ανάλυση σάρωσης, τα αποτελέσματα είναι σημαντικά και αρκετά ευκρινή.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει και η δυνατότητα καταγραφής καλωδιώσεων ή άλλων στοιχείων πάνω από το οδικό δίκτυο μιας περιοχής. Πιθανή διαπλάτυνση μιας υφιστάμενης οδού, απαιτεί μετρήσεις κάθετων αποστάσεων οι οποίες με τη βοήθεια ενός τρισδιάστατου μοντέλου, μπορούν να γίνουν με ασφάλεια και με πολύ καλή ακρίβεια. Η χρήση γεωδαιτικών ή άλλων μεθόδων μέτρησης αποτελεί χρονοβόρα και επικίνδυνη λύση λόγω δυσκολιών πρόσβασης και των υψηλών τάσεων των καλωδίων.



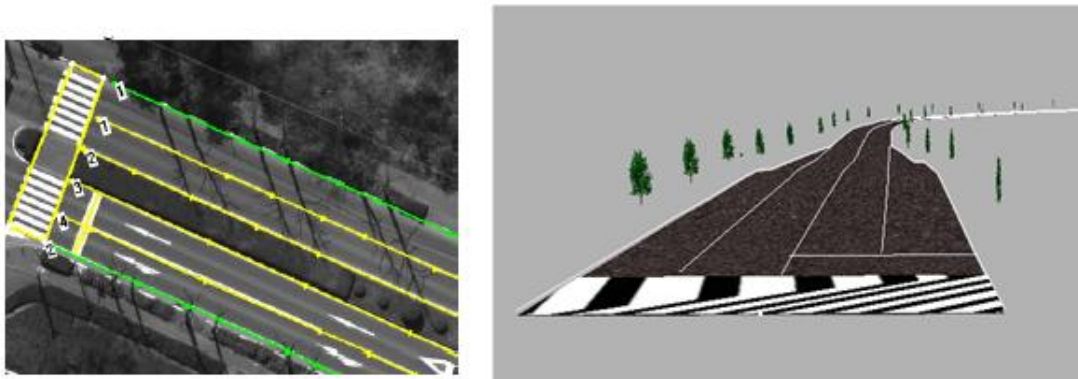
Εικόνα 3.7 Παρουσία καθιζήσεων ασφάλτου σε αυτοκινητόδρομο (Πηγή: Chow, 2007)



Εικόνα 3.8 Μέτρηση στοιχείων πάνω από ένα οδικό τμήμα (Πηγή: Chow, 2007)

### 3.2.4. ΣΑΡΩΣΕΙΣ LASER SCANNER ΣΤΙΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΤΩΝ ΑΜΕΑ

Σημαντικά βήματα ως προς την καταγραφή και αξιολόγηση αναγκών συστημάτων υποστήριξης για τις ομάδες ΑΜΕΑ έγιναν με την βοήθεια σαρώσεων με laser scanner. Πιο συγκεκριμένα, απαραίτητα για την αποφυγή ατυχημάτων ατόμων με προβλήματα στην όραση αλλά και ατόμων με κινητικά προβλήματα είναι τα 3D μοντέλα, τα οποία περιέχουν πληροφορίες σχετικά με την επιφάνεια του οδοστρώματος (όχι μόνο του οδικού δικτύου), την θέση και το σχήμα εμποδίων σε πολύ καλή ανάλυση. Με τη βοήθεια του TLS (Terrestrial Laser Scanning) είναι εφικτή η ανακατασκευή των δρόμων βάσει των μοντέλων που δημιουργούνται, δίνοντας ιδιαίτερη προσοχή σε διασταυρώσεις, λόγω διαφορετικών μεθόδων σχηματοποίησης και κατασκευής. Προβλήματα σκίασης μπορούν να αποφευχθούν λόγω πολλών σαρώσεων από διαφορετικά σημεία (Shi et al).



Εικόνα 3.9 Τρισδιάστατο μοντέλο ανακατασκευής υπάρχοντος οδικού δικτύου (Πηγή:Shi et al)

Όπως αναφέρεται στην ίδια δημοσίευση, μέσα από την έρευνα που πραγματοποιήθηκε, διαπιστώθηκε πως από τις εικόνες TLS είναι εφικτή η λήψη ευκρινέστατων στοιχείων ως προς τη γεωμετρία του υπάρχοντος οδικού δικτύου. Με τη βοήθεια των σαρώσεων, μπορεί εύκολα να δημιουργηθεί ένας υψηλής ακρίβειας ψηφιακός χάρτης πλοήγησης, βάσει του οποίου θα γίνουν οι μελέτες ανακατασκευής ορισμένων τμημάτων, προς διευκόλυνση της κυκλοφορίας των ΑΜΕΑ. Το υπόβαθρο αυτό, μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στον εντοπισμό σημείων που παρουσιάζουν σημαντικές πιθανότητες ατυχήματος για τις ευπαθείς αυτές ομάδες πληθυσμού, και συνεπώς στον προγραμματισμό εργασιών ανακατασκευής τους.

### 3.2.5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΟΔΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΣΑΡΩΤΩΝ

Η παρακολούθηση κατασκευών οδικού δικτύου δεν είναι σημαντική μόνο σε επικίνδυνες περιοχές, όπως αυτές με σεισμικό ενδιαφέρον. Λόγω ποικίλων μορφών έκθεσης και φθορών, παρουσιάζονται συχνά αστοχίες οι οποίες όμως μπορούν να ανιχνευθούν από έναν ειδικό σε πολύ πρώιμο στάδιο. Οι κανονισμοί απαιτούν συχνή αποτύπωση των κατασκευών αυτών καθώς επίσης και λεπτομερής εξέταση τους από τους αρμόδιους μηχανικούς. Οι συμβατικές μέθοδοι υποδεικνύουν τη χρήση ταχύμετρου, οι σύγχρονες όμως μέθοδοι υποδεικνύουν την χρήση σαρωτών λέιζερ.

Σε μια μελέτη η οποία πραγματοποιήθηκε σε γέφυρα αυτοκινητοδρόμου, διαπιστώθηκε πως για την πλήρη κάλυψη της απαιτούνται παραπάνω από μια σαρώσεις γύρω από αυτή. Συγκρίνοντας μετρήσεις αποστάσεων που πραγματοποιήθηκαν με laser scanner σε σχέση με μετρήσεις συμβατικών τοπογραφικών μεθόδων, διαπιστώθηκε πως οι διαφορές είναι πολύ μικρές και άρα σχεδόν ασήμαντες (Kretschmer, Abmayr, Thies, Frohlich).

Τα αποτελέσματα αυτά τονίζουν πως είναι εφικτή η καταγραφή μεγάλου όγκου πληροφορίας σε μικρότερο χρονικό διάστημα, μειώνοντας έτσι το κόστος των μετρήσεων και την ανάγκη σε ανθρώπινο δυναμικό. Η εξέταση των ψηφιακών μοντέλων απαιτεί λιγότερη προσπάθεια, και άρα γίνεται ευκολότερη η παρακολούθηση των διαφορών σε σημαντικές κατασκευές μέσα στο χρόνο. Τα ψηφιακά δεδομένα που δημιουργούνται μετά από κάθε σάρωση, επιτρέπουν τη δημιουργία μιας βάσης



δεδομένων η οποία επιτρέπει την γρήγορη και πλήρη παρακολούθηση ενός έργου και άρα τον γρήγορο εντοπισμό αστοχιών που μπορεί στο μέλλον να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο ως προς την ακεραιότητα του.

Αριθμός σημείου	Μέτρηση ύψους με συμβατικές μεθόδους	Μέτρηση ύψους από 3D μοντέλο	Διαφορά
1	4,78	4,76	0,02
2	4,65	4,65	0,00
5	4,85	4,86	-0,01
6	4,70	4,71	-0,01
9	5,18	5,21	-0,03
10	5,02	5,01	0,01

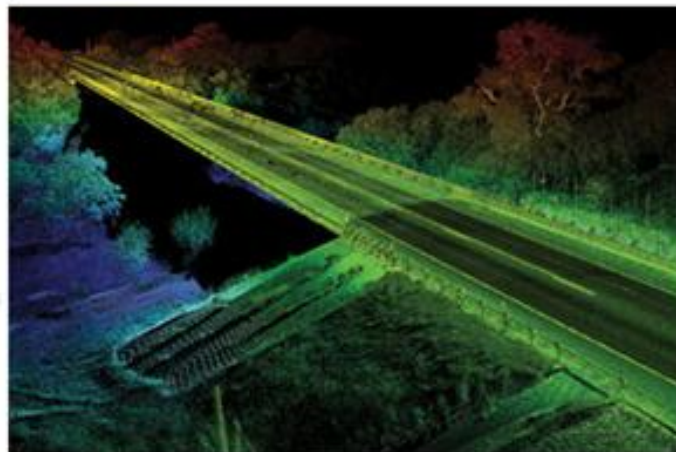
Πίνακας 3-2 Πίνακας αποτελεσμάτων μετρήσεων μελέτης (Πηγή: Kretschmer et al. )

### 3.2.6. ΧΡΗΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ LASER SCANNING ΜΕΣΩ ΚΙΝΗΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ (MMS)

Η κινητή χαρτογράφηση είναι η τεχνική που χρησιμοποιεί ένα κινητό σύστημα πολλών δεκτών για την ταχεία συλλογή απευθείας γεωαναφερώμενων τηλεσκοπικών δεδομένων. Μια από τις βασικές εφαρμογές της είναι η ενημέρωση και καταγραφή στοιχείων οδών, που αφορούν την κυκλοφορία και την ασφάλεια. Συγκεκριμένα, για την καταγραφή του οδικού χώρου το όχημα οφείλει να περιλαμβάνει έναν αριθμό από ψηφιακές κάμερες προσανατολισμένες προς την κίνηση του οχήματος, καθώς και πλάγιες και οπίσθιες ψηφιακές κάμερες με τις οποίες καταγράφεται ο πλάγιος οδικός χώρος του οχήματος, που δεν περιλαμβάνεται στο οπτικό πεδίο των προς τα εμπρός προσανατολισμένων καμερών. Η καταγραφή των καμερών οφείλει να είναι ρυθμιζόμενη με το πολλαπλό σύστημα εντοπισμού θέσης του οχήματος για τον άμεσο προσδιορισμό της θέσης της οποιαδήποτε θεματικής ενότητας με την προδιαγεγραμμένη ακρίβεια (Κοσμάς, 2008).

Η χρήση της τεχνολογίας των Κινητών Συστημάτων Χαρτογράφησης σε οδικές εφαρμογές παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα. Η απόκτηση των τρισδιάστατων δεδομένων πραγματοποιείται χωρίς την ανάγκη διακοπής της κυκλοφορίας για κανονικές ταχύτητες. Επίσης εφόσον τα δεδομένα συλλέγονται και επεξεργάζονται σε μικρό χρονικό διάστημα, είναι εφικτές οι συχνές και επαναλαμβανόμενες οδικές χαρτογραφήσεις.

Συνολικά, η συγκεκριμένη τεχνολογία σάρωσης παρέχει στους σχεδιαστές μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα του έργου, με πολύ πυκνές, και εξαιρετικά ακριβείς μετρήσεις σημείων, και την δυνατότητα εντοπισμού χαρακτηριστικών που είναι οικονομικά απαγορευτικό ή τεχνικά δύσκολο να συλληθούν μέσω άλλων μεθοδολογιών.

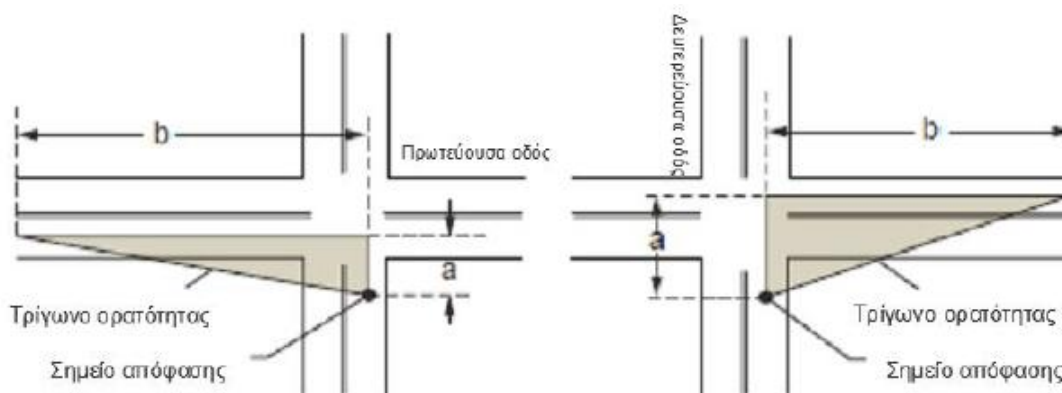


Εικόνα 3.10 Παραδείγματα νεφών σημείων με τη βοήθεια MMS (Πηγή: <http://www.profsurv.com>)

### 3.2.7. ΜΕΛΕΤΗ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ

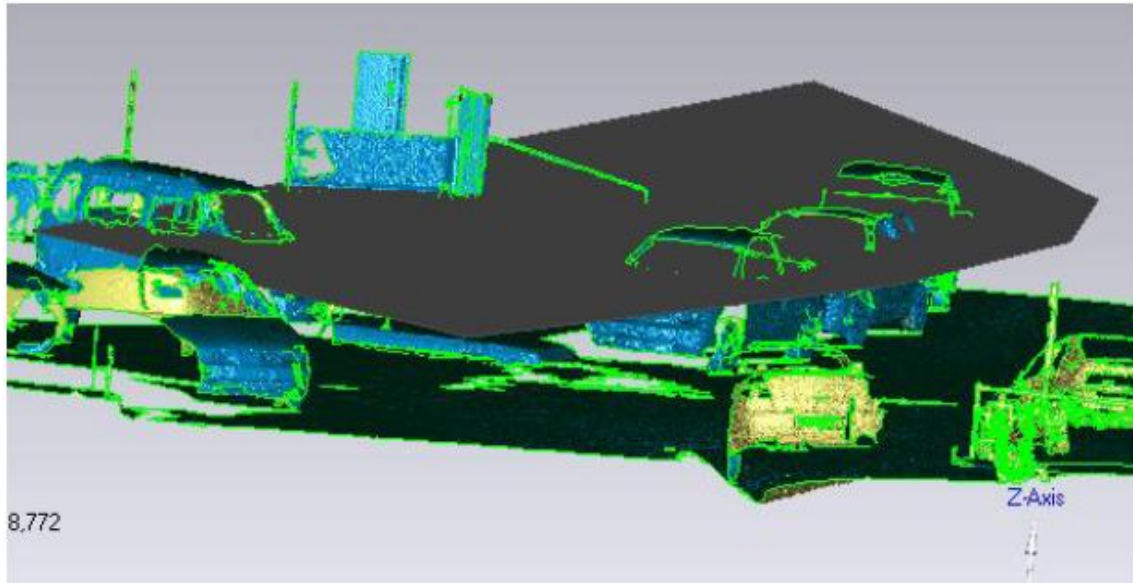
Με τη βοήθεια επίγειων σαρώσεων σε αστικούς και υπεραστικούς κόμβους, είναι εφικτός ο εντοπισμός του πεδίου ορατότητας ενός οδηγού οχήματος. Η ορατότητα σε έναν οδικό κόμβο πρέπει να είναι τέτοια, ώστε ο οδηγός που πλησιάζει σε μια ισόπεδη διασταύρωση να έχει ανεμπόδιστη θέα όλης της περιοχής του κόμβου, ώστε να μπορεί να ελέγξει το όχημά του σε περίπτωση εμποδίου (Γεωργαλάς, 2010).

Η σχεδίαση των τριγώνων ορατότητας γίνονται σε κατάλληλα σχεδιαστικά προγράμματα στα οποία έχουν εισαχθεί τα δεδομένα μετρήσεων από το laser scanner. Ο σχεδιασμός γίνεται με βάση το ύψος του ματιού του οδηγού και το ύψος των επιβατηγών οχημάτων που κινούνται στο κάθετο ρεύμα κυκλοφορίας.

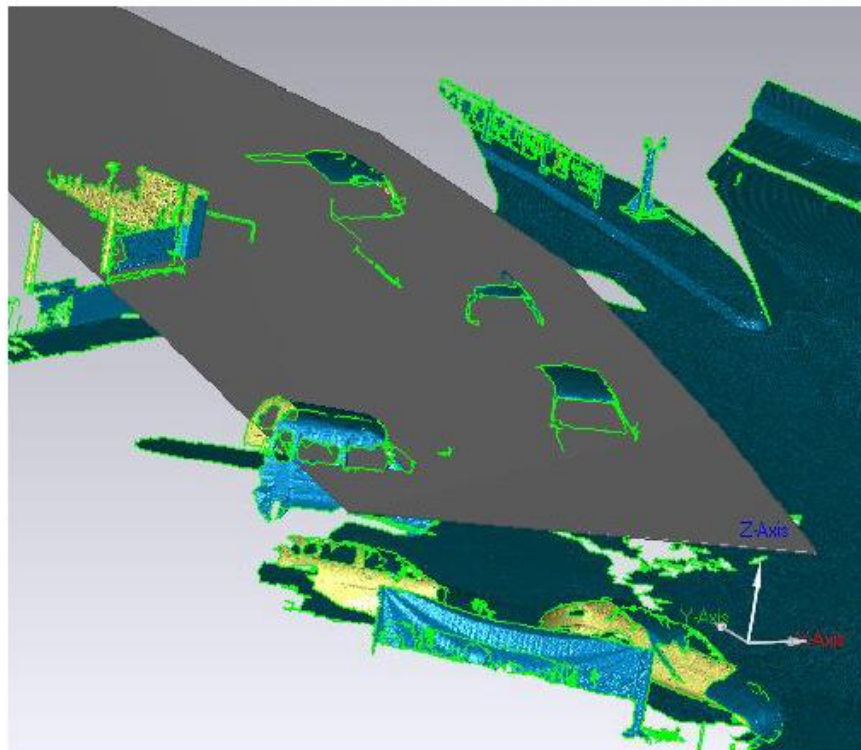


Εικόνα 3.11 Τρίγωνα ορατότητας αναχώρησης (Πηγή: Easa, 2003)

Μέσα από τα παρακάτω σχέδια, εντοπίστηκε πως τόσο τα σταθμευμένα οχήματα, όσο και κάποια κτίρια, αποτελούν σημαντικά εμπόδια στο πεδίο ορατότητας του οδηγού ενός οχήματος. Σε υπεραστικούς κόμβους, έγινε λόγος και για προβλήματα μεγάλων κατά μήκος κλίσεων, οι οποίες μπορούν να συμβάλλουν αρνητικά στο φαινόμενο αυτό που αναλύεται.



Εικόνα 3.12 Τρίγωνο ορατότητας στο περιβάλλον του λογισμικού Geomagic (Πηγή: Γεωργαλάς, 2010)



Εικόνα 3.13 Τρίγωνο ορατότητας στο περιβάλλον του λογισμικού Geomagic (Πηγή: Γεωργαλάς, 2010)

Όλα τα παραπάνω συμπεράσματα θα ήταν ιδιαίτερος δύσκολα να ληφθούν, εάν δεν υπήρχε η τεχνολογία σάρωσης, που επιτρέπει την ακριβή και αξιόπιστη αποτύπωση του περιβάλλοντα χώρου ενός κόμβου. Οι συμβατικές μέθοδοι μετρήσεων δεν επιτρέπουν την ολοκληρωμένη καταγραφή των εμποδίων. Η τρισδιάστατη πληροφορία επιτρέπει την καλύτερη δυνατή οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων, αλλά και την περαιτέρω δυνατότητα μελέτης εύρεσης λύσεων χωρίς την υποχρεωτική παρουσία των μελετητών στον χώρο διεξαγωγής των μετρήσεων.

### 3.2.8. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΟΔΙΚΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

Ως μια τελευταία εφαρμογή των επίγειων σαρωτών, αναφέρεται η διεργασία μελετών οδικής ασφάλειας. Πιο συγκεκριμένα, με τη βοήθεια κατάλληλα συλλεχθείσας πληροφορίας, γίνεται εφικτή η ποιοτική αξιολόγηση των οδικών χαρακτηριστικών σε περιοχές διασταυρώσεων.

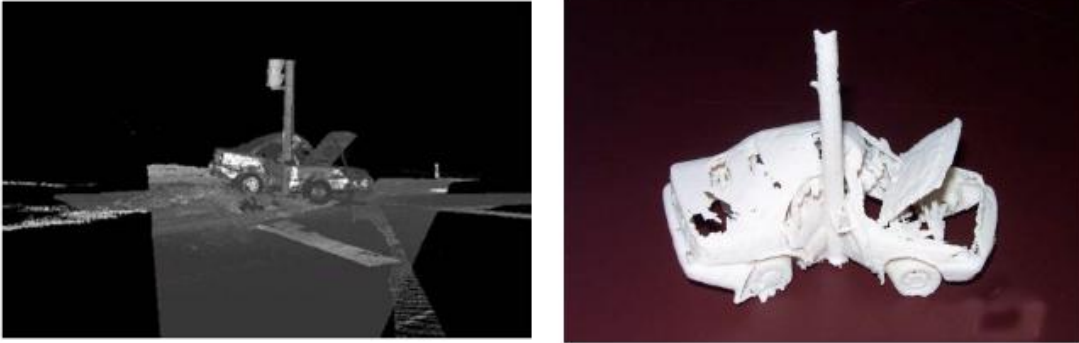


Εικόνα 3.14 Σαρώσεις διασταυρώσεων (Πηγή: Πατακιά, 2004)

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν ειδικοί στόχοι, κατάλληλα αναγνωρίσιμοι από το λογισμικό Cyclone. Επιπλέον, έγιναν μετρήσεις χαρακτηριστικών σημείων με τη βοήθεια ενός ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού, επιτρέποντας έτσι την καλύτερη δυνατή συνένωση των νεφών σημείων σάρωσης (Pagounis et al).

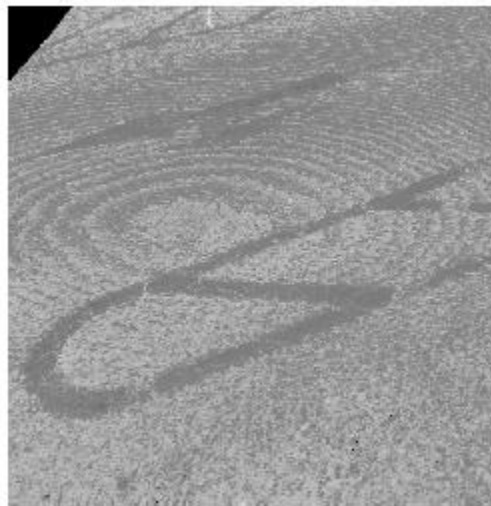
Στα προϊόντα που μπορούν να παραχθούν κατά τη σάρωση των επικίνδυνων διασταυρώσεων, είναι πιθανή ακόμη και η αποτύπωση ατυχημάτων. Με τα δεδομένα

αυτά, είναι εφικτή η έρευνα πάνω στους παράγοντες που μπορούν να συμβάλλουν στην πρόκληση ατυχήματος σε πολύ ικανοποιητικό βαθμό. Το τρισδιάστατο μοντέλο, επιτρέπει την καλύτερη δυνατή εποπτεία του περιβάλλοντα χώρου, καθώς επίσης και των ζημιών που μπορούν να προκληθούν σε αυτό αλλά κυρίως στο όχημα ή οχήματα που εμπλέκονται στο συμβάν.



Εικόνα 3.15 Δεδομένα σάρωσης από ατύχημα (Πηγή: Jenkins, 2005)

Με κατάλληλες σαρώσεις σε κοντινές αποστάσεις, είναι εφικτή ακόμη και η αποτύπωση των αποτυπωμάτων ελαστικών αυτοκινήτου πάνω στην άσφαλτο. Τέτοιες πληροφορίες αποτελούν σημαντικά στοιχεία αξιολόγησης των συνθηκών που οδήγησαν στο προς μελέτη ατύχημα.



Εικόνα 3.16 Παράδειγμα αποτυπώματος ελαστικού ύστερα από σάρωση σε απόσταση 20 μέτρων  
(Πηγή: Πατακιά, 2004)

### 3.3. ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΔΑΦΟΥΣ (DTM)

Το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DTM) περιγράφει το υψόμετρο οποιουδήποτε σημείου σε μια συγκεκριμένη περιοχή σε ψηφιακή μορφή ενώ παράλληλα περιέχει πληροφορίες. Ένας ορισμός είναι αυτός του Moore (Meijerink et al 1994), όπου σαν Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους μπορεί να οριστεί μια διατεταγμένη σειρά αριθμών που εκφράζουν την χωρική κατανομή των υψομέτρων σε ένα τοπίο.

---

#### 3.3.1. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ DTM

Οι βασικές δομές ενός ψηφιακού μοντέλου εδάφους, σύμφωνα με τον Γεωργόπουλο (2010), είναι:

- το τριγωνικό δίκτυο TIN (Triangulated Irregular Network) όταν η επιφάνεια του προσομοιάζεται από τρίγωνα για τα οποία είναι γνωστές οι τρισδιάστατες συντεταγμένες των κορυφών τους
- τα δίκτυα που αποτελούνται από συνήθως από έναν ορθογωνικό κάναβο, στις κορυφές του οποίου υπάρχει η τιμή κάθε υψομέτρου παρουσιάζοντας έτσι μια συστηματική κατανομή
- το γραμμικό μοντέλο, όταν δηλαδή, η επιφάνεια αναπαρίσταται από γραμμές, τις ισοϋψείς καμπύλες, οι οποίες αποτελούνται από σημεία με το ίδιο υψόμετρο.

---

#### 3.3.2. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΝΟΣ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Για τη δημιουργία ενός ψηφιακού μοντέλου εδάφους, λαμβάνονται υπόψη στοιχεία από πρωτογενή ή δευτερογενή δεδομένα. Στην πρώτη κατηγορία, εντάσσονται οι επίγειες μετρήσεις, καθώς επίσης και τα δεδομένα συλλογής τηλεπισκοπικών και

φωτογραμμετρικών αποδόσεων, ενώ στη δεύτερη κατηγορία εντάσσονται κυρίως τα δεδομένα που συλλέγονται από τις υψομετρικές καμπύλες υφιστάμενων χαρτογραφήσεων.

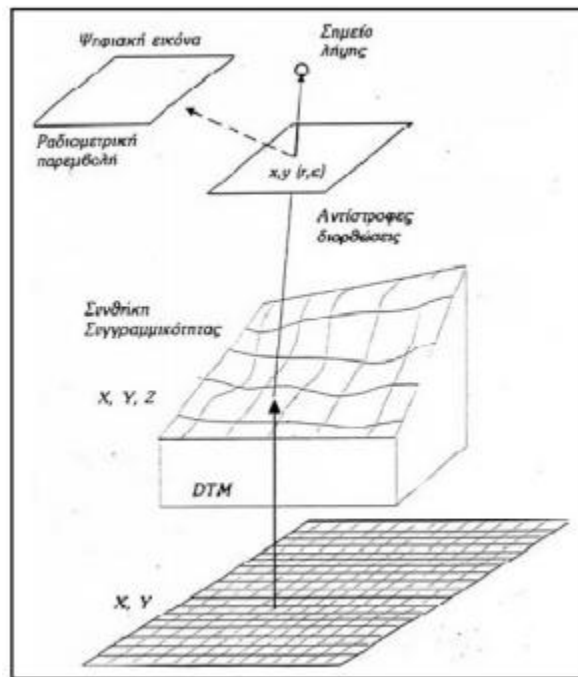
Δεδομένα επίγειων μετρήσεων λαμβάνονται μέσα από τη χρήση ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών. Γίνονται ακριβείς μετρήσεις επιλεγμένων σημείων οδεύσεων ή άλλων χαρακτηριστικών σημείων, τα οποία στη συνέχεια θα αποδώσουν τη μορφή του εδάφους της συγκεκριμένης μικρής περιοχής μελέτης. Η συλλογή στοιχείων αποτελεί χρονοβόρα διαδικασία, γι αυτό και συνήθως προτιμώνται άλλες μέθοδοι για την καταγραφή του γεωμετρικού χαρακτήρα της γήινης επιφάνειας.

Στη φωτογραμμετρία έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι κατασκευής ενός τρισδιάστατου μοντέλου αντικειμένου. Έχουν αναπτυχθεί διαδικασίες, οι οποίες χρησιμοποιούν μόνο μία φωτογραφία και προϋποθέτουν τη γνώση της γεωμετρικής μορφής του αντικειμένου. Μέσα από τη μονοεικονική απόδοση σχηματίζεται η ορθοφωτογραφία με αναλογικό ή αναλυτικό τρόπο. Στη συνέχεια οι ορθοφωτογραφίες μετατρέπονται με την πρόσθεση κάποιων γραφικών πληροφοριών σε ορθοφωτοχάρτες, οι οποίοι είναι σημαντικά πιο χρήσιμοι από έναν γραμμικό χάρτη, δηλαδή ένα διανυσματικό προϊόν, ιδίως όταν πρόκειται για φυσικό έδαφος.

Επίσης υπάρχει και η διεικονική απόδοση για την δημιουργία ορθοφωτογραφιών. Για να εφαρμοστεί, πρέπει να αποκατασταθεί ο εσωτερικός και ο εξωτερικός προσανατολισμός των φωτογραφιών έτσι ώστε να προσδιοριστούν οι γεωδαιτικές συντεταγμένες κάθε σημείου με επίλυση εμπροσθοτομίας. Μετά την αποκατάσταση των προσανατολισμών οι δύο δέσμες έχουν την ακριβή θέση κατά τη στιγμή λήψης, κι έτσι είναι εφικτός ο προσδιορισμός της γεωδαιτικής θέσης κάθε σημείου με την επίλυση εμπροσθοτομίας και άρα την τελική παραγωγή ενός ψηφιακού μοντέλου εδάφους από επιλεγμένα χαρακτηριστικά σημεία (Kraus, 2003).

Το γενικό χαρακτηριστικό της φωτογραμμετρικής αποτύπωσης είναι το ότι δεν διασπάται η συνέχεια του αντικειμένου από τμηματική και σημειακή διακριτοποίηση, που είναι η περίπτωση της τοπογραφικής αποτύπωσης. Στη περίπτωση αυτή, το κόστος της συλλογής δεδομένων είναι φθινό, ενώ η επεξεργασία και η απόδοση ακριβή.





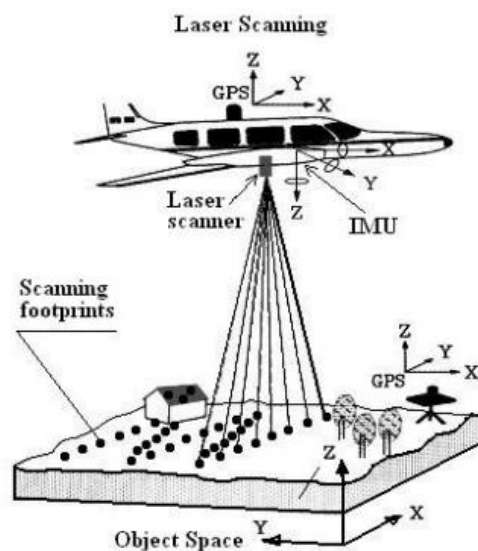
Εικόνα 3.17 Σχηματική διαδικασία παραγωγής ψηφιακής ορθοφωτογραφίας (Πηγή: Σιεητάνης, 2008)

Η Τηλεπισκόπηση ορίζεται ως η τεχνική απόκτησης πληροφοριών για αντικείμενα που βρίσκονται στη γήινη επιφάνεια, μέσα από την ανάλυση δεδομένων που συλλέγονται από ειδικά όργανα τα οποία όμως δεν έχουν φυσική επαφή με τα αντικείμενα. Έτσι, η Τηλεπισκόπηση μπορεί να αποδοθεί και ως η αναγνώριση ενός αντικειμένου από απόσταση (Avery, Berlin, 1992). Οι νέες τεχνολογίες που ασχολούνται με τον τρόπο εξαγωγής τρισδιάστατων δεδομένων τηλεπισκόπησης της κάλυψης εδάφους συνεχώς αναπτύσσονται και χρησιμοποιούνται για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών.

Η τεχνολογία LIDAR είναι μια από αυτές, η οποία άρχισε να χρησιμοποιείται στα μέσα της δεκαετίας του 90, και εξελίσσεται συνέχεια από τότε. Υπάρχει μια συσκευή ανίχνευσης λέιζερ με έναν περιστρεφόμενο κάτοπτρο που βρίσκεται στο αεροπλάνο. Η θέση της συσκευής μετρείται και καταγράφεται σε πραγματικό χρόνο από ένα δορυφορικό σύστημα εντοπισμού (GPS) και ένα IMU. Οι διαφορικές μετρήσεις GPS ελέγχονται με τη χρησιμοποίηση μιας επιπλέον συσκευής GPS σε έναν γνωστό επίγειο σταθμό. Τα τοπογραφικά Lidar χρησιμοποιούν μια ενεργό ακτίνα λέιζερ της συνεχούς ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που κεντροθετείται στην κοντινή υπέρυθρη περιοχή φάσματος για τις επίγειες μετρήσεις και στην ορατή περιοχή φάσματος για τις μη επιφανειακές μετρήσεις. Οι μετρήσεις είναι πραγματικά ανυψώσεις σημείων σε μια συχνότητα που κυμαίνεται από 10000Hz ως 50000Hz. Μέσα από την τελική γεωμετρία του συστήματος Lidar, προκύπτουν τελικά οι τρισδιάστατες συντεταγμένες των

σημείων του εδάφους που ενδιαφέρουν το χρήστη, και με τα στοιχεία αυτά είναι εφικτή η παραγωγή DTM. Η ακρίβεια των αποτελεσμάτων δεν είναι ικανοποιητική για εφαρμογές που απαιτούν υψηλές ακρίβειες. Γι' αυτό το λόγο, κι επειδή το Lidar είναι μια τεχνολογία σχετικά χαμηλού κόστους, χρησιμοποιείται μαζί με άλλες τεχνολογίες τηλεπισκόπησης, όπως η αεροφωτογραφία και τα δορυφορικά στοιχεία. Κατ' αυτόν τον τρόπο η τηλεπισκόπηση, μαζί με την τεχνολογία Lidar, είναι ένα αναβαθμισμένο σύστημα, για να παρέχει τις πλήρεις και εξακριβωμένες πληροφορίες κάλυψης εδάφους στον τρισδιάστατο χώρο (Κωνσταντακάτος, 2007).

Τέλος, στα πλαίσια των πρωτογενών δεδομένων, υφίστανται και οι διαδικασίες αποτύπωσης με τη χρήση τεχνολογίας GPS. Οι δέκτες GPS, είναι μικρών διαστάσεων και βάρους, εύχρηστοι για την εκτέλεση των μετρήσεων, λειτουργούν σχεδόν σε όλες τις ατμοσφαιρικές συνθήκες, μέρα και νύχτα, και μπορούν να κεντρώνονται όπως ένα απλό θεοδόλιχο. Δεν απαιτείται ορατότητα μεταξύ των προς προσδιορισμό σημείων και το γεγονός αυτό αποτελεί από μόνο του ένα τεράστιο πλεονέκτημα σε σχέση με τις κλασικές μεθόδους αποτύπωσης. Οι ακρίβειες που επιτυγχάνονται με το GPS, ανάλογα με τις δυνατότητες του δέκτη τη μεθοδολογία μέτρησης κυμαίνονται από μερικές δεκάδες μέτρα έως και μερικά χιλιοστά του μέτρου. Επομένως αυτές οι τεχνολογίες είναι ιδανικές και για έργα οδοποιίας.



Εικόνα 3.18 Γενική διάταξη Lidar με περιστρεφόμενο κάτοπτρο, (Πηγή: Χατζόπουλος, 2006)

### 3.3.3. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ DTM ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ LASER

Μέσα σε αυτά τα τριάντα χρόνια προσπαθειών ανάπτυξης μεθοδολογιών για την πιστότερη αναπαράσταση του αναγλύφου της φυσικής γήινης επιφάνειας, παρουσιάστηκε η ανάγκη επίλυσης συγκρούσεων μεταξύ της απαίτησης μικρού χρόνου άμεσης αξιοποίησης της μετρητικής πληροφορίας, και των ολοένα και αυξανόμενων απαιτήσεων ποιοτικής λήψης των δεδομένων από τα προς μελέτη αντικείμενα. Η παρουσία της τεχνολογίας σάρωσης ως μια καινούρια μέθοδος για την παραγωγή ψηφιακού μοντέλου εδάφους επίλυσε το παραπάνω πρόβλημα. Η τεχνολογία laserscanning προάγει τη γρήγορη και πολύ ποιοτική διαδικασία συλλογής δεδομένων μεγάλων εκτάσεων, εφιστώντας παράλληλα την προσοχή στους χρήστες για την ομαλή επεξεργασία των ογκωδών πακέτων δεδομένων. Είναι αρκετά εύκολο με τις αυτοματοποιημένες μεθόδους να χαθεί σημαντική μετρητική πληροφορία, μιας και οι τεχνικές φιλτραρίσματος δεν διατρέχουν ικανοποιητικά όλα τα είδη σαρωμένων αντικείμενων ή περιοχών μελέτης.

Η νέα τεχνολογία σάρωσης έχει πολλά προτερήματα σε σχέση με τις φωτογραμμετρικές μεθόδους. Συνοπτικά παρουσιάζεται ο πίνακας 3-3 με τα πλεονεκτήματα της κάθε μιας μεθόδου.

Η τεχνολογία του laser scanning επιτρέπει την ανάπτυξη βάσεων δεδομένων χαρτογράφησης, με τις οποίες είναι εφικτή η δημιουργία ενός ολοκληρωμένου ψηφιακού μοντέλου όπου θα παρέχει τα κατάλληλα στοιχεία τεκμηρίωσης των υφιστάμενων χρήσεων γης που καταγράφονται, ανάλογα πάντα βέβαια με τη ζήτηση των χρηστών. Με τις δυνατότητες που παρέχονται, είναι εφικτή μέχρι και η λεπτομερής καταγραφή των γεωμετρικών και άλλων χαρακτηριστικών του οδικού δικτύου μιας χώρας, γεγονός το οποίο επιτρέπει την γρήγορη και πληρέστατη παρακολούθηση και αναγνώριση αδυναμιών και αναγκών βελτίωσης της υφιστάμενης κατάστασης (Συμειωνίδης, 2006).

Πλεονεκτήματα Laser Scanner
<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Απευθείας αποτύπωση σημείων 3D</li><li>➤ Επεξεργασία μεγάλου αριθμού σημείων σε επιφάνειες</li><li>➤ Άριστη μέθοδος για την αποτύπωση και περιγραφή πολύπλοκων μη κανονικών επιφανειών</li><li>➤ Τα αποτελέσματα είναι διαθέσιμα σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα</li></ul>
Πλεονεκτήματα Φωτογραμμετρίας
<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Δυνατότητα έγχρωμης πληροφορίας</li><li>➤ Απεριόριστη ακτίνα εφαρμογής</li><li>➤ Μικρός χρόνος εργασιών πεδίου</li><li>➤ Υψηλότερες αναλύσεις</li><li>➤ Χαμηλό κόστος των εικόνων</li><li>➤ Δυνατότητα εκμετάλλευσης παλιότερων φωτογραφιών</li></ul>

Πίνακας 3-3 Πλεονεκτήματα Laser Scanner - Φωτογραμμετρίας (Πηγή: Συμειωνίδης, 2006)

Στις διάφορες τεχνικές σάρωσης, συγκαταλέγεται και η χρήση ραντάρ λέιζερ πάνω σε ειδικό όχημα, η οποία επιτρέπει τη δυνατότητα γρήγορης και ικανοποιητικής δημιουργίας μιας βάσης δεδομένων σχετικά με την υφιστάμενη κατάσταση του οδοστρώματος ενός οδικού δικτύου. Διάφορες εταιρίες σήμερα, όπως η GIE Technologies Inc του Καναδά, χρησιμοποιούν στάσιμους σαρωτές για την πλήρη κάλυψη όλου του πλάτους της προς μελέτη οδού. 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. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούν κινητές μονάδες καταγραφής διαθέτουν σύστημα GPS για τον ακριβή προσδιορισμό της θέσης κάθε στιγμή (Bennett et al, 2002).



Εικόνα 3.19 Mobile Mapping System (Πηγή: <http://www.gim-international.com>)

Όπως αναφέρει ο Kukko, το Ινστιτούτο γεωδαισίας της Φινλανδίας έχει αναπτύξει ένα κινητό σύστημα χαρτογράφησης (ROAMER, 2003), το οποίο ουσιαστικά αποτελείται από μια πλατφόρμα με σύστημα εντοπισμού στίγματος και πλοήγησης και ένα σύστημα τρισδιάστατης σάρωσης, με τη βοήθεια των οποίων παρέχονται πυκνά νέφη σημείων του οδικού περιβάλλοντος από το οποίο διέρχεται το όχημα. Με τη συγκεκριμένη τεχνολογία καλύπτονται οι ανάγκες καταγραφής μοντέλων κίνησης και πλοήγησης με πολύ μεγάλη ανάλυση.



Εικόνα 3.20 Η κατασκευή ROAMER (Πηγή: Kukko, 2007)

# 4.

## ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι εργασίες πεδίου που πραγματοποιήθηκαν με σκοπό τη συλλογή των δεδομένων που απαιτούνται για την πραγματοποίηση των τελικών μελετών και την τελική διατύπωση συμπερασμάτων σχετικά με την αξιολόγηση της υφιστάμενης κατάστασης ενός τμήματος οδοστρώματος και με το φαινόμενο της υδρολίσθησης.

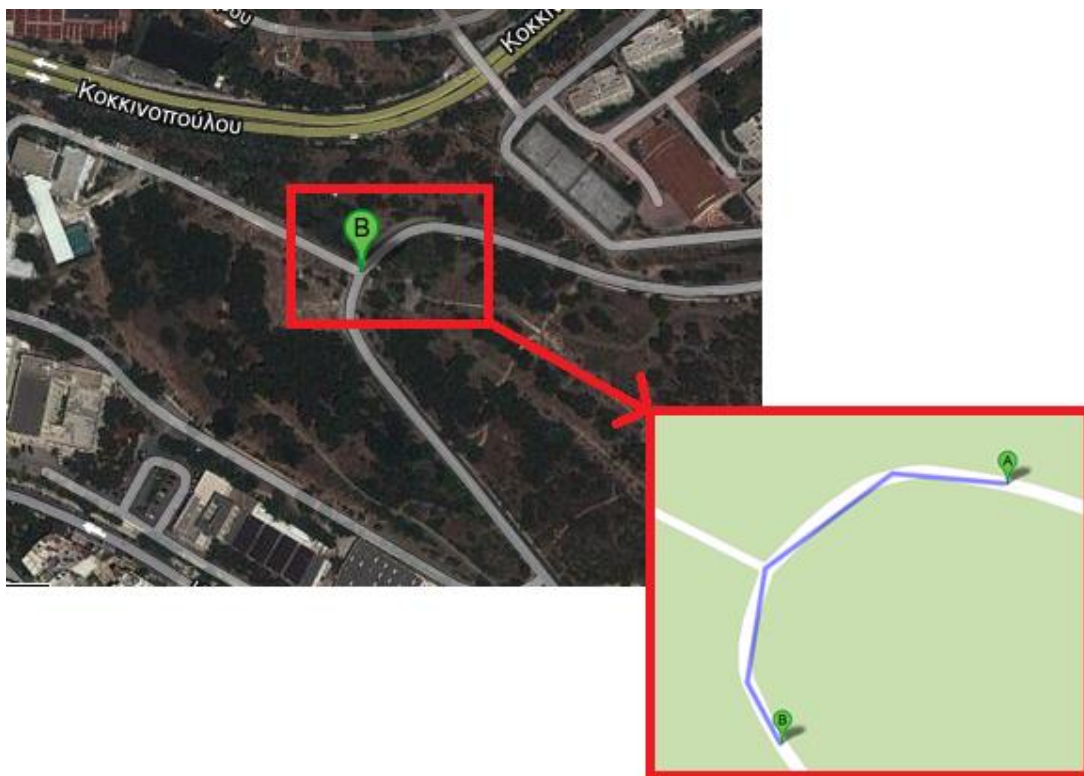
### 4.1.ΕΠΙΛΟΓΗ ΟΔΙΚΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΠΡΟΣ ΜΕΛΕΤΗ

Ως πρώτο στάδιο εργασιών, υφίσταται η ανάγκη επιλογής κατάλληλων οδικών τμημάτων τα οποία εμφανίζουν ιδιαιτερότητες ως προς την υφιστάμενη κατάσταση του οδοστρώματος, και παρουσιάζουν ενδιαφέρον μελέτης ως προς την αξιολόγηση της ποιότητας των κατασκευαστικών τους στοιχείων και ως προς το φαινόμενο της υδρολίσθησης.

Στις πρωταρχικές απαιτήσεις της μελέτης συγκαταλέγεται η ανάγκη επιλογής ενός οδικού τμήματος του οποίου τα αποτελέσματα των εργασιών μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους αρμόδιους φορείς ως μια μορφή αξιολόγησης ως προς την αναγκαιότητα προγραμματισμού εργασιών συντήρησης, ή θα χρησιμεύσουν ως

εργαλεία αξιολόγησης σε ενέργειες παράδοσης ή παραλαβής οδικών τμημάτων μεταξύ των αρμόδιων φορέων.

Στα πλαίσια αρχικών δοκιμαστικών μετρήσεων, επιλέχθηκε να γίνουν σαρώσεις εντός της Πολυτεχνειούπολης, και συγκεκριμένα στο οδικό τμήμα που βρίσκεται πριν τη σχολή των Πολιτικών Μηχανικών, και κοντά στο εργαστήριο Ηχοτεχνίας και Αντισεισμικής Τεχνολογίας. Είναι μια αρκετά κλειστή στροφή της οποίας το οδόστρωμα παρουσιάζει σημαντικές φθορές, και αποτελεί αντιπροσωπευτικό παράδειγμα πολλών μορφών παραμορφώσεων και ρηγματώσεων, που παρουσιάστηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο.



Εικόνα 4.1 Τμήμα σάρωσης εντός της Πολυτεχνειούπολης (Πηγή: Google maps)

Επιπροσθέτως, σημαντική πηγή δεδομένων αποτέλεσαν οι σαρώσεις που πραγματοποιήθηκαν στον αστικό κόμβο που βρίσκεται στην συνοικία Γουδή του δήμου Ζωγράφου, στα πλαίσια παλαιότερης διπλωματικής εργασίας του Σπύρου Γεωργαλά. Ο κόμβος συνιστά τη συμβολή των οδών Κοκκινόπουλου και Αγήνονος. Το οδόστρωμα



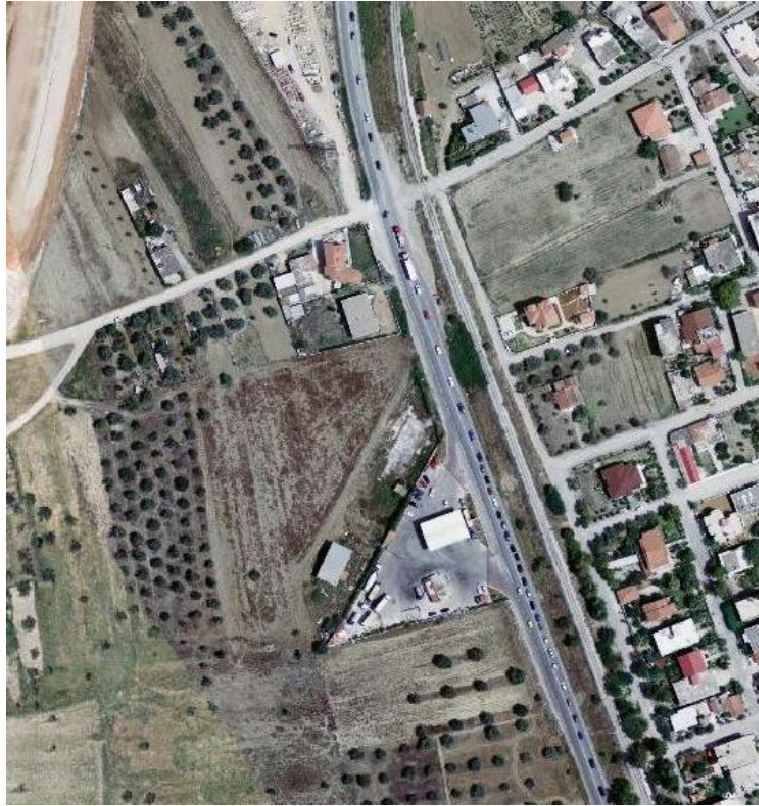


Το οδικό τμήμα το οποίο επιλέχθηκε τελικά να μελετηθεί βρίσκεται στην παλαιά εθνική οδό Αθηνών – Χαλκίδος και πιο συγκεκριμένα κοντά στην περιοχή του οικισμού Καλοχωρίου – Παντειχίου. Πριν την παραχώρηση του οδικού άξονα Σχηματαρίου – Χαλκίδος στην κυκλοφορία, το προς μελέτη οδικό τμήμα εξυπηρετούσε καθημερινά μεγάλο φόρτο οχημάτων όλων των κατηγοριών. Λόγω της γεωμετρίας χάραξης του δρόμου, ήταν εφικτή η ανάπτυξη υψηλών ταχυτήτων γεγονός που επιτρέπει την μελέτη εμφάνισης υδρολίστεσης σε ορισμένα επικίνδυνα σημεία λόγω κακής απορροής των υδάτων.

Η εκτεταμένη χρήση του συγκεκριμένου οδικού τμήματος από βαρέα οχήματα (ΟΕΧ1 και ΟΕΧ2) έχει προκαλέσει αρκετές φθορές στο οδόστρωμα. Το γεγονός αυτό, επιτρέπει τη διενέργεια επιπλέον μετρήσεων αξιολόγησης της κατάστασης του οδοστρώματος.



Εικόνα 4.3 Περιοχή σάρωσης στην Π.Ε.Ο. Αθηνών – Χαλκίδος (Πηγή: Google maps)



Εικόνα 4.4 Πυκνή ροή οχημάτων στο προς μελέτη οδικό τμήμα Π.Ε.Ο. (Πηγή: Κτηματολόγιο ΑΕ)

## 4.2. ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Πριν από την πραγματοποίηση οποιονδήποτε τεχνικών εργασιών, απαραίτητων για την διενέργεια προγραμματισμένων μελετών, απαιτείται η αναγνώριση της περιοχής και η εξοικείωση με το περιβάλλον από άποψη γεωμετρίας και των ιδιοτήτων που μπορεί να παρουσιάζει.

Σε όλες τις περιπτώσεις, απαιτείται η καλύτερη δυνατή κάλυψη των οδικών τμημάτων. Οι σαρώσεις που αναμένεται να πραγματοποιηθούν, οφείλουν να αποτυπώσουν με την καλύτερη δυνατή λεπτομέρεια όλες τα χαρακτηριστικά του οδοστρώματος, γεγονός το οποίο θα επιτρέψει αργότερα την παραγωγή ικανοποιητικών μοντέλων προς αξιολόγηση και περαιτέρω επεξεργασία.

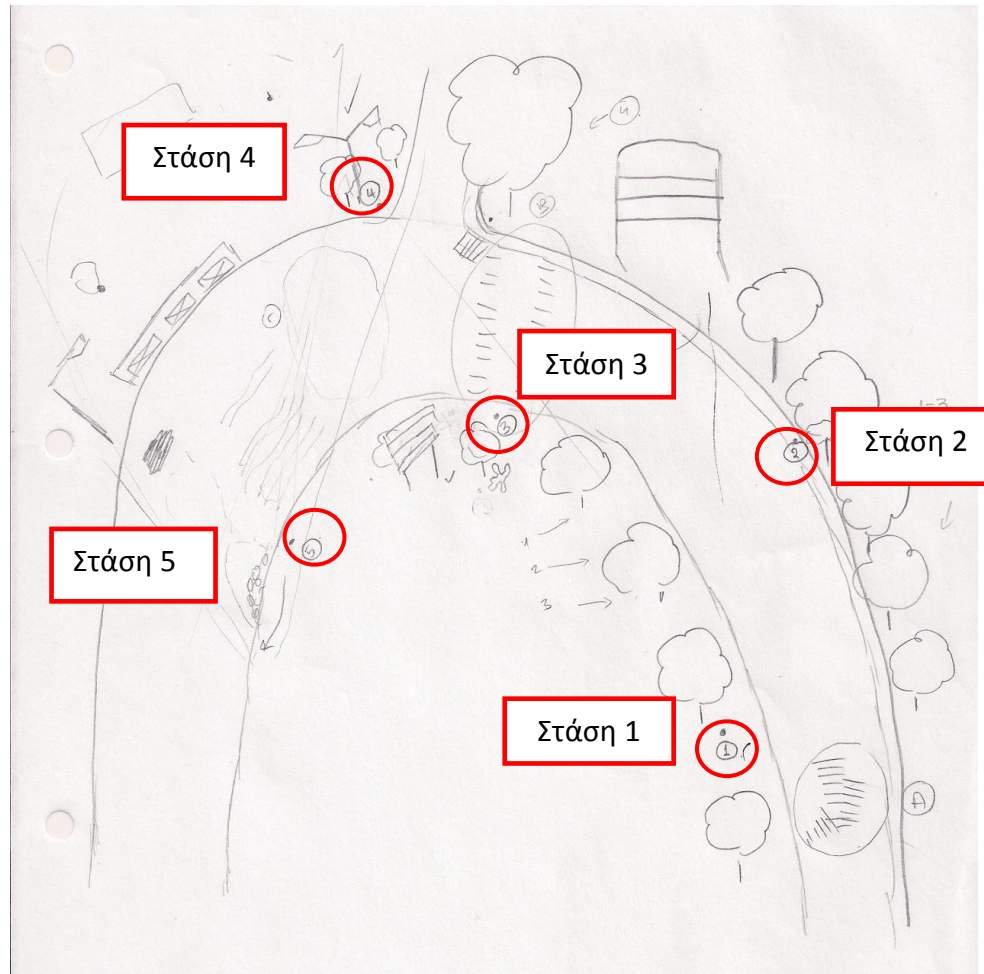
#### 4.2.1. ΟΔΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥΠΟΛΗΣ

Στο χώρο της Πολυτεχνειούπολης, πριν την διενέργεια των μετρήσεων, πραγματοποιήθηκε επίσκεψη στην περιοχή, προκειμένου να γίνει σκαρίφημα του προς μελέτη οδικού τμήματος, και επιλογή των πιθανών θέσεων τοποθέτησης του οργάνου σάρωσης. Δημιουργήθηκε πλάνο πέντε στάσεων, οι οποίες καλύπτουν ικανοποιητικά τη γεωμετρία της οδού και επιτρέπουν την ολοκληρωμένη σάρωση των προβλημάτων του οδοστρώματος. Δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στο να υπάρχουν επικαλυπτόμενα τμήματα μεταξύ του θέματος σάρωσης της προηγούμενης και της επόμενης στάσης, διότι με αυτό τον τρόπο αποφεύγεται η ύπαρξη τυχών κενών πληροφορίας. Τέλος οι στάσεις σάρωσης τοποθετήθηκαν αριστερά και δεξιά του άξονα του δρόμου, επιτυγχάνοντας έτσι ακριβέστερα αποτελέσματα και πληρέστερη, περιμετρική σάρωση των σημείων ενδιαφέροντος.

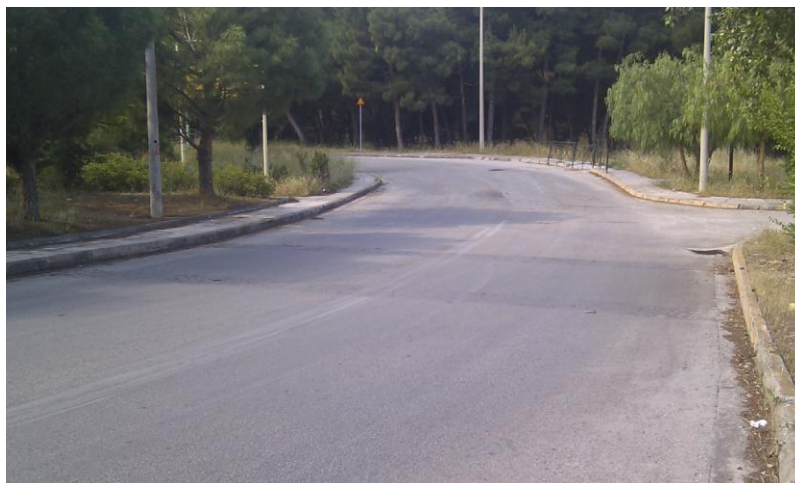
Κατά τη διάρκεια των εργασιών αναγνώρισης, λήφθηκαν κι αρκετές φωτογραφίες των φθορών του οδοστρώματος από κάθε προγραμματισμένη στάση. Με αυτό τον τρόπο έγιναν πιο σαφή τα όρια σάρωσης και έγινε εφικτή η αξιολόγηση των στοιχείων που αναμένεται να ληφθούν κατά την διενέργεια των μετρήσεων.



Εικόνα 4.5 Τμήμα οπτικού πεδίου σάρωσης από τη στάση 5



Εικόνα 4.6 Σκαρίφημα περιοχής σάρωσης εντός της Πολυτεχνειούπολης



Εικόνα 4.7 Τμήμα οπτικού πεδίου σάρωσης από τη στάση 2



Εικόνα 4.8 Τμήμα οπτικού πεδίου σάρωσης από τη στάση 4

---

#### 4.2.2. ΟΔΙΚΟ ΤΜΗΜΑ Π.Ε.Ο. ΑΘΗΝΩΝ – ΧΑΛΚΙΔΟΣ

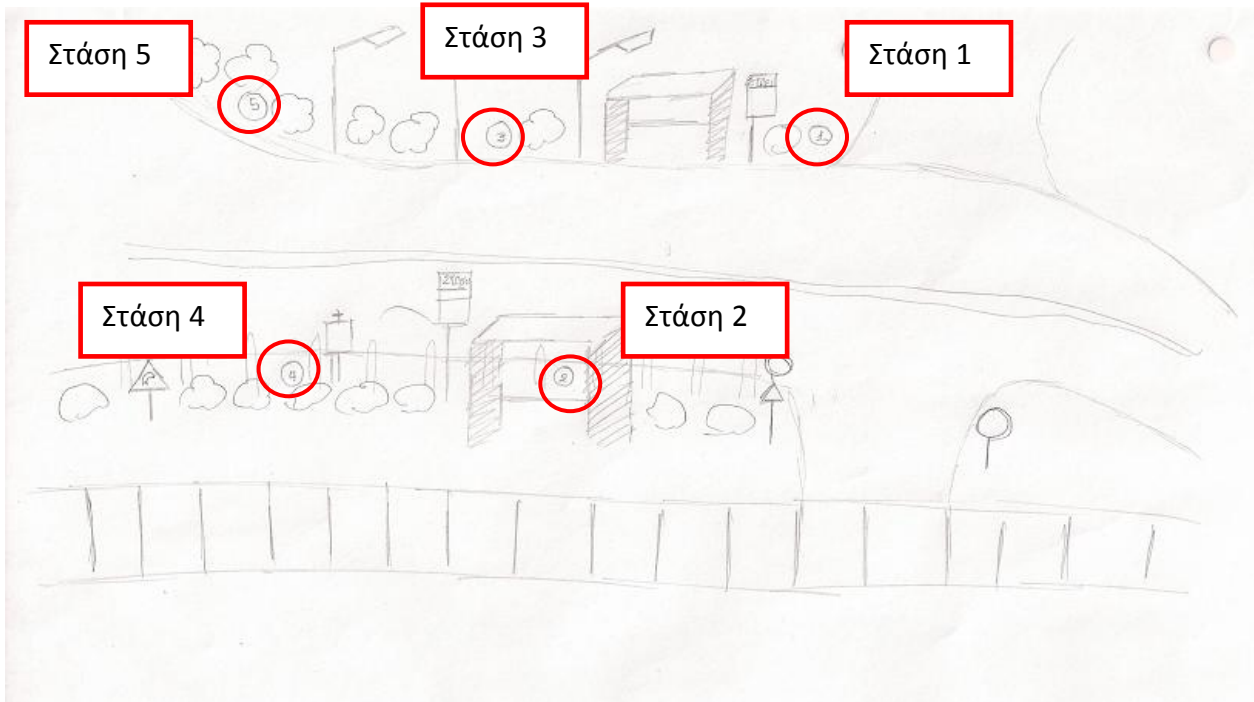
Ομοίως και στη συγκεκριμένη περίπτωση, πριν την διενέργεια των απαραίτητων μετρήσεων, πραγματοποιήθηκε επίσκεψη στην περιοχή, κατά την οποία δημιουργήθηκε σκαρίφημα των στάσεων που αναμενόταν να ακολουθηθούν (εικόνα 4.11), καθώς επίσης και λήψη φωτογραφιών της περιοχής και των φθορών του οδοστρώματος πιο λεπτομερώς. Θεωρήθηκε σημαντική η τήρηση όλων των απαιτήσεων ακρίβειας που εφαρμόστηκαν προηγουμένως κατά των προγραμματισμό των σαρώσεων στην περιοχή της Πολυτεχνειούπολης.



Εικόνα 4.9 Τμήμα οπτικού πεδίου σάρωσης από τη στάση 2



Εικόνα 4.10 Γενική εποπτεία κατάστασης οδοστρώματος

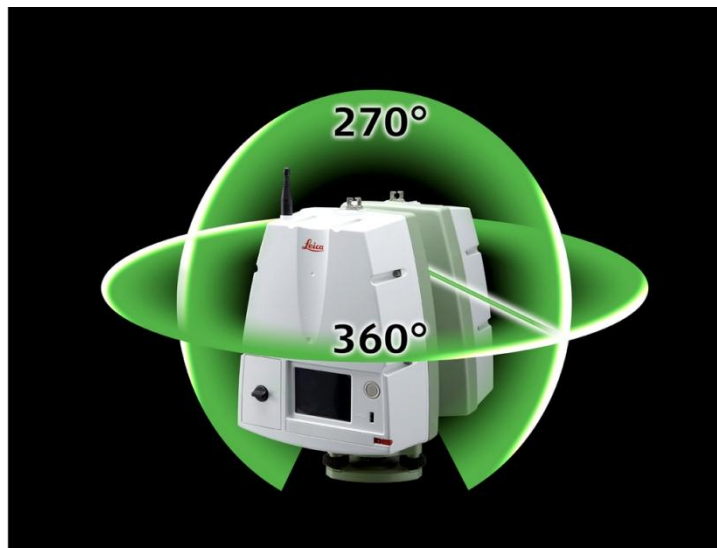


Εικόνα 4.11 Σκαρίφημα περιοχής μετρήσεων

### 4.3. ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΑΡΩΣΗΣ



Το πεδίο σάρωσης του συγκεκριμένου οργάνου είναι  $360^\circ \times 270^\circ$  (εικόνα 4.12). Το βεληνεκές του μπορεί να φτάσει τα 250m με περιορισμένη όμως ακρίβεια, δηλαδή της τάξης των μερικών χιλιοστών. Η ταχύτητα σάρωσης μπορεί να φτάσει τα 50000 σημεία ανά δευτερόλεπτο. Όλες οι απαραίτητες ενέργειες για την πραγματοποίηση της σάρωσης γίνονται μέσω του ηλεκτρονικού υπολογιστή που διαθέτει το ανάλογο λογισμικό επικοινωνίας σαρωτή – υπολογιστή. Στις παρούσες μετρήσεις πεδίου το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν το Cyclone 7.0.3.



Εικόνα 4.12 Οπτικό πεδίο σαρωτή (Πηγή: <http://www.prweb.com/releases/leicageosystem>)

Με τη βοήθεια του λογισμικού είναι εφικτό στον χρήστη η μέτρηση συντεταγμένων συγκεκριμένων σημείων του θέματος σάρωσης, μετατρέποντας το έτσι το όργανο σε ένα εργαλείο πολύπλευρων χρήσεων. Το πεδίο όρασης του οργάνου γίνεται εύκολα κατανοητό με τη βοήθεια ψηφιακής κάμερας του Scanstation 2, μετά από τη λήψη των απαραίτητων φωτογραφιών. Ο χρήστης μπορεί να ορίσει ακριβώς τα αντικείμενα σάρωσης που τον ενδιαφέρουν καθώς επίσης και την ανάλυση σάρωσης την οποία επιθυμεί κάθε φορά.

#### 4.3.1. ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΤΟΝ ΧΩΡΟ ΤΗΣ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥΠΟΛΗΣ

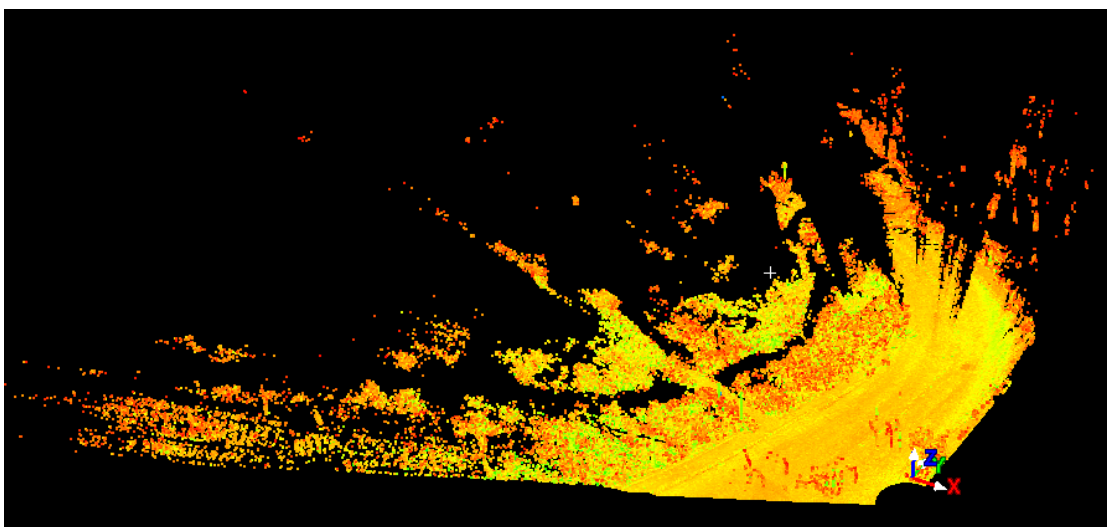
Για την εκτέλεση των απαραίτητων μετρήσεων στο επιλεγμένο οδικό τμήμα της Πολυτεχνειούπολης χρησιμοποιήθηκε ο σαρωτής Leica ScanStation 2, μια μπαταρία, ένας φορητός υπολογιστής με το απαραίτητο λογισμικό εγκατεστημένο, και η ανάλογη καλωδίωση που επιτρέπει την επικοινωνία σαρωτή - λογισμικού. Αποφασίστηκε να γίνει η έναρξη των σαρώσεων από τη θέση 4 (εικόνα 4.6). Το όργανο τοποθετήθηκε πάνω στον τρίποδα, ακολούθησαν όλες οι απαραίτητες συνδεσμολογίες, και τελικά ξεκίνησαν οι διαδικασίες σάρωσης μέσω του λογισμικού Cyclone. Με την εντολή «Scanner → Connect» επετεύχθη η έναρξη επικοινωνίας υπολογιστή – σαρωτή.



Πρωτίστως, λήφθηκαν κάποιες ενδεικτικές εικόνες μέσω της εντολής «get image». Ορίστηκαν οι απαραίτητες παράμετροι φωτογράφισης, και πιο συγκεκριμένα η φωτεινότητα των παράγωγων εικόνων, μέσω της εντολής «adjust exposure». Μέσα από το πεδίο Field of View, ήταν εφικτό να οριστεί το κατάλληλο θέμα σάρωσης, αλλά ταυτόχρονα να γίνει και έλεγχος εάν μέσα στο επιλεγμένο πεδίο περιλαμβάνονται όλες οι λεπτομέρειες του οδοστρώματος που απαιτείται να αποτυπωθούν. Με τη βοήθεια των συγκεκριμένων δυνατοτήτων του λογισμικού, αποφεύγονται σημαντικά λάθη, και μειώνονται αρκετά οι πιθανότητες επιστροφής και επανάληψης των μετρήσεων.

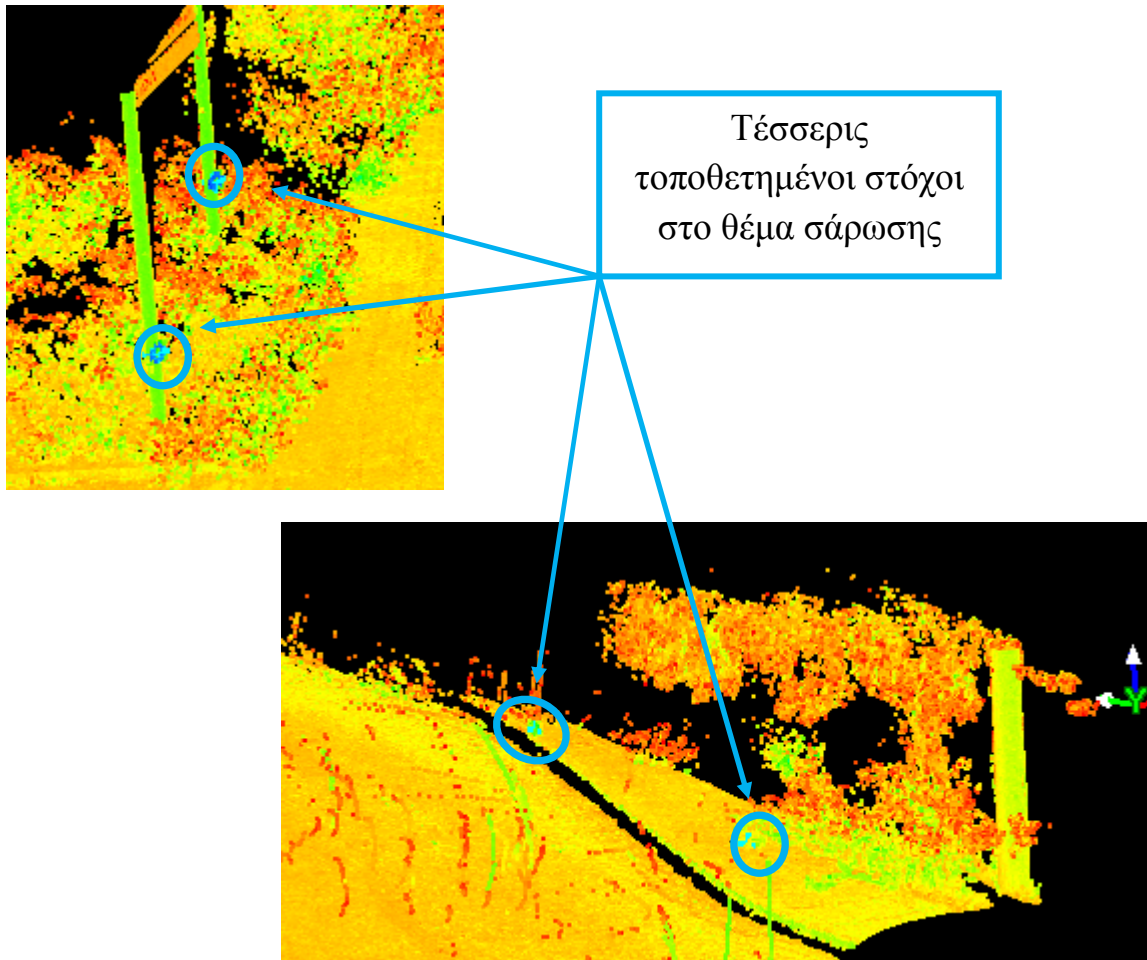
Στη συνέχεια, με την εντολή «Scan», το όργανο ξεκινά την αποτύπωση του θέματος που του ορίστηκε στο προηγούμενο στάδιο. Προηγουμένως, ορίστηκε η πυκνότητα με την οποία θα γίνει η σάρωση, καθώς επίσης και η απόσταση στην οποία το όργανο θα κάνει σάρωση με την παραπάνω δοθείσα πυκνότητα με την εντολή «Probe». Στις συγκεκριμένες εργασίες, ορίστηκε στο όργανο η μέγιστη πυκνότητα σάρωσης, δηλαδή 1mm, και ως απόσταση σάρωσης επιλέχθηκε η απόσταση των 10m.

Η συνολική διαδικασία σάρωσης διήρκεσε 16 λεπτά, χρόνος ο οποίος εμφανιζόταν ως πληροφορία στην προεπισκόπηση της διαδικασίας, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα στο χρήστη να οργανώσει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τις μετρήσεις του. Μετά το πέρας των μετρήσεων, σε δεύτερο παράθυρο, παρουσιάζονται ολοκληρωμένα όλα τα σημεία σάρωσης, κατάλληλα χρωματισμένα, για να δείχνουν πιο κατανοητά στο μάτι του παρατηρητή. Το παράθυρο αυτό εμφανίζεται μέσω της εντολής «Open Viewer».



Εικόνα 4.13 Παράθυρο ModelSpace - Προεπισκόπηση μετρήσεων

Στη συνέχεια, έγινε η σάρωση των κατάλληλων στόχων που τοποθετήθηκαν στο κοινό οπτικό πεδίο της στάσης 4 και 5.



Οι στόχοι χρησιμοποιούνται για γεωναφορά και ένωση διαδοχικών σαρώσεων που πραγματοποιούνται κάθε φορά. Οι ειδικοί αυτοί στόχοι είναι είτε τετράγωνα είτε σφαιρικά, και αναγνωρίζονται αυτόματα από το λογισμικό του σαρωτή.

Από το νέφος σημείων του Modelspace επιλέγονται αρχικά οι στόχοι χειροκίνητα. Στη συνέχεια, μέσω της εντολής Scanner control → Acquire Targets στο παράθυρο Scanner Control, ξεκινάει η διπλή σάρωση των τοποθετημένων στόχων προς αναγνώριση τους από το λογισμικό. Η διαδικασία αυτή δεν επιτευχθεί αρχικά επιτυχώς, μιας και ένας από τους τέσσερις στόχους δεν ήταν εφικτό να αναγνωριστεί, λόγω της μεγάλης κλίσης

του ως προς τον σαρωτή. Για τον λόγο αυτό οι μετρήσεις σάρωσης επαναλήφθηκαν, επανατοποθετώντας τον προβληματικό στόχο, και επιτυγχάνοντας τελικά την αναγνώριση του από το Cyclone.

Μετά το πέρας της διαδικασίας, το όργανο μεταφέρθηκε στη στάση 5 για την συνέχιση των μετρήσεων. Πριν την έναρξη λειτουργίας του λογισμικού, η λειτουργία της μοναδικής πηγής τροφοδοσίας τερματίστηκε, με αποτέλεσμα την υποχρεωτική διακοπή των μετρήσεων.

Διαπιστώθηκε πως η πηγή τροφοδοσίας δεν μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για δεύτερη φορά, και επεστράφη για επισκευή. Αυτό το συμβάν δεν επέτρεψε τελικά την ολοκλήρωση της σάρωσης όλου του οδικού τμήματος.

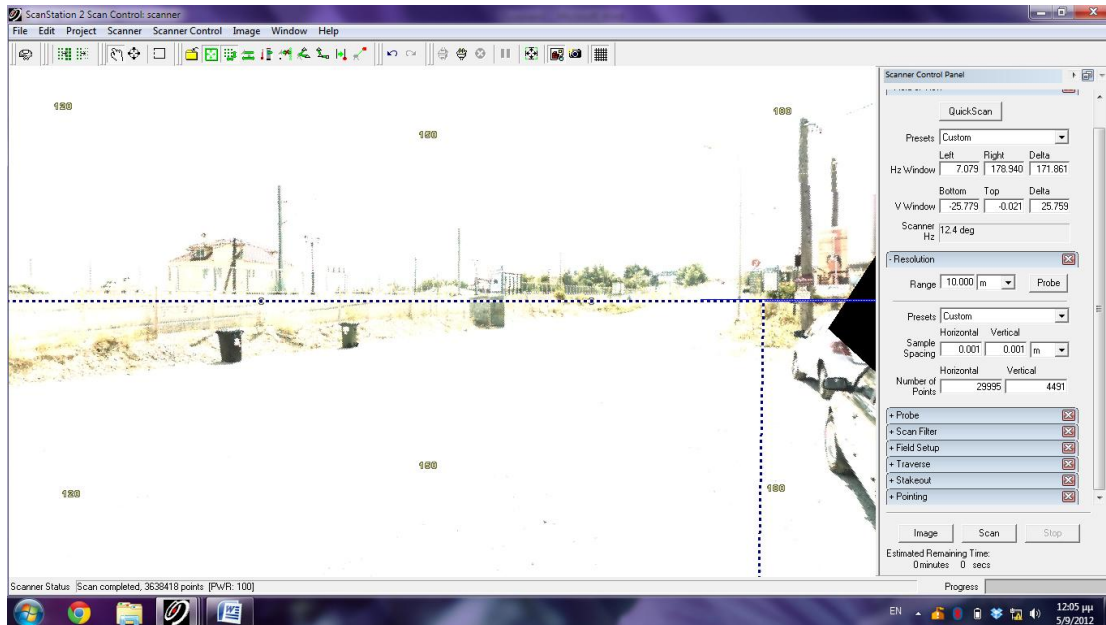
#### 4.3.2. ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΤΟ ΟΔΙΚΟ ΤΜΗΜΑ Π.Ε.Ο. ΑΘΗΝΩΝ – ΧΑΛΚΙΔΟΣ

Με τον ίδιο εξοπλισμό που χρησιμοποιήθηκε στο χώρο της Πολυτεχνειούπολης, πορεύτηκαν και οι προγραμματισμένες μετρήσεις στον Π.Ε.Ο. Αθηνών – Χαλκίδος. Χρησιμοποιήθηκαν συνολικά δύο φορητοί υπολογιστές, μιας και η ακρίβεια και η έκταση των σαρώσεων απαιτούσε αρκετό χρόνο λειτουργίας του οργάνου.

Το όργανο αρχικά τοποθετήθηκε στη στάση 1 (βλέπε εικόνα 4.6.). Ο περιβάλλοντας χώρος επέτρεπε την μη χρήση ειδικών στόχων για την ένωση των διαδοχικών σαρώσεων. Με τα υφιστάμενα στοιχεία του χώρου θεωρήθηκε εφικτή η εύρεση ομολόγων σημείων μεταξύ των διαφορετικών σαρώσεων. Παρ' όλα αυτά πραγματοποιήθηκε τοποθέτηση 5 μικρών τετραγωνικών στόχων στο κοινό εύρος πεδίου των στάσεων 1 και 3.

Ακολουθήθηκε η ίδια μεθοδολογία σαρώσεων που εφαρμόστηκε στο χώρο της Πολυτεχνειούπολης. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, το οδόστρωμα βρισκόταν σε πολύ καλύτερη κατάσταση, συνεπώς το κύριο μέλημα των συγκεκριμένων μετρήσεων ήταν η αποτύπωση της γεωμετρίας του προς μελέτη οδικού τμήματος για την περαιτέρω διερεύνηση πιθανής εμφάνισης φαινομένων υδρολίθωσης. Για την πρώτη στάση

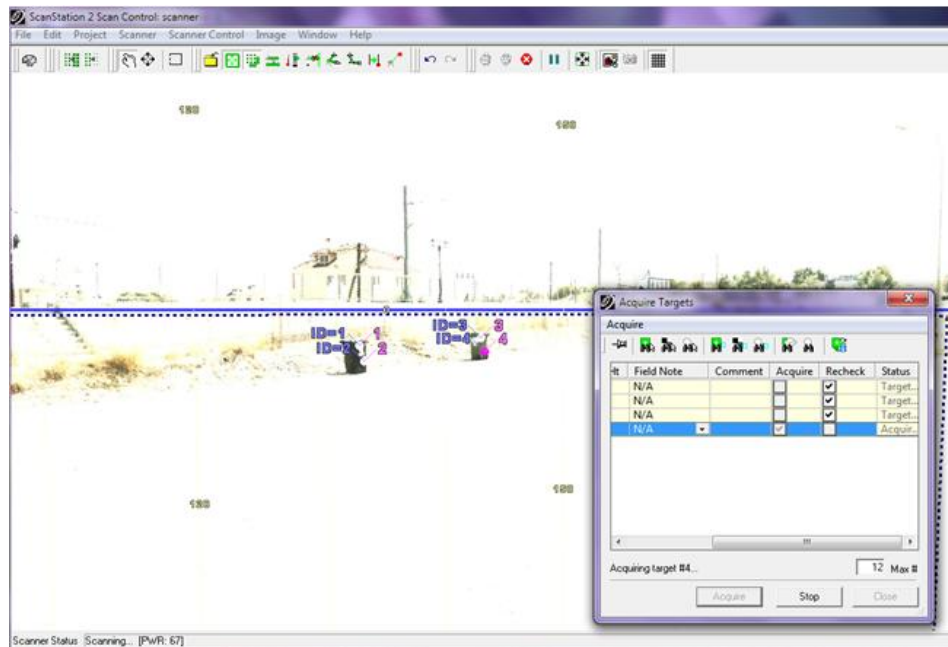
σάρωσης, επιλέχθηκε ανάλυση μισού εκατοστού, και ως απόσταση σάρωσης δόθηκε η τιμή των 20 μέτρων. Η συνολική διαδικασία σάρωσης διήρκεσε 32 λεπτά.



Εικόνα 4.14 Επιλογή εύρους πεδίου σάρωσης (Στάση 1)

Κατά την διαδικασία επιλογής των ειδικών στόχων με την εντολή «multi pick», παρατηρήθηκε πως η εύρεση του πέμπτου στόχου ήταν ανέφικτη στο παράθυρο προεπισκόπησης του μοντέλου. Γι αυτό το λόγο σαρώθηκαν μόνο οι τέσσερις από τους πέντε τοποθετημένους στόχους (εικόνα 4.15).

Στη συνέχεια ακολούθησαν οι σαρώσεις από τη στάση No.3 και No.5. Κατά την διενέργεια της δεύτερης σάρωσης επιλέχθηκε όμοια ανάλυση και απόσταση σάρωσης, ενώ κατά τη διενέργεια της τρίτης και τελευταίας σάρωσης, αυξήθηκε η απόσταση σάρωσης στα 25 μέτρα, και άρα ο χρόνος τελικής σάρωσης διήρκεσε συνολικά 42 λεπτά.



Εικόνα 4.15 Εντοπισμός και σάρωση ειδικών στόχων



Εικόνα 4.16 Εκτέλεση σάρωσης από την στάση 5

Κατά την πραγματοποίηση των σαρώσεων από τη δεύτερη στάση, τοποθετήθηκαν επιπλέον 3 στόχοι στο κοινό εύρος κάλυψης μεταξύ των στάσεων No.3 και No.5. Η έλλειψη παροχής ενέργειας όμως μετά το πέρας της διαδικασίας σάρωσης του οδικού τμήματος που ορίστηκε στο λογισμικό, δεν επέτρεψε την επιλογή και σάρωση των συνολικά 8 στόχων που είχαν τοποθετηθεί. Έτσι επιλέχθηκε να γίνει η συνένωση των νεφών σημείων μόνο με τα υφιστάμενα ομόλογα σημεία που παρουσιάζει ο

περιβάλλοντας χώρος. Εν συνεχεία, ακολούθησε η διαδικασία σάρωσης από την θέση σάρωσης Νο.5.

Δεν ήταν εφικτή η ολοκλήρωση των σαρώσεων και από τις 5 συνολικά στάσεις που είχαν προγραμματιστεί, λόγω της αδυναμίας εύρεσης συμπληρωματικής τροφοδοσίας για κάποιον από τους δύο φορητούς υπολογιστές. Η συνολική διάρκεια των εργασιών σάρωσης στην Π.Ε.Ο. Αθηνών – Χαλκίδος, διήρκεσε 4 ώρες και σαρώθηκαν συνολικά 400 μέτρα οδοστρώματος.

#### 4.3.3. ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Στον πίνακα 4-1, δίνεται μια συνολική εικόνα των εργασιών πεδίου που εκτελέστηκαν. Δίνονται αναλυτικά όλες οι τιμές σάρωσης που επιλέχθηκαν, καθώς επίσης και η χρονική διάρκεια αποτύπωσης για τις διάφορες θέσης οργάνου.

Οδικό τμήμα	Θέση οργάνου	Διάρκεια σάρωσης (min)	Πυκνότητα σάρωσης (mm)	Εμβέλεια (m)
Πολυτεχνειούπολης	No.4	16	1	10
Π.Ε.Ο. Αθ.-Χαλκίδος	No.1	32	5	20
Π.Ε.Ο. Αθ.-Χαλκίδος	No.3	25	5	20
Π.Ε.Ο. Αθ.-Χαλκίδος	No.5	42	5	25

Πίνακας 4-1 Στοιχεία εργασιών πεδίου

# 5.

## ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται πλήρης περιγραφή των διαδικασιών επεξεργασίας των δεδομένων που συλλέχτηκαν κατά τις εργασίες πεδίου. Στο πρώτο μέρος αναλύεται λεπτομερώς η μεθοδολογία συνένωσης των διαφόρων νεφών σημείων, ενώ στο δεύτερο μέρος παρουσιάζονται όλα τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την παραγωγή των ζητούμενων τρισδιάστατων μοντέλων επιφάνειας.

### 5.1. ΣΥΝΕΝΩΣΗ ΝΕΦΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ

Η ανάγκη παρουσίασης και μελέτης των δεδομένων σάρωσης ως ένα ενιαίο σύνολο σημείων, οδηγεί στην αξιοποίηση των εργαλείων του λογισμικού επικοινωνίας σαρωτή – υπολογιστή (Cyclone), και τη συγχώνευση της τρισδιάστατης πληροφορίας. Με τη βοήθεια των λειτουργιών της εντολής «registration» του Cyclone, δημιουργείται τελικά ένα ενιαίο νέφος σημείων, σε ένα τοπικό σύστημα συντεταγμένων.

Η εντολή «Registration», ή αλλιώς συνένωση, είναι μια διαδικασία ένωσης όλων των νεφών σημείων «Scanworlds» σε ένα μοναδικό σύστημα συντεταγμένων τοπικού

προσανατολισμού. Η ευθυγράμμιση των στοιχείων σάρωσης προέρχεται από μια σειρά περιορισμών, τα οποία υποδηλώνουν πως ένα αντικείμενο, κάποια γεωμετρικά στοιχεία, ή ένα νέφος σημείων, παρουσιάζονται στην ίδια θέση σε δύο διαφορετικές σαρώσεις.

Η διαδικασία της συνένωσης των νεφών σημείων, απαιτεί είτε την παρουσία ειδικών στόχων κατάλληλα τοποθετημένων στο κοινό εύρος οπτικού πεδίου μεταξύ δύο ή περισσότερων σαρώσεων, είτε την παρουσία χαρακτηριστικών ομολόγων σημείων του περιβάλλοντα χώρου, τα οποία επιτρέπουν την ικανοποιητική αναγνώριση και στόχευση τους κατά την επεξεργασία των μετρήσεων.

#### 5.1.1. ΣΥΝΕΝΩΣΗ ΝΕΦΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ Π.Ε.Ο. ΑΘΗΝΩΝ – ΧΑΛΚΙΔΟΣ

Όπως προαναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 4, στα πλαίσια της αποτύπωσης του επιλεγμένου οδικού τμήματος κοντά στον οικισμό Καλοχωρίου – Παντειχίου, πραγματοποιήθηκαν σαρώσεις από τρεις διαφορετικές στάσεις. Μόνο στην πρώτη έγινε εφικτή η αποτύπωση των ειδικών στόχων που είχαν τοποθετηθεί μεταξύ του κοινού οπτικού πεδίου με την επόμενη στάση, γεγονός που οδηγεί στην επιλογή συνένωσης των νεφών σημείων με την βοήθεια ομολόγων σημείων.

Αρχικά επιλέγεται να ακολουθηθεί η διαδικασία συνένωσης μεταξύ των δύο πρώτων σαρώσεων. Με την εντολή «Scanworld → Add Scanworld», γίνεται η εισαγωγή των σωστών νεφών σημείων και από το παράθυρο «Modelspaces», γίνεται η επιλογή των ομολόγων σημείων που θα επιφέρουν την καλύτερη δυνατή ακρίβεια της διεργασίας.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση επελέγησαν οι στόχοι που είχαν σαρωθεί στην πρώτη στάση, και είχαν απλώς αποτυπωθεί από την δεύτερη στάση. Τα σημεία εισήχθησαν στο πρόγραμμα μετά από στόχευση τους και με την εντολή «Cloud Constraint → Add Cloud Constraint».

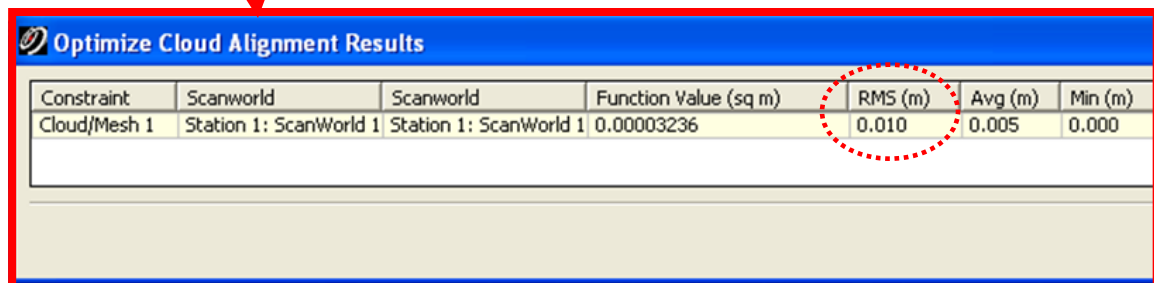
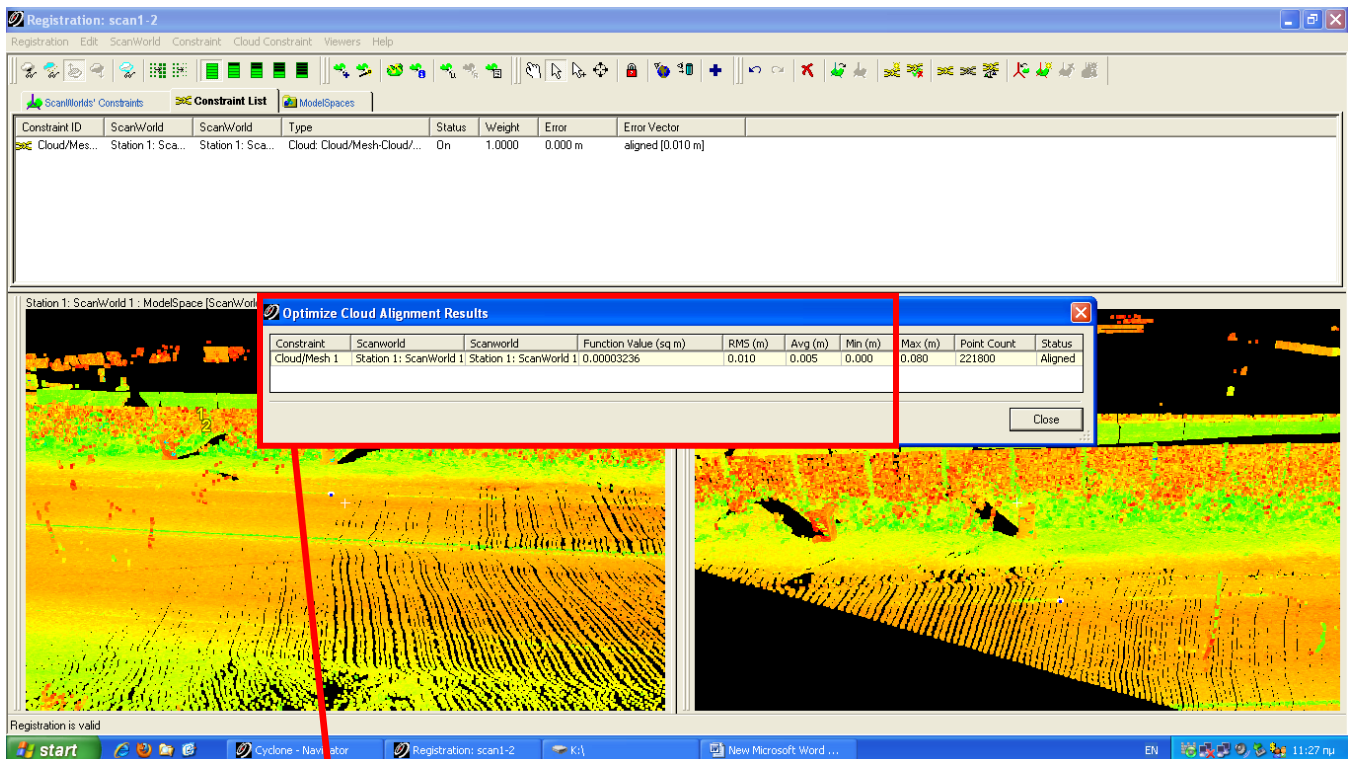
Στην συνέχεια, με τη εντολή «Cloud Constraint → Optimize Cloud Alignment», πραγματοποιείται η συνένωση των νεφών σημείων. Στο τέλος δίνεται ένας συνοπτικός πίνακας των αποτελεσμάτων. Η σημαντικότερη παράμετρος, είναι αυτή της ακρίβειας με την οποία επετεύχθη η διαδικασία. Στην συγκεκριμένη περίπτωση η συνένωση



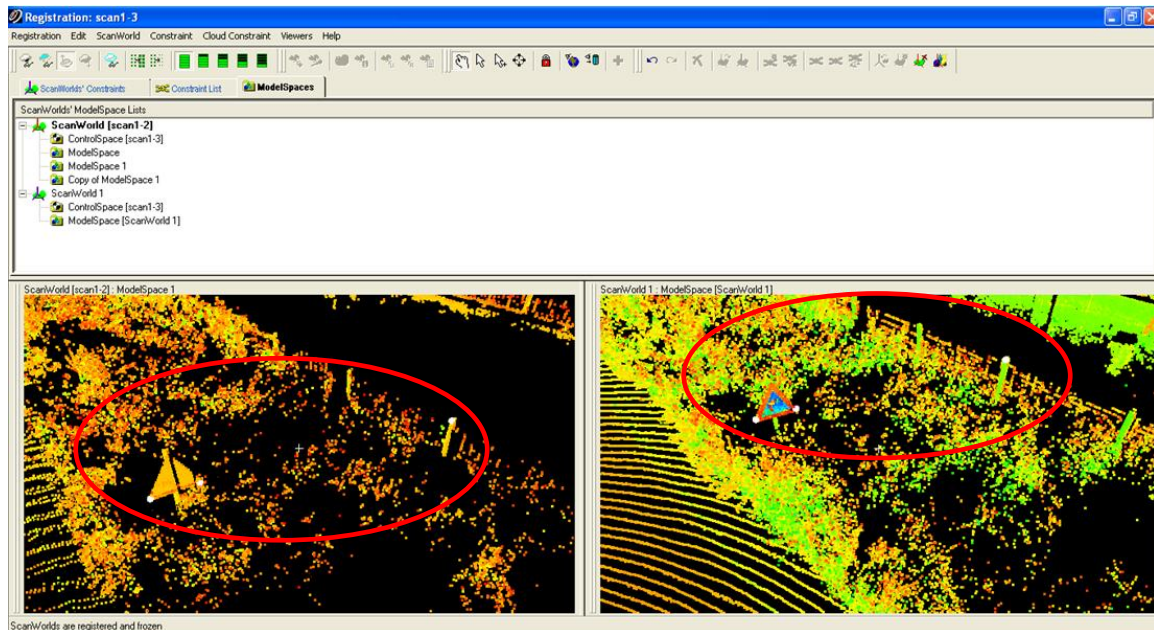
# ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΜΕΣΩ ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΣΑΡΩΣΕΩΝ LASER

έκλεισε με μέσο τετραγωνικό σφάλμα 1cm, το οποίο είναι αρκετά ικανοποιητικό για τα δεδομένα της παρούσας εργασίας.

Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και για την συνένωση του νέου νέφους σημείων με το τρίτο και τελευταίο τμήμα σάρωσης. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικά ομόλογα σημεία από αυτά που μπορούσαν να δοθούν από τους ειδικούς στόχους που είχαν τοποθετηθεί, μιας και στην τρίτη σάρωση, η αναγνώριση τους ήταν ανέφικτη. Αξιοποιήθηκε κατά κύριο λόγο ο φράχτης που υφίστατο μεταξύ της οδού και των σιδηροδρομικών γραμμών, και οι πινακίδες οδικής κυκλοφορίας.



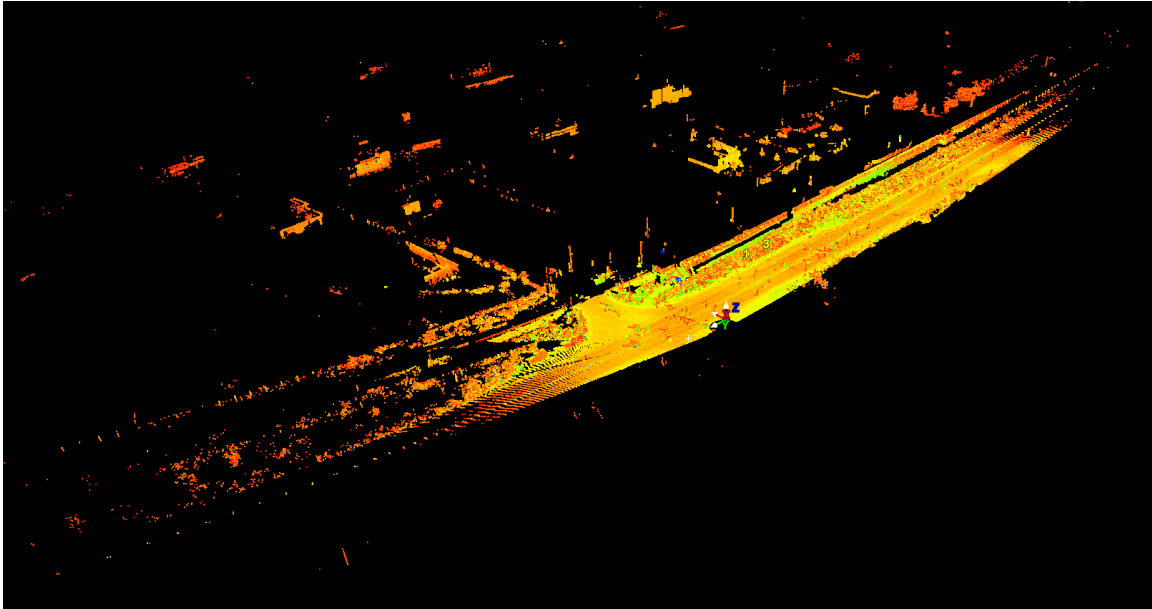
Εικόνα 5.1 Τελικά αποτελέσματα πρώτης συνένωσης



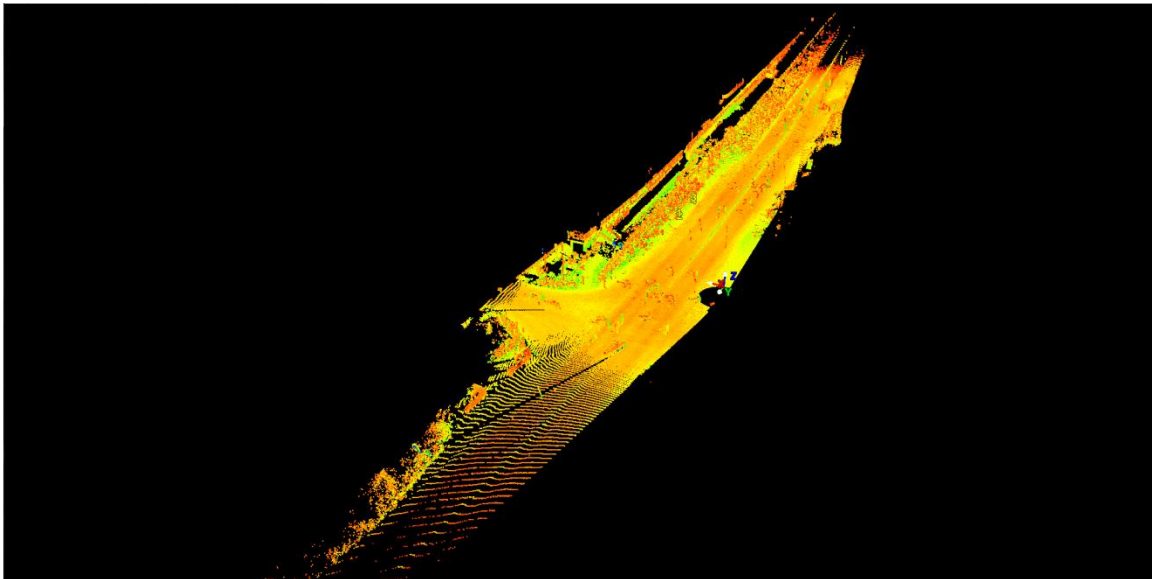
Εικόνα 5.2 Ομόλογα σημεία συνένωσης

Το τελικό αποτέλεσμα επιτεύχθηκε με μέσο τετραγωνικό σφάλμα τα 2,1cm, ύστερα από αρκετές δοκιμές, και με συνολικά τέσσερα επιλεγμένα ομόλογα σημεία. Το καινούριο αρχείο που δημιουργήθηκε με την ολοκλήρωση της συνένωσης αποτέλεσε το τελικό νέφος σημείων από τη σάρωση του προς μελέτη οδικού τμήματος.

Όπως φαίνεται και στο τελικό αποτέλεσμα (εικόνα 5.3), γύρω από το οδικό τμήμα έχουν σαρωθεί πληθώρα κτιρίων και άλλων μη χρήσιμων στοιχείων του περιβάλλοντος. Με τη βοήθεια του εργαλείου «Edit → Fence», έγινε η επιλογή του τμήματος που θα χρησιμοποιηθεί αργότερα στην μοντελοποίηση και επανατοποθετήθηκε σε ένα καινούριο παράθυρο. Με αυτό τον τρόπο, απομακρύνθηκε αρκετά εύκολα και γρήγορα αρκετή περιττή πληροφορία (εικόνα 5.4).



Εικόνα 5.3 Τελικό αποτέλεσμα σαρώσεων



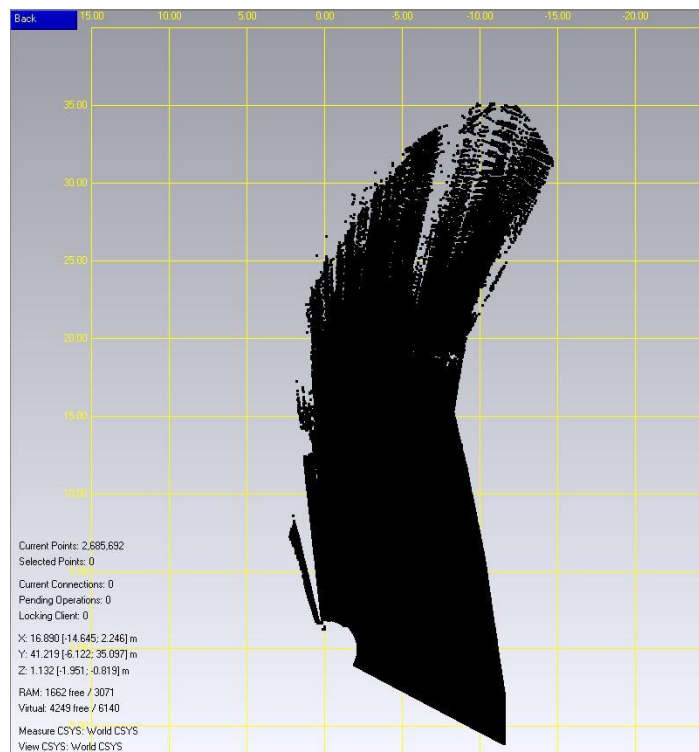
Εικόνα 5.4 Αποτέλεσμα σαρώσεων ύστερα από απαλλαγή θορύβου

## 5.2. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ

Η δημιουργία μοντέλου επιφανειών (μοντελοποίηση) του αντικείμενου μελέτης είναι μια ψηφιακή αναπαράσταση του, που προσεγγίζει την πραγματικότητα και διατηρεί τα βασικά χαρακτηριστικά του. Στο στάδιο αυτό τα νέφη σημείων μετατρέπονται σε επιφάνειες ώστε να μπορεί σε μετέπειτα στάδιο να δοθεί στο μοντελοποιημένο πια αντικείμενο υφή και χρώμα.

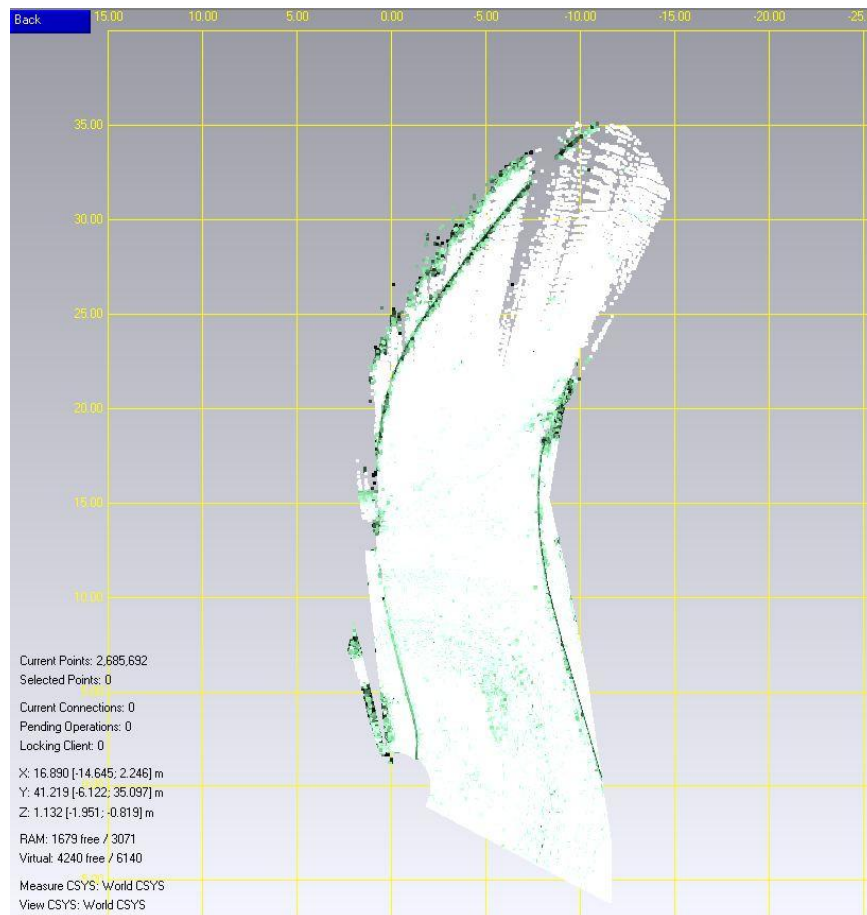
### 5.2.1. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥΠΟΛΗΣ

Η μοντελοποίηση του οδοστρώματος στην περιοχή της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου έγινε με το λογισμικό Studio 10 της Geomagic. Σε αυτό πραγματοποιήθηκε η εισαγωγή του νέφους σημείων που επελέγη από τα επεξεργασμένα δεδομένα συλλογής του λογισμικού Cyclone (εικόνα 5.5).



Εικόνα 5.5 Εισαγωγή σημείων στο Geomagic 10

Μετά την εισαγωγή του νέφους σημείων, το πρόγραμμα παρουσιάζει κάθε ένα από αυτά στην μοναδική απόχρωση του μαύρου. Αυτό δυσχεραίνει σημαντικά την απόκτηση μια γενικής ιδέας της δομής του μοντέλου. Με την ειδική εντολή του λογισμικού (View → Shading → Shade points), τα περισσότερα σημεία αποκτούν χρώμα ανάλογα με το υψόμετρο τους (εικόνα 5.6).

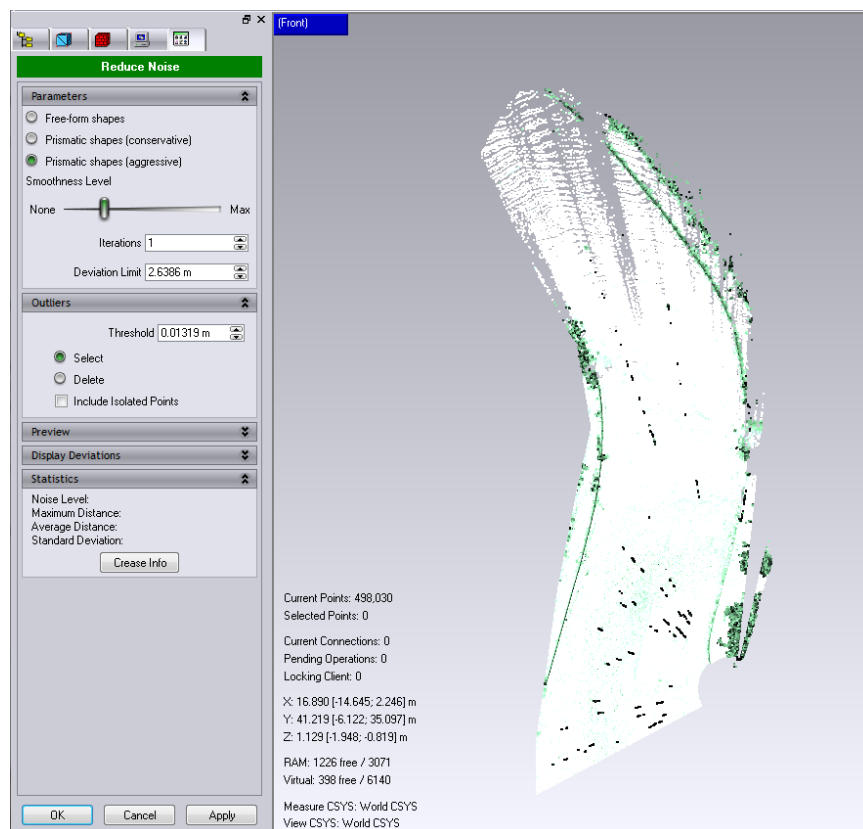


Εικόνα 5.6 Shading points – Χρωματισμένα σημεία

Κατά τη σάρωση, μετρώνται και αποθηκεύονται πληθώρα σημείων που πολλές φορές η πυκνότητα τους θεωρείται μεγαλύτερη της απαραίτητης για τη δημιουργία του μοντέλου. Με τη βοήθεια του λογισμικού Geomagic είναι εφικτή η μείωση του θορύβου και του αριθμού των σημείων. Με τους παραπάνω «Reduce Noise» και «Uniform Sample», μειώνεται η περιττή πληροφορία, καθώς επίσης και το μέγεθος του αρχείου που καλείται να επεξεργαστεί επιτυχώς το λογισμικό.

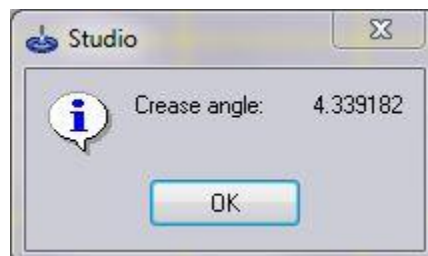
Η μείωση του θορύβου έγινε με την εντολή Reduce noise του λογισμικού Geomagic (Points → Reduce noise). Το συγκεκριμένο εργαλείο έχει τρεις διαφορετικούς αλγόριθμους με τους οποίους επιτυγχάνει το στόχο του. Η επιλογή του κατάλληλου αλγόριθμου ανάγεται στην μορφή του αντικειμένου που επεξεργάζεται κάθε φορά. Στην συγκεκριμένη περίπτωση επελέγη ο αλγόριθμος Prismatic shapes, μιας και ανταποκρίνεται ικανοποιητικά σε μοντέλα οδοποιίας.

Στη συνέχεια, ορίστηκαν οι υπόλοιπες απαραίτητες παράμετροι, που είναι ο βαθμός ομαλότητας (Smoothness level), ο αριθμός των επαναλήψεων (Iterations), η μέγιστη απόσταση που αντιστοιχεί στο ανάγλυφο και συνεπώς δεν μπορεί να θεωρηθεί θόρυβος, το όριο απόκλισης αναγλύφου (Deviation limit) και ένα κατώφλι διαφοράς της απόστασης σημείου από σημείο που αντιστοιχεί σε θόρυβο (Threshold). Έγιναν αρκετές δοκιμές οι οποίες τελικά ανέδειξαν πως οι βέλτιστες τιμές εισαγωγής είναι και αυτές που φαίνονται στην εικόνα.



Εικόνα 5.7 Παράμετροι εντολής μείωσης θορύβου

Ο αλγόριθμος αυτός υλοποιεί ένα θεωρητικό επίπεδο και υπολογίζει τις μέγιστες αποστάσεις που υπάρχουν ανάμεσα σε αυτό και τα σημεία που περιγράφουν το θεωρητικό ανάγλυφο. Όσα σημεία απέχουν απόσταση μεγαλύτερη από αυτή που τους ορίστηκε, απομακρύνονται, διότι αποτελούν θόρυβο για το μοντέλο. Σε αυτό το στάδιο ο χειριστής μπορεί μόνο να μειώσει την απόσταση - κατώφλι, και όχι να την αυξήσει. Όσο πιο μικρή τιμή κατωφλιού επιλέγεται, τόσο περισσότερα σημεία απομακρύνονται. Στο τέλος της εφαρμογής του αλγορίθμου, δίνεται μια τιμή (crease angle), η οποία καθορίζει το βαθμό επιτυχίας της εφαρμογής μείωσης του θορύβου. Εάν η τιμή είναι πάνω από 10, τότε απαιτείται επαναπροσδιορισμός των παραμέτρων και επανάληψη της διαδικασίας. Στο συγκεκριμένο μοντέλο κάτι τέτοιο δεν απαιτήθηκε (εικόνα 5.8).



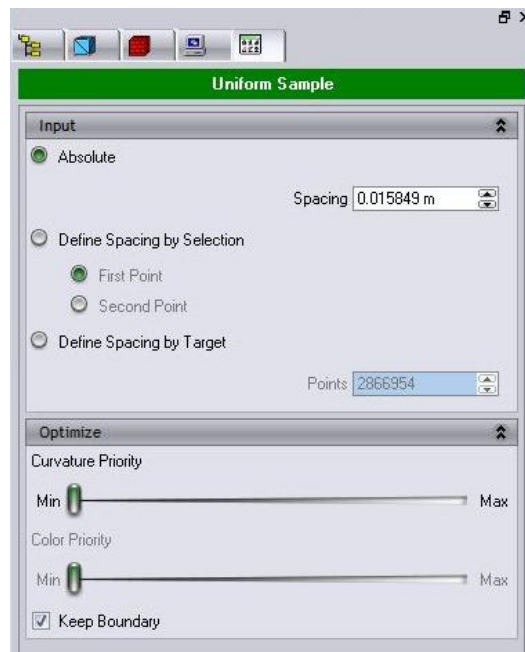
Εικόνα 5.8 Αποτέλεσμα αλγορίθμου μείωσης θορύβου

Μετά το πέρας του σταδίου μείωσης του θορύβου, ακολουθεί το στάδιο μείωσης του αριθμού των σημείων, για την δημιουργία λιγότερων τριγώνων, που θα αποδώσουν εξίσου ικανοποιητικά το αποτέλεσμα των μετρήσεων.

Κατά τη διάρκεια της σάρωσης, είναι ορθό να συλλέγονται αρκετά δεδομένα, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η καλύτερη δυνατή κάλυψη της δομής και των ιδιαίτερων λεπτομερειών του προς μελέτη αντικειμένου. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται και εξάλειψη ανάγκης επιστροφής στον χώρο μετρήσεων για την κάλυψη τυχών κενών πληροφορίας.

Η μείωση των δεδομένων επιτυγχάνεται με την εντολή Points → Uniform Sample. Ορίστηκε ως απόλυτη απόσταση μεταξύ των σημείων στο νέο νέφος που θα προκύψει η τιμή των 1,5cm. Το λογισμικό Geomagic διαθέτει επίσης και μια κλίμακα καμπυλότητας, η οποία επιτρέπει στον χρήστη να καθορίσει το κατά πόσο θα επηρεαστούν σημεία με μικρότερη πληροφορία κλίσεων, από αυτά με μεγαλύτερες διαβαθμίσεις. Η κλίμακα αυτή διαθέτει 10 βαθμίδες, και λόγω της πολυπλοκότητας των

δεδομένων και της σημασίας διατήρησης των κλίσεων του οδοστρώματος που καταγράφηκαν κατά τη σάρωση, επιλέχθηκε η βαθμίδα 1. Τέλος, επελέγη να κρατηθούν τα όρια της σαρωμένης επιφάνειας.



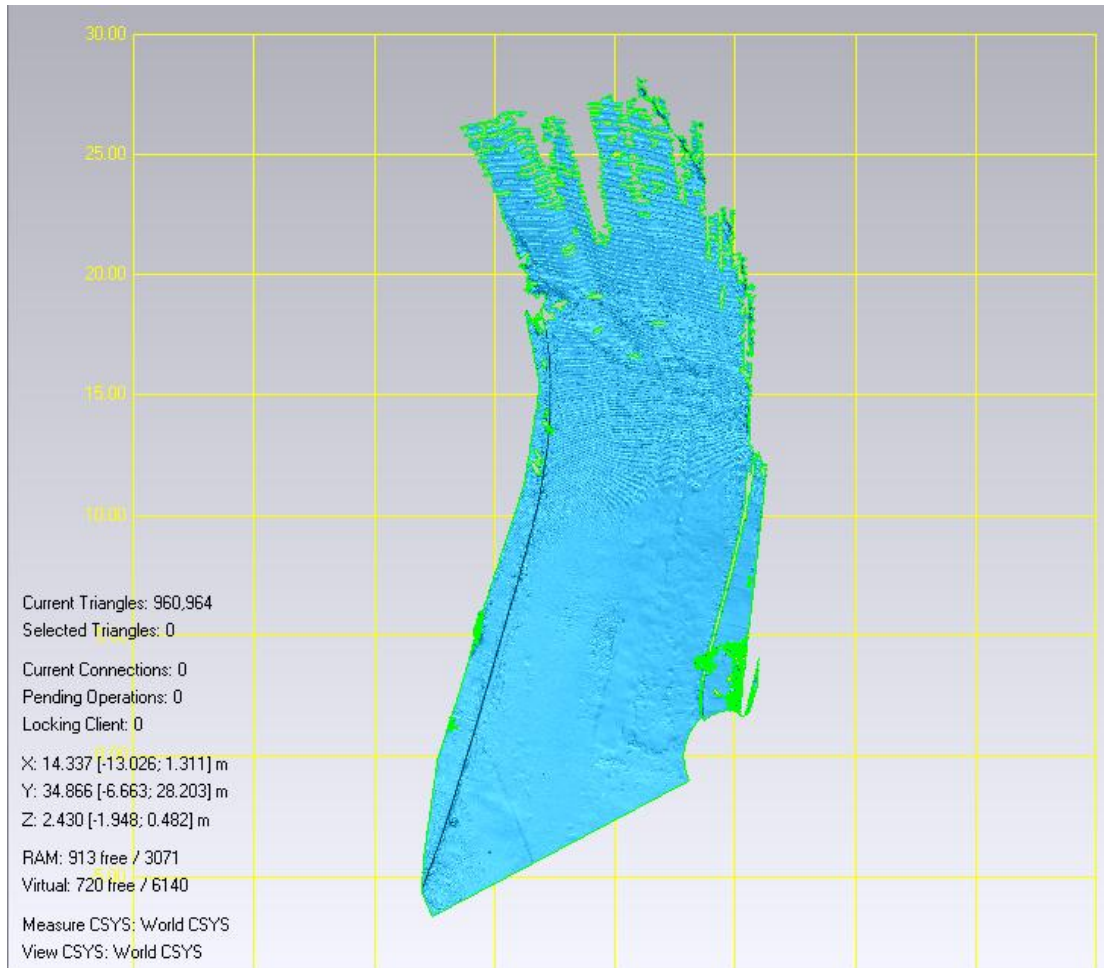
Εικόνα 5.9 Διαδικασία μείωσης αριθμού σημείων

Ως τελευταίο βήμα για τη δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου με τη βοήθεια τριγώνων, υφίσταται η διαδικασία δημιουργίας πλέγματος (Points → Wrap). Για κάθε σημείο του νέφους το Geomagic δημιουργεί κατά μέσο όρο δύο τρίγωνα. Ως μέθοδος μοντελοποίησης επιλέχθηκε το μοντέλο επιφάνειας, δημιουργώντας έτσι μια επιφάνεια με κορυφές τα σημεία του νέφους. Συνολικά δημιουργήθηκαν περίπου 950.000 τρίγωνα.

Όπως φαίνεται και στην εικόνα 5.10, αρκετά τμήματα σάρωσης δεν δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα. Πιο συγκεκριμένα, το βόρειο τμήμα του οδοστρώματος έχει σαρωθεί με αρκετά μικρότερη ανάλυση σε σχέση με το κεντρικό και νότια τμήμα του. Επίσης υπάρχουν αρκετά κενά, λόγω έλλειψης δεδομένων, τα οποία βέβαια μπορούν να εξαλειφθούν. Δεδομένου όμως ότι στη συγκεκριμένη διπλωματική αναμένεται να γίνει αξιολόγηση των καταπονήσεων του οδοστρώματος και

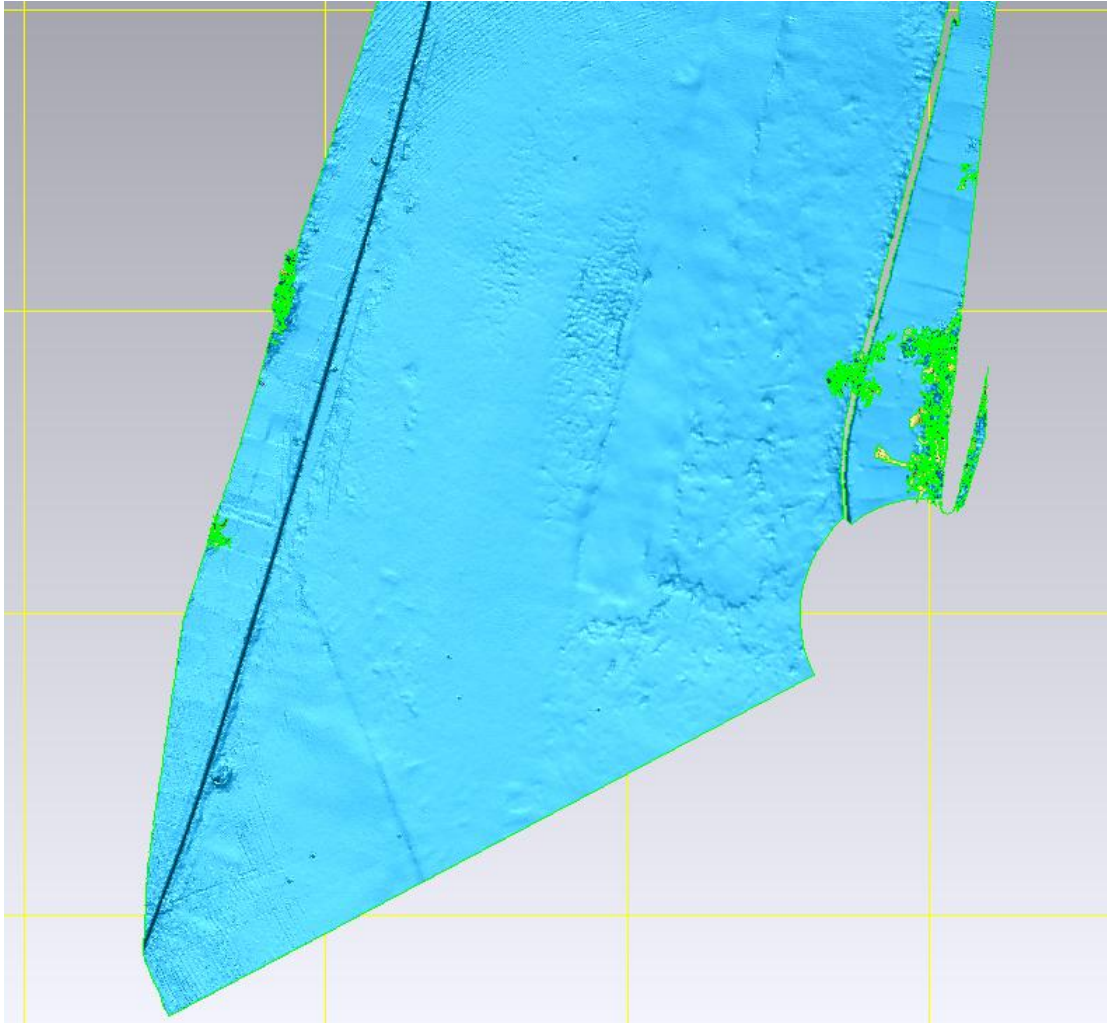


απαιτούνται λεπτομερή μοντέλα της υφιστάμενης κατάστασης, αποφασίστηκε να μην γίνουν προσπάθειες βελτιστοποίησης του μοντέλου στα συγκεκριμένα τμήματα.



Εικόνα 5.10 Αποτελέσματα μοντέλου τριγώνων

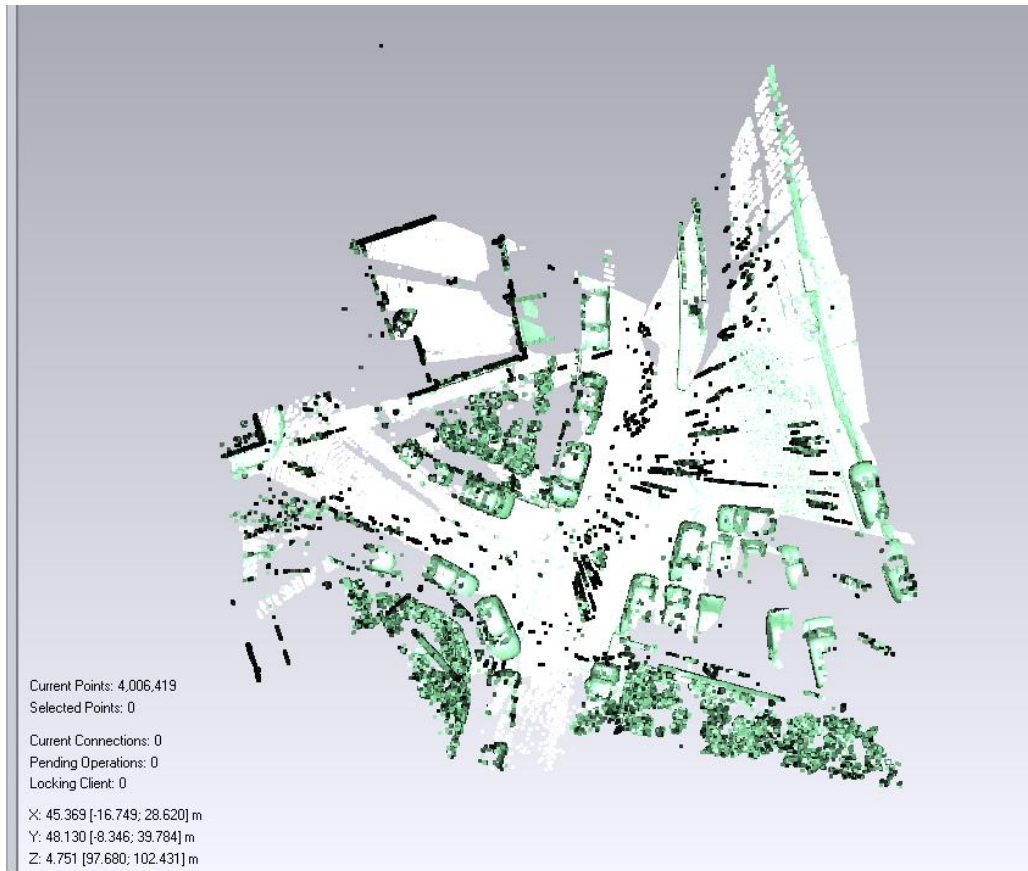
Το κεντρικό και νότιο τμήμα του μοντέλου περιλαμβάνει αρκετή πληροφορία, και βάσει των στοιχείων μέτρησης που πραγματοποιήθηκαν στο πεδίο, αναμένεται να γίνει η απαραίτητη αξιολόγηση στο κεφάλαιο 6.



Εικόνα 5.11 Κεντρικό και νότιο τμήμα σάρωσης

### 5.2.2. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΑΣΤΙΚΟΥ ΚΟΜΒΟΥ

Παρόμοιες διαδικασίες με αυτές που περιγράφηκαν παραπάνω, ακολουθήθηκαν και στη μοντελοποίηση του αστικού κόμβου της συνοικίας Γουδή του δήμου Ζωγράφου. Το συγκεκριμένο μοντέλο δημιουργήθηκε από σύνεση περισσότερων από μία σαρώσεων, με αποτέλεσμα το λογισμικό Geomagis να καλείται να αντιμετωπίσει περισσότερο όγκο σημείων και κατά συνέπεια περισσότερο όγκο θορύβου.



Εικόνα 5.12 Σημεία εισαγωγής στο λογισμικό Geomagic

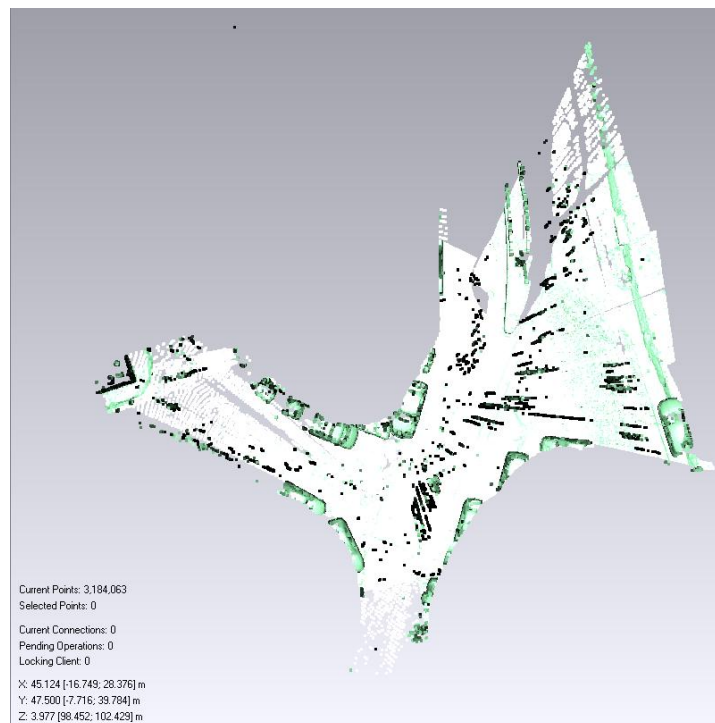
Όπως φαίνεται εξ' αρχής στην εικόνα 5.12, τα σταθμευμένα οχήματα αποτελούν σημαντική πηγή θορύβου για το προς δημιουργία μοντέλο. Παράλληλα, σημαντικό εμπόδιο κατά τη διάρκεια των μετρήσεων αποτέλεσε η συνεχής διέλευση οχημάτων αλλά και πεζών, γεγονός το οποίο δημιούργησε αρκετά περιττά σημεία σάρωσης πάνω στην επιφάνεια του οδοστρώματος, τα οποία μάλιστα φαίνονται στην παραπάνω εικόνα με μαύρο χρώμα.

Από το συγκεκριμένο μοντέλο αναμένεται να γίνει αξιολόγηση της υφιστάμενης κατάστασης του οδοστρώματος, επομένως το περιβάλλον γύρω από αυτό μπορεί να απομακρυνθεί. Με αυτό τον τρόπο μειώνεται σημαντικά ο θόρυβος αλλά και ο αριθμός των σημείων που καλείται να επεξεργαστεί το λογισμικό. Χρησιμοποιώντας τα διάφορα εργαλεία επιλογής, διαγράφηκε η περιττή πληροφορία. Η μείωση του θορύβου έγινε με την εντολή Reduce noise του λογισμικού (Points → Reduce noise), όπως και στο προηγούμενο μοντέλο. Επελέγη ο ίδιος αλγόριθμος εφαρμογής, μιας και συγκαταλέγεται και αυτό στα αντικείμενα μελέτης της οδοποιίας. Οι τιμές στον αριθμό

των επαναλήψεων (Iterations), και στο όριο απόκλισης αναγλύφου (Deviation limit) δεν τροποποιήθηκαν.

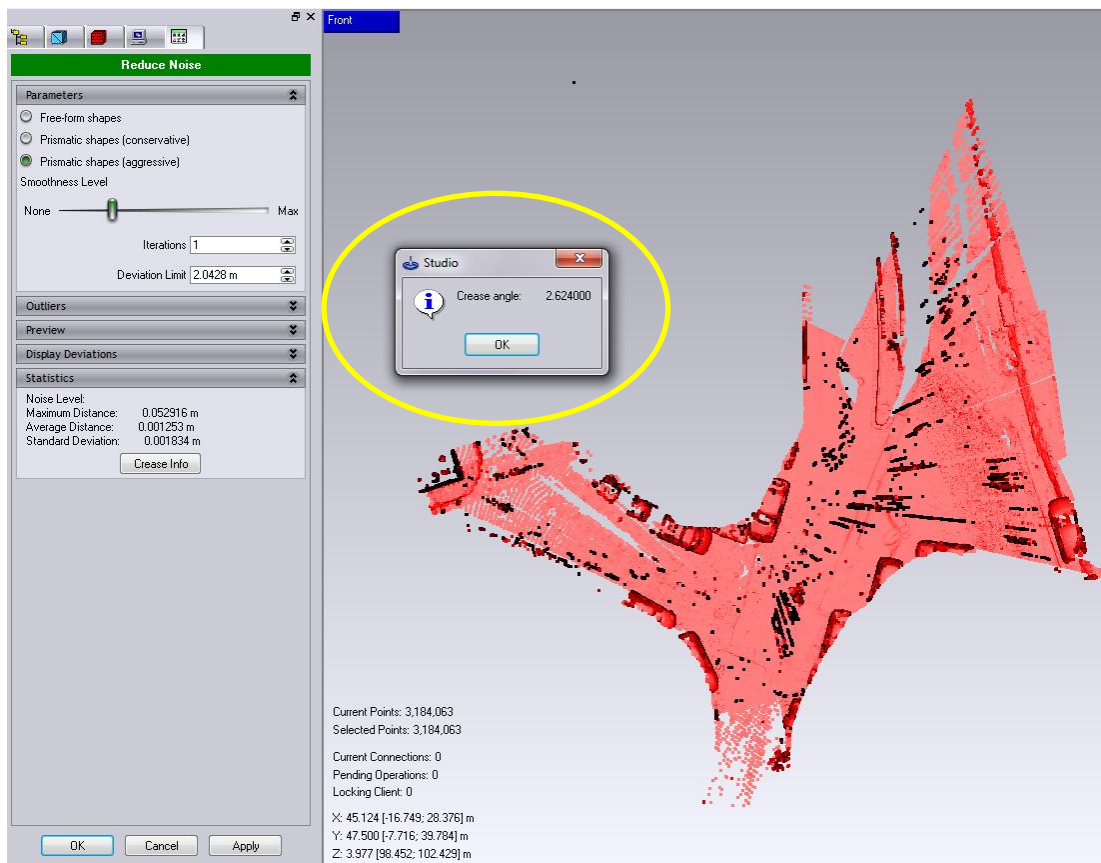


Εικόνα 5.13 Επιλογή περιττών σημείων μοντέλου



Εικόνα 5.14 Νέο σύνολο σημείων προς επεξεργασία

Μετά το πέρας της διαδικασίας, ελέγχθηκε και η τιμή επιτυχίας της εφαρμογής της (Crease angle), η οποία έδωσε την τιμή 2,624 (εικόνα 5.15). Ο αλγόριθμος εφαρμόστηκε επιτυχώς και δεν απαιτούνται περαιτέρω επαναλήψεις.

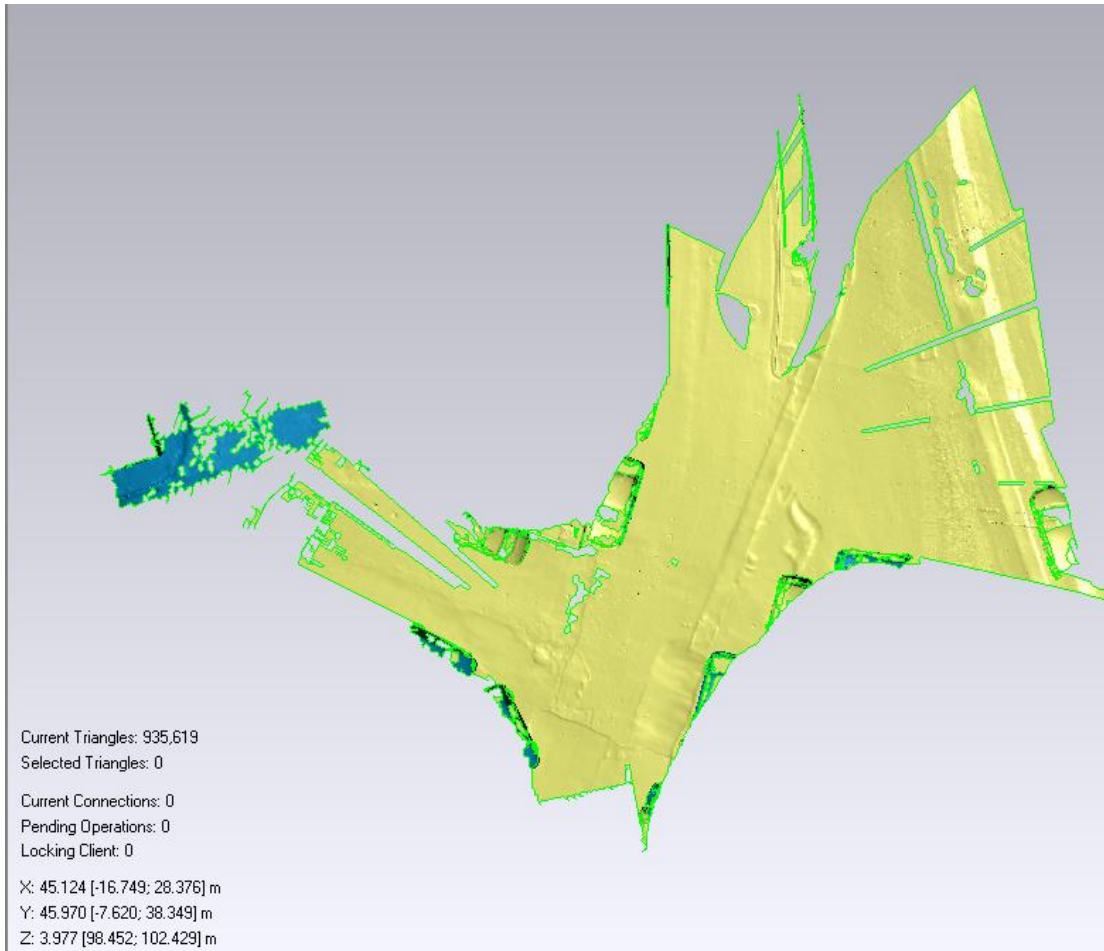


Εικόνα 5.15 Αποτέλεσμα αλγορίθμου μείωσης θορύβου

Ακολουθως, εφαρμόστηκε η εντολή μείωσης δεδομένων για την καλύτερη δυνατή απόδοση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων με την εντολή Points → Uniform Sample. Στην κλίμακα καμπυλότητας επελέγη για ακόμη μια φορά η βαθμίδα «1», λόγω της πολυπλοκότητας των δεδομένων. Επελέγη να κρατηθούν τα όρια της σαρωμένης επιφάνειας.

Η μείωση έγινε ομοιόμορφα στο σύνολο του μοντέλου, χωρίς να χαθεί ουσιώδης πληροφορία από καμία περιοχή. Ο τελικός αριθμός σημείων που απέμειναν είναι 502,535 από 3,184,063 που ήταν πριν την εφαρμογή του αλγορίθμου Uniform Sample του Geomagic.


Τέλος, εφαρμόστηκε ο αλγόριθμος δημιουργίας πλέγματος μέσω της εντολής *Wrap*. Ως μέθοδος μοντελοποίησης εφαρμόστηκε το μοντέλο επιφάνειας. Συνολικά για το συγκεκριμένο μοντέλο δημιουργήθηκαν περίπου 950,000 τρίγωνα. Το αποτέλεσμα είναι αρκετά ικανοποιητικό, αλλά μπορούν να γίνουν κάποιες διορθωτικές κινήσεις για την αντιμετώπιση μικρών προβλημάτων (εικόνα 5.16).

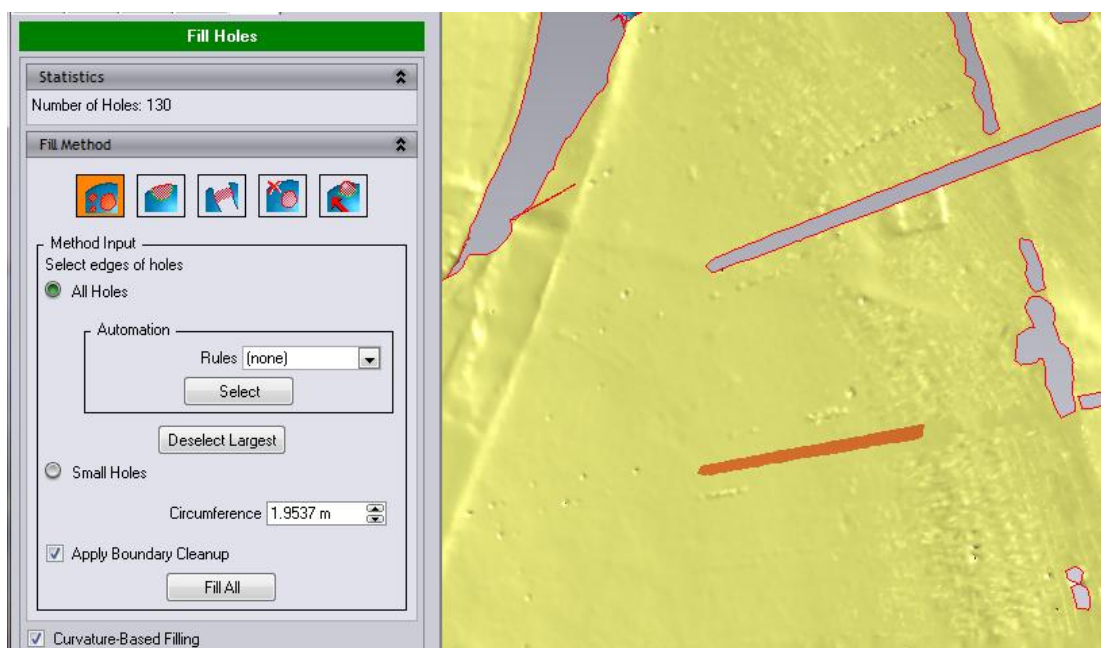


**Εικόνα 5.16 Αποτελέσματα μοντέλου τριγώνων**

Κατά την εφαρμογή του αλγορίθμου *wrap* εισήχθη μικρή τιμή μεγέθους τριγώνων, με αποτέλεσμα κάποια σημεία τα οποία απείχαν αρκετή απόσταση μεταξύ τους να μην έχουν ενωθεί. 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 «Γέμισμα κενών» (*Fill holes*), γίνεται η αυτόματη προσθήκη τριγώνων από το λογισμικό.

Στο συγκεκριμένο μοντέλο χρησιμοποιήθηκε μόνο η εντολή αυτόματης συμπλήρωσης

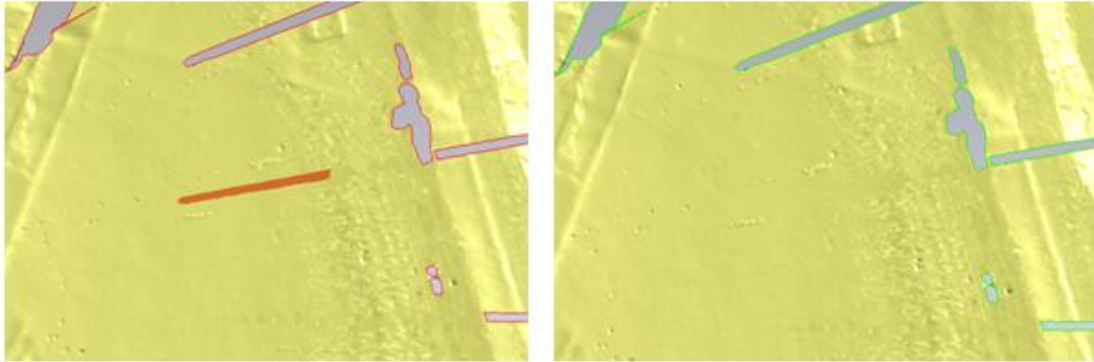
κενών. Αρχικά ενεργοποιήθηκε η εντολή Fill tool  και στη συνέχεια επιλέχθηκε η περιοχή ενδιαφέροντος, δηλαδή τα σημεία του οδοστρώματος στα οποία επιθυμείται να γίνει η κάλυψη των κενών (εικόνα 5.17). Πιθανότατα το «γέμισμα» να μην πραγματοποιηθεί σε ικανοποιητικό βαθμό εάν τα όρια του κενού είναι ακανόνιστα γι' αυτό η επιλογή των σημείων ενδιαφέροντος γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή.



Εικόνα 5.17 Επιλογή κενού προς συμπλήρωση στο μοντέλο

Στη συνέχεια ενεργοποιήθηκε η εντολή συμπλήρωσης του κενού βάσει της υψής των γύρω περιοχών του μοντέλου. Με αυτό τον τρόπο δεν αναμένεται να δημιουργηθούν παραπλανητικές πληροφορίες, και συνεπώς δεν θα επηρεαστεί η αξιολόγηση της υφιστάμενης κατάστασης του οδοστρώματος.

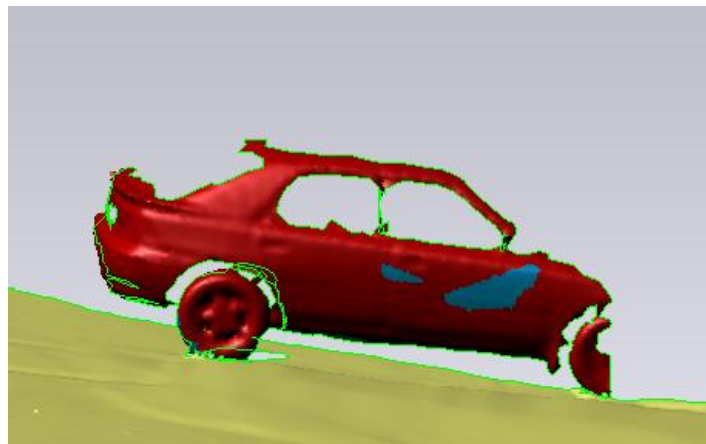
Τέλος, με την τελική επιλογή OK, συμπληρώνεται επιτυχώς το κενό (εικόνα 5.18). Η διαδικασία αυτή επαναλήφθηκε όσες φορές χρειάστηκε, έτσι ώστε το τελικό αποτέλεσμα να δείχνει πιο ολοκληρωμένο.



Εικόνα 5.18 Επιτυχής συμπλήρωση κενών μοντέλου

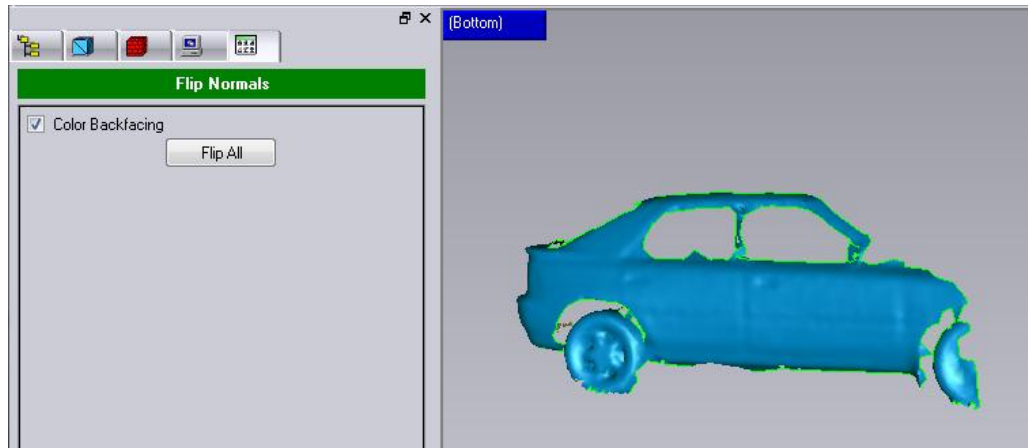
Μια τελευταία αστοχία του μοντέλου είναι οι λανθασμένες αποχρώσεις σε ορισμένα τμήματα επιφανειών. Το λογισμικό Geomagis επιλέγει να εμφανίζει με κίτρινη απόχρωση την εμπρόσθια επιφάνεια του αντικειμένου και με μπλε απόχρωση την ανάστροφη. Με την εντολή Backfacing το λογισμικό επιτρέπει την αλλαγή της απόχρωσης στα λανθασμένα σημεία του, δίνοντας με αυτό τον τρόπο την δυνατότητα στο χρήστη να αποκτήσει μια ορθή και ολοκληρωμένη άποψη των σαρωμένων αντικειμένων μελέτης.

Επιλέγεται αρχικά το αντικείμενο λανθασμένης απόχρωσης, και απομονώνεται από το υπόλοιπο μοντέλο (εικόνα 5.19). Στη συνέχεια εφαρμόζεται η εντολή Flip Normals έχοντας επιλεγμένο το αντικείμενο ενδιαφέροντος, και έτσι επιτυγχάνεται το επιθυμητό αποτέλεσμα (εικόνα 5.20, 5.21).

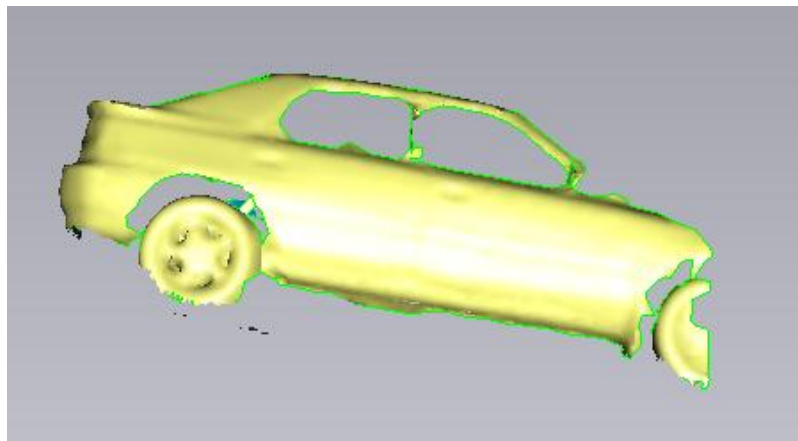


Εικόνα 5.19 Επιλογή οχήματος με λανθασμένη μπλε απόχρωση





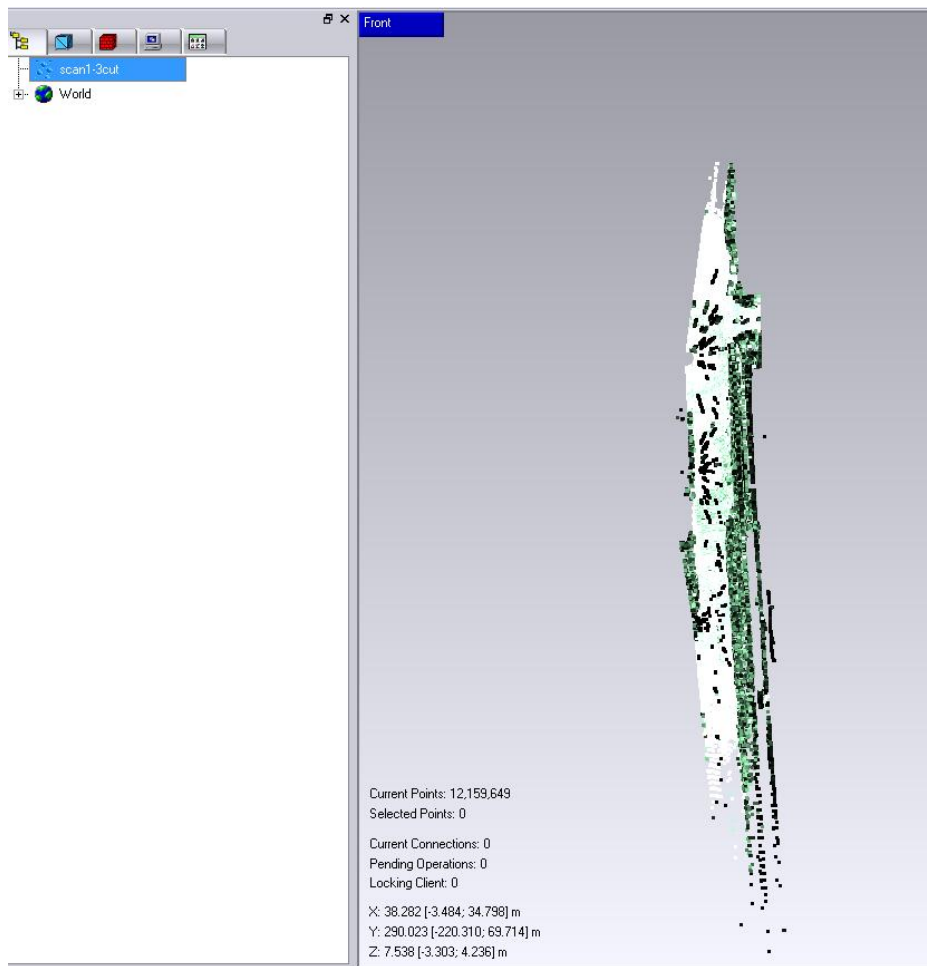
Εικόνα 5.20 Εφαρμογή αλγορίθμου αλλαγής απόχρωσης



Εικόνα 5.21 Επιτυχής εφαρμογή αλγορίθμου αλλαγής απόχρωσης

### 5.2.3. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ Π.Ε.Ο. ΑΘΗΝΩΝ – ΧΑΛΚΙΔΟΣ

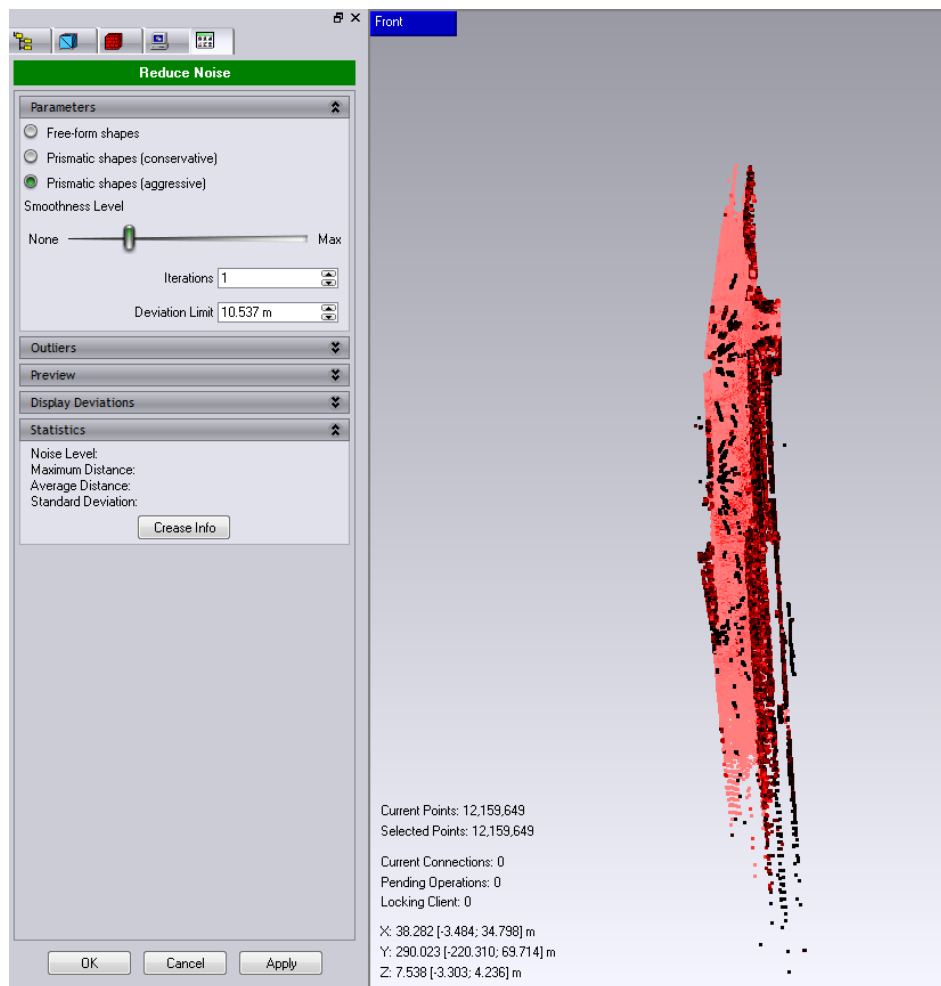
Για ακόμη μια φορά, στο λογισμικό Geomagic 10, πραγματοποιείται η μοντελοποίηση των δεδομένων σάρωσης του τμήματος οδού της Π.Ε.Ο. Αθηνών – Χαλκίδος. Η συγκεκριμένη διαδικασία παρουσιάζει αρκετές ιδιαιτερότητες, μιας και τα δεδομένα εισόδου είναι τέσσερις φορές περισσότερα από αυτά των προηγούμενων περιπτώσεων (12 εκατομμύρια σημεία).



Εικόνα 5.22 Εισαγωγή 12 εκ. σημείων στο λογισμικό Geomagic

Η πληθώρα των σημείων που εισήχθησαν στο πρόγραμμα, αποτελούν κατά κύριο λόγο σημεία αποτύπωσης της ανώτερης στρώσης οδοστρωσίας που μελετάται. Ένα ποσοστό όμως της εισαγόμενης πληροφορίας περιγράφει λανθασμένες αποτυπώσεις διερχόμενων πεζών και οχημάτων. Η απαλοιφή του θορύβου επιτυγχάνεται για ακόμη μια φορά μέσω του αλγορίθμου «Prismatic Shapes», που όπως έγινε κατανοητό και παραπάνω, λειτουργεί ικανοποιητικά σε έργα οδοποιίας.

Οι υπόλοιπες απαραίτητες παράμετροι, που είναι ο βαθμός ομαλότητας (Smoothness level), ο αριθμός των επαναλήψεων (Iterations) και το όριο απόκλισης αναγλύφου (Deviation limit), παρέμειναν στις αρχικές τιμές που δόθηκαν από το πρόγραμμα (εικόνα 5.23). Περισσότερες από μια επαναλήψεις, μπορούν να βλάψουν την ακρίβεια σάρωσης, καθώς επίσης και την απαιτούμενη λεπτομέρεια σε σημεία σημαντικών αλλαγών των κλίσεων.

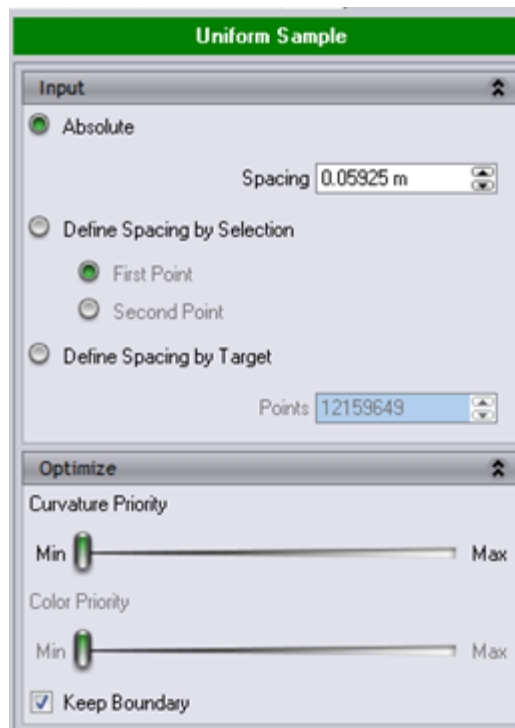


Εικόνα 5.23 Διαδικασία μείωσης θορύβου

Λόγω του μεγάλου όγκου δεδομένων, η διαδικασία μείωσης θορύβου διήρκεσε συνολικά 18 ώρες. Η υπολογιστική ισχύς του υπολογιστή που χρησιμοποιήθηκε ήταν αρκετά μεγάλη (επεξεργαστής Intel Core i5, Μνήμη 3 GB). Παρ' όλα αυτά όμως, η εφαρμογή του αλγορίθμου αποτέλεσε μια ιδιαίτερα χρονοβόρα διαδικασία. Μετά το πέρας της διαδικασίας, ελέγχθηκε και η τιμή επιτυχίας της εφαρμογής της (Crease angle), η οποία έδωσε την τιμή 7,356, δηλαδή τιμή μικρότερη του 10. Συνεπώς, ο αλγόριθμος εφαρμόστηκε επιτυχώς και δεν απαιτούνται περαιτέρω επαναλήψεις.

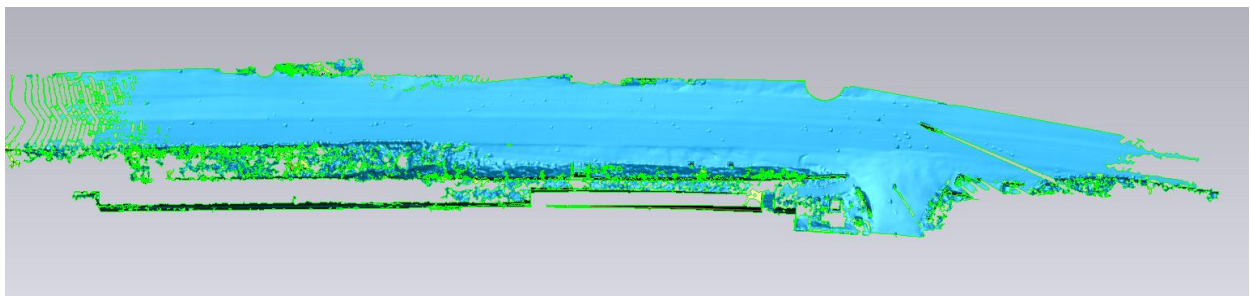
Στη συνέχεια, εφαρμόστηκε η εντολή μείωσης δεδομένων για την καλύτερη δυνατή απόδοση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων με την εντολή Points → Uniform Sample. Στην κλίμακα καμπυλότητας αυτή τη φορά πραγματοποιήθηκαν ορισμένες δοκιμές.

Αρχικά επελέγη η βαθμίδα «1» και διατηρήθηκε η προεπιλεγμένη τιμή απόστασης μείωσης της πληροφορίας «Spacing» (εικόνα 5.24).



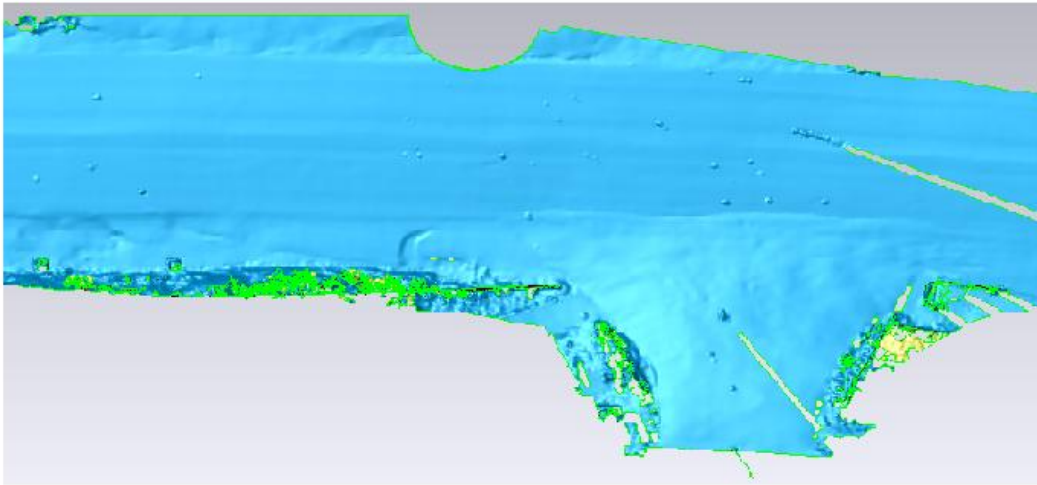
Εικόνα 5.24 Πρώτη δοκιμή μείωσης δεδομένων

Στη συνέχεια, μετά το πέρας της προηγούμενης διαδικασίας, η οποία διήρκεσε σχεδόν 15 ώρες, με την εφαρμογή του αλγορίθμου δημιουργίας πλέγματος «warp», το τελικό αποτέλεσμα της μοντελοποίησης φαίνεται στην εικόνα 5.25.

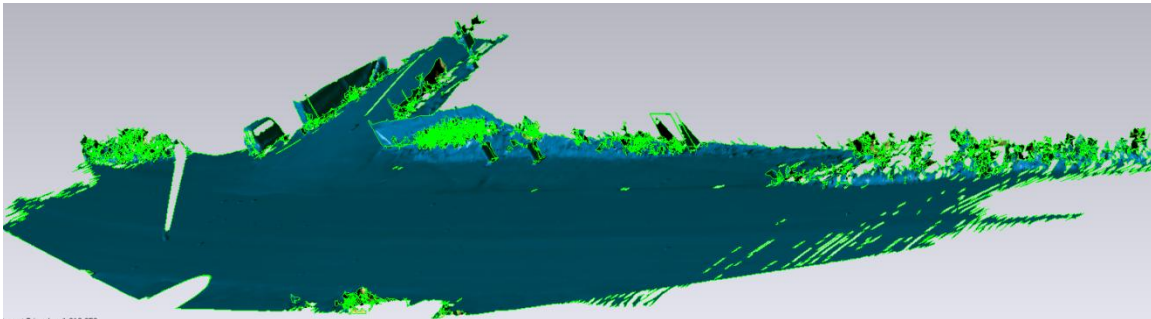


Εικόνα 5.25 Αποτέλεσμα πρώτης προσπάθειας

Το μοντέλο είναι αρκετά ολοκληρωμένο, δεν υπάρχουν κενά στο μεγαλύτερο μέρος του, και ταυτόχρονα έχουν αποτυπωθεί ικανοποιητικά όλες οι απαιτούμενες μορφολογικές ιδιαιτερότητες της οδού. Ο αλγόριθμος μείωσης δεδομένων, δεν φαίνεται να επηρέασε την ποιότητα και την ακρίβεια της σάρωσης. Σε μερικά σημεία είναι εμφανή η παρουσία θορύβου που επηρεάζει το ανάγλυφο του οδοστρώματος (εικόνα 5.26). Οι ατέλειες αυτές όμως μπορούν να απομακρυνθούν.

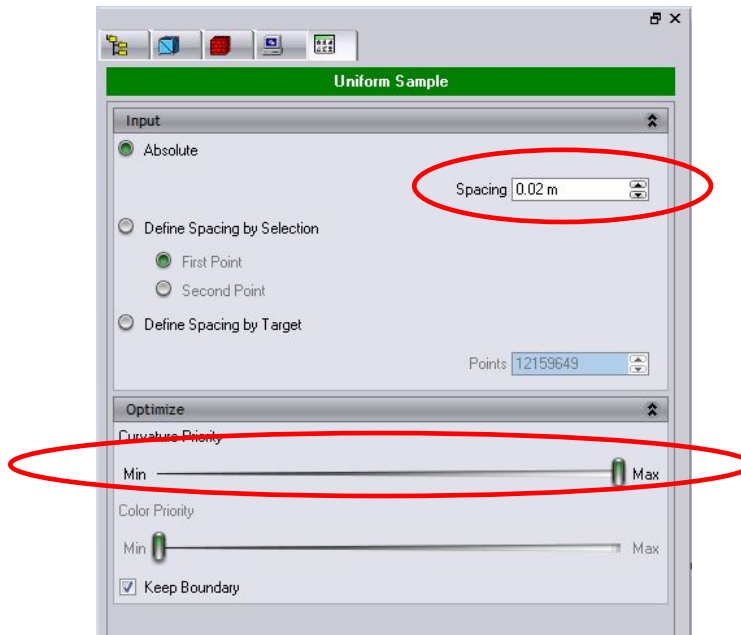


Εικόνα 5.26 Κοντινή εικόνα πρώτης προσπάθειας



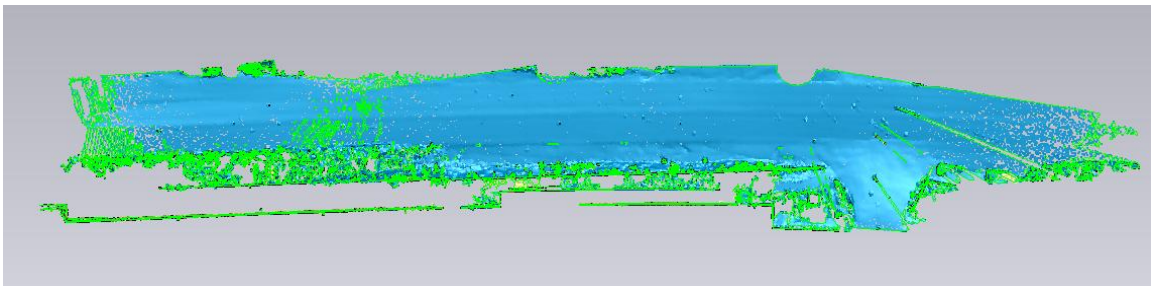
Εικόνα 5.27 Πλάγια εποπτεία τμήματος του μοντέλου

Σε μια δεύτερη προσπάθεια εύρεσης της κατάλληλης τιμής κλίμακας καμπυλότητας και απόστασης για τη μείωση της πληροφορίας, επιλέχθηκε η κλίμακα «11» για την πρώτη παράμετρο και η τιμή 0,02m για την δεύτερη (εικόνα 5.28).

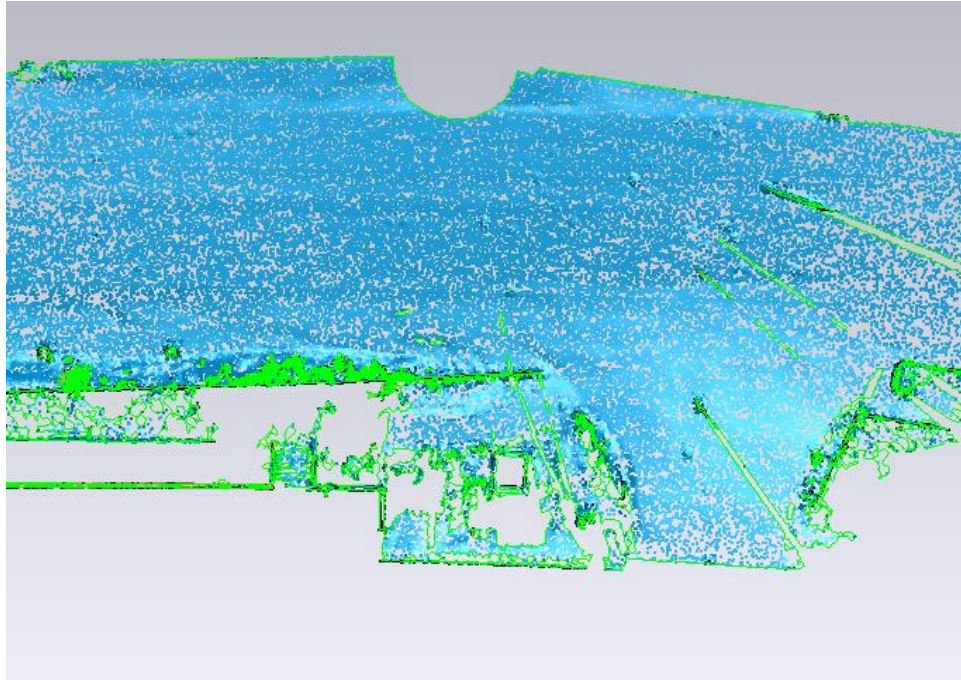


Εικόνα 5.28 Αλλαγές στον αλγόριθμο Uniform Sample

Τα αποτελέσματα δείχνουν από μακρινή παρατήρηση αρκετά όμοια με αυτά της πρώτης προσπάθειας. Παρατηρώντας όμως το μοντέλο από πιο κοντινή απόσταση, φαίνεται πως έχει χαθεί μεγάλη ποσότητα πληροφορίας (εικόνα 5.30). Η ένωση των τριγώνων δεν έχει επιτευχθεί επιτυχώς, συνεπώς, απορρίπτονται οι παραπάνω τιμές εισαγωγής.

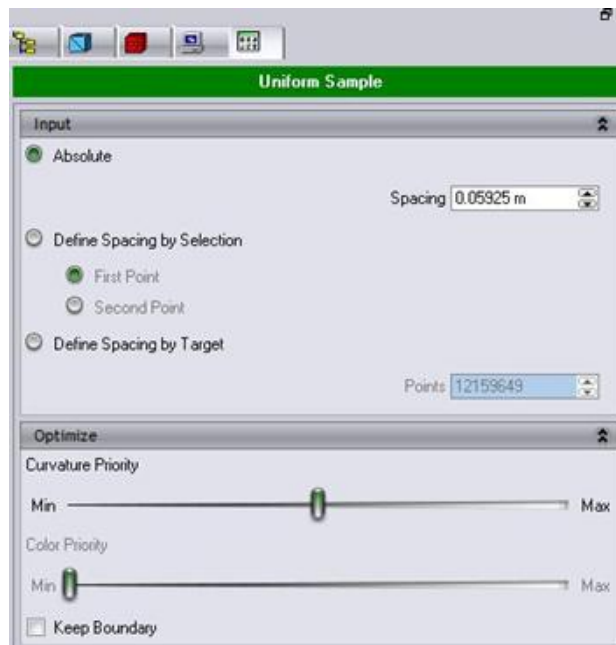


Εικόνα 5.29 Αποτέλεσμα δεύτερης προσπάθειας

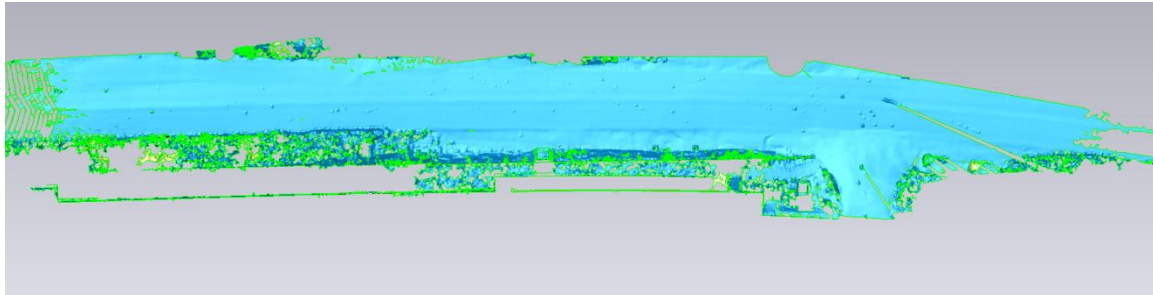


Εικόνα 5.30 Κοντινή εικόνα δεύτερης προσπάθειας

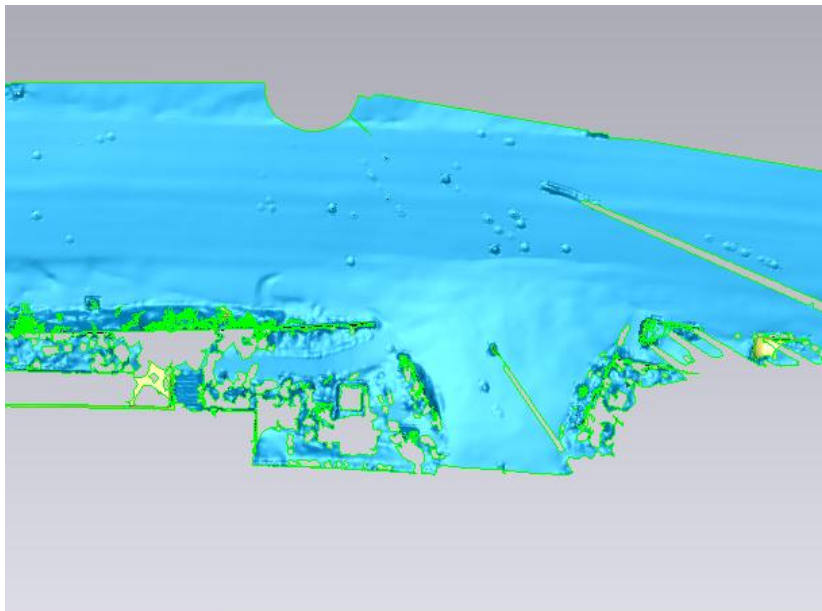
Ως μια τελευταία προσπάθεια εναλλακτικής τιμής της κλίμακας ομαλότητας του μοντέλου, επιλέχθηκε η βαθμίδα «5» (εικόνα 5.31). Η χρονοβόρα αυτή διαδικασία επαναλήφθηκε για ακόμη μια φορά, και τα αποτελέσματα αυτής φαίνονται στην εικόνα 5.32.



Εικόνα 5.31 Επιλογή βαθμίδας "5"

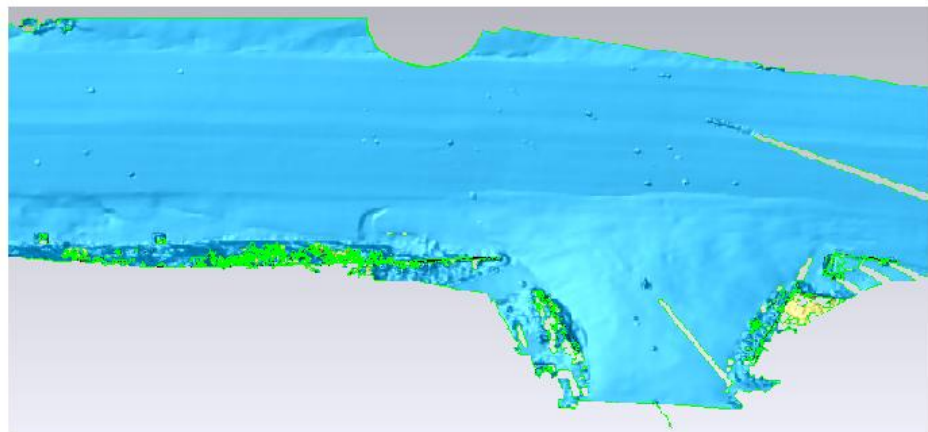


Εικόνα 5.32 Αποτέλεσμα τρίτης προσπάθειας



Τιμή κλίμακας  
«5»

Τιμή κλίμακας  
«1»



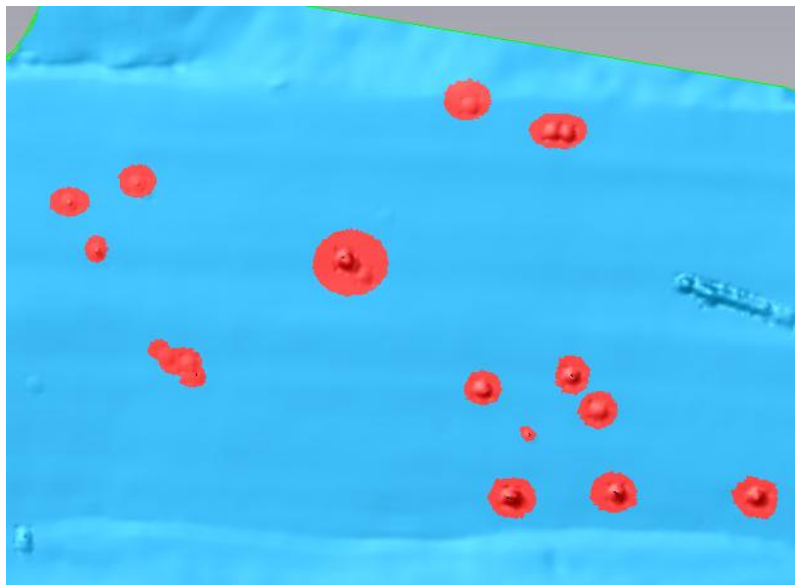
Εικόνα 5.33 Συγκριτική εικόνα 1ης και 3ης προσπάθειας



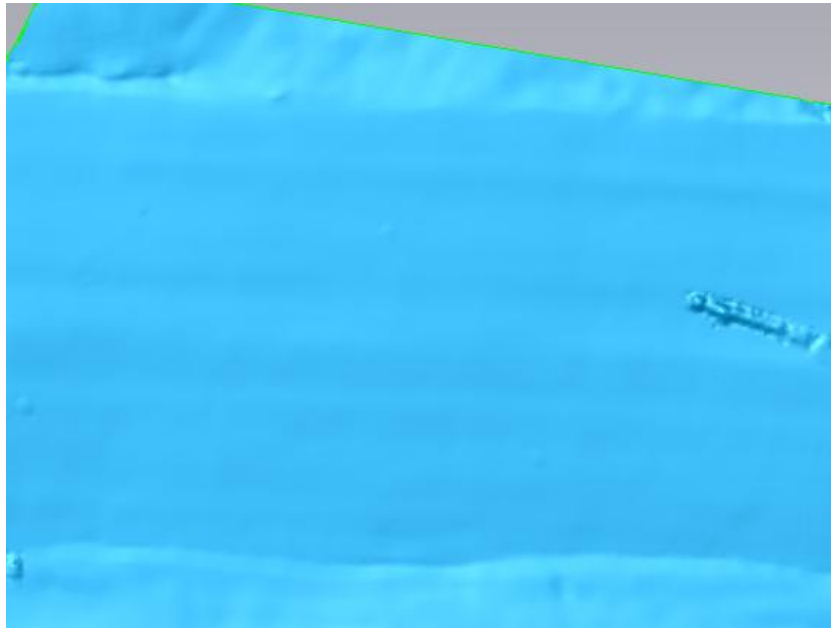
Όπως φαίνεται και στην συγκριτική εικόνα των της πρώτης και της τρίτης περίπτωσης (εικόνα 5.33), αυξάνοντας την κλίμακα ομαλότητας, δεν επηρεάζονται σημαντικά οι λεπτομέρειες του συγκεκριμένου μοντέλου σάρωσης. Παρ' όλα αυτά όμως, είναι εμφανές πως με την κλίμακα «1», η μορφολογία του οδοστρώματος είναι ελαφρώς καλύτερα αποτυπωμένη, και ο θόρυβος λιγότερο έντονος. Συνεπώς, κατά την μελέτη αξιολόγησης της υφιστάμενης κατάστασης του οδοστρώματος της Π.Ε.Ο. Αθηνών – Κορίνθου, θα χρησιμοποιηθεί το αποτέλεσμα της πρώτης δοκιμής.

Πριν την τελική αξιοποίηση του παραχθέντος μοντέλου, πρέπει να γίνουν ορισμένα βήματα βελτιστοποίησης του. Πιο συγκεκριμένα, πρέπει να καλυφθούν τα μικρά κενά πληροφορίας, και να αφαιρεθεί στο μεγαλύτερο εφικτό βαθμό ο εναπομείναντας θόρυβος.

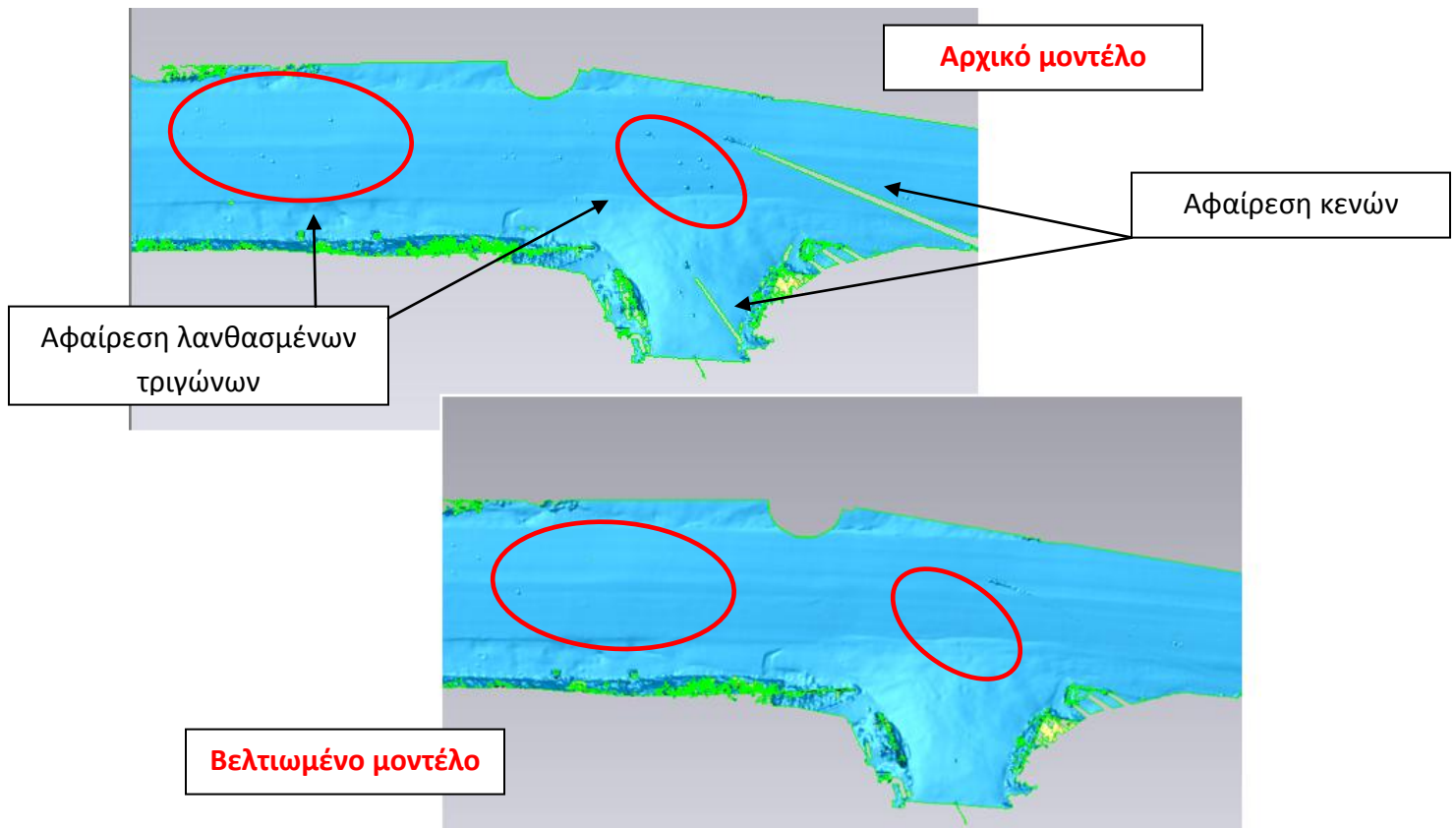
Με την εντολή Fill Holes του λογισμικού Geomagic, επιλέγονται σημεία μικρής απώλειας πληροφορίας, τα οποία στη συνέχεια καλύπτονται αυτόματα, βάσει της μορφολογίας του μοντέλου στην γύρω περιοχή. Επιπλέον, σημεία τα οποία αποτελούν θόρυβο για το μοντέλο επιλέγονται και διαγράφονται από αυτό με την βοήθεια της εντολής «Paintbrush Tool».



Εικόνα 5.34 Σημεία θορύβου προς απομάκρυνση



Εικόνα 5.35 Αποτέλεσμα απομάκρυνσης θορύβου



Εικόνα 5.36 Βελτιωμένο τμήμα μοντέλου

#### 5.2.4. ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ

Συνολικά στο κεφάλαιο 5, παρουσιάστηκαν αναλυτικά όλες οι διαδικασίες που οδηγούν στην δημιουργία ενός τρισδιάστατου μοντέλου επιφάνειας των προς μελέτη οδικών τμημάτων της Πολυτεχνειούπολης, του αστικού κόμβου στην Κοκκινοπούλου και της Π.Ε.Ο. Αθηνών – Χαλκίδος.

Στον πίνακα 5-1 δίνονται συνοπτικά όλες οι χαρακτηριστικές τιμές που δόθηκαν στους αλγορίθμους του Geomagic, καθώς επίσης και κάποια ενδεικτικά στατιστικά στοιχεία, σχετικά με τον αρχικό και τελικό αριθμό σημείων που επεξεργάστηκαν, αλλά και τον συνολικό αριθμό τριγώνων, που απαρτίζουν το τελικό μοντέλο επιφάνειας.

	Οδικό τμήμα Παράμετροι	Πολυτεχνειούπολης	Κοκκινοπούλου	Π.Ε.Ο. Αθηνών - Χαλκίδος
Reduce Noise	Algorithm	Prismatic shapes	Prismatic shapes	Prismatic shapes
	Smoothness Level	1	1	1
	Iterations	1	1	1
	Deciation Limit (m)	2.6386	2.0428	10.5370
	Crease Angle	4.339	2.624	7.356
Uniform Sample	Spacing (m)	0.0159	0.0100	0.0593
	Curvature Priority	Min	Min	Min
Στατιστικά	Αρχικός αριθμός σημείων	2,685,692	4,006,419	12,159,649
	Μετά τη μείωση θορύβου	498,030	502,535	718,636
	Αριθμός τριγώνων	960,964	935,619	1,321,587

Πίνακας 5-1 Συνοπτικά στοιχεία και αποτελέσματα μοντελοποίησης

# 6.

## ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ & ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΟΔΙΚΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ

Στο παρόν κεφάλαιο, περιγράφεται η διαδικασία αξιολόγησης της υφιστάμενης κατάστασης των προς μελέτη οδικών τμημάτων. Αναλύονται οι μέθοδοι οπτικής επιθεώρησης και μετρήσεων στην περιοχή μελέτης αλλά και στο λογισμικό μοντελοποίησης. Τέλος, πραγματοποιείται αναλυτική σύγκριση των αποτελεσμάτων αξιολόγησης των δύο διαφορετικών μεθοδολογικών προσεγγίσεων.

### 6.1. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΕΠΙΤΟΠΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Για την διαδικασία αξιολόγησης του οδικού τμήματος που μελετάται, εφαρμόστηκε ο οδηγός του συστήματος DRM<sup>TM</sup>, ο οποίος αναπτύχθηκε και εφαρμόζεται από το 2001. Λήφθησαν υπόψη όλες οι αναφορές σε εύκαμπτα οδοστρώματα και χρησιμοποιήθηκαν οι κατάλληλοι μαθηματικοί συντελεστές, που εκφράζουν το είδος της καταπόνησης, την κλίμακα έντασης της αλλά και την κλίμακα εξάπλωσης της στο προς μελέτη οδόστρωμα.

### 6.1.1. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΜΕΘΟΔΟΥ PCR (PAVEMENT CONDITION RATING)

Η μέθοδος αυτή ορίζει διάφορους τύπους καταπόνησης για τα διάφορα είδη οδοστρώματος και η αξιολόγηση και βαθμολόγηση αυτών, βασίζεται στην οπτική επιθεώρηση. Εάν και η σχέση μεταξύ καταπονήσεων και εξυπηρέτησης του οδοστρώματος δεν είναι σαφώς καθορισμένη, υπάρχει μια γενική συμφωνία που στηρίζει πως η ικανότητα του οδοστρώματος να εξυπηρετήσει συγκεκριμένα φορτία κυκλοφορίας επηρεάζεται αρνητικά από την παρουσία διάφορων αστοχιών στο ανώτερη επιφάνεια του δρόμου. Η μέθοδος αξιολόγησης PCR παρέχει μια μεθοδολογία ενιαίας αναγνώρισης και περιγραφής, χρησιμοποιώντας ως συντελεστές, το είδος της καταπόνησης, την σοβαρότητα της αλλά και την έκταση της στο προς μελέτη οδόστρωμα.

<b>Severity Level:</b>	<b>Low:</b>	Patch size <0.1 m <sup>2</sup> (1 sq. ft.).
	<b>Medium:</b>	Patch size <0.8 m <sup>2</sup> (1 sq. yd.).
	<b>High:</b>	Patch size >0.8 m <sup>2</sup> (1 sq. yd.).

Πίνακας 6-1 Παράδειγμα υπολογισμού συντελεστή βαρύτητας σοβαρότητας

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του PCR βασίζεται στην άθροιση των συντελεστών καταπόνησης που παρατηρούνται και υπολογίζονται κατά τη διαδικασία της οπτικής αναγνώρισης. Για την κάθε αστοχία, έχουν υπολογιστεί οι κατάλληλοι συντελεστές βαρών που εκφράζουν τη σοβαρότητα και την έκταση της. Η μαθηματική έκφραση για τον υπολογισμό του PCR είναι:

$$PR = 100 - \sum_{I=1}^n \text{Deduct}$$

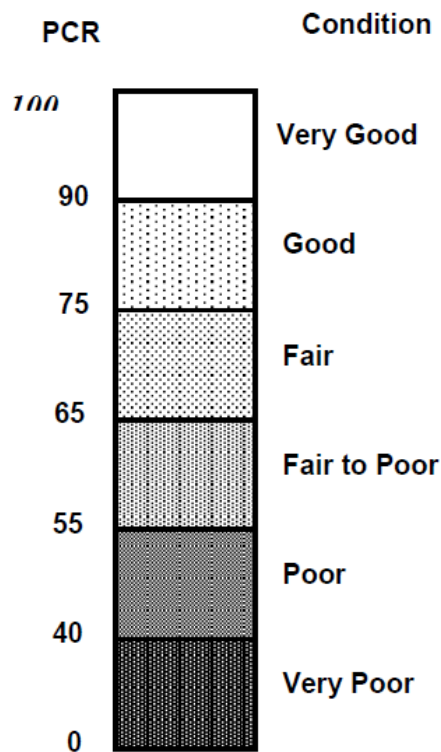
Όπου:

n = ο αριθμός των παρατηρούμενων καταπονήσεων, και

Deduct = (βάρος καταπόνησης) x (Βάρος σοβαρότητας) x (Βάρος έκτασης)

Από τον οδηγό έχει δημιουργηθεί μια κλίμακα PCR η οποία περιγράφει την κατάσταση του οδοστρώματος χρησιμοποιώντας τα υπολογισμένα νούμερα PCR από την

παραπάνω εξίσωση. Η κλίμακα ξεκινάει από την τιμή 0, η οποία αντιπροσωπεύει ένα οδόστρωμα με πολλές καταπονήσεις, που παρουσιάζονται στο μεγαλύτερο τμήμα του δρόμου, και η σοβαρότητα τους φτάνει τα υψηλότερα επίπεδα, και καταλήγει στην τιμή 100, η οποία αντιπροσωπεύει την τέλεια κατάσταση οδοστρώματος.



Εικόνα 6.1 Κλίμακα διαβάθμισης ποιότητας οδοστρώματος (Πηγή: PCEM)

Για την ορθή εφαρμογή του συγκεκριμένου οδηγού, πρέπει η μέση ημερήσια κυκλοφορία να είναι λιγότερη από 5000 οχήματα ανά λωρίδα.

#### 6.1.2. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΩΝ ΣΤΟ ΟΔΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΤΗΣ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥΠΟΛΗΣ

Ακολουθώντας τη σειρά και μεθοδολογία εντοπισμού και αξιολόγησης αστοχιών οδοστρώματος του οδηγού του συστήματος DRM<sub>TM</sub> στο προς μελέτη τμήμα εντός της Πολυτεχνειούπολης, πραγματοποιήθηκε μια σειρά μετρήσεων η οποία παρουσιάζεται παρακάτω.

### **Εκδορές Οδοστρώματος**

Είναι η αποσύνθεση του οδοστρώματος από την επιφάνεια προς τα κάτω, λόγω της απώλειας αδρανών υλικών. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στη γήρανση του συνδετικού ασφάλτου, στην κακή ποιότητα μείγματος ή στην ανεπαρκή συμπίεση.

Η φθορά αυτή υφίσταται στο προς μελέτη οδόστρωμα συχνά, και άρα ανήκει στην μέση κλίμακα εξάπλωσης. Από την οπτική παρατήρηση φάνηκε πως το φαινόμενο ανήκει επίσης στο μέσο επίπεδο σοβαρότητας, μιας και η επιφάνεια έχει χάσει την συνοχή της υφής της και υπάρχει αξιοσημείωτη απώλεια αδρανών υλικών.



Εικόνα 6.2 Εκδορές οδοστρώματος



Εικόνα 6.3 Εκδορές οδοστρώματος

### **Ελεύθερη παρουσία συνθετικών ασφαλτομίγματος**

Η συγκεκριμένη φθορά οφείλεται πιθανότατα στο υπερβάλλον ποσό ασφαλτικών συνθετικών υλικών που μπορεί να χρησιμοποιήθηκαν κατά την παραγωγή του ασφαλτικού μείγματος, καθώς επίσης και στην χαμηλότερη περιεκτικότητα κενού αέρος από αυτή που απαιτείται.



**Εικόνα 6.4 Έντονη παρουσία συνθετικών ασφαλτομίγματος**

Στο συγκεκριμένο οδόστρωμα παρουσιάστηκαν μικρά τμήματα εντονότερης παρουσίας ασφάλτου (εικόνα 6.4). Η κλίμακα εμφάνισης τους είναι μικρή, αλλά η σοβαρότητα του φαινομένου ανήκει στα χαρακτηριστικά της μεσαίας κλίμακας που δίνει ο οδηγός αξιολόγησης, δηλαδή το φαινόμενο είναι εμφανές, με τα χονδροειδή αδρανή και την άσφαλτο να βρίσκονται πλήρως εκτεθειμένα.

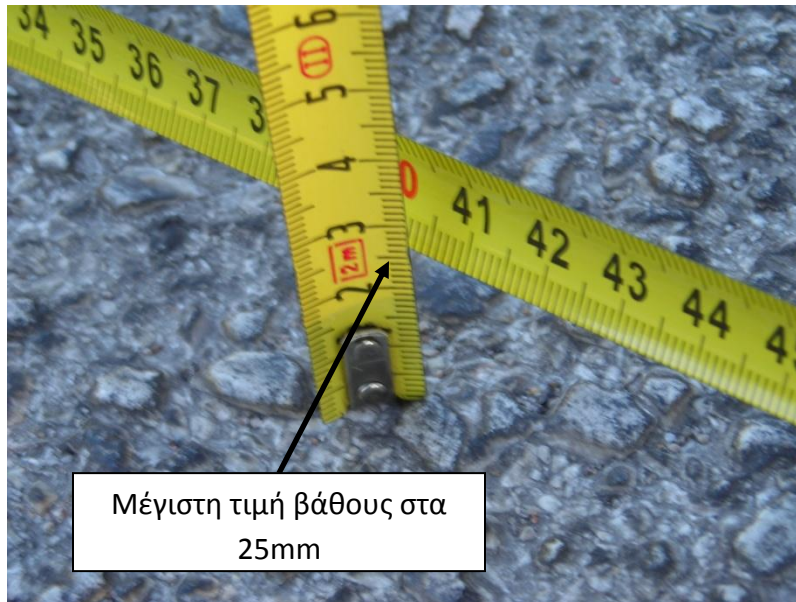
### **Τροχαυλάκωση**

Τα ίχνη τροχού ή τροχαυλάκωση, είναι κάθετες παραμορφώσεις στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Σε σοβαρές περιπτώσεις εμφανίζεται ανύψωση του οδοστρώματος δεξιά κι αριστερά της αυλάκωσης, αλλά τις περισσότερες φορές είναι εμφανής μόνο μια ήπιας μορφής κατάπτωση.

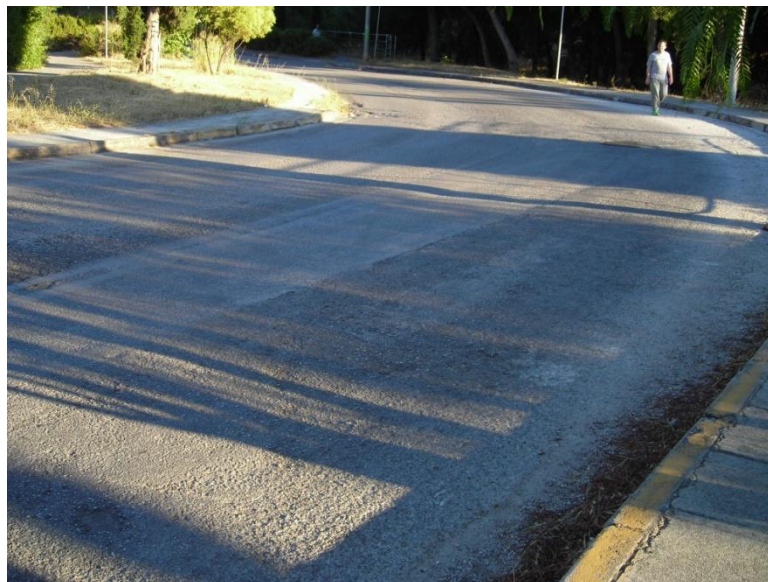
Στο συγκεκριμένο τμήμα, το βάθος αυλάκωσης ήταν μεταξύ 6mm και 25mm (εικόνα 6.5), συνεπώς ανήκει στη μέση κατηγορία επικινδυνότητας. Επίσης το φαινόμενο αυτό



παρουσιάζεται συχνά, επομένως προσαρμόζεται ανάλογα και το βάρος στη μαθηματική εξίσωση.



Εικόνα 6.5 Μέγιστο βάθος τροχαυλάκωσης



Εικόνα 6.6 Γενικότερη εποπτεία τροχαυλάκωσης

**Βυθίσεις – Αποκολλήσεις**

Το φαινόμενο αυτό οφείλεται κυρίως στα κατώτερα στρώματα σύνθεσης του οδοστρώματος, και πιο συγκεκριμένα στην εσφαλμένη ενοποίηση των διάφορων στρώσεων που το απαρτίζουν κατά την κατασκευή του.

Το βάθος των λακκουβών που εντοπίστηκαν στο οδόστρωμα, ήταν μικρότερο των 25mm.



Εικόνα 6.7 Βάθος λακκούβας



Εικόνα 6.8 Βάθος λακκούβας

Το εμβαδόν τους ποικίλει, μιας και εντοπίστηκε σημαντικός αριθμός από αυτές. Η πλειοψηφία τους είχε εμβαδόν μικρότερο των  $0,8\text{m}^2$ . Επομένως, βάσει του παρακάτω πίνακα και των παραπάνω μετρήσεων, υπολογίστηκε πως η σοβαρότητα του φαινομένου βρίσκεται στο χαμηλό επίπεδο.

Depth of De-bonded Area	De-bonded Area $<0.8\text{ m}^2$ (1 sq. yd.)	De-bonded Area $>0.8\text{ m}^2$ (1 sq. yd.)
$< 25\text{ mm}$ (1")	Low	Medium
$> 25\text{ mm}$ (1")	Medium	High

Εικόνα 6.9 Κριτήρια αξιολόγησης σοβαρότητας φαινομένου. (Πηγή: PCEM, 2001)

Στο τμήμα των 30m που αξιολογήθηκε μετρήθηκαν 7 λακκούβες. Συνεπώς σε μήκος 1,6km αναμένεται να υπάρχουν πάνω από 10 λακκούβες. Η διαπίστωση αυτή οδηγεί στην επιλογή της μεγάλης κλίμακας παρουσίας της συγκεκριμένης αστοχίας.

### Επιφάνειες επισκευών

Στο προς μελέτη οδικό τμήμα εντοπίστηκαν δύο μεγάλες επιφάνειες επισκευών (μπαλωμάτων). Εφόσον το εμβαδόν τους είναι μικρότερο των  $12,5\text{m}^2$ , θεωρείται πως δεν αποτελούν τοπικές επικαλύψεις ασφάλτου, και άρα δεν αξιολογούνται ως επιμέρους τμήμα του υφιστάμενου οδοστρώματος.

Εφόσον το εμβαδόν τους είναι μικρότερο του  $0,8\text{m}^2$  και μεγαλύτερο του  $0,1\text{m}^2$ , σύμφωνα με τον οδηγό αξιολόγησης το επίπεδο σοβαρότητας είναι μεσαίο (εικόνα 6.11 και 6.12). Ταυτόχρονα, η συχνότητα εμφάνισής τους, οδηγεί στην επιλογή του συντελεστή της εκτεταμένης παρουσίας του φαινομένου.

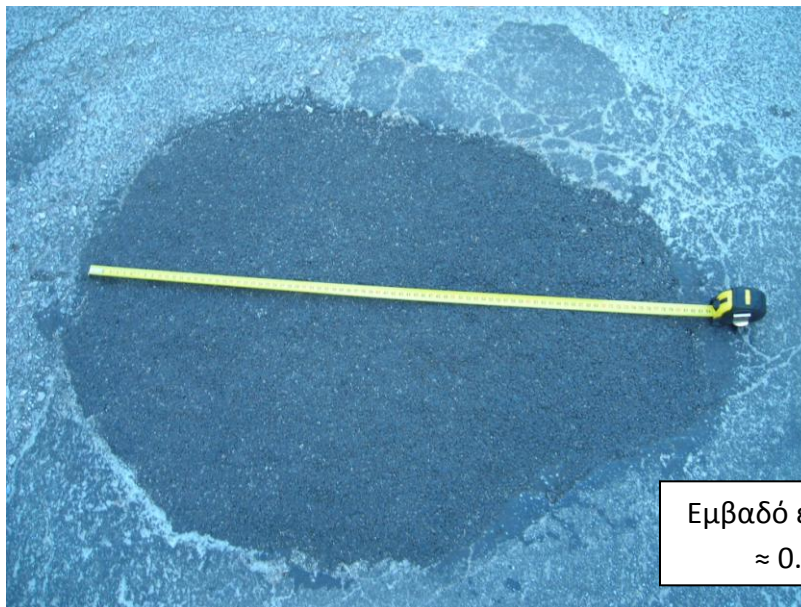


Εικόνα 6.10 Επιφάνεια επισκευών

Εμβαδό επιφάνειας  
 $\approx 0.15 \text{ m}^2$



Εικόνα 6.11 Διάσταση πρώτου μπαλώματος



Εμβαδό επιφάνειας  
 $\approx 0.65 \text{ m}^2$

Εικόνα 6.12 Διάσταση δεύτερου μπαλώματος

### **Ρηγματώσεις λόγω παρουσίας υδάτινων ρευμάτων**

Στο οδικό τμήμα που μελετάται, ήταν ιδιαίτερα εμφανές το συγκεκριμένο είδος ρηγματώσεων (εικόνα 6.13). Σε σημεία έντονης μεταβολής της κλίσης, όπου αναμένεται να υπάρχει συσσώρευση σημαντικής ποσότητας νερού, υπάρχουν ρηγματώσεις με μεγάλο βάθος και πλάτος.

Βάσει του οδηγού αξιολόγησης, προκύπτει πως η έκταση του φαινομένου με αξιοσημείωτη, και άρα θα επιλεγεί ο συντελεστής μέσης διαβάθμισης.

**Ρηγματώσεις κατά μήκος της πορείας οχημάτων**

Οι ρηγματώσεις που βρίσκονται εντός ή κοντά στα ίχνη των τροχών ενός οχήματος αποτελούν αστοχίες με πλάτος 1m(εικόνα 6.14). Ξεκινούν με διακοπτόμενες διαμήκεις ρωγμές και καταλήγουν σε πολλαπλές ρωγμές και ρηγματώσεις τύπου αλιγάτορα. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται σε αστοχίες του ασφαλτικού μείγματος.

Η συγκεκριμένη μορφή καταπόνησης εμφανίζεται στο μεγαλύτερο μέρος του προς μελέτη οδικού τμήματος. Σύμφωνα με τον πίνακα του οδηγού αξιολόγησης, αξιολογείται ως μεγάλης σοβαρότητας και μεσαίας έκτασης φαινόμενο.



Εικόνα 6.13 Παραδείγματα ρωγμών λόγω υδάτινων ρευμάτων



Εικόνα 6.14 Ρηγματώσεις στα ίχνη τροχού

### Διαμήκειες ρωγμές

Κατά μήκος του δρόμου ήταν εμφανείς αρκετές ρηγματώσεις σχεδόν παράλληλες στον άξονα του δρόμου, οι οποίες οφείλονται κατά κύριο λόγο στην αδυναμία πρόσληψης των φορτίων κυκλοφορίας, αλλά και των έντονων θερμοκρασιών που αναπτύσσονται στην επιφάνεια της ασφάλτου.



Εικόνα 6.15 Διαμήκειες ρωγμές

Το συντελεστής του επιπέδου σοβαρότητας για όλες τις κατηγορίες είναι κοινός. Η κλίμακα εμφάνισης τους είναι αρκετά μικρή.

Τέλος, ένας ακόμη λόγος παρουσίασης τέτοιων φθορών, είναι η χρονική διαφορά επίστρωσης του ασφαλτικού μείγματος στα δύο ρεύματα κυκλοφορίας. Το πάχος των ρηγματώσεων αυτών, όπως φαίνεται και στην εικόνα 6.15, είναι μεταξύ 6mm και 25mm, συνεπώς κατατάσσονται στην μέση κατηγορία σοβαρότητας του φαινομένου. Η κλίμακα εμφάνισης τους παραμένει ίδια με αυτή των παραπάνω φθορών, δηλαδή μικρή.

#### **Ρηγματώσεις άκρου οδοστρώματος**

Η συγκεκριμένη κατηγορία ρηγματώσεων παρουσιάζεται σε απόσταση περίπου 0,3m από το όριο της επιφάνειας οδοστρώματος.

Στο προς μελέτη οδικό τμήμα η σοβαρότητα του φαινομένου είναι πολύ σημαντική, αλλά δεν παρουσιάζεται σε μεγαλύτερο από το 20% του μήκους του. Επομένως επιλέχθη ο μικρός συντελεστής βαρύτητας της κλίμακας του φαινομένου, και ο μεγάλος συντελεστής βαρύτητας ως προς την σοβαρότητα του.



Εικόνα 6.16 Διαμήκης ρηγμάτωση



Εικόνα 6.17 Αστοχία στην άκρη του οδοστρώματος

### 6.1.3. ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ ΤΕΛΙΚΟΥ ΠΙΝΑΚΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΔΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥΠΟΛΗΣ

Έχοντας κατηγοριοποιήσει και αξιολογήσει όλες τις καταπονήσεις που εντοπίστηκαν στο προς μελέτη οδικό τμήμα, συμπληρώνεται ανάλογα και ο πίνακας του PCR που δίνεται από τον οδηγό «Pavement Condition Evaluation Manual» (PCEM, 2001).

Κάνοντας τους απαραίτητους υπολογισμούς, προκύπτει πως ο τελικός βαθμός PCR που δίνεται για το συγκεκριμένο οδόστρωμα είναι: 60,75. Με βάση το νούμερο αυτό, και την κλίμακα αξιολόγησης προκύπτει πως ανήκει στην κατηγορία **Fair to Poor**.



ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΜΕΣΩ  
ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΣΑΡΩΣΕΩΝ LASER

SUMMARY OF PCR DEDUCT VALUES

Distress Type	Distress Weight	Severity			Extent			Total
		L	M	H	O	F	E	
Raveling (Flexible/Composite)	10	.3	.6	1	.5	.8	1	4,8
Bleeding (Flexible/Composite)	5	.8	.8	1	.6	.9	1	2,4
Corrugations (Flexible)	5	.4	.8	1	.5	.8	1	—
Rutting (Flexible/Composite)	10	.3	.7	1	.6	.8	1	5,6
Potholes/Debonding (Flex./Comp.)	10	.4	.7	1	.5	.8	1	4
Patching (All Pavement Types)	5	.3	.6	1	.6	.8	1	3
Settlement (All Pavement Types)	10	.5	.7	1	.5	.8	1	—
Crack Seal Deficiency (Flex./Comp.)	5	1	1	1	.5	.8	1	4
Wheel Track Cracking (Flexible)	15	.4	.7	1	.5	.7	1	10,5
Longitudinal Joint Cracking (Flex.)	5	.4	.7	1	.5	.7	1	2,45
Longitud. Cracking (Comp./JC/CRC)	5	.2	.6	1	.4	.8	1	—
Edge Cracking (Flexible)	5	.4	.7	1	.5	.7	1	2,5
Random Cracking (Flexible)	5	.4	.7	1	.5	.7	1	—
Block & Transverse Cracking (Flex.)	10	.4	.7	1	.5	.7	1	—
Transverse Crack (Comp./JC/CRC)	15	.4	.7	1	.5	.8	1	—
Pumping (Comp./JC/CRC)	15	.7	.7	1	.3	.7	1	—
Faulting (Jointed Concrete)	10	.4	.7	1	.5	.8	1	—
Surface Deterioration (JC/CRC)	10	.4	.7	1	.6	.8	1	—
Total Deduct								<b>39,25</b>
100 - Total Deduct = PCR								<b>60,75</b>

Πίνακας 6-2 Τελικός πίνακας αξιολόγησης

6.1.4. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ Π.Ε.Ο. ΑΘΗΝΩΝ – ΧΑΛΚΙΔΟΣ

Ακολουθώντας και πάλι την μεθοδολογία που επιτάσσει η μέθοδος αξιολόγησης του συστήματος DRM<sub>TM</sub>, πραγματοποιήθηκαν οι απαραίτητες μετρήσεις και στο προς μελέτη οδικό τμήμα της Π.Ε.Ο. Αθηνών – Χαλκίδος. Για την κάθε μορφή φθοράς ή παραμόρφωσης, επελέγη η ανάλογη τιμή κλίμακας εμφάνισης και σοβαρότητας του φαινομένου, και συμπληρώθηκε ο τελικός πίνακας PCR.

**Εκδορές οδοστρώματος**

Από την οπτική παρατήρηση φάνηκε πως το συγκεκριμένο φαινόμενο ανήκει στο μικρό επίπεδο σοβαρότητας, μιας και η επιφάνεια έχει χάσει την συνοχή της υφής της σε μικρό ποσοστό και υπάρχει μικρή απώλεια αδρανών υλικών (εικόνα 6.18). Η φθορά αυτή υφίσταται στο προς μελέτη οδόστρωμα συχνά, και άρα ανήκει στην μέση κλίμακα εξάπλωσης.



**Εικόνα 6.18 Εκδορές οδοστρώματος**



**Εικόνα 6.19 Εκδορές οδοστρώματος**

### **Ελεύθερη παρουσία συνθετικών ασφαλτομίγματος**

Στο συγκεκριμένο οδόστρωμα παρουσιάστηκαν μικρά τμήματα εντονότερης παρουσίας ασφαλτομίγματος (εικόνα 6.20). Η κλίμακα εμφάνισης τους είναι μικρή, καθώς επίσης και η σοβαρότητα του φαινομένου, μιας και δεν είναι ιδιαίτερα εμφανές.



Εικόνα 6.20 Παρουσία συνθετικών ασφαλτομίγματος

### **Βυθίσεις – Αποκολλήσεις**

Το βάθος των λακκουβών που εντοπίστηκαν στο οδόστρωμα, ήταν αρκετά μεγαλύτερο των 25mm (εικόνα 6.22). Το μέγεθος τους κατά κύριο λόγο κυμαινόταν σε μεγέθη μικρότερα των 0,8m<sup>2</sup>. Επομένως, βάσει του παρακάτω πίνακα και των παραπάνω μετρήσεων, υπολογίστηκε πως η σοβαρότητα του φαινομένου βρίσκεται στο μεσαίο επίπεδο. Στο οδικό τμήμα των 400 περίπου μέτρων που σαρώθηκε και μελετάται

μετρήθηκαν λιγότερες από 5 λακκούβες. Συνεπώς το φαινόμενο ανήκει στην μικρή κλίμακα εμφάνισης.

Depth of De-bonded Area	De-bonded Area <math><0.8 \text{ m}^2</math> (1 sq. yd.)	De-bonded Area >math>>0.8 \text{ m}^2</math> (1 sq. yd.)
<math>< 25 \text{ mm}</math> (1")	Low	Medium
> 25 mm (1")	Medium	High

Πίνακας 6-3 Κριτήρια αξιολόγησης σοβαρότητας φαινομένου. (Πηγή: PCEM, 2001)



Εικόνα 6.21 Αποκολλήσεις στην Π.Ε.Ο.



Εικόνα 6.22 Χαρακτηριστικό βάθος αποκολλήσεων

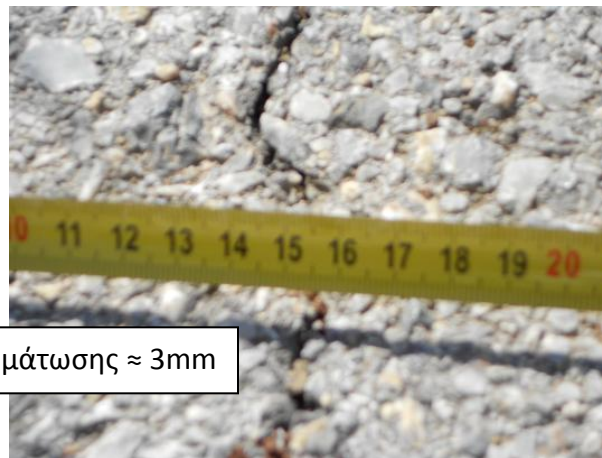
### Διαμήκειες ρωγμές

Κατά μήκος του δρόμου ήταν εμφανείς αρκετές ρηγματώσεις σχεδόν παράλληλες στον άξονα του δρόμου, οι οποίες οφείλονται κατά κύριο λόγο στην αδυναμία πρόσληψης των φορτίων κυκλοφορίας, αλλά και των έντονων θερμοκρασιών που αναπτύσσονται στην επιφάνεια της ασφάλτου (εικόνα 6.23).



Εικόνα 6.23 Διαμήκειες ρωγμές

Το πάχος των ρηγματώσεων αυτών, όπως φαίνεται και στην εικόνα 6.24, είναι μικρότερο των 6mm, συνεπώς κατατάσσονται στην μικρή κατηγορία σοβαρότητας του φαινομένου. Η κλίμακα εμφάνισης τους είναι αρκετά μικρή, κι άρα δίνεται ο μικρότερος συντελεστής της κλίμακας.



Πάχος ρηγματώσης  $\approx$  3mm

Εικόνα 6.24 Πλάτος διαμηκών ρωγμών

**Ρωγμές άκρου οδοστρώματος**

Η συγκεκριμένη κατηγορία ρηγματώσεων παρουσιάζεται σε απόσταση περίπου 0,3m από το όριο της επιφάνειας οδοστρώματος. Στο προς μελέτη οδικό τμήμα η σοβαρότητα του φαινομένου είναι ανήκει στην μεγάλη βαθμίδα, δηλαδή παρουσιάζονται ρηγματώσεις με πλάτος μεγαλύτερο των 25mm και αποκολλήσεις (βλέπε εικόνα 6.26), αλλά δεν παρουσιάζεται σε μεγαλύτερο από το 20% του μήκους του. Επομένως επιλέχθη ο μικρός συντελεστής βαρύτητας της κλίμακας του φαινομένου, και ο μεγάλος συντελεστής βαρύτητας ως προς την σοβαρότητα του.



Εικόνα 6.25 Ρωγμές άκρου οδοστρώματος



Εικόνα 6.26 Ρωγμές άκρου οδοστρώματος

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΜΕΣΩ  
ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΣΑΡΩΣΕΩΝ LASER

6.1.5. ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ ΤΕΛΙΚΟΥ ΠΙΝΑΚΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΔΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ  
Π.Ε.Ο. ΑΘΗΝΩΝ - ΧΑΛΚΙΔΟΣ

Κάνοντας τους απαραίτητους υπολογισμούς, προκύπτει πως ο τελικός βαθμός PCR που δίνεται για το συγκεκριμένο οδόστρωμα είναι: 88,2. Με βάση το νούμερο αυτό, και την κλίμακα αξιολόγησης προκύπτει πως ανήκει στην κατηγορία **Good**.

<u>Distress Type</u>	<u>Distress Weight</u>	<u>Severity</u>			<u>Extent</u>			<u>Total</u>
		<u>L</u>	<u>M</u>	<u>H</u>	<u>O</u>	<u>F</u>	<u>E</u>	
Raveling (Flexible/Composite)	10	.3	.6	1	.5	.8	1	<u>2,4</u>
Bleeding (Flexible/Composite)	5	.8	.8	1	.6	.9	1	<u>2,4</u>
Corrugations (Flexible)	5	.4	.8	1	.5	.8	1	_____
Rutting (Flexible/Composite)	10	.3	.7	1	.6	.8	1	_____
Potholes/Debonding (Flex./Comp.)	10	.4	.7	1	.5	.8	1	<u>3,5</u>
Patching (All Pavement Types)	5	.3	.6	1	.6	.8	1	_____
Settlement (All Pavement Types)	10	.5	.7	1	.5	.8	1	_____
Crack Seal Deficiency (Flex./Comp.)	5	1	1	1	.5	.8	1	_____
Wheel Track Cracking (Flexible)	15	.4	.7	1	.5	.7	1	_____
Longitudinal Joint Cracking (Flex.)	5	.4	.7	1	.5	.7	1	<u>1</u>
Longitud. Cracking (Comp./JC/CRC)	5	.2	.6	1	.4	.8	1	_____
Edge Cracking (Flexible)	5	.4	.7	1	.5	.7	1	<u>2,5</u>
Random Cracking (Flexible)	5	.4	.7	1	.5	.7	1	_____
Block & Transverse Cracking (Flex.)	10	.4	.7	1	.5	.7	1	_____
Transverse Crack (Comp./JC/CRC)	15	.4	.7	1	.5	.8	1	_____
Pumping (Comp./JC/CRC)	15	.7	.7	1	.3	.7	1	_____
Faulting (Jointed Concrete)	10	.4	.7	1	.5	.8	1	_____
Surface Deterioration (JC/CRC)	10	.4	.7	1	.6	.8	1	_____
Total Deduct								<b><u>11,8</u></b>
100 - Total Deduct = PCR								<b><u>88,2</u></b>

Πίνακας 6-4 Τελικός πίνακας αξιολόγησης

6.1.6. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΑΣΤΙΚΟΥ ΚΟΜΒΟΥ ΚΟΚΚΙΝΟΠΟΥΛΟΥ –  
ΑΓΗΝΟΡΟΣ

Αρκετές είναι οι φθορές που παρουσιάζονται και στο συγκεκριμένο οδικό τμήμα. Πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή οι απαραίτητες μετρήσεις, και συμπληρώθηκε ανάλογα ο πίνακας PCR. Το γεγονός ότι η διαδικασία επαναλαμβάνεται για τρίτη συνεχόμενη φορά, καθιστά το χρόνο παραμονής στον χώρο των μετρήσεων μικρότερο, μιας και έχει επιτευχθεί σημαντική εξοικείωση με τις διάφορες μορφές ρηγματώσεων και παραμορφώσεων.

**Εκδορές οδοστρώματος**

Το οδόστρωμα του αστικού κόμβου παρουσιάζει ιδιαίτερα έντονα αυτό το είδος φθοράς. Σε όλο το τμήμα της οδού είναι αρκετά εμφανή τα αδρανή σύνθεσης του ασφαλτομίγματος. Επομένως επιλέγεται η μεγάλη κλίμακα εξάπλωσης του φαινομένου, καθώς επίσης και η μεγάλη κλίμακα σοβαρότητας, μιας και σε μερικά σημεία παρατηρείται ακόμη και ολική αποκόλληση των ανώτερων επιφανειών οδοστρώμας (εικόνα 6.27).



Εικόνα 6.27 Εκδορές οδοστρώματος



### **Βυθίσεις – Αποκολλήσεις**

Βάσει των αποτελεσμάτων των διαφόρων μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν, διαπιστώθηκε πως υφίστασαι προβληματική ενοποίηση των διάφορων στρώσεων που απαρτίζουν το οδόστρωμα κατά την κατασκευή του. Στον αστικό κόμβο μετρήθηκαν αρκετές περιπτώσεις βυθίσεων της ανώτερης στρώσης, καθώς επίσης και αποκολλήσεις αυτής.

Το βάθος των βυθίσεων που εντοπίστηκαν στο οδόστρωμα, ήταν μεγαλύτερο των 25mm. Σε μερικές από αυτές είχε συσσωρευτεί αρκετή ποσότητα νερού, γεγονός που αποδεικνύει πως το βάθος τους είναι αρκετά σημαντικό κι επικίνδυνο για την ασφαλή και άνετη εξυπηρέτηση ενός οδηγού οχήματος.



**Εικόνα 6.28 Λακκούβες οδοστρώματος**

Το εμβαδόν τους ποικίλει, μιας και εντοπίστηκε σημαντικός αριθμός από αυτές. Η πλειοψηφία τους είχε εμβαδόν μικρότερο των 0,8m<sup>2</sup>. Επομένως, βάσει του παρακάτω πίνακα και των παραπάνω μετρήσεων, υπολογίστηκε πως η σοβαρότητα του φαινομένου βρίσκεται στο μεσαίο επίπεδο.



Εικόνα 6.29 Αποκολλήσεις ανώτερης στρώσης οδοστρωσίας

Depth of De-bonded Area	De-bonded Area <math><0.8 \text{ m}^2</math> (1 sq. yd.)	De-bonded Area >math>>0.8 \text{ m}^2</math> (1 sq. yd.)
<math>< 25 \text{ mm}</math> (1")	Low	Medium
>math>> 25 \text{ mm}</math> (1")	Medium	High

Πίνακας 6-5 Κριτήρια αξιολόγησης σοβαρότητας φαινομένου. (Πηγή: PCEM, 2001)

Η συχνότητα εμφάνισης τους κατατάσσει τη συγκεκριμένη φθορά στο μέγιστο επίπεδο κλίμακας εμφάνισης.

### **Επιφάνεια επισκευών**

Στο προς μελέτη οδικό τμήμα του αστικού κόμβου δεν εντοπίστηκε σημαντικός αριθμός επιφανειών επισκευών (μπαλωμάτων). Εφόσον το εμβαδόν τους είναι μικρότερο των  $12,5\text{m}^2$ , θεωρείται πως δεν αποτελούν τοπικές επικαλύψεις ασφάλτου, και άρα δεν αξιολογούνται ως επιμέρους τμήμα του υφιστάμενου οδοστρώματος.

Εφόσον το εμβαδόν τους είναι μικρότερο του  $0,8\text{m}^2$  και μεγαλύτερο του  $0,1\text{m}^2$ , σύμφωνα με τον οδηγό αξιολόγησης το επίπεδο σοβαρότητας είναι μεσαίο. (εικόνα

6.30). Ταυτόχρονα, η συχνότητα εμφάνισης τους, οδηγεί στην επιλογή του συντελεστή της μικρής παρουσίας του φαινομένου.

**Ρηγματώσεις λόγω παρουσίας υδάτινων ρευμάτων**

Στον συγκεκριμένο αστικό κόμβο ήταν ιδιαίτερα εμφανές το συγκεκριμένο είδος ρηγματώσεων. Σε σημεία έντονης μεταβολής της κλίσης, όπου αναμένεται να υπάρχει συσσώρευση σημαντικής ποσότητας νερού, υπάρχουν ρηγματώσεις με μεγάλο βάθος και πλάτος (6.31).

Βάσει του οδηγού αξιολόγησης, προκύπτει πως η έκταση του φαινομένου με αξιοσημείωτη, και άρα θα επιλεγεί ο συντελεστής μέσης διαβάθμισης.



Εικόνα 6.30 Επιφάνεια επισκευής φθορών



Εικόνα 6.31 Ρηγματώσεις λόγω υδάτων



Εικόνα 6.32 Ρηγματώσεις λόγω υδάτων

#### **Ρηγματώσεις κατά μήκος της πορείας οχήματος**

Ρηγματώσεις που βρίσκονται εντός ή κοντά στα ίχνη των τροχών ενός οχήματος, είναι εμφανείς και σε αυτή την περίπτωση. Χαρακτηριστικό παράδειγμα της υφιστάμενης κατάστασης αποτελεί η εικόνα 6.33.

Η συγκεκριμένη μορφή καταπόνησης εμφανίζεται σε ένα μικρό μέρος του προς μελέτη οδικού τμήματος. Σύμφωνα με τον πίνακα του οδηγού αξιολόγησης, αξιολογείται ως μεγάλης σοβαρότητας και μικρής έκτασης φαινόμενο.

#### **Διαμήκειες ρωγμές**

Κατά μήκος του δρόμου ήταν εμφανείς αρκετές ρηγματώσεις σχεδόν παράλληλες στον άξονα του δρόμου. Το πλάτος τους ήταν μεταξύ 25mm – 50mm και το μήκος τους καταλάμβανε το μεγαλύτερο μέρος του προς μελέτη αστικού κόμβου.



Εικόνα 6.33 Ρηγματώσεις κατά μήκος της πορείας οχήματος



Εικόνα 6.34 Διαμήκειες ρωγμές

Επιλέγεται η μεγαλύτερη κλίμακα εμφάνισης και η μεσαία κλίμακα σοβαρότητας του φαινομένου.

6.1.7. ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ ΤΕΛΙΚΟΥ ΠΙΝΑΚΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΔΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΚΟΚΚΙΝΟΠΟΥΛΟΥ

Κάνοντας τους απαραίτητους υπολογισμούς, προκύπτει πως ο τελικός βαθμός PCR που δίνεται για το συγκεκριμένο οδόστρωμα είναι: 66,2. Με βάση το νούμερο αυτό, και την κλίμακα αξιολόγησης προκύπτει πως ανήκει στην κατηγορία **Fair**.

SUMMARY OF PCR DEDUCT VALUES

<u>Distress Type</u>	Distress Weight	Severity			Extent			Total
		L	M	H	O	F	E	
Raveling (Flexible/Composite)	10	.3	.6	1	.5	.8	1	10
Bleeding (Flexible/Composite)	5	.8	.8	1	.6	.9	1	_____
Corrugations (Flexible)	5	.4	.8	1	.5	.8	1	_____
Rutting (Flexible/Composite)	10	.3	.7	1	.6	.8	1	_____
Potholes/Debonding (Flex./Comp.)	10	.4	.7	1	.5	.8	1	7
Patching (All Pavement Types)	5	.3	.6	1	.6	.8	1	1,8
Settlement (All Pavement Types)	10	.5	.7	1	.5	.8	1	_____
Crack Seal Deficiency (Flex./Comp.)	5	1	1	1	.5	.8	1	4
Wheel Track Cracking (Flexible)	15	.4	.7	1	.5	.7	1	7,5
Longitudinal Joint Cracking (Flex.)	5	.4	.7	1	.5	.7	1	3,5
Longitud. Cracking (Comp./JC/CRC)	5	.2	.6	1	.4	.8	1	_____
Edge Cracking (Flexible)	5	.4	.7	1	.5	.7	1	_____
Random Cracking (Flexible)	5	.4	.7	1	.5	.7	1	_____
Block & Transverse Cracking (Flex.)	10	.4	.7	1	.5	.7	1	_____
Transverse Crack (Comp./JC/CRC)	15	.4	.7	1	.5	.8	1	_____
Pumping (Comp./JC/CRC)	15	.7	.7	1	.3	.7	1	_____
Faulting (Jointed Concrete)	10	.4	.7	1	.5	.8	1	_____
Surface Deterioration (JC/CRC)	10	.4	.7	1	.6	.8	1	_____
Total Deduct								<b>33,8</b>
100 - Total Deduct = PCR								<b>66,2</b>

Πίνακας 6-6 Τελικός πίνακας αξιολόγησης

## 6.2.ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ GSP MANUAL – LASER SCANNER

Μετά το πέρας της διαδικασίας εντοπισμού και εκτίμησης της υφιστάμενης κατάστασης του προς μελέτη οδοστρώματος με τη βοήθεια του Pavement Condition Evaluation Manual (PCEM, 2001) και της μοντελοποίησης του αντικειμένου με τη βοήθεια του λογισμικού Geomagic Studio 10, ακολουθεί η διαδικασία αξιολόγησης της μετρητικής και οπτικής πληροφορίας που δίνεται από το τρισδιάστατο μοντέλο και τις διατομές του, σε σχέση με τις απαραίτητες μετρήσεις και παρατηρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο πεδίο για τις ανάγκες συμπλήρωσης του πίνακα οδηγού του συστήματος DRM<sub>TM</sub>.

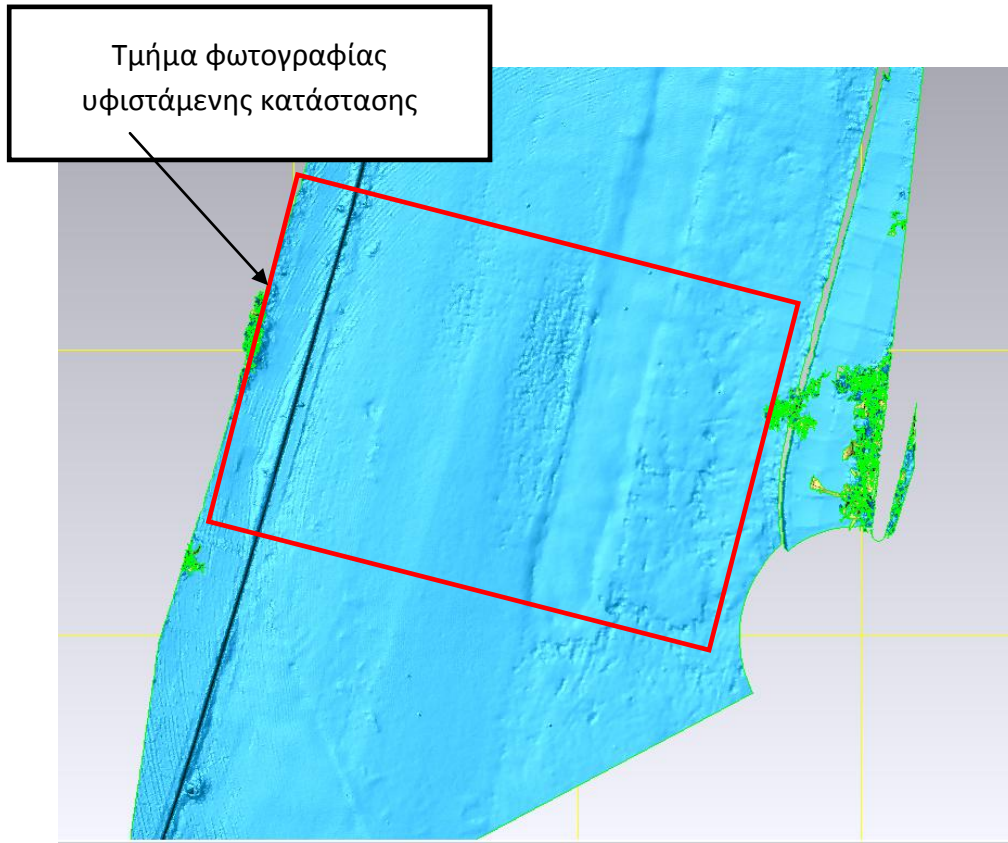
### 6.2.1. ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΦΘΟΡΩΝ – ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΣΤΟ 3D ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥΠΟΛΗΣ

Για την πλήρη κάλυψη των προδιαγραφών ολοκληρωμένης αξιολόγησης της υφιστάμενης κατάστασης ενός δρόμου, ακολουθείται πιστά η σειρά εντοπισμού και μέτρησης των φθορών και παραμορφώσεων, που παρουσιάστηκαν στη μεθοδολογία του συστήματος DRM<sub>TM</sub>.

#### **Εκδορές οδοστρώματος**

Στις μετρήσεις πεδίου το φαινόμενο αυτό εντοπίστηκε με μέση κλίμακα εξάπλωσης και μέσο επίπεδο σοβαρότητας. Στο τρισδιάστατο μοντέλο από τις μετρήσεις του laser scanner δεν είναι εφικτός ο εντοπισμός του. Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα, η επιφάνεια της ασφάλτου φαίνεται στα περισσότερα σημεία, ομοιόμορφη και σε καλή κατάσταση κάτι που δεν ισχύει στην πραγματικότητα.

Αυξάνοντας το μέγεθος του μοντέλου, και παρατηρώντας πιο κοντά το αποτέλεσμα, διακρίνονται μικρές παραμορφώσεις, οι οποίες όμως μπορούν να αξιολογηθούν από τον παρατηρητή πολύ εύκολα και ως θόρυβος (εικόνα 6.37). Επομένως ο παρατηρητής ενός τέτοιου μοντέλου θα θεωρούσε πως δεν εμφανίζονται εκδορές στο συγκεκριμένο οδόστρωμα, και άρα δεν θα το συμπεριελάμβανε στις παρατηρούμενες καταπονήσεις.



Εικόνα 6.35 Τρισδιάστατο μοντέλο Geomagic



Εικόνα 6.36 Υφιστάμενη κατάσταση





Εικόνα 6.37 Κοντινή παρατήρηση μοντέλου

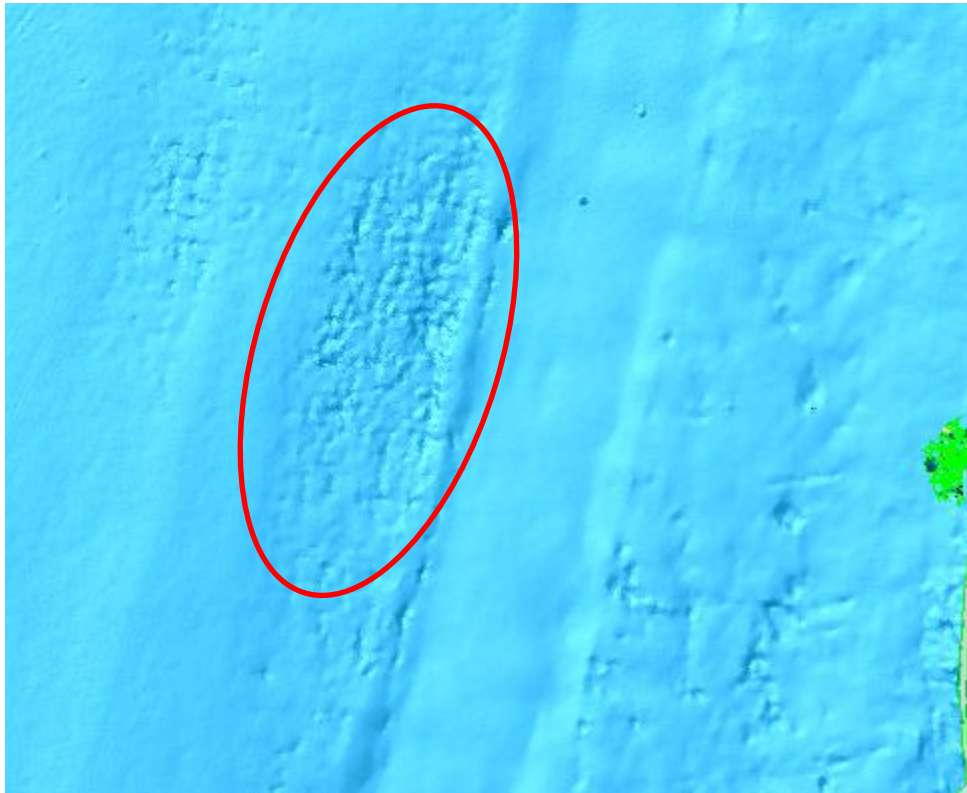
### **Ελεύθερη παρουσία συνθετικών ασφαλτομίγματος**

Το συγκεκριμένο φαινόμενο που παρατηρήθηκε στο προς μελέτη οδόστρωμα, έχει μικρή κλίμακα εμφάνισης και μέση κλίμακα σοβαρότητας. Η παραμορφώσεις που συνδέονται με την ελεύθερη παρουσία συνθετικών ασφάλτου αποτυπώνονται πολύ ικανοποιητικά με τις μετρήσεις του laser scanner. Το μοντέλο αντικατοπτρίζει ικανοποιητικά το φαινόμενο στη σωστή κλίμακα εμφάνισης και επιπέδου σοβαρότητας.

Πιθανότατα ένας μη εξοικειωμένος παρατηρητής να μην μπορέσει εύκολα να ερμηνεύσει την εικόνα του μοντέλου του laser scanner. Γι αυτό απαιτούνται αρκετά ερμηνευτικά κλειδιά – παραδείγματα, τα οποία θα δίνουν τη σωστή κατεύθυνση ερμηνείας στον μελετητή ως προς το συγκεκριμένο φαινόμενο.



Εικόνα 6.38 Παρουσία συνθετικών ασφάλτου



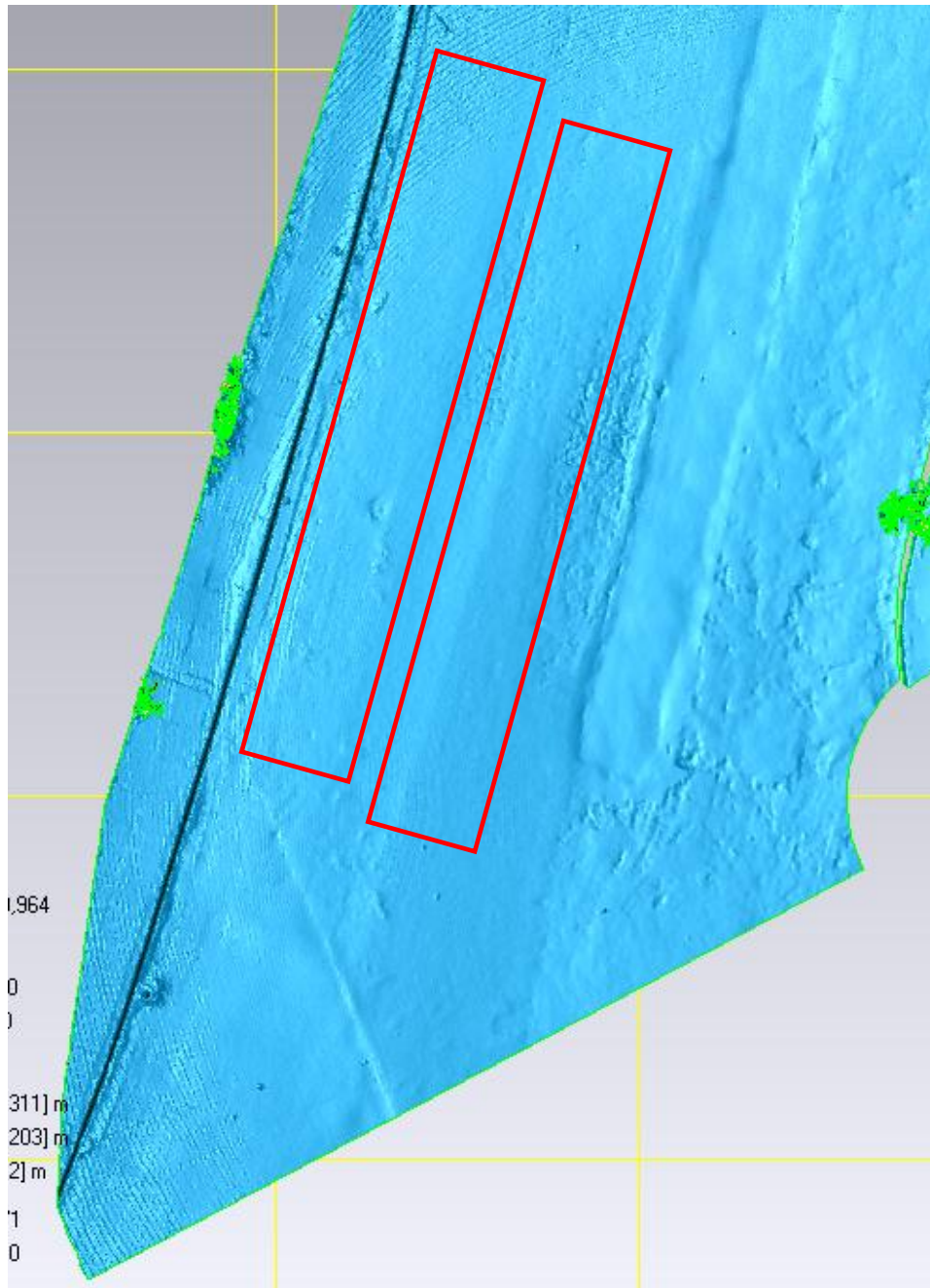
Εικόνα 6.39 Ελεύθερη παρουσία ασφαλτικών υλικών στο 3D μοντέλο

### **Τροχαυλάκωση**

Οι τροχαυλακώσεις αποτελούν παραμορφώσεις που μπορούν να γίνουν αντιληπτές σε ένα τρισδιάστατο μοντέλο μετρήσεων με μικρή όμως δυσκολία. Αποτελούν καταπονήσεις παράλληλες στον άξονα του δρόμου, και σε σοβαρές περιπτώσεις, όπως προαναφέρθηκε, εμφανίζονται μαζί με ανύψωση του οδοστρώματος δεξιά και αριστερά της αυλάκωσης.

Από τις μετρήσεις πεδίου αξιολογήθηκε ως ένα φαινόμενο μέσης επικινδυνότητας, και μέσης κλίμακας εμφάνισης. Στο μοντέλο, παρατηρούνται τροχαυλακώσεις κυρίως στο ένα ρεύμα κυκλοφορίας. Στο ρεύμα πορείας προς την πύλη Κατεχάκη, φαίνονται ξεκάθαρα οι καταπονήσεις που έχει δεχθεί το οδόστρωμα από τους τροχούς των οχημάτων (εικόνα 6.40). Στο αντίθετο ρεύμα, ακόμη και με τις επί τόπου παρατηρήσεις, το φαινόμενο αυτό δεν είναι εμφανές λόγω των πολλών άλλων αστοχιών που υφίστανται.

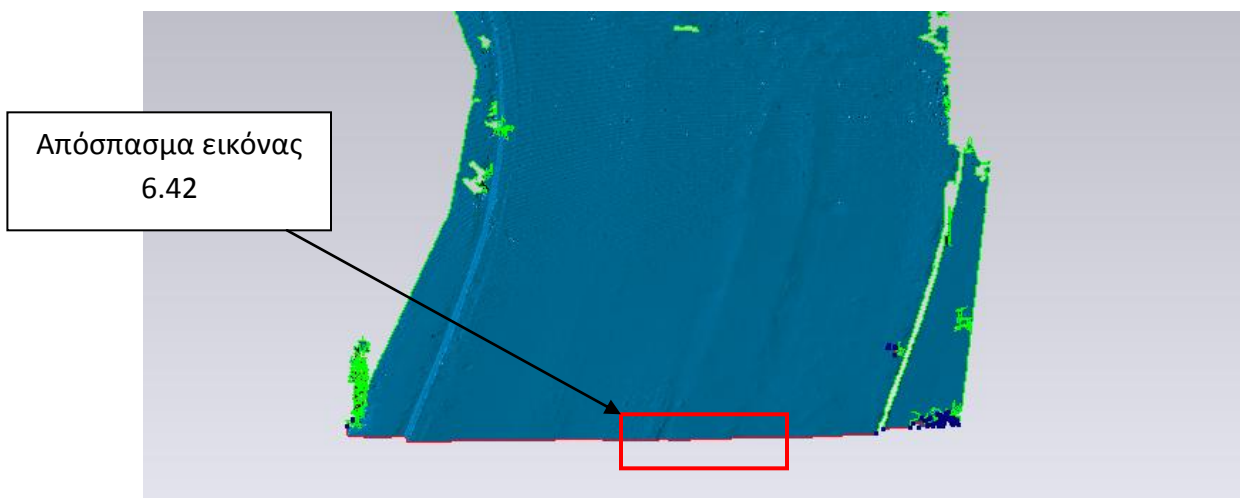
Η κλίμακα εξάπλωσης του φαινομένου αντικατοπτρίζεται πολύ ικανοποιητικά. Ο μελετητής είναι σε θέση να ξεχωρίσει εύκολα τις συνέπειες της τροχαυλάκωσης και να υπολογίζει το ποσοστό εμφάνισης του σε συγκεκριμένο μήκος που ορίζει το σύστημα DRM<sub>TM</sub>.



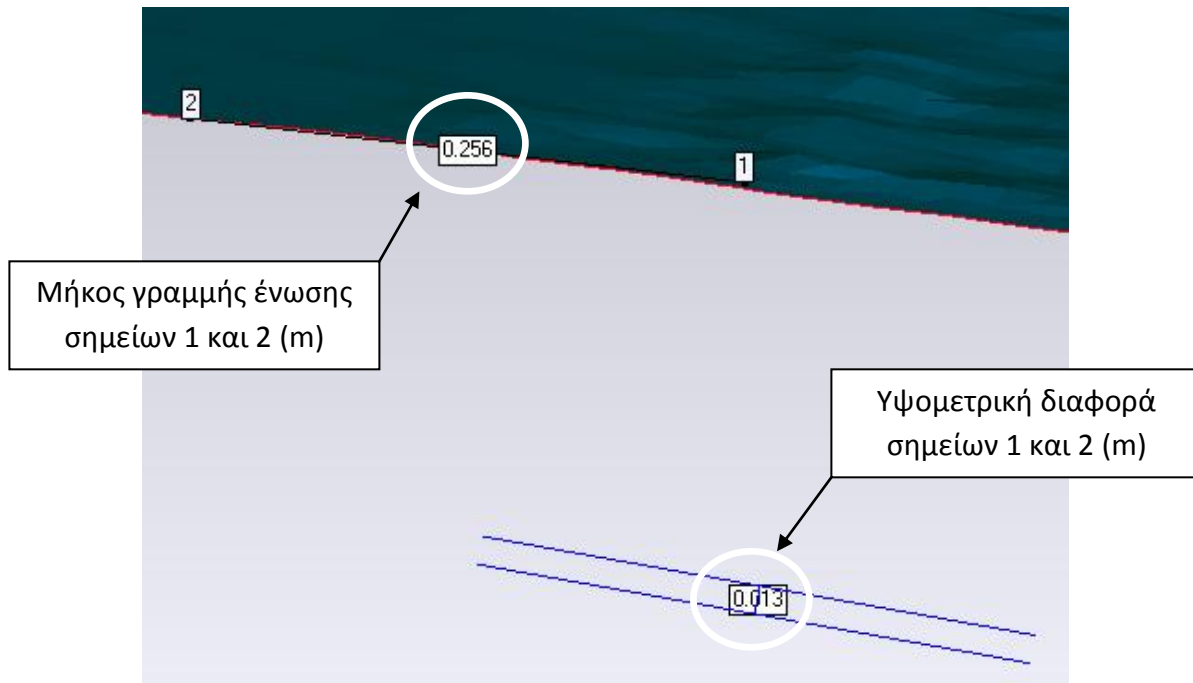
Εικόνα 6.40 Τροχαυλακώσεις στο 3D μοντέλο

Η κλίμακα σοβαρότητας του φαινομένου απαιτεί ορισμένες μετρήσεις πάνω στο μοντέλο, και πιο συγκεκριμένα, πρέπει να υπολογιστεί το μέγιστο βάθος της τροχαυλάκωσης. Αρχικά δημιουργείται μια διατομή σε ένα χαρακτηριστικό σημείο της συγκεκριμένης καταπόνησης. (εικόνα 6.41). Εν συνεχεία, με τα κατάλληλα εργαλεία μετρήσεων μηκών, μετριέται το επιθυμητό βάθος.

Πιο αναλυτικά, στο μοντέλο είναι εφικτή η επιλογή μόνο δύο σημείων πάνω στη διατομή. Συνεπώς επιλέγεται να τοποθετηθεί το πρώτο σημείο στο ανώτερο σημείο της τροχαυλάκωσης, και το δεύτερο στο κατώτερο σημείο, στο μέγιστο βάθος αυτής. Το λογισμικό Geomagis, αρχικά δίνει ως τιμή μέτρησης το μήκος της γραμμής που ενώνει τα δύο επιλεγμένα χαρακτηριστικά σημεία. Σε κατάλληλο πίνακα αριστερά του μοντέλου, το λογισμικό εμφανίζει τις αναλυτικές μετρήσεις ως προς τον άξονα x, y, και z. Μερικές φορές οι τιμές αυτές εμφανίζονται και γύρω από το μοντέλο (εικόνα 6.42). Εφόσον ενδιαφέρει η τιμή της υψομετρικής διαφοράς των δύο αυτών σημείων, επιλέγεται ως μέτρηση βάθους η τιμή στον άξονα z. Συνεπώς, προκύπτει τιμή ίση με 0,013m. Άρα το βάθος τροχαυλάκωσης εντάσσεται στην κατηγορία 6mm - 25mm, και άρα στη μέση κλίμακα επικινδυνότητας. Επομένως δίνονται τα ίδια αποτελέσματα με τις μετρήσεις πεδίου.



Εικόνα 6.41 Διατομή οδοστρώματος



Εικόνα 6.42 Μέτρηση μέγιστου βάθους τροχαυλάκωσης

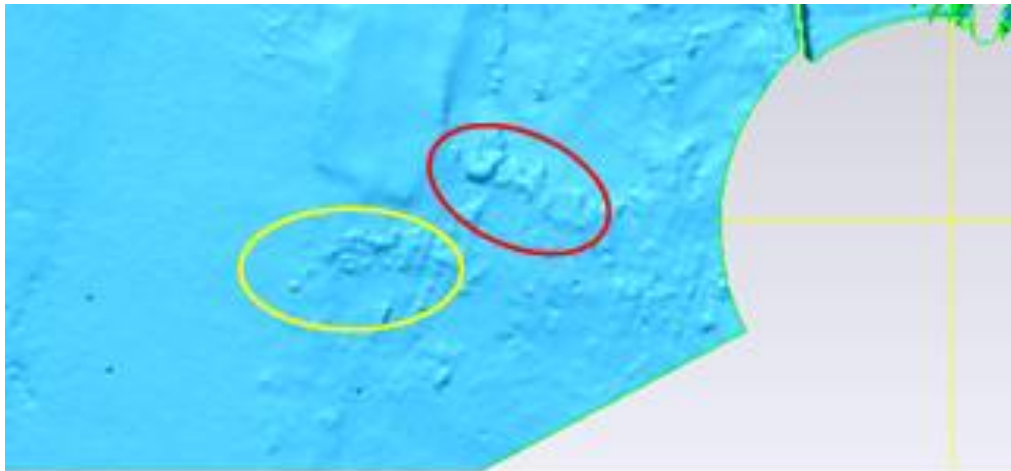
### **Βυθίσεις – Αποκολλήσεις**

Φαινόμενα αποκόλλησης είναι σχετικά εύκολο στο συγκεκριμένο μοντέλο μελέτης να εντοπιστούν, αλλά δύσκολο να οριοθετηθούν και να μετρηθούν. Πιο συγκεκριμένα, στην εικόνα 6.43, εντοπίζονται αρκετές φθορές, οι οποίες δεν μπορούν να αποσαφηνιστούν εύκολα.

Κατά τις μετρήσεις πεδίου καταγράφηκε, πως στο συγκεκριμένο σημείο υπήρχαν αρκετές αποκολλήσεις διαφορετικού μεγέθους και πάχους. Πραγματοποιώντας κάποιες χαρακτηριστικές μετρήσεις στο μοντέλο του Geomagic προκύπτει, πως όλες αυτές οι παραμορφώσεις που αποτυπώνονται έχουν εμβαδό μικρότερο των  $0,8\text{m}^2$ . Επιπλέον, με κάποιες χαρακτηριστικές μετρήσεις βάθους, προκύπτει πως ανήκουν στην πρώτη κατηγορία βάθους. ( $<25\text{mm}$ ). Επομένως η σοβαρότητα του φαινομένου και από το μοντέλο κατατάσσεται στην χαμηλότερη κατηγορία.

Επίσης, λόγω της πυκνότητας τους, μπορεί εύκολα το φαινόμενο να καταταχθεί στη μεγάλη κλίμακα εμφάνισης, βάσει των προδιαγραφών που ορίζει το σύστημα DRM™.

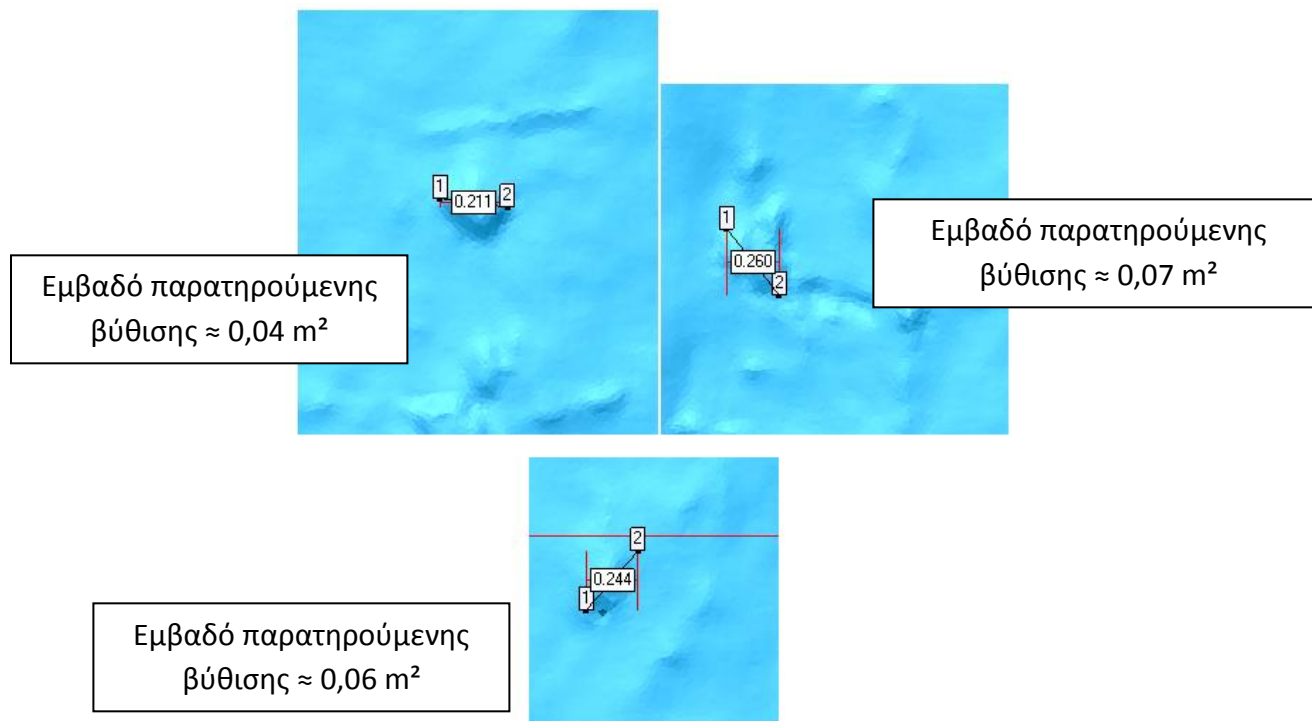
Επομένως, και σε αυτή την περίπτωση, το μοντέλο μετρήσεων του laser scanner, μπορεί να αντικαταστήσει τις μετρήσεις πεδίου και να δώσει πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα.



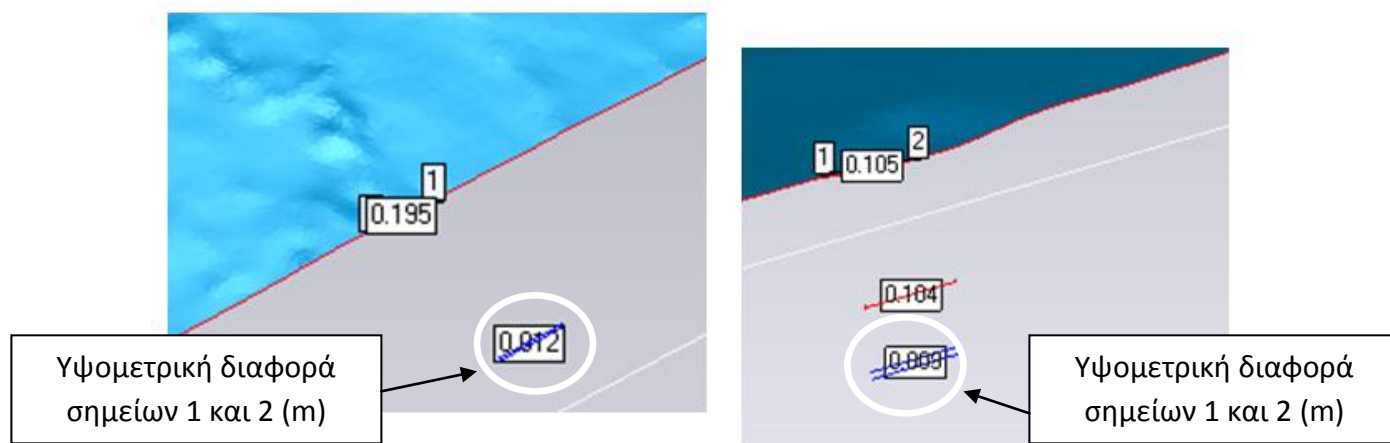
Εικόνα 6.43 Αστοχίες οδοστρώματος



Εικόνα 6.44 Υφιστάμενη κατάσταση οδοστρώματος



Εικόνα 6.45 Μετρήσεις διαμέτρου λακκουβών



Εικόνα 6.46 Μετρήσεις βάθους λακκουβών

### Επιφάνεια επισκευών

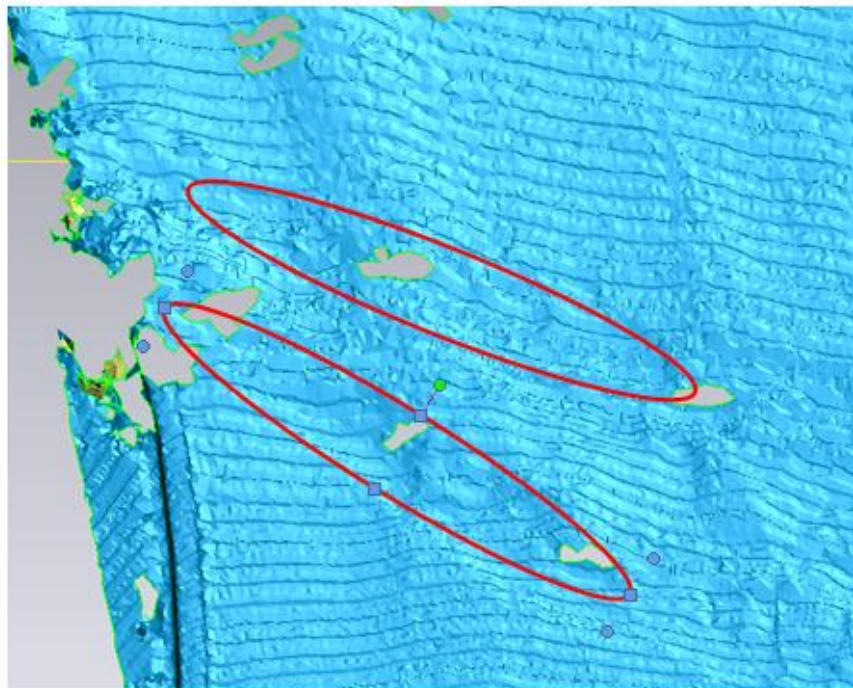
Τα «μπαλώματα» που μπορεί να παρουσιαστούν στην επιφάνεια ενός προς αξιολόγηση οδοστρώματος, είναι πολύ εύκολο να εντοπιστούν κατά τη διάρκεια των

μετρήσεων πεδίου, μιας και βοηθά σημαντικά η χρωματική απόχρωση των διαφορετικών ασφαλικών υλικών.

Κατά την πραγματοποίηση των απαραίτητων μετρήσεων με το laser scanner, και λόγω των δυσκολιών που παρουσιάστηκαν, δυστυχώς τα συγκεκριμένα τμήματα δεν ήταν εφικτό να μετρηθούν και κατά συνέπεια να μοντελοποιηθούν και να αξιολογηθούν. Συνεπώς δεν μπορούν να ληφθούν συμπεράσματα ως προς αυτή την κατηγορία για την υφιστάμενη κατάσταση εξυπηρέτησης του συγκεκριμένου οδικού τμήματος.

### **Ρηγματώσεις λόγω παρουσίας υδάτινων ρευμάτων**

Το βόρειο τμήμα του μοντέλου δυστυχώς δεν περιέχει την απαραίτητη πληροφορία για να την πλήρη αξιολόγηση της παρουσίας ρηγματώσεων λόγω υδάτινων ρευμάτων (εικόνα 6.47). Είναι εμφανές, πως υπάρχουν ρηγματώσεις στα σημεία που αναμενόταν. Δεν είναι εφικτή όμως η επιλογή του κατάλληλου επιπέδου κλίμακας εμφάνισης.



Εικόνα 6.47 Ρηγματώσεις μοντέλου

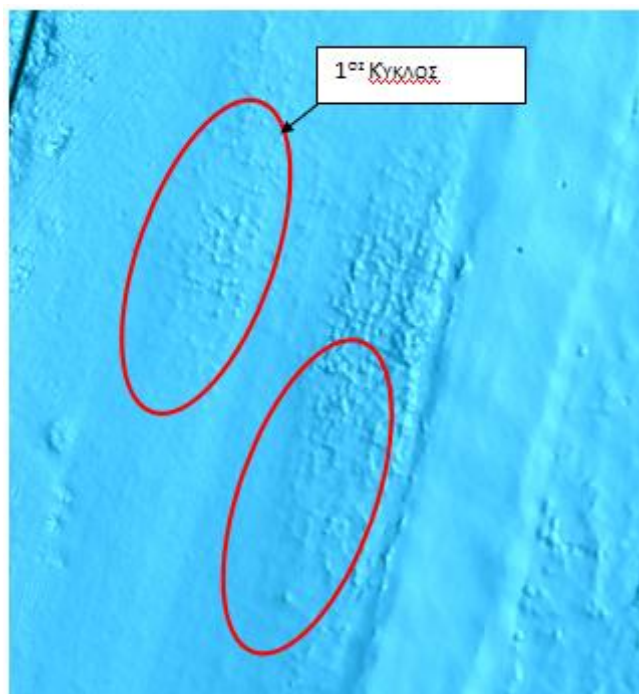




Εικόνα 6.48 Αναμενόμενα σημεία ρηγματώσεων

**Ρηγματώσεις κατά μήκος της πορείας οχήματος**

Οι ρηγματώσεις που εντοπίστηκαν κατά τις μετρήσεις πεδίου, καταλήγουν σε πολλαπλές ρωγμές και ρηγματώσεις τύπου αλιγάτορα. Στο μοντέλο είναι εμφανή τα σημεία παρουσίας των συγκεκριμένων αστοχιών, χωρίς όμως να δίνουν οι εικόνες σαφή στοιχεία τεκμηρίωσης της μορφής τους.



Εικόνα 6.49 Ρηγματώσεις κατά μήκος της πορείας οχήματος



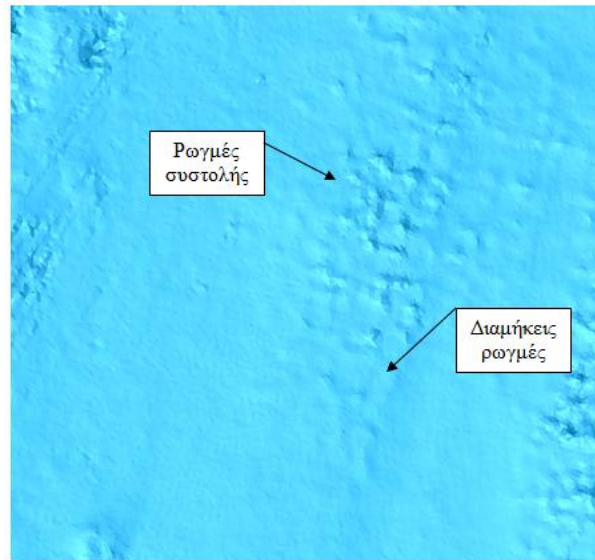
**Εικόνα 6.50 Υφιστάμενη κατάσταση δρόμου**

Πραγματοποιώντας μια πιο κοντινή παρατήρηση στον πρώτο κύκλο της εικόνας 6.49, διαπιστώνεται πως είναι αρκετά δύσκολη η ταυτοποίηση της αστοχίας. Η λεπτομέρεια σάρωσης είναι πολύ μικρή, συνεπώς τα τρίγωνα που δημιουργούνται κατά την παραγωγή του μοντέλου αποκρύπτουν σημαντική πληροφορία. Παρ' όλα αυτά μπορούν να διακριθούν κάποιες διαμήκεις ρωγμές, καθώς επίσης και κάποιες ρωγμές συστολής, δηλαδή ρωγμές ακανόνιστης μορφής μεμονωμένες ή αλληλοσυνδεόμενες που σχηματίζουν μεγάλα πολυγωνικά μπλοκ. Από το μοντέλο υπολογίζεται πως η έκταση του φαινομένου ανήκει στη μεσαία κλίμακα, ενώ με τις μετρήσεις πεδίου κατατάχθηκε στην μεγάλη κλίμακα. Παράλληλα, ως κλίμακα σοβαρότητας από τις μετρήσεις πεδίου επελέγη η μεσαία ενώ από το μοντέλο, δεν είναι εφικτή να προσδιοριστεί, λόγω της μικρής ακρίβειας σάρωσης του οδοστρώματος.

### **Διαμήκεις ρωγμές**

Οι χαρακτηριστικές διαμήκεις ρωγμές που εντοπίστηκαν και καταγράφηκαν κατά τις μετρήσεις πεδίου, ανήκουν στο βόρειο τμήμα σάρωσης. Συνεπώς, η πολύ μικρή ακρίβεια, δεν επιτρέπει την ορθή αξιολόγηση τους. Από τον οδηγό του συστήματος DRM™, προκύπτει πως το φαινόμενο αυτό ανήκει στην μικρή κλίμακα εξάπλωσης, σύμφωνα πάντα με το μοντέλο, μιας και οι ρηγματώσεις αυτές φαίνεται να

εμφανίζονται σε μήκος μικρότερο των 15m/30m. Το συμπέρασμα αυτό δεν υποστηρίζεται από τις μετρήσεις πεδίου, που το κατατάσσουν στην μέση κλίμακα εξάπλωσης. Η κλίμακα σοβαρότητας του δεν είναι εφικτό να προσδιοριστεί διότι απαιτείται μετρητική πληροφορία που είναι δύσκολο να εκμαιευτεί.



Εικόνα 6.51 Κοιτηρή εικόνα πρώτου κύκλου ρηγματώσεων λόγω τροχού οχήματος



Εικόνα 6.52 Διαμήκειες ρηγματώσεις βόρειου τμήματος

**Ρωγμές στις άκρες του οδοστρώματος**

Η συγκεκριμένη μορφή καταπόνησης δεν παρουσιάζει σημαντική εξάπλωση στο προς μελέτη οδικό τμήμα. Και από το μοντέλο διαπιστώνεται πως σε ένα σημείο είναι εμφανή τα προβλήματα, και άρα διατυπώνονται τα ίδια συμπεράσματα ως προς την κλίμακα εμφάνισης.

Η κλίμακα σοβαρότητας απαιτεί ένα ορθό μοντέλο σάρωσης, κάτι το οποίο λόγω δυσκολιών δεν διατίθεται. Συνεπώς δεν είναι εφικτή η λήψη συμπερασμάτων, μιας και είναι πολύ πιθανό ο θόρυβος και η μικρή ανάλυση σάρωσης να μεγιστοποιούν τις παρατηρούμενες αστοχίες.



Εικόνα 6.53 Ρωγμές στην άκρη του οδοστρώματος

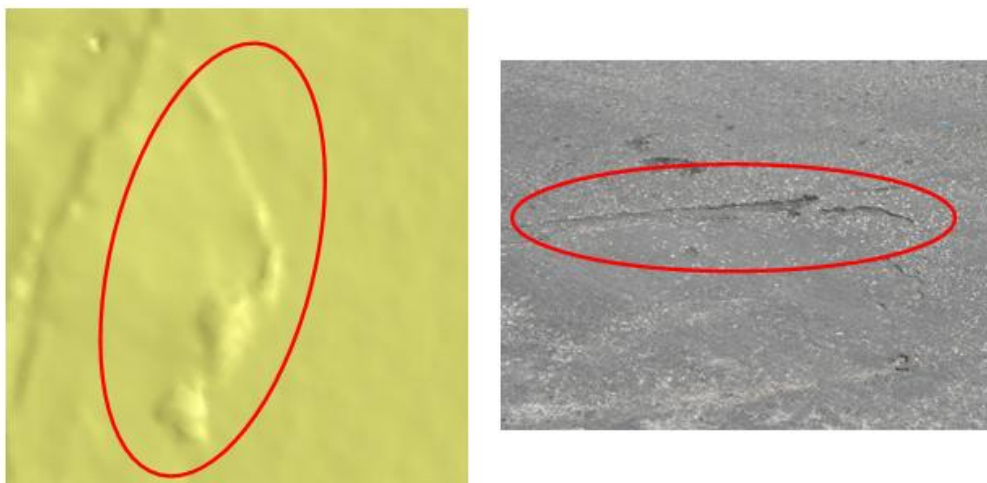
6.2.2. ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΦΘΟΡΩΝ – ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΣΤΟ 3D  
ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΟΔΟΥ ΚΟΚΚΙΝΟΠΟΥΛΟΥ

**Εκδορές οδοστρώματος**

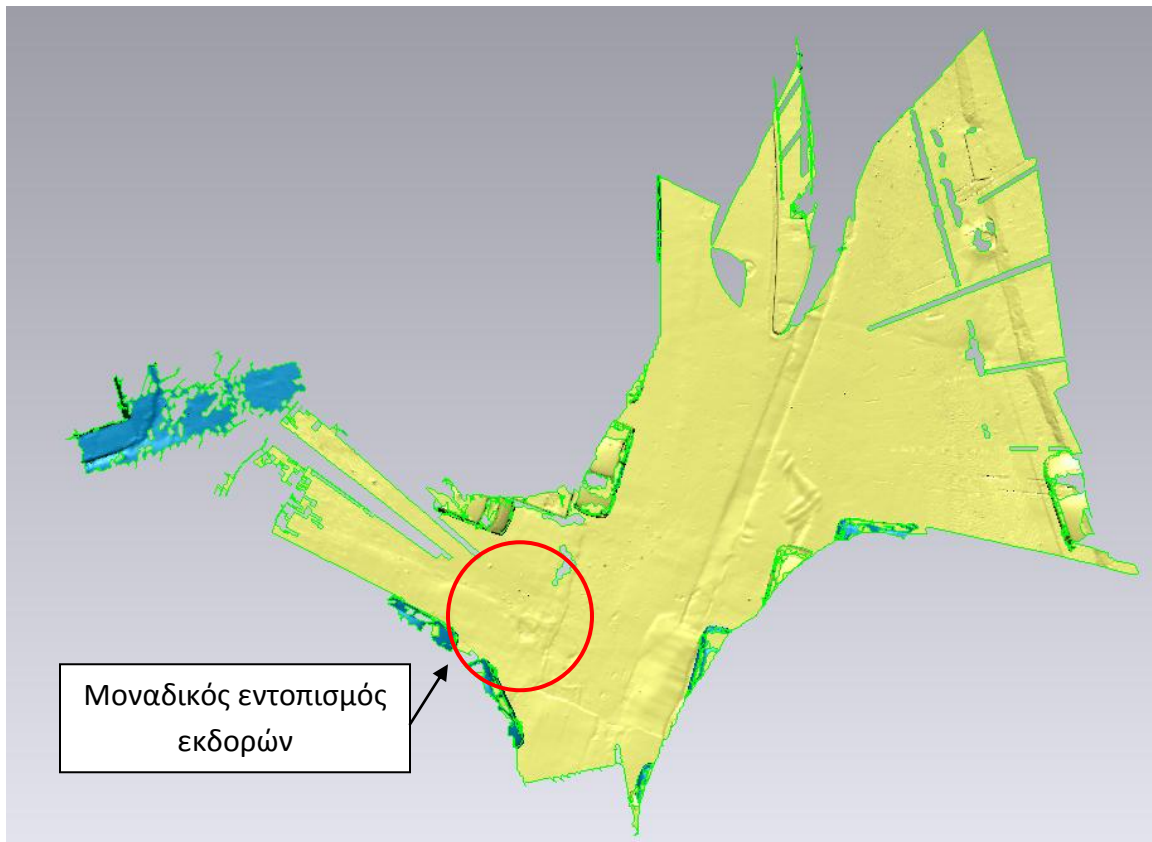
Κατά την πραγματοποίηση των μετρήσεων πεδίου, παρατηρήθηκε πως στο οδόστρωμα ήταν ιδιαίτερα εμφανή τα αδρανή υλικά που αποτελούν μέρος των ανώτερων στρωμάτων οδοστρωσίας του συγκεκριμένου οδικού τμήματος. Επελέγη η μεγάλη κλίμακα εμφάνισης και η μεγάλη κλίμακα εξάπλωσης του φαινομένου.

Υπάρχουν αρκετά χαρακτηριστικά σημεία, τα οποία υποδεικνύουν την επιλογή των παραπάνω συντελεστών. Μελετώντας το τρισδιάστατο μοντέλο σάρωσης, παρατηρείται πως είναι αρκετά εύκολος ο εντοπισμός σημείων όπου υπάρχει απομάκρυνση τμημάτων ασφαλτόστρωσης, γεγονός το οποίο επιτρέπει την ορθή αντίληψη της σοβαρότητας του φαινομένου.

Η γενικότερη εικόνα του ασφαλτοτάπητα, δείχνει αρκετά καλή και η υφή του ομοιόμορφη. Το συμπέρασμα όμως αυτό δεν συνάδει με την πραγματικότητα, γεγονός που δεν επιτρέπει την ορθή αξιολόγηση της έκτασης του φαινομένου. Επομένως, βάσει του μοντέλου, οι εκδορές του οδοστρώματος εμφανίζουν μικρή κλίμακα εξάπλωσης, δηλαδή εμφάνιση σε ποσοστό μικρότερο του 20%, ενώ στην πραγματικότητα ισχύει ακριβώς το αντίθετο εικόνα 6.55.



Εικόνα 6.54 Εκδορές οδοστρώματος

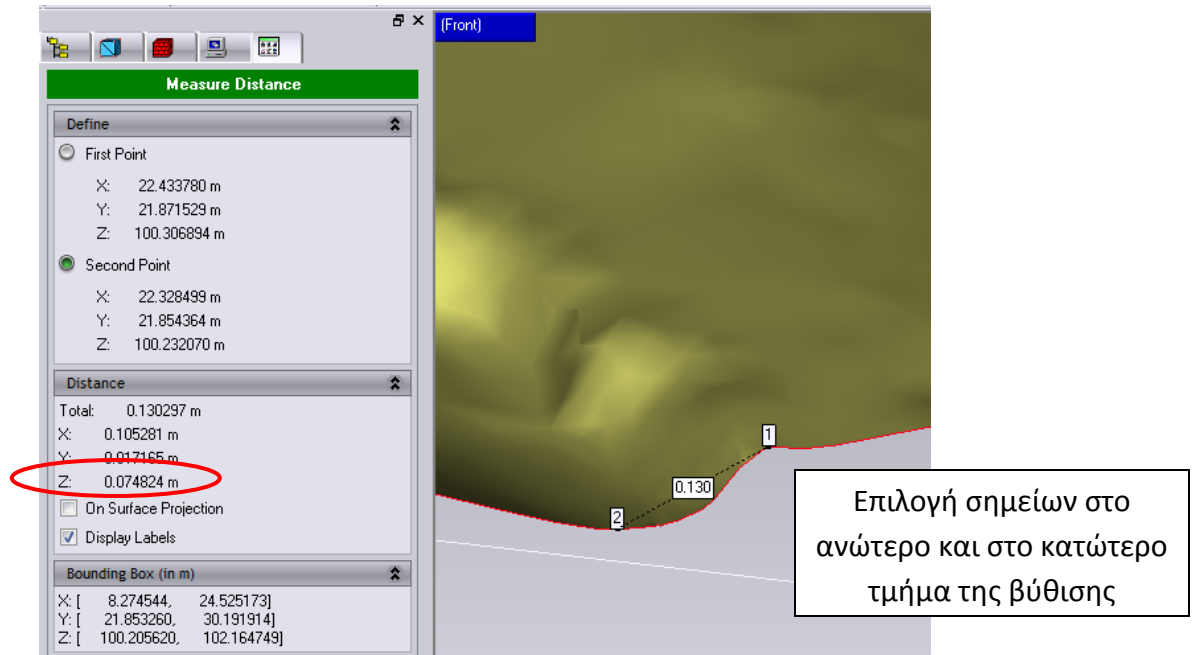


Εικόνα 6.55 Μικρό ποσοστό εμφάνισης εκδορών (μικρότερο του 20%)

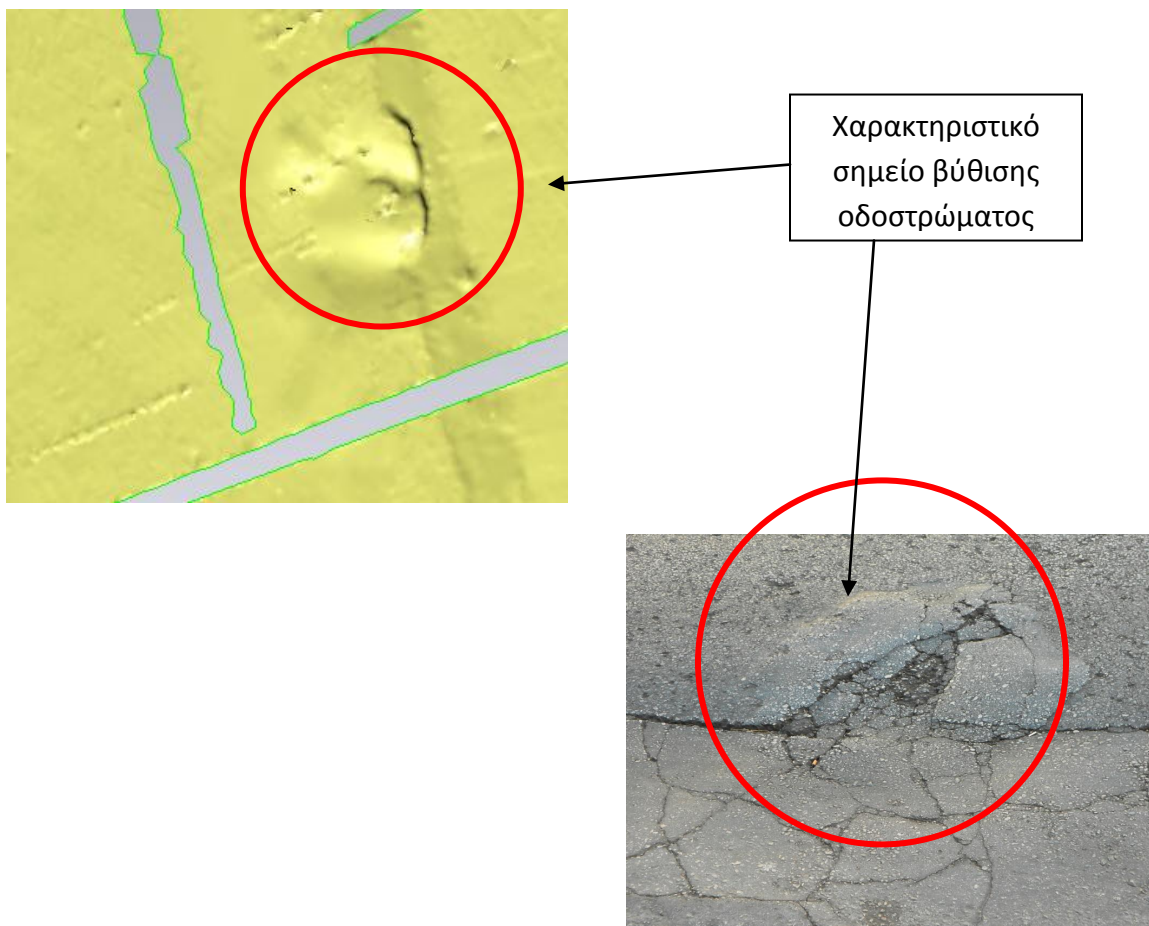
### **Βυθίσεις – Αποκολλήσεις**

Βάσει των αποτελεσμάτων των μετρήσεων πεδίου, αποδείχθηκε πως η συγκεκριμένη οδός έχει αρκετές και μεγάλες σε βάθος αποκολλήσεις και βυθίσεις. Τα συμπεράσματα αυτά επαληθεύονται επιτυχώς και από το μοντέλο σάρωσης. Πιο συγκεκριμένα, όπως φαίνεται και στην εικόνα 6.57, έχει αποτυπωθεί ικανοποιητικά το επικίνδυνο αυτό σημείο που βρίσκεται πάνω στον πρωτεύοντα άξονα του κόμβου. Το βάθος του έχει μοντελοποιηθεί σωστά, δηλαδή είναι πάνω από 25mm.

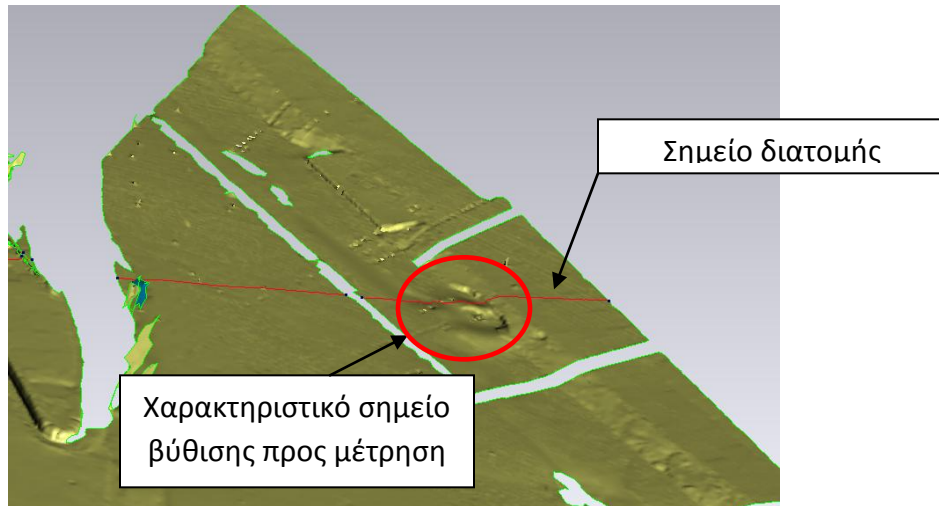
Η έκταση του φαινομένου παρουσιάζεται ικανοποιητικά. Στο μεγαλύτερο τμήμα του μοντέλου φαίνονται καθιζήσεις και φθορές που δίνουν ως τελικό συμπέρασμα, πως η έκταση του φαινομένου είναι μεγάλη.



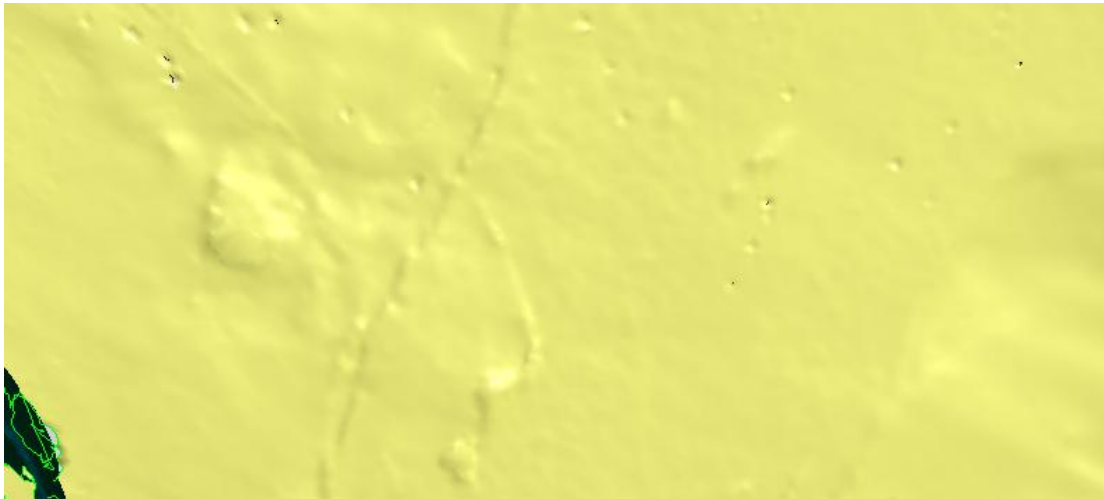
Εικόνα 6.56 Βάθος μετρούμενης βύθισης



Εικόνα 6.57 Χαρακτηριστικό σημείο βύθισης οδοστρώματος



Εικόνα 6.58 Φθορές και καθιζήσεις οδοστρώματος



Εικόνα 6.59 Φθορές και καθιζήσεις οδοστρώματος

### **Επιφάνεια επισκευών**

Στο τρισδιάστατο μοντέλο σάρωσης είναι εμφανής η αποτύπωση της συγκεκριμένης επιφάνειας που εντοπίστηκε και κατά τις μετρήσεις πεδίου. Η απουσία χρωματικής πληροφορίας όμως, μπορεί να οδηγήσει τελικά στη λανθασμένη αναγνώριση του από κάποιον μελετητή, που δεν γνωρίζει και δεν έχει επισκεφθεί τον χώρο μελέτης.

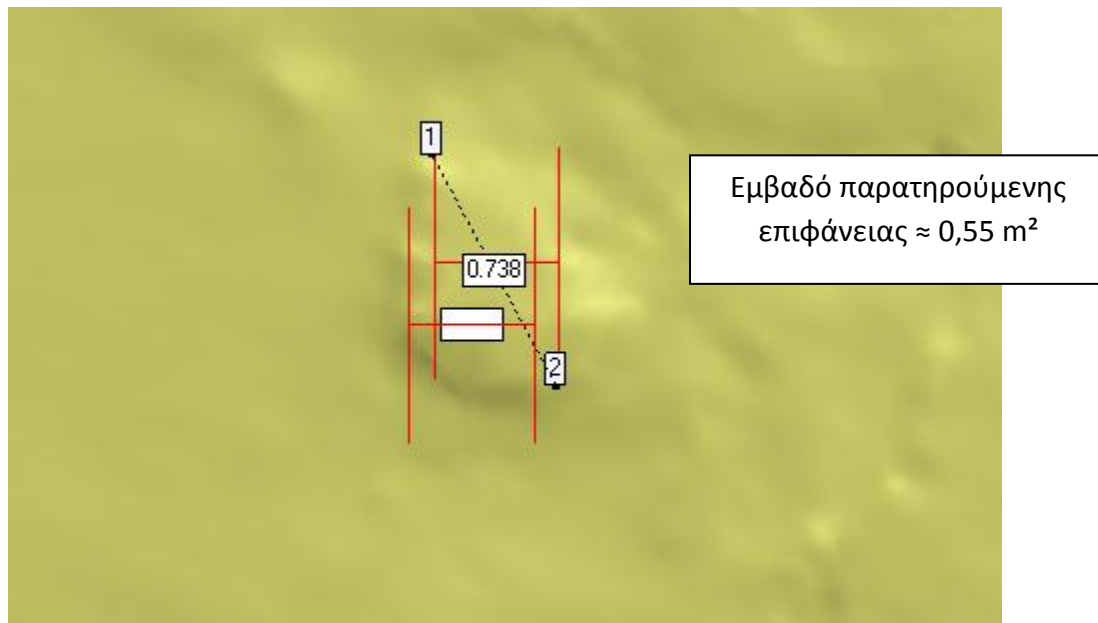
Η διάσταση της επιφάνειας έχει αποτυπωθεί σωστά, δηλαδή εμφανίζεται στο μοντέλο με εμβαδό μικρότερο των  $0,8\text{m}^2$  και μεγαλύτερο του  $0,1\text{m}^2$ . Άρα απορρέονται όμοια



συμπεράσματα σοβαρότητας και έκτασης του φαινομένου, με αυτά κατά τις μετρήσεις πεδίου.



Εικόνα 6.60 Επιφάνεια επισκευής



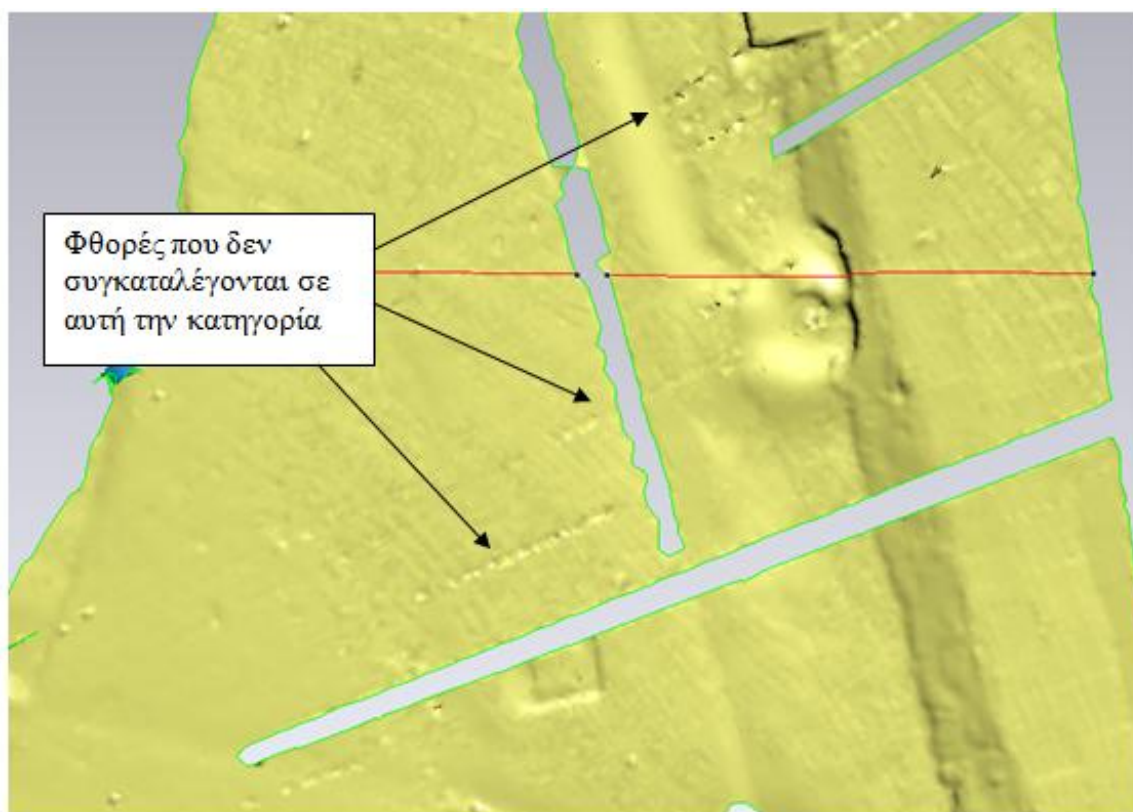
Εικόνα 6.61 Υπολογισμός εμβαδού επιφάνειας επισκευής φθορών

### **Ρηγματώσεις λόγω παρουσίας υδάτινων ρευμάτων**

Όπως προαναφέρθηκε, στον αστικό κόμβο εμφανίζονταν αρκετές ρηγματώσεις λόγω ύπαρξης υδάτινων ρευμάτων. Κατά κύριο λόγο εντοπίστηκαν κοντά σε περιοχές

έντονων βυθίσεων, μιας και στις περιοχές αυτές είναι αρκετά εύκολη η συσσώρευση υδάτων. Στο μοντέλο, η ανάλυση σάρωσης δεν επέτρεψε την καταγραφή των συγκεκριμένων φθορών, Όπως φαίνεται και στην εικόνα 6.62, γύρω από τις περιοχές βυθίσεων, έχουν αποτυπωθεί μόνο φθορές, οι οποίες οφείλονται κυρίως σε εργασίες εργοταξίων, και άρα δεν συγκαταλέγονται στην παρούσα κατηγορία.

Τα αποτελέσματα αυτά, δίνουν ως συμπέρασμα την τελική υποτίμηση του φαινομένου, και την μη συμπερίληψη του στον πίνακα αξιολόγησης PCR.



Εικόνα 6.62 Μη ικανοποιητική καταγραφή ρηγματώσεων υδάτων

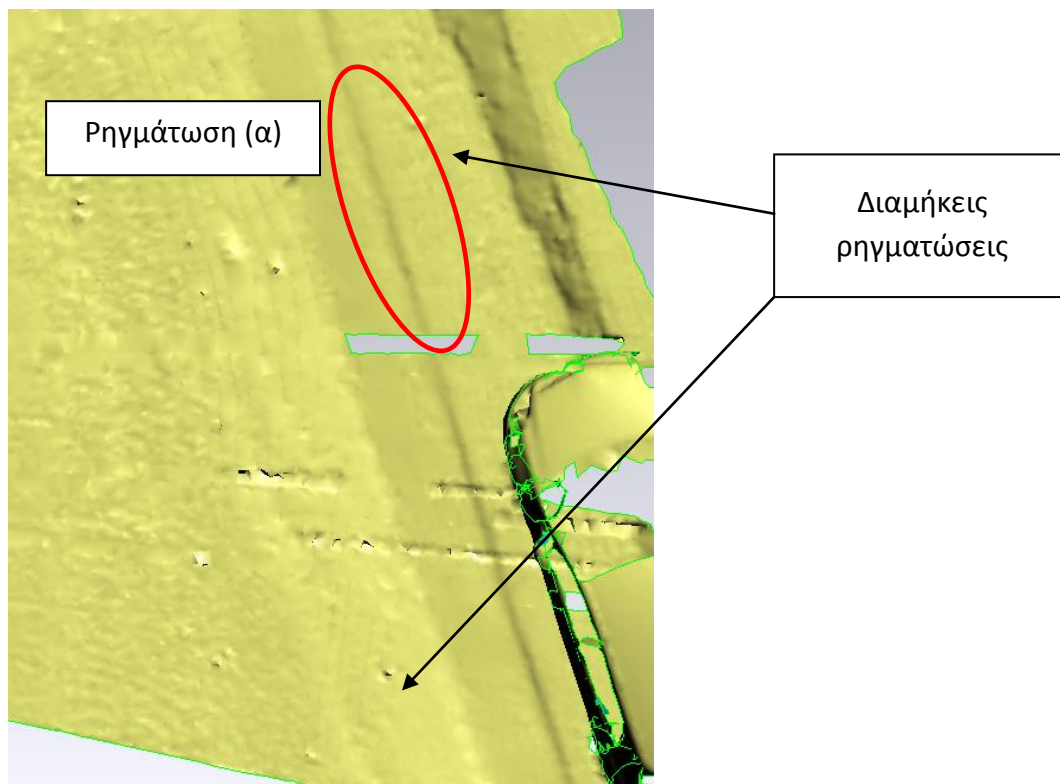
### **Ρηγματώσεις κατά μήκος της πορείας οχήματος**

Στο οδόστρωμα παρατηρήθηκαν σοβαρές ρηγματώσεις κατά μήκος της πορείας των οχημάτων, οι οποίες μάλιστα κατέταξαν το φαινόμενο στην μεγάλη κλίμακα σοβαρότητας. Δυστυχώς, τα δεδομένα του τρισδιάστατου μοντέλου δεν περιλαμβάνουν τα ιδιαίτερα καταπονημένα τμήματα ανώτερης οδοστρωσίας, συνεπώς δεν είναι εφικτή η πραγματοποίηση συγκρίσεων.

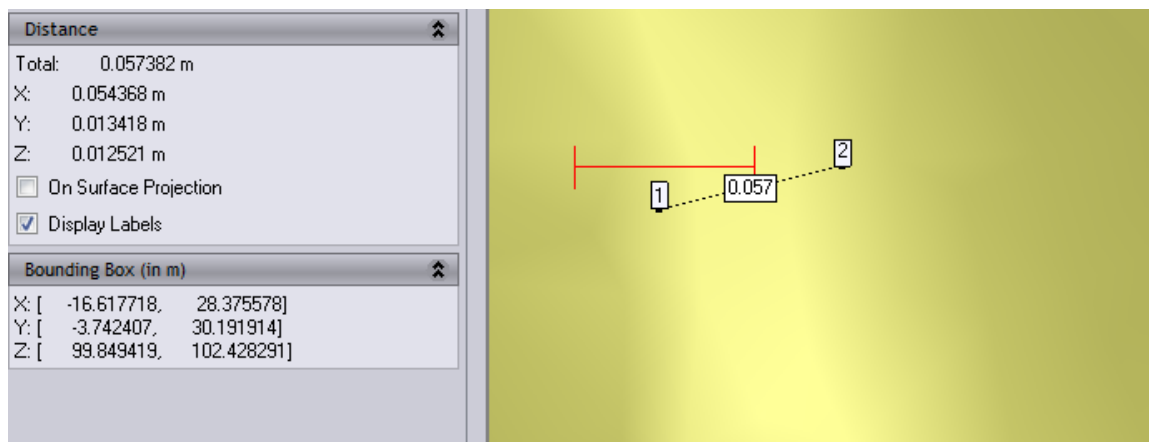
### Διαμήκειες ρωγμές

Κατά μήκος του δρόμου ήταν εμφανείς αρκετές ρηγματώσεις σχεδόν παράλληλες στον άξονα του δρόμου. Το πλάτος τους ήταν μεταξύ 25mm – 50mm και το μήκος τους καταλάμβανε το μεγαλύτερο μέρος του προς μελέτη αστικού κόμβου. Από το τρισδιάστατο μοντέλο σάρωσης είναι εφικτή η λήψη όμοιων μετρήσεων.

Επιλέχθηκε ενδεικτικά η ρηγμάτωση (α) (βλέπε εικόνα 6.63). Για την αξιολόγηση της κλίμακας σοβαρότητας του φαινομένου απαιτείται η μέτρηση του πλάτους της. Η ανάλυση σάρωσης για ακόμη μια φορά δεν επιτρέπει την ορθή αξιολόγηση της κλίμακας σοβαρότητας. Από μια προσπάθεια μέτρησης, διαπιστώθηκε πως το πλάτος κυμαίνεται κοντά στα 53mm (εικόνα 6.64). Άρα το φαινόμενο κατατάσσεται στη μεγάλη κλίμακα. Εξετάζοντας συνολικά το μοντέλο δεν υπάρχει σωστή ταυτοποίηση της κλίμακας εξάπλωσης του φαινομένου, μιας και ένα σημαντικό ποσοστό των φθορών αυτών δεν έχει αποτυπωθεί. Βάσει του μοντέλου σάρωσης επιλέγεται η μέση κλίμακα εμφάνισης των διαμηκών ρηγματώσεων.



Εικόνα 6.63 Διαμήκειες ρηγματώσεις στο μοντέλο



Εικόνα 6.64 Μέτρηση πλάτους ρηγμάτωσης

### 6.2.3. ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΦΘΟΡΩΝ – ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΣΤΟ 3D ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ Π.Ε.Ο. ΑΘΗΝΩΝ - ΧΑΛΚΙΔΟΣ

#### **Εκδορές οδοστρώματος**

Όπως παρατηρήθηκε στις επιτόπιες μετρήσεις, το προς μελέτη οδόστρωμα παρουσιάζει αρκετά έντονη υφή, μιας και τα αδρανή του ασφαλτομίγματος υπερσχύουν στην επιφάνεια αυτού. Από το μοντέλο της οδού που δημιουργήθηκε στο λογισμικό Geomagis, παρατηρείται πως δεν είναι ιδιαίτερα εμφανές το φαινόμενο αυτό. Η επιφάνεια της οδού, όπως και στις προηγούμενες περιοχές μελέτης, φαίνεται αρκετά λεία. Συνεπώς η κλίμακα σοβαρότητας και έκτασης του φαινομένου υποτιμάται, και πιθανότατα δεν υπολογίζεται από κάποιον πιθανό επόπτη που δεν έχει πραγματοποιήσει επίσκεψη στην περιοχή (εικόνα 6.65).

#### **Ελεύθερη παρουσία συνθετικών ασφαλτομίγματος**

Η συγκεκριμένη κατηγορία φθοράς οδοστρώματος δεν είναι εύκολο να αποτυπωθεί από έναν επίγειο σαρωτή, ιδιαίτερα μάλιστα όταν η κλίμακα έντασης του είναι ιδιαίτερα μικρή. Στις επιτόπιες μετρήσεις γίνεται αντιληπτό λόγω της ιδιαίτερης σκούρας απόχρωσης που εμφανίζει (εικόνα 6.66). Σε ένα τρισδιάστατο μοντέλο δεν υπάρχουν αποχρώσεις, συνεπώς δεν έγινε εφικτή και η αναγνώριση του, μετά το πέρας της διαδικασίας της μοντελοποίησης του συγκεκριμένου οδικού τμήματος.



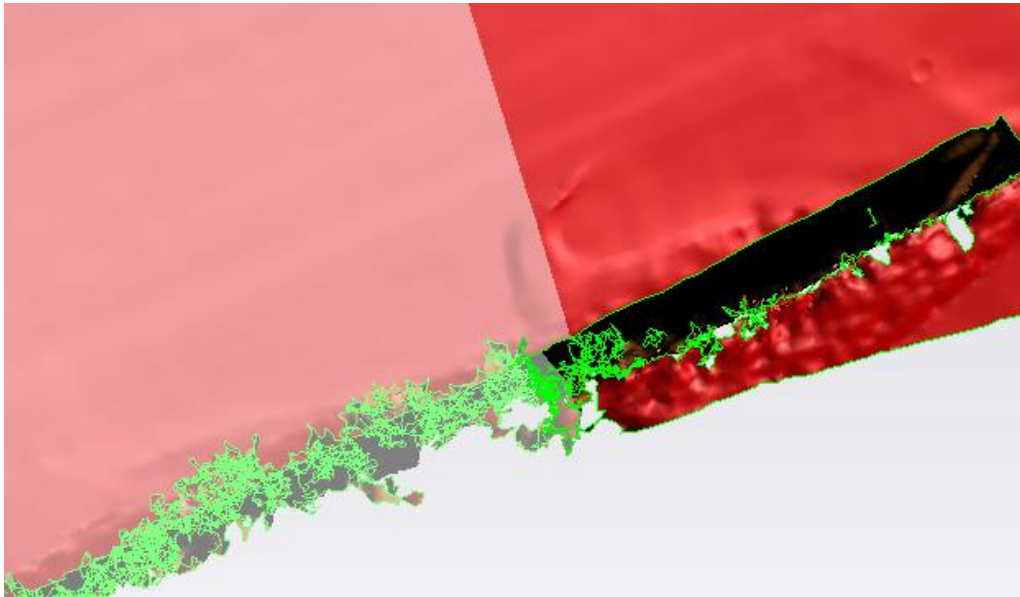
Εικόνα 6.65 Σύγκριση μοντέλου - υφιστάμενης κατάστασης ως προς την υφή



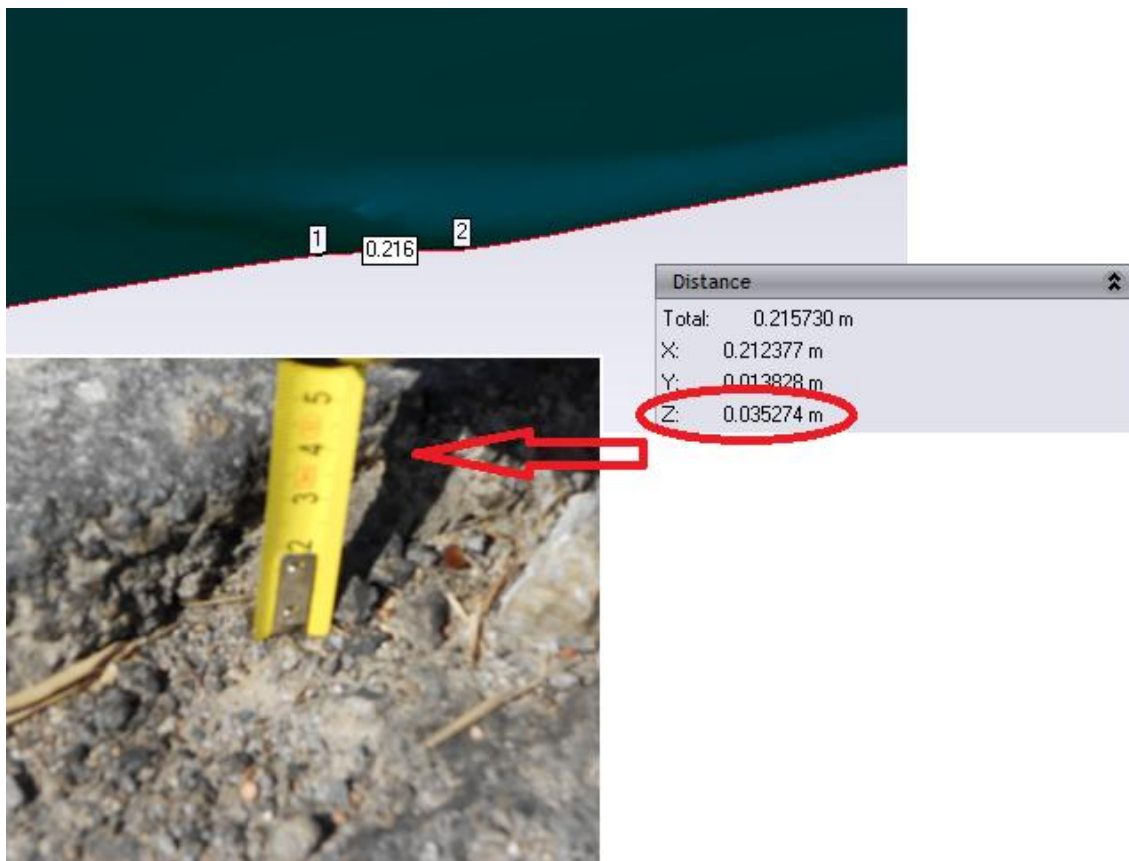
Εικόνα 6.66 Σύγκριση μοντέλου - υφιστάμενης κατάστασης ως προς την παρουσία συνθετικών

### **Βυθίσεις – Αποκολλήσεις**

Οι περιπτώσεις εμφάνισης βυθίσεων – αποκολλήσεων στο συγκεκριμένο οδικό τμήμα ήταν λίγες, αλλά μεγάλης σοβαρότητας. Από τις μετρήσεις στο μοντέλο σάρωσης προκύπτει, πως έχει αποτυπωθεί αρκετά καλά το βάθος αυτών, και άρα η κλίμακα σοβαρότητας της παρατηρούμενης παραμόρφωσης. Στην εικόνα 6.68 φαίνεται συγκριτικά η μέτρηση με μετροταινία, με την μέτρηση στο τρισδιάστατο μοντέλο.



Εικόνα 6.67 Τομή στο μέγιστο βάθος της βύθισης



Εικόνα 6.68 Ακρίβεια μέτρησης βάθους βυθίσεως

Γι' ακόμη μια φορά, επιλέχθηκαν δύο χαρακτηριστικά σημεία της βύθισης, δηλαδή το ανώτερο και το κατώτερο υψομετρικά σημείο. Από το λογισμικό Geomagis, κοντά στα σημεία, καταγράφεται το μήκος της ευθείας που ενώνει αυτά τα δύο σημεία. Στον πίνακα «Distance», δίνεται το αντίστοιχο μήκος ως προς τους άξονες X, Y και Z. Εφόσον η μελέτη ενδιαφέρεται για την υψομετρική διαφορά, επιλέγεται η τρίτη κατά σειρά μέτρηση, δηλαδή η τιμή 0,035m, που είναι και το βάθος της συγκεκριμένης φθοράς (βλέπε εικόνα. 6.68). Η τιμή αυτή συμπίπτει με αυτή που υπολογίστηκε από τις επιτόπιες μετρήσεις. Το γεγονός αυτό αποδεικνύει το πόσο ακριβές τελικά είναι το τρισδιάστατο μοντέλο επιφάνειας.

### **Διαμήκεις ρωγμές**

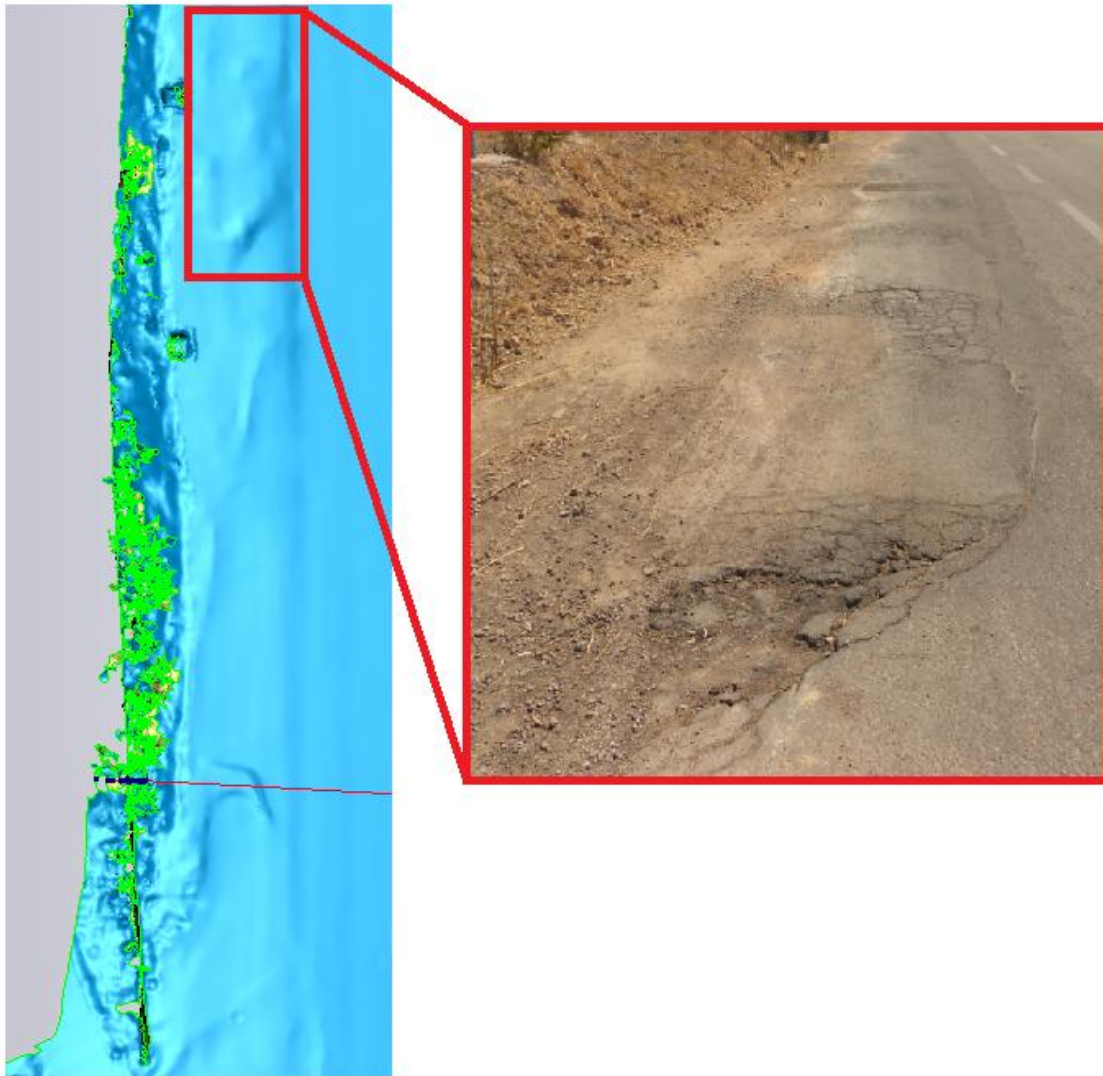
Σοβαρές διαμήκεις ρηγματώσεις κατά μήκος του δρόμου δεν υφίστανται, βάσει των επιτόπιων επισκοπήσεων. Στο τρισδιάστατο μοντέλο επιφάνειας, δεν ήταν εφικτό να εντοπιστούν. Η αιτία της συγκεκριμένης αστοχίας του μοντέλου, βρίσκεται στις εργασίες πεδίου και στην τελική συνένωση των σαρώσεων.

Το πλάτος των φθορών αυτών ήταν ιδιαίτερα μικρό, γεγονός το οποίο προϋποθέτει πολύ υψηλής ανάλυσης σαρώσεις για την ορθή αποτύπωση τους. Το τελικό μοντέλο επιφάνειας αποτελείται από σαρώσεις των 5mm. Η τελική ακρίβεια του, μετά το πέρας της διαδικασίας συνένωσης των νεφών, λαμβάνει ως βέλτιστη τιμή το 1cm. Συνεπώς δεν είναι εφικτή η αποτύπωση φθορών με πλάτος μικρότερο των 5mm.

Βάσει των παραπάνω, δεν είναι εφικτή η αξιολόγηση της συγκεκριμένης παραμέτρου. Ο πίνακας αξιολόγησης παραμένει όπως διαμορφώθηκε από τις επιτόπιες μετρήσεις.

### **Ρωγμές άκρου οδοστρώματος**

Όπως σχολιάστηκε και στην ενότητα 6.1.4, στο τμήμα της Π.Ε.Ο. που μελετάται, παρουσιάζονται ρηγματώσεις με πλάτος μεγαλύτερο των 25mm και αποκολλήσεις, σε απόσταση 0,3m από το όριο επιφάνειας του οδοστρώματος. Οι φθορές αυτές φαίνονται ικανοποιητικά και στο μοντέλο σάρωσης. Είναι κατανοητό, πως στην συγκεκριμένη περιοχή εμφανίζονται πολλά προβλήματα ως προς την συνοχή των υλικών οδοστρώσεως, κάτι το οποίο αποτυπώνεται επιτυχώς (εικόνα 6.69).



Εικόνα 6.69 Σύγκριση μοντέλου - υφιστάμενης κατάστασης ως προς το άκρο του οδοστρώματος

#### 6.2.4. ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Για τις πληροφορίες που εκμαιεύτηκαν από το μοντέλο σάρωσης του διαφορετικού κάθε φορά οδοστρώματος, συμπληρώνεται για ακόμη μια φορά ο πίνακας του συντελεστή PCR που δίνεται από τον οδηγό «Pavement Condition Evaluation Manual» (PCEM, 2001).



## ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΜΕΣΩ ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΣΑΡΩΣΕΩΝ LASER

Στην περίπτωση του μοντέλου σάρωσης της Πολυτεχνειούπολης, παρατηρήθηκε αύξηση του συντελεστή PCR σε σχέση με αυτόν που υπολογίστηκε από τις μετρήσεις πεδίου.

SUMMARY OF PCR DEDUCT VALUES						SUMMARY OF PCR DEDUCT VALUES											
Distress Type	Distress Weight	Severity L	M	H	Total	Distress Type	Distress Weight	Severity L	M	H	Total						
Raveling (Flexible/Composite)	10	.3	.6	1	.5	.8	1	4,8	Raveling (Flexible/Composite)	10	.3	.6	1	.5	.8	1	4,8
Bleeding (Flexible/Composite)	5	.8	.8	1	.6	.9	1	2,4	Bleeding (Flexible/Composite)	5	.8	.8	1	.6	.9	1	2,4
Corrugations (Flexible)	5	.4	.8	1	.5	.8	1	—	Corrugations (Flexible)	5	.4	.8	1	.5	.8	1	—
Rutting (Flexible/Composite)	10	.3	.7	1	.6	.8	1	5,6	Rutting (Flexible/Composite)	10	.3	.7	1	.6	.8	1	5,6
Potholes/Debonding (Flex./Comp.)	10	.4	.7	1	.5	.8	1	4	Potholes/Debonding (Flex./Comp.)	10	.4	.7	1	.5	.8	1	4
Patching (All Pavement Types)	5	.3	.6	1	.6	.8	1	3	Patching (All Pavement Types)	5	.3	.6	1	.6	.8	1	3
Settlement (All Pavement Types)	10	.5	.7	1	.5	.8	1	—	Settlement (All Pavement Types)	10	.5	.7	1	.5	.8	1	—
Crack Seal Deficiency (Flex./Comp.)	5	1	1	1	.5	.8	1	4	Crack Seal Deficiency (Flex./Comp.)	5	1	1	1	.5	.8	1	4
Wheel Track Cracking (Flexible)	15	.4	.7	1	.5	.7	1	10,5	Wheel Track Cracking (Flexible)	15	.4	.7	1	.5	.7	1	5,25
Longitudinal Joint Cracking (Flex.)	5	.4	.7	1	.5	.7	1	2,45	Longitudinal Joint Cracking (Flex.)	5	.4	.7	1	.5	.7	1	1,75
Longitud. Cracking (Comp./JC/CRC)	5	.2	.6	1	.4	.8	1	—	Longitud. Cracking (Comp./JC/CRC)	5	.2	.6	1	.4	.8	1	—
Edge Cracking (Flexible)	5	.4	.7	1	.5	.7	1	2,5	Edge Cracking (Flexible)	5	.4	.7	1	.5	.7	1	2,5
Random Cracking (Flexible)	5	.4	.7	1	.5	.7	1	—	Random Cracking (Flexible)	5	.4	.7	1	.5	.7	1	—
Block & Transverse Cracking (Flex.)	10	.4	.7	1	.5	.7	1	—	Block & Transverse Cracking (Flex.)	10	.4	.7	1	.5	.7	1	—
Transverse Crack (Comp./JC/CRC)	15	.4	.7	1	.5	.8	1	—	Transverse Crack (Comp./JC/CRC)	15	.4	.7	1	.5	.8	1	—
Pumping (Comp./JC/CRC)	15	.7	.7	1	.3	.7	1	—	Pumping (Comp./JC/CRC)	15	.7	.7	1	.3	.7	1	—
Faulting (Jointed Concrete)	10	.4	.7	1	.5	.8	1	—	Faulting (Jointed Concrete)	10	.4	.7	1	.5	.8	1	—
Surface Deterioration (JC/CRC)	10	.4	.7	1	.6	.8	1	—	Surface Deterioration (JC/CRC)	10	.4	.7	1	.6	.8	1	—
Total Deduct							39,25		Total Deduct							33,3	
100 - Total Deduct = PCR							60,75		100 - Total Deduct = PCR							66,7	

Εικόνα 6.70 Συγκριτική εικόνα αποτελεσμάτων Πεδίου – Μοντέλου Πολυτεχνειούπολης

Η αύξηση αυτή δίνει τον χαρακτηρισμό «Fair» στο οδόστρωμα, ενώ με τις μετρήσεις πεδίου δόθηκε ο χαρακτηρισμός «Fair to Poor»

Στην περίπτωση του μοντέλου σάρωσης του αστικού κόμβου, παρατηρήθηκε και πάλι αύξηση του συντελεστή PCR σε σχέση με αυτόν που υπολογίστηκε από τις μετρήσεις πεδίου. Αυτή τη φορά, με τις υποτιμημένες παραμορφώσεις και φθορές που εντοπίστηκαν στο μοντέλο, διαπιστώνεται πως το οδικό τμήμα κατατάσσεται στην κατηγορία «Good» από «Fair» που είχε αρχικά εκτιμηθεί στο πεδίο.

Τέλος, στο οδικό τμήμα της Π.Ε.Ο. Αθηνών – Χαλκίδος, παρατηρείται αύξηση του δείκτη PCR, από 88,2 στο 93. Το οδόστρωμα από τον χαρακτηρισμό «Good», κατατάσσεται στον χαρακτηρισμό «Very Good».

## ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΜΕΣΩ ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΣΑΡΩΣΕΩΝ LASER

SUMMARY OF PCR DEDUCT VALUES						SUMMARY OF PCR DEDUCT VALUES					
Distress Type	Distress Weight	Severity L M H	Extent O F E	Total		Distress Type	Distress Weight	Severity L M H	Extent O F E	Total	
Raveling (Flexible/Composite)	10	3 6 1	5 8 1	10		Raveling (Flexible/Composite)	10	3 6 1	5 8 1	5	
Bleeding (Flexible/Composite)	5	8 8 1	6 9 1	---		Bleeding (Flexible/Composite)	5	8 8 1	6 9 1	---	
Corrugations (Flexible)	5	4 8 1	5 8 1	---		Corrugations (Flexible)	5	4 8 1	5 8 1	---	
Rutting (Flexible/Composite)	10	3 7 1	6 8 1	---		Rutting (Flexible/Composite)	10	3 7 1	6 8 1	---	
Potholes/Debonding (Flex./Comp.)	10	4 7 1	5 8 1	7		Potholes/Debonding (Flex./Comp.)	10	4 7 1	5 8 1	7	
Patching (All Pavement Types)	5	3 6 1	6 8 1	1,8		Patching (All Pavement Types)	5	3 6 1	6 8 1	1,8	
Settlement (All Pavement Types)	10	5 7 1	5 8 1	---		Settlement (All Pavement Types)	10	5 7 1	5 8 1	---	
Crack Seal Deficiency (Flex./Comp.)	5	1 1 1	5 8 1	4		Crack Seal Deficiency (Flex./Comp.)	5	1 1 1	5 8 1	---	
Wheel Track Cracking (Flexible)	15	4 7 1	5 7 1	7,5		Wheel Track Cracking (Flexible)	15	4 7 1	5 7 1	7,5	
Longitudinal Joint Cracking (Flex.)	5	4 7 1	5 7 1	3,5		Longitudinal Joint Cracking (Flex.)	5	4 7 1	5 7 1	3,5	
Longitud. Cracking (Comp./JC/CRC)	5	2 6 1	4 8 1	---		Longitud. Cracking (Comp./JC/CRC)	5	2 6 1	4 8 1	---	
Edge Cracking (Flexible)	5	4 7 1	5 7 1	---		Edge Cracking (Flexible)	5	4 7 1	5 7 1	---	
Random Cracking (Flexible)	5	4 7 1	5 7 1	---		Random Cracking (Flexible)	5	4 7 1	5 7 1	---	
Block & Transverse Cracking (Flex.)	10	4 7 1	5 7 1	---		Block & Transverse Cracking (Flex.)	10	4 7 1	5 7 1	---	
Transverse Crack (Comp./JC/CRC)	15	4 7 1	5 8 1	---		Transverse Crack (Comp./JC/CRC)	15	4 7 1	5 8 1	---	
Pumping (Comp./JC/CRC)	15	7 7 1	3 7 1	---		Pumping (Comp./JC/CRC)	15	7 7 1	3 7 1	---	
Faulting (Jointed Concrete)	10	4 7 1	5 8 1	---		Faulting (Jointed Concrete)	10	4 7 1	5 8 1	---	
Surface Deterioration (JC/CRC)	10	4 7 1	6 8 1	---		Surface Deterioration (JC/CRC)	10	4 7 1	6 8 1	---	
Total Deduct				<b>33,8</b>		Total Deduct				<b>24,80</b>	
100 - Total Deduct = PCR				<b>66,2</b>		100 - Total Deduct = PCR				<b>75,2</b>	

Εικόνα 6.71 Συγκριτική εικόνα αποτελεσμάτων Πεδίου – Μοντέλου αστικού κόμβου

SUMMARY OF PCR DEDUCT VALUES						SUMMARY OF PCR DEDUCT VALUES					
Distress Type	Distress Weight	Severity L M H	Extent O F E	Total		Distress Type	Distress Weight	Severity L M H	Extent O F E	Total	
Raveling (Flexible/Composite)	10	3 6 1	5 8 1	2,4		Raveling (Flexible/Composite)	10	3 6 1	5 8 1	---	
Bleeding (Flexible/Composite)	5	8 8 1	6 9 1	2,4		Bleeding (Flexible/Composite)	5	8 8 1	6 9 1	---	
Corrugations (Flexible)	5	4 8 1	5 8 1	---		Corrugations (Flexible)	5	4 8 1	5 8 1	---	
Rutting (Flexible/Composite)	10	3 7 1	6 8 1	---		Rutting (Flexible/Composite)	10	3 7 1	6 8 1	---	
Potholes/Debonding (Flex./Comp.)	10	4 7 1	5 8 1	3,5		Potholes/Debonding (Flex./Comp.)	10	4 7 1	5 8 1	3,5	
Patching (All Pavement Types)	5	3 6 1	6 8 1	---		Patching (All Pavement Types)	5	3 6 1	6 8 1	---	
Settlement (All Pavement Types)	10	5 7 1	5 8 1	---		Settlement (All Pavement Types)	10	5 7 1	5 8 1	---	
Crack Seal Deficiency (Flex./Comp.)	5	1 1 1	5 8 1	---		Crack Seal Deficiency (Flex./Comp.)	5	1 1 1	5 8 1	---	
Wheel Track Cracking (Flexible)	15	4 7 1	5 7 1	---		Wheel Track Cracking (Flexible)	15	4 7 1	5 7 1	---	
Longitudinal Joint Cracking (Flex.)	5	4 7 1	5 7 1	1		Longitudinal Joint Cracking (Flex.)	5	4 7 1	5 7 1	1	
Longitud. Cracking (Comp./JC/CRC)	5	2 6 1	4 8 1	---		Longitud. Cracking (Comp./JC/CRC)	5	2 6 1	4 8 1	---	
Edge Cracking (Flexible)	5	4 7 1	5 7 1	2,5		Edge Cracking (Flexible)	5	4 7 1	5 7 1	2,5	
Random Cracking (Flexible)	5	4 7 1	5 7 1	---		Random Cracking (Flexible)	5	4 7 1	5 7 1	---	
Block & Transverse Cracking (Flex.)	10	4 7 1	5 7 1	---		Block & Transverse Cracking (Flex.)	10	4 7 1	5 7 1	---	
Transverse Crack (Comp./JC/CRC)	15	4 7 1	5 8 1	---		Transverse Crack (Comp./JC/CRC)	15	4 7 1	5 8 1	---	
Pumping (Comp./JC/CRC)	15	7 7 1	3 7 1	---		Pumping (Comp./JC/CRC)	15	7 7 1	3 7 1	---	
Faulting (Jointed Concrete)	10	4 7 1	5 8 1	---		Faulting (Jointed Concrete)	10	4 7 1	5 8 1	---	
Surface Deterioration (JC/CRC)	10	4 7 1	6 8 1	---		Surface Deterioration (JC/CRC)	10	4 7 1	6 8 1	---	
Total Deduct				<b>11,8</b>		Total Deduct				<b>7</b>	
100 - Total Deduct = PCR				<b>88,2</b>		100 - Total Deduct = PCR				<b>93</b>	

Εικόνα 6.72 Συγκριτική εικόνα αποτελεσμάτων Πεδίου – Μοντέλου Π.Ε.Ο. Αθηνών – Χαλκίδος

Στις εικόνες των συγκριτικών αποτελεσμάτων (6.70, 6.71 και 6.72) σημειώνονται με κόκκινο κύκλο όλες οι διαφορές που εντοπίζονται.

### 6.3. ΜΕΛΕΤΗ ΥΔΡΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΣΤΗΝ Π.Ε.Ο. ΑΘΗΝΩΝ – ΧΑΛΚΙΔΟΣ

Πολλές είναι οι παράμετροι εκείνες, που συμβάλλουν αρνητικά στην ποιότητα κύλισης ενός οχήματος, και άρα στον δείκτη εξυπηρετικότητας του οδικού τμήματος που μελετάται. Η γεωμετρία της οδού, η υφή του οδοστρώματος, η ένταση και η διάρκεια των βροχοπτώσεων, αποτελούν μερικές από τις συνιστώσες που αναφέρθηκαν λεπτομερώς στην βιβλιογραφική ανασκόπηση, προκαλούν την εμφάνιση λιμναζόντων νερών σε ορισμένα τμήματα της οδού, και άρα το φαινόμενο της υδρολίσθησης. Από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο τμήμα της Π.Ε.Ο. Αθηνών – Χαλκίδος, είναι εφικτή η αξιολόγηση των παραμέτρων της γεωμετρίας της οδού και με τη βοήθεια κάποιων πρόσθετων δεδομένων, η μελέτη πιθανής εμφάνισης επικίνδυνων σημείων συσσώρευσης υδάτων.

Στις αρχές σχεδιασμού πολλών αυτοκινητοδρόμων παγκοσμίως, χρησιμοποιείται η μεθοδολογία που διαμόρφωσε ο Gallaway το 1979. Κατάφερε πειραματικά να δημιουργήσει μια σχέση που συνδέει παραμέτρους όπως η πίεση των ελαστικών, το βάθος πέλματος, το βάθος νερού και μέση υφή οδοστρώματος. Βάσει της συγκεκριμένης μεθοδολογίας, θα μελετηθεί εάν υπάρχουν σημεία του αποτυπωμένου οδικού τμήματος, στα οποία μπορεί να υπάρξει επικίνδυνη συσσώρευση υδάτων.

Για τον υπολογισμό του βάθους των λιμναζόντων νερών απαιτείται αρχικά ή ένταση των βροχοπτώσεων της περιοχής, το μήκος ρεύματος ροής του νερού και η κλίση του οδοστρώματος. Οι δύο τελευταίες παράμετροι θα ληφθούν από το δισδιάστατο μοντέλο σάρωσης που θα δημιουργηθεί από το λογισμικό Cyclone, ενώ η πρώτη παράμετρος από τα κλιματολογικά στατιστικά στοιχεία της εθνικής μετεωρολογικής υπηρεσίας.

Λαμβάνοντας υπόψη το σύνολο των σταθμών για τους οποίους η εθνική μετεωρολογική υπηρεσία διαθέτει στατιστικά στοιχεία βροχόπτωσης, επιλέχθηκε να αξιοποιηθούν κατά κύριο λόγο τα δεδομένα της περιοχής του Αλιβερίου,, οικισμός ο οποίος βρίσκεται κοντά γεωγραφικά στο Καλοχώρι – Παντείχι και της Αττικής. Εφόσον

στην παρούσα εργασία αναλύεται η πιθανότητα εμφάνισης υδρολίσθησης, θεωρείται απαραίτητη η χρήση των δυσμενέστερων τιμών που παρουσιάζονται στην ευρύτερη γεωγραφικά περιοχή. Από έρευνα διαπιστώθηκε, πως για το 2012 η μέγιστη ένταση βροχόπτωσης στην Αθήνα έφτασε τα 51mm/hr, ενώ στο Αλιβέρι τα 72mm/hr. Συνεπώς, για την μελέτη υδρολίσθησης θα χρησιμοποιηθεί η μέγιστη τιμή, δηλαδή τα 72mm/hr.

### 6.3.1. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΤΗΣ Π.Ε.Ο. ΑΘΗΝΩΝ – ΧΑΛΚΙΔΟΣ

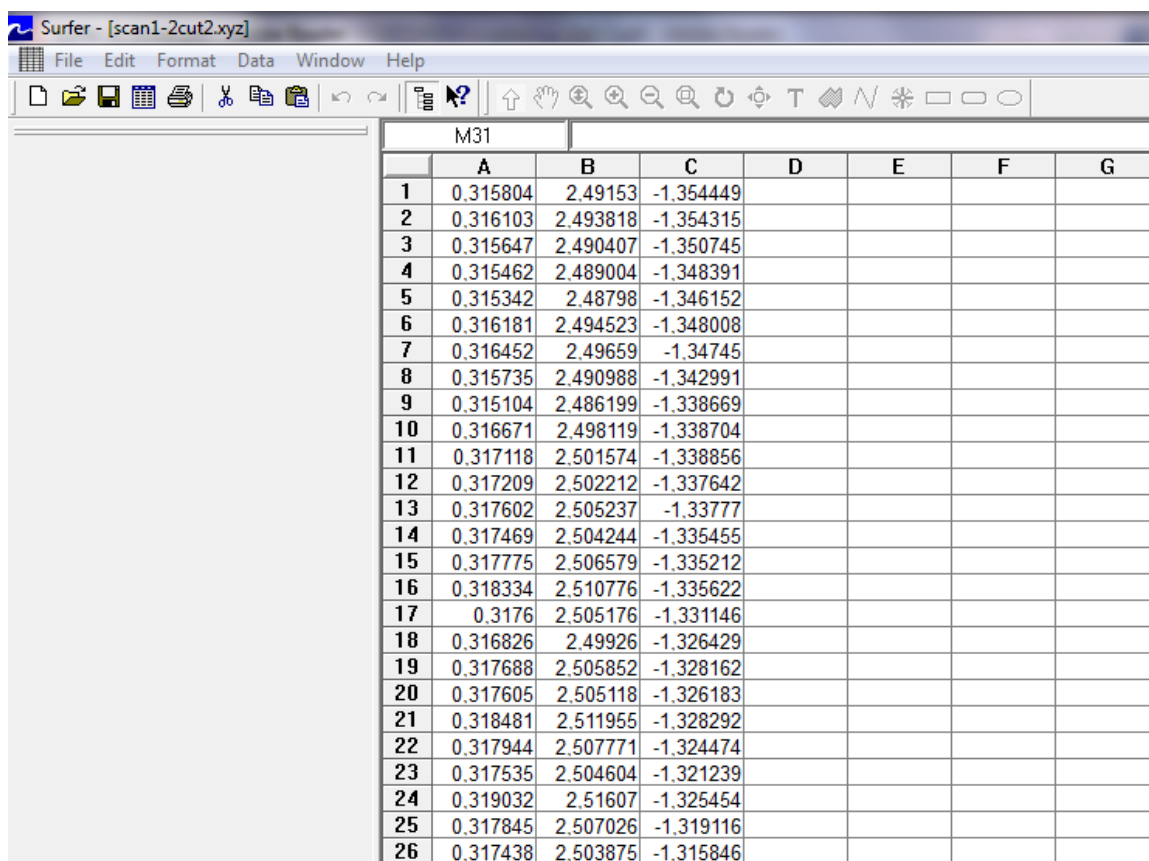
Για το σκοπό της μελέτης του φαινομένου της υδρολίσθησης, απαιτείται κάθε φορά η δημιουργία ενός ψηφιακού μοντέλου εδάφους του οδικού τμήματος που απασχολεί τους υπολογισμούς. Για την υλοποίηση του, απαιτείται τρισδιάστατη πληροφορία, η οποία στην παρούσα εργασία έχει συλλεχθεί από τις αποτυπώσεις του οδοστρώματος που πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια του επίγειου σαρωτή.

Η δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου εδάφους προγραμματιζόταν αρχικά να υλοποιηθεί με την βοήθεια του λογισμικού Surfer. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα, επιτρέπει την παραγωγή ισοϋψών γραμμών και τρισδιάστατων απεικονίσεων του αντικειμένου που μελετάται κάθε φορά, επιλέγοντας την κατάλληλη μέθοδο οπτικοποίησης και απόδοσης των απαιτούμενης πληροφορίας.

Δυστυχώς όμως το λογισμικό, με το αρχείο των τριών συνενωμένων σαρώσεων, δεν ήταν εφικτό να ολοκληρώσει την διαδικασία. Ύστερα από αρκετές επαναλήψεις διαπιστώθηκε πως η υπολογιστική ισχύ ενός αρκετά σύγχρονου υπολογιστή (επεξεργαστής Intel Core i5, Μνήμη 3 GB) δεν είναι σε θέση να επεξεργαστεί 12 εκατομμύρια σημεία δίχως αποτρεπτικές καθυστερήσεις.

Πραγματοποιήθηκαν όμως δοκιμές με ένα μικρότερο αρχείο σημείων. Συγκεκριμένα εισήχθη στο λογισμικό η συνένωση των δύο μόνο αρχικών σαρώσεων. Έτσι, μέσω της εντολής File → Open εντοπίστηκε στο αρχείο των συντεταγμένων, και προστέθηκε στα δεδομένα επεξεργασίας του λογισμικού Surfer. Η διαδικασία ανάγνωσης των δεδομένων διήρκεσε ένα λεπτό.

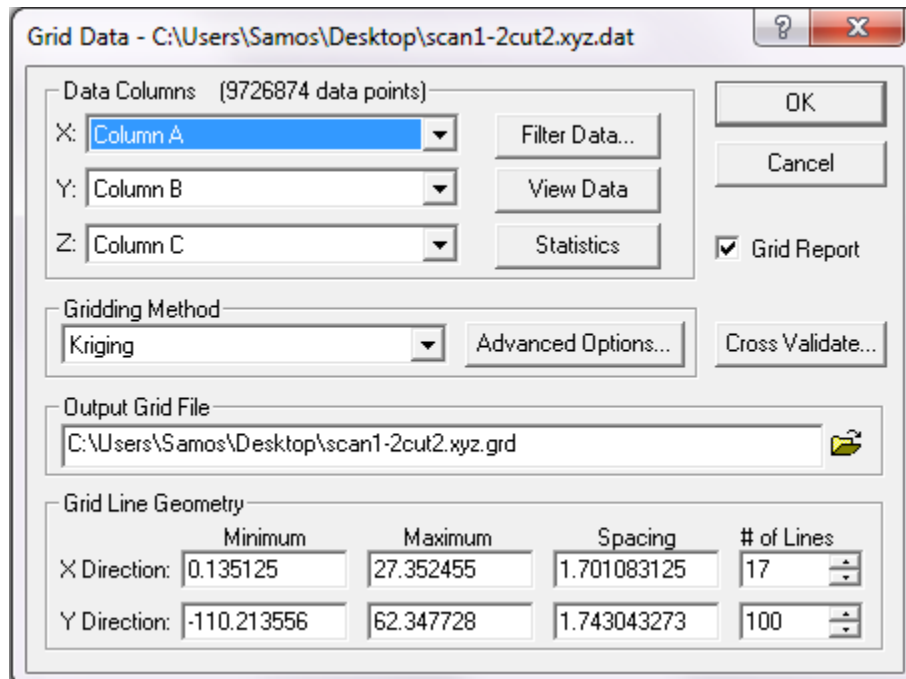
Εν συνεχεία, στο παράθυρο του λογισμικού Surfer, εμφανίστηκαν υπό μορφή πίνακα όλες οι συντεταγμένες των σημείων αποτύπωσης (εικόνα 6.73). Για να μπορέσουν να εφαρμοστούν τα επόμενα βήματα υλοποίησης των ισοϋψών καμπυλών, είναι απαραίτητη η αποθήκευση της πληροφορίας σάρωσης σε ένα αρχείο τύπου .dat (Golden Software Data). Με την εντολή «Save as», υλοποιήθηκε το απαιτούμενο αυτό βήμα.



	A	B	C	D	E	F	G
1	0.315804	2.49153	-1.354449				
2	0.316103	2.493818	-1.354315				
3	0.315647	2.490407	-1.350745				
4	0.315462	2.489004	-1.348391				
5	0.315342	2.48798	-1.346152				
6	0.316181	2.494523	-1.348008				
7	0.316452	2.49659	-1.34745				
8	0.315735	2.490988	-1.342991				
9	0.315104	2.486199	-1.338669				
10	0.316671	2.498119	-1.338704				
11	0.317118	2.501574	-1.338856				
12	0.317209	2.502212	-1.337642				
13	0.317602	2.505237	-1.33777				
14	0.317469	2.504244	-1.335455				
15	0.317775	2.506579	-1.335212				
16	0.318334	2.510776	-1.335622				
17	0.3176	2.505176	-1.331146				
18	0.316826	2.49926	-1.326429				
19	0.317688	2.505852	-1.328162				
20	0.317605	2.505118	-1.326183				
21	0.318481	2.511955	-1.328292				
22	0.317944	2.507771	-1.324474				
23	0.317535	2.504604	-1.321239				
24	0.319032	2.51607	-1.325454				
25	0.317845	2.507026	-1.319116				
26	0.317438	2.503875	-1.315846				

**Εικόνα 6.73** Συντεταγμένες σημείων αποτύπωσης

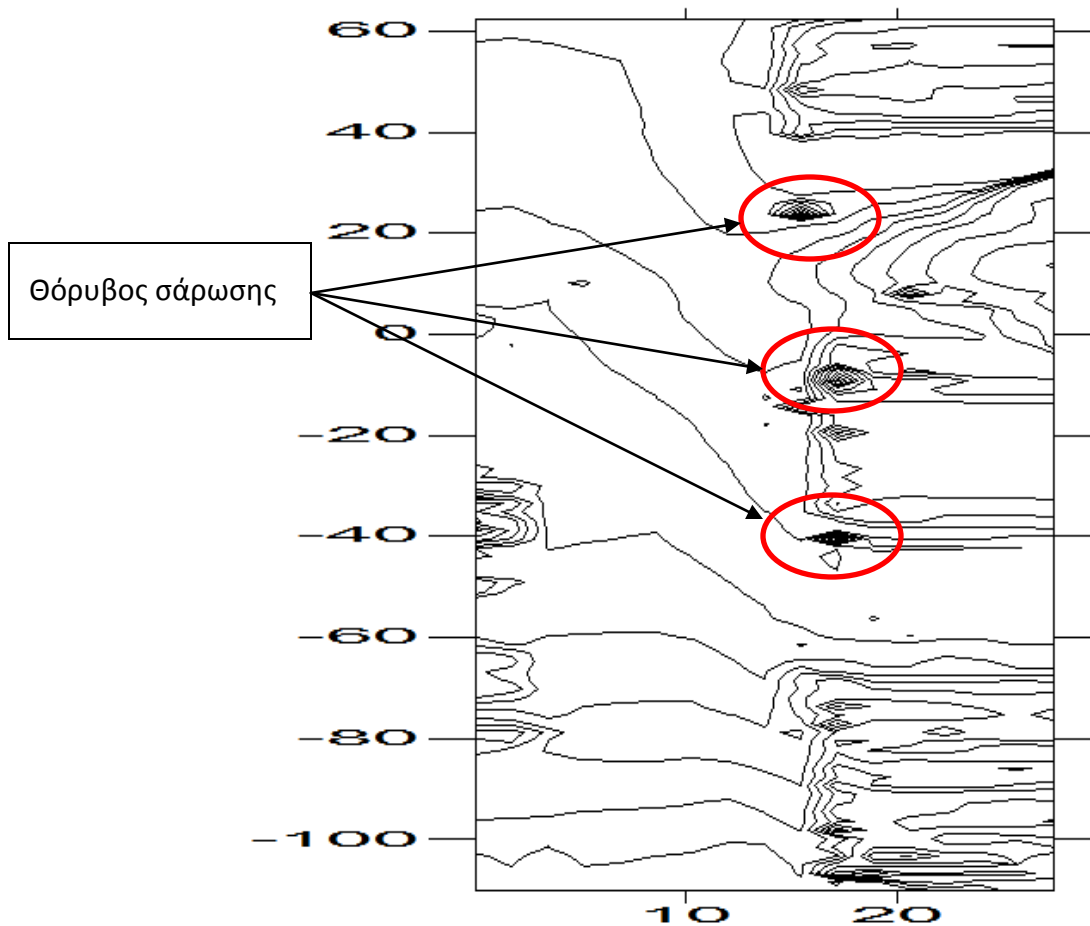
Ακολούθως, απαιτείται η δημιουργία ενός αρχείου καννάβου (Grid File). Μέσω της εντολής Grid → Data επιλέγεται το αρχείο τύπου «.dat», που δημιουργήθηκε σε προηγούμενο στάδιο, και εισάγεται στο πρόγραμμα. Επιλέγεται να τοποθετηθούν οι συντεταγμένες της στήλης A, ως συντεταγμένες του άξονα X, οι συντεταγμένες της στήλης B, ως συντεταγμένες του άξονα Y, και της στήλης C ως συντεταγμένες του άξονα Z (εικόνα 6.74).



Εικόνα 6.74 Εισαγωγή συντεταγμένων σε αρχείο καννάβου

Η διαδικασία εισαγωγής των σημείων διήρκεσε συνολικά 20 λεπτά. Ο όγκος των δεδομένων απαιτεί αρκετούς υπολογισμούς, συνεπώς ο χρόνος αναμονής ήταν αναμενόμενος. Μετά το πέρας αυτού του σταδίου, δημιουργείται αυτόματα ένα νέο αρχείο τύπου .grd, το οποίο απαιτείται για το τρίτο και τελευταίο στάδιο της υλοποίησης του δισδιάστατου σχεδίου.

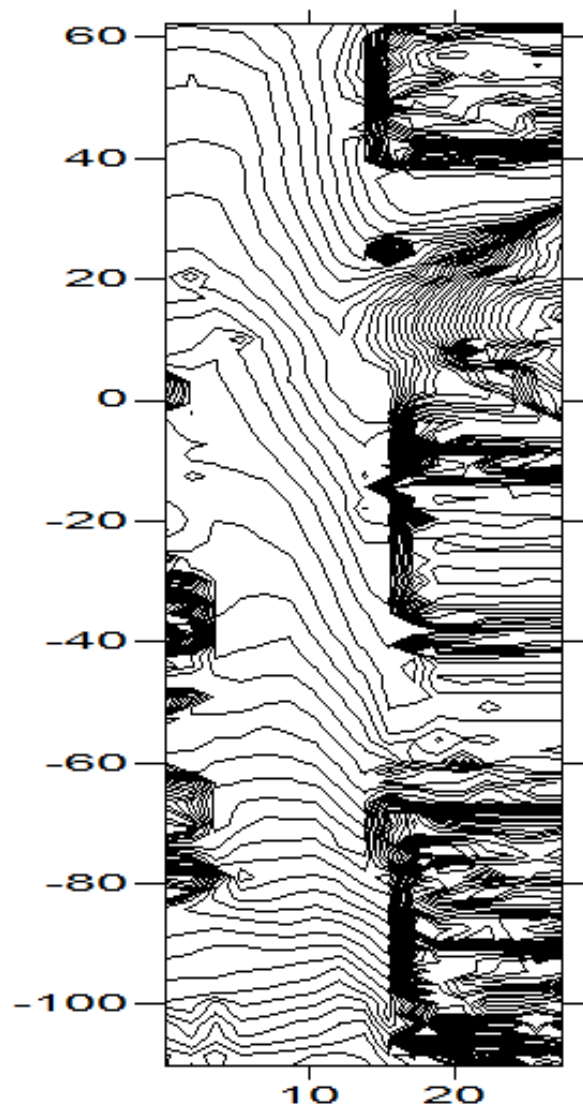
Στο τελευταίο επομένως στάδιο, μέσω της εντολής Map → Contour Map → New Contour Map του λογισμικού Surfer, εισάγεται το αρχείο – αποτέλεσμα της προηγούμενης διαδικασίας. Η τελική εικόνα που εμφανίζεται δίνεται στην εικόνα 6.75. Είναι εμφανές πως τα σημεία θορύβου επηρέασαν σοβαρά το τελικό προϊόν. Είναι εμφανή τα σημεία λανθασμένων αποτυπώσεων. Το λογισμικό Surfer δεν επιτρέπει την εύκολη απαλοιφή των λανθασμένων σημείων, μιας και δεν υπάρχει δυνατότητα προεπισκόπησης των τρισδιάστατων και δισδιάστατων προϊόντων του. Στο λογισμικό Surfer δεν υπάρχουν εργαλεία εμφάνισης των νεφών σημείων με διαφορετικές αποχρώσεις και σκιάσεις, γεγονός το οποίο δεν επιτρέπει τον εύκολο εντοπισμό του θορύβου, όπως στο λογισμικό Geomagic και Cyclone.



Εικόνα 6.75 Αποτέλεσμα ισοϋψών λογισμικού Surfer

Μέσω των εργαλείων τροποποίησης των ισοϋψών, μειώνεται η ισοδιάσταση των καμπυλών από 0,2m που έθεσε αρχικά το πρόγραμμα, σε 0,05m. Στην εικόνα 6.76 εμφανίζεται το καινούριο αποτέλεσμα. Διαπιστώνεται πως για το ρεύμα «προς Χαλκίδα», υπάρχει ικανοποιητική υψομετρική πληροφορία. Δυστυχώς όμως, το φαινόμενο της υδρολίσθησης απαιτείται να αναλυθεί και στα δύο ρεύματα κυκλοφορίας.

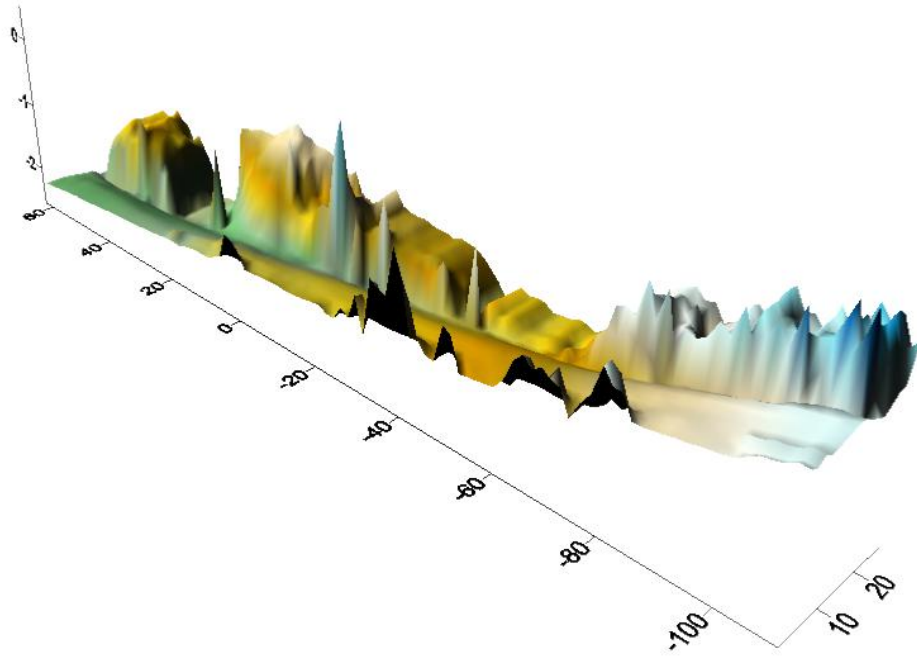
Όμοια αποτρεπτικά αποτελέσματα δίνει και το τρισδιάστατο μοντέλο που δημιουργείται από το λογισμικό Surfer, μέσω του αρχείου τύπου .grd, και της εντολής Map → Surface (εικόνα 6.77).



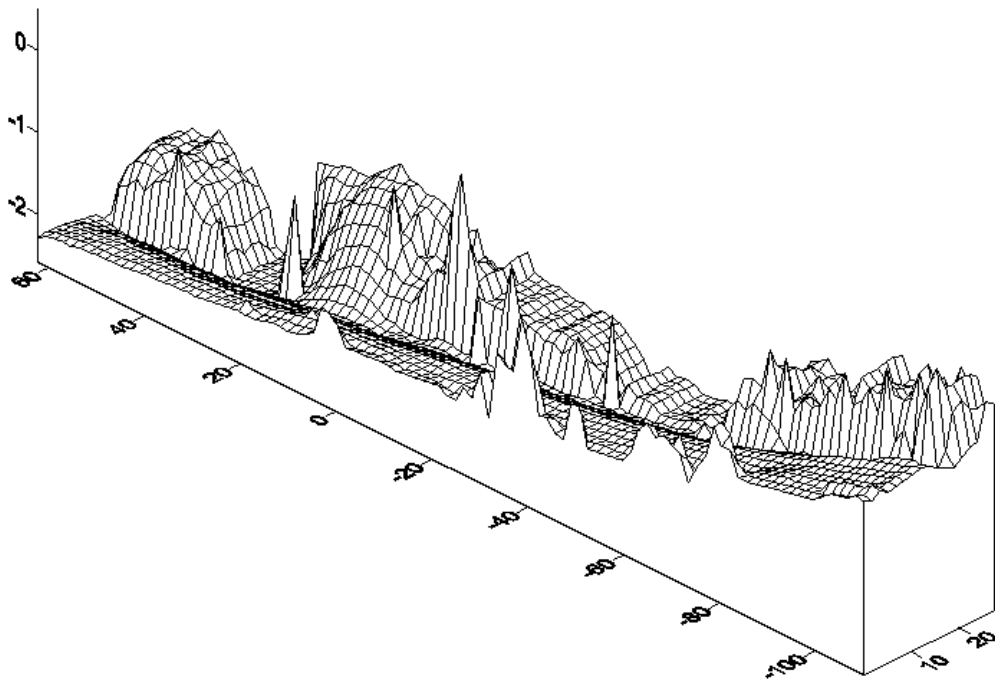
Εικόνα 6.76 Νέος χάρτης ισοψών με ισοδιάστατη 0,05m

Το ρεύμα προς Χαλκίδα φαίνεται γι' ακόμη μια φορά, να έχει αποτυπωθεί σωστά. Δυστυχώς όμως δεν είναι εμφανή τα όρια της οδού. Η φυτοκάλυψη, ο θόρυβος των διερχομένων οχημάτων και πεζών, αλλά και οι στάσεις σάρωσης, έχουν επηρεάσει σημαντικά το τελικό αποτέλεσμα. Με την εισαγωγή πλέγματος στο μοντέλο η πληροφορία φαίνεται όμως να γίνεται πιο ευκρινής (εικόνα 6.78).

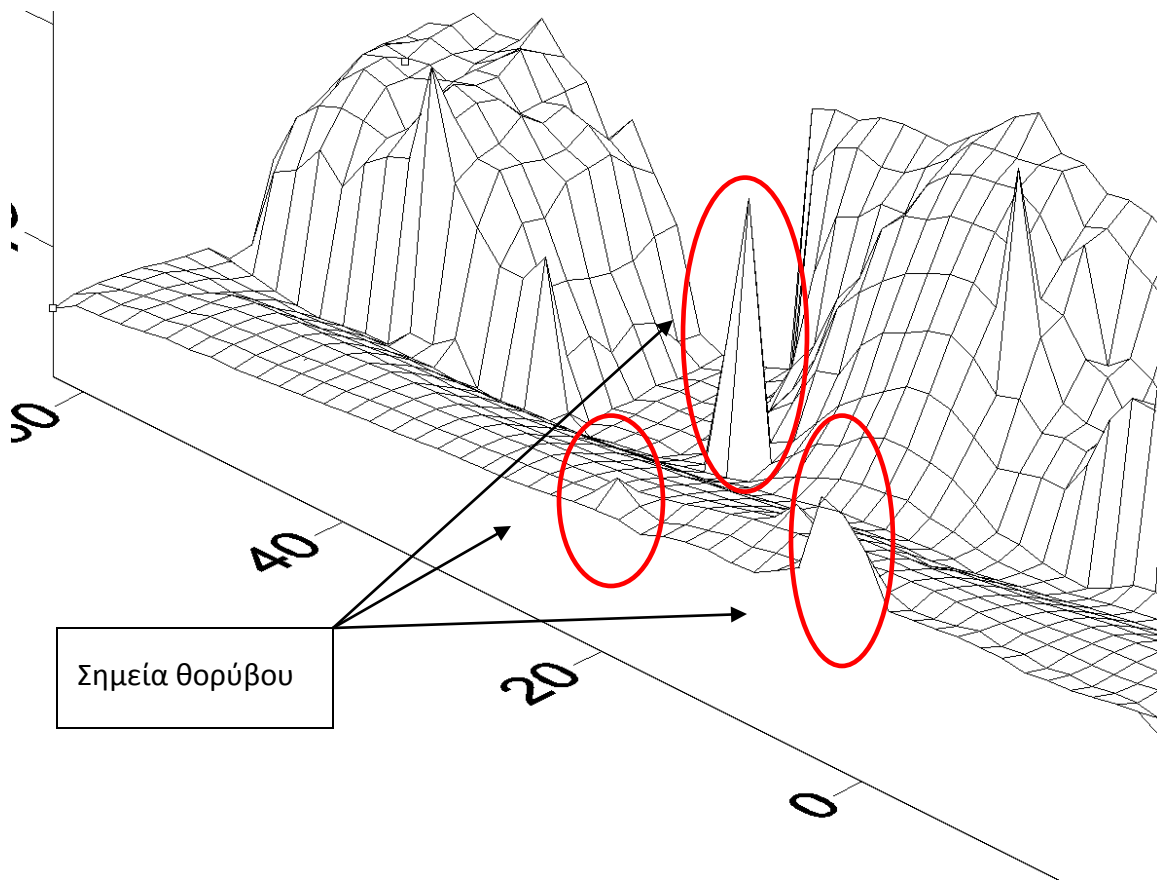




Εικόνα 6.77 Τρισδιάστατο μοντέλο Surfer



Εικόνα 6.78 Wireframe επιφάνεια λογισμικού Surfer



Εικόνα 6.79 Κοντινή επισκόπηση γραφήματος πλέγματος Surfer

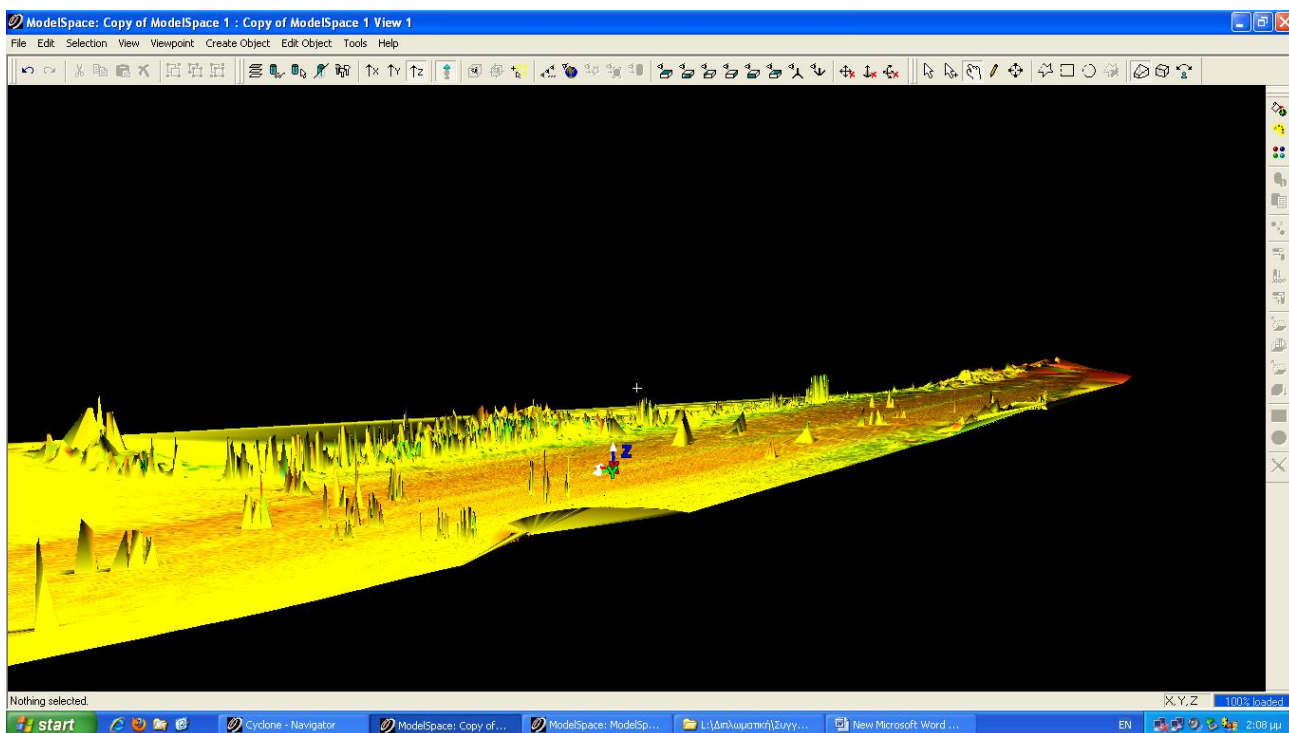
Με τη βοήθεια του γραφήματος πλέγματος, τα όρια της οδού και οι κλίσεις φαίνεται να αναπαριστώνται ορθά. Οι αναλογίες όμως των υψομέτρων σε σχέση με την οριζοντιογραφία, καθιστούν δύσκολη τη διενέργεια μετρήσεων. Ο θόρυβος έχει επηρεάσει το τελικό αποτέλεσμα, κι αυτό φαίνεται από τις λανθασμένες κορυφογραμμές (εικόνα 6.79).

Έτσι, αποφασίστηκε τελικά να χρησιμοποιηθεί για ακόμη μια φορά το λογισμικό Cyclone, το οποίο παρέχει πέρα των άλλων την δυνατότητα δημιουργίας τρισδιάστατου μοντέλου και χάρτη ισοψών καμπυλών.

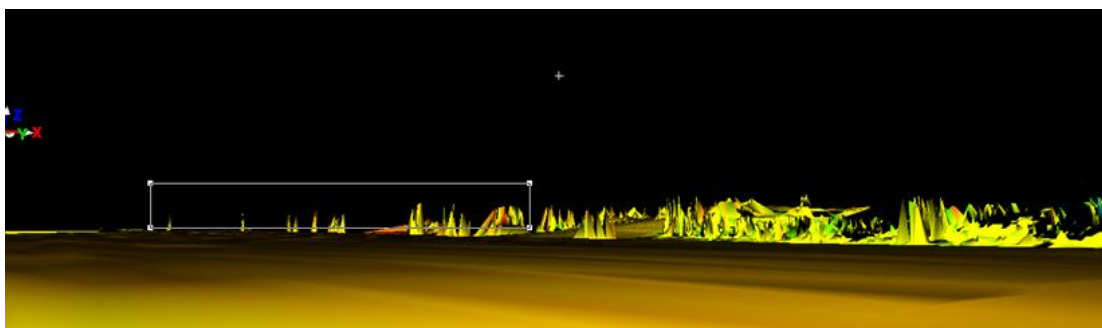
Το πλέγμα τριγώνων το οποίο συνθέτει το τρισδιάστατο μοντέλο σάρωσης, μπορεί να δημιουργηθεί απ' ευθείας με την εισαγωγή των ήδη συνενωμένων νεφών σημείων στο λογισμικό, επιλέγοντας να εμφανιστεί το παράθυρο «Modelspace». Μέσω της εντολής Tools → Create object → Create mesh, δημιουργείται το μοντέλο τριγώνων, βάσει του

οποίου θα συλλεχθεί η απαραίτητη υψομετρική πληροφορία για την δημιουργία των ισοψών καμπυλών.

Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα, το πλέγμα τριγώνων παρουσιάζει αρκετές ατέλειες, οι οποίες οφείλονται κυρίως στην λανθασμένη συλλεχθείσα πληροφορία αποτύπωσης, λόγω διερχόμενων οχημάτων και πεζών. Με την βοήθεια των εργαλείων επεξεργασίας, οι περισσότερες κορυφογραμμές που οφείλονται σε αυτό το θόρυβο απομακρύνθηκαν, και το μοντέλο απέκτησε έτσι μια πιο ρεαλιστική μορφή (εικόνα 6.81).



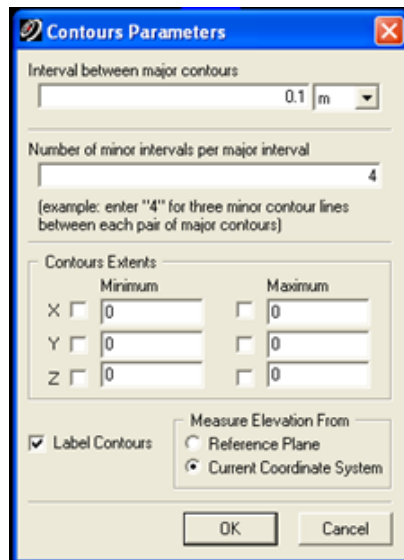
Εικόνα 6.80 Πλέγμα τριγώνων με εμφανή τα σημεία θορύβου



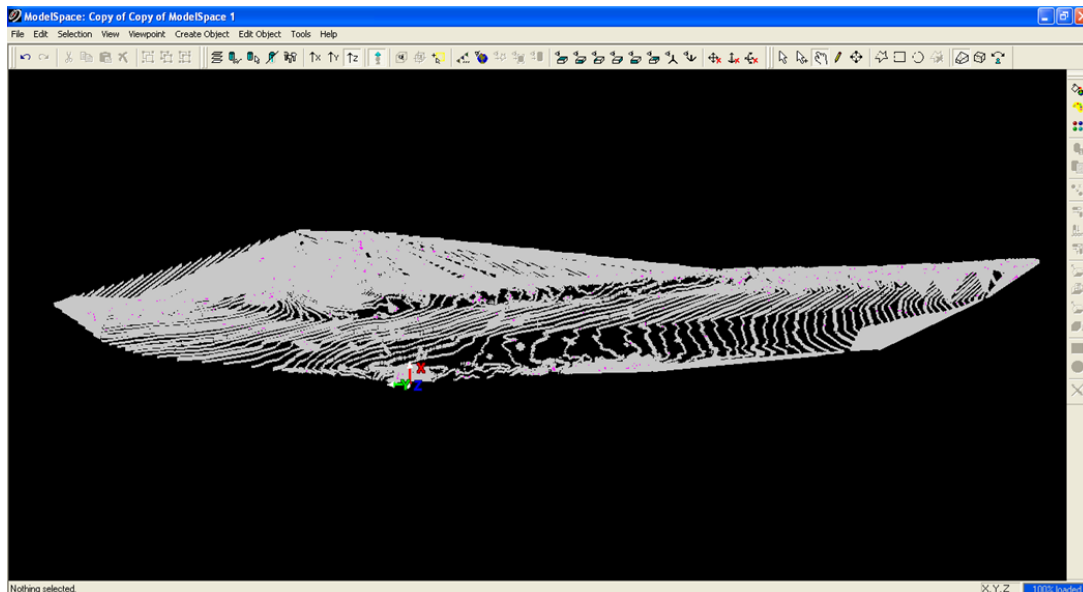
Εικόνα 6.81 Επιλογή και διαγραφή λανθασμένων τριγώνων

Στη συνέχεια, μέσω της εντολής Tools → Contours → Create, σχεδιάζονται οι ισοϋψείς καμπύλες. Το λογισμικό επιτρέπει την επιλογή της απόστασης μεταξύ των κύριων ισοϋψών, του αριθμού των ενδιάμεσων δευτερευουσών ισοϋψών και τα όρια της περιοχής για την οποία θα δημιουργήσει το τελικό δισδιάστατο σχέδιο. Για την συγκεκριμένη περίπτωση επελέγη ως τιμή απόστασης των κυρίων ισοϋψών το 0,1m και ως αριθμό δευτερευουσών η τιμή 4. Τα όρια διατηρήθηκαν ως είχαν. Επελέγη τέλος να εμφανιστούν οι γραμμές του περιγράμματος (εικόνα 6.82).

Το τελικό αποτέλεσμα αντιγράφηκε σε ένα καινούριο παράθυρο Modelspace, για την ευκολότερη επεξεργασία και εξαγωγή των δεδομένων του σε αρχείο τύπου .dxf.



Εικόνα 6.82 Παράμετροι διαμόρφωσης ισοϋψών καμπυλών



Εικόνα 6.83 Αποτέλεσμα διαδικασίας στο λογισμικό Cyclone

### 6.3.2. ΕΞΑΓΩΓΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΜΕΛΕΤΗΣ ΥΔΡΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

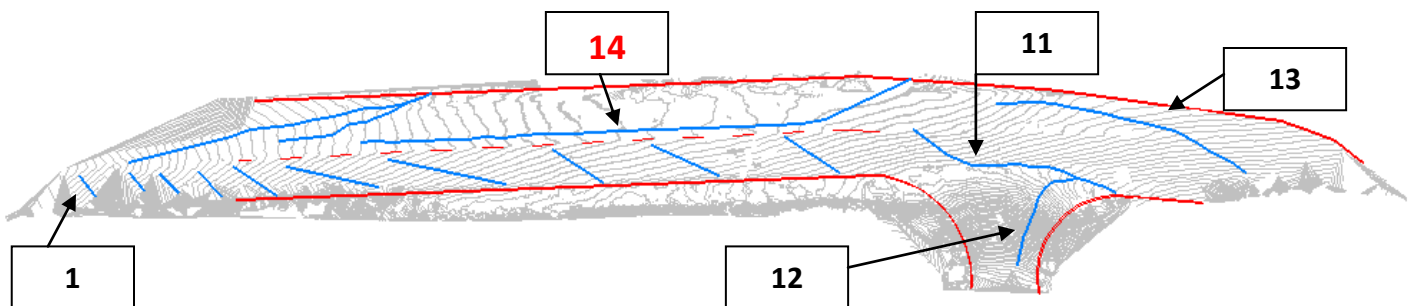
Με την βοήθεια του λογισμικού AutoCAD, πραγματοποιείται περαιτέρω επεξεργασία του χάρτη των ισοϋψών. Αρχικά, βάσει των εικόνων σάρωσης, γίνεται η σχεδίαση των ορίων του οδοστρώματος αλλά και του άξονα του δρόμου. Με αυτό τον τρόπο προσδιορίζεται ακριβώς η περιοχή μελέτης του φαινομένου της υδρολίσθησης. Εν συνεχεία, σχεδιάζονται όλες οι πιθανές διαδρομές των υδάτων δεξιά και αριστερά του άξονα του δρόμου. Για κάθε μία από αυτές μετريέται το μήκος ροής, το οποίο στη συνέχεια θα τοποθετηθεί στον τύπο που διαμόρφωσε ο Gallaway για τον υπολογισμό του βάθους συσσώρευσης υδάτων:

$$WFD = z \left\{ \frac{TXD^{0.11} L^{0.43} I^{0.59}}{S^{0.42}} \right\} - TXD$$

Όπου:

- $z = 0.103$  (σταθερά για εύκαμπτα οδοστρώματα)
- $L$  = μήκος ρεύματος ροής οδοστρώματος (m)
- $I$  = ένταση βροχόπτωσης (mm/hr)
- $S$  = κλίση οδοστρώματος στο ρεύμα ροής των υδάτων (m/m)
- $TXD$  = βάθος υφής οδοστρώματος (mm) (προτεινόμενη τιμή 0,5mm)

Στην εικόνα 6.84 φαίνονται όλες οι εναλλακτικές διαδρομές που διαμορφώθηκαν.



Εικόνα 6.84 Εναλλακτικές διαδρομές υδάτων

Η κλίση του ρεύματος ροής υπολογίζεται κάθε φορά βάσει του σχεδίου των ισοϋψών που δημιουργήθηκε από το λογισμικό Cyclone. Για την κάθε μια εναλλακτική διαδρομή πραγματοποιήθηκαν οι απαραίτητες μετρήσεις, οι οποίες συνοψίζονται στον πίνακα 6-7.

A/A	Μήκος ευθυγραμμίας (m)	Υψομετρική Διαφορά (m)	Κλίση (%)
1	2,6358	0,1	3,79
2	2,2207	0,08	3,60
3	2,5195	0,08	3,18
4	1,9551	0,06	3,07
5	3,5293	0,1	2,83
6	4,7345	0,1	2,11
7	6,5694	0,1	1,52
8	4,9759	0,1	2,01
9	5,4654	0,08	1,46
10	4,5153	0,1	2,21
11a	4,0228	0,1	2,49
11b	5,3266	0,06	1,13
12	0,8408	0,1	11,89
13a	6,0228	0,06	1,00
13b	3,2313	0,06	1,86
14	14,2698	0,06	0,42
15	5,6388	0,06	1,06
16	7,0211	0,1	1,42

Πίνακας 6-7 Αποτελέσματα μετρήσεων κλίσεων από χάρτη ισοϋψών

Η ονομασία των ενδεικτικών ρευμάτων ροής ακολούθησε την αντίθετη φορά του ρολογιού. Ενδεικτικά στην εικόνα 6.84, φαίνεται η αρίθμηση κάποιων χαρακτηριστικών επιλογών. Για την ενδεικτική πορεία 11 και 13, έγιναν δυο μετρήσεις κλίσης, μιας και η πορεία των υδάτων αναμένεται μεγάλη, σε περιοχές διαφορετικών κλίσεων.

Εν συνεχεία, η παραπάνω τιμές, τοποθετήθηκαν στο τύπο υπολογισμού βάθους στρώματος νερού.

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΜΕΣΩ  
ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΣΑΡΩΣΕΩΝ LASER

A/A	Μήκος ευθυγραμμίας (m)	Υψομετρική Διαφορά (m)	Κλίση (%)	Μέση κλίση (%)	WFD (mm)
1	2,6358	0,1	3,79		0,53
2	2,2207	0,08	3,60		0,48
3	2,5195	0,08	3,18		0,59
4	1,9551	0,06	3,07		0,49
5	3,5293	0,1	2,83		0,82
6	4,7345	0,1	2,11		1,20
7	6,5694	0,1	1,52		1,74
8	4,9759	0,1	2,01		1,27
9	5,4654	0,08	1,46		1,60
10	4,5153	0,1	2,21		1,13
11a	4,0228	0,1	2,49	1,71	1,34
11b	5,3266	0,06	1,13		
12	0,8408	0,1	11,89		0,00
13a	6,0228	0,06	1,00	1,30	1,56
13b	3,2313	0,06	1,86		
14	14,2698	0,06	0,42		4,87
15	5,6388	0,06	1,06		1,94
16	7,0211	0,1	1,42		1,87

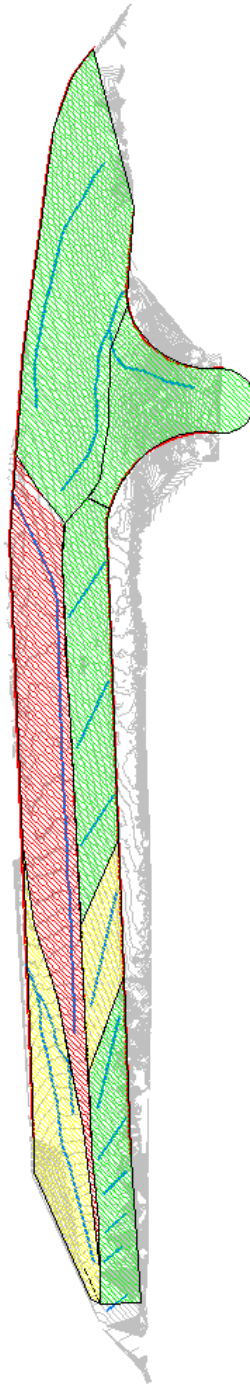
Πίνακας 6-8 Αποτελέσματα υπολογισμών

Σύμφωνα με την μελέτη Gallaway για εύκαμπτα οδοστρώματα, υψηλά επίπεδα τριβής και άρα μη εμφάνιση του φαινομένου της υδρολίσθησης επιτυγχάνεται όταν:

- Το βάθος των συσσωρευμένων υδάτων δεν ξεπερνά τα 2,5mm (προτεινόμενη τιμή)
- Το βάθος του πέλματος των ελαστικών είναι μεγαλύτερο των 5mm
- Η πίεση των ελαστικών είναι μεγαλύτερη των 138kPa.

Η απόλυτη τιμή του μεγέθους της πρώτης παραμέτρου, σύμφωνα με τον Gallaway, δεν πρέπει ποτέ να ξεπερνά τα 4mm. Επομένως, λαμβάνοντας τις δύο αυτές τιμές ως κριτήριο αξιολόγησης, προκύπτει πως το ρεύμα προς Χαλκίδα δεν παρουσιάζει προβλήματα υδρολίσθησης, σε αντίθεση με το ρεύμα προς Αθήνα, όπου σε ένα μεγάλο μέρος του εμφανίζει επικίνδυνη συσσώρευση υδάτων.

Τα παραπάνω συμπεράσματα μπορούν να οπτικοποιηθούν με την βοήθεια του λογισμικού AutoCAD, δίνοντας στην πράσινη απόχρωση την ερμηνεία της μηδενικής πιθανότητας εμφάνισης του φαινομένου της υδρολίστεσης, και στην κόκκινη την ερμηνεία της σημαντικής πιθανότητας εμφάνισης συσσωρευμένων υδάτων και άρα μειωμένης τριβής στο οδόστρωμα.



Εικόνα 6.85 Οπτικά αποτελέσματα αξιολόγησης



Οι περιοχές που έχουν χρωματιστεί με κίτρινη απόχρωση, αποτελούν τμήματα της οδού, τα οποία πιθανότατα σε ακραίες καιρικές συνθήκες να εμφανίζουν συσσώρευση υδάτων. Η τιμή WFD που υπολογίστηκε για τις συγκεκριμένες περιοχές, προσεγγίζει την τιμή 2.5, η οποία είναι και η κρίσιμη. Ενδεικτικά, μια αύξηση 40% στην ένταση της βροχόπτωσης, μπορεί να επιφέρει αύξηση στο βάθος των λιμναζόντων νερών κατά 27%, δηλαδή κατά 0,5mm. Συνεπώς σε μια μελλοντική επανεξέταση του φαινομένου, θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στα συγκεκριμένα τμήματα.

# 7.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στην παρόν κεφάλαιο γίνεται αρχικά ανασκόπηση και παρουσίαση των βασικών συμπερασμάτων της έρευνας. Ο τελικός στόχος ήταν η ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας αξιολόγησης της υφιστάμενης κατάστασης ενός οδοστρώματος, η οποία θα είναι απαλλαγμένη από τον υποκειμενικό χαρακτήρα του ανθρώπινου παράγοντα, και θα επιτρέπει την διαχρονική αξιοποίηση των αποτελεσμάτων. Στην δεύτερη και τελευταία ενότητα του κεφαλαίου διατυπώνονται ορισμένες προτάσεις, για την συνέχιση και εξέλιξη της παρούσας έρευνας.

### 7.1. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η μεθοδολογία αξιολόγησης οδοστρώματος μέσω τρισδιάστατων μοντέλων επιφάνειας και δισδιάστατων σχεδίων, απαιτεί μια σειρά εργασιών, η κάθε μία από τις οποίες παρουσιάζει τις δικές της ιδιαιτερότητες και δυσκολίες. Στις παρακάτω ενότητες παρουσιάζονται όλα τα συμπεράσματα που ανακύπτουν για κάθε στάδιο που υλοποιήθηκε και συνέβαλε στο αποτέλεσμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

### 7.1.1. ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΑΡΩΣΗΣ

Η επιλογή του επίγειου σαρωτή laser ως όργανο για την αποτύπωση των προς μελέτη οδικών τμημάτων, αποτέλεσε μια πολύ ικανοποιητική σε ακρίβεια και ταχύτητα μέθοδο συλλογής της απαιτούμενης τρισδιάστατης πληροφορίας. Η τεχνολογία των τεχνικών σάρωσης σήμερα επιτρέπει την αναλυτική μοντελοποίηση και περιγραφή της επιφάνειας ενός οδοστρώματος, γεγονός το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως σημαντικό εργαλείο ανάπτυξης μιας αξιόπιστης και ολοκληρωμένης βάσης δεδομένων.

Το πρόγραμμα επικοινωνίας, όπως σημειώθηκε και στο αντίστοιχο κεφάλαιο, επιτρέπει την επιλογή της απόστασης των σημείων σάρωσης που εξυπηρετεί κάθε φορά το σκοπό των εργασιών. Η πυκνότητα αποτύπωσης που τελικά επιλέγεται, μπορεί να αποδώσει διαφορετικά αποτελέσματα κάθε φορά. Τιμές μικρότερες του ενός εκατοστού, επιτυγχάνουν ικανοποιητική καταγραφή των περισσότερων φθορών και παραμορφώσεων των οδοστρωμάτων. Μεγαλύτερες τιμές της συγκεκριμένης παραμέτρου δεν εξυπηρετούν τις απαιτήσεις επισκόπησης και αξιολόγησης της υφιστάμενης κατάστασης. Όπως φαίνεται και από τις διάφορες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, οδοστρώματα με μικρές τιμές πυκνότητας δεν είναι σε θέση να καλύψουν την μοντελοποίηση διαφόρων μορφών ρηγματώσεων και επιφανειών επισκευών, γεγονός το οποίο υποτιμά τα τελικά αποτελέσματα του δείκτη εξυπηρετικότητας, και άρα την αξιοπιστία της τελικής βάσης δεδομένων για το τρέχον έτος.

Το εύρος του πεδίου σάρωσης και η πυκνότητα επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό τον χρόνο συλλογής των δεδομένων. Οι διαδικασίες επισκόπησης του οδοστρώματος απαιτούν μικρούς χρόνους παραμονής σε κάθε τμήμα οδοστρώματος, μιας και με αυτή τη μεθοδολογία, αναμένεται να αξιολογηθεί όλο το εθνικό δίκτυο μιας χώρας. Επομένως, κατά την εφαρμογή των προγραμματισμένων εργασιών, κρίθηκε πολλές φορές απαραίτητη η μείωση της πυκνότητας και της εμβέλειας σάρωσης για να μειωθεί αναλογικά και ο συνολικός χρόνος αποτύπωσης του κόμβου ή του οδικού τμήματος. Χαρακτηριστικό παράδειγμα των παραπάνω αποτελεί η σάρωση του τμήματος της Π.Ε.Ο. Αθηνών – Χαλκίδος. Πιο συγκεκριμένα, ενώ αρχικά είχε επιλεγεί ως τιμή πυκνότητας το 1mm και ως απόσταση τήρησης αυτής της πυκνότητας τα 40m, τελικά και στις τρεις σαρώσεις που πραγματοποιήθηκαν, επιλέχθηκαν νέες τιμές, μικρότερης ανάλυσης από τις παραπάνω. Το αρχικό σχέδιο προγραμματισμού

απαιτούσε συνολική διάρκεια σάρωσης ίση με 5 περίπου ώρες για 400 μέτρα σάρωσης. Ο χρόνος αυτός ήταν μεγάλος και αποτρεπτικός. Απαιτούνται μικροί χρόνοι παραμονής, για να είναι αποδοτική η διαδικασία αξιολόγησης. Επομένως, για την καλύτερη δυνατή κάλυψη των απαιτήσεων μιας τέτοιας μελέτης, οφείλονται να γίνονται ορθές επιλογές των παραμέτρων σάρωσης, οι οποίες θα επιτρέπουν ικανοποιητική κάλυψη του περιβάλλοντος, αλλά και ταυτόχρονα μικρό χρονικό διάστημα παραμονής σε κάθε στάση.

Εκτός των φορητών υπολογιστών, απαιτείται αξιόπιστη πηγή τροφοδοσίας και για τον σαρωτή, ο οποίος σε εργασίες πεδίου της συγκεκριμένης φύσεως, χρειάζεται διαθέσιμες περισσότερες από μία μπαταρίες. Η εξασφάλιση τροφοδοσίας για αρκετό χρονικό διάστημα, δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα να επιλέξει ορθότερες τιμές σάρωσης. Ταυτόχρονα, κατά τη χρησιμοποίηση των μπαταριών απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στην σύνδεση τους, μιας και είναι αρκετά ευαίσθητες. Πιθανό λάθος στην συνδεσμολογία ή στην φόρτιση τους, μπορεί να οδηγήσει πολύ γρήγορα την παύση λειτουργίας τους.

Βέλτιστα αποτελέσματα μοντελοποίησης επιτυγχάνονται όταν το αντικείμενο σάρωσης είναι απαλλαγμένο από θόρυβο. Τα ακριβή μοντέλα επιφάνειας οδοστρώματος απαιτούν μεγάλο όγκο ακριβής πληροφορίας, συνεπώς είναι σημαντικό κατά τη διενέργεια των μετρήσεων να εξασφαλίζονται συνθήκες μειωμένης προσπέλασης πεζών και οχημάτων. Οι ιδανικές αυτές συνθήκες θα επιφέρουν μειωμένη αποτύπωση λανθασμένων στοιχείων περιβάλλοντος. Για τις συγκεκριμένες εργασίες απαιτείται επομένως ορθός και προσεκτικός προγραμματισμός, ο οποίος θα επιφέρει τα λιγότερα δυνατά προβλήματα κατά την επεξεργασία.

---

#### 7.1.2. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Για την επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων σάρωσης κρίθηκε απαραίτητη η χρησιμοποίηση αρκετών προγραμμάτων, με σκοπό την εύρεση της ικανοποιητικότερης μορφής δισδιάστατων σχεδίων και τρισδιάστατων μοντέλων.

Για την παραγωγή χαρτών ισοϋψών, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Surfer και Cyclone. Το πρώτο, είναι ένα ιδιαίτερα ελαφρύ και αρκετά εύχρηστο πρόγραμμα, το οποίο όμως δεν επιτρέπει την εύκολη απομάκρυνση σημείων θορύβου. Τα παραγόμενα σχέδια είχαν σημαντικά λάθη, μιας και σε όλες τις εργασίες πεδίου δεν ήταν εφικτή η απαγόρευση διέλευση πεζών και οχημάτων, και άρα ήταν πολλά τα λανθασμένα σημεία αποτύπωσης. Το δεύτερο λογισμικό, εάν και πιο δύσχρηστο, περιλαμβάνει αρκετά εργαλεία επεξεργασίας των νεφών σημείων. Σε όλα τα στάδια παραγωγής των ισοϋψών, ο χρήστης έχει την δυνατότητα επιλογής τμημάτων ενδιαφέροντος εξαγωγής υψομετρικής πληροφορίας και απόρριψης άλλων που πιθανότατα λόγω θορύβου είχαν αλλοιωθεί. Έτσι οι τελικοί χάρτες ήταν εμφανώς πιο ακριβείς, και κατανοητοί. Οι περιττές κορυφογραμμές διεγράφησαν επιτυχώς, και η υψομετρική πληροφορία αξιοποιήθηκε σε όλο το μήκος του δρόμου.

Για την παραγωγή μοντέλων επιφάνειας μπορούσε να αξιοποιηθεί και πάλι το λογισμικό Cyclone, αλλά και ένα νέο λογισμικό, το Geomagic 10. Προτιμήθηκε το δεύτερο, διότι τα εργαλεία επεξεργασίας ήταν εμφανώς καλύτερα. Με το Geomagic το τελικό μοντέλο τριγώνων μπορούσε να επισκοπηθεί από όλες οπτικές γωνίες. Με την πληθώρα αλγορίθμων που χρησιμοποιεί, έγιναν αρκετές δοκιμές μεθόδων απαλοιφής θορύβου και μείωσης του όγκου δεδομένων. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα την εύρεση των τελικών παραμέτρων που μπορούν να αποδώσουν καλύτερα τις φθορές ενός οδοστρώματος, και τελικά εφαρμόστηκαν και στα τρία οδικά τμήματα.

---

### 7.1.3. ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ – ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

Κατά την επισκόπηση του οδοστρώματος με επιτόπιες μετρήσεις διαπιστώθηκε, πως απαιτείται αρκετή εμπειρία και γνώση για απόλυτα αντικειμενικά αποτελέσματα. Στο οδόστρωμα παρατηρούνται πολλών ειδών παραμορφώσεις και φθορές, των οποίων τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα είναι ανάγκη να είναι γνωστά. Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας, οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν έχοντας ανά χείρας τον οδηγό αξιολόγησης. Το γεγονός αυτό αρχικά οδήγησε σε μεγάλες καθυστερήσεις, στη συνέχεια όμως, λόγω περισσότερης τριβής με τις περιγραφείσες παραμέτρους, ο χρόνος ολοκλήρωσης μειώθηκε. Μέσα από τη μελέτη διαπιστώθηκε πόσο απαιτητική είναι η διαδικασία οπτικής αξιολόγησης, και πόσο ακριβής οφείλει να είναι κάποιος, έτσι ώστε να αποδώσει την αντικειμενική εικόνα της υφιστάμενης κατάστασης.

Το περιβάλλον επεξεργασίας του μοντέλου επιφάνειας επιτρέπει την διενέργεια μετρήσεων πάνω σε αυτό. Με τα εργαλεία φωτισμού είναι εφικτή η βελτιστοποίηση των οπτικών παρατηρήσεων. Με τα παραπάνω προτερήματα του λογισμικού μοντελοποίησης, ήταν τελικά εφικτός ο εντοπισμός σχεδόν όλων των φθορών και παραμορφώσεων που παρουσιάζονται στον πίνακα αξιολόγησης PCR. Ελέγχοντας κάθε μια παράμετρο της κλίμακας σοβαρότητας και εξάπλωσης του φαινομένου, υπολογίστηκε μια νέα τιμή ποιότητας οδοστρώματος.

Οι τιμές που προέκυψαν και για τα τρία οδικά τμήματα, συγκρίθηκαν με αυτές που προέκυψαν από τις παρατηρήσεις πεδίου, και διαπιστώθηκε, πως από το μοντέλο τα αποτελέσματα είναι λιγότερο συντηρητικά. Και στις τρεις περιπτώσεις η αρχική εκτίμηση έδωσε επίπεδο ποιότητας υποδεέστερο αυτού που τελικά ανέδειξε το μοντέλο. Θεωρείται σκόπιμο να σχολιαστεί ωστόσο, πως από ένα τρισδιάστατο μοντέλο επιφάνειας η εποπτεία ενός προβλήματος είναι αρκετά πιο ολοκληρωμένη, εφόσον έχει αποτυπωθεί σωστά. Η κλίμακα προβολής μπορεί να αλλάξει ανά πάσα στιγμή, συνεπώς ο μηχανικός μπορεί να κρίνει καλύτερα την κλίμακα εξάπλωσης του φαινομένου.

Εξειδικευμένο προσωπικό, έχοντας όλα τα παραπάνω στη διάθεση του, μπορεί με εργασίες γραφείου να συμπληρώσει τον πίνακα PCR του συστήματος DRM, και να αποδώσει πολύ πιο γρήγορα την τελική βαθμολογία ποιότητας οδοστρώματος. Οι αδυναμίες του μοντέλου είναι γνωστές, συνεπώς ο εποπτεύων μπορεί να κρίνει εάν και εφόσον μια παρατηρούμενη φθορά είναι κρίσιμη, και χρήζει ανάγκης επιτόπιου ελέγχου και εργασιών συντήρησης. Η μέθοδος laser scanning δίνει οικονομικότερες προσεγγίσεις, αλλά υπάρχει κίνδυνος υποτίμησης καταστάσεων, και άρα μεγαλύτερου κόστους συντήρησης σε μελλοντική επανεξέταση. Παρ' όλα αυτά η μέθοδος που προτείνεται, μπορεί να παρουσιάσει συχνότερες και οικονομικότερες αποτιμήσεις της κατάστασης μιας οδού, κατά συνέπεια διαθέτει τα εργαλεία απόδοσης ασφαλέστερων συμπερασμάτων.

Η αξιολόγηση του φαινομένου της υδρολίσθησης, απαιτεί στοιχεία της γεωμετρίας της οδού και υψομετρική πληροφορία. Εμφανίζεται κυρίως σε οδούς υψηλών ταχυτήτων, οπότε και η εφαρμογή της μεθόδου Gallaway, έγινε μόνο στην Π.Ε.Ο. Αθηνών – Χαλκίδος. Από τον χάρτη ισοϋψών, επετεύχθη η διαδικασία αξιολόγησης σε πολύ

ικανοποιητικό βαθμό. Υπολογίστηκαν με ακρίβεια η κλίση του οδοστρώματος και τα μήκη ροής των υδάτων που επιλέχθηκαν τυχαία να σχεδιαστούν ως δείγμα αξιολόγησης. Διαπιστώθηκε ποιο ρεύμα κυκλοφορίας παρουσιάζει πρόβλημα, και οπτικοποιήθηκε αναλόγως το παραπάνω συμπέρασμα. Συνοψίζοντας επομένως, μέσα από τις σαρώσεις οδών, είναι αρκετά εύκολη και γρήγορη η μελέτη της πιθανότητας εμφάνισης υδρολίσθησης. Τα αποτελέσματα μπορούν και αυτά να αποτελέσουν κομμάτι των βάσεων δεδομένων αξιολόγησης μιας οδού. Έτσι η τελική αναφορά εμφανίζεται διαχρονικά ακόμη πληρέστερη. Ο χάρτης υδρολίσθησης μπορεί να αποτελέσει μια ακόμη παράμετρο διερεύνησης σε πιθανές αλλαγές της γεωμετρίας της οδού που πιθανότατα να προγραμματιστούν από διάφορες μελέτες οδοποιίας.

## 7.2. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις επιτυχούς εφαρμογής και διατήρησης μιας ορθής βάσης δεδομένων αξιολόγησης οδοστρώματος, είναι η εξασφάλιση της διαχρονικής συνοχής των δεδομένων, μέσα από την εφαρμογή νέων τεχνικών και τεχνολογιών. Η συμβατότητα των δεδομένων είναι πολύ σημαντική για την υποστήριξη της αποτελεσματικής διαχείρισης των μελετών. Οι ποιοτικές χρονοσειρές είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη ορθών και αξιόπιστων μοντέλων επιδείνωσης, αλλά και για την μέτρηση των επιπτώσεων συντήρησης και αποκατάστασης που εφαρμόζονται κατά τα πολυετή σχέδια εργασιών. Συνεπώς είναι σημαντικό οι νέες και νόμιμες βάσεις δεδομένων που διαμορφώνονται μέσα στο χρόνο να είναι συμβατές και προσβάσιμες από όλους μέσα από διάφορες διαδικασίες μετατροπών. Μέσα από την αξιοποίηση των δεδομένων σάρωσης που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας έρευνας, μπορούν να γίνουν δοκιμές διαμόρφωσης της ορθής αυτής βάσης δεδομένων. Η χρήση κατάλληλων μεταδεδομένων (δηλ., τα δεδομένα σχετικά με τα δεδομένα) μπορεί διευκολυνθεί την πορεία τους μέσα στο χρόνο και την υιοθέτηση αυτοματοποιημένων μεθόδων. Με κατάλληλες μελέτες, μπορούν να καλυφθούν πλήρως όλες οι μορφές φθορών, και να δημιουργηθούν κατάλληλα ερμηνευτικά κλειδιά, που θα διευκολύνουν τον χρήστη να κατατάξει την κάθε μορφή καταπόνησης στην σωστή κλίμακα εξάπλωσης και σοβαρότητας που υποδεικνύει ο πίνακας υπολογισμού PCR. Έτσι, με τα κατάλληλα εργαλεία, θα μπορεί εύκολα το εξειδικευμένο προσωπικό να μελετήσει τα αποτελέσματα από τις επισκοπήσεις οδοστρωμάτων μέσω

επίγειων σαρωτών.

Σε ένα γενικότερο πλαίσιο, οι «μη δειγματοληπτικοί» έλεγχοι αξιολόγησης αποτελούν σημαντικό πεδίο έρευνας τα τελευταία χρόνια. Πρόσφατη δημοσίευση από το TRB (Choubane et al, 2012), αναδεικνύει μεθόδους ερμηνείας ογκώδους πληροφορίας που συλλέγεται στις εργασίες πεδίου. Το 2010 στην Φλόριντα, μηχανικοί διερεύνησαν ρωγμές, αυλακώσεις και καταθλίψεις με τη βοήθεια ενός Deflectometer. Τα αποτελέσματα που δόθηκαν, αποτέλεσαν σημαντικά στοιχεία για τον εντοπισμό κρίσιμων θέσεων στα οποία απαιτείται να διεξαχθούν επιπλέον καταστρεπτικές δοκιμές για την εξακρίβωση των αιτιών και της έκτασης των φθορών. Συμπερασματικά επομένως, κρίνεται σημαντική η συνέχιση της μεθοδολογίας που παρουσιάστηκε στην παρούσα διπλωματική. Η ανάπτυξη ενός προγραμματιστικού υποβάθρου και η αυτοματοποίηση των διαδικασιών αξιολόγησης αποτελούν ένα ευρύ πεδίο έρευνας.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα εύκολης και γρήγορης επισκόπησης οδοστρώματος, παρουσιάζουν τα mobile scanners. Η κινητή χαρτογράφηση αποτελεί έναν νέο τρόπο συλλογής τρισδιάστατης πληροφορίας περιβάλλοντος οδών. Τα κινητά συστήματα σάρωσης είναι οικονομικά αποδοτικά και διαθέτουν αρκετά ισχυρή τεχνική καταγραφής πληροφορίας σε δυναμικό περιβάλλον (Kukko et al 2009). Με τη χρήση αυτής της τεχνολογίας, μπορούν να γίνουν περαιτέρω μελέτες ως προς τα προτερήματα της μεθοδολογίας σε σχέση με τις επιτόπιες οπτικές επισκοπήσεις. Η αξιοπιστία των μετρήσεων και ο χρόνος σάρωσης είναι μερικές από τις πολύ σημαντικές παραμέτρους που πρέπει να ερευνηθούν

Για την μελέτη των αιτιών που μπορεί να οδήγησαν στις παραμορφώσεις ενός οδικού τμήματος, απαιτούνται περισσότερες από μια μελέτες επισκόπησης. Απαιτούνται δεδομένα πολλών ετών. Έχοντας ως βάση τις σαρώσεις που πραγματοποιήθηκαν για την παρούσα μελέτη, μπορούν να επαναληφθούν στα ίδια οδικά τμήματα εκ νέου μελέτες επισκόπησης, και να σχολιαστούν οι διαφορές που παρατηρούνται ως προς τις διάφορες παραμορφώσεις και φθορές. Παράλληλα με μελέτες καιρικών συνθηκών και μεταβολών της κυκλοφοριακής σύνθεσης, μπορούν να ερμηνευτούν οι αιτίες που οδήγησαν στο βαθμό μείωσης της λειτουργικότητας της οδού.

Μελέτες επισκόπησης με τη βοήθεια επίγειου σαρωτή λέιζερ, μπορούν να αποτελέσουν σημαντικό εργαλείο παρατηρήσεων σε εταιρίες διαχείρισης κυκλοφορίας



και οδικής ασφάλειας. Πιθανή εφαρμογή της αναπτυχθείσας μεθοδολογίας σε οδικά τμήματα μεγάλων οδικών αρτηριών, μπορεί να βοηθήσει στην αποτελεσματικότερη λειτουργία του μηχανισμού συντήρησης της οδικής υποδομής. Μέσα από αυτές τις εφαρμογές, μπορούν να εντοπιστούν ελλείψεις του συστήματος αξιολόγησης.

Η χρήση περισσότερων προγραμμάτων επεξεργασίας νεφών σημείων, μπορεί να οδηγήσει σε ακόμη καλύτερα αποτελέσματα μοντέλων επιφάνειας. Η ενσωμάτωση των εικόνων σάρωσης στο αποτέλεσμα της μοντελοποίησης πιθανότατα να οδηγήσει σε πιο ακριβή αποτελέσματα αξιολόγησης της κατάστασης του οδοστρώματος. Ένα φωτορεαλιστικό μοντέλο μπορεί να διευκολύνει αρκετά στον εντοπισμό των φθορών και των παραμορφώσεων που υφίστανται. Ταυτόχρονα, μπορεί να πραγματοποιηθεί περεταίρω έρευνα στην μοντελοποίηση του οδοστρώματος μέσω του λογισμικού Surfer, μιας και προσφέρονται πληθώρα αλγορίθμων και παραμέτρων.

Μια αρκετά σημαντική εφαρμογή θα ήταν η χρήση ενός ολοκληρωμένου συστήματος σαρώσεων, τοποθετημένο σε κατάλληλα διαμορφωμένο όχημα, το οποίο θα μπορεί σε πολύ μικρότερο χρονικό διάστημα να σαρώνει τις περιοχές ενδιαφέροντος. Με την εφαρμογή της ίδιας μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε στην παρούσα μελέτη, μπορούν να γίνουν συγκρίσεις απόδοσης και ωφέλειας. Επιπλέον, θα είχε ενδιαφέρον η πραγματοποίηση μελέτης αξιολόγησης, με τη συνδρομή των επιστημών της φωτογραμμετρίας και της τηλεπισκόπησης. Όλες αυτές οι παράμετροι είναι σημαντικό να συγκριθούν, έτσι ώστε να προκύψει η μέθοδος εκείνη που επιφέρει την μεγαλύτερη ωφέλεια στους μηχανισμούς ελέγχου της λειτουργικότητας των οδών.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

### **Ξένη Βιβλιογραφία**

**Avery T.E. & Berlin G.L.**, «Fundamentals of Remote Sensing and Airphoto Interpretation», 5 edition, Mc Millan Publishing Company, New York, 1992.

**Balmer, G. G. and Gallaway, B. M.**, «Pavement Design and Controls for Minimizing Automotive Hydroplaning and Increasing Traction», American Society for Testing and Materials, 1983.

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

**Boehler W., Bordas Vicent M., Marbs A.**, «Investigating Laser Scanner Accuracy», Proceedings of CIPA XIX International Symposium, Turkey, September 2003.

**Boehler W., Marbs A.**, «3D Scanning Instruments, Proceedings of the Cipa WG 6 International Workshop», Corfu, Greece, 2002.

**Choubane B., Holzschuher C., Upshaw P., Suk Lee H., Morrison V.**, «Contour Plots Enhance Analysis of Pavement Data Collected with Nondestructive Survey Equipment», TRB News, July – August 2012.

**Cowan, E.J. et al., 2002.** «Rapid geological modeling. Applied Structural Geology for Mineral Exploration and Mining, International Symposium», Kalgoorlie, September 2002.

**Fausto Bernardini and Holly Rushmeier**, «The 3D Model Acquisition Pipeline», New York, USA, 2002.

**Gallaway, B. M.**, «Pavement and Geometric Design Criteria for Minimizing Hydroplaning», Federal Highway Administration, 1979.

**Gallaway, B. M., Ivey, D. L., Hayes, D., Ledbetter, W. B., Olson, R. M., Woods, D. L. & Schiller, R. F. Jr. (1979)**, «Pavement and Geometric Design Criteria for Minimizing Hydroplaning», Texas Transportation Institute, 1979.

**Henry, J.J., Meyer W.E.**, «The Simulation of Tire Traction on Wet Pavements», 18th International Automobile Technical Congress, Hamburg, Germany, 1980.

**Highway Presentation Systems, Ltd.**, PCEM – Pavement Condition Evaluation Manual, Pavement Evaluations for use with the DRMtm System, October 2001.

«Highway Surface Drainage Design Guide for Highways with a Positive Collection System», New Zealand, 1977.

**Horne, W.B.**, «Phenomena of Pneumatic Tire Hydroplaning», Langley Res. Center, November 1963.

**Huebner, R.S., Reed, J.R., and Henry, J.J.**, «Criteria for Predicting Hydroplaning Potential», ASCE Journal of Transportation Engineering, Vol 12, No 5, September, 1986.

**Ivey, D.L., Lehtipuu, E. K., and Button, J. W.**, «Rainfall and Visibility – The View From Behind the Wheel», Research Report 135-3, Texas Transport Institute, 1975.

**Jaakkola Anttoni, Juha Hyypä, Hannu Hyypä and Antero Kukko**, «Retrieval Algorithms for Road Surface Modelling Using Laser-Based Mobile Mapping», Finland, September 2008.

**John Chesterton, Noel Nancekivell, Noel Tunnicliffe**, «The Use of the Gallaway Formula for Aquaplaning Evaluation in New Zealand», NZIHT & Transit NZ 8th Annual Conference, 2006.

**Kretschmer U., T. Abmayr, M. Thies, C. Fröhlich**, Traffic Construction Analysis By Use Of Terrestrial Laser Scanning, Germany.

**Kukko A., Jaakkola A., Lehtomäki M., Kaartinen H., Chen Y.**, «Mobile mapping system and computing methods for modelling of road environment», Urban Remote Sensing Joint Event, 2009

**Kukko Antero, Constantin-Octavian Andrei, Veli-Matti Salminen, Harri Kaartinen, Yuwei Chen, Petri Rönholm, Hannu Hyypä, Juha Hyypä, Ruizhi Chen, Henrik Haggrén, Iisakki Kosonen, Karel Čapek**, «Road Environment Mapping System Of The Finnish Geodetic Institute», Finland, 2007.

**Kurtus Ron**, «Traction Friction of Tires», March 2008.

**Kwan Lam CHOW, HKSAR**, «Engineering Survey Applications of Terrestrial Laser Scanner in Highways», Department of the Government of Hong Kong Special Administration Region (HKSAR). China, May 2007.

**Lenz Russel W.**, «Pavement Design Guide», January 2011.

**Meijerink, A. M. J., De Brouwer, H. A. M., Mannaerts, C. M. & Valenzuela, C.**, «Introduction to the Use of Geographic Information Systems for Practical Hydrology», UNESCO, Enschede, The Netherlands, 1994.

**Mohamed Saleh, Gerardo W. Flintsch, Edgar de Leon Izeppi, Kevin K. McGhee, A. Lynn Abbott**, « Pavement Texture Analysis Using Infrared Stereo Vision», Blacksburg, 2009.

**Oregon Department of Transportation**, «GFP Pavement Condition Rating Manual», July 2010.

**Pagounis Vassilios, Maria Tsakiri, Spiridon Palaskas, Barbara Biza And Elizabeth Zaloumi**, 3D Laser Scanning for Road Safety and Accident Reconstruction, Greece.

**Petzold Bettina, Peter Reiss, Wolfgang Stossel**, «Laser scanning—surveying and mapping agencies are using a new technique for the derivation of digital terrain models», Germany, 1999.

**Saraf, C.**, «Pavement Condition Rating System», Rep. No. FHWA/OH-99/004, 1998.

**Shi Yun, Masafumi Nakagawa, Ryosuke Shibasaki**, «Reconstruction of “Next-generation” 3D Digital Road Model from Three Linear Scanner Images», Japan.

**Slob, S. and Hack, H.R.G.K.**, «3D terrestrial laser scanning as a new field measurement and monitoring technique», The Netherlands.

**Zairen Luo**, «Flexible Pavement Condition Model Using Clusterwise Regression and Mechanistic-Empirical Procedure for Fatigue Cracking Modeling», The University of Toledo, December 2005.

### ***Ελληνική Βιβλιογραφία***

**Kraus, K.**, Φωτογραμμετρία, Γ' Έκδοση, Μετάφραση από το Γερμανικό πρωτότυπο, Εκδόσεις Τ.Ε.Ε., 2003.

**Yodek & Witczak**, «Αρχές σχεδιασμού οδοστρωμάτων», Εκδόσεις Μόσχος Γκιούδρας, 1975.

**Γεωργαλάς Σπ.**, «Επίγεια Σάρωση Laser Σε Εφαρμογές Οδοποιίας - Μελέτη Ορατότητας και Επισκόπηση Επιφάνειας Οδοστρώματος», Διπλωματική εργασία ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, Αθήνα, 2010.

**Γεωργόπουλος Α.**, Σημειώσεις μαθήματος Φωτογραμμετρίας 2, Αθήνα, 2010.

**Κοσμάς Χρήστος**, «Ολοκληρωμένα Συστήματα Ψηφιακής Καταγραφής Οδικού Δικτύου», Αθήνα, Νοέμβριος 2008.

**Κωνσταντακάτος Γ.**, «Εντοπισμός θέσεων δημιουργίας μικρών Έργων Υποδομής, στην λεκάνη απορροής του ρέματος Ξερέας μέσω Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, (ειδικότερα του υδρολογικού μοντέλου ArcHydro) και τηλεπισκόπησης με σκοπό την αντιπλημμυρική και περιβαλλοντική προστασία της περιοχής», Διατριβή, Τμήμα Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, 2007.

**Λοίζος Ανδρέας**, «Κατασκευαστικά στοιχεία έργων οδοποιίας», Σημειώσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα, Οκτώβριος 2011.

**Πατακιά Ελένη**, «Ποιοτική αξιολόγηση πληροφοριών από επίγειο σαρωτή laser για την έρευνα τροχαίων ατυχημάτων, Διπλωματική εργασία ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, Σεπτέμβριος 2004.

**Σιεητάνης Ν.** «Σύγχρονες μέθοδοι γεωμετρικής τεκμηρίωσης με εφαρμογή στον Ι.Ν. Παναγίας Ποδίθου στην Κύπρο», Διπλωματική Εργασία, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, 2008.

**Συμεωνίδης Π.**, «Συστήματα τεκμηρίωσης πολιτιστικών πόρων», σημειώσεις μαθημάτων, ΤΕΙ Γεωπληροφορικής Σερρών, 2006.

**Χατζόπουλος Ιωάννης Ν.**, «Τοπογραφία», Εκδόσεις Β. Γκιούρδας, 2006.

## **Ιστότοποι**

### **Leica Scanstation 2 - HDS - Leica Geosystems**

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

[http://www.geog.ntu.edu.tw/girc/content/Leica\\_ScanStation%202\\_datasheet\\_en.pdf](http://www.geog.ntu.edu.tw/girc/content/Leica_ScanStation%202_datasheet_en.pdf)

**Wikipedia**

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

<http://en.wikipedia.org/wiki/Aquaplaning>

**Golden Software, Inc.**

[www.goldensoftware.com](http://www.goldensoftware.com) (Surfer – User’s Guide)

**Geomagic, Inc.**

<http://www.applications3d.com/Studio10-%20Whats%20New.pdf> (What’s New in Geomagic Studio 10)

**Riegl, Laser Measurement Systems.**

<http://www.riegl.co.at>

**Professional Surveyor Magazine**

<http://www.profsurv.com>

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΜΕΣΩ  
ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΣΑΡΩΣΕΩΝ LASER

---

**A) Τεχνικά χαρακτηριστικά του laser σαρωτή που χρησιμοποιήθηκε**

<b>ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΜΟΝΑΔΙΑΙΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ</b>	
Θέση*	6mm
Απόσταση*	4mm
Γωνία (οριζόντια/κάθετη)	60μrad/60μrad,
Τύπος	Παλλόμενος, ιδιωτικό μικροσίπ
Χρώμα	Πράσινο
Κλάση Λέιζερ	3R (IEC 60825-1)
Εμβέλεια	300m σε 90%, 134 m σε 18% ανακλαστικότητα
Μέγεθος κουκκίδας	Από 0-50m : 4mm (βασισμένο σε FWHH)
Μέγιστη πυκνότητα δείγματος	<1mm <sup>1</sup>

<b>ΕΥΡΟΣ ΠΕΔΙΟΥ (ΑΝΑ ΣΑΡΩΣΗ)</b>	
Οριζόντιο	360° (μέγιστο)
Κάθετο	270° (μέγιστο)
Επικοινωνίες	Στατική Διεύθυνση IP
Ενδείξεις Κατάστασης	3 LEDs (στη σταθερή βάση) υποδεικνύουν ετοιμότητα συστήματος, λέιζερ «ενεργό», και κατάσταση επικοινωνιών
Τύπος μπαταρίας	Σφραγισμένη οξέως μολύβδου
Τυπική διάρκεια	>6 ώρες τυπικής συνεχούς χρήσης (σε θερμοκρασία δωματίου)
Θερμοκρασία λειτουργίας	0° C έως +40° C
Θερμοκρασία αποθήκευσης	-25° C έως +65° C

<b>ΣΑΡΩΤΗΣ</b>	
Διαστάσεις	10,5" μήκος x 14,5" πλάτος x 20" ύψος 265 mm x 370 mm x 510mm
	Χωρίς χερούλι και στήριξη τραπεζιού
Βάρος	18,5 kg, ονομαστικό

<b>ΜΟΝΑΔΑ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ</b>	
Διαστάσεις	6,5" μήκος x 9,25" πλάτος x 8,5" ύψος 165 mm x 236 mm x 215 mm
	Χωρίς χερούλια
Βάρος	12 κιλά, ονομαστικό



## **B) Αναλυτική περιγραφή φθορών και παραμορφώσεων οδοστρώματος**

### *Ρηγματώσεις*

Στα οδοστρώματα παρουσιάζονται διαφόρων ειδών ρηγματώσεις.

### **Ρηγμάτωση μορφής αλιγάτορα**

Ένα από τα πρώτα σημάδια καταπόνησης του οδοστρώματος είναι η εμφάνιση ρωγμών μορφής αλιγάτορα όπως στην εικόνα 1. Όπως αναφέρουν οι Yodek και Witczak (1975), αυτός ο τύπος ρηγμάτωσης ονομάζεται επίσης μορφής χάρτη και σημαίνει υπερβολική μετατόπιση μιας ή περισσότερων από τις στρώσεις ή και σε κόπωση της επιφανειακής στρώσης και πιθανόν να είναι προοδευτικός.

Εύκαμπτα οδοστρώματα κατασκευασμένα πάνω σε ελαστικά υπεδάφη συχνά παρουσιάζουν ρηγμάτωση μορφής αλιγάτορα. Βάσεις μικρής αντοχής ή με ανεπαρκή συμπύκνωση μπορεί να προκαλέσουν την ρηγμάτωση της επιφανειακής στρώσης που οφείλεται σε κόπωση.

Η εικόνα 2 παριστάνει μία άσχημα ρηγματωμένη επιφάνεια εύκαμπτου οδοστρώματος στην οποία η καταπόνηση υπήρξε προοδευτική και έτσι σχηματίστηκαν οι οπές, που συχνά οφείλονται επίσης και σε ανεπάρκεια ασφαλτικού μπετόν. Αυτός ο τύπος καταπόνησης, σε συνδυασμό με ρηγμάτωση μορφής χάρτη ή αλιγάτορα όπως στην εικόνα 2, φανερώνει οδόστρωμα με δομική ανεπάρκεια. Η μετατόπιση είναι αποτέλεσμα μαλακού υπεδάφους κατά την ανοιξιάτικη περίοδο τήξης. Η οδός στην εικόνα 2 είχε εξαιρετική συμπεριφορά κατά το καλοκαίρι και το χειμώνα αλλά κατά την ανοιξιάτικη περίοδο τήξης παρουσίασε την βλάβη που φαίνεται (Yodek, Witczak, 1975).

Προσδιορισμός της δυνατότητας προοδευτικής αποτυχίας γίνεται μόνο με επαρκείς δοκιμές και αξιολόγηση των διαφόρων στρώσεων του οδοστρώματος.



Εικόνα 1 Ρωγμές με μορφή χάρτη ή αλλιγάτορα (Πηγή: Yoder, Witczak, 1975)



Εικόνα2 Αποτυχία χαλικώδους βάσης (Πηγή: Yoder, Witczak, 1975)

### **Ρωγμές ανάκλασης**

Είναι ρηγματώσεις παράλληλες, κάθετες ή με τυχαία διεύθυνση σε σχέση με τον άξονα του δρόμου. Τα πιθανά αίτια των ρηγματώσεων αυτών είναι η διαφορική καθίζηση του εδάφους έδρασης, η ολίσθηση του πόδα του επιχώματος, οι μετακινήσεις του υπεδάφους, η ύπαρξη τσιμέντου ως σταθεροποιητή, η διόγκωση του υπεδάφους λόγω παρουσίας αργιλικών υλικών σε συνδυασμό με την μεταβολή των επιπέδων υγρασίας (Ευαγγελίδης, 2004).

### Ρωγμές συστολής ή συρρίκνωσης

Είναι ρωγμές ακανόνιστης μορφής μεμονωμένες ή αλληλοσυνδεόμενες που σχηματίζουν μεγάλα πολυγωνικά μπλοκ.

Πιθανά αίτια εμφάνισης τους είναι η μεταβολή του όγκου του οδοστρώματος, λόγω περιεκτικότητας λεπτόκοκκων αδρανών και υψηλού ποσοστού ασφάλτου, η ύπαρξη τσιμέντου ως σταθεροποιητή, η έλλειψη επαρκούς σύνδεσης της στρώσης κυκλοφορίας με τις υποκείμενες στρώσεις (Ευαγγελίδης, 2004).



Εικόνα 3 Ρωγμές συστολής ή συρρίκνωσης (Πηγή: Ευαγγελίδης, 2004)

### Διαμήκειες ρωγμές

Η μετατόπιση ενός εύκαμπτου οδοστρώματος μπορεί να συμβεί σε μία οριζόντια διεύθυνση από έλλειψη εσωτερικής τριβής στη βάση ή το υπέδαφος. Η εικόνα 5 δείχνει μια σειρά οριζόντιων ρηγματώσεων που εμφανίστηκαν σε οδόστρωμα κατασκευασμένο σε λεπτή άμμο. Διαμήκειες ρωγμές, όπως αυτές, παρουσιάζουν πλάτος μέχρι και  $\frac{1}{4}$  in. επιτρέποντας έτσι τη διήθηση του νερού.

Η ρηγμάτωση αυτού του τύπου είναι ένδειξη επίδρασης παγετού ή μεταβολής όγκου στο υπέδαφος. Για την τελευταία περίπτωση είναι προφανής η κατακόρυφη μετατόπιση και έτσι είναι δυνατό να διακριθούν τους διαφόρους τύπους και αιτίες καταπόνησης οδοστρωμάτων. Καθίζηση επίχωσης ή ολίσθηση των πρανών μπορεί να προκαλέσει τον τύπο αυτό ρωγμών (Yodek, Witczak, 1975).



Εικόνα 4 Διαμήκειες ρωγμές (Πηγή: Ευαγγελίδης, 2004)



Εικόνα 5 Διαμήκειες ρωγμές σε εύκαμπτο οδόστρωμα (Πηγή: Yoder, Witczak, 1975)

### **Εγκάρσιες ρωγμές**

Είναι ρωγμές κάθετες προς τον άξονα του δρόμου και οφείλονται σε περιβαλλοντικές συνθήκες, μειωμένη αντοχή οδοστρώματος και σε τοπικές αστοχίες.

### **Ρωγμές ολίσθησης**

Παραβολικές ρηγματώσεις με την μορφή μισοφέγγαρου. Εμφανίζονται όταν υπάρχει ολίσθηση της επιφανειακής ασφαλτικής στρώσης λόγω έλλειψης καλής σύνδεσης (συγκολλητικής επάλειψης) με την υποκείμενη στρώση. Επίσης, ένα ακόμη πιθανό

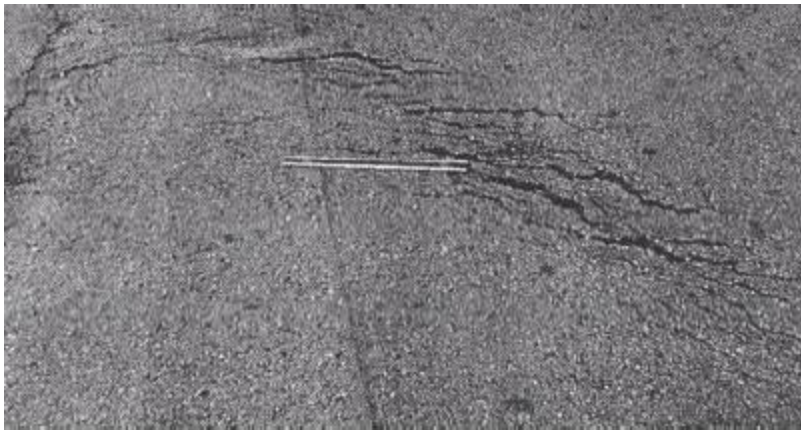
αίτιο εμφάνισης ρωγμών ολίσθησης είναι η κακή συμπύκνωση της στρώσης κυκλοφορίας και η μεγάλη περιεκτικότητα του ασφαλτομίγματος σε λεπτόκοκκα υλικά.

#### *Παραμορφώσεις*

Οι διαφόρων ειδών παραμορφώσεις που παρουσιάζονται στα οδοστρώματα διακρίνονται στις:

#### **Αυλακώσεις**

Η επιφανειακή παραμόρφωση οφείλεται σε καθίζηση μιας ή περισσότερων στρώσεων του οδοστρώματος. Η εικόνα 8 δείχνει αυλακώσεις που προξενήθηκαν από υπερβολικά μεγάλα αξονικά φορτία σε οδόστρωμα που είχε ανεπαρκές πάχος σχεδιασμού. Η καθίζηση στην περίπτωση αυτή έγινε στο υπέδαφος και σε μικρότερο βαθμό στην ίδια τη βάση (Yodek, Witczak, 1975).



Εικόνα 6 Ρωγμές ολίσθησης (Πηγή: Ευαγγελίδης, 2004)



Εικόνα 7 Αυλακώσεις στις τροχιές των τροχών (Πηγή: Ευαγγελίδης, 2004)



Εικόνα 8 Αυλάκωση σε μία οδό μεγάλης κυκλοφορίας (Πηγή: Yoder, Witczak, 1975)

### **Ανοιξιάτικη θραύση**

Η κατάσταση της οδού στην εικόνα 9 είναι τυπική πολλών χιλιομέτρων οδού κατά την ανοιξιάτικη περίοδο τήξης. Για το τμήμα αυτό της οδού, η αποτυχία βρέθηκε να είναι κατά ένα μέρος στη βάση και ένα άλλο στο υπέδαφος. Στην άκρη του οδοστρώματος ο υδροφόρος ορίζοντας ήταν υψηλός. Η φωτογραφία λήφθηκε αμέσως μετά την περίοδο τήξης. Το υπέδαφος και η βάση έχασαν την αντοχή τους κατά την περίοδο τήξης του παγετού κα επέτρεψαν την υπερβολική μετατόπιση του οδοστρώματος, που κατέληξε σε φθορά της επιφάνειας και δημιουργία ρηγμάτων (Yodek, Witczak, 1975).



Εικόνα 9 Αποτυχία υπεδάφους από ανοιξιάτικη τήξη (Πηγή: Yoder, Witczak, 1975)

### Εφίδρωση

Η εφίδρωση ασφαλτικών επιφανειών προκαλείται από πολλούς παράγοντες, όπως υπερβολική ποσότητα ασφάλτου στο μίγμα, ασφαλτο υπερβολικά μαλακή για το κλίμα, στερεοποίηση της επιφάνειας και άλλες αιτίες. Η εφίδρωση πάντως έχει σχέση με την κυκλοφορία και εμφανίζεται στα ίχνη των τροχών. Μπορεί να προκαλέσει ολίσθηση και αποτελεί κίνδυνο.



Εικόνα 10 Εφίδρωση μιας ασφαλτικής επιφάνειας (δεξιά λωρίδα) (Πηγή: Yoder, Witczak, 1975)

Η εικόνα 10 παριστάνει μια τέτοια περίπτωση. Σημειώνεται επίσης ότι η άκρη της οδού αυτής είναι απότομη. Όταν τα οδοστρώματα ανακατασκευάζονται χρειάζεται προσοχή, ώστε οι άκρες τους να μην είναι απότομες. Αυτή η οδός είναι επικίνδυνη λόγω της απότομης άκρης του οδοστρώματος και της εφίδρωσης (Yodek, Witczak, 1975).

### **Καθίζηση ή μετακίνηση θεμελίωσης**

Η καθίζηση ή μετατόπιση των θεμελίων προκαλεί στρέβλωση του οδοστρώματος, που είναι ενός τελείως διαφορετικού τύπου, από αυτούς που περιγράφηκαν προηγουμένως. Ένα εύκαμπτο οδόστρωμα, κατασκευασμένο πάνω σε λασπώδες υπόστρωμα π.χ., δημιουργεί περιοχές καθίζησης, αλλά γενικά οι περιοχές θα έχουν σχετικά μεγάλο μήκος και θα υπάρχουν και ελαφρές μάλλον διογκώσεις. Οι διατμητικές αποτυχίες σε επίχωμα θα προκαλέσουν επίσης ανάπτυξη ρωγμών σε σχήμα ημικυκλικό πάνω στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Η μετακίνηση αυτού του τύπου επισημαίνεται πρώτα από τη δημιουργία ρωγμών στο άνω μέρος του πρανούς. Επομένως οι ρωγμές που σχηματίζονται με ημικυκλικό ή διαμήκη τρόπο πάνω σε οδόστρωμα πάνω σε επιχώματα πρέπει να διερευνώνται πάντα για τυχόν μετακίνηση των πρανών (Yodek, Witczak, 1975).

Οι μετατοπίσεις που οφείλονται σε μαλακές στρώσεις σε μεγάλο βάθος είναι ουσιαστικά ανεξάρτητες από το πάχος της βάσης ή του οδοστρώματος. Αναγνωρίζονται εύκολα, γιατί οι καθιζήσεις δεν είναι απότομες αλλά ήπιες.

### **Ρυτίδωσεις**

Οριζόντιες μετακινήσεις των υλικών της επιφανειακής στρώσης προς την κατεύθυνση της κυκλοφορίας. Εμφανίζονται σε περιοχές που αναπτύσσονται μεγάλες διατμητικές τάσεις (περιοχές φρεναρίσματος, ανωφέρειες και κατωφέρειες, σταθμοί διοδίων κλπ.)

Πιθανά αίτια εμφάνισης τους είναι η χαμηλή ευστάθεια του ασφαλτομίγματος, που οφείλεται στο υψηλό ποσοστό ασφάλτου και στη χρήση μαλακής ασφάλτου καθώς και στην κακή σύνδεση της επιφανειακής στρώσης με τις υποκείμενες στρώσεις (Ευαγγελίδης, 2004).





Εικόνα 11 Ρυτιδώσεις (Πηγή: Ευαγγελίδης, 2004)



Εικόνα 12 Αποτυχία χαλικώδους επιφάνειας από ανοιξιάντικη τήξη (Πηγή: Yoder, Witczak, 1975)

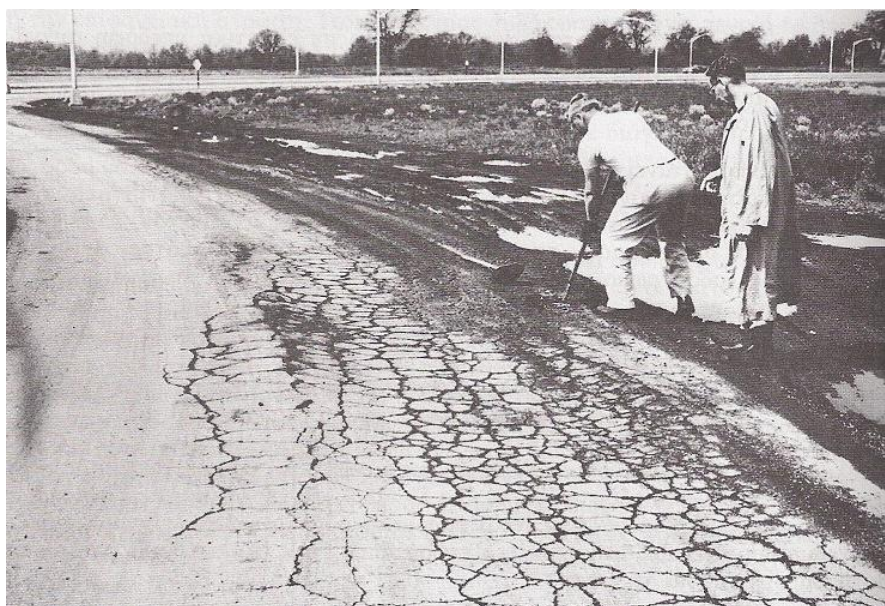
### **Δυσμενείς συνθήκες υδροφόρου ορίζοντα**

Η καταπόνηση οδοστρωμάτων μπορεί να προκληθεί από δυσμενείς συνθήκες υδροφόρου ορίζοντα που προκαλούν με τη σειρά τους μείωση της αντοχής υπεδάφους. Αυτό απαιτεί απομάκρυνση του νερού κοντά στην πηγή του. Ανανέωση της επιφανειακής στρώσης σε μικρή κλίμακα δεν θα βοηθήσει την κατάσταση για μεγάλο διάστημα, εφόσον υπάρχουν οι δυσμενείς συνθήκες και η καταπόνηση του οδοστρώματος θα εμφανιστεί πάλι (Yodek, Witczak, 1975).

### **Αποτυχίες σε διάτμηση**

Οι αποτυχίες σε διάτμηση εμφανίζονται όταν λείπει η συνοχή και η εσωτερική τριβή ανάμεσα στο οδόστρωμα και στη βάση. Η εικόνα 13 δείχνει μια διατμητική αποτυχία, στο άκρο ενός εύκαμπτου οδοστρώματος.

Σημειώνεται η διόγκωση έξω από τα ίχνη των τροχών και η συνεπακόλουθη ρηγμάτωση της ασφαλτικής επιφάνειας. Στην περίπτωση αυτή η διατμητική αποτυχία υπήρχε στο υπέδαφος και στην πραγματικότητα σημειώθηκε μικρή μετατόπιση έξω από το οδόστρωμα δηλαδή στο έρεισμα. Ο τύπος καταπόνησης της εικόνας 13 τονίζει την ανάγκη για σωστό σχεδιασμό του ερείσματος, για να μειωθούν οι ακραίες αποτυχίες των εύκαμπτων οδοστρωμάτων (Yodek, Witczak, 1975).



**Εικόνα 13** Αποτυχία σε διάτμηση στο άκρο οδοστρώματος (Πηγή: Yoder, Witczak, 1975)

### **Διόγκωση παγετού**

Όπως αναφέρουν οι Yodek και Witczak, η επιφανειακή ένδειξη διόγκωσης παγετού εξαρτάται από τις συνθήκες υδροφόρου ορίζοντα και υπεδάφους. Σε μερικές περιπτώσεις οι διογκώσεις καλύπτουν σημαντικές διαμήκεις ή εγκάρσιες αποστάσεις, ενώ σε άλλες προκύπτουν τοπικές διογκώσεις όπως αυτές στην εικόνα 15. Ειδικά στην περίπτωση αυτή υπήρχε ένας τοπικός θύλακας ιλύος στο άκρο του οδοστρώματος, που κατέληξε σε υπερβολική διόγκωση λόγω του πολύ υψηλού υδροφόρου ορίζοντα και εξαιρετικά ψυχρού κλίματος.

Η διόγκωση παγετού και άλλες μετατοπίσεις από ογκομετρικές μεταβολές συχνά παρερμηνεύονται σαν διάτμηση ή και καθίζηση. Στην περίπτωση της διάτμησης υπάρχει μια περιοχή βύθισης, καθώς και μία περιοχή διόγκωσης. Στην περίπτωση μεταβολής όγκου λόγω επίδρασης παγετού ή υγρασίας εμφανίζεται γενικά μια διόγκωση, ενώ το υπόλοιπο οδόστρωμα διατηρείται ομοιόμορφο. Η διόγκωση στην εικόνα 15 δεν είναι τυπική, αλλά δείχνει πως οι κατακόρυφες μετατοπίσεις συμβαίνουν χωρίς υπερβολικές πλευρικές μετατοπίσεις (Yodek, Witczak, 1975).

### *Αποσυνθέσεις – Λειάνσεις*

Οι αποσυνθέσεις και λειάνσεις που εμφανίζονται στην επιφάνεια του οδοστρώματος, διακρίνονται στην:



**Εικόνα 14 Τοπικές διογκώσεις (Πηγή: Ευαγγελίδης, 2004)**



Εικόνα 15 Μικρή διόγκωση παγετού σε εύκαμπτο οδόστρωμα (Πηγή: Yoder, Witczak, 1975)

### **Απόσπαση αδρανών**

Είναι η προοδευτική αποκόλληση των αδρανών του ασφαλτομίγματος, με αποτέλεσμα την αποσύνθεση των ασφαλτικών στρώσεων. Πιθανά αίτια είναι η χαμηλή περιεκτικότητα σε άσφαλτο, η χρησιμοποίηση μη καθαρών ή σαθρών αδρανών, η ανεπαρκής συμπύκνωση της στρώσης, η διάστρωση της ασφαλτικής στρώσης σε χαμηλές θερμοκρασίες (Ευαγγελίδης, 2004).



Εικόνα 16 Απόσπαση αδρανών (Πηγή: Yoder, Witczak, 1975)

### Εμφάνιση λάκκων

Πρόκειται για οπές διαφόρων μεγεθών στο οδόστρωμα, και οφείλονται στη μειωμένη αντοχή του οδοστρώματος, λόγω μικρού πάχους ασφαλτικής στρώσης, στην έλλειψη συνδετικού υλικού στο ασφαλτόμιγμα, στην υπερβολική ποσότητας παυπάλης, στην ανεπαρκή αποστράγγιση των υδάτων κτλ. (Ευαγγελίδης, 2004).



Εικόνα 17 Λακκούβες (Πηγή: Ευαγγελίδης, 2004)

### Λεία επιφάνεια οδοστρώματος

Εδώ γίνεται αναφορά σε μια λεία και ολισθηρή επιφανειακή στρώση. Πιθανά αίτια εμφάνισης της είναι η λείανση των αδρανών της επιφανειακής στρώσης υπό την επίδραση των φορτίων της κυκλοφορίας, λόγω της χρήσης αδρανών με μεγάλο συντελεστή φθοράς σε τριβή και κρούση, και η βύθιση των αδρανών στο ασφαλτόμιγμα (Ευαγγελίδης, 2004).

### Αποκόλληση κατά πλάκες

Είναι η αποκόλληση της επιφανειακής στρώσης κατά πλάκες. Οφείλεται στο μικρό πάχος της επιφανειακής στρώσης ή σε κακή συγκόλληση της στρώσης κυκλοφορίας (Ευαγγελίδης, 2004).



Εικόνα 18 Αποκόλληση κατά πλάκες (Πηγή: Ευαγγελίδης, 2004)

### Ανάδυση ασφάλτου

Αναφέρεται στην κατακόρυφη μετακίνηση της ασφάλτου μέσα στο ασφαλτόμιγμα και στην εμφάνιση της στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Οφείλεται στην μεγάλη περιεκτικότητα ασφάλτου στο ασφαλτόμιγμα, στην χρήση μαλακής ασφάλτου στην μεγάλη ποσότητα ασφαλτικού υλικού στην συγκολλητική επάλειψη ή προεπάλειψη (Ευαγγελίδης, 2004).



Εικόνα19 Ανάδυση ασφάλτου (Πηγή: Ευαγγελίδης, 2004)

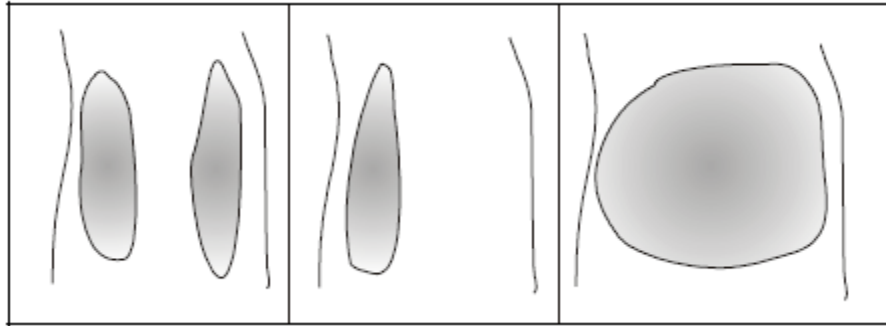
### Γ) Άλλες δημοσιεύσεις και έρευνες πάνω στο φαινόμενο της υδρολίσθησης

Μια πρόσφατη έρευνα από το Εθνικό Πανεπιστήμιο της Σιγκαπούρης κατάφερε να περιγράψει μια αναλυτική προσέγγιση για την προσομοίωση υδρολίσθησης χρησιμοποιώντας ένα τρισδιάστατο μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων, βασιζόμενη στην ελαστική και υδροδυναμική θεωρία. Χρησιμοποιώντας πειραματικά δεδομένα από παλαιότερες έρευνες, το μοντέλο προσομοίωσης κατάφερε να δώσει αποτελέσματα υδρολίσθησης για φορτηγά όμοια με τις μετρούμενες τιμές. Επίσης μέσα από την έρευνα αυτή τονίζεται πως:

- ✓ Τα οχήματα χωρίς ωφέλιμο φορτίο είναι πιο επιρρεπή σε περιστατικά υδρολίσθησης σε σχέση με εκείνα που διαθέτουν.
- ✓ Η προαναφερόμενη εξίσωση της NASA όντως υπερεκτιμά την ταχύτητα υδρολίσθησης των φορτηγών
- ✓ Φαινόμενα υδρολίσθησης μπορούν να παρουσιαστούν σε έναν αυτοκινητόδρομο μέσα στα επιτρεπτά όρια ταχύτητας
- ✓ Η εξίσωση του Horne μπορεί να εφαρμοστεί μόνο για πάχος στρώματος νερού ίσο με 4,8mm.

Από το Ινστιτούτο Τεχνολογίας του πανεπιστημίου Linköping της Σουηδίας, έγιναν προσπάθειες ανάπτυξης μιας βάσης δεδομένων η οποία να προσδιορίζει, μετά από σάρωση, τα σημεία σημαντικού κινδύνου υδρολίσθησης ενός οδικού τμήματος. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα απαιτεί από τον χρήστη την εισαγωγή του ορίου βάθους και μεγέθους των λιμναζόντων νερών, τιμές οι οποίες καθορίζουν στη συνέχεια κατά την επεξεργασία το κατώφλι επικινδυνότητας των παρατηρούμενων σαρωμένων καμπυλοτήτων του προς μελέτη οδικού τμήματος παρέχοντας έτσι σημαντική ευελιξία στο πρόγραμμα. Σε αυτό το άρθρο γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στις διάφορες μεθόδους μέτρησης του βάθους νερού. Σε κανονικές συνθήκες αναφέρεται πως το κρίσιμο βάθος

νερού φτάνει τα 4 ή 5mm. Επίσης γίνεται λόγος και για τα διάφορα είδη περιοχών λιμναζόντων νερών, οι οποίες ανάλογα με την θέση τους πάνω στον διατομή ενός δρόμου επηρεάζουν διαφορετικά την κίνηση ενός οχήματος και εμφανίζουν διαφορετικά επίπεδα επικινδυνότητας (Nygårdhs, 2003).



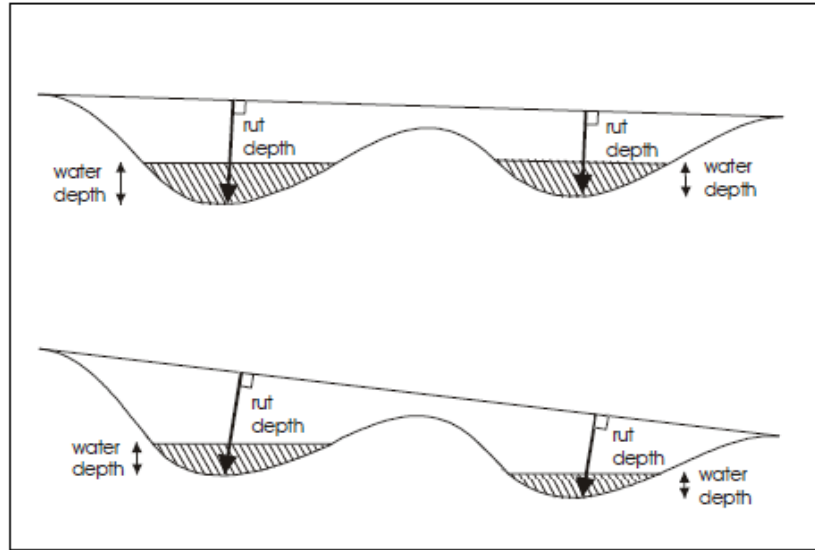
Εικόνα 20 Διάφορες θέσεις λιμναζόντων νερών (Πηγή: Nygårdhs, 2003)

Σύμφωνα με την παραπάνω μελέτη της Σουηδίας, τα κρίσιμα μεγέθη προσδιορισμού της επικινδυνότητας του φαινομένου της υδρολίσθησης, είναι:

- ❖ Το βάθος ρωγμής
- ❖ Το θεωρητικό μέγεθος βάθους νερού
- ❖ η καμπυλότητα συλλογής νερού από τις μετρήσεις
- ❖ το κρίσιμο μέγεθος της καμπυλότητας που προξενεί φαινόμενα υδρολίσθησης



ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΜΕΣΩ  
ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΣΑΡΩΣΕΩΝ LASER



Εικόνα 21 Βάθος αυλάκωσης και βάθος νερού (Πηγή: Nygårdhs, 2003)

Μέσα από διάφορες μελέτες πολλών πανεπιστημίων προέκυψε ο παρακάτω πίνακας κρίσιμων μεγεθών:

<i>Water depth (mm)</i>	<i>Water length (m)</i>	<i>Speed (km/h)</i>	<i>Flow/Width (m<sup>3</sup>/s/m)</i>	<i>Intensity (mm/h)</i>	<i>Basis</i>
4	20	72	-	-	T
2.5	-	Ca 65	-	--	L, T
2.5*	10-15	110	-	100	U
3	-	80	-	-	L
25(f) 9.5(p)	9	64	-	>13	L, E
2.5	9	70	-	-	U
3	-	100	-	-	S, E
25(f) 9.5(p)	9	64-72	-	-	E
1.3	6.66	90	0.00013	-	S, L, T
1.5	11.79	88	0.00023	-	S, L, T
1.6	16.39	86	0.00032	-	S, L, T
--	2-20	76-96	-	25-150	L, T
2.5	-	75	-	-	L
Ca 0.6	-	Ca 100	-	-	L
>10	-	80	-	-	S, L
1.3	-	120	-	-	L
2.5*	10	70	-	-	U
3	-	-	-	101.6	S, E
8	-	85-105	-	-	E
3.0	-	140	-	-	U
7.6	9.1	80	-	-	L
1-2	-	80-100	-	-	L

Εικόνα 22 Αποτελέσματα μελέτης (Πηγή: Nygårdhs, 2003)

Όπου:

T = θεωρητική προσέγγιση

L = βιβλιογραφική έρευνα

S = προσομοιώσεις

U = άγνωστο

E = πειράματα

f = πλήρης δυναμική υδρολίσθηση

p = μερική υδρολίσθηση

Από τα παραπάνω φαίνεται πως πολλές πηγές ορίζουν μια πολύ μικρή τιμή βάθους νερού ως επικίνδυνη. Αυτό, σύμφωνα με την μελέτη, οφείλεται στο ότι οι μετρήσεις πιθανότατα έγιναν από άλλες ομάδες επιστημόνων καθώς επίσης και στο γεγονός ότι καμία σχεδόν από τις μελέτες δεν στηρίζεται σε πειράματα υπό πραγματικές συνθήκες οδοστρώματος. Στις συγκεκριμένες μετρήσεις επελέγη κρίσιμο βάθος τα 10mm.

Σε παλαιότερες έρευνες για το φαινόμενο της υδρολίσθησης από την κοινότητα ερευνών της Αμερικής (1983), υπολογιζόταν με το ανώτατο όριο πάχους του στρώματος νερού φτάνει μέχρι τα 5mm.

Η Ομοσπονδιακή Διοίκηση Αυτοκινητοδρόμων (Federal Highway Administration) της Αμερικής πραγματοποίησε μια ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, των ερωτηματολογίων και των προσομοιώσεων από υπολογιστή και παράλληλα με ποικίλες μετρήσεις πεδίου, προσπάθησε να εντοπίσει μηχανισμούς μείωσης του φαινομένου της υδρολίσθησης τόσο ως προς το οδόστρωμα, όσο και ως προς τα διάφορα κριτήρια γεωμετρικού σχεδιασμού ενός δρόμου. Είναι ένας από τις λίγους οργανισμούς που διεξήγε δοκιμές σε «λίμνες» στάσιμου νερού μετά από μια βροχή. Κατά την εξέταση αυτή το βάθος κίνδυνου επελέγη στα 10mm (Gallaway et al. 1979).

Σημαντικά στοιχεία μελέτης αποτελούν τα αποτελέσματα μιας πειραματικής μελέτης από την VTI (Swedish Road and Transport Research Institute) της Σουηδίας, η οποία αναλύει την επίδραση των ελαστικών, του βάθους νερού, του οδοστρώματος, και της ταχύτητας στο φαινόμενο της υδρολίσθησης. Παράλληλα λαμβάνονται σημαντικά υπόψη και τα στατιστικά αποτελέσματα ατυχημάτων και επιφανειακής κατάστασης

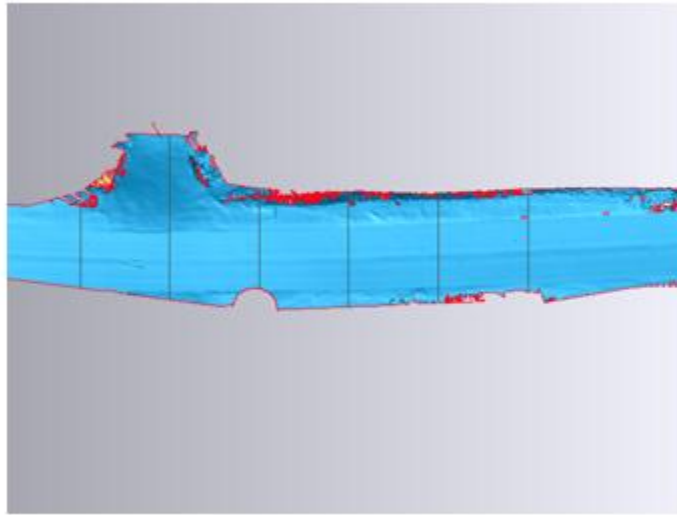
οδοστρωμάτων, για την πρόβλεψη παρουσίας του επικίνδυνου αυτού φαινομένου (Nygårdhs, 2003).

Από την TRB έχουν δημοσιευθεί τρεις εκθέσεις των Heubner et al. (1999), Khan et al. (1994) και του Εθνικού Προγράμματος Ερευνών Εθνικών Οδών – NCHRP (1998), που ασχολούνται με ένα πρόγραμμα πρόβλεψης του πάχους νερού, την οδική ασφάλεια σε βρεγμένο οδόστρωμα, αλλά και την προσδιορισμό παραμέτρων που επηρεάζουν την αποστράγγιση του νερού σε μία οδό. Στην τελευταία αναφορά, επισημάνθηκε πως η υδρολίσθηση μπορεί να εμφανιστεί και σε ταχύτητες μικρότερες των ορίων ταχύτητας ενός δρόμου, εάν το μέγεθος της ροής είναι μεγαλύτερο του πλάτους δύο λωρίδων. Επίσης, η βελτιστοποίηση της γεωμετρίας του οδοστρώματος, η παροχή πρόσθετων μέσων αποστράγγισης, και η χρήση αυλακιών και πορωδών μειγμάτων επιφανειών, μπορούν να μειώσουν σημαντικά τον κίνδυνο υδρολίσθησης (Nygårdhs, 2003).

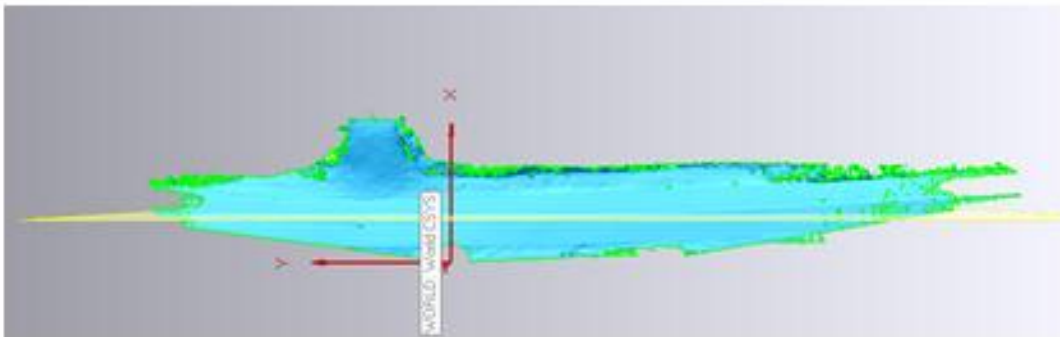
Για την αξιολόγηση ενός σημαντικού τμήματος του οδικού δικτύου της Νέας Ζηλανδίας (Chesterton et al. 2006) ως προς το φαινόμενο της υδρολίσθησης, ακολουθήθηκαν οι οδηγίες που παρατίθενται στον «Οδηγό σχεδιασμού αυτοκινητοδρόμων με θετικό σύστημα συλλογής». Σημαντική προϋπόθεση χρήσης των παραπάνω οδηγιών είναι η συλλογή δεδομένων έντασης βροχόπτωσης διάρκειας δύο χρόνων. Εφαρμόστηκαν διάφορες μεθοδολογίες μείωσης του πάχους περιοχών συσσώρευσης υδάτων, και πιο συγκεκριμένα, έγιναν αλλαγές στην γεωμετρία του δρόμου, προστέθηκαν στοιχεία βελτίωσης της αποστράγγισης υδάτων και άλλαξαν τα υλικά σύνθεσης του οδοστρώματος. Τα βέλτιστα αποτελέσματα βάσει μετρήσεων και συγκεντρωτικών πινάκων έδωσε η τελευταία παρέμβαση.

#### Δ) Επιπλέον Μετρητικά Στοιχεία Μοντέλων Οδοστρώματος

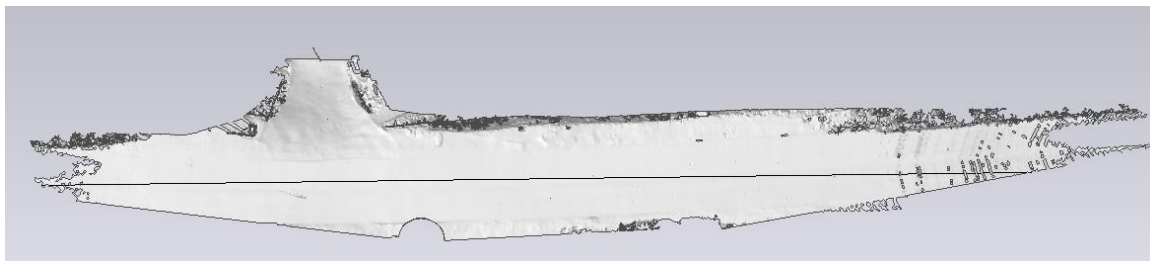
Με τη βοήθεια του λογισμικού Geomagis, είναι εφικτή η λήψη διατομών και μηκοτομής του οδικού τμήματος που μελετάται κάθε φορά. Με την εντολή «Curves by Section», επιτυγχάνεται η επιλογή των κρίσιμων σημείων που ενδιαφέρουν κάθε φορά. Ενδεικτικά στην εικόνα 1 παρουσιάζονται οι διατομές που λήφθηκαν στο οδικό τμήμα της Π.Ε.Ο. Αθηνών – Χαλκίδος, ενώ στην εικόνα 2 και 3 η μηκοτομή του.



Εικόνα 1: Λήψη διατομών οδικού τμήματος Π.Ε.Ο. Αθηνών – Χαλκίδος



Εικόνα 2: Μηκοτομή οδικού τμήματος Π.Ε.Ο.



Εικόνα 3: Τελικό αποτέλεσμα μηκοτομής