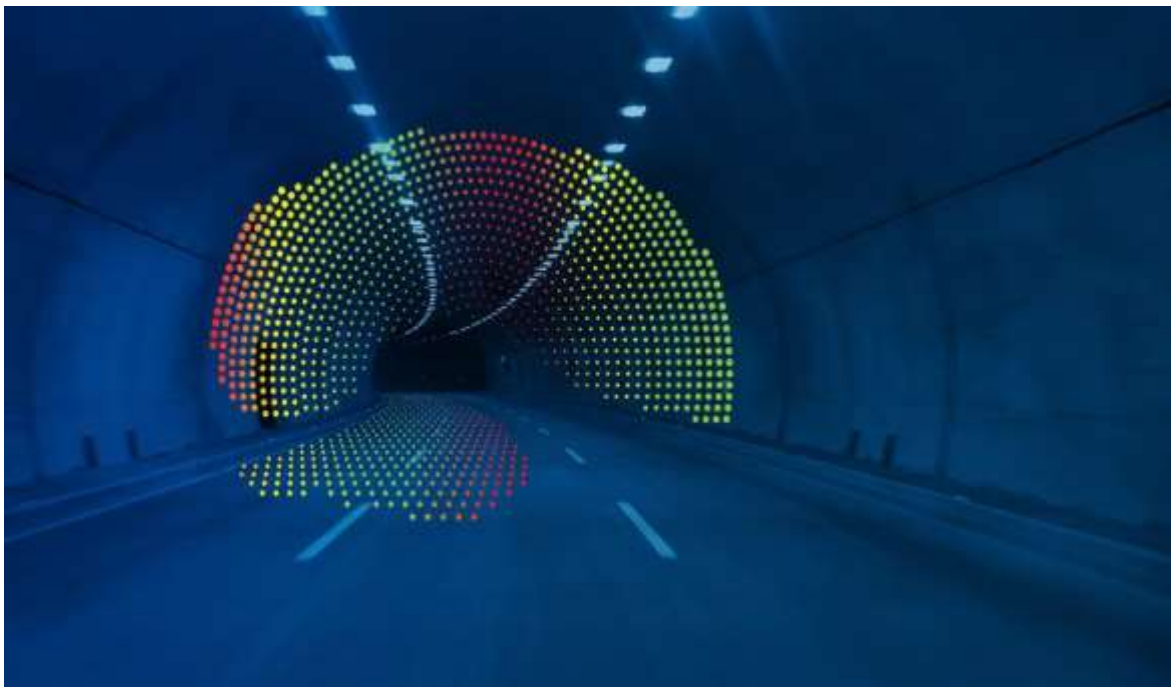




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
& ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΣΑΡΩΤΩΝ
ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΜΙΚΡΟΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ Ή
ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ



Αλέξανδρος – Ιωσήφ Σπανίδης

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Επιβλέπων: Γεώργιος Πανταζής, Καθηγητής Σ.Α.Τ.Μ-ΜΓ, Ε.Μ.Π

Αθήνα, Ιούνιος 2022



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

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΕΠΙΓΕΙΩΝ
ΣΑΡΩΤΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ
ΜΙΚΡΟΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ Ή
ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ

Διπλωματική Εργασία

του

Αλέξανδρου – Ιωσήφ Σπανίδη

Επιβλέπων:

Γεώργιος Πανταζής, Καθηγητής Σ.Α.Τ.Μ-ΜΓ, Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή:

(Υπογραφή)

.....
Γεώργιος Πανταζής
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

(Υπογραφή)

.....
Μαρία Τσακίρη
Καθηγήτρια ΕΜΠ

(Υπογραφή)

.....
Ορθοδοξία Αραμπατζή
Επίκουρος Καθηγήτρια ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούνιος 2022

(Υπογραφή)

.....

ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ – ΙΩΣΗΦ ΣΠΑΝΙΔΗΣ

Διπλωματούχος Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Copyright © Αλέξανδρος – Ιωσήφ Σπανίδης, 2022

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

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

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Μετά το τέλος της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά, τον καθηγητή της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών – Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Ε.Μ.Π, κ. **Γεώργιο Πανταζή**, για την πρόταση και την ανάθεση ενός τόσο πρωτότυπου και ενδιαφέροντος θέματος και για τη βοήθεια που μου προσέφερε, κατά τη διάρκεια της σύνταξης της εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω, τον κ. **Γεώργιο Παπαστάμο**, εκ των ιδρυτών της εταιρίας, **Moniterra Engineering**, κατόχου του λογισμικού Opsis, για την αμέριστη στήριξη και συμπαράσταση του, σε ότι είχε να κάνει, με τυχόν απορίες και διευκρινήσεις, σε ότι αφορά στην εκμάθηση και εξοικείωση με το λογισμικό.

Τέλος, το μεγαλύτερο ευχαριστώ, θέλω να εκφράσω στους γονείς μου, Δήμητρα και Βασίλειο, για την πολύπλευρη συμπαράσταση και στήριξη τους, προς το πρόσωπο μου και για τη βοήθεια τους, στην εκπλήρωση των στόχων μου καθώς επίσης και το φιλικό και συναδελφικό μου περιβάλλον για τη στήριξη και την κατανόηση στα άγχη και τις αγωνίες, στην πάροδο των ετών που πέρασαν.

Αλέξανδρος –Ιωσήφ Σπανίδης

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Μετά την ολοκλήρωση, κάθε είδους κατασκευής, υπάρχει η φυσική φθορά που προκαλείται με την πάροδο του χρόνου, οι φυσικές διεργασίες που διεξάγονται στο έδαφος, η επίδραση των μετεωρολογικών συνθηκών. Όλα αυτά τα αίτια, προκαλούν μικρομετακινήσεις τμημάτων ή ολόκληρης της κατασκευής. Γι αυτόν τον λόγο, είναι αναγκαία η παρακολούθησή τους, μέσω των κατάλληλων οργάνων, μεθόδων και εξειδικευμένου προσωπικού, προκειμένου, να εντοπιστούν αυτές άμεσα και να γίνει η αναγκαία επέμβαση στην κατασκευή, όπου κι αν αυτή χρειαστεί.

Για τέτοιους είδους εργασίες, ο καταλληλότερος για να μελετήσει τέτοιες περιπτώσεις είναι ο Αγρονόμος – Τοπογράφος Μηχανικός καθώς είναι αυτός που έχει το θεωρητικό υπόβαθρο και τις γνώσεις περί κινηματικής συμπεριφοράς και παραμορφώσεων-μετακινήσεων σχηματισμών και κατασκευών, ώστε να είναι σε θέση εξάγει τα κατάλληλα συμπεράσματα και να προτείνει την λύση που πρέπει να προκριθεί, για να επιλυθεί το ζήτημα που έχει προκύψει.

Το λογισμικό, τελευταίας τεχνολογίας, Opsis, της εταιρίας Moniterra Engineering, αποτελεί μια πρωτοποριακή λύση, για τον εντοπισμό κάθε είδους παραμορφώσεων, μέσω της ανάπτυξης της ανερχόμενης μεθόδου της μοντελοποίησης μαθηματικών επιφανειών. Προσφέρει απλό, γρήγορο, αξιόπιστο, με μειωμένο κόστος, αποτέλεσμα με παράλληλη οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων της σύγκρισης αρχείων μετρήσεων, δυο τυχαίων χρονικών περιόδων.

Η χρήση των επίγειων σαρωτών (Laser Scanner), γίνεται όλο και πιο ευρεία και ειδικότερα για τον προσδιορισμό παραμορφώσεων. Τα αρχεία μετρήσεων που εξάγονται από τους σαρωτές, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλά λογισμικά, όπως το Opsis, όπου μπορούν να εισαχθούν, να επεξεργαστούν και να εξάγουν αποτελέσματα. Κάτι τόσο πρωτότυπο, είναι ένα αντικείμενο μελέτης που θα απασχολήσει τους μηχανικούς τα επόμενα χρόνια, πράγμα που αποτέλεσε μεγάλο κίνητρο για την πραγματοποίηση της εν λόγω εργασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	Error! Bookmark not defined.
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	Error! Bookmark not defined.
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	II
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	VIII
ABSTRACT	X
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	Error! Bookmark not defined.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΜΙΚΡΟΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ & LASER SCANNER

1.1 Μικρομετακινήσεις σε κατασκευές και τεχνικά έργα – Γενικά στοιχεία.....	Error! Bookmark not defined.
1.2 Μέθοδοι και όργανα προσδιορισμού παραμορφώσεων	5
1.2.1 Μέθοδοι προσδιορισμού	Error! Bookmark not defined.
1.2.2 Όργανα	7
1.3 Η νέα τεχνολογία των επίγειων σαρωτών (Laser Scanners)	9
1.3.1 Στην εποχή του Laser Scanning	9
1.3.2 Αρχές λειτουργίας του Laser Scanner	11
1.3.3 Κατηγοριοποίηση & Μέθοδοι λειτουργίας.....	12
1.3.4 Συνένωση νεφών	17
1.3.5 Laser Scanner & Μικρομετακινήσεις.....	18

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ – ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ OPSIS

2.1 Εισαγωγή στο Πρόγραμμα Opsis	22
2.2 Αρχές Λειτουργίας	23

2.3 Παρουσίαση περιβάλλοντος και εντολών.....	26
2.4 Πρόσθετες λειτουργίες.....	39
2.4.1 SQR Filter.....	39
2.4.2 Επιλογή τμήματος της σάρωσης.....	40
2.4.3 Προσδιορισμός άλλων ειδών μικρομετακινήσης.....	41

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ & ΕΞΑΓΩΓΗ – ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

3.1 Εισαγωγή-Επεξεργασία δεδομένων	44
3.2 Περίπτωση 1: Το φράγμα στην περιοχή Μάτκα, Σκόπια.....	44
3.3 Περίπτωση 2: Η περίπτωση κτιρίου στα Σκόπια	62
3.4 Περίπτωση 3: Πρανές εδάφους	78
3.5 Περίπτωση 4: Η σήραγγα στο μετρό του Dubai	86

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

4.1 Συμπεράσματα	102
4.1.1 Ανάλυση παραμέτρων λογισμικού	102
4.1.2 Περιοχές των κατασκευών που χρήζουν προσοχής	108
4.1.3 Τελικά συμπεράσματα	110
4.2 Προτάσεις	113

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	116
---------------------------	------------

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Διάγραμμα 2.1 Η γραφική αναπαράσταση της μετακίνησης του κελιού U32.....	35
---	----

ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1.1 Παρακολούθηση μικρομετακινήσεων γέφυρας με χρήση σαρωτή στην Μπρατισλάβα, Σλοβακία	4
Εικόνα 1.2 Παρακολούθηση μικρομετακινήσεων φράγματος με χρήση ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού.	4
Εικόνα 1.3 Μηκυνσιόμετρο & Κλισιόμετρο.	5
Εικόνα 1.4 Παράδειγμα δικτύου ελέγχου μετακινήσεων.....	6
Εικόνα 1.5 Ολοκληρωμένος Γεωδαιτικός Σταθμός (Total Station).	8
Εικόνα 1.6 Ψηφιακός Χωροβάτης.....	8
Εικόνα 1.7 Συστήματα παγκόσμιου εντοπισμού θέσης (G.N.S.S).....	9
Εικόνα 1.8 Επίγειος Σαρωτής (Laser Scanner).....	10
Εικόνα 1.9 Παράδειγμα νέφους σημείων από Laser Scanner	12
Εικόνα 1.10 Σαρωτής επαφής (Contact Scanner)	13
Εικόνα 1.11 Σαρωτές αποστάσεως, διάφορων εταιριών & ειδών.	14
Εικόνα 1.12 Αρχή λειτουργίας μεθόδου Τριγωνισμού.	15
Εικόνα 1.13 Αρχή λειτουργίας μεθόδου με Παλμούς.	16
Εικόνα 1.14 Αρχή λειτουργίας μεθόδου με διαφορά φάσης.	16
Εικόνα 1.15 Μοντελοποίηση (κατασκευή) επιφάνειας βάσει νέφους σημείων και η προσαρμογή της στο οριζόντιο επίπεδο	20
Εικόνα 2.1 Νέφος σημείων (σάρωση) σήραγγας.....	23
Εικόνα 2.2 Η μαθηματική επιφάνεια (κώνος) και η προσαρμογή του νέφους σημείων επάνω της.	24
Εικόνα 2.3 Η κάθετη προβολή στο οριζόντιο επίπεδο του νέφους σημείων.....	24
Εικόνα 2.4 Η σάρωση της χρονικής στιγμής t_1 , ως επιφάνεια αναφοράς (0,0).....	25
Εικόνα 2.5 Η σάρωση της χρονικής στιγμής t_2 , σε σύγκριση με την επιφάνεια αναφοράς	26
Εικόνα 2.6 Το περιβάλλον του λογισμικού Opsis.....	27

Εικόνα 2.7 Η εισαγωγή νέου Project, στο λογισμικό.....	27
Εικόνα 2.8 Η εισαγωγή νέφους σημείων, στο λογισμικό.....	28
Εικόνα 2.9 Το αποτέλεσμα της σάρωσης (νέφος σημείων) στο περιβάλλον του λογισμικού.....	28
Εικόνα 2.10 Η μπάρα εντολών του λογισμικού Orsis.	30
Εικόνα 2.11 Το παράθυρο με τις παραμέτρους της μαθηματικής επιφάνειας.....	31
Εικόνα 2.12 Οι εντολές για την κατασκευή της κάθετης προβολής των σημείων, στην μαθηματική επιφάνεια	31
Εικόνα 2.13 Ο πίνακας με τις πληροφορίες της προβολής.	32
Εικόνα 2.14 Η εισαγωγή του επόμενου αρχείου μετρήσεων και η προβολή του στο επίπεδο	33
Εικόνα 2.15 Το παράθυρο επιλογής του είδους της μικρομετακίνησης που επιθυμείται.....	33
Εικόνα 2.16 Το τελικό αποτέλεσμα της σύγκρισης των αρχείων μετρήσεων.....	34
Εικόνα 2.17 Επιλογή ενός στοιχείου του καννάβου και οι πληροφορίες που το συνοδεύουν.....	35
Εικόνα 2.18 Το οπτικό στιγμιότυπο που δείχνει τις μετακινήσεις που έχουν γίνει στην δεύτερη εποχή μετρήσεων	36
Εικόνα 2.19 Η εντολή SQR Filter, για την απαλοιφή του θορύβου.....	39
Εικόνα 2.20 Η σάρωση πριν την απαλοιφή του θορύβου.	40
Εικόνα 2.21 Η σάρωση μετά την απαλοιφή του θορύβου.	40
Εικόνα 2.22 Η επιλογή συγκεκριμένου τμήματος της κατασκευής	41
Εικόνα 2.23 Παράδειγμα οριζοντίων μετακινήσεων.....	42
Εικόνα 2.24 Παράδειγμα κατακόρυφων μετακινήσεων.....	42
Εικόνα 3.1 Το φράγμα, αποτελούμενο από το νέφος σημείων (Περ.1)..	45
Εικόνα 3.2 Η μαθηματική επιφάνεια (κύλινδρος) και το νέφος σημείων.....	45
Εικόνα 3.3 Η κάθετη προβολή των σημείων στον κύλινδρο και ο μετασχηματισμός του στο οριζόντιο επίπεδο (Περ.1).....	46
Εικόνα 3.4 Ο κάνναβος των σημείων της πρώτης χρονικής στιγμής t_1 , ως επιφάνεια αναφοράς (0,0) (Περ.1 -Κάθετες μετακινήσεις)...	47
Εικόνα 3.5 Ο κάνναβος των σημείων της χρονικής στιγμής t_2 ,σε σύγκριση με την χρονική στιγμή t_1 (Περ.1 -Κάθετες μετακινήσεις).....	48

Εικόνα 3.6 Η οπτικοποίηση του τελικού αποτελέσματος μέσω στιγμιότυπου (Περ.1 –Κάθετες μετακινήσεις).....	49
Εικόνα 3.7 Η επιλογή της περιοχής της κατασκευής για την δημιουργία πίνακα τελικών αποτελεσμάτων (Περ.1 -Κάθετες μετακινήσεις).....	49
Εικόνα 3.8 Ο κάρναβος των σημείων της πρώτης χρονικής στιγμής t_1 , ως επιφάνεια αναφοράς (0,0) (Περ.1 -Οριζόντιες μετακινήσεις).....	53
Εικόνα 3.9 Ο κάρναβος των σημείων της χρονικής στιγμής t_2 ,σε σύγκριση με την χρονική στιγμή t_1 (Περ.1 -Οριζόντιες μετακινήσεις).....	53
Εικόνα 3.10 Η οπτικοποίηση του τελικού αποτελέσματος μέσω στιγμιότυπου (Περ.1 -Οριζόντιες μετακινήσεις).....	54
Εικόνα 3.11 Η επιλογή της περιοχής της κατασκευής για την δημιουργία πίνακα τελικών αποτελεσμάτων (Περ.1 -Οριζόντιες μετακινήσεις).....	55
Εικόνα 3.12 Ο κάρναβος των σημείων της πρώτης χρονικής στιγμής t_1 , ως επιφάνεια αναφοράς (0,0) (Περ.1 -Κατακόρυφες μετακινήσεις).....	59
Εικόνα 3.13 Ο κάρναβος των σημείων της χρονικής στιγμής t_2 ,σε σύγκριση με την χρονική στιγμή t_1 (Περ.1 -Κατακόρυφες μετακινήσεις).....	59
Εικόνα 3.14 Η οπτικοποίηση του τελικού αποτελέσματος μέσω στιγμιότυπου (Περ.1 -Κατακόρυφες μετακινήσεις).....	60
Εικόνα 3.15 Η επιλογή της περιοχής της κατασκευής για την δημιουργία πίνακα τελικών αποτελεσμάτων (Περ.1 –Κατακόρυφες μετακινήσεις).....	60
Εικόνα 3.16 Το κτίριο, αποτελούμενο από το νέφος σημείων (Περ.2)...	63
Εικόνα 3.17 Η μαθηματική επιφάνεια (κτίριο) και το νέφος σημείων...	64
Εικόνα 3.18 Η κάθετη προβολή των σημείων στο επίπεδο και ο μετασχηματισμός του στο οριζόντιο επίπεδο (Περ.2).....	65

Εικόνα 3.19 Ο κάρναβος των σημείων της πρώτης χρονικής στιγμής t_1 , ως επιφάνεια αναφοράς (0,0) (Περ.2 - Κάθετες μετακινήσεις).....	65
Εικόνα 3.20 Ο κάρναβος των σημείων της χρονικής στιγμής t_2 ,σε σύγκριση με την χρονική στιγμή t_1 (Περ.2 -Κάθετες μετακινήσεις).....	66
Εικόνα 3.21 Η οπτικοποίηση του τελικού αποτελέσματος μέσω στιγμιότυπου (Περ.2 -Κάθετες μετακινήσεις).....	66
Εικόνα 3.22 Η επιλογή της περιοχής της κατασκευής για την δημιουργία πίνακα τελικών αποτελεσμάτων (Περ.2 -Κάθετες μετακινήσεις).....	67
Εικόνα 3.23 Ο κάρναβος των σημείων της πρώτης χρονικής στιγμής t_1 , ως επιφάνεια αναφοράς (0,0) (Περ.2 -Οριζόντιες μετακινήσεις).....	71
Εικόνα 3.24 Ο κάρναβος των σημείων της χρονικής στιγμής t_2 ,σε σύγκριση με την χρονική στιγμή t_1 (Περ.2 -Οριζόντιες μετακινήσεις).....	71
Εικόνα 3.25 Η οπτικοποίηση του τελικού αποτελέσματος μέσω στιγμιότυπου (Περ.2 - Οριζόντιες μετακινήσεις).....	72
Εικόνα 3.26 Η επιλογή της περιοχής της κατασκευής για την δημιουργία πίνακα τελικών αποτελεσμάτων (Περ.2 -Οριζόντιες μετακινήσεις).....	73
Εικόνα 3.27 Ο κάρναβος των σημείων της πρώτης χρονικής στιγμής t_1 , ως επιφάνεια αναφοράς (0,0) (Περ.2 -Κατακόρυφες μετακινήσεις).....	75
Εικόνα 3.28 Ο κάρναβος των σημείων της χρονικής στιγμής t_2 ,σε σύγκριση με την χρονική στιγμή t_1 (Περ.2 - Κατακόρυφες μετακινήσεις).....	75
Εικόνα 3.29 Η οπτικοποίηση του τελικού αποτελέσματος μέσω στιγμιότυπου (Περ.2 -Κατακόρυφες μετακινήσεις).....	76
Εικόνα 3.30 Η επιλογή της περιοχής της κατασκευής για την δημιουργία πίνακα τελικών αποτελεσμάτων (Περ.2 -Κατακόρυφες μετακινήσεις)...	Error! Bookmark not defined.

Εικόνα 3.31 Οι λωρίδες εδαφικής μάζας, ως αποτελέσματα σαρώσεως του επίγειου σαρωτή.....	79
Εικόνα 3.32 Η μαθηματική επιφάνεια (κύλινδρος) και η προσαρμογή του νέφους σημείων πάνω της (Περ.3).....	80
Εικόνα 3.33 Η κάθετη προβολή των σημείων στο επίπεδο και ο μετασχηματισμός του στο οριζόντιο επίπεδο (Περ.3).....	80
Εικόνα 3.34 Ο κάρναβος των σημείων της πρώτης χρονικής στιγμής t_1 , ως επιφάνεια αναφοράς (0,0) (Περ.3 -Κάθετες μετακινήσεις).....	81
Εικόνα 3.35 Ο κάρναβος των σημείων της χρονικής στιγμής t_2 , σε σύγκριση με την χρονική στιγμή t_1 (Περ.3 - Κάθετες μετακινήσεις).....	82
Εικόνα 3.36 Η οπτικοποίηση του τελικού αποτελέσματος μέσω στιγμιότυπου (Περ.3 -Κάθετες μετακινήσεις).....	82
Εικόνα 3.37 Η σήραγγα, ως αποτελέσματα σαρώσεως του επίγειου σαρωτή.....	87
Εικόνα 3.38 Η μαθηματική επιφάνεια (κύλινδρος) και η προσαρμογή του νέφους σημείων πάνω της (Περ.4).....	87
Εικόνα 3.39 Η κάθετη προβολή των σημείων στο επίπεδο και ο μετασχηματισμός του στο οριζόντιο επίπεδο (Περ.4).....	88
Εικόνα 3.40 Ο κάρναβος των σημείων της πρώτης χρονικής στιγμής t_1 , ως επιφάνεια αναφοράς (0,0) (Περ.4 -Κάθετες μετακινήσεις).....	88
Εικόνα 3.41 Ο κάρναβος των σημείων της χρονικής στιγμής t_2 , σε σύγκριση με την χρονική στιγμή t_1 (Περ.4 - Κάθετες μετακινήσεις).....	89
Εικόνα 3.42 Η οπτικοποίηση του τελικού αποτελέσματος μέσω στιγμιότυπου (Περ.4 -Κάθετες μετακινήσεις).....	89
Εικόνα 3.43 Η επιλογή της περιοχής της κατασκευής για την δημιουργία πίνακα τελικών αποτελεσμάτων (Περ.4 -Κάθετες μετακινήσεις).....	93

Εικόνα 3.44 Ο κάρναβος των σημείων της πρώτης χρονικής στιγμής t_1 , ως επιφάνεια αναφοράς (0,0) (Περ.4 -Οριζόντιες μετακινήσεις).....	94
Εικόνα 3.45 Ο κάρναβος των σημείων της χρονικής στιγμής t_2 , σε σύγκριση με την χρονική στιγμή t_1 (Περ.4 – Οριζόντιες μετακινήσεις).....	94
Εικόνα 3.46 Η επιλογή της περιοχής της κατασκευής για την δημιουργία πίνακα τελικών αποτελεσμάτων (Περ.4 -Οριζόντιες μετακινήσεις).....	95
Εικόνα 3.47 Ο κάρναβος των σημείων της πρώτης χρονικής στιγμής t_1 , ως επιφάνεια αναφοράς (0,0) (Περ.4 - Κατακόρυφες μετακινήσεις).....	97
Εικόνα 3.48 Ο κάρναβος των σημείων της χρονικής στιγμής t_2 , σε σύγκριση με την χρονική στιγμή t_1 (Περ.4 – Κατακόρυφες μετακινήσεις).....	98
Εικόνα 3.49 Η επιλογή της περιοχής της κατασκευής για την δημιουργία πίνακα τελικών αποτελεσμάτων (Περ.4 -Κατακόρυφες μετακινήσεις).....	100
Εικόνα 4.1 Περίπτωση 1: Μέγεθος κελιού 0.8m x 0.8m και τυπική απόκλιση 0.01m.....	103
Εικόνα 4.2 Περίπτωση 2: Μέγεθος κελιού 0.8m x 0.8m και τυπική απόκλιση 0.1m.....	103
Εικόνα 4.3 Περίπτωση 1: Τυπική απόκλιση 0.05m και Μέγεθος κελιού 0.4 x 0.4m.....	104
Εικόνα 4.4 Περίπτωση 2: Τυπική απόκλιση 0.05m και Μέγεθος κελιού 3.2m x 3.2 m.....	105
Εικόνα 4.5 Η επιλογή του κελιού Z23.....	106
Εικόνα 4.6 Ο πίνακας πληροφοριών του κελιού Z23.....	106
Εικόνα 4.7 Η επιλογή του κελιού AB18.....	107
Εικόνα 4.8 Ο πίνακας πληροφοριών του κελιού AB18.....	107
Εικόνα 4.9 Η επιλογή του κελιού P16.....	108
Εικόνα 4.10 Ο πίνακας πληροφοριών του κελιού P16.....	108

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 2.1	Τα τελικά αποτελέσματα, της επιλεγμένης περιοχής μελέτης, της κατασκευής	37-38
Πίνακας 3.1	Τα τελικά αποτελέσματα, της επιλεγμένης περιοχής μελέτης, της κατασκευής (Περ. 1: Κάθετες μετατοπίσεις).....	49-52
Πίνακας 3.2	Τα τελικά αποτελέσματα, της επιλεγμένης περιοχής μελέτης, της κατασκευής (Περ. 1: Οριζόντιες μετατοπίσεις).....	55-58
Πίνακας 3.3	Τα τελικά αποτελέσματα, της επιλεγμένης περιοχής μελέτης, της κατασκευής (Περ. 1: Κατακόρυφες μετατοπίσεις).....	61-62
Πίνακας 3.4	Τα τελικά αποτελέσματα, της επιλεγμένης περιοχής μελέτης, της κατασκευής (Περ. 2: Κάθετες μετατοπίσεις).....	67-70
Πίνακας 3.5	Τα τελικά αποτελέσματα, της επιλεγμένης περιοχής μελέτης, της κατασκευής (Περ. 2: Οριζόντιες μετατοπίσεις).....	73-74
Πίνακας 3.6	Τα τελικά αποτελέσματα, της επιλεγμένης περιοχής μελέτης, της κατασκευής (Περ. 2: Κατακόρυφες μετατοπίσεις).....	77-78
Πίνακας 3.7	Τα τελικά αποτελέσματα, της επιλεγμένης περιοχής μελέτης, της κατασκευής (Περ.3: Κάθετες μετατοπίσεις).....	83-86
Πίνακας 3.8	Τα τελικά αποτελέσματα, της επιλεγμένης περιοχής μελέτης, της κατασκευής (Περ. 4: Κάθετες μετατοπίσεις).....	90-92
Πίνακας 3.9	Τα τελικά αποτελέσματα, της επιλεγμένης περιοχής μελέτης, της κατασκευής (Περ. 4: Οριζόντιες μετατοπίσεις).....	95-97
Πίνακας 3.10	Τα τελικά αποτελέσματα, της επιλεγμένης περιοχής μελέτης, της κατασκευής (Περ. 4: Κατακόρυφες μετατοπίσεις).....	98-99

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εισαγωγή – επεξεργασία δεδομένων και την εξαγωγή κι αξιολόγηση αποτελεσμάτων από τον εντοπισμό παραμορφώσεων, χρησιμοποιώντας δεδομένα επίγειων σαρωτών (Laser Scanners), μέσω του λογισμικού Orpsis.

Η εργασία αποσκοπεί στην αξιολόγηση δεδομένων που προέρχονται από επίγειους σαρωτές, μέσω της ανάδειξης νέων λογισμικών και των δυνατοτήτων τους μέσω απλών εντολών και χρήσης από τον χρήστη, που με αυτόν τον τρόπο, μπορεί να εξάγει συμπεράσματα και να προτείνει λύσεις αντιμετώπισης και παρέμβασης, σε κάθε είδους κατασκευή, μέσω του προσδιορισμού των μικρομετακινήσεων που μπορεί να έχει υποστεί με την πάροδο του χρόνου ή μέσα από την ανθρώπινη παρέμβαση. Η εργασία συνοψίζεται από τα εξής τέσσερα κεφάλαια:

- **Στο πρώτο κεφάλαιο** γίνεται εισαγωγή και αναφορά στην ανίχνευση μικρομετακινήσεων που γίνεται στις κατασκευές, στην αναγκαιότητα του προσδιορισμού τους καθώς και στις μεθόδους προσδιορισμού τους. Επίσης αναλύονται οι επίγειοι σαρωτές, οι αρχές λειτουργίας τους και τέλος, αναφέρονται οι μέθοδοι ανίχνευσης παραμορφώσεων με την χρήση τους.
- **Στο δεύτερο κεφάλαιο** παρουσιάζεται το λογισμικό Orpsis ως εργαλείο ανίχνευσης μικρομετακινήσεων, τις αρχές λειτουργίας του, γίνεται αναφορά στο περιβάλλον του προγράμματος καθώς και στις εντολές με τις οποίες λειτουργεί και στο τέλος, αναδεικνύονται ο σκοπός και οι δυνατότητες που έχει ως λογισμικό.
- **Στο τρίτο κεφάλαιο** παρουσιάζονται τα αρχεία σκαναρισμάτων επίγειων σαρωτών, από διάφορες κατασκευές, η εισαγωγή τους στο λογισμικό και η επεξεργασία, της καθεμιάς τους, μια προς μια. Στην συνέχεια, αναλύεται η εξαγωγή και η αξιολόγηση του τελικού αποτελέσματος των περιπτώσεων.

- **Στο τέταρτο κεφάλαιο** γίνεται αναφορά στα συμπεράσματα και τις σκέψεις που εξήχθησαν από την επεξεργασία των δεδομένων, στο λογισμικό. Αναφέρεται η επίδραση των παραμέτρων που εισάγονται στο λογισμικό, στην παραγωγή του τελικού αποτελέσματος, αναφέρονται οι περιοχές των κατασκευών που πρέπει ο εκάστοτε χρήστης του προγράμματος, να είναι γνώστης για το τι συμβαίνει εκεί και στο τέλος, γίνεται μια τελευταία αναφορά στο λογισμικό Orsis και στο τι μπορεί να προσφέρει στον Αγρονόμο & Τοπογράφο Μηχανικό, στην παρακολούθηση μικρομετακινήσεων – παραμορφώσεων.

ABSTRACT

Data Evaluation of Laser Scanner for Determination of Deformation or Movements.

The object of this thesis is the import-processing of data, export and evaluation of results, to determinate deformations, from Laser Scanners, through the Opsis software.

The work aims to evaluate data from Laser Scanners, through the emergence of new software and their capabilities through simple commands and user use, which in this way, can draw conclusions and suggest solutions and intervention, in each kind of construction, through the identification of micro-movements that may have suffered over time or through human intervention. The work is summarized in the following four chapters:

- **The first chapter** makes an introduction and reference to the detection of micro-movements in the constructions, to the importance of their determination as well as to their methods. Also, there is an analysis of Laser Scanners, their operating principles and finally, the deformation detections methods.
- **The second chapter** presents the Opsis software as a tool for detecting micro-movements, its operating principles, reference is made to the program environment as well as the commands with which it works and in the end, the purpose and possibilities it has as software are highlighted.
- **The third chapter** presents the scan files of ground scanners, from various constructions, their introduction in the software and their processing, each of them, one by one. Then, the extraction and the evaluation of the final result of the cases are analyzed.
- **The fourth chapter** refers to the conclusions and thoughts extracted from the data processing, in the software. The effect of the parameters entered in the software is mentioned, in the production of the final result, the areas of constructions are mentioned that the user of the program must be aware of what is

happening there and, in the end, a final reference is made to the Opsis software and what it can offer to Surveyor Engineer, in the monitoring of micro-movements – deformations.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αλματώδης πρόοδος της τεχνολογίας και ειδικότερα όσο αφορά τα όργανα και τις μεθόδους που χρησιμοποιεί ο τοπογράφος μηχανικός για την διεκπεραίωση των εργασιών του όπως η εξέλιξη των γεωδαιτικών σταθμών, των επίγειων σαρωτών, των drone και των λογισμικών που συνδέονται μεταξύ τους. Μερικές από αυτές τις εργασίες άπτονται στη μελέτη δυναμικών φαινομένων όπως είναι η παρακολούθηση (monitoring) της κινηματικής συμπεριφοράς φυσικών σχηματισμών και τεχνικών έργων και η μέτρηση των παραμορφώσεων (deformation) τους κατά μέγεθος και διεύθυνση.

Ακόμη η ανάπτυξη των υπολογιστικών συστημάτων και ειδικότερα των γραφικών και σχεδιαστικών τους δυνατοτήτων, αυξάνει τις δυνατότητες που προσφέρουν στον εκάστοτε μηχανικό, για την πραγματοποίηση εργασιών που στα προηγούμενα χρόνια, κάτι τέτοιο θα ήταν ανέφικτο. Πλέον χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που απαιτούν μεγάλες ακρίβειες, ορθότητα και πληρότητα όπως είναι η παρακολούθηση μικρομετακινήσεων όπου ζητούνται μετρήσεις της τάξεως εκατοστών και μερικές φορές χιλιοστών. Η εν λόγω εφαρμογή εκτείνεται σε διαφορετικούς κλάδους όπως στην βιομηχανία, στην κατασκευή κάθε τεχνικού έργου (γέφυρες, κτίρια, σήραγγες κ.α.), στην παρακολούθηση οριζοντίων και κατακόρυφων δικτύων.

Πριν από κάποια χρόνια, κυκλοφόρησε, το λογισμικό Orpsis από την εταιρεία Moniterra Engineering. Προσφέρει μια πρωτοποριακή λύση, στον προσδιορισμό παραμορφώσεων, μέσω της νέας μεθόδου που ακολουθεί, της μοντελοποίησης μαθηματικών επιφανειών. Εξάγει τα αποτελέσματα, με πολύ καλές ακρίβειες, σε σύντομο χρονικό διάστημα και αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο, για τέτοιου είδους εργασίες.

Στο πλαίσιο του επιστημονικού ενδιαφέροντος και εξέλιξης, διατυπώθηκε το θέμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που προσφέρει αυτή η καινούργια τεχνολογία μέσω μετρήσεων που προέρχονται από τα όργανα τελευταίας τεχνολογίας, τους επίγειους σαρωτές (Laser Scanners) και όπου θα χρησιμοποιούν διάφοροι τύποι κατασκευών ώστε να απεικονιστεί η μεγάλη χρησιμότητα του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ
ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΜΙΚΡΟΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ & LASER
SCANNER

1.1 ΜΙΚΡΟΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΣΕ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ – ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η εξέλιξη, μέσα στον χρόνο, των κατασκευών και των τεχνικών έργων υποδομής, έχει συμβάλλει στην ανάπτυξη και την πρόοδο του ανθρώπινου πολιτισμού. Έχουν δημιουργηθεί πολλές επιστήμες οι οποίες ασχολούνται με την μελέτη, την κατασκευή τους αλλά και την εξέλιξη της συμπεριφοράς τους μέσα στο χρόνο διότι με την φθορά του χρόνου, υπόκεινται σε τεχνητή φθορά ή σε φυσική όπως οι ζημιές που προκαλούνται από σεισμούς, τσουνάμι, πυρκαγιές κ.α. Επίσης, όλες οι κατασκευές εδράζονται στο έδαφος το οποίο δέχεται δυνάμεις εξωτερικές όπως το ίδιο βάρος του έργου, εσωτερικές όπως οι διαφορές θερμοκρασίες στο σώμα του τεχνικού έργου κ.α. Επομένως, αναπτύχθηκε η ανάγκη για τον υπολογισμό αυτών των αλλαγών όπου πραγματοποιείται μέσω της επιστήμης, της Γεωδαισίας, όπου προσδιορίζει το μέγεθος, το σχήμα και τις αλλαγές στην θέση και στην κινηματική συμπεριφορά με το πέρασμα του χρόνου που έχουν πραγματοποιηθεί σε ένα έργο ή κατασκευή.

Ειδικότερα, είναι μεγάλη η συμβολή της Γεωδαισίας στην παρακολούθηση των μετακινήσεων κατασκευών ή τεχνικών έργων. Οι μετακινήσεις μπορεί να έχουν φυσικό χαρακτήρα όπως είναι οι μετακινήσεις εδαφικών μαζών (π.χ. κατολισθήσεις που προκαλούνται από βροχοπτώσεις ή μετακίνηση εδαφών από φυσικά πρηνή με μεγάλη κλίση) και τεχνητού χαρακτήρα όπως οι αστοχίες σε κατασκευές που έχουν προέλθει από λανθασμένες ή μη σωστά εκτιμημένες μελέτες (π.χ. αστοχία σε μια γέφυρα ή σε μια πολυκατοικία) (εικόνες 1.1 – 1.2). Η Γεωδαισία, με τις μεθόδους που χρησιμοποιεί, μπορεί να προσδιορίσει τις μετακινήσεις αυτές και μπορεί να εξάγει συμπεράσματα για την φύση των μετακινήσεων αλλά και φυσικά, να προτείνει τρόπους αντιμετώπισής τους.

Ο προσδιορισμός των μεταβολών αυτών που γίνονται μέσω των μετρήσεων παρακολούθησης των κατασκευών είναι σημαντικός για την πρόληψη δυσάρεστων καταστάσεων που μπορούν να δημιουργηθούν στην κατασκευή (π.χ. κατάρρευση κτιρίου ή ενός φράγματος) αλλά και για λόγους δημόσιας υγείας και ωφέλειας. Έτσι, λαμβάνονται από τους αρμόδιους φορείς τα απαραίτητα μέτρα που θα διασφαλίσουν την επιβίωση ανθρώπινων ψυχών καθώς και τον περιορισμό κατ' ελάχιστον,

των όποιων ζημιών μπορούν να προκληθούν. Επομένως, στις μετρήσεις αυτές απαιτείται μεγάλη ακρίβεια ώστε όλοι οι εμπλεκόμενοι με το ζήτημα αυτό, να είναι σίγουροι για το τι συμβαίνει πραγματικά, στο έργο ή την κατασκευή αυτή.



Εικόνα 1.1, Παρακολούθηση μικρομετακινήσεων γέφυρας με χρήση επίγειου σαρωτή στην Μπρατισλάβα, Σλοβακία.



Εικόνα 1.2, Παρακολούθηση μικρομετακινήσεων φράγματος με χρήση ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού.

Στην σημερινή εποχή, η διαδικασία παρακολούθησης κατασκευών, υλοποιείται με δυο διαφορετικούς τρόπους:

- 1) Επαναλαμβανόμενες φάσεις μέτρησης σε τακτά χρονικά διαστήματα και μετεπεξεργασία των μετρήσεων
- 2) Συνεχής παρακολούθηση σε πολύ σύντομα χρονικά διαστήματα και εξαγωγή των αποτελεσμάτων σε πραγματικό χρόνο.

[Πανταζής, 2020]

1.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΑ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ

1.2.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό παραμορφώσεων ή μικρομετακινήσεων, χωρίζονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες:

- 1) Τις γεωτεχνικές μεθόδους, που χρησιμοποιούνται για άμεσες και τοπικές μετρήσεις και χρησιμοποιούν ειδικά γεωτεχνικά όργανα όπως επιταχυνσιόμετρα, μηκυνσιόμετρα, κλισίμετρα (εικόνα 1.3) ψηφιακά κλισίμετρα, αισθητήρες οπτικών ινών κ.α. Αυτές οι μέθοδοι, χρησιμοποιούνται συνήθως σε εφαρμογές ενόργανες παρακολούθησης της υγείας των κατασκευών.



Εικόνα 1.3, Μηκυνσιόμετρο (αριστερά) & Κλισίμετρο (δεξιά)

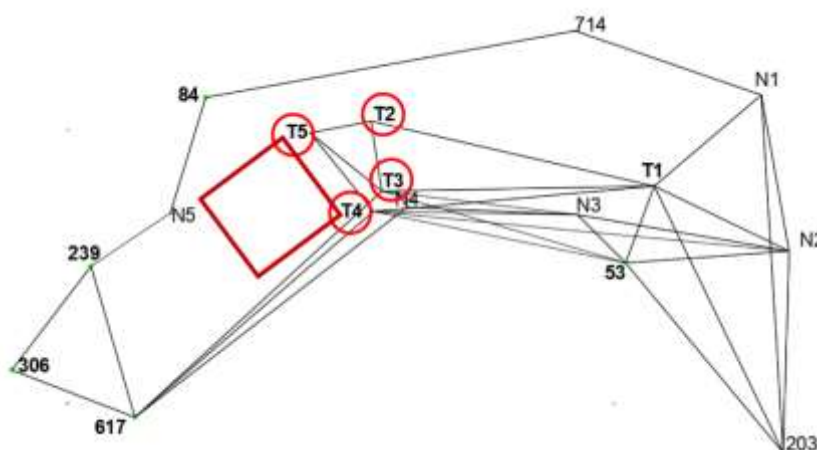
2) Τις γεωδαιτικές μεθόδους οι οποίες μπορούν να είναι επίγειες, φωτογραμμετρικές και δορυφορικές.

Οι γεωδαιτικές μέθοδοι, χωρίζονται επίσης σε δυο κατηγορίες:

A) Τις έμμεσες γεωδαιτικές

B) Τις άμεσες γεωδαιτικές.

Οι έμμεσες γεωδαιτικές μέθοδοι χρησιμοποιούν τα κλασικά γεωδαιτικά δίκτυα ελέγχου: μίας διάστασης (υψομετρικά), δυο διαστάσεων (οριζοντιογραφικά) και τριών διαστάσεων (ο συνδυασμός των παραπάνω) (εικόνα 1.4). Επίσης τα δίκτυα αυτά μπορεί να είναι και φωτογραμμετρικά (επίγεια ή εναέρια) καθώς και δορυφορικά, χρησιμοποιώντας δίκτυα GPS/GNSS.



Εικόνα 1.4, Παράδειγμα δικτύου ελέγχου μετακινήσεων

Στην περίπτωση των άμεσων γεωδαιτικών μετρήσεων, για τον άμεσο προσδιορισμό μετακίνησης, χρησιμοποιούνται όργανα μεγάλης ακρίβειας. Τέτοιες μετρήσεις είναι:

- Μετρήσεις μεταβολών σχετικών υψομέτρων
- Μετρήσεις μεταβολών μηκών (με EDMΙ, μεταλλικές μετροταινίες, σύρματα Invar)
- Μετρήσεις μεταβολών κλίσεων (με θεοδολίχους μεγάλης ακρίβειας)

[Ιωάννης Δούκας – Δημήτρης Ρωσσικόπουλος, Α.Π.Θ, 2020]

Γενικά, υπάρχουν διαφορές ανάμεσα στις δυο μεθόδους. Οι γεωτεχνικές μέθοδοι (όπως και οι άμεσες γεωδαιτικές) προσδιορίζουν σχετικές μετακινήσεις με βάση ένα χρονικό σημείο αναφοράς σε αντίθεση με τις γεωδαιτικές και ειδικότερα τις έμμεσες που προσδιορίζουν απόλυτες μετακινήσεις αφού σχετίζονται με σημεία αναφοράς τα οποία θεωρούνται σταθερά και είναι πιο χρήσιμες στην μελέτη του φαινομένου από τις σχετικές. Άλλη διαφορά είναι ότι οι γεωδαιτικές μέθοδοι ελέγχουν στο σύνολο του ένα έργο ή μια κατασκευή σε αντίθεση με τις γεωτεχνικές που ελέγχουν ένα μικρό μέρος της. Τέλος, άλλη μια διαφορά είναι ότι στις γεωτεχνικές μεθόδους, τα όργανα παρακολούθησης εγκαθίστανται μια φορά και δίνουν συνεχώς μετρήσεις ενώ στις γεωτεχνικές δεν εγκαθίστανται μια φορά και απαιτείται προσωπικό για την λειτουργία και την παρακολούθηση τους. Επομένως οι γεωδαιτικές χρησιμοποιούνται για μικρομετακινήσεις που έχουν αργό ρυθμό μεταβολής στο χρόνο ενώ οι γεωτεχνικές, για τις περιπτώσεις εκείνες που η μεταβολή θέσης στον χρόνο είναι γρήγορη.

1.2.2 ΟΡΓΑΝΑ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ

Με την εξέλιξη του κλάδου της Γεωδαισίας και ειδικότερα για την απαίτηση που έχει η ανίχνευση μικρομετακινήσεων, τα όργανα προσδιορισμού τους, έχουν εξελιχθεί σε τέτοιο βαθμό που παρέχουν την σημερινή εποχή ακρίβειες mm σε μήκος και ενός 1^{cc} γωνιομετρικά. Επίσης είναι ραγδαία η εξέλιξη και η ανάπτυξη των οργάνων που χρησιμοποιούν νέφη σημείων για τον προσδιορισμό μετακινήσεων, οι λεγόμενοι Laser Scanners όπου ενδεικτικότερα θα γίνει ανάλυση τους σε επόμενο υποκεφάλαιο. Ενδεικτικά, τα όργανα είναι τα εξής:

- 1) Γεωδαιτικά όργανα μέτρησης γωνιών (Θεοδόλιχοι, Total Stations) (Εικόνα 1.5)
- 2) Γεωδαιτικά όργανα μέτρησης μηκών (Total Stations με EDM, σύρματα Invar)
- 3) Γεωδαιτικά όργανα μέτρησης υψομετρικών διαφορών (Χωροβάτες) (Εικόνα 1.6)
- 4) Γεωδαιτικά όργανα κατακορύφωσης (Αυτόματοι οπτικοί κατακορυφωτές)

- 5) Γεωδαιτικά όργανα χάραξης και ελέγχου ευθυγραμμίας (Οπτικά όργανα, όργανα με ακτίνες Laser)
- 6) Δορυφορικά συστήματα μέτρησης (G.N.S.S) (Εικόνα 1.7)
- 7) Αυτόματοι γεωδαιτικοί σταθμοί.
- 8) Επίγειοι σαρωτές (Laser Scanners).
- 9) Συστήματα Radar μικροκυματικής συμβολομετρίας (GBSAR).



Εικόνα 1.5, Ολοκληρωμένος Γεωδαιτικός Σταθμός (Total Station)



Εικόνα 1.6, Ψηφιακός Χωροβάτης



Εικόνα 1.7, Συστήματα παγκόσμιου εντοπισμού θέσης (G.N.S.S)

1.3 Η ΝΕΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΕΠΙΓΕΩΝ ΣΑΡΩΤΩΝ (LASER SCANNERS)

1.3.1 ΣΤΗΝ ΕΠΟΧΗ ΤΟΥ LASER SCANNING

Τα τελευταία χρόνια, η χρήση της μεθόδου του Laser Scanning, έχει όλο και πιο μεγάλη χρήση, σε σχέση με τις κλασικές γεωδαιτικές μεθόδους για τον προσδιορισμό παραμορφώσεων σε κατασκευές, για την γεωμετρική τεκμηρίωση κατασκευών και μνημείων, για αρχαιολογικές κατασκευές, για υπόγεια έργα κ.α. Παρουσιάζει μεγάλα πλεονεκτήματα με τις κλασικές μεθόδους όπως:

- 1) Πιο άμεση και γρήγορη μέθοδος επομένως λιγότερη ώρα στο πεδίο και εξοικονομείται αρκετός χρόνος εργασίας.
- 2) Μείωση του κόστους εργασίας στο πεδίο, αν και ο σαρωτής έχει μεγάλο κόστος πώλησης, είναι δυνατή όμως η ενοικίαση του.
- 3) Αποτύπωση κατασκευών που έχουν σημεία που είναι απρόσιτα.

- 4) Μειωμένη εργασία γραφείου.
- 5) Παρέχει ακριβέστερα αποτελέσματα από κάθε άλλη μέθοδο.
- 6) Η χρήση του οργάνου στο πεδίο είναι απλή καθώς λειτουργεί με αυτόματο τρόπο.



Εικόνα 1.8, Επίγειος Σαρωτής (Laser Scanner)

Ουσιαστικά, το Laser Scanner (Εικόνα 1.8) ως σύστημα μέτρησης, αποτελεί επανάσταση για την σημερινή εποχή. Συλλέγει πληροφορία με την μορφή τρισδιάστατων συντεταγμένων της περιοχής μιας επιφάνειας ενός αντικειμένου, εξάγοντας αποτέλεσμα σε πραγματικό χρόνο. Είναι συστήματα, τα οποία εμπεριέχουν μέσα τους, έναν περιστρεφόμενο καθρέφτη που έχουν την ικανότητα να λαμβάνουν πολλές και διαφορετικές μετρήσεις και μετρούν μεγάλες επιφάνειες, σε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα. Τα δεδομένα συλλέγονται ως ομοιόμορφα κατανομημένα 3D έγχρωμα (RGB) ή gray-scaled, με την επιθυμητή πυκνότητα και το σύνολο τους αποτελεί ένα νέφος σημείων. Το νέφος σημείων δίνει πρόσθετες πληροφορίες που αφορούν το αντικείμενο όπως η υφή του ή και η ένταση του χρώματος. Κάθε τέτοιο σημείο, έχει τρισδιάστατες συντεταγμένες στον χώρο (X,Y,Z), αρχικά σε ένα τοπικό αυθαίρετο σύστημα αναφοράς και στην συνέχεια, μπορούν να μετατραπούν σε συντεταγμένες του κρατικού συστήματος αναφοράς (γεωαναφορά).

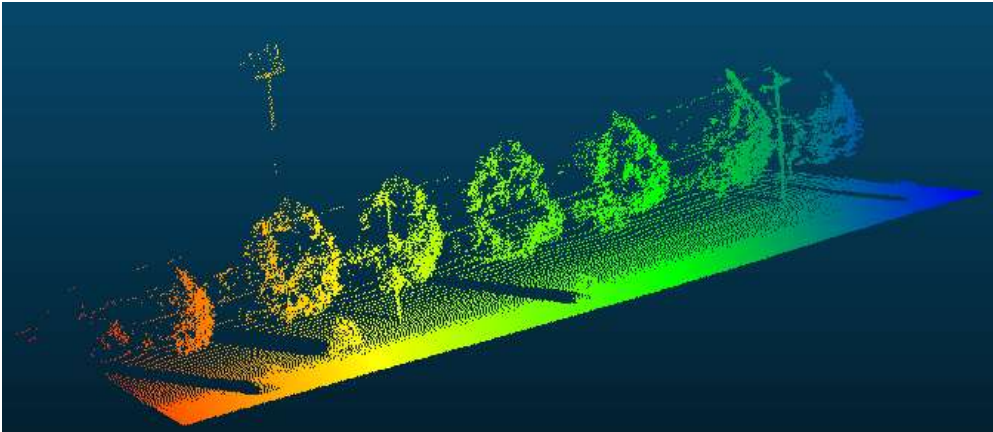
1.3.2 ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ LASER SCANNER

Το μεγάλο πλεονέκτημα που παρέχει η χρήση επίγειων σαρωτών είναι ο τρόπος κατασκευής τους που δίνει την επιλογή στον χρήστη της γρήγορης και ακριβής αποτύπωσης ενός αντικειμένου ή κατασκευής. Οι σαρωτές μπορούν να στέλνουν τρισεκατομμύρια φωτόνια σε ένα χρονικό διάστημα, στην επιφάνεια του αντικειμένου. Τα μικροσωματίδια αυτά, αντανακλώνται και ένα ποσοστό εξ αυτών, επιστρέφουν στους αισθητήρες του σαρωτή. Το είδος και το χρώμα της επιφάνειας που σαρώνεται, παίζει ρόλο στην ποιότητα της αντανακλαστικότητας.

Όπως έχει αναφερθεί ήδη, το εξαγωγίμο προϊόν του σαρωτή, είναι ένα νέφος σημείων (Εικόνα 1.9), το οποίο είναι η αποτύπωση πολύ πυκνών διακριτών σημείων, της επιφανείας του αντικειμένου. Είναι πολύ σημαντική η πύκνωση του αντικειμένου γιατί όσο πυκνό είναι το νέφος σημείων, τόσο πιο πιστή αναπαράσταση του αντικειμένου θα εξάγεται ως αποτέλεσμα. Τα όργανα αυτά έχουν την δυνατότητα καταγραφής σημείων με συχνότητα ως δυο εκατομμύρια σημεία ανά δευτερόλεπτα με ακρίβειας της τάξης του χιλιοστού.

Η λογική των Laser Scanners, μοιάζει αρκετά μ' αυτήν των φωτογραφικών μηχανών. Αποτυπώνεται ένα κωνοειδές πεδίο με κορυφή το κέντρο του φακού. Επειδή λειτουργούν με οπτική ακτινοβολία, προφανώς τα σημεία αποτύπωσης πρέπει να είναι ορατά και κατά προτίμηση αδιαφανή. Οι σαρωτές Laser, σε αντίθεση με τις φωτογραφικές μηχανές, καταγράφουν πληροφορίες που έχουν σχέση, με την απόσταση του αντικειμένου. Τα νέφη σημείων, δημιουργούνται από τις σχέσεις των αποστάσεων μεταξύ του σαρωτή και των σημείων αποτύπωσης του αντικειμένου. Έτσι, ορίζεται ένα σύστημα σφαιρικών συντεταγμένων με αρχή τον αισθητήρα του σαρωτή με τιμές $\varphi=0$ και $\theta=0$ και r , την απόσταση του αισθητήρα από το σημείο. Οι τρεις τιμές φ, θ, r περιγράφουν τη θέση αντικειμένου σε ένα σύστημα προς τον σαρωτή.

[Π. Συμεωνίδης, 2007]



Εικόνα 1.9, Παράδειγμα νέφους σημείων από Laser Scanner.

Σε αρκετές περιπτώσεις, χρειάζεται σάρωση σε διαφορετικές χρονικές στιγμές και ενίοτε, από διαφορετικές γωνίες και όψεις, για να δημιουργηθεί το σωστό νέφος σημείων ή πιο σωστά, η απαιτούμενη πυκνωση τους. Για μερικούς τύπους, μεγάλων κατασκευών, απαιτούνται πολλές σαρώσεις σε διάφορες χρονικές περιόδους που όμως πρέπει να αναφέρουν σε κοινό σύστημα αναφοράς, για να υπάρξει η δυνατότητα δημιουργίας ενός κοινού μοντέλου. Αυτή η διαδικασία γίνεται, μέσω λογισμικών σε ηλεκτρονικό υπολογιστή και η εργασία αυτή αποτελεί ένα μεγάλο μέρος της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

1.3.3 ΚΑΤΗΓΟΡΟΙΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΑΡΩΤΩΝ

Αναλόγως την εργασία που απαιτείται, υπάρχουν διάφοροι τύποι σαρωτών στην αγορά. Μια πρώτη κατηγοριοποίηση, αφορά την απόσταση του σαρωτή από το αντικείμενο. Επομένως, μ' αυτό το κριτήριο, οι σαρωτές διαχωρίζονται σε:

- 1) Σαρωτές επαφής
- 2) Σαρωτές απόστασης

Οι σαρωτές επαφής (Εικόνα 1.10), εξετάζουν το αντικείμενο μέσω φυσικής επαφής, παρέχοντας συντεταγμένες σε ενσωματωμένο καταγραφικό σύστημα. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε βιομηχανικές

εφαρμογής και δίνουν επαρκή αποτελέσματα σε ότι αφορά την ακρίβεια που παρουσιάζουν.



Εικόνα 1.10, Σαρωτής επαφής (Contact Scanner)

Αυτοί όμως, που παρουσιάζουν μεγαλύτερη ζήτηση και έχουν συγκριτικά περισσότερα πλεονεκτήματα από τους σαρωτές επαφής, είναι οι σαρωτές αποστάσεως (Εικόνα 1.11). Χρησιμοποιούν ακτινοβολία, για να εντοπίσουν την θέση των σημείων μέτρησης. Βάσει της ακτινοβολίας και το πως χρησιμοποιείται αυτή, από τον εκάστοτε σαρωτή, οι σαρωτές αποστάσεως, χωρίζονται σε δυο κατηγορίες:

α)Τους ενεργούς σαρωτές όπου η ακτινοβολία εκπέμπεται και καταγράφεται από ενσωματωμένο δέκτη που υπάρχει στον σαρωτή

β)Τους παθητικούς σαρωτές όπου η ακτινοβολία καταγράφεται από έναν δέκτη που εκμεταλλεύεται την υπάρχουσα ακτινοβολία του αντικειμένου.

Η κύρια διαφορά τους είναι ότι οι ενεργοί σαρωτές εκπέμπουν ακτινοβολία και μέσω της μέτρησης της αντανάκλασής της, προσδιορίζεται η απόσταση σημείου και σαρωτή και οι παθητικοί σαρωτές εντοπίζουν την ενέργεια που εκπέμπεται από το αντικείμενο με την μορφή φωτονίων και καταγράφοντας την, υπολογίζεται η απόσταση μεταξύ των γωνιών που σχηματίζονται.

Οι σαρωτές που χρησιμοποιούνται για τις αποτυπώσεις κτιρίων, σχηματισμών του εδάφους, για την παραγωγή τρισδιάστατων μοντέλων εδάφους, είναι οι ενεργοί σαρωτές όπου στην συνέχεια θα αναλυθούν οι μέθοδοι λειτουργίας τους.

[Π. Συμεωνίδης, 2007]



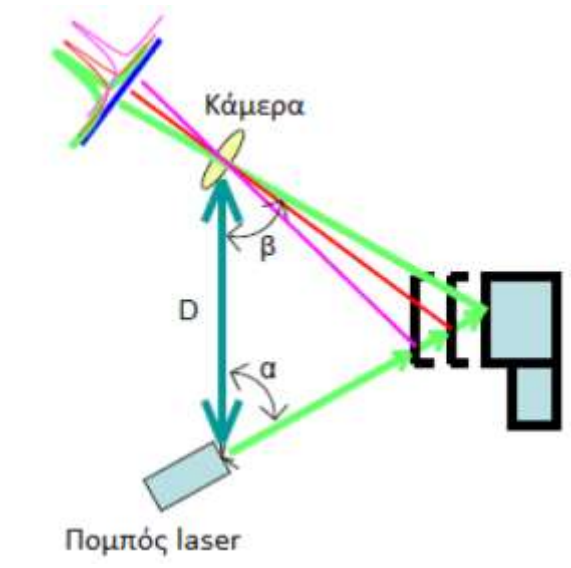
Εικόνα 1.11, Σαρωτές αποστάσεως, διάφορων εταιριών & ειδών (Distance Scanner)

Οι μέθοδοι λειτουργίας είναι οι εξής:

- 1) Μέθοδος τριγωνισμού
- 2) Μέθοδος με παλμούς
- 3) Μέθοδος με διαφορά φάσης

Μέθοδος τριγωνισμού:

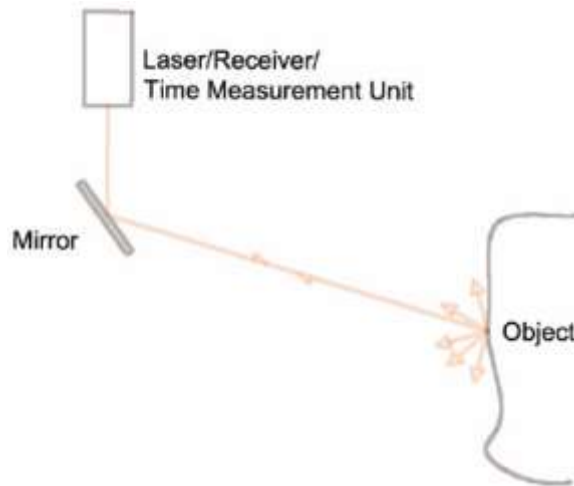
Βασίζεται σε ένα σύστημα που αποτελείται από έναν πομπό που εκπέμπει την ακτίνα και από μια κάμερα (Εικόνα 1.12). Βρίσκονται υπό σταθερή γωνία και σε σταθερή απόσταση D , δημιουργώντας μ' αυτό τον τρόπο ένα τρίγωνο, μεταξύ αυτών και του σημείου του αντικειμένου και γι αυτό τον λόγο, η τεχνολογία αυτή πήρε την συγκεκριμένη ονομασία. Η κορυφή του τριγώνου, είναι η ακτίνα Laser που εκπέμπεται από το σαρωτή που είναι η θέση εκπομπής του Laser, πάνω στο αντικείμενο. Η ακρίβεια που δίνει αυτή η μέθοδος σε σχέση με τις άλλες, είναι πολύ καλύτερη με μόνο μελανό σημείο ότι η απόσταση του αντικειμένου και του σαρωτή, δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 10 m λόγω των περιορισμών που τίθενται από το μήκος της βάσης καθώς σε περίπτωση μεγάλης απόστασης, υπάρχει ο κίνδυνος, ο πομπός και η κάμερα να βλέπουν διαφορετικά σημεία του ίδιου αντικειμένου.



Εικόνα 1.12, Αρχή λειτουργίας μεθόδου Τριγωνισμού.

Μέθοδος με παλμούς (Time of Flight):

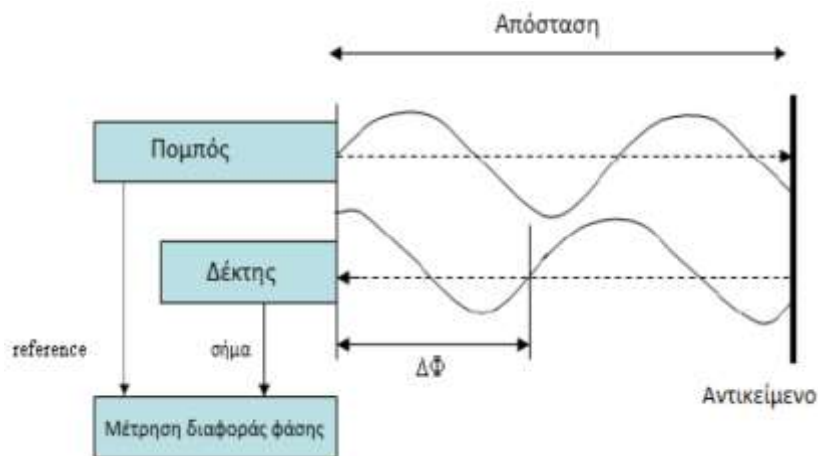
Η σάρωση με παλμούς, λειτουργεί με την μέτρηση του χρόνου της εκπομπής από τον πομπό και της λήψης της ακτινοβολίας από την κάμερα. Έχει την δυνατότητα μέτρησης σημείων, σε μεγάλες αποστάσεις ενώ μέσω της κίνησης τους, έχουν την δυνατότητα να αποτυπώνουν μεγάλο μέρος του οπτικού τους πεδίου (Εικόνα 1.13). Η λειτουργία της, στηρίζεται στην αντανάκλαση της ακτίνας Laser που σαρώνει το αντικείμενο αποτύπωσης. Εμπεριέχεται μέσα στο όργανο, μια συσκευή που μπορεί να μετράει τις αποστάσεις μεταξύ σημείων και σαρωτή. Είναι απλή διότι η συσκευή εκπέμπει μια ακτίνα Laser στο σημείο, υπολογίζοντας τον ακριβή χρόνο μετάδοσης, αφού η ακτίνα Laser εκπέμπεται με την ταχύτητα του φωτός που είναι σταθερή. Οι περισσότεροι τέτοιοι σαρωτές έχουν την δυνατότητα να μετρήσουν από 2 ως 50 χιλιάδες σημεία ανά δευτερόλεπτο, με μια ακρίβεια μεταξύ 4 ως 10 mm.



Εικόνα 1.13, Αρχή λειτουργίας μεθόδου με Παλμούς.

Μέθοδος με διαφορά φάσης (Phase shift):

Τέλος, η μέθοδος της διαφοράς φάσης, παρουσιάζει αρκετές ομοιότητες με την προηγούμενη, των παλμών. Στην συγκεκριμένη περίπτωση όμως, ο σαρωτής εκπέμπει ένα αρμονικό κύμα, αφού προηγούμενος ρυθμίσει το πλάτος του και μετράει τη διαφορά φάσης μεταξύ του κύματος που στάλθηκε και του ανακλώμενου (Εικόνα 1.14). Η διαφορά φάσης, μετριέται με ηλεκτρικό κύκλωμα και όχι με χρονόμετρα. Η τεχνολογία αυτή, δίνει την δυνατότητα της συλλογής πολύ μεγαλύτερων αριθμών σημείων που φτάνει τα εκατομμύρια το λεπτό και έτσι το νέφος σημείων που δημιουργείται ένα πολύ πυκνό, καθιστώντας την μετέπειτα επεξεργασία του, δύσκολη. Η εμβέλεια της, είναι περιορισμένη.



Εικόνα 1.14, Αρχή λειτουργίας μεθόδου με διαφορά φάσης.

Γενικά και οι τρεις μέθοδοι, παρουσιάζουν πλεονεκτήματα και μειονέκτημα. Όμως, κάθε μια απ αυτές έχουν πεδίο χρήσης που είναι χρήσιμο αναλόγως την εργασία που απαιτείται. Για παράδειγμα, η σάρωση με παλμούς χρησιμοποιείται για σαρώσεις μεγάλων κτιρίων καθώς έχει την δυνατότητα σάρωσης σε μεγάλες αποστάσεις μερικών εκατοντάδων μέτρων, όμως έχει μικρότερη ακρίβεια απ αυτής του τριγωνισμού που λόγω της μειωμένης εμβέλειας της και της μεγάλης ακρίβειας που διαθέτει, χρησιμοποιείται για βιομηχανικούς σκοπούς και εφαρμογές. Αυτές οι δυο μέθοδοι, έχουν πιο ευρεία χρήση, την τρέχουσα περίοδο, από αυτήν της διαφοράς φάσης.

1.3.4 ΣΥΝΕΝΩΣΗ ΝΕΦΩΝ

Όπως αναφέρθηκε στα προηγούμενα, το αποτέλεσμα της σάρωσης ενός αντικειμένου ή κατασκευής, είναι ένα νέφος σημείων. Για να υπάρξει καλύτερη και ακριβέστερη αποτύπωση, θα πρέπει να γίνουν πολλαπλές σαρώσεις που θα έχουν ένα κοινό επικαλυπτόμενο τμήμα, όπως γίνεται και στην Φωτογραμμετρία. Για να γίνει η μεταφορά των συντεταγμένων από τη νιοστή σάρωση στην προηγούμενη, πρέπει να είναι γνωστές οι έξι παράμετροι μετασχηματισμού (3 μετατοπίσεις, 3 στροφές). Το αποτέλεσμα είναι η δημιουργία ενός μοντέλου που θα περιέχει όλες τις σαρώσεις και θα εντάσσεται σε ένα ενιαίο σύστημα συντεταγμένων. Όλη αυτή η διαδικασία ονομάζεται συνένωση νεφών (cloud registration). Για να γίνει η συνένωση των νεφών σημείων, ακολουθούνται μία από τις εξής μέθοδοι:

- Προσημασμένοι στόχοι, που αποτυπώνονται από τουλάχιστον δυο στάσεις. Συνήθως τοποθετούνται πάνω στο αντικείμενο αποτύπωσης ή κοντά σε αυτό. Μπορεί να είναι επίπεδοι ή και σφαιρικοί. Το σημαντικό στην μέθοδο αυτή, είναι ο ακριβής υπολογισμός του κέντρου του στόχου.
- Εντοπισμός στην περιοχή, χαρακτηριστικών (φυσικών) σημείων που είναι ευδιάκριτα στα νέφη σημείων και που με βάση τα σημεία αυτά, τα νέφη ενώνονται μεταξύ τους βάσει επικαλυπτόμενων τμημάτων των σαρώσεων. Χρειάζεται προσοχή, στον βαθμό επικάλυψης τους. Η ακρίβεια της μεθόδου είναι χαμηλή.

- Ένωση των νεφών με βάση κοινές περιοχές τους. Η μέθοδος αυτή, επικρατεί τα τελευταία χρόνια και χρειάζεται πολύ προσοχή στην εφαρμογή της.

1.3.5 LASER SCANNERS ΚΑΙ ΜΙΚΡΟΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ

Όσο η τεχνολογία εξελίσσεται, τόσο νέες μέθοδοι χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό μικρομετακινήσεων σε έργα ή κατασκευές. Μια νέα τέτοια μέθοδος είναι η σάρωση των αντικειμένων με Laser Scanners. Η χρήση τους είναι σχετικά μια νέα εναλλακτική λύση για μετρήσεις παραμόρφωσης καθώς προσφέρει 3D καταγραφή αντικειμένων όπως μνημεία αρχαιολογικών χώρων, παραμορφώσεις βράχων, κτιρίων και βοηθάει μέχρι στην διερεύνηση τόπων εγκλήματος. Σε γενικές γραμμές, ανάλογα με τον τύπο και την κλίμακα της κατασκευής, μπορούν να επιλεγούν η απαιτούμενη ακρίβεια και άλλοι περιορισμοί. Είναι μια τεχνική που όπως αναλύθηκε και πιο πάνω, προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα, σε σχέση με τις κλασικές γεωδαιτικές μεθόδους:

- Μείωση χρόνου εργασίας στο πεδίο.
- Επεξεργασία δεδομένων με ειδικά λογισμικά.
- Προσφέρουν μεγάλες ακρίβειες.

Ένα μειονέκτημα που θα μπορούσε να αναφερθεί, είναι το κόστος των Laser Scanners που είναι πολύ ακριβά αλλά κι αυτό αντισταθμίζεται με την τυχόν ενοικίαση του οργάνου.

Υπάρχουν διάφορες μεθοδολογίες, για την εύρεση παραμορφώσεων. Σε γενικές γραμμές, πρέπει να τηρούνται οι ίδιες αρχές για τον προσδιορισμό τους. Μία μέθοδος που μπορεί να αναφερθεί είναι η ταυτόχρονη λειτουργία ενός σαρωτή που μέσα του, εμπεριέχεται μια κάμερα υψηλής ευκρίνειας. Η κάμερα, καταγράφει φωτογραφίες από το αντικείμενο, ταυτόχρονα με τη σάρωση και έπειτα χρησιμοποιούνται ως επικαλυπτόμενα τμήματα, όπως και στην Φωτογραμμετρία, για την συνένωση των νεφών των σημείων που έχουν παρθεί.

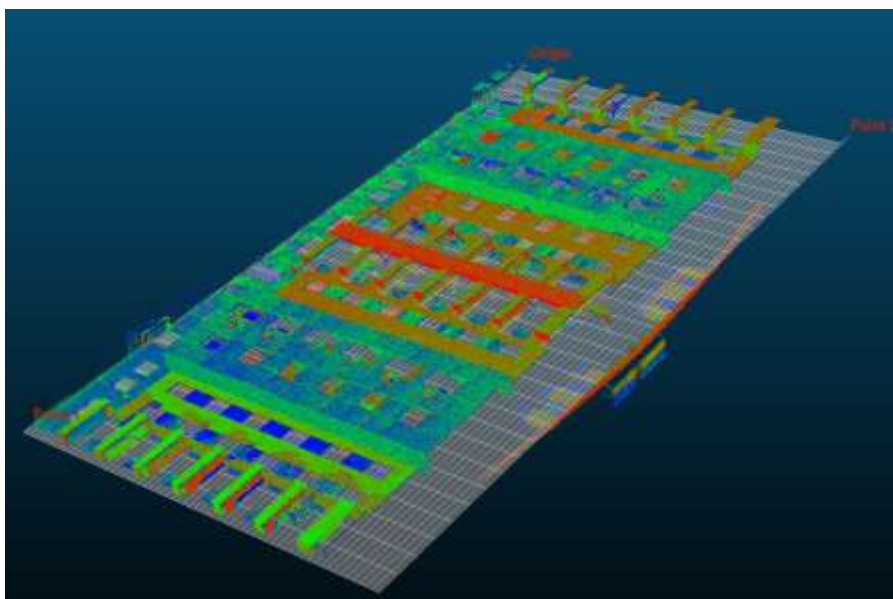
[Tsakiri M – Tournas E, *Deformation Monitoring based on Terrestrial Laser Scanner point cloud registration*, Lisbon, May 2008]

Μία άλλη μέθοδος είναι, οι διαδοχικές σαρώσεις ενός προσημασμένου στόχου που έχει τοποθετηθεί στο προ σάρωσης, αντικείμενου. Ορίζοντας ως χρονική στιγμή $t=0$, την πρώτη σάρωση, επαναλαμβάνονται σαρώσεις πάνω στο σημείο αυτό. Συγκρίνονται οι εκτιμώμενες συντεταγμένες του σημείου σε κάθε σάρωση και υπολογίζονται τα αντίστοιχα διανύσματα παραμόρφωσης ώστε να συγχωνευθούν όλα τα νέφη σημείων. Εδώ όμως, απαιτείται αυστηρή στατιστική αξιολόγηση προκειμένου να επαληθευτεί για το αν υπάρχει μετακίνηση ή όχι.

[Tsakiri M - Lichti D – Pfeifer N, Terrestrial Laser Scanning for Deformation Monitoring, Baden, May 2006]

Η μεθοδολογία που τον τελευταίο καιρό, τείνει να κυριαρχήσει και εξελίσσεται όλο και περισσότερο , είναι αυτής της μοντελοποίησης επιφανειών που δημιουργούνται από τα νέφη σημείων (εικόνα 1.15). Ουσιαστικά, δημιουργούνται πολυωνυμικές επιφάνειες οι οποίες συγκρίνονται μεταξύ τους με πολυωνυμικές προσεγγίσεις. Ενώ η παρακολούθηση παραμόρφωσης με συμβατική τοπογραφία είναι ανώτερη σε ακρίβεια από την επίγεια σάρωση Laser, όπου μεμονωμένα σημεία δειγματοληψία (προσημασμένοι στόχοι), έχουν χαμηλή ακρίβεια (2 ως $50 \pm$ mm), η μοντελοποίηση ολόκληρου του νέφους σημείου μπορεί να είναι αποτελεσματική για την αναπαράσταση της αλλαγής του σχήματος μιας κατασκευής. Τα μεμονωμένα σημεία δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό παραμόρφωσης γιατί το ίδιο σημείο δεν είναι αναγνωρίσιμο σε πολλαπλές σαρώσεις της ίδιας επιφάνειας. Αν ο σαρωτής είναι στο ίδιο σημείο, σε όλες τις εποχές μετρήσεων, το επίπεδο θορύβου αποτρέπει τον εντοπισμό μικρών μετακινήσεων. Μια τέτοια περίπτωση, θα αναλυθεί στο επόμενο κεφάλαιο, όπου θα παρουσιαστεί το λογισμικό Orpsis, το οποίο χρησιμοποιεί μέρος αυτής της τεχνικής.

[Hao Yang – Mohamad Omidalizarandi - Xiangyang Xu - Ingo Neumann , Terrestrial laser scanning technology for deformation monitoring and surface modeling of arch structures, 2016]



Εικόνα 1.15, Μοντελοποίηση (κατασκευή) επιφάνειας βάσει νέφους σημείων και η προσαρμογή της στο οριζόντιο επίπεδο.

Όλες οι προηγούμενες τεχνικές, έχουν ως προαπαιτούμενο για να πραγματοποιηθούν τις διαδοχικές σαρώσεις ανά τακτά χρονικά διαστήματα ώστε έτσι να γίνει η σύγκριση τους. Επομένως το αποτέλεσμα της σάρωσης, θα είναι ένα νέφος σημείων όπου θα υπάρχει ένα τέτοιο για κάθε χρονική στιγμή που θα επιλεγεί. Επίσης για να γίνει η σύγκριση, πρέπει να ιδρυθεί ένα δίκτυο με γνωστές συντεταγμένες ώστε να γίνει η μετέπειτα γεωαναφορά σε όποιο επιθυμητό σύστημα συντεταγμένων απαιτείται αλλά και να είναι γνωστό το σημείο, στο οποίο έχει τοποθετηθεί ο σαρωτής την χρονική στιγμή t_1 ώστε να τοποθετηθεί ακριβώς στο ίδιο, την χρονική στιγμή t_2 . Προφανώς εκτός από την γεωαναφορά, θα πρέπει, για να γίνει η σύγκριση, τα νέφη σημείων μεταξύ των δυο χρονικών στιγμών, ν' αναφέρονται στο ίδιο σύστημα συντεταγμένων. Αυτό επιτυγχάνεται με την εισαγωγή των νεφών της χρονικής στιγμής t_2 , στο σύστημα συντεταγμένων του νέφους σημείων της χρονικής στιγμής t_1 .

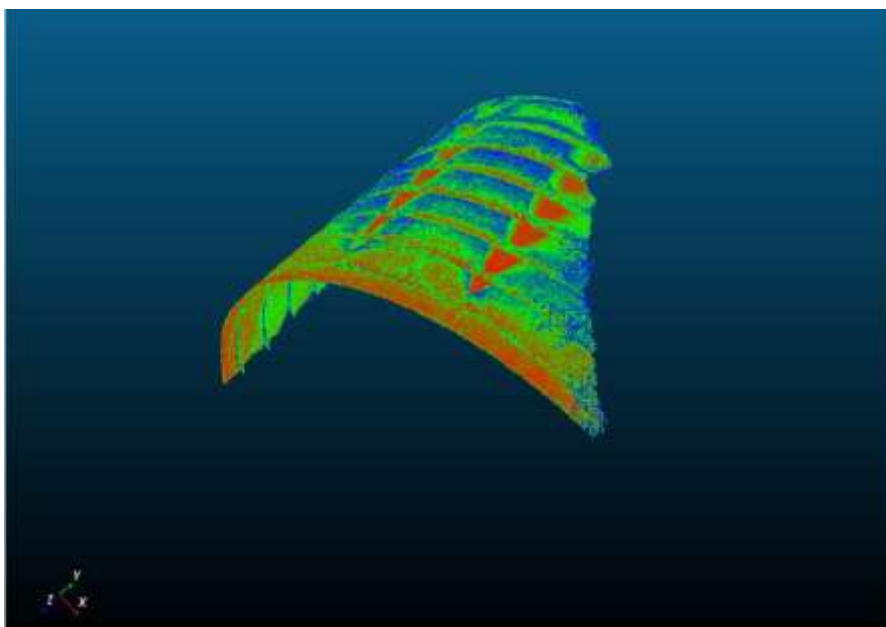
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ
ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ – ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ
OPSIS

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ OPSIS

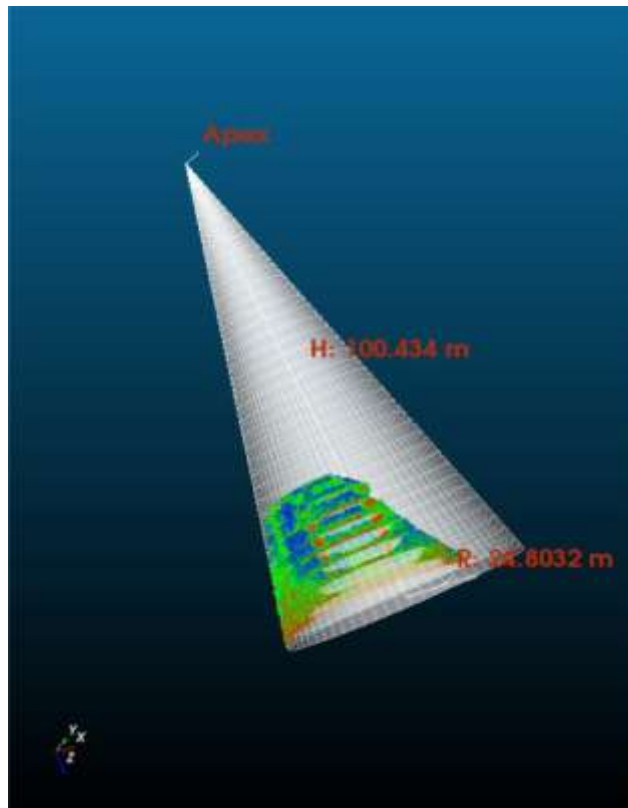
Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, έχουν αναπτυχθεί, με την εξέλιξη της τεχνολογίας, λογισμικά που σκοπό έχουν, την επεξεργασία δεδομένων από τα όργανα που χρησιμοποιούνται, για ανίχνευση μικρομετακινήσεων σε τεχνητές ή φυσικές κατασκευές, τεχνικά έργα κ.α. Ένα τέτοιο λογισμικό είναι το πρόγραμμα παρακολούθησης μικρομετακινήσεων Opsis. Το λογισμικό αυτό, δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη, να μελετήσει και να προσδιορίσει, σε διάφορες χρονικές στιγμές, τυχόν μετακινήσεις που μπορεί να έχουν προκληθεί σε μια κατασκευή και με τα αποτελέσματα που θα εξαχθούν, να προτείνει τρόπους αντιμετώπισης - επέμβασης. Όλα αυτά μάλιστα, μπορούν να γίνουν σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα, διότι δεν απαιτούνται ιδιαίτερες γνώσεις Η/Υ, απλώς να ακολουθούνται οι εντολές που απαιτούνται για την εκτέλεση του προγράμματος και δεν χρειάζονται ιδιαίτερες απαιτήσεις Hardware, του Η/Υ του χρήστη. Το λογισμικό Opsis, εξάγει καλής ποιότητας και ασφάλειας, αποτελέσματα μέσω της μεθόδου της μοντελοποίησης επιφανειών (κεφ. 1) και ειδικότερα μέσω της χρησιμοποίησης ιδεατών γεωμετρικών σχημάτων που μετασχηματίζονται σε μαθηματικές επιφάνειες, βάσει της μελετώμενης κατασκευής, π.χ. εάν πρόκειται να μελετηθεί η όψη μιας κατοικίας, το γεωμετρικό σχήμα που θα προτιμηθεί, προφανώς θα είναι το ορθογώνιο παραλληλόγραμμο ή για ένα φράγμα, θα επιλεγθεί ο κύλινδρος. Η επιλογή αυτής της μεθόδου, προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλες: μελέτη όλης της κατασκευής χωρίς την απώλεια κάποιων τμημάτων της, μείωση χρόνου εργασίας, ασφαλή συμπεράσματα, μείωση κόστους εργασίας, επιλογή συγκεκριμένων μερών μελέτης της κατασκευής κ.α. Πολύ σημαντική επίσης, είναι και η παρουσίαση και οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων που προσφέρει, η οποία είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την εξαγωγή των απαραίτητων συμπερασμάτων, με χρήση διαγραμμάτων, οπτικών εφέ καθώς και με την χρήση χρωματικής κλίμακας (color scale) κ.α.

2.2 ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

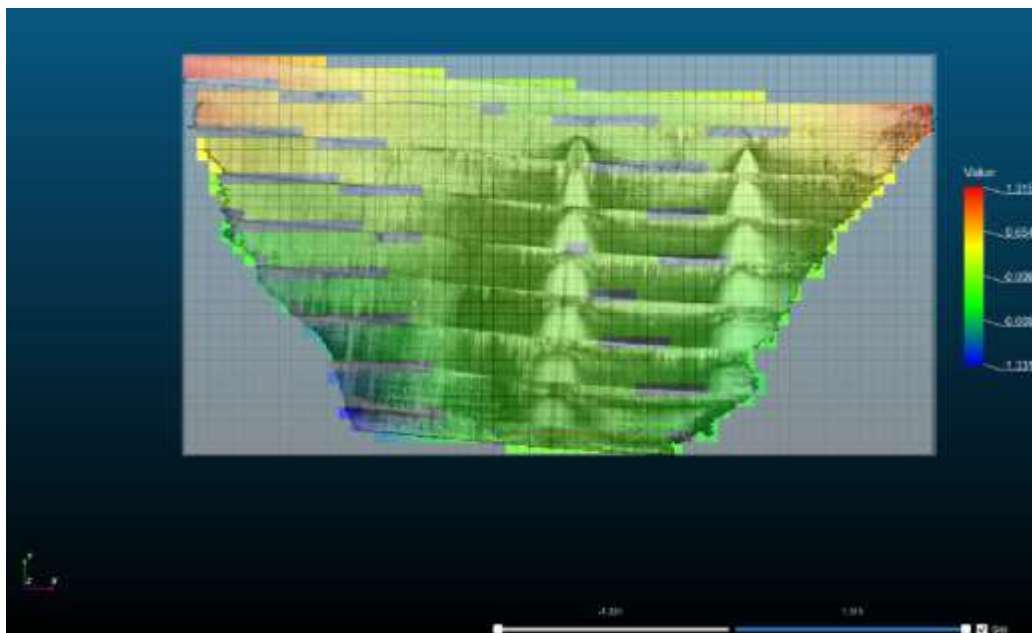
Το λογισμικό έχει δημιουργηθεί, με βάση μια συγκεκριμένη αρχή: Κάθε νέφος σημείων, μπορεί να προβληθεί πάνω στο κατάλληλο γεωμετρικό σχήμα που αντιπροσωπεύει το είδος της κατασκευής και έχει σαρωθεί με τον επίγειο σαρωτή. Στην συνέχεια, το ιδεατό αυτό σχήμα, μπορεί να θεωρηθεί ότι "ξετυλίγεται", μέχρις ότου ταυτιστεί με το οριζόντιο επίπεδο μαζί με την κάθετη προβολή των σημείων, με την ταυτόχρονη δημιουργία ενός καννάβου, με μέγεθος κελιού που καθορίζεται είτε αυτόματα από το πρόγραμμα είτε από τον χρήστη. Ουσιαστικά, αυτό γίνεται ώστε το νέφος σημείων της χρονικής στιγμής t_1 να οριστεί ως επιφάνεια αναφοράς ή ως αφετηρία αναφοράς (0,0), για να γίνει η σύγκριση μεταξύ των χρονικών περιόδων και να προσδιοριστούν τυχόν μικρομετακινήσεις. Επομένως, με αυτόν τον τρόπο, μπορούν να εισαχθούν όσα αρχεία μετρήσεων διαφορετικών χρονικών περιόδων επιθυμεί ο χρήστης, όμως με κάποιες προϋποθέσεις, όπως ο επίγειος σαρωτής να έχει τοποθετηθεί στο ίδιο σημείο, να επικρατούν σχεδόν οι ίδιες ατμοσφαιρικές συνθήκες, σάρωση υπό την ίδια γωνία κ.λπ.



Εικόνα 2.1, Νέφος σημείων (σάρωση) σήραγγας.

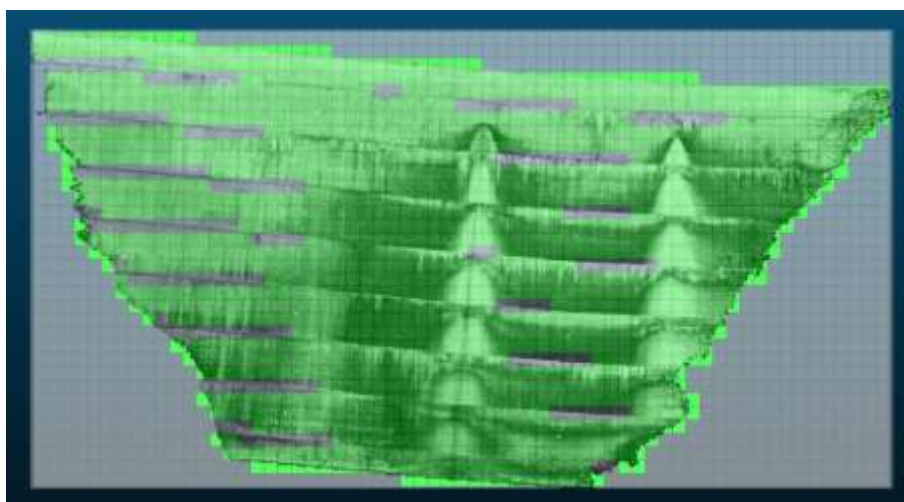


Εικόνα 2.2, Η μαθηματική επιφάνεια (κώνος) και η προσαρμογή πάνω της, του νέφους σημείων.

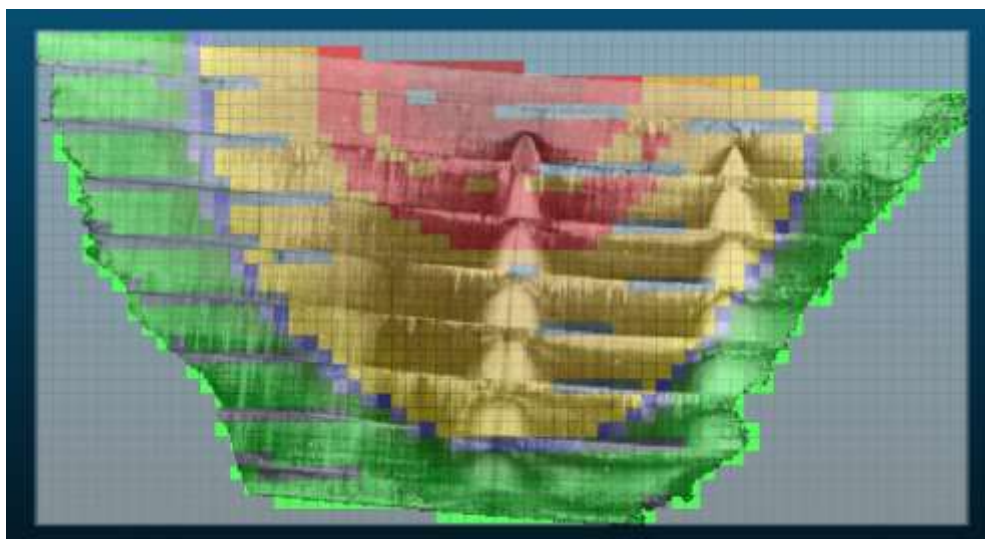


Εικόνα 2.3, Η κάθετη προβολή στο οριζόντιο επίπεδο του νέφους σημείων.

Στην εικόνα 2.1, φαίνεται το αποτέλεσμα της σάρωσης, από τον επίγειο σαρωτή που πραγματοποιήθηκε σε μια κατασκευή. Στην εικόνα 2.2, απεικονίζεται ο κώνος, ο οποίος επιλέχθηκε, ώστε να γίνει η προβολή των σημείων. Με άλλα λόγια, το λογισμικό υπολογίζει κατ' εντολή του χρήστη μια μαθηματική επιφάνεια στο τρισδιάστατο επίπεδο. Επίσης φαίνεται το κέντρο του κυλίνδρου, η ακτίνα του καθώς και το ύψος του, στοιχεία που υπολογίζονται από το ίδιο το λογισμικό. Στην εικόνα 2.3, φαίνεται η κάθετη προβολή του κυλίνδρου με το γκρι χρώμα και του νέφους σημείων με την χρωματική κλίμακα, στο οριζόντιο επίπεδο, μαζί με ένα καννάβο. Τα σημεία, έχουν ταξινομηθεί, στα pixel του καννάβου, με μέγεθος βάσει εντολών που έχει δώσει ο χρήστης δηλαδή χειροκίνητα ή αυτόματα (βέλτιστη λύση που δίνει το πρόγραμμα). Το λογισμικό, κάνει την ταξινόμηση αυτή βάσει της ομοιογένειας των σημείων. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα του φράγματος, όπως είναι γνωστό, η κατασκευή δεν μπορεί να αποτελείται από μια λεία επιφάνεια αλλά μπορεί να έχει πολλές αυλακώσεις ή ακόμα και μικρές ακμές. Το λογισμικό, είναι σε θέση να αναγνωρίζει ποια σημεία ανήκουν σε (όσο γίνεται) ομοιογενείς επιφάνειες και ποια σε ανομοιογενείς. Αυτό γίνεται μέσω του υπολογισμού της απόστασης των σημείων από τον κύλινδρο, στο επίπεδο. Ουσιαστικά η χρωματική κλίμακα, δείχνει τα κελιά, που αποτελούνται από μια ομάδα σημείων που έχουν σχεδόν την ίδια απόσταση από τον κύλινδρο. Σε κάθε κελί, του καννάβου, έχει υπολογιστεί η μέση απόσταση των σημείων με την οποία έχει γίνει η ταξινόμηση ανά pixel καθώς και η τυπική απόκλιση όπου αποτελεί ένα πολύ σημαντικό στατιστικό στοιχείο που θα αναλυθεί παρακάτω. Επομένως, βάσει της απόστασης, γίνονται κατανοητά, τα επίπεδα διαφορετικού ύψους που μπορεί να έχει μια επιφάνεια.



Εικόνα 2.4, Η σάρωση της χρονικής στιγμής t_1 , ως επιφάνεια αναφοράς $(0,0)$.



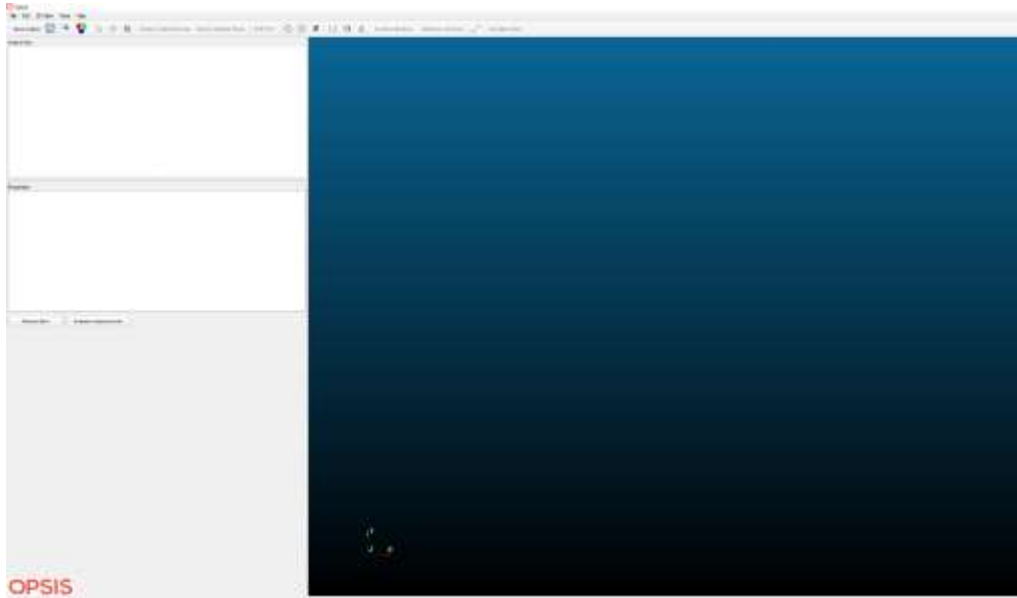
Εικόνα 2.5, Η σάρωση της χρονικής στιγμής t_2 , σε σύγκριση με την επιφάνεια αναφοράς.

Στη συνέχεια, η σάρωση ως αποτέλεσμα πρώτης χρονικής στιγμής t_1 , γίνεται επιφάνεια αναφοράς δηλαδή όλα τα σημεία έχουν $H=0$. (Εικόνα 2.4). Δηλαδή, τα σημεία έχουν γίνει ταυτόσημα, με την επιφάνεια του κυλίνδρου. Με βάση αυτήν την επιφάνεια, θα γίνει η σύγκριση των μελλοντικών σαρώσεων για να μελετηθούν μικρομετακινήσεις. Στην εικόνα 2.5, απεικονίζεται η σάρωση, της χρονικής στιγμής t_2 , όπου έχει γίνει η σύγκριση με την επιφάνεια αναφοράς t_1 . Φαίνεται με το κόκκινο και κίτρινο χρώμα, οι μετακινήσεις που έχουν γίνει ανάμεσα στις δυο χρονικές στιγμές. Ουσιαστικά, ως μικρομετακίνηση, το λογισμικό ορίζει την μέση απόσταση των σημείων που έχει υπολογίσει σε κάθε κελί, μεταξύ των δυο χρονικών στιγμών. Τέλος, με το γκρι χρώμα, είναι οι περιοχές του φράγματος που ο σαρωτής δεν μπόρεσε να πάρει σημεία, για λόγους που θα αναλυθούν σε επόμενο κεφάλαιο.

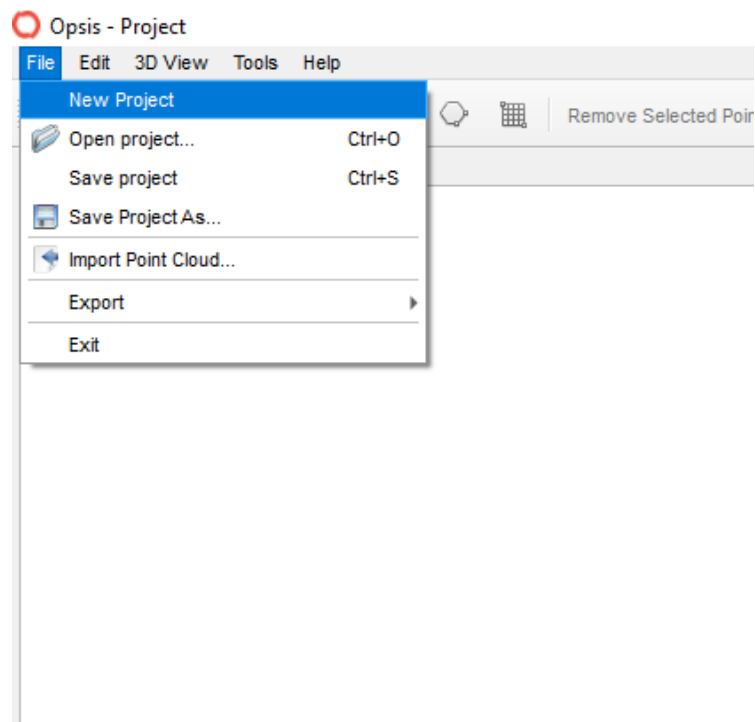
2.3 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΕΝΤΟΛΩΝ

Για να γίνει πιο κατανοητός, ο τρόπος λειτουργίας του λογισμικού, θα παρουσιαστούν το περιβάλλον (Εικόνα 2.6) του καθώς και οι εντολές που εισάγει ο χρήστης και το πόσο σημαντικές είναι για την εξαγωγή του αποτελέσματος. Η ποιότητα του αποτελέσματος και η ζητούμενη

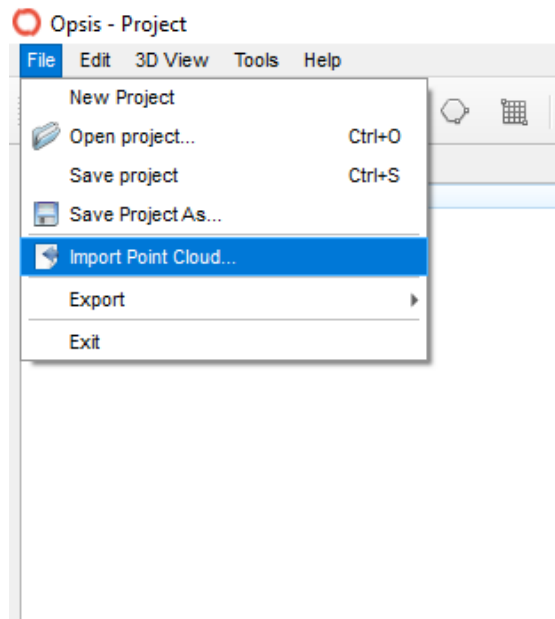
ακρίβεια, εξαρτάται από τις απαιτήσεις του χρήστη. Οι εντολές, θα παρουσιαστούν ακολουθώντας τα βήματα που απαιτούνται.



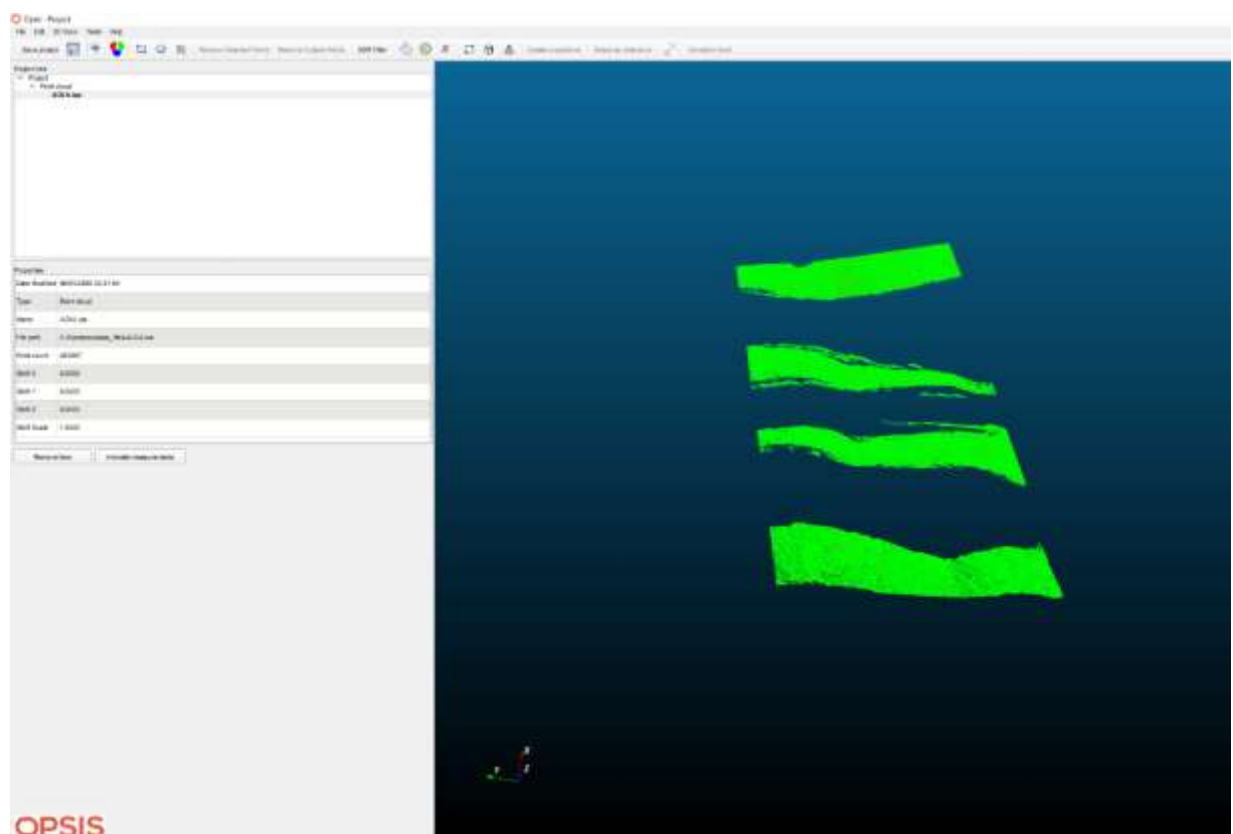
Εικόνα 2.6, Το περιβάλλον του λογισμικού Opsis.



Εικόνα 2.7, Η εισαγωγή νέου Project, στο λογισμικό.



Εικόνα 2.8, Η εισαγωγή νέφους σημείων, στο λογισμικό.



Εικόνα 2.9, Το αποτέλεσμα της σάρωσης (νέφος σημείων), στο περιβάλλον του λογισμικού.

Ξεκινώντας, πρέπει να οριστεί μια νέα εργασία (Project). Αυτό γίνεται με την εντολή File -> New Project (Εικόνα 2.7). Στη συνέχεια, εισάγεται το σκανάρισμα του νέφους σημείων της πρώτης χρονικής εποχής, με την εντολή File-> Import Point Cloud (Εικόνα 2.8). Εφόσον έχει εισαχθεί, φαίνεται το αποτέλεσμα του σκαναρίσματος, στο περιβάλλον του λογισμικού, σε τρεις διαστάσεις (3D), σε συντεταγμένες που έχουν υπολογιστεί στον σαρωτή. Αριστερά, στον πίνακα Properties, φαίνονται πληροφορίες που αφορούν το αρχείο του νέφους σημείων. (Εικόνα 2.9). Έπειτα, αναλόγως την εργασία που θέλει να επιτύχει ο χρήστης, το λογισμικό δίνει μια σειρά από εντολές που φαίνεται στην σειρά εντολών που φαίνεται στην πάνω πλευρά του περιβάλλοντος του λογισμικού (Εικόνα 2.10). Το επόμενο βήμα στην διαδικασία, είναι η επιλογή του γεωμετρικού σχήματος που θα προσαρμοστεί καλύτερα στο είδος της κατασκευής ή έργου που έχει σαρωθεί. Στις εντολές του λογισμικού, φαίνονται στην δεξιά πλευρά τρία γεωμετρικά σχήματα τα οποία είναι κατά σειρά: Επίπεδο, Κύλινδρος και Κώνος. Με την επιλογή της επιφάνειας, ανοίγει αυτόματα ένα παράθυρο του λογισμικού, με την ονομασία Template Creation Dialog (Εικόνα 2.11), όπου εκεί εισάγονται οι παράμετροι τις οποίες επιθυμεί ο χρήστης βάσει της ακρίβειας και του αποτελέσματος του επιθυμητού εξαγωγίμου προϊόντος.

Στο παράθυρο διακρίνονται:

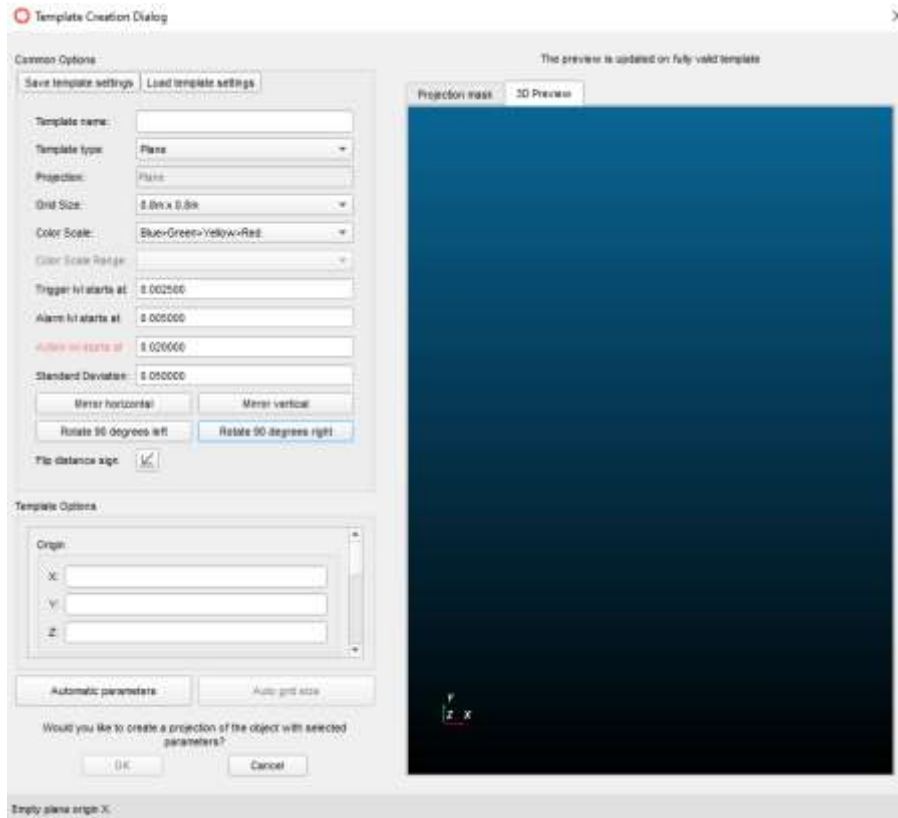
- Template name: Το όνομα του σχήματος.
- Template type: Το γεωμετρικό σχήμα που επιθυμεί ο χρήστης.
- Grid Size: Το μέγεθος του στοιχείου, του καννάβου.
- Color Scale: Η χρωματική κλίμακα των στοιχείων. Υπάρχουν διάφορες επιλογές.
- Trigger lvl starts at: Ο χρήστης εισάγει την απόσταση μικρομετακίνησης που επιθυμεί ώστε το πρόγραμμα να απεικονίσει την πρώτη φάση επικινδυνότητας, στο μέρος της κατασκευής που έχει εντοπιστεί η αστοχία.
- Alarm lvl starts at: Ο χρήστης εισάγει την απόσταση μικρομετακίνησης που επιθυμεί ώστε το πρόγραμμα να απεικονίσει την δεύτερη φάση επικινδυνότητας (φάση συναγερμού), στο μέρος της κατασκευής που έχει εντοπιστεί η αστοχία.
- Action lvl starts at: Ο χρήστης εισάγει την απόσταση μικρομετακίνησης που επιθυμεί ώστε το πρόγραμμα να απεικονίσει πλέον την λήψη άμεσων μέτρων, στο μέρος της κατασκευής που έχει εντοπιστεί η αστοχία και να αντιμετωπιστεί.
- Standard Deviation: Εισάγεται η τυπική απόκλιση με την οποία το πρόγραμμα ταξινομεί τα σημεία στον κάνναβο, όπως έχει

προαναφερθεί. Σημειώνεται ότι, όσο μικρότερη τυπική απόκλιση τόσο καλύτερη ταξινόμηση των pixel θα υπάρχει και όσο μεγαλύτερη, το αποτέλεσμα θα γίνει χειρότερο. Αυτό γίνεται διότι, το πρόγραμμα θα ταξινομήσει κι άλλα σημεία τα οποία η απόσταση τους από το γεωμετρικό Εικόνα δεν θα είναι κοντινή με τα περισσότερα από το υπόλοιπα, επομένως το αποτέλεσμα δεν θα είναι καλό.

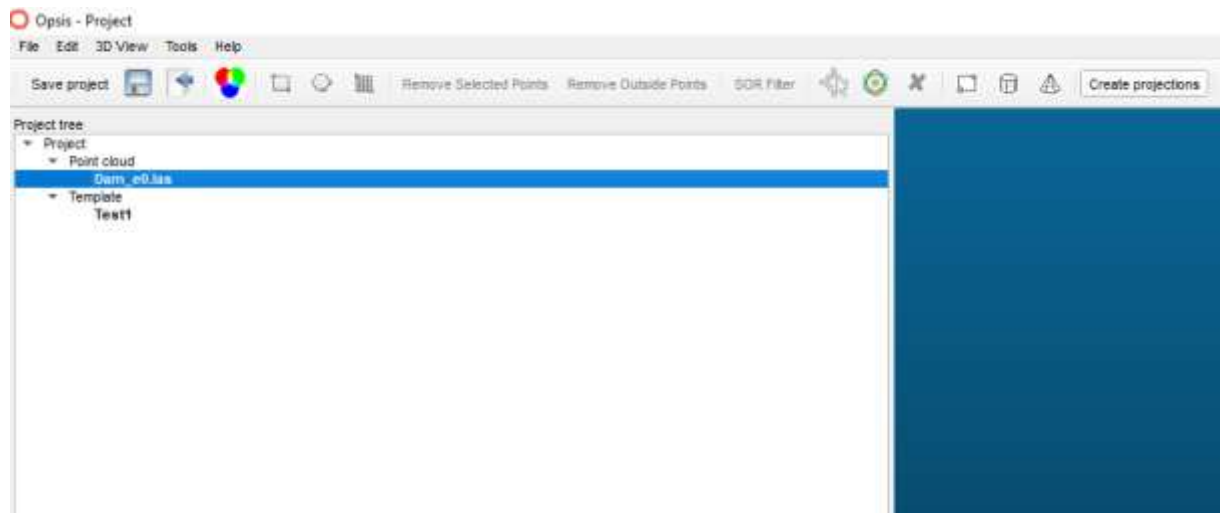
- Template Options: Εδώ, απεικονίζονται οι συντεταγμένες σημαντικών σημείων που αφορούν τα γεωμετρικά σχήματα που έχουν επιλεγθεί. Για παράδειγμα στον κύλινδρο, δείχνει τις τρισδιάστατες συντεταγμένες του κέντρου του, της ακτίνας και το ύψος του κυλίνδρου. Οι συντεταγμένες αυτές, έχουν υπολογιστεί από το σύστημα συντεταγμένων που έχει οριστεί στον σαρωτή.
- Automatic parameters: Με το πάτημα αυτής της εντολής, το λογισμικό, υπολογίζει τις βέλτιστες παραμέτρους, βάσει του σκαναρίσματος και του γεωμετρικού σχήματος που έχει επιλεγθεί, χωρίς να χάνει χρόνο ο χρήστης, στην επιλογή τους. Υπολογίζονται αυτόματα σημαντικές πληροφορίες, όπως το μέγεθος του στοιχείου του καννάβου, η τυπική απόκλιση κ.α.



Εικόνα 2.10, Η μπάρα εντολών του λογισμικού Opsis.

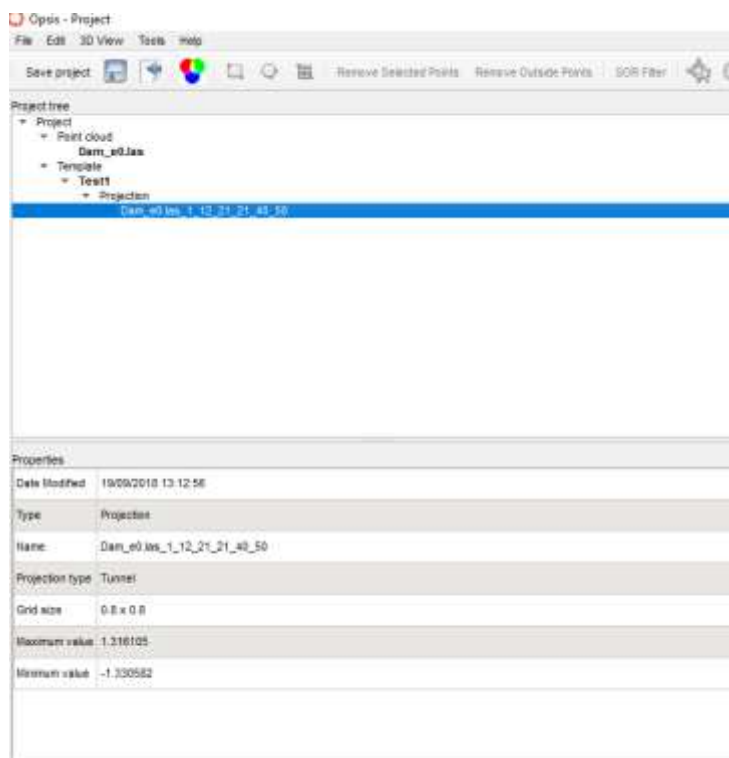


Εικόνα 2.11, Το παράθυρο με τις παραμέτρους της μαθηματικής επιφάνειας.



Εικόνα 2.12, Οι εντολές για την κατασκευή της κάθετης προβολής των σημείων, στην μαθηματική επιφάνεια

Τελικά, στο παράθυρο αριστερά του Project (Project Tree), έχει απεικονιστεί, το Template -> Template Name δηλαδή το όνομα της επιφάνειας που εργάζεται ο χρήστης. Στη συνέχεια γίνεται η κάθετη προβολή στην μαθηματική επιφάνεια, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.5 , έχοντας επιλεγμένο το αρχείο των μετρήσεων και πατώντας το Create projections (Εικόνα 2.12).



Εικόνα 2.13, Ο πίνακας με τις πληροφορίες της προβολής.

Στην εικόνα 2.13, στον πίνακα Properties, καταγράφονται οι πληροφορίες που αφορούν την προβολή που έχει πραγματοποιηθεί των σημείων από τον σαρωτή, στην μαθηματική επιφάνεια που έχει επιλεγθεί (Projection Type). Διακρίνεται το grid size (μέγεθος στοιχείου), Maximum & Minimum Value, είναι τα στοιχεία του καννάβου που περιέχουν τα σημεία με την μεγαλύτερη και μικρότερη απόσταση από την επιφάνεια αναφοράς. Στην συνέχεια, η προβολή αυτή πρέπει να οριστεί ως επιφάνεια αναφοράς ή καλύτερα, ως αφετηρία των μετρήσεων (Εικόνα 2.5). Έτσι δίνεται η δυνατότητα, να εισαχθούν όσα αρχεία μετρήσεων θέλει ο χρήστης και να γίνει η σύγκριση μεταξύ των χρονικών περιόδων.



Εικόνα 2.14, Η εισαγωγή του επόμενου αρχείου μετρήσεων και η προβολή του στο επίπεδο.



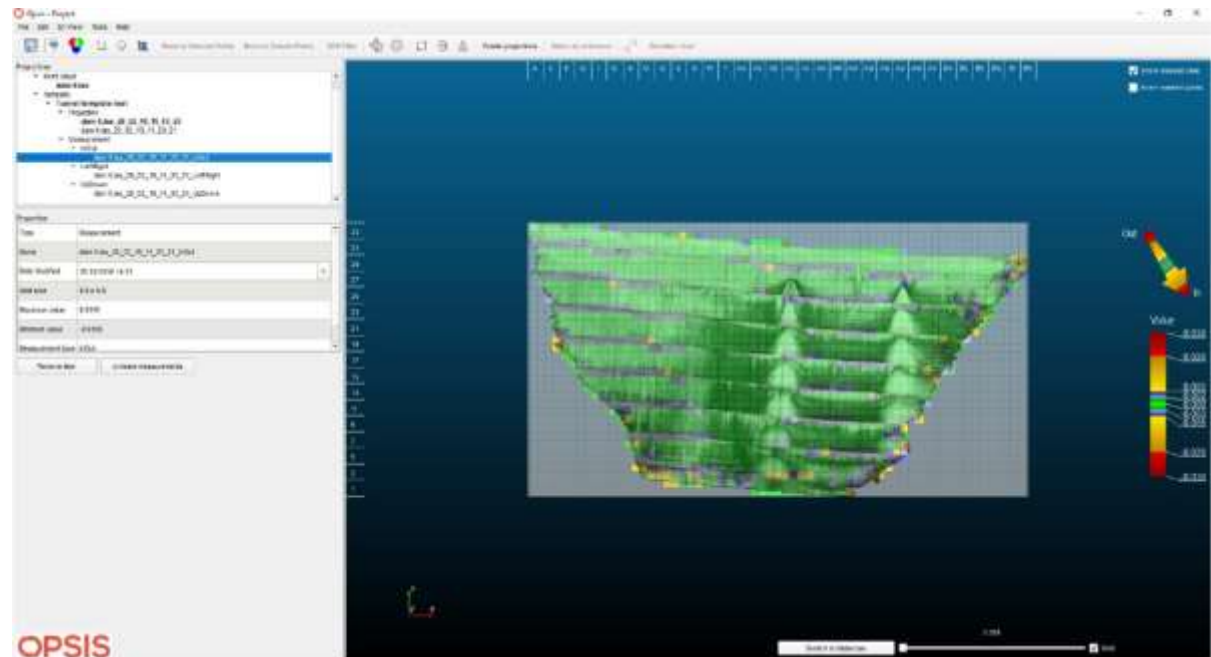
Εικόνα 2.15, Το παράθυρο επιλογής του είδους της μικρομετακίνησης που επιθυμείται.

Στην εικόνα 2.14, έχει εισαχθεί και το δεύτερο αρχείο μετρήσεων (dam0_Yshifted0.las). Έχοντας το επιλεγμένο, με την επιλογή στην μπάρα του λογισμικού Create Measurements, γίνεται επιλογή του είδους της μετακίνησης που επιθυμείται να μελετηθεί (Εικόνα 2.15):

- In-Out: Οι κάθετες μετακινήσεις
- Left-Right: Οι οριζόντιες (αριστερά – δεξιά) μετακινήσεις
- Up-Down: Οι κατακόρυφες μετακινήσεις

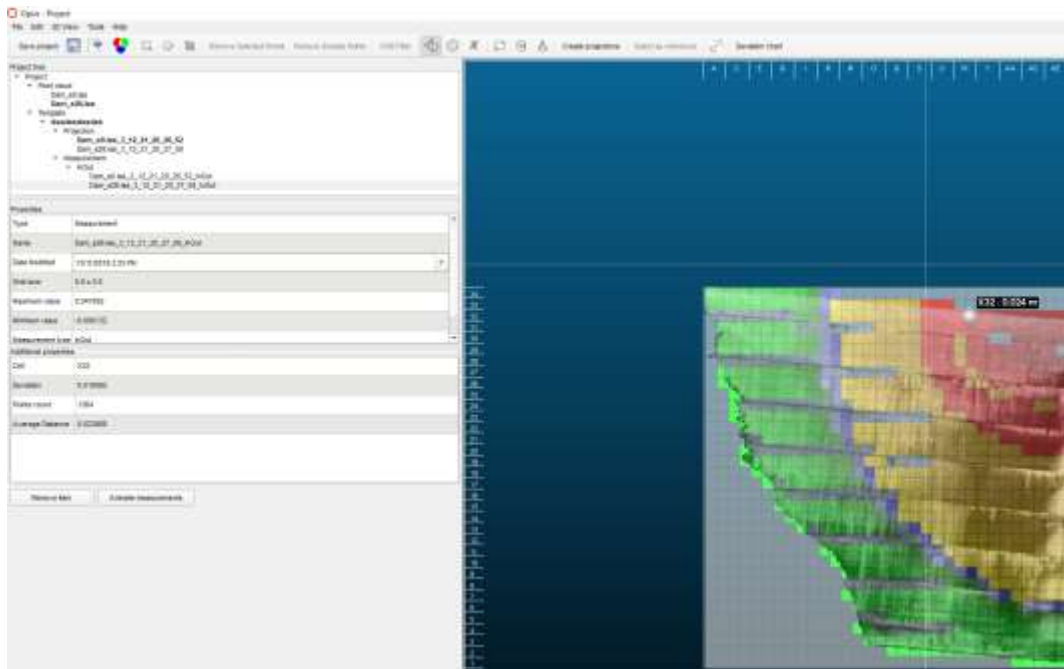
Πιο εύκολα, εντοπίζονται οι κάθετες μετακινήσεις παρά οι υπόλοιπες. Οι οριζόντιες και οι κατακόρυφες μετακινήσεις, υπολογίζονται μέσω ενός διανύσματος κίνησης που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα. Οι μετακινήσεις

αυτές θα αναλυθούν παρακάτω. Τέλος, ο χρήστης είναι έτοιμος να εντοπίσει μετακινήσεις στην κατασκευή.

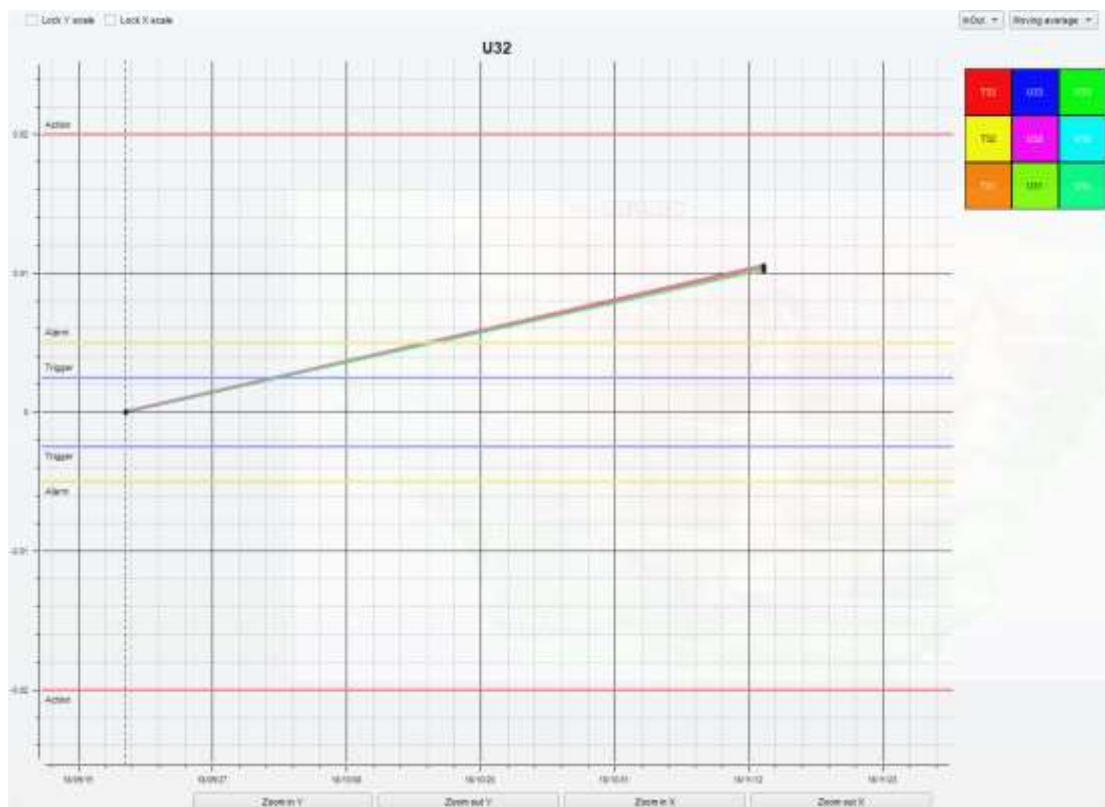


Εικόνα 2.16, Το τελικό αποτέλεσμα της σύγκρισης των αρχείων μετρήσεων

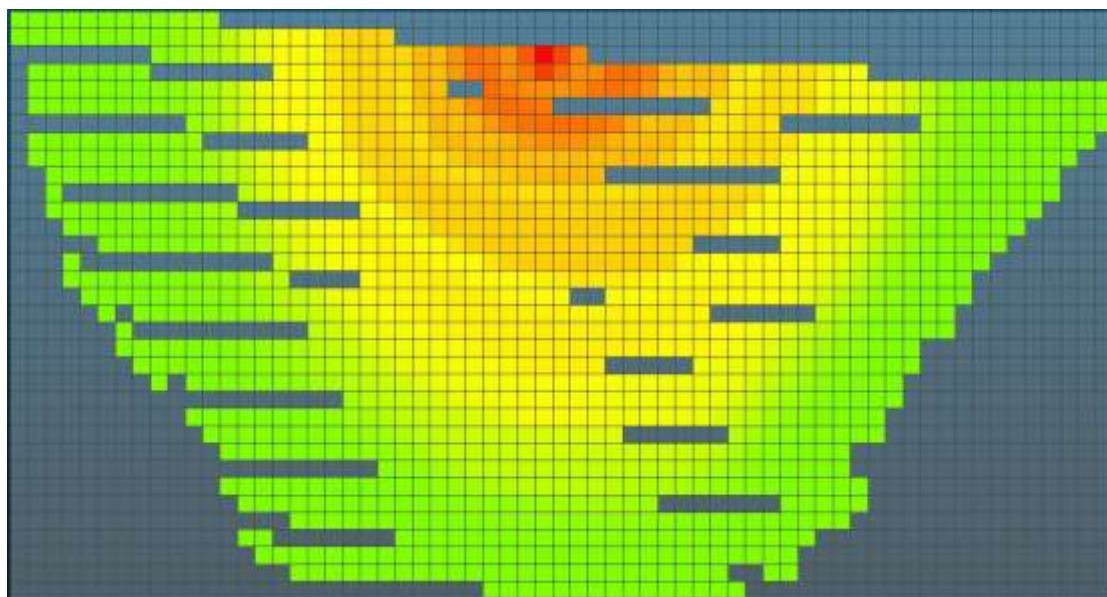
Στην Εικόνα 2.16, φαίνονται οι τυχόν μετακινήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί μεταξύ δυο χρονικών στιγμών. Με πράσινο χρώμα φαίνεται, ότι στις περιοχές αυτές, δεν υπάρχει ή υπάρχει ελάχιστη μετακίνηση ενώ με το κίτρινο ότι υπάρχει μετακίνηση της τάξεως αρκετών χιλιοστών ή και εκατοστών. Στην συνέχεια, είναι δυνατή η οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων, με την κατασκευή διαγράμματος ή με την προβολή στο πρόγραμμα της με οπτικό στιγμιότυπο.



Εικόνα 2.17, Επιλογή ενός στοιχείου του καννάβου και οι πληροφορίες που το συνοδεύουν.



Διάγραμμα 2.1, Η γραφική αναπαράσταση της μετακίνησης στο στοιχείο U32.



Εικόνα 2.18, Το οπτικό στιγμιότυπο που δείχνει τις μετακινήσεις που έχουν γίνει στην δεύτερη εποχή μετρήσεων.

Στην εικόνα 2.17, φαίνεται η επιλογή ενός στοιχείου του καννάβου που βάσει του χρώματος που απεικονίζεται, έχει συμβεί μετακίνηση 2,4 cm μεταξύ των δυο περιόδων μέτρησης. Αυτό γίνεται, με την εντολή Pick distances από την γραμμή εντολών του λογισμικού. Αριστερά, στη στήλη Properties φαίνονται πληροφορίες που αφορούν στο αποτέλεσμα (όπως έχει αναφερθεί και σε άλλο σημείο) καθώς και πρόσθετες πληροφορίες όπως, το όνομα του κελιού (cell name), την τυπική απόκλιση, τον αριθμό των σημείων που αποτελούν το κελί καθώς και τον μέσο όρο των αποστάσεων, δηλαδή ουσιαστικά την μετακίνηση που συνέβη από την πρώτη σάρωση. Στη συνέχεια γίνεται οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων που θα δώσει τη δυνατότητα στο χρήστη για την εξαγωγή των χρήσιμων συμπερασμάτων που θα τον βοηθήσουν ώστε να προτείνει τρόπο αντιμετώπισης και επέμβασης για τυχόν προβλήματα που θα παρουσιαστούν στην κατασκευή. Ο πρώτος τρόπος οπτικοποίησης φαίνεται στο διάγραμμα 2.1. Σε αυτό, φαίνονται οι τρεις φάσεις επικινδυνότητας όπως αυτές ορίστηκαν, στο template dialog που αναλύθηκε πριν στην εικόνα 2.10, πράγμα που βοηθά στη λήψη απόφασης για επέμβαση ή μη στην κατασκευή. Στον άξονα x, βρίσκονται με σωστή χρονολογική σειρά, οι ημερομηνίες που πραγματοποιήθηκαν οι σαρώσεις ενώ στον άξονα y, οι μετατοπίσεις (σε m). Πάνω δεξιά, φαίνεται ένας κύβος με εννιά τετράγωνα, με διαφορετικά χρώματα. Στο κέντρο, είναι το στοιχείο που επιλέχθηκε (U32) ενώ τα υπόλοιπα, είναι τα

γειτονικά του, όπως αυτά φαίνονται στην προβολή. Η πλάγια γραμμή δείχνει την μετακίνηση από την πρώτη σάρωση ως επιφάνεια αναφοράς (0,0) προς τη δεύτερη σάρωση με τιμή 0.024m, με εννέα γραμμές που αντιστοιχούν στα εννέα κελιά που φαίνονται στον κύβο και με το χρώμα που απεικονίζεται εκεί. Στην εικόνα 2.18, φαίνονται οι μετακινήσεις που έχουν γίνει στην κατασκευή, μέσω ενός οπτικού στιγμιότυπου (βίντεο). Αυτό δίνει τη δυνατότητα, να εντοπιστεί η περιοχή όπου έχουν γίνει οι περισσότερες μετακινήσεις και να εστιαστεί η προσοχή του μελετητή εκεί. Ο δεύτερος τρόπος είναι η οπτικοποίηση του αποτελέσματος μέσω στιγμιότυπου (βίντεο) όπου φαίνεται η διαφορά μεταξύ πρώτης και δεύτερης χρονικής φάσης (Εικόνα 2.18). Τέλος, το λογισμικό δίνει την δυνατότητα, της εξαγωγής των αποτελεσμάτων, μέσω πίνακα σε μορφή CSV, όπου τα δεδομένα μορφοποιούνται και επεξεργάζονται μέσω του προγράμματος Windows Office Excel (Πίνακας 2.1).

Cell index	Date	Deviation (\pm m)	Distance (m)	Points count
D,2	16/11/2018 12:25	None	nan	0
E,2	16/11/2018 12:25	None	nan	0
F,2	16/11/2018 12:25	None	nan	0
G,2	16/11/2018 12:25	None	nan	0
H,2	16/11/2018 12:25	None	nan	0
I,2	16/11/2018 12:25	None	nan	0
J,2	16/11/2018 12:25	None	nan	0
K,2	16/11/2018 12:25	None	nan	0
L,2	16/11/2018 12:25	None	nan	0
M,2	16/11/2018 12:25	None	nan	0
N,2	16/11/2018 12:25	None	nan	0
O,2	16/11/2018 12:25	None	nan	0
P,2	16/11/2018 12:25	None	nan	0
Q,2	16/11/2018 12:25	0.013	-3.76E-05	8
R,2	16/11/2018 12:25	0.024	-1.60E-06	100
S,2	16/11/2018 12:25	0.028	-6.43E-07	215
T,2	16/11/2018 12:25	0.027	1.13E-05	334
U,2	16/11/2018 12:25	0.024	-2.91E-05	458
V,2	16/11/2018 12:25	0.022	-6.43E-06	460
W,2	16/11/2018 12:25	0.021	-6.96E-06	657
X,2	16/11/2018 12:25	0.018	1.13E-05	800
Y,2	16/11/2018 12:25	0.020	-1.41E-06	627
Z,2	16/11/2018 12:25	0.016	-3.42E-05	940
AA,2	16/11/2018 12:25	0.014	-1.22E-06	959

AB,2	16/11/2018 12:25	0.013	1.16E-06	1095
AC,2	16/11/2018 12:25	0.011	-3.31E-06	1338
AD,2	16/11/2018 12:25	0.011	1.90E-05	1323
AE,2	16/11/2018 12:25	0.010	3.12E-05	1201
AF,2	16/11/2018 12:25	0.009	1.69E-05	1213
AG,2	16/11/2018 12:25	0.010	1.83E-07	1346
AH,2	16/11/2018 12:25	0.010	-8.56E-06	1348
AI,2	16/11/2018 12:25	0.011	3.03E-06	1342
AJ,2	16/11/2018 12:25	0.013	3.43E-06	1328
AK,2	16/11/2018 12:25	0.015	-1.91E-06	1332
AL,2	16/11/2018 12:25	0.017	-7.02E-07	1228
AM,2	16/11/2018 12:25	0.026	3.12E-06	1079
AN,2	16/11/2018 12:25	0.041	4.42E-06	1196
AO,2	16/11/2018 12:25	0.050	-1.68E-05	934
AP,2	16/11/2018 12:25	0.059	nan	645
AQ,2	16/11/2018 12:25	0.062	nan	327
AR,2	16/11/2018 12:25	0.010	-1.37E-06	23
AS,2	16/11/2018 12:25	0.008	-2.72E-05	23

Πίνακας 2.1, Τα τελικά αποτελέσματα μιας επιλεγμένης περιοχής μελέτης, της κατασκευής.

Οι στήλες του πίνακα είναι οι εξής:

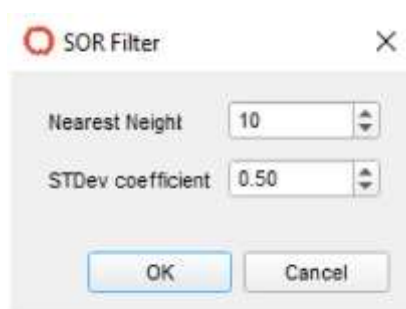
- Cell index: Ονομασία κελιού
- Date: Ημερομηνία σάρωσης
- Deviation: Τυπική απόκλιση
- Distance: Απόσταση (μετακίνηση)
- Points count: Πλήθος σημείων σε κάθε κελί.

2.4 ΠΡΟΣΘΕΤΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ

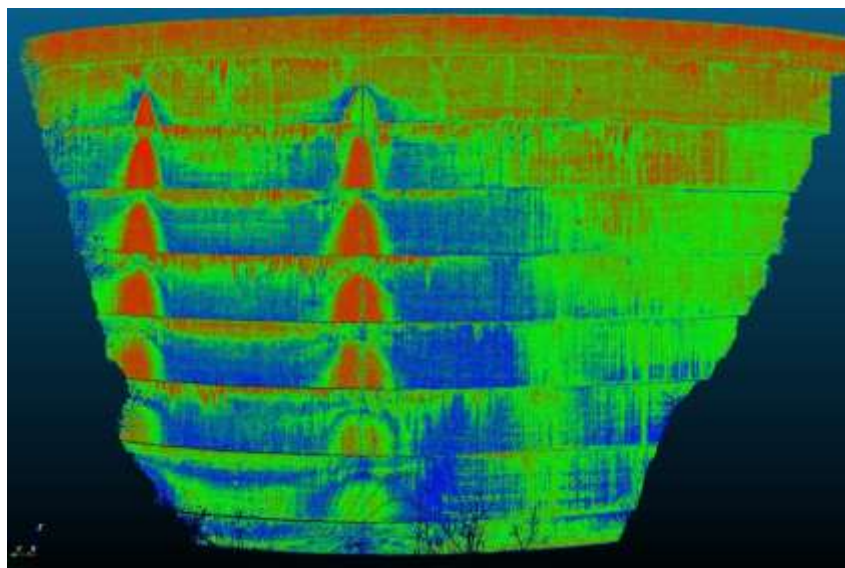
Στο προηγούμενο υποκεφάλαιο, αναλύθηκε η διαδικασία, από την αρχή ως το τέλος, του προσδιορισμού μετακινήσεων μέσω του λογισμικού Orpsis. Υπάρχουν όμως και κάποιες άλλες λειτουργίες, ταυτόχρονες της διαδικασίας που βοηθούν στην εξαγωγή καλύτερου αποτελέσματος ή όπως θα αποδειχθεί, στον προσδιορισμό και άλλων ειδών μετακινήσεων.

2.4.1 SQR FILTER

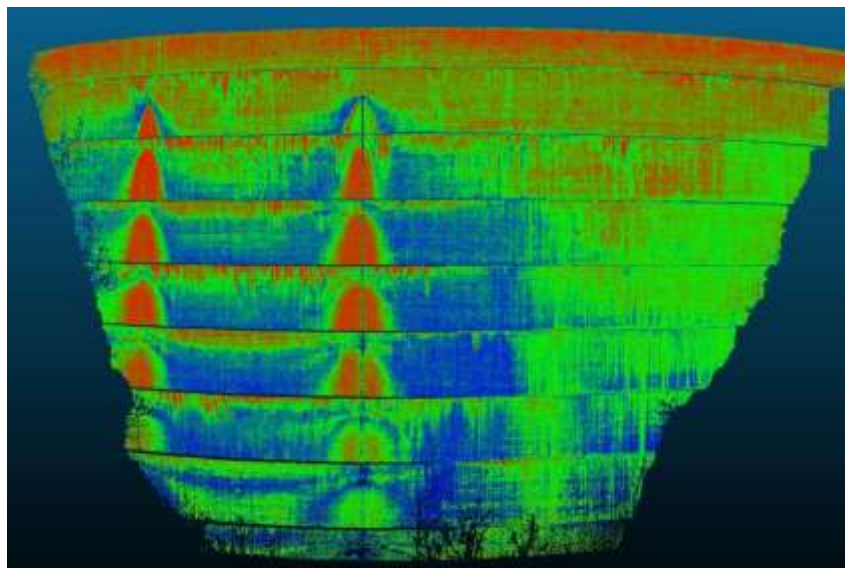
Μία απ' αυτές είναι η απαλοιφή του θορύβου του νέφους σημείων που εξήχθη από τον σαρωτή. Πολλές φορές, ο επίγειος σαρωτής, αποτυπώνει και περιττά σημεία, τα οποία σε πολλές περιπτώσεις, χρησιμεύουν στην καταγραφή όλης της απαραίτητης πληροφορίας για την κατασκευή. Όμως, το λογισμικό, παρέχει τη δυνατότητα εξάλειψης αυτών των σημείων που τελικά δεν θα χρησιμοποιηθούν και αποτελούν άχρηστη πληροφορία και που μπορεί να έχουν προέλθει από πολλούς παράγοντες: Τα σφάλματα της σάρωσης-αποτύπωσης και του σαρωτή, της ποιότητα του σκαναρίσματος, όταν υπάρχει βλάστηση ή κάθε είδους φυσικών και τεχνητών εμποδίων. Αυτό γίνεται με την εντολή SQR Filter, από την γραμμή εντολών του προγράμματος. Στην εικόνα 2.19, φαίνεται το παράθυρο της εντολής, με τις παραμέτρους τις και στις εικόνες 2.20 και 2.21, φαίνεται η διαφορά στην σάρωση της κατασκευής, μετά από την απαλοιφή των περιττών σημείων.



Εικόνα 2.19, Η εντολή SQR Filter, για την απαλοιφή του θορύβου.



Εικόνα 2.20, Η σάρωση πριν την απαλοιφή του θορύβου.

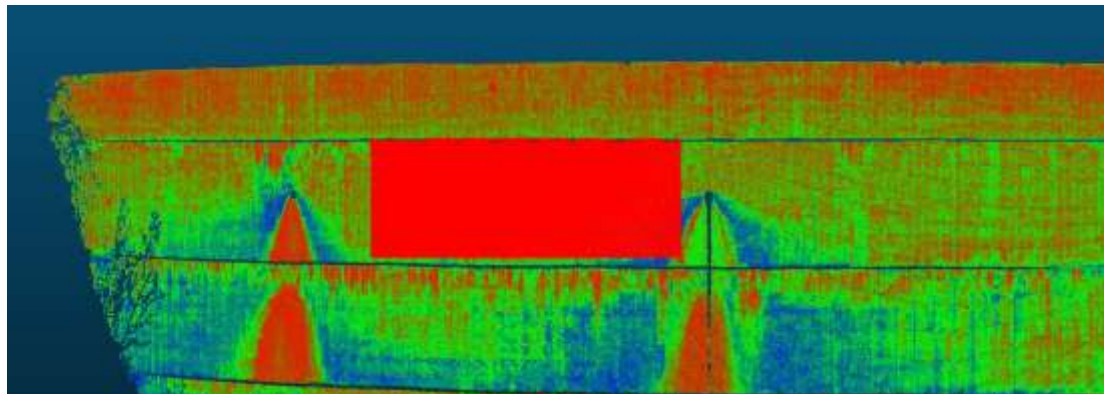


Εικόνα 2.21, Η σάρωση μετά την απαλοιφή του θορύβου.

2.4.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΣΑΡΩΣΗΣ

Μία άλλη λειτουργία, είναι η επιλογή μιας συγκεκριμένης περιοχής της σάρωσης, για να αναλυθούν τυχόν μικρομετακινήσεις. Είναι ένα χρήσιμο εργαλείο διότι μ' αυτόν τον τρόπο, εστιάζεται η προσοχή του μελετητή, μπορεί να εξαχθεί καλύτερο αποτέλεσμα και το αντίστοιχο συμπέρασμα, απ' ό,τι στην περίπτωση που θα έπρεπε να γίνει η ανάλυση για όλη την κατασκευή. Στην μπάρα εντολών, υπάρχει η εντολή *Select Points*. Πατώντας, δίνεται η δυνατότητα της επιλογής μιας μικρής περιοχής της κατασκευής. Η επιλογή φαίνεται στην εικόνα 2.22, με το κόκκινο χρώμα.

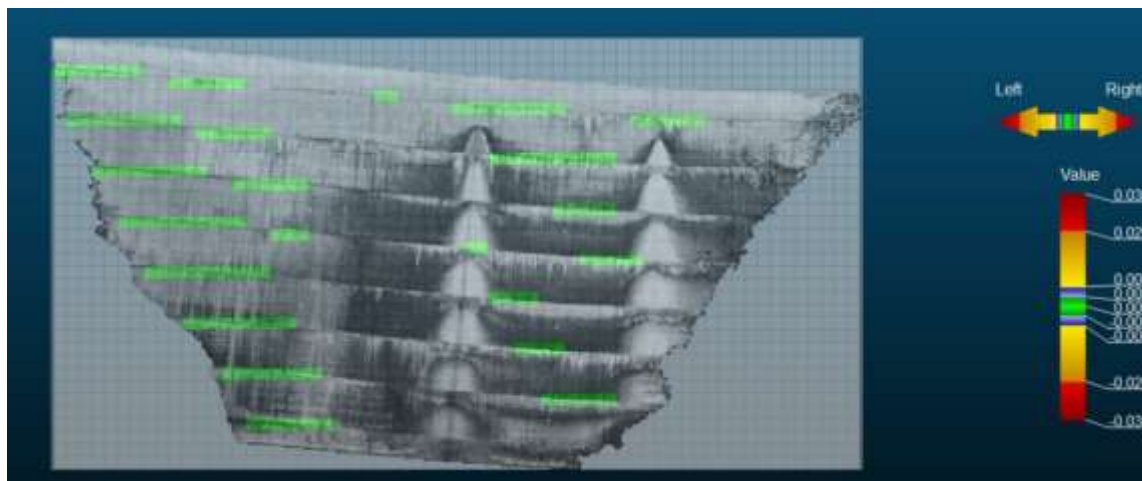
Στην συνέχεια ακολουθείται, η γνωστή διαδικασία για την εύρεση τυχόν μετακινήσεων.



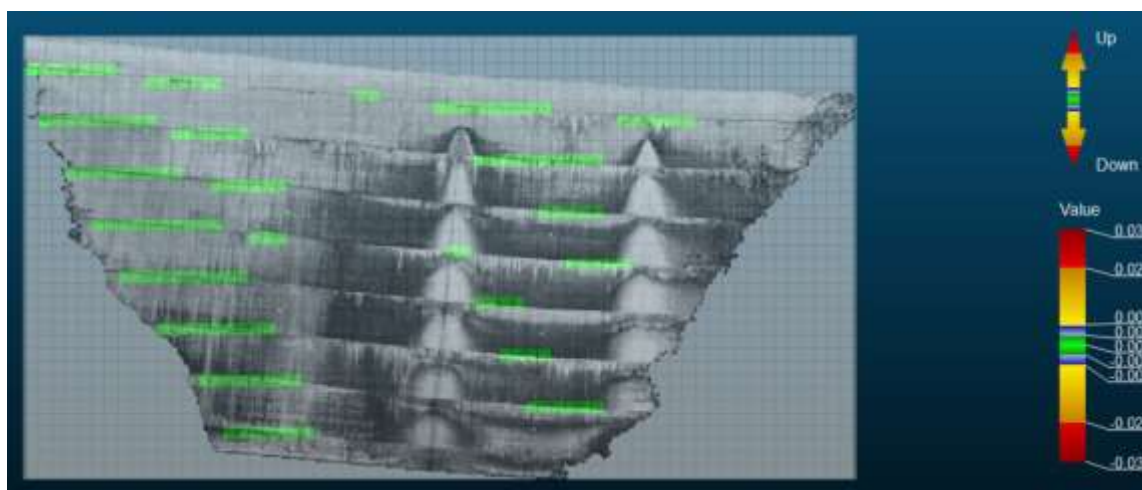
Εικόνα 2.22, Η επιλογή συγκεκριμένου τμήματος της κατασκευής.

2.4.3 ΠΡΟΣΔΙΟΡΣΜΟΣ ΑΛΛΩΝ ΕΙΔΩΝ ΜΙΚΡΟΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ

Προηγουμένως, στο υποκεφάλαιο 2.3, αναλύθηκαν οι εντολές και η διαδικασία προσδιορισμού μικρομετακινήσεων, όσο αφορά την κάθετη μετακίνηση (In-Out). Αυτό έγινε διότι όπως είναι γνωστό, ο σαρωτής σαρώνει την κατασκευή, στέλνοντας κάθετες δέσμες προς την κατασκευή. Από την φύση της, από την διαδικασία αυτή, είναι πιο εύκολο να αναγνωριστούν μετακινήσεις που αφορούν τις κάθετες. Όμως το λογισμικό δίνει την δυνατότητα να εντοπιστούν και άλλους είδους μετακινήσεις, όπως αναφέρθηκαν και πιο πριν, οι οριζόντιες μετακινήσεις (Left-Right) και οι κατακόρυφες (Up-Down). Τέτοιες μετακινήσεις, δεν μπορούν να εντοπιστούν σε λείες και ομοιόμορφες επιφάνειες αλλά σε τραχιές επιφάνειες, με διαφορετικά επίπεδα ή σε περιοχές ακμών, γωνιών κ.τ.λ.π. Ειδικότερα, λόγω των διαφορετικών αποστάσεων των σημείων που καταγράφει ο σαρωτής μεταξύ των δυο περιόδων στις επίμαχες αυτές περιοχές, δεν μπορεί να υπολογίσει κάθετες μετατοπίσεις και αντίστοιχα, στις υπόλοιπες περιοχές, δεν μπορεί να εντοπίσει οριζόντιες ή κατακόρυφες, λόγω ίδιων κατά προσέγγιση αποστάσεων. Σε γενικές γραμμές, το λογισμικό, για να μπορέσει να τις προσδιορίσει, στις συγκεκριμένες περιοχές, χρησιμοποιεί διανύσματα μετακίνησης, ώστε να πραγματοποιηθεί η σύγκριση.



Εικόνα 2.23, Παράδειγμα οριζοντίων μετακινήσεων.



Εικόνα 2.24, Παράδειγμα κατακόρυφων μετακινήσεων.

Στις εικόνες 2.23 & 2.24, φαίνονται τα παραδείγματα οριζόντιων και κατακόρυφων μετακινήσεων. Μάλιστα, απεικονίζονται λίγες περιοχές της κατασκευής (πράσινο χρώμα) όπου ήταν δυνατό να εντοπιστούν μετακινήσεις. Αυτές αφορούν περιοχές, όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενο σελίδα, ακμών-γωνιών που σχηματίζονται στην κατασκευή ή τραχιών επιφανειών και επίσης παρατηρείται ότι είναι απειροελάχιστες σε έκταση. Επομένως τα υπόλοιπα σημεία που φαίνονται με το γκρι χρώμα, είναι οι περιοχές λείων επιφανειών ή επιφανειών που προσεγγίζουν σε μεγάλο βαθμό, το επίπεδο. Άρα, αν παρατηρήσει κανείς τις εικόνες 2.4 και 2.5 και τις συγκρίνει με τις αντίστοιχες 2.23 & 2.24, θα συμπεράνει ότι στις δυο πρώτες έχει γίνει σύγκριση για τα κελιά που στις δυο τελευταίες εικόνες, δεν έχει γίνει.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ
ΕΙΣΑΓΩΓΗ & ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ –
ΕΞΑΓΩΓΗ & ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

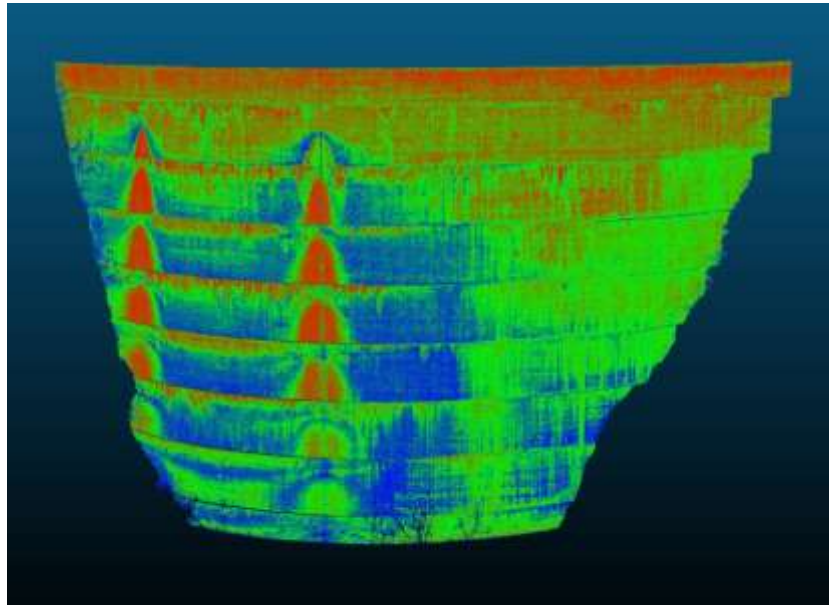
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως έχει αναφερθεί, μικρομετακινήσεις παρατηρούνται σε κάθε είδους κατασκευή ή τεχνικό έργο αλλά ακόμα και σε φυσικούς σχηματισμούς υπό την επίδραση δυνάμεων που επιδρούν σε αυτά. Στην συνέχεια της εργασίας, θα παρουσιαστούν διάφορες τέτοιες περιπτώσεις που αφορούν κατασκευές ευρείας κλίμακας όπως φράγματα & σήραγγες αλλά και φυσικώς σχηματισμένα, όπως πρηνή κ.α. Ουσιαστικά, θα ακολουθηθούν τα βήματα που απαιτεί το λογισμικό για τον προσδιορισμό τυχόν μικρομετακινήσεων, θα εξαχθούν συμπεράσματα και θα προταθούν τρόποι ενίσχυσης και επέμβασης των κατασκευών, στο πλαίσιο της ίδιας της μελέτης που θα συντάσσονταν, για την πραγματοποίηση της απαιτούμενης εργασίας. Κάθε περίπτωση έχει τις δικές τις ιδιομορφίες και χρειάζεται προσοχή σε ότι αφορά την εισαγωγή των παραμέτρων, την επιλογή της μαθηματικής επιφάνειας και προφανώς στα χαρακτηριστικά της ίδιας της κατασκευής, από την φύση της. Σε πρώτη φάση, θα εισαχθούν και θα αναλυθούν τα δεδομένα (σάρωση από Laser Scanner) στο λογισμικό Opsis.

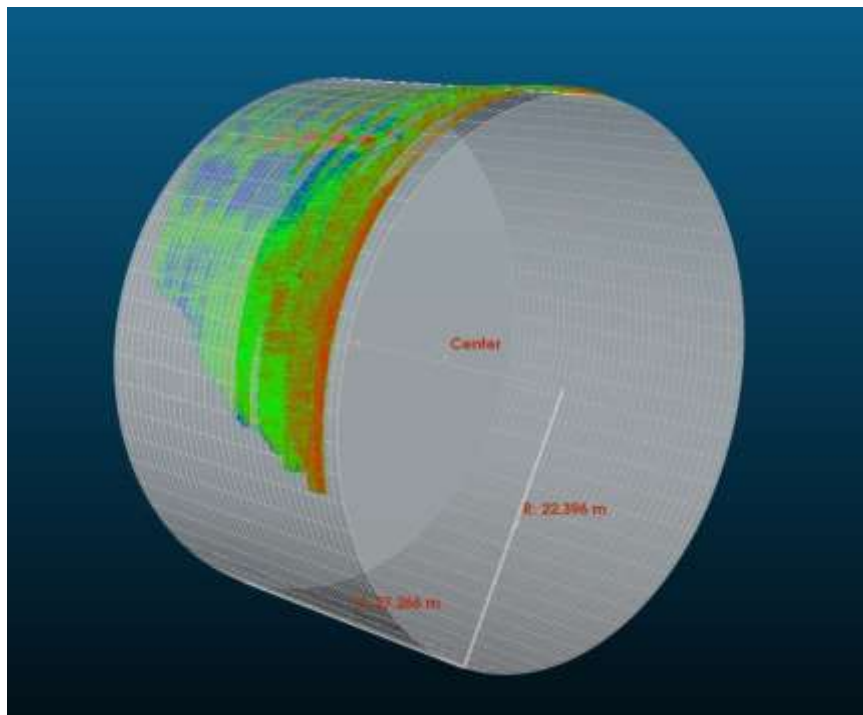
3.2 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 1: ΤΟ ΦΡΑΓΜΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΑΤΚΑ, ΣΚΟΠΙΑ

Η κατασκευή ενός φράγματος, αποτελεί μια ιδιαίτερη, πολύπλοκη και ενδιαφέρουσα περίπτωση. Χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή λόγω της σοβαρότητας και των λόγων για τους οποίους κατασκευάζεται: Συγκρατεί τα ύδατα που μεταφέρει ένας ποταμός σε μια συγκεκριμένη περιοχή, συνήθως ενός σημαντικού υψομέτρου και η συγκέντρωση αυτή του νερού, χρησιμοποιείται από τον ανθρώπινο παράγοντα, για άρδευση, για παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, μέσω ηλεκτρογεννητριών, για την συγκράτηση νερού ιδίως τους φθινοπωρινούς & χειμερινούς μήνες προς αποφυγή πλημμυρών και κάθε είδους καταστροφών κ.α. Επομένως είναι σημαντική η κινηματική παρακολούθηση της κατασκευής, ιδίως στην επιφάνεια του φράγματος, για να προληφθούν μέτρα αντιμετώπισης και επέμβασης, σε περιοχές της επιφάνειας που τείνουν να αστοχήσουν, υπό την επίδραση της πίεσης που ασκεί το νερό στο φράγμα. Άρα, αναμένεται λόγω της φύσης της κατασκευής, το πάνω μέρος του φράγματος, να δεχτεί την περισσότερη πίεση, καθώς εκεί υπάρχει το νερό

που ασκεί αυτήν την πίεση. Μια τέτοια περίπτωση, είναι η περίπτωση του φράγματος που βρίσκεται στα Σκόπια, στην περιοχή Μάτκα. Μένει, λοιπόν, να αποδειχθεί αυτό, με την εξαγωγή των αποτελεσμάτων που θα πραγματοποιηθεί.

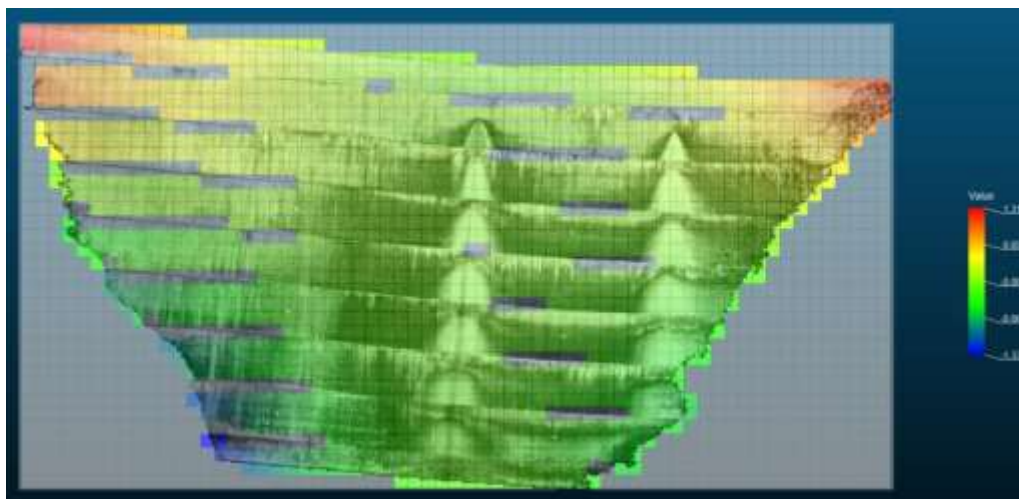


Εικόνα 3.1, Το φράγμα, αποτελούμενο από το νέφος σημείων.



Εικόνα 3.2, Η μαθηματική επιφάνεια (κύλινδρος) και το νέφος σημείων.

Στην εικόνα 3.1, φαίνεται το αποτέλεσμα της σάρωσης του επίγειου σαρωτή που έγινε στην πρώτη χρονική στιγμή t_1 . Όπως έχει προαναφερθεί, η χρωματική κλίμακα αναφέρεται στην απόσταση των σημείων από τον σαρωτή, η οποία έχει υπολογιστεί από ένα σύστημα συντεταγμένων που έχει υπολογιστεί από τον σαρωτή: Από το κόκκινο στο μπλε, είναι αντίστοιχα η μικρότερη στην μεγαλύτερη απόσταση, δηλαδή έχοντας ορίσει υποθετικά ένα σημείο 0,0 στο φράγμα, τα σημεία με το κόκκινο & κίτρινο χρώμα έχουν μεγαλύτερες αποστάσεις από αυτό και επομένως μικρότερες από τον σαρωτή. Αυτό πρακτικά σημαίνει, ότι αυτές είναι περιοχές που μπορεί η επιφάνεια να μην είναι λεία, δηλαδή να είναι τραχιά και να έχει εξογκώματα. Ακριβώς αντίστροφα είναι τα σημεία προς το μπλε χρώμα: μικρή απόσταση από το 0,0 σημείο και μεγαλύτερες από τον σαρωτή. Αυτές είναι περιοχές λείας επιφάνειας ή περιοχές που εισέρχονται έστω και λίγο, κάθετα προς την κατασκευή. Στην εικόνα 3.2, έχει γίνει η επιλογή της μαθηματικής επιφάνειας που τα σημεία θα προβληθούν κάθετα σε αυτήν. Επιλέχθηκε ο κύλινδρος γιατί το σχήμα του, προσαρμόζεται καλύτερα από τα υπόλοιπα, όμως θα μπορούσε να επιλεγεί και ο κώνος, όμως για την εξαγωγή καλύτερων αποτελεσμάτων, επιλέχθηκε ο πρώτος. Επίσης φαίνεται, ο υπολογισμός του κέντρου του κυλίνδρου, του ύψους του (H) καθώς και η ακτίνα του.

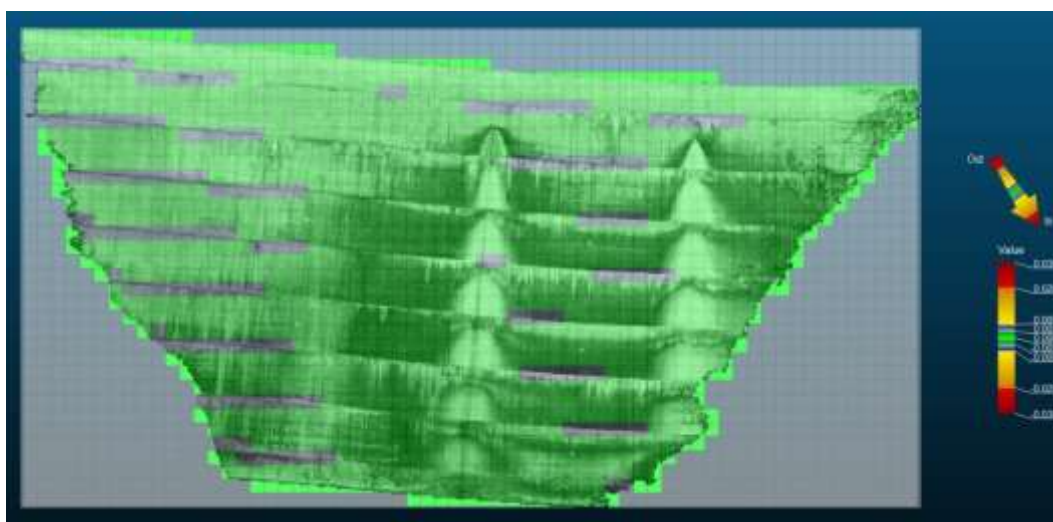


Εικόνα 3.3, Η κάθετη προβολή των σημείων στον κύλινδρο και ο μετασχηματισμός του στο οριζόντιο επίπεδο.

Στην εικόνα 3.3, φαίνεται το “ξετύλιγμα” του κυλίνδρου ώστε να γίνει ένα με το οριζόντιο επίπεδο και η κάθετη προβολή των σημείων στο οριζόντιο επίπεδο – κύλινδρο. Η ένδειξη Value είναι η απόσταση των σημείων από το ορισμένο σημείο 0 του οριζόντιου επιπέδου και φαίνεται επίσης και από την εικόνα 3.4: Αυτά που είναι μεγαλύτερα του μηδενός είναι αυτά που είναι πάνω από τον κύλινδρο και αυτά που είναι μικρότερα, κάτω από τον κύλινδρο. Τα κελιά των σημείων που φαίνονται και δεν έχουν χρώμα, είναι αυτά για τα οποία ο σαρωτής δεν μπόρεσε να συλλέξει πληροφορία και αυτό φάνηκε και στην προβολή, για διάφορους λόγους όπως η γωνία της σάρωσης, ακρίβεια σαρωτή κ.α. Σε αυτά τα κελιά, δεν μπορούν να υπολογιστούν κάθετες μετατοπίσεις (In-Out) και μπορούν να υπολογιστούν οι οριζόντιες και οι κατακόρυφες.

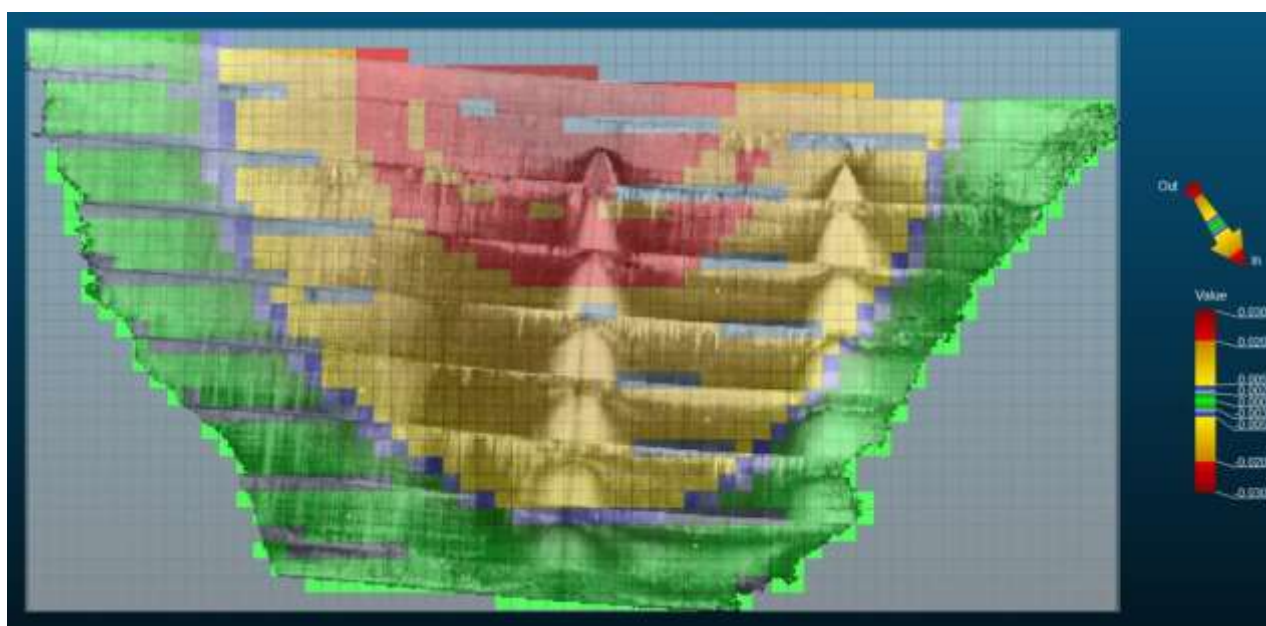
- **Κάθετες μετακινήσεις (In-Out)**

Στην εικόνα 3.4, έχει γίνει η μετατροπή των σημείων και της μαθηματικής επιφάνειας, ως επιφάνειας αφετηρίας υπολογισμού των μετακινήσεων, του αρχείου μετρήσεων της χρονικής στιγμής t_1 . Από αυτή την επιφάνεια, θα γίνει η σύγκριση με τις μετρήσεις της στιγμής t_2 και οποιαδήποτε άλλης μελλοντικά.



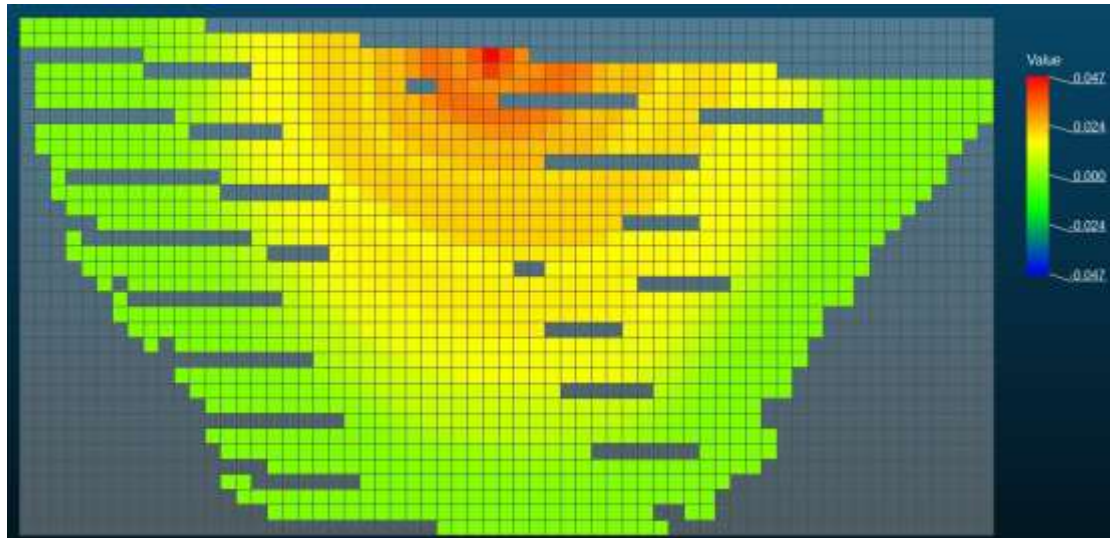
Εικόνα 3.4, Ο κάνναβος των σημείων της πρώτης χρονικής στιγμής t_1 , ως επιφάνεια αναφοράς $(0,0)$.

Στην 3.5, απεικονίζεται το αποτέλεσμα της σύγκρισης μεταξύ των δυο αρχείων μετρήσεων. Από το κόκκινο προς το μπλε, φαίνονται οι μεγαλύτερες προς τις μικρότερες κάθετες μετατοπίσεις. Επομένως, επιβεβαιώνεται το αρχικό συμπέρασμα, ότι τις μεγαλύτερες πιέσεις, δέχεται το τμήμα που είναι σε άμεση επαφή με την ποσότητα νερού που είναι συγκεντρωμένη, στο πάνω μέρος του φράγματος.

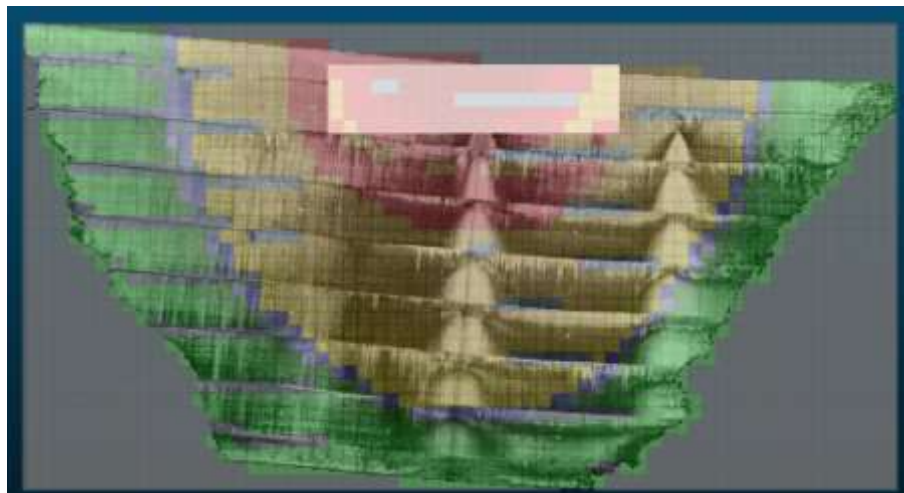


Εικόνα 3.5, Ο κάνναβος των σημείων της χρονικής στιγμής t_2 , σε σύγκριση με την χρονική στιγμή t_1 .

Στο στιγμιότυπο, που απεικονίζεται στην εικόνα 3.6, φαίνεται οπτικά το αποτέλεσμα ενώ στο διάγραμμα 3.1, παριστάνεται μέσω συστήματος x-y, επιλέγοντας ένα κελί του καννάβου, όπου παρατηρήθηκε μεγάλη μετατόπιση. Η εικόνα 3.7 απεικονίζει την επιλεγμένη περιοχή μελέτης της κατασκευής για την δημιουργία πίνακα αποτελεσμάτων (Πίνακας 3.1). Για τη δημιουργία του πίνακα αποτελεσμάτων, επιλέχθηκε ένα μέρος της περιοχής, όπου δέχεται τις περισσότερες πιέσεις από τον νερό και αυτό φαίνεται από τις τιμές των μετακινήσεων που έχουν προκύψει από τους υπολογισμούς του λογισμικού που είναι της τάξεως αρκετών εκατοστών.



Εικόνα 3.6, Η οπτικοποίηση του τελικού αποτελέσματος μέσω στιγμιότυπου.



Εικόνα 3.7, Η επιλογή της περιοχής της κατασκευής για την δημιουργία πίνακα τελικών αποτελεσμάτων.

Cell index	Date	Deviation (\pm m)	Distance (m)	Points count
W,27	16/11/2018 12:25	0.010	0.021	1603
X,27	16/11/2018 12:25	0.009	0.019	1604
Y,27	16/11/2018 12:25	0.012	0.023	1605
Z,27	16/11/2018 12:25	0.011	0.024	1600

Κεφάλαιο 3 – Εισαγωγή & Επεξεργασία Δεδομένων – Εξαγωγή & Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

AA,27	16/11/2018 12:25	0.011	0.024	1599
AB,27	16/11/2018 12:25	0.010	0.024	1598
AC,27	16/11/2018 12:25	0.010	0.025	1595
AD,27	16/11/2018 12:25	0.009	0.028	1599
AE,27	16/11/2018 12:25	0.009	0.029	1598
AF,27	16/11/2018 12:25	0.009	0.030	1599
AG,27	16/11/2018 12:25	0.010	0.029	1598
AH,27	16/11/2018 12:25	0.015	0.028	1479
AI,27	16/11/2018 12:25	0.013	0.025	1601
AJ,27	16/11/2018 12:25	0.014	0.024	1604
AK,27	16/11/2018 12:25	0.015	0.024	1609
AL,27	16/11/2018 12:25	0.015	0.024	1607
AM,27	16/11/2018 12:25	0.014	0.021	1614
AN,27	16/11/2018 12:25	0.016	0.019	1617
AO,27	16/11/2018 12:25	0.018	0.019	1619
AP,27	16/11/2018 12:25	0.019	0.020	1621
AQ,27	16/11/2018 12:25	0.019	0.020	1629
W,28	16/11/2018 12:25	0.008	0.020	1606
X,28	16/11/2018 12:25	0.008	0.021	1606
Y,28	16/11/2018 12:25	0.010	0.024	1606
Z,28	16/11/2018 12:25	0.011	0.024	1605
AA,28	16/11/2018 12:25	0.009	0.025	1603
AB,28	16/11/2018 12:25	0.007	0.028	1606
AC,28	16/11/2018 12:25	0.008	0.032	1604
AD,28	16/11/2018 12:25	0.011	0.033	1599
AE,28	16/11/2018 12:25	0.009	0.034	1605
AF,28	16/11/2018 12:25	0.011	0.034	1607
AG,28	16/11/2018 12:25	0.011	0.033	1605
AH,28	16/11/2018 12:25	0.016	0.033	1595
AI,28	16/11/2018 12:25	0.013	0.031	1605
AJ,28	16/11/2018 12:25	0.014	0.026	1616
AK,28	16/11/2018 12:25	0.014	0.023	1616
AL,28	16/11/2018 12:25	0.016	0.023	1616
AM,28	16/11/2018 12:25	0.017	0.024	1620
AN,28	16/11/2018 12:25	0.018	0.020	1627
AO,28	16/11/2018 12:25	0.019	0.019	1632
AP,28	16/11/2018 12:25	0.020	0.019	1628
AQ,28	16/11/2018 12:25	0.019	0.020	1580
W,29	16/11/2018 12:25	0.007	0.019	1611

Κεφάλαιο 3 – Εισαγωγή & Επεξεργασία Δεδομένων – Εξαγωγή & Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

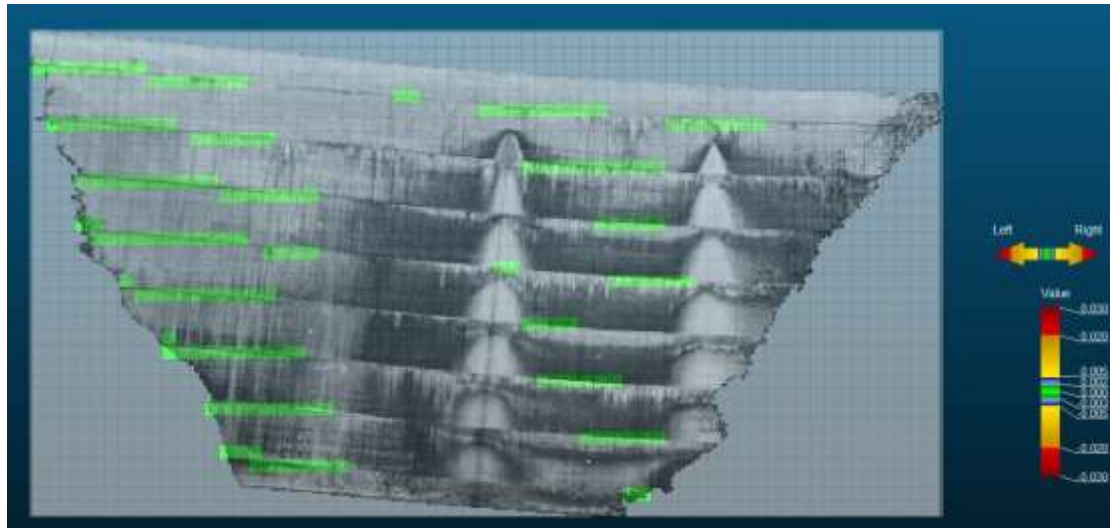
X,29	16/11/2018 12:25	0.007	0.023	1613
Y,29	16/11/2018 12:25	0.009	0.024	1609
Z,29	16/11/2018 12:25	0.010	0.025	1606
AA,29	16/11/2018 12:25	0.010	0.029	1613
AB,29	16/11/2018 12:25	0.008	0.033	1605
AC,29	16/11/2018 12:25	0.009	0.034	1605
AD,29	16/11/2018 12:25	0.025	0.033	1578
AE,29	16/11/2018 12:25	0.046	0.032	1566
AF,29	16/11/2018 12:25	0.064	nan	1565
AG,29	16/11/2018 12:25	0.078	nan	1561
AH,29	16/11/2018 12:25	0.089	nan	1556
AI,29	16/11/2018 12:25	0.095	nan	1558
AJ,29	16/11/2018 12:25	0.098	nan	1558
AK,29	16/11/2018 12:25	0.095	nan	1557
AL,29	16/11/2018 12:25	0.087	nan	1555
AM,29	16/11/2018 12:25	0.075	nan	1557
AN,29	16/11/2018 12:25	0.061	nan	1569
AO,29	16/11/2018 12:25	0.044	0.019	1570
AP,29	16/11/2018 12:25	0.024	0.018	1575
AQ,29	16/11/2018 12:25	0.020	0.020	1631
W,30	16/11/2018 12:25	0.031	0.019	1605
X,30	16/11/2018 12:25	0.038	0.024	1598
Y,30	16/11/2018 12:25	0.044	0.023	1596
Z,30	16/11/2018 12:25	0.051	nan	1591
AA,30	16/11/2018 12:25	0.054	nan	1585
AB,30	16/11/2018 12:25	0.045	0.034	1578
AC,30	16/11/2018 12:25	0.031	0.031	1579
AD,30	16/11/2018 12:25	0.011	0.030	1606
AE,30	16/11/2018 12:25	0.011	0.030	1610
AF,30	16/11/2018 12:25	0.013	0.029	1609
AG,30	16/11/2018 12:25	0.014	0.030	1613
AH,30	16/11/2018 12:25	0.015	0.033	1615
AI,30	16/11/2018 12:25	0.014	0.034	1611
AJ,30	16/11/2018 12:25	0.015	0.032	1621
AK,30	16/11/2018 12:25	0.016	0.029	1629
AL,30	16/11/2018 12:25	0.017	0.024	1630
AM,30	16/11/2018 12:25	0.016	0.023	1625
AN,30	16/11/2018 12:25	0.018	0.024	1631
AO,30	16/11/2018 12:25	0.019	0.022	1641

Κεφάλαιο 3 – Εισαγωγή & Επεξεργασία Δεδομένων – Εξαγωγή & Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

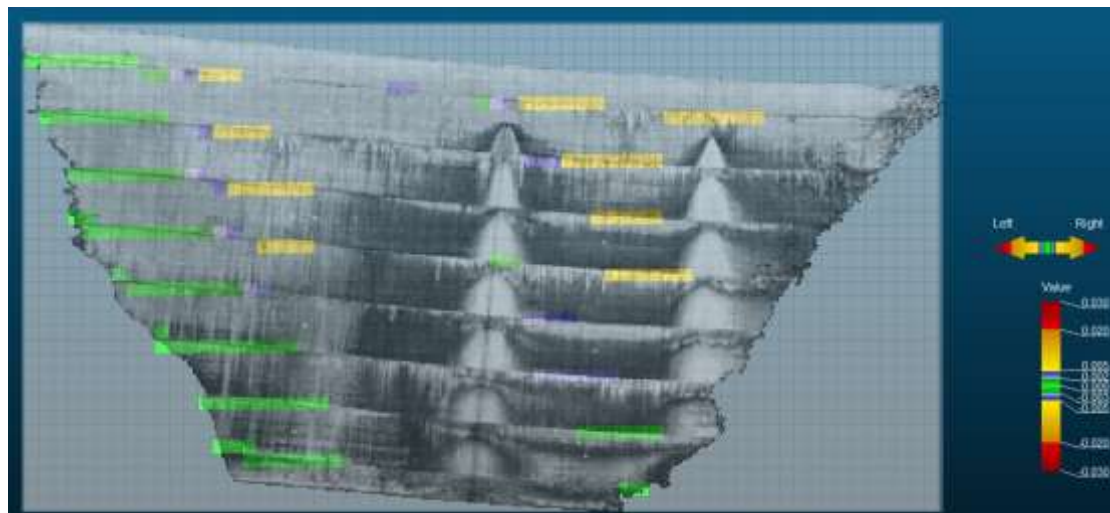
AP,30	16/11/2018 12:25	0.019	0.018	1645
AQ,30	16/11/2018 12:25	0.020	0.018	1640
W,31	16/11/2018 12:25	0.012	0.020	1627
X,31	16/11/2018 12:25	0.009	0.024	1619
Y,31	16/11/2018 12:25	0.011	0.024	1618
Z,31	16/11/2018 12:25	0.011	0.028	1617
AA,31	16/11/2018 12:25	0.011	0.033	1613
AB,31	16/11/2018 12:25	0.009	0.033	1612
AC,31	16/11/2018 12:25	0.009	0.029	1615
AD,31	16/11/2018 12:25	0.009	0.033	1611
AE,31	16/11/2018 12:25	0.006	0.040	1613
AF,31	16/11/2018 12:25	0.009	0.034	1616
AG,31	16/11/2018 12:25	0.012	0.029	1615
AH,31	16/11/2018 12:25	0.013	0.030	1541
AI,31	16/11/2018 12:25	0.013	0.034	1428
AJ,31	16/11/2018 12:25	0.013	0.033	1308
AK,31	16/11/2018 12:25	0.014	0.031	1178
AL,31	16/11/2018 12:25	0.012	0.025	1069
AM,31	16/11/2018 12:25	0.010	0.023	937
AN,31	16/11/2018 12:25	0.010	0.024	821
AO,31	16/11/2018 12:25	0.010	0.023	707
AP,31	16/11/2018 12:25	0.011	0.019	597
AQ,31	16/11/2018 12:25	0.009	0.018	516

Πίνακας 3.1, Τα τελικά αποτελέσματα της επιλεγμένης περιοχής μελέτης, της κατασκευής.

- Οριζόντιες μετακινήσεις (Left- Right)



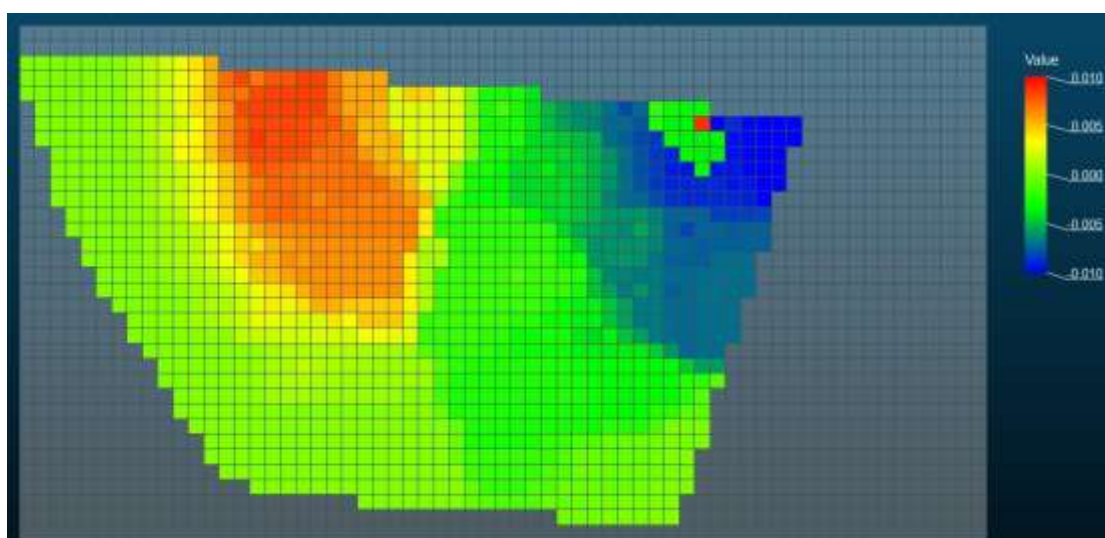
Εικόνα 3.8, Ο κάνναβος των σημείων της πρώτης χρονικής στιγμής t_1 , ως επιφάνεια αναφοράς $(0,0)$.



Εικόνα 3.9, Ο κάνναβος των σημείων της χρονικής στιγμής t_2 , σε σύγκριση με την χρονική στιγμή t_1 .

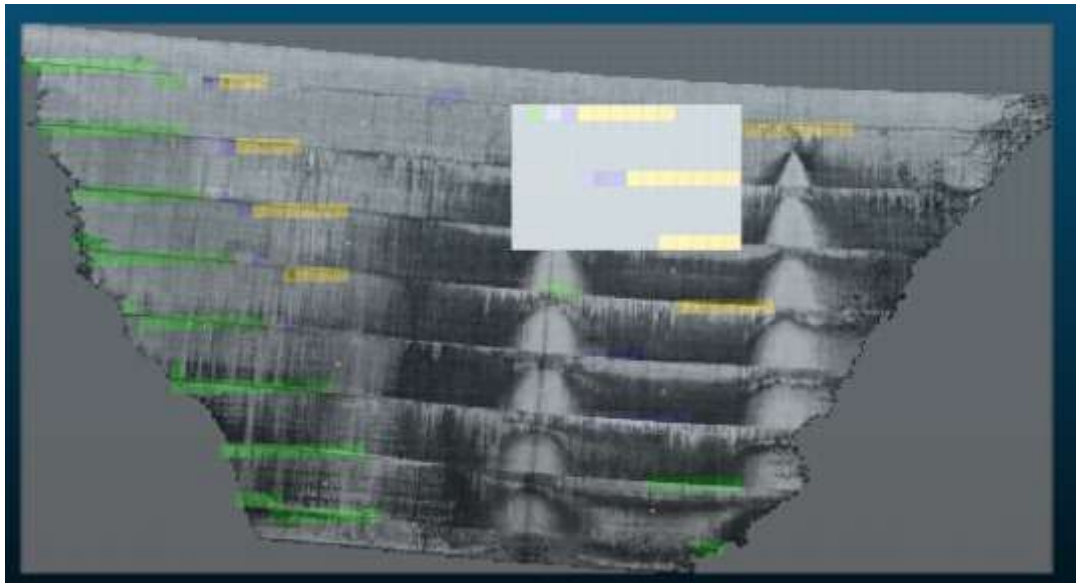
Στην εικόνα 3.8, φαίνεται η επιφάνεια αφετηρίας των μετρήσεων στον κάνναβο, όσο αφορά τις οριζόντιες μετακινήσεις. Όπως εύκολα

παρατηρείται, τα σημεία για τα οποία μπορούν να υπολογιστούν μετακινήσεις είναι αυτά για τα οποία δεν μπορούν για τις κάθετες (In-Out) όπως φαίνεται στην εικόνα 3.4 με το γκρι χρώμα ενώ στην 3.8 είναι τα σημεία με το πράσινο χρώμα. Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως, τα σημεία αυτά αποτελούν σημεία ακμών της επιφάνειας του φράγματος ή απλά ο σαρωτής δεν μπόρεσε να συλλέξει επαρκή πληροφορία λόγω διαφόρων παραγόντων. Το λογισμικό γι' αυτές τις περιοχές χρησιμοποιεί διανύσματα κίνησης μέσω αλγορίθμων. Στην εικόνα 3.9, έχουν υπολογιστεί μετακινήσεις της τάξης των χιλιοστών σε κάποιες περιοχές του φράγματος.



Εικόνα 3.10, Η οπτικοποίηση του τελικού αποτελέσματος μέσω στιγμιότυπου.

Στην εικόνα 3.10 φαίνεται οπτικά, το τελικό αποτέλεσμα. Χαρακτηριστικά, φαίνονται οριζόντιες μετακινήσεις της τάξης χιλιοστών κυρίως στο πάνω, κεντρικό & δεξιό μέρος της κατασκευής ενώ στην επιλεγμένη περιοχή της κατασκευής (εικόνα 3.8), από τον πίνακα αποτελεσμάτων 3.2, φαίνονται μικρές μετατοπίσεις χιλιοστών.



Εικόνα 3.11, Η επιλογή της περιοχής της κατασκευής για την δημιουργία πίνακα τελικών αποτελεσμάτων.

Cell index	Date	Deviation (\pm m)	Distance (m)	Points count
AE,21	16/11/2018 12:25	0.011	-0.002	1562
AF,21	16/11/2018 12:25	0.012	-0.002	1557
AG,21	16/11/2018 12:25	0.013	-0.002	1538
AH,21	16/11/2018 12:25	0.013	-0.002	1562
AI,21	16/11/2018 12:25	0.013	-0.002	1551
AJ,21	16/11/2018 12:25	0.023	-0.004	1509
AK,21	16/11/2018 12:25	0.035	-0.005	1508
AL,21	16/11/2018 12:25	0.043	-0.006	1502
AM,21	16/11/2018 12:25	0.050	-0.006	1506
AN,21	16/11/2018 12:25	0.056	-0.006	1507
AO,21	16/11/2018 12:25	0.055	-0.005	1496
AP,21	16/11/2018 12:25	0.053	-0.006	1519
AQ,21	16/11/2018 12:25	0.052	-0.007	1506
AR,21	16/11/2018 12:25	0.051	-0.008	1507
AE,22	16/11/2018 12:25	0.035	-0.002	1530
AF,22	16/11/2018 12:25	0.039	-0.002	1521
AG,22	16/11/2018 12:25	0.036	-0.002	1506
AH,22	16/11/2018 12:25	0.028	-0.003	1515
AI,22	16/11/2018 12:25	0.014	-0.004	1529

Κεφάλαιο 3 – Εισαγωγή & Επεξεργασία Δεδομένων – Εξαγωγή & Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

AJ,22	16/11/2018 12:25	0.013	-0.004	1572
AK,22	16/11/2018 12:25	0.014	-0.005	1566
AL,22	16/11/2018 12:25	0.014	-0.005	1568
AM,22	16/11/2018 12:25	0.015	-0.006	1576
AN,22	16/11/2018 12:25	0.016	-0.006	1577
AO,22	16/11/2018 12:25	0.016	-0.006	1591
AP,22	16/11/2018 12:25	0.016	-0.006	1565
AQ,22	16/11/2018 12:25	0.019	-0.007	1589
AR,22	16/11/2018 12:25	0.020	-0.007	1593
AE,23	16/11/2018 12:25	0.011	-0.003	1569
AF,23	16/11/2018 12:25	0.012	-0.003	1578
AG,23	16/11/2018 12:25	0.012	-0.004	1555
AH,23	16/11/2018 12:25	0.013	-0.004	1583
AI,23	16/11/2018 12:25	0.014	-0.004	1574
AJ,23	16/11/2018 12:25	0.013	-0.004	1579
AK,23	16/11/2018 12:25	0.014	-0.005	1581
AL,23	16/11/2018 12:25	0.015	-0.005	1581
AM,23	16/11/2018 12:25	0.016	-0.006	1582
AN,23	16/11/2018 12:25	0.017	-0.007	1590
AO,23	16/11/2018 12:25	0.017	-0.007	1592
AP,23	16/11/2018 12:25	0.017	-0.008	1605
AQ,23	16/11/2018 12:25	0.017	-0.009	1580
AR,23	16/11/2018 12:25	0.020	-0.009	1599
AE,24	16/11/2018 12:25	0.012	-0.003	1581
AF,24	16/11/2018 12:25	0.011	-0.003	1581
AG,24	16/11/2018 12:25	0.011	-0.004	1553
AH,24	16/11/2018 12:25	0.013	-0.004	1588
AI,24	16/11/2018 12:25	0.014	-0.004	1583
AJ,24	16/11/2018 12:25	0.014	-0.004	1588
AK,24	16/11/2018 12:25	0.015	-0.005	1590
AL,24	16/11/2018 12:25	0.017	-0.005	1594
AM,24	16/11/2018 12:25	0.017	-0.006	1590
AN,24	16/11/2018 12:25	0.018	-0.007	1604
AO,24	16/11/2018 12:25	0.018	-0.008	1594
AP,24	16/11/2018 12:25	0.018	-0.008	1600
AQ,24	16/11/2018 12:25	0.018	-0.009	1603
AR,24	16/11/2018 12:25	0.018	-0.009	1610
AE,25	16/11/2018 12:25	0.011	-0.003	1591
AF,25	16/11/2018 12:25	0.013	-0.003	1567

Κεφάλαιο 3 – Εισαγωγή & Επεξεργασία Δεδομένων – Εξαγωγή & Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

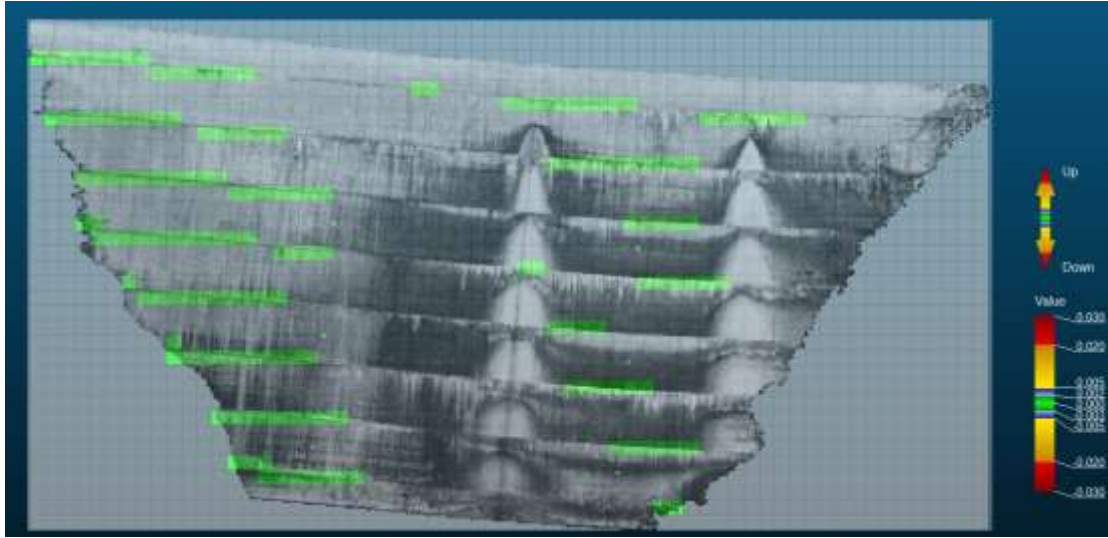
AG,25	16/11/2018 12:25	0.031	-0.004	1471
AH,25	16/11/2018 12:25	0.050	-0.004	1534
AI,25	16/11/2018 12:25	0.065	-0.004	1534
AJ,25	16/11/2018 12:25	0.069	-0.005	1535
AK,25	16/11/2018 12:25	0.075	-0.004	1533
AL,25	16/11/2018 12:25	0.080	-0.005	1518
AM,25	16/11/2018 12:25	0.078	-0.006	1532
AN,25	16/11/2018 12:25	0.077	-0.007	1527
AO,25	16/11/2018 12:25	0.075	-0.008	1534
AP,25	16/11/2018 12:25	0.072	-0.008	1528
AQ,25	16/11/2018 12:25	0.066	-0.009	1538
AR,25	16/11/2018 12:25	0.057	-0.009	1530
AE,26	16/11/2018 12:25	0.037	-0.003	1546
AF,26	16/11/2018 12:25	0.015	-0.003	1567
AG,26	16/11/2018 12:25	0.013	-0.004	1570
AH,26	16/11/2018 12:25	0.014	-0.004	1535
AI,26	16/11/2018 12:25	0.015	-0.004	1595
AJ,26	16/11/2018 12:25	0.015	-0.004	1600
AK,26	16/11/2018 12:25	0.015	-0.005	1604
AL,26	16/11/2018 12:25	0.014	-0.005	1604
AM,26	16/11/2018 12:25	0.015	-0.006	1604
AN,26	16/11/2018 12:25	0.016	-0.007	1600
AO,26	16/11/2018 12:25	0.018	-0.008	1612
AP,26	16/11/2018 12:25	0.018	-0.008	1612
AQ,26	16/11/2018 12:25	0.019	-0.009	1622
AR,26	16/11/2018 12:25	0.018	-0.003	1628
AE,27	16/11/2018 12:25	0.009	-0.003	1598
AF,27	16/11/2018 12:25	0.009	-0.003	1599
AG,27	16/11/2018 12:25	0.010	-0.003	1598
AH,27	16/11/2018 12:25	0.015	-0.004	1479
AI,27	16/11/2018 12:25	0.013	-0.004	1601
AJ,27	16/11/2018 12:25	0.014	-0.005	1604
AK,27	16/11/2018 12:25	0.015	-0.005	1609
AL,27	16/11/2018 12:25	0.015	-0.005	1607
AM,27	16/11/2018 12:25	0.014	-0.007	1614
AN,27	16/11/2018 12:25	0.016	-0.007	1617
AO,27	16/11/2018 12:25	0.018	-0.008	1619
AP,27	16/11/2018 12:25	0.019	-0.008	1621
AQ,27	16/11/2018 12:25	0.019	-0.003	1629

Κεφάλαιο 3 – Εισαγωγή & Επεξεργασία Δεδομένων – Εξαγωγή & Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

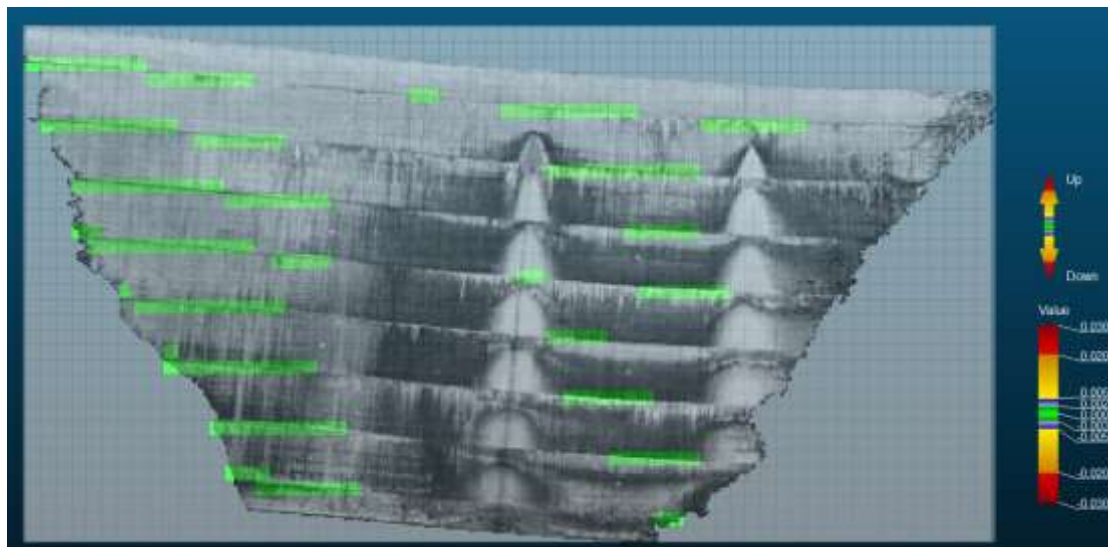
AR,27	16/11/2018 12:25	0.018	-0.004	1627
AE,28	16/11/2018 12:25	0.009	-0.003	1605
AF,28	16/11/2018 12:25	0.011	-0.003	1607
AG,28	16/11/2018 12:25	0.011	-0.003	1605
AH,28	16/11/2018 12:25	0.016	-0.004	1595
AI,28	16/11/2018 12:25	0.013	-0.005	1605
AJ,28	16/11/2018 12:25	0.014	-0.006	1616
AK,28	16/11/2018 12:25	0.014	-0.006	1616
AL,28	16/11/2018 12:25	0.016	-0.007	1616
AM,28	16/11/2018 12:25	0.017	-0.007	1620
AN,28	16/11/2018 12:25	0.018	-0.007	1627
AO,28	16/11/2018 12:25	0.019	-0.008	1632
AP,28	16/11/2018 12:25	0.020	-0.003	1628
AQ,28	16/11/2018 12:25	0.019	-0.003	1580
AR,28	16/11/2018 12:25	0.035	-0.004	1570
AE,29	16/11/2018 12:25	0.046	-0.003	1566
AF,29	16/11/2018 12:25	0.064	-0.001	1565
AG,29	16/11/2018 12:25	0.078	-0.003	1561
AH,29	16/11/2018 12:25	0.089	-0.004	1556
AI,29	16/11/2018 12:25	0.095	-0.005	1558
AJ,29	16/11/2018 12:25	0.098	-0.006	1558
AK,29	16/11/2018 12:25	0.095	-0.006	1557

Πίνακας 3.2, Τα τελικά αποτελέσματα της επιλεγμένης περιοχής μελέτης, της κατασκευής.

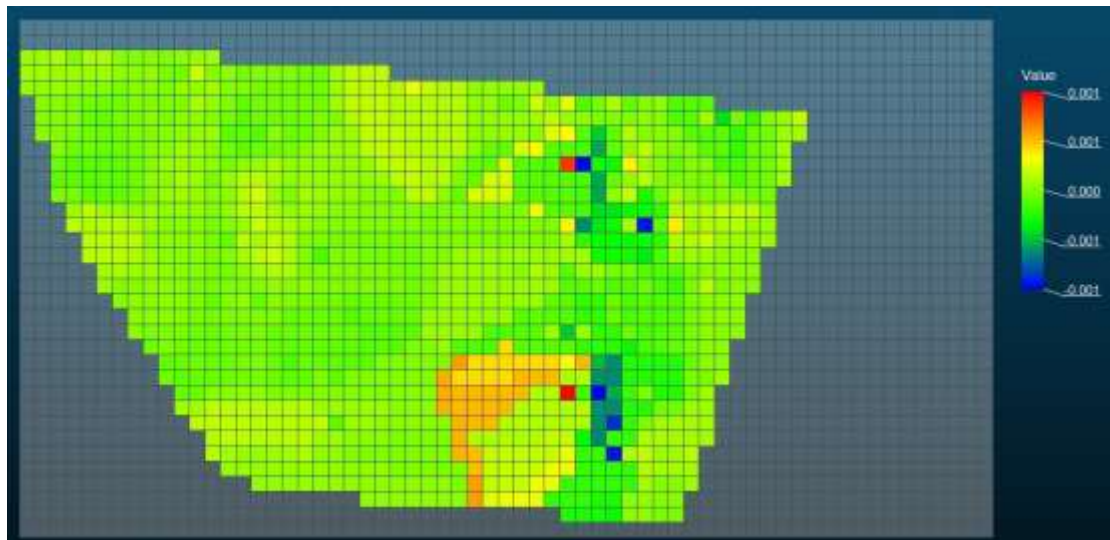
- **Κατακόρυφες μετακινήσεις (Up- Down)**



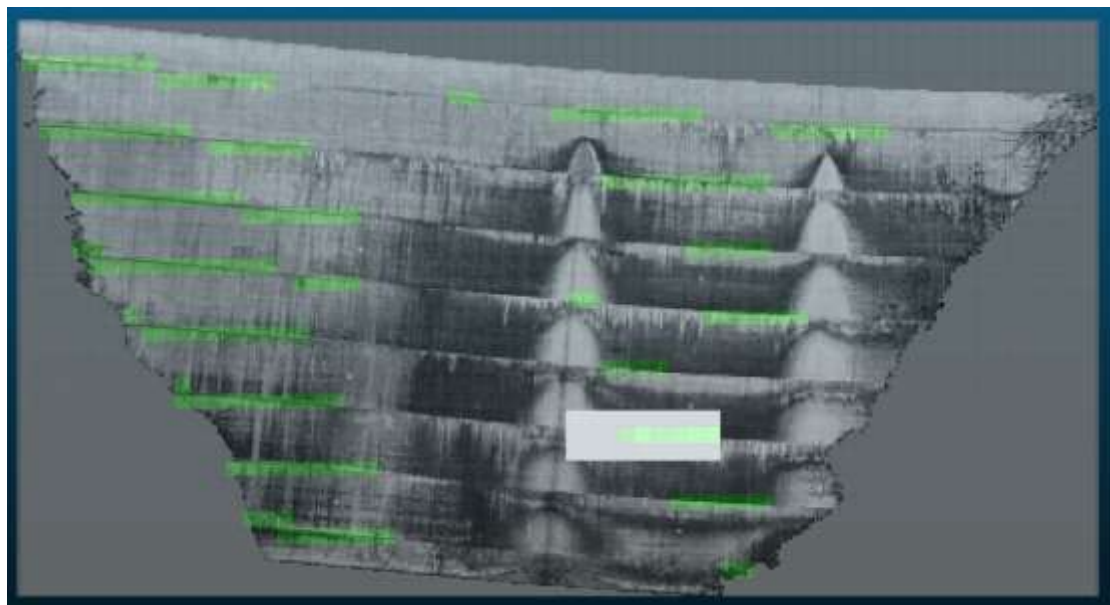
Εικόνα 3.12, Ο κάνναβος των σημείων της πρώτης χρονικής στιγμής t_1 , ως επιφάνεια αναφοράς (0,0).



Εικόνα 3.13, Ο κάνναβος των σημείων της χρονικής στιγμής t_2 , σε σύγκριση με την χρονική στιγμή t_1 .



Εικόνα 3.14, Η οπτικοποίηση του τελικού αποτελέσματος μέσω στιγμιότυπου.



Εικόνα 3.15, Η επιλογή της περιοχής της κατασκευής για την δημιουργία πίνακα τελικών αποτελεσμάτων.

Κεφάλαιο 3 – Εισαγωγή & Επεξεργασία Δεδομένων – Εξαγωγή & Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

Cell index	Date	Deviation (\pm m)	Distance(m)	Points count
AG,9	19/9/2018 10:12	0.011	0.000	1440
AH,9	19/9/2018 10:12	0.013	0.000	1450
AI,9	19/9/2018 10:12	0.013	0.000	1445
AJ,9	19/9/2018 10:12	0.013	0.000	1432
AK,9	19/9/2018 10:12	0.015	0.000	1443
AL,9	19/9/2018 10:12	0.015	0.000	1430
AM,9	19/9/2018 10:12	0.015	0.000	1440
AN,9	19/9/2018 10:12	0.018	0.000	1429
AO,9	19/9/2018 10:12	0.017	0.000	1428
AG,10	19/9/2018 10:12	0.030	0.000	1378
AH,10	19/9/2018 10:12	0.041	0.000	1366
AI,10	19/9/2018 10:12	0.048	0.000	1362
AJ,10	19/9/2018 10:12	0.050	0.000	1375
AK,10	19/9/2018 10:12	0.053	0.000	1337
AL,10	19/9/2018 10:12	0.057	0.000	1343
AM,10	19/9/2018 10:12	0.059	0.000	1351
AN,10	19/9/2018 10:12	0.055	0.000	1343
AO,10	19/9/2018 10:12	0.050	0.000	1349
AG,11	19/9/2018 10:12	0.012	0.000	1466
AH,11	19/9/2018 10:12	0.013	0.000	1464
AI,11	19/9/2018 10:12	0.014	0.000	1468
AJ,11	19/9/2018 10:12	0.013	0.000	1463
AK,11	19/9/2018 10:12	0.013	0.000	1473
AL,11	19/9/2018 10:12	0.017	0.000	1479
AM,11	19/9/2018 10:12	0.017	0.000	1458
AN,11	19/9/2018 10:12	0.017	0.000	1458
AO,11	19/9/2018 10:12	0.017	0.000	1458
AG,9	16/11/2018 12:25	0.011	0.000	1439
AH,9	16/11/2018 12:25	0.013	0.000	1447
AI,9	16/11/2018 12:25	0.013	0.000	1445
AJ,9	16/11/2018 12:25	0.013	0.000	1432
AK,9	16/11/2018 12:25	0.014	0.000	1441
AL,9	16/11/2018 12:25	0.014	-0.001	1430
AM,9	16/11/2018 12:25	0.015	-0.001	1440
AN,9	16/11/2018 12:25	0.017	0.000	1430
AO,9	16/11/2018 12:25	0.016	0.000	1430
AG,10	16/11/2018 12:25	0.030	0.001	1378
AH,10	16/11/2018 12:25	0.042	0.000	1364

AI,10	16/11/2018 12:25	0.050	0.000	1362
AJ,10	16/11/2018 12:25	0.052	0.002	1376
AK,10	16/11/2018 12:25	0.055	0.000	1336
AL,10	16/11/2018 12:25	0.058	-0.001	1341
AM,10	16/11/2018 12:25	0.059	-0.001	1351
AN,10	16/11/2018 12:25	0.055	0.000	1345
AO,10	16/11/2018 12:25	0.051	0.000	1349
AG,11	16/11/2018 12:25	0.012	0.001	1465
AH,11	16/11/2018 12:25	0.013	0.001	1464
AI,11	16/11/2018 12:25	0.014	0.001	1465
AJ,11	16/11/2018 12:25	0.013	0.000	1460
AK,11	16/11/2018 12:25	0.013	0.000	1477
AL,11	16/11/2018 12:25	0.017	-0.001	1477
AM,11	16/11/2018 12:25	0.017	-0.001	1455
AN,11	16/11/2018 12:25	0.016	0.000	1463
AO,11	16/11/2018 12:25	0.016	0.000	1456

Πίνακας 3.3, Τα τελικά αποτελέσματα της επιλεγμένης περιοχής μελέτης, της κατασκευής.

Η διαδικασία συνεχίζεται, με την εύρεση των κατακόρυφων μετακινήσεων. Όπως παρατηρείται, ο προσδιορισμός υπολογίζεται για τα ίδια κελιά σημείων όπως των οριζόντιων μετακινήσεων. Αυτό συμβαίνει διότι όπως και πριν, εφαρμόζονται διανύσματα κίνησης γι' αυτές τις περιοχές των κελιών. Όπως φαίνεται από την εικόνα 3.13, οι μετακινήσεις εδώ είναι απειροελάχιστες που φτάνουν το πολύ τα δυο χιλιοστά ενώ υπάρχουν και υψηλές τιμές της τυπικής απόκλισης, όπως φαίνεται και από τον πίνακα 3.3. Στο στιγμιότυπο της εικόνας 3.14 φαίνονται κάποιες μετακινήσεις σε περιορισμένο αριθμό κελιών σημείων.

3.3 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 2: Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΤΑ ΣΚΟΠΙΑ

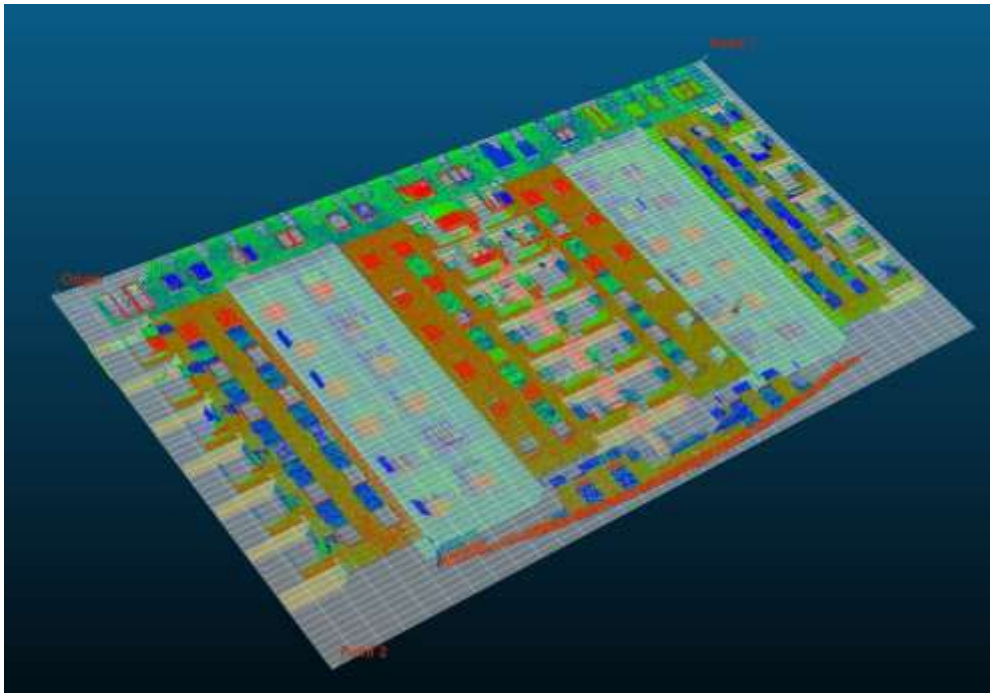
Η επόμενη περίπτωση που θα αναλυθεί είναι αυτή ενός κτιρίου, του οποίου θα γίνει ανάλυση προσδιορισμού μετακινήσεων στην όψη του. Η επιφάνεια αυτή, αποτελείται από αρκετά παράθυρα και μπαλκόνια και υπάρχουν αρκετές αυξομειώσεις της επιφάνειας. Προφανώς, από την εικόνα του κτιρίου, η μαθηματική επιφάνεια που θα χρησιμοποιηθεί για

την προσαρμογή του νέφους σημείων θα είναι το επίπεδο (Plane). Γενικά όπως είναι γνωστό, ένα κτίριο δέχεται διάφορες επιδράσεις που προκαλούν τέτοιες παραμορφώσεις, στα δομικά του στοιχεία. Τέτοια είναι ο σεισμός, οι ισχυροί άνεμοι, η συγκέντρωση υδάτων στα θεμέλια.



Εικόνα 3.16, Το κτίριο, αποτελούμενο από το νέφος σημείων.

Στην εικόνα 3.16, απεικονίζεται το αποτέλεσμα της σάρωσης, του Laser Scanner. Φαίνεται ολόκληρο το κτίριο, με τα κενά που φαίνονται, να είναι τα παράθυρα και οι μπαλκονόπορτες απ' όπου προφανώς, δεν μπόρεσε να πάρει σημεία αφού αποτελούνται από διαφανή στοιχεία. Για την προσαρμογή των σημείων, επιλέχθηκε το επίπεδο όπως φαίνεται στην εικόνα 3.17, καθώς η όψη του κτιρίου που είναι και το αντικείμενο μελέτης, προσαρμόζεται πιο πολύ σε αυτό.



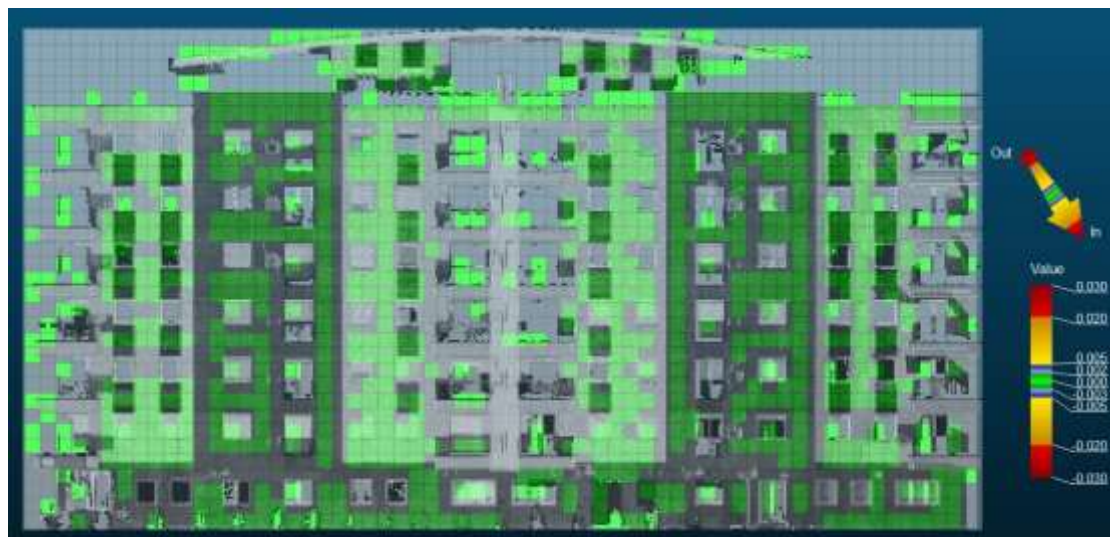
Εικόνα 3.17, Η μαθηματική επιφάνεια (επίπεδο) και η προσαρμογή του νέφους σημείων πάνω της.

Στην εικόνα 3.18, φαίνεται η κάθετη προβολή των σημείων στο επίπεδο. Προφανώς, τα σημεία των παραθύρων και των μπαλκονόπορτων και όσων στοιχείων, που έχει συλλέξει ο σαρωτής, δεν απεικονίζονται με κανένα χρώμα, ενώ στα υπόλοιπα κελιά σημείων, φαίνεται η χρωματική κλίμακα αναλόγως της απόστασης που είχαν από το επίπεδο, όπως φαίνεται στην προηγούμενη εικόνα.



Εικόνα 3.18, Η κάθετη προβολή των σημείων στο επίπεδο και ο μετασχηματισμός του στο οριζόντιο επίπεδο.

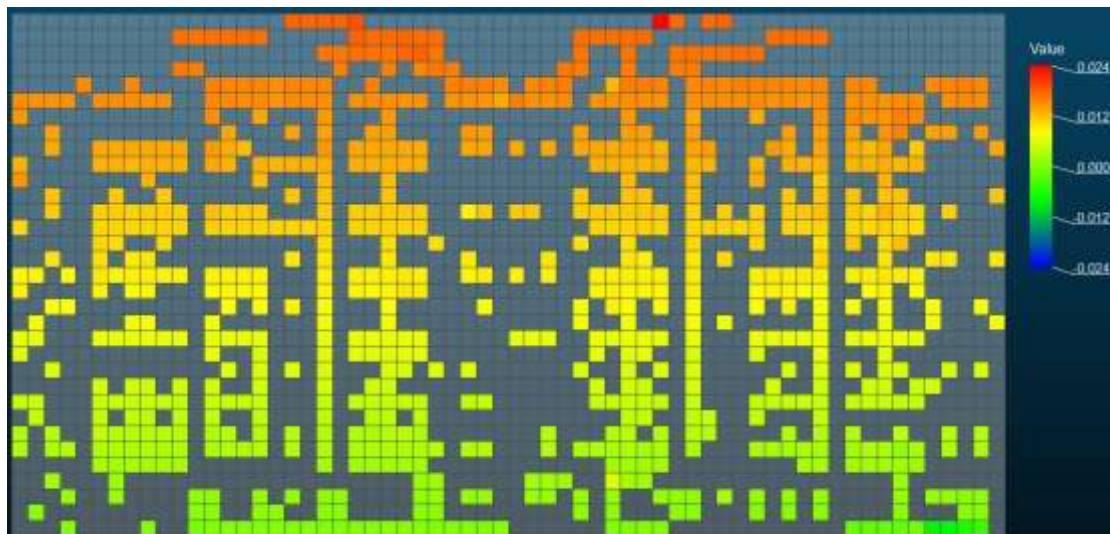
- **Κάθετες μετακινήσεις (In-Out)**



Εικόνα 3.19, Ο κάρναβος των σημείων της πρώτης χρονικής στιγμής t_1 , ως επιφάνεια αφετηρίας μετρήσεων $(0,0)$.



Εικόνα 3.20, Ο κάνναβος των σημείων της χρονικής στιγμής t_2 , σε σύγκριση με την χρονική στιγμή t_1 .



Εικόνα 3.21, Η οπτικοποίηση του τελικού αποτελέσματος μέσω στιγμιότυπου.

Από τα τελικά αποτελέσματα των κάθετων μετατοπίσεων, εξάγονται ενδιαφέροντα συμπεράσματα. Από την σύγκριση των δυο εικόνων 3.19 & 3.20, απεικονίζονται κάθετες μετακινήσεις που εμφανίζονται στα ψηλότερα σημεία του κτιρίου και όχι στα χαμηλότερα. Μπορεί να σκεφτεί κανείς ότι είναι λογικό αυτό, καθώς όσο το κτίριο πλησιάζει προς τα θεμέλια, είναι πιο στιβαρό, καθώς εκεί βρίσκονται τα υποστηλώματα που προέρχονται από τα θεμέλια και από την στατική μελέτη του κτιρίου, προφανώς έχει δοθεί βάση, στο τμήμα αυτό του κτιρίου. Στην επιλεγμένη περιοχή του κτιρίου, φαίνεται από τον πίνακα, μετακινήσεις χιλιοστών, καθώς βρίσκεται περίπου στον 1^ο όροφο του κτιρίου. Εάν είχε επιλεγθεί, πιο ψηλή περιοχή (π.χ. δώμα), οι μετακινήσεις θα ήταν τάξεως εκατοστού.



Εικόνα 3.22, Η επιλογή της περιοχής της κατασκευής για την δημιουργία πίνακα τελικών αποτελεσμάτων.

Cell index	Date	Deviation (\pm m)	Distance (m)	Points count
V,9	22/11/2018 15:49	0.002	0.005	544
W,9	22/11/2018 15:49	0.002	0.004	553
X,9	22/11/2018 15:49	0.002	0.004	680
Y,9	22/11/2018 15:49	0.006	0.005	705

Κεφάλαιο 3 – Εισαγωγή & Επεξεργασία Δεδομένων – Εξαγωγή & Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

Z,9	22/11/2018 15:49	0.006	0.004	709
AA,9	22/11/2018 15:49	0.364	nan	804
AB,9	22/11/2018 15:49	0.094	nan	570
AC,9	22/11/2018 15:49	0.013	0.004	484
AD,9	22/11/2018 15:49	0.013	0.004	469
AE,9	22/11/2018 15:49	0.155	nan	803
AF,9	22/11/2018 15:49	0.209	nan	896
AG,9	22/11/2018 15:49	0.209	nan	530
AH,9	22/11/2018 15:49	0.109	nan	490
AI,9	22/11/2018 15:49	0.193	nan	524
AJ,9	22/11/2018 15:49	0.369	nan	637
AK,9	22/11/2018 15:49	0.005	0.005	528
AL,9	22/11/2018 15:49	0.004	0.005	557
AM,9	22/11/2018 15:49	0.001	0.005	602
AN,9	22/11/2018 15:49	0.001	0.005	575
AO,9	22/11/2018 15:49	0.001	0.005	559
V,10	22/11/2018 15:49	0.053	nan	455
W,10	22/11/2018 15:49	0.042	0.005	473
X,10	22/11/2018 15:49	0.002	0.005	675
Y,10	22/11/2018 15:49	0.059	nan	667
Z,10	22/11/2018 15:49	0.052	nan	692
AA,10	22/11/2018 15:49	0.139	nan	686
AB,10	22/11/2018 15:49	0.563	nan	392
AC,10	22/11/2018 15:49	0.792	nan	157
AD,10	22/11/2018 15:49	0.556	nan	271
AE,10	22/11/2018 15:49	0.663	nan	1036
AF,10	22/11/2018 15:49	0.203	nan	938
AG,10	22/11/2018 15:49	0.400	nan	262
AH,10	22/11/2018 15:49	0.528	nan	401
AI,10	22/11/2018 15:49	0.538	nan	656
AJ,10	22/11/2018 15:49	0.238	nan	538
AK,10	22/11/2018 15:49	0.039	0.005	494
AL,10	22/11/2018 15:49	0.053	nan	501
AM,10	22/11/2018 15:49	0.001	0.005	598
AN,10	22/11/2018 15:49	0.035	0.005	522
AO,10	22/11/2018 15:49	0.062	nan	488
V,11	22/11/2018 15:49	0.057	nan	420
W,11	22/11/2018 15:49	0.069	nan	424
X,11	22/11/2018 15:49	0.002	0.006	666

Κεφάλαιο 3 – Εισαγωγή & Επεξεργασία Δεδομένων – Εξαγωγή & Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

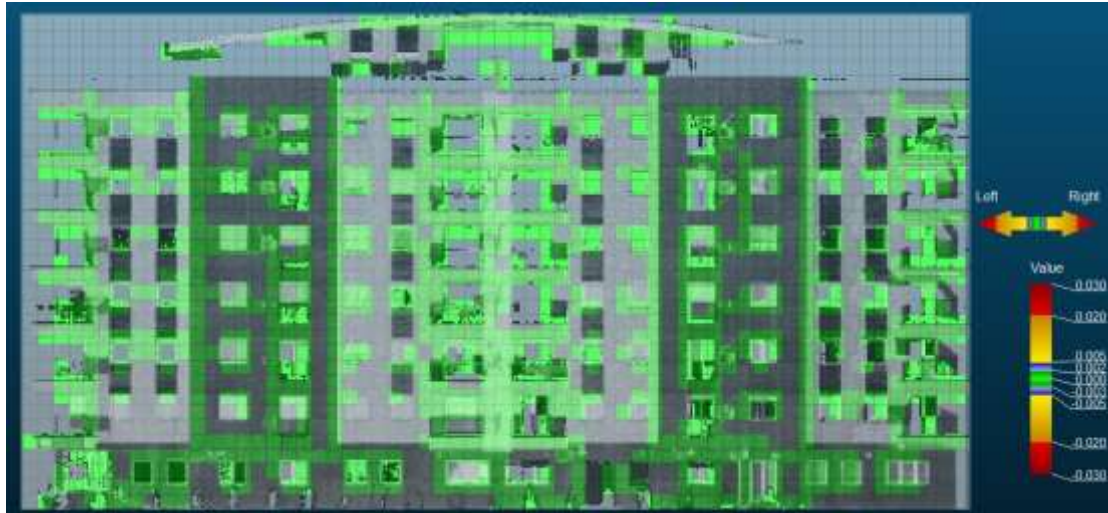
Υ,11	22/11/2018 15:49	0.049	0.006	681
Z,11	22/11/2018 15:49	0.061	nan	693
AA,11	22/11/2018 15:49	0.001	0.006	686
AB,11	22/11/2018 15:49	0.589	nan	526
AC,11	22/11/2018 15:49	0.019	0.006	173
AD,11	22/11/2018 15:49	0.099	nan	312
AE,11	22/11/2018 15:49	0.844	nan	1202
AF,11	22/11/2018 15:49	0.288	nan	1043
AG,11	22/11/2018 15:49	0.198	nan	233
AH,11	22/11/2018 15:49	none	nan	0
AI,11	22/11/2018 15:49	0.466	nan	489
AJ,11	22/11/2018 15:49	0.001	0.006	595
AK,11	22/11/2018 15:49	0.115	nan	397
AL,11	22/11/2018 15:49	0.152	nan	344
AM,11	22/11/2018 15:49	0.001	0.006	589
AN,11	22/11/2018 15:49	0.068	nan	511
AO,11	22/11/2018 15:49	0.039	0.006	585
V,12	22/11/2018 15:49	0.050	0.006	562
W,12	22/11/2018 15:49	0.040	0.006	544
X,12	22/11/2018 15:49	0.002	0.006	658
Υ,12	22/11/2018 15:49	0.046	0.007	702
Z,12	22/11/2018 15:49	0.041	0.007	694
AA,12	22/11/2018 15:49	0.350	nan	889
AB,12	22/11/2018 15:49	0.727	nan	1026
AC,12	22/11/2018 15:49	0.835	nan	1147
AD,12	22/11/2018 15:49	0.824	nan	1123
AE,12	22/11/2018 15:49	0.733	nan	1119
AF,12	22/11/2018 15:49	0.358	nan	1177
AG,12	22/11/2018 15:49	0.757	nan	1087
AH,12	22/11/2018 15:49	0.777	nan	978
AI,12	22/11/2018 15:49	0.691	nan	1056
AJ,12	22/11/2018 15:49	0.382	nan	857
AK,12	22/11/2018 15:49	0.040	0.006	569
AL,12	22/11/2018 15:49	0.051	nan	604
AM,12	22/11/2018 15:49	0.001	0.006	581
AN,12	22/11/2018 15:49	0.037	0.007	555
AO,12	22/11/2018 15:49	0.055	nan	574
V,13	22/11/2018 15:49	0.002	0.007	519
W,13	22/11/2018 15:49	0.002	0.007	532

Κεφάλαιο 3 – Εισαγωγή & Επεξεργασία Δεδομένων – Εξαγωγή & Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

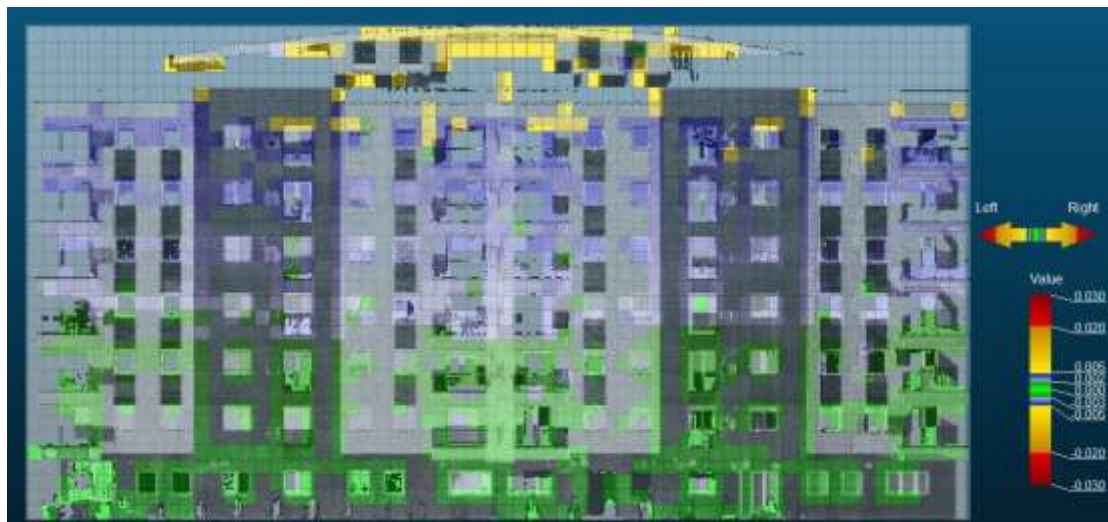
X,13	22/11/2018 15:49	0.002	0.007	649
Y,13	22/11/2018 15:49	0.005	0.007	668
Z,13	22/11/2018 15:49	0.006	0.007	669
AA,13	22/11/2018 15:49	0.349	nan	648
AB,13	22/11/2018 15:49	0.310	nan	358
AC,13	22/11/2018 15:49	0.220	nan	403
AD,13	22/11/2018 15:49	0.203	nan	358
AE,13	22/11/2018 15:49	0.130	nan	705
AF,13	22/11/2018 15:49	0.032	0.006	782
AG,13	22/11/2018 15:49	0.014	0.007	297
AH,13	22/11/2018 15:49	0.013	0.007	287
AI,13	22/11/2018 15:49	0.338	nan	355
AJ,13	22/11/2018 15:49	0.400	nan	462
AK,13	22/11/2018 15:49	0.009	0.007	500
AL,13	22/11/2018 15:49	0.005	0.007	527
AM,13	22/11/2018 15:49	0.001	0.007	575
AN,13	22/11/2018 15:49	0.001	0.007	548
AO,13	22/11/2018 15:49	0.001	0.007	531

Πίνακας 3.4, Τα τελικά αποτελέσματα της επιλεγμένης περιοχής μελέτης, της κατασκευής

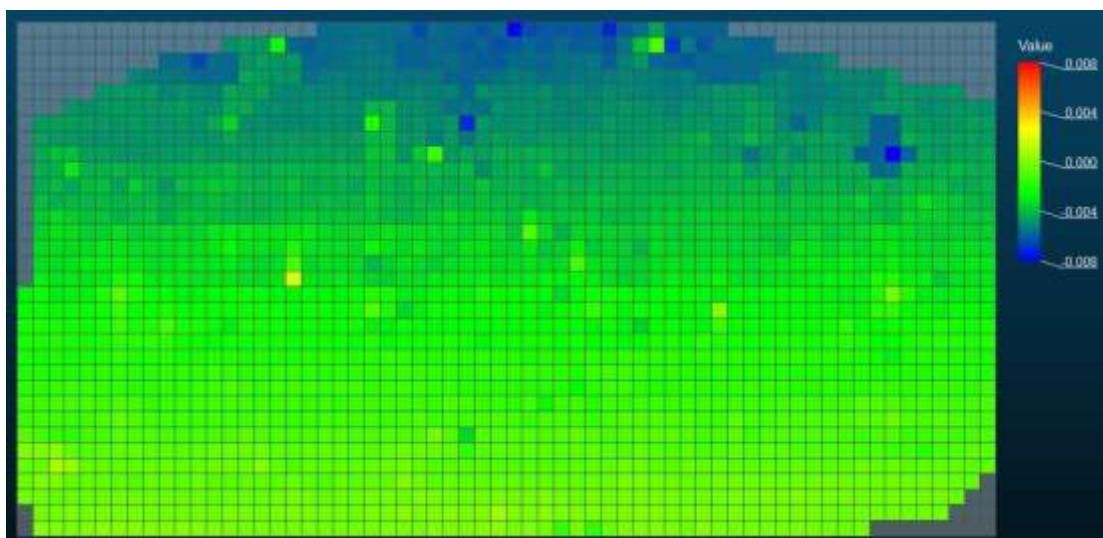
- Οριζόντιες μετακινήσεις (Left- Right)



Εικόνα 3.23, Ο κάνναβος των σημείων της πρώτης χρονικής στιγμής t_1 , ως επιφάνεια αναφοράς (0,0).



Εικόνα 3.24, Ο κάνναβος των σημείων της χρονικής στιγμής t_2 , σε σύγκριση με την χρονική στιγμή t_1 .



Εικόνα 3.25, Η οπτικοποίηση του τελικού αποτελέσματος μέσω στιγμιότυπου.

Στην συνέχεια, αν γίνει η σύγκριση των εικόνων που απεικονίζονται οι επιφάνειες αφετηρίας των μετρήσεων, των κάθετων και οριζοντίων μετακινήσεων, παρατηρείται ότι έχουν μετρηθεί κελιά σημείων στην δεύτερη περίπτωση που στην πρώτη, δεν έχουν. Στις οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις, υπολογίζονται διανύσματα κίνησης σε γωνίες-ακμές των κατασκευών, όπως στη συγκεκριμένη περίπτωση, τέτοιες υπάρχουν στις γωνίες των παραθύρων, σε αρχιτεκτονικές λεπτομέρειες κ.α. Στην περίπτωση, των οριζοντίων μετακινήσεων, διακρίνονται ελάχιστες μετακινήσεις που συγκεντρώνονται όλες, στο ψηλότερο τμήμα του κτιρίου. Αυτό κατά πάσα πιθανότητα, οφείλεται σε κάποιο σεισμό ή σε πλευρικούς ανέμους που επηρεάζει περισσότερο, εκείνο το τμήμα του κτιρίου, όπως φαίνεται από την εικόνα 3.24. Επίσης και από τον πίνακα 3.5, φαίνονται μετακινήσεις χιλιοστών.



Εικόνα 3.26, Η επιλογή της περιοχής της κατασκευής για την δημιουργία πίνακα τελικών αποτελεσμάτων.

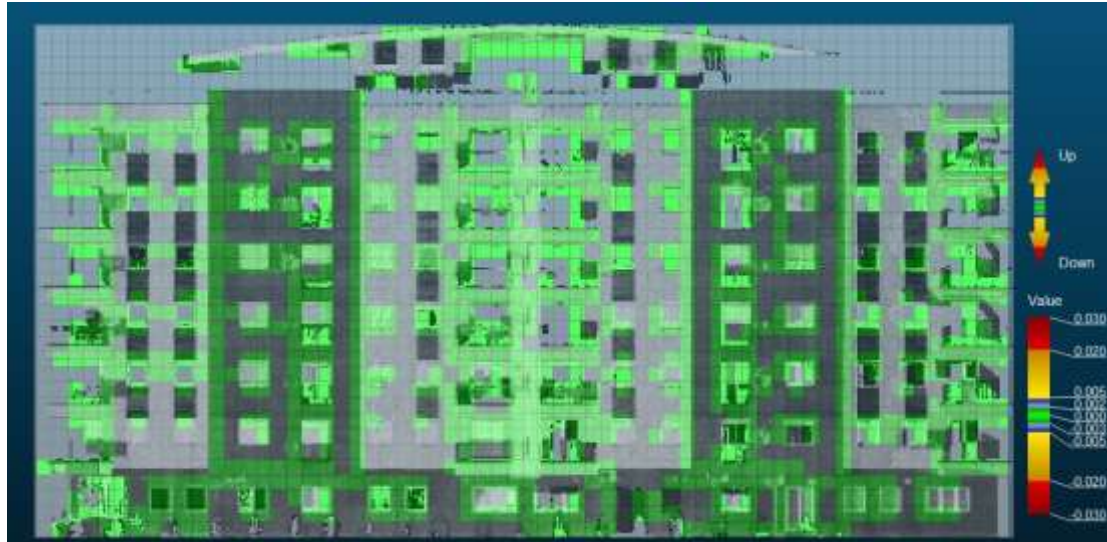
Cell index	Date	Deviation	Distance	Points count
T,26	22/11/2018 15:49	0.003	-0.005	572
U,26	22/11/2018 15:49	0.527	-0.005	956
V,26	22/11/2018 15:49	0.201	-0.005	161
W,26	22/11/2018 15:49	0.031	-0.004	239
X,26	22/11/2018 15:49	0.002	-0.004	506
Y,26	22/11/2018 15:49	0.084	-0.005	180
Z,26	22/11/2018 15:49	0.065	-0.005	325
AA,26	22/11/2018 15:49	0.199	-0.005	501
AB,26	22/11/2018 15:49	0.430	-0.005	290
AC,26	22/11/2018 15:49	0.006	-0.005	23
AD,26	22/11/2018 15:49	0.002	-0.005	12
AE,26	22/11/2018 15:49	0.733	-0.005	805
AF,26	22/11/2018 15:49	0.056	-0.005	614
AG,26	22/11/2018 15:49	none	-0.005	0
AH,26	22/11/2018 15:49	none	-0.005	0
T,27	22/11/2018 15:49	0.036	-0.005	491
U,27	22/11/2018 15:49	0.512	-0.005	903
V,27	22/11/2018 15:49	0.146	-0.005	387
W,27	22/11/2018 15:49	0.149	-0.002	384
X,27	22/11/2018 15:49	0.002	-0.004	484
Y,27	22/11/2018 15:49	0.344	-0.005	585

Κεφάλαιο 3 – Εισαγωγή & Επεξεργασία Δεδομένων – Εξαγωγή & Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

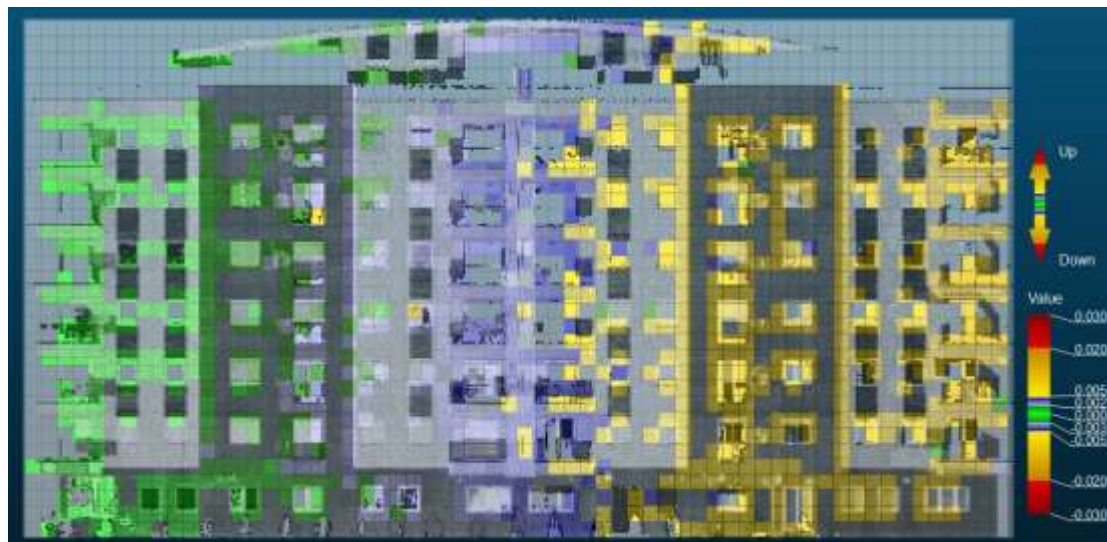
Z,27	22/11/2018 15:49	0.225	-0.005	535
AA,27	22/11/2018 15:49	0.518	-0.005	862
AB,27	22/11/2018 15:49	0.630	-0.005	1086
AC,27	22/11/2018 15:49	0.651	-0.007	1218
AD,27	22/11/2018 15:49	0.649	-0.005	1226
AE,27	22/11/2018 15:49	0.755	-0.005	1037
AF,27	22/11/2018 15:49	0.343	-0.005	804
AG,27	22/11/2018 15:49	0.488	-0.005	1096
AH,27	22/11/2018 15:49	0.489	-0.005	1087
T,28	22/11/2018 15:49	0.003	-0.005	515
U,28	22/11/2018 15:49	0.496	-0.005	892
V,28	22/11/2018 15:49	0.006	-0.005	290
W,28	22/11/2018 15:49	0.007	-0.004	294
X,28	22/11/2018 15:49	0.006	-0.004	389
Y,28	22/11/2018 15:49	0.006	-0.005	400
Z,28	22/11/2018 15:49	0.006	-0.005	395
AA,28	22/11/2018 15:49	0.370	-0.005	516
AB,28	22/11/2018 15:49	0.007	-0.006	426
AC,28	22/11/2018 15:49	0.007	-0.005	437
AD,28	22/11/2018 15:49	0.005	-0.006	408
AE,28	22/11/2018 15:49	0.029	-0.005	428
AF,28	22/11/2018 15:49	0.025	-0.005	452
AG,28	22/11/2018 15:49	0.007	-0.005	424
AH,28	22/11/2018 15:49	0.007	-0.005	413
T,29	22/11/2018 15:49	0.005	-0.005	382
U,29	22/11/2018 15:49	0.573	-0.005	635
V,29	22/11/2018 15:49	0.245	-0.005	15
W,29	22/11/2018 15:49	0.002	-0.005	5
X,29	22/11/2018 15:49	0.223	-0.005	35
Y,29	22/11/2018 15:49	0.469	-0.005	30
Z,29	22/11/2018 15:49	0.442	-0.005	10
AA,29	22/11/2018 15:49	0.665	-0.005	23
AB,29	22/11/2018 15:49	0.011	-0.005	18
AC,29	22/11/2018 15:49	0.009	-0.006	24
AD,29	22/11/2018 15:49	0.002	-0.005	25
AE,29	22/11/2018 15:49	0.014	-0.005	151

Πίνακας 3.5, Τα τελικά αποτελέσματα της επιλεγμένης περιοχής μελέτης, της κατασκευής.

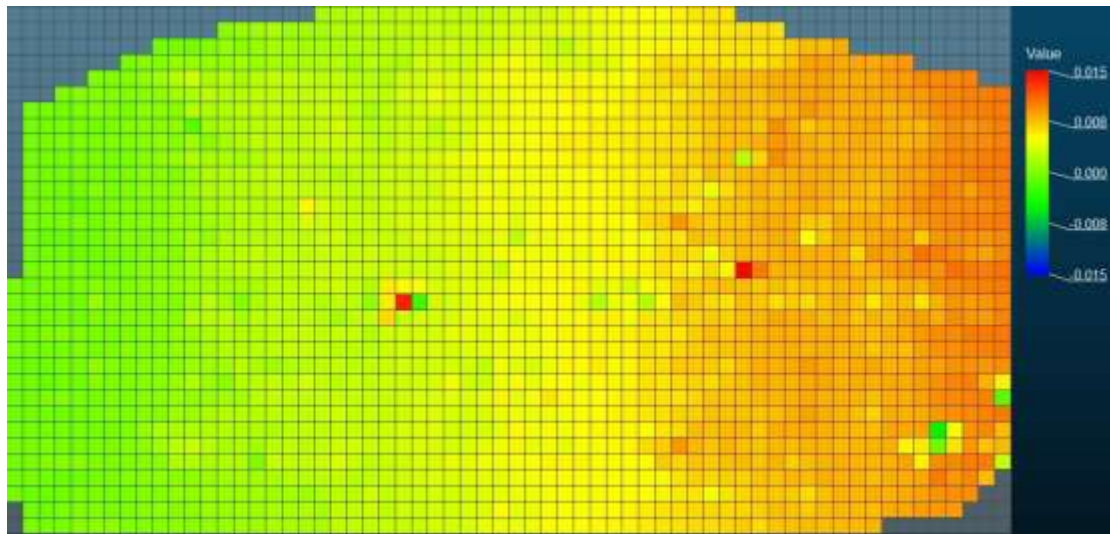
- **Κατακόρυφες μετακινήσεις (Up- Down)**



Εικόνα 3.27, Ο κάρναβος των σημείων της πρώτης χρονικής στιγμής t_1 , ως επιφάνεια αναφοράς $(0,0)$.

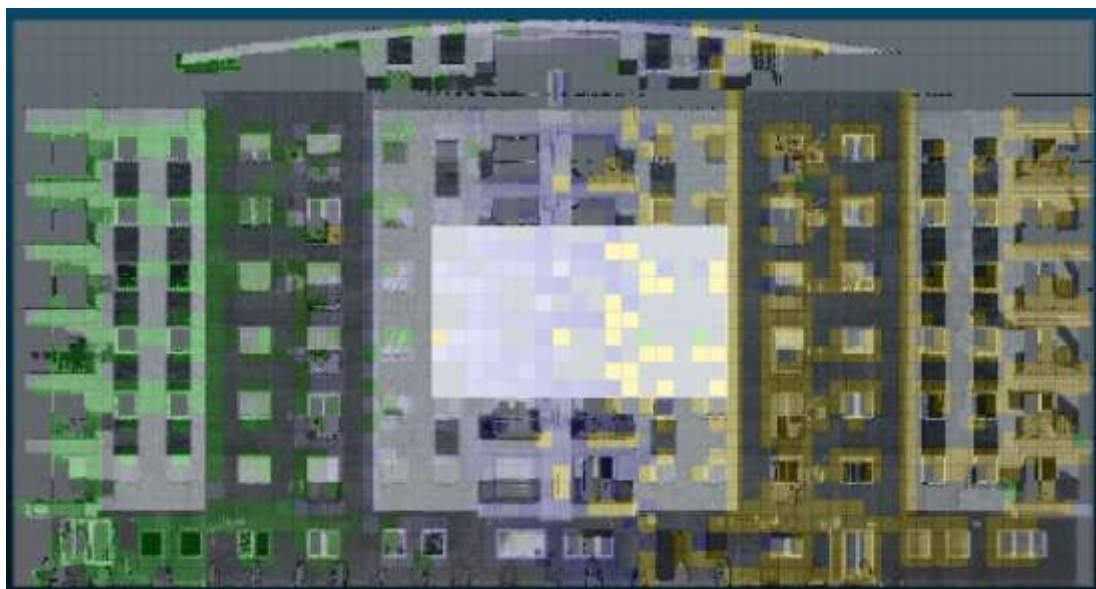


Εικόνα 3.28, Ο κάρναβος των σημείων της χρονικής στιγμής t_2 , σε σύγκριση με την χρονική στιγμή t_1 .



Εικόνα 3.29, Η οπτικοποίηση του τελικού αποτελέσματος μέσω στιγμιότυπου.

Εδώ, παρατηρείται η εκδήλωση του φαινομένου, στο ένα ακριανό τμήμα του κτιρίου, το δεξιό, έτσι όπως έχει σαρώσει την επιφάνεια του, ο επίγειος σαρωτής και αυτό φαίνεται από τις εικόνες 3.27 & 3.28. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι στο τμήμα αυτό του κτιρίου, οι δυνάμεις που επιδρούν στο κτίριο, είναι μεγαλύτερες απ' ότι στο υπόλοιπο. Από τον πίνακα αποτελεσμάτων, σχεδόν όλα τα σημεία των κελιών, έχουν μετακινηθεί χιλιοστά.



Εικόνα 3.30, Η επιλογή της περιοχής της κατασκευής για την δημιουργία πίνακα τελικών αποτελεσμάτων.

Κεφάλαιο 3 – Εισαγωγή & Επεξεργασία Δεδομένων – Εξαγωγή & Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

Cell index	Date	Deviation	Distance	Points count
Y,12	22/11/2018 15:49	0.046	0.003	702
Z,12	22/11/2018 15:49	0.041	0.003	694
AA,12	22/11/2018 15:49	0.350	0.004	889
AB,12	22/11/2018 15:49	0.727	0.004	1026
AC,12	22/11/2018 15:49	0.835	0.004	1147
AD,12	22/11/2018 15:49	0.824	0.004	1123
AE,12	22/11/2018 15:49	0.733	0.004	1119
AF,12	22/11/2018 15:49	0.358	0.005	1177
AG,12	22/11/2018 15:49	0.757	0.005	1087
AH,12	22/11/2018 15:49	0.777	0.005	978
AI,12	22/11/2018 15:49	0.691	0.005	1056
AJ,12	22/11/2018 15:49	0.382	0.005	857
AK,12	22/11/2018 15:49	0.040	0.006	569
AL,12	22/11/2018 15:49	0.051	0.005	604
AM,12	22/11/2018 15:49	0.001	0.005	581
AN,12	22/11/2018 15:49	0.037	0.006	555
AO,12	22/11/2018 15:49	0.055	0.006	574
Y,13	22/11/2018 15:49	0.005	0.003	668
Z,13	22/11/2018 15:49	0.006	0.003	669
AA,13	22/11/2018 15:49	0.349	0.004	648
AB,13	22/11/2018 15:49	0.310	0.004	358
AC,13	22/11/2018 15:49	0.220	0.004	403
AD,13	22/11/2018 15:49	0.203	0.004	358
AE,13	22/11/2018 15:49	0.130	0.005	705
AF,13	22/11/2018 15:49	0.032	0.004	782
AG,13	22/11/2018 15:49	0.014	0.004	297
AH,13	22/11/2018 15:49	0.013	0.005	287
AI,13	22/11/2018 15:49	0.338	0.005	355
AJ,13	22/11/2018 15:49	0.400	0.005	462
AK,13	22/11/2018 15:49	0.009	0.005	500
AL,13	22/11/2018 15:49	0.005	0.005	527
AM,13	22/11/2018 15:49	0.001	0.006	575
AN,13	22/11/2018 15:49	0.001	0.006	548
AO,13	22/11/2018 15:49	0.001	0.006	531
Y,14	22/11/2018 15:49	0.061	0.003	440
Z,14	22/11/2018 15:49	0.055	0.004	551
AA,14	22/11/2018 15:49	0.217	0.003	632

Κεφάλαιο 3 – Εισαγωγή & Επεξεργασία Δεδομένων – Εξαγωγή & Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

AB,14	22/11/2018 15:49	0.689	0.004	547
AC,14	22/11/2018 15:49	0.409	0.004	286
AD,14	22/11/2018 15:49	0.862	0.004	470
AE,14	22/11/2018 15:49	0.772	0.004	952
AF,14	22/11/2018 15:49	0.215	0.004	852
AG,14	22/11/2018 15:49	0.603	0.005	99
AH,14	22/11/2018 15:49	none	0.005	0
AI,14	22/11/2018 15:49	0.141	0.005	336
AJ,14	22/11/2018 15:49	0.003	0.005	475
AK,14	22/11/2018 15:49	0.055	0.006	481
AL,14	22/11/2018 15:49	0.059	0.006	525
AM,14	22/11/2018 15:49	0.001	0.005	564
AN,14	22/11/2018 15:49	0.055	0.006	502
AO,14	22/11/2018 15:49	0.071	0.006	512
Υ,15	22/11/2018 15:49	0.071	0.014	396
Z,15	22/11/2018 15:49	0.069	-0.003	518
AA,15	22/11/2018 15:49	0.367	0.003	733
AB,15	22/11/2018 15:49	0.456	0.003	393
AC,15	22/11/2018 15:49	none	0.004	0
AD,15	22/11/2018 15:49	0.004	0.004	95
AE,15	22/11/2018 15:49	0.839	0.005	1059
AF,15	22/11/2018 15:49	0.363	0.005	1051
AG,15	22/11/2018 15:49	none	0.005	0

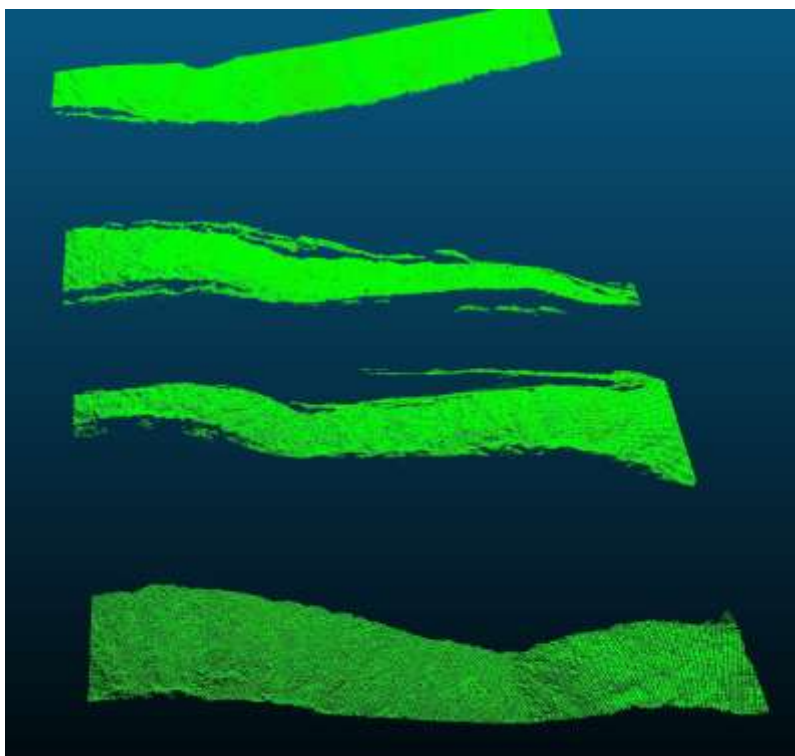
Πίνακας 3.6, Τα τελικά αποτελέσματα της επιλεγμένης περιοχής μελέτης, της κατασκευής.

3.4 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 3: ΠΡΑΝΕΣ ΕΔΑΦΟΥΣ

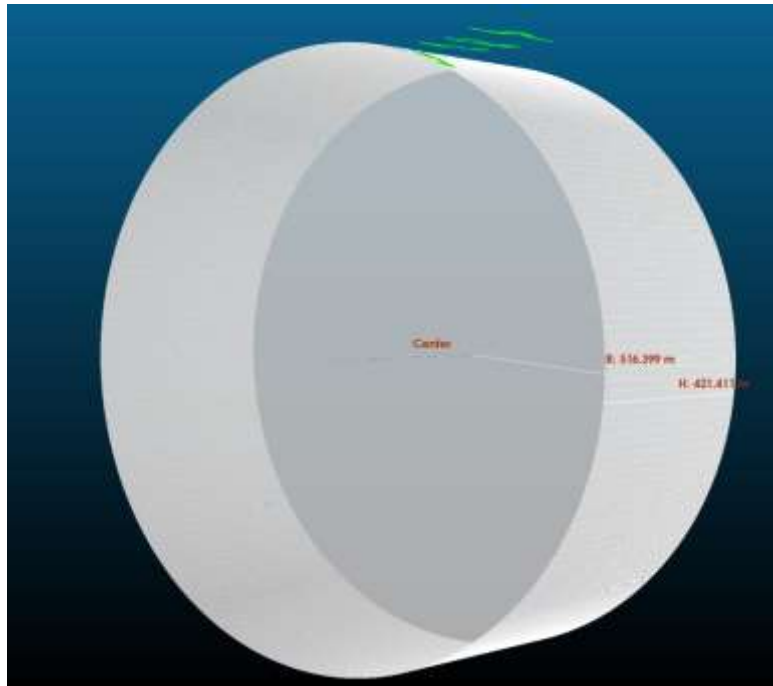
Η επόμενη περίπτωση, αφορά τη μελέτη για τη μετακίνηση τεσσάρων πρανών εδάφους που βρίσκονται υπό κάποια κλίση. Είναι γνωστό, ότι το έδαφος δέχεται αρκετές επιδράσεις από το περιβάλλον. Η πιο χαρακτηριστική είναι κατά τη διάρκεια μιας βροχόπτωσης, όπου η μεγάλη συγκέντρωση νερού σε μια περιοχή, οδηγεί σε κατολισθήσεις ή σε μετακινήσεις εδαφικών μαζών, αφού η συνεκτικότητα του εδάφους μειώνεται υπό την επίδραση του νερού. Επίσης, μετακινήσεις τέτοιες προκαλούνται από τον ανθρώπινο παράγοντα (κατά τη διάρκεια της ζωής

ενός έργου, από τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται κ.α.), από σεισμικές δονήσεις και από ισχυρούς ανέμους. Εδώ, η μαθηματική επιφάνεια που θα χρησιμοποιηθεί θα είναι ο κύλινδρος, καθώς δεν υπήρξε καμία διαφορά με τη χρησιμοποίηση του επιπέδου, γιατί οι εδαφικές λωρίδες, έχουν υψομετρικές διαφορές μεταξύ τους, πράγμα που στην προβολή στην επιφάνεια, έδινε μεγάλες αποστάσεις και μάλιστα τις πιο μεγάλες στο επίπεδο. Εν τέλει, εδώ αποδεικνύεται, ότι είναι δυνατή η χρησιμοποίηση κι άλλων επιφανειών εκτός από αυτή που φαίνεται ότι είναι η πιο ενδεδειγμένη.

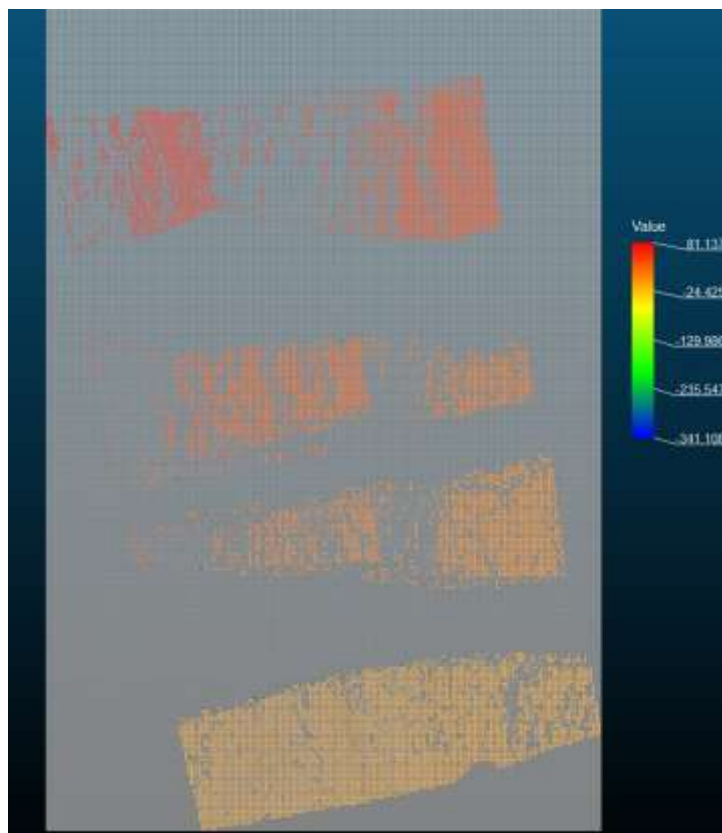
Στην εικόνα 3.31, φαίνονται οι τέσσερις εδαφικές λωρίδες, έτσι όπως σαρώθηκαν από τον επίγειο σαρωτή. Από την μορφολογία του εδάφους, φαίνεται σε κάθε μια απ' αυτές, να υπάρχουν υψομετρικές διαφορές.



Εικόνα 3.31, Οι λωρίδες εδαφικού πρανούς, ως αποτέλεσμα σαρώσεως του επίγειου σαρωτή.



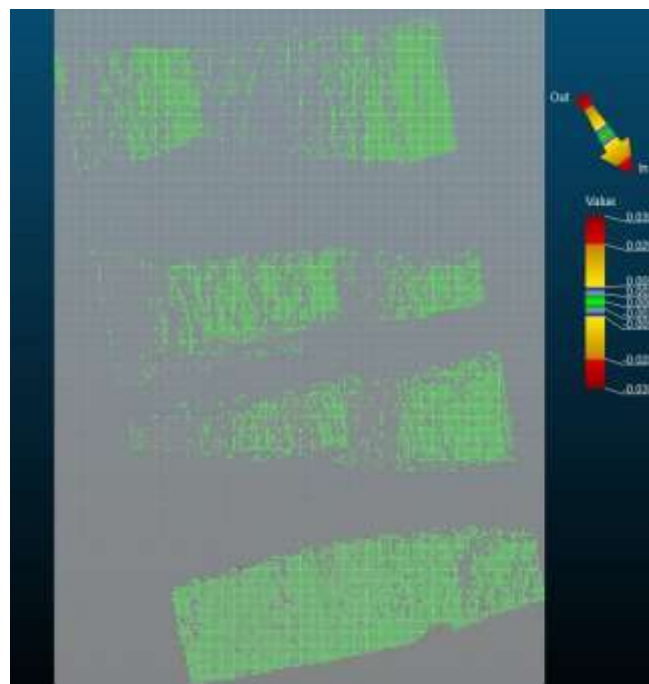
Εικόνα 3.32, Η μαθηματική επιφάνεια (κύλινδρος) και η προσαρμογή του νέφους σημείων πάνω της.



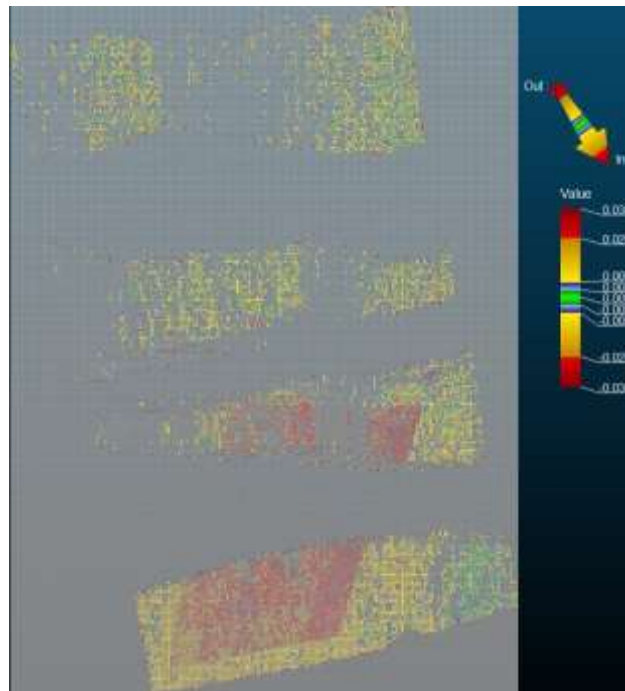
Εικόνα 3.33, Η κάθετη προβολή των σημείων στο επίπεδο και ο μετασχηματισμός του στο οριζόντιο επίπεδο.

Αυτό αποδεικνύεται από την εικόνα 3.30, όπου με την προβολή των σημείων στη μαθηματική επιφάνεια του κυλίνδρου, φαίνεται στην στήλη Value, το εύρος των αποστάσεων που έχουν τα σημεία της κάθε μιας λωρίδας από τον κύλινδρο, όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.31 ενώ στην εικόνα 3.32, φαίνονται οι μεγάλες αποκλίσεις των σημείων του εδάφους από το επίπεδο της επιφάνειας, λόγω της ανομοιογένειας του εδάφους, δηλαδή των υψομετρικών διαφορών, που υπάρχουν σε αυτό. Πιο κάτω, θα φανεί, ότι αυτό δεν θα επηρεάσει ιδιαίτερα στον προσδιορισμό μετακινήσεων.

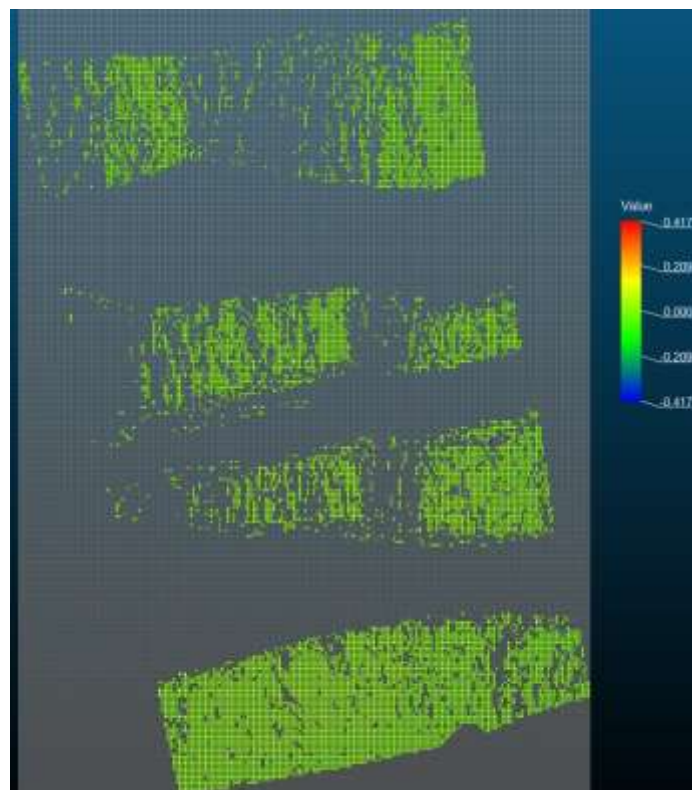
- **Κάθετες μετακινήσεις (In-Out)**



Εικόνα 3.34, Ο κάρναβος των σημείων της πρώτης χρονικής στιγμής t_1 , ως επιφάνεια αναφοράς $(0,0)$.



Εικόνα 3.35, Ο κάνναβος των σημείων της χρονικής στιγμής t_2 , σε σύγκριση με την χρονική στιγμή t_1



Εικόνα 3.36, Η οπτικοποίηση του τελικού αποτελέσματος μέσω στιγμιότυπου.

Σε αυτό το σημείο, πρέπει να τονιστεί ότι λόγω της ομοιογένειας των πρανών, το λογισμικό επέτρεψε τον προσδιορισμό των κάθετων μετατοπίσεων και όχι των άλλων δυο (οριζόντιες – κατακόρυφες). Επομένως στην εικόνα 3.34, φαίνονται οι μετατοπίσεις που έχουν συμβεί σε σχέση με την πρώτη περίοδο μετρήσεων, όπου οι μεγαλύτερες φαίνονται στην πιο κάτω εδαφική μάζα, της τάξεως εκατοστών. Στο στιγμιότυπο 3.35, δεν φαίνονται οι διαφορές λόγω της χρωματικής κλίμακας που χρησιμοποιεί το λογισμικό για την απεικόνιση του αποτελέσματος. Από τον πίνακα αποτελεσμάτων 3.7, φαίνονται μετατοπίσεις εκατοστών του εδάφους μέσα σε λίγη ώρα. Συνεπώς, συμπεραίνεται ότι υπάρχουν διεργασίες στο υπέδαφος που μπορούν να είναι π.χ. η ύπαρξη νερού ή κάποια κοντινή ανθρώπινη δραστηριότητα που οδηγεί σε μετακίνηση των εδαφών.

Cell index	Date	Deviation(\pm m)	Distance (m)	Points count
EL,108	6/5/2020 17:21	0.072	nan	35
EM,108	6/5/2020 17:21	0.036	0.031	31
EN,108	6/5/2020 17:21	0.029	0.031	31
EO,108	6/5/2020 17:21	0.038	0.018	33
EP,108	6/5/2020 17:21	0.041	0.018	33
EQ,108	6/5/2020 17:21	0.047	0.023	32
ER,108	6/5/2020 17:21	0.048	0.022	34
ES,108	6/5/2020 17:21	0.027	0.024	28
ET,108	6/5/2020 17:21	0.042	0.019	28
EU,108	6/5/2020 17:21	0.037	0.026	26
EV,108	6/5/2020 17:21	0.046	nan	35
EW,108	6/5/2020 17:21	0.081	nan	27
EX,108	6/5/2020 17:21	0.059	nan	22
EY,108	6/5/2020 17:21	0.036	0.023	33
EZ,108	6/5/2020 17:21	0.087	nan	34
FA,108	6/5/2020 17:21	0.037	0.028	37
FB,108	6/5/2020 17:21	0.033	0.030	33
FC,108	6/5/2020 17:21	0.022	0.025	37
FD,108	6/5/2020 17:21	0.030	0.029	32
FE,108	6/5/2020 17:21	0.040	0.029	31
FF,108	6/5/2020 17:21	0.026	0.017	33

Κεφάλαιο 3 – Εισαγωγή & Επεξεργασία Δεδομένων – Εξαγωγή & Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

FG,108	6/5/2020 17:21	0.024	0.006	31
FH,108	6/5/2020 17:21	0.037	0.011	32
EL,109	6/5/2020 17:21	0.075	nan	14
EM,109	6/5/2020 17:21	0.028	0.019	14
EN,109	6/5/2020 17:21	0.040	0.016	16
EO,109	6/5/2020 17:21	0.023	0.021	15
EP,109	6/5/2020 17:21	0.068	nan	17
EQ,109	6/5/2020 17:21	0.038	0.023	15
ER,109	6/5/2020 17:21	0.057	nan	15
ES,109	6/5/2020 17:21	0.018	0.025	14
ET,109	6/5/2020 17:21	0.038	0.023	13
EU,109	6/5/2020 17:21	0.025	0.025	12
EV,109	6/5/2020 17:21	0.047	0.011	17
EW,109	6/5/2020 17:21	0.054	nan	9
EX,109	6/5/2020 17:21	0.045	0.025	20
EY,109	6/5/2020 17:21	0.023	0.020	28
EZ,109	6/5/2020 17:21	0.052	nan	28
FA,109	6/5/2020 17:21	0.022	0.027	24
FB,109	6/5/2020 17:21	0.035	0.020	29
FC,109	6/5/2020 17:21	0.028	0.018	24
FD,109	6/5/2020 17:21	0.040	0.025	24
FE,109	6/5/2020 17:21	0.035	0.020	31
FF,109	6/5/2020 17:21	0.028	0.016	28
FG,109	6/5/2020 17:21	0.029	0.013	33
FH,109	6/5/2020 17:21	0.032	0.001	29
EL,110	6/5/2020 17:21	0.038	0.021	13
EM,110	6/5/2020 17:21	0.036	0.023	16
EN,110	6/5/2020 17:21	0.036	0.018	13
EO,110	6/5/2020 17:21	0.039	0.020	13
EP,110	6/5/2020 17:21	0.097	nan	16
EQ,110	6/5/2020 17:21	0.030	0.017	14
ER,110	6/5/2020 17:21	0.060	nan	16
ES,110	6/5/2020 17:21	0.035	0.020	15
ET,110	6/5/2020 17:21	0.034	0.024	14
EU,110	6/5/2020 17:21	0.025	0.025	12
EV,110	6/5/2020 17:21	0.029	0.026	14
EW,110	6/5/2020 17:21	0.046	0.030	13
EX,110	6/5/2020 17:21	0.039	0.039	13
EY,110	6/5/2020 17:21	0.015	0.019	12

Κεφάλαιο 3 – Εισαγωγή & Επεξεργασία Δεδομένων – Εξαγωγή & Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

EZ,110	6/5/2020 17:21	0.063	nan	15
FA,110	6/5/2020 17:21	0.020	0.023	13
FB,110	6/5/2020 17:21	0.026	0.026	13
FC,110	6/5/2020 17:21	0.026	0.024	14
FD,110	6/5/2020 17:21	0.019	0.021	11
FE,110	6/5/2020 17:21	0.020	0.022	12
FF,110	6/5/2020 17:21	0.038	0.022	15
FG,110	6/5/2020 17:21	0.014	0.003	13
FH,110	6/5/2020 17:21	0.011	-0.001	13
EL,111	6/5/2020 17:21	0.041	0.015	14
EM,111	6/5/2020 17:21	0.060	nan	14
EN,111	6/5/2020 17:21	0.039	0.023	14
EO,111	6/5/2020 17:21	0.037	0.019	14
EP,111	6/5/2020 17:21	0.075	nan	16
EQ,111	6/5/2020 17:21	0.116	nan	17
ER,111	6/5/2020 17:21	0.043	0.020	13
ES,111	6/5/2020 17:21	0.067	nan	14
ET,111	6/5/2020 17:21	0.024	0.024	14
EU,111	6/5/2020 17:21	0.018	0.024	13
EV,111	6/5/2020 17:21	0.015	0.022	13
EW,111	6/5/2020 17:21	0.018	0.032	12
EX,111	6/5/2020 17:21	0.012	0.027	10
EY,111	6/5/2020 17:21	0.008	0.024	14
EZ,111	6/5/2020 17:21	0.085	nan	16
FA,111	6/5/2020 17:21	0.032	0.031	14
FB,111	6/5/2020 17:21	0.016	0.026	15
FC,111	6/5/2020 17:21	0.022	0.030	11
FD,111	6/5/2020 17:21	0.027	0.023	15
FE,111	6/5/2020 17:21	0.026	0.027	14
FF,111	6/5/2020 17:21	0.033	0.027	11
FG,111	6/5/2020 17:21	0.020	0.003	14
FH,111	6/5/2020 17:21	0.014	-0.001	12
EL,112	6/5/2020 17:21	0.049	nan	12
EM,112	6/5/2020 17:21	0.041	nan	12
EN,112	6/5/2020 17:21	0.053	nan	14
EO,112	6/5/2020 17:21	0.034	0.024	13
EP,112	6/5/2020 17:21	0.081	nan	18
EQ,112	6/5/2020 17:21	0.070	nan	13
ER,112	6/5/2020 17:21	0.031	0.015	13

ES,112	6/5/2020 17:21	0.050	nan	16
ET,112	6/5/2020 17:21	0.015	0.024	13
EU,112	6/5/2020 17:21	0.024	0.024	12
EV,112	6/5/2020 17:21	0.029	0.027	12
EW,112	6/5/2020 17:21	0.021	0.027	12
EX,112	6/5/2020 17:21	0.028	0.023	12

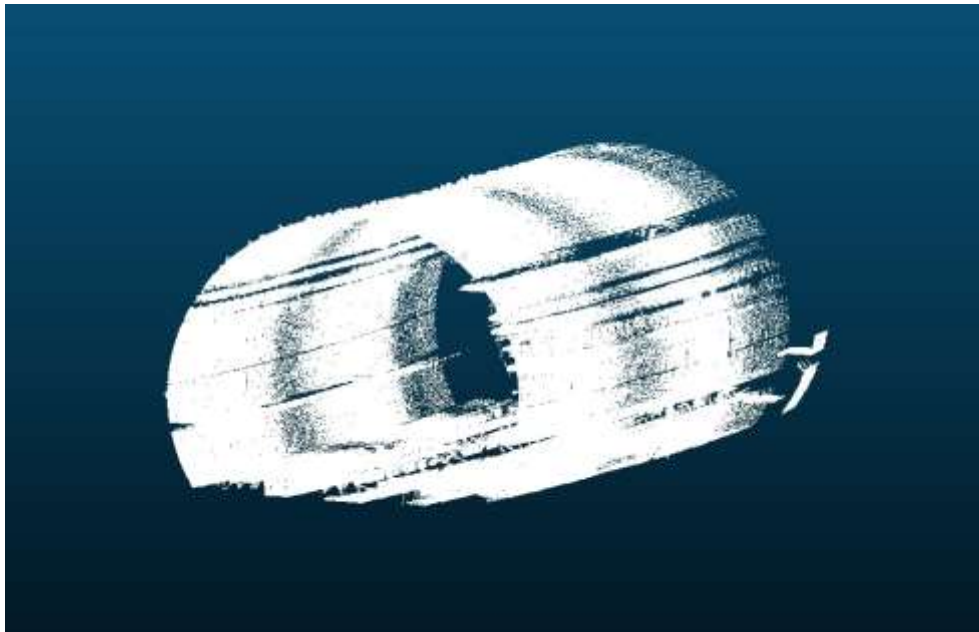
Πίνακας 3.7, Τα τελικά αποτελέσματα της επιλεγμένης περιοχής μελέτη, του πρανούς.

3.5 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 4: Η ΣΗΡΑΓΓΑ ΣΤΟ ΜΕΤΡΟ ΤΟΥ DUBAI

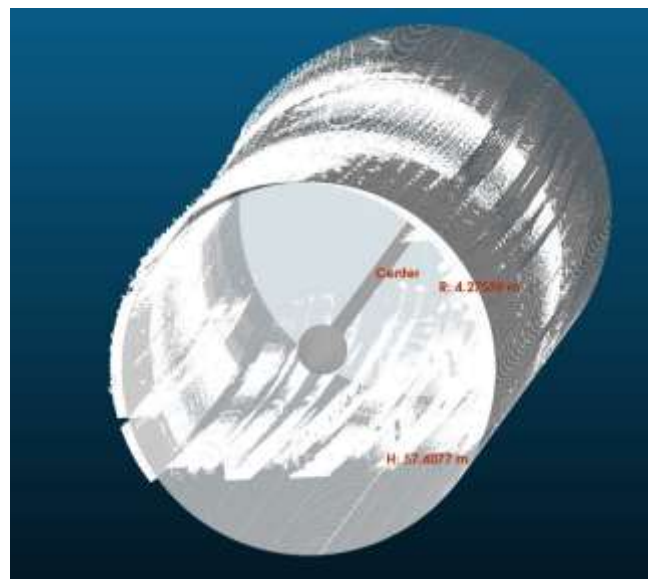
Η επόμενη κατασκευή που θα αναλυθεί, είναι της σήραγγας μετρό που βρίσκεται στο Ντουμπάι. Είναι μια ιδιόμορφη κατασκευή λόγω των δυσκολιών και των προϋποθέσεων για να δημιουργηθεί. Η συνεχής παρακολούθηση της είναι σημαντική κι απαραίτητη, λόγω των πιέσεων που δέχεται από την εδαφική μάζα που βρίσκεται πάνω από την σήραγγα αλλά και από τις πλευρικές πιέσεις, ώστε να αποφευχθούν τυχόν αστοχίες στην κατασκευή που θα ήταν επιβλαβείς για την χρησιμοποίησή της. Επίσης πολλές φορές, οι σήραγγες επηρεάζονται είτε από την ύπαρξη νερού που υπάρχει στα ανώτερα στρώματα της, είτε κάτω από την επιφάνεια του δρόμου που περνάει από την σήραγγα, είτε υπογείως αυτής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ελάττωση της συνεκτικότητας των εδαφών που μπορεί να οδηγήσει σε χαλάρωση των εδαφών και στη δημιουργία ρωγμών ή μετακινήσεων στο σκυρόδεμα που περιβάλλει την σήραγγα. Βέβαια, αυτό ελαχιστοποιείται, όταν το έδαφος της περιοχής που θα κατασκευαστεί ή οι εδαφικοί σχηματισμοί (βουνά, οροσειρές) είναι βραχώδεις και γι' αυτό τον λόγο είναι πάρα πολύ σημαντική η γεωτεχνική μελέτη, πριν την εκτέλεση του έργου. Εδώ προφανώς, είναι εύκολη η επιλογή της μαθηματικής επιφάνειας που θα χρησιμοποιηθεί, λόγω του σχήματος της σήραγγας που είναι κυλινδρικό.

Στην εικόνα 3.36, φαίνεται το αποτέλεσμα της σάρωσης του σαρωτή, όπου φαίνεται το κυλινδρικό σχήμα της κατασκευής καθώς και τα στοιχεία της επιφάνειας του εδάφους που διέρχεται από αυτήν καθώς και πρόσθετα στοιχεία που υπάρχουν στα τοιχώματα και τοποθετήθηκαν από τους εργάτες του έργου.

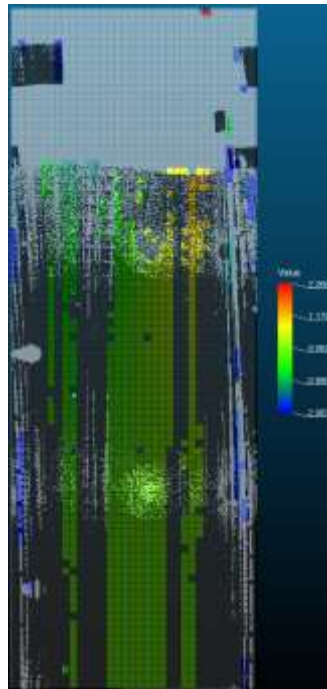
Στην 3.37, φαίνονται ο κύλινδρος μαζί με το νέφος σημείων, όπου τα σημεία προσαρμόζονται σχεδόν τέλεια στην μαθηματική επιφάνεια και επίσης απεικονίζονται το κέντρο του κυλίνδρου, το ύψος καθώς και η διεύθυνση του.



Εικόνα 3.37, Η σήραγγα, ως αποτέλεσμα σαρώσεως του επίγειου σαρωτή

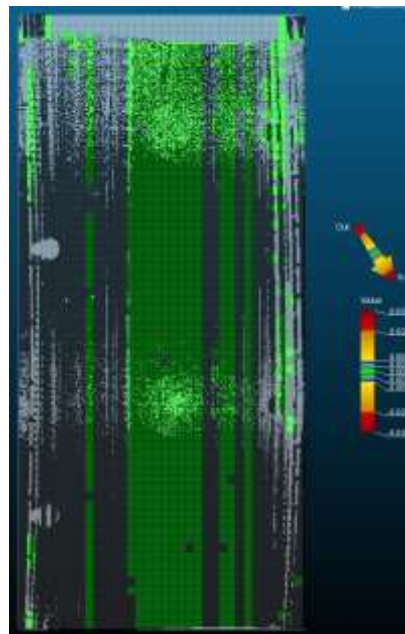


Εικόνα 3.38, Η μαθηματική επιφάνεια (κύλινδρος) και η προσαρμογή του νέφους σημείων.

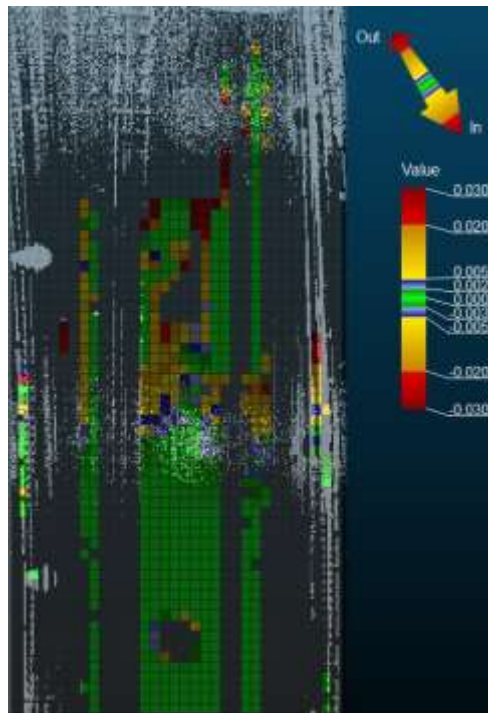


Εικόνα 3.39, Η κάθετη προβολή των σημείων στο επίπεδο και ο μετασχηματισμός του στο οριζόντιο επίπεδο.

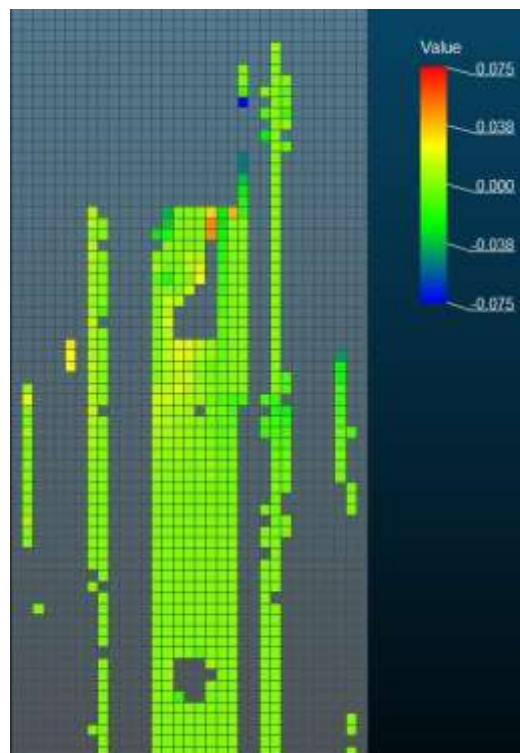
- **Κάθετες μετακινήσεις (In-Out)**



Εικόνα 3.40, Ο κάρναβος των σημείων της πρώτης χρονικής στιγμής t_1 , ως επιφάνεια αναφοράς $(0,0)$.



Εικόνα 3.41, Ο κάνναβος των σημείων της χρονικής στιγμής t_2 , σε σύγκριση με την χρονική στιγμή t_1 .



Εικόνα 3.42, Η οπτικοποίηση του τελικού αποτελέσματος μέσω στιγμιότυπου.

Κεφάλαιο 3 – Εισαγωγή & Επεξεργασία Δεδομένων – Εξαγωγή & Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

Στην συνέχεια, έγινε η μελέτη για τον προσδιορισμό κάθετων μετακινήσεων. Στην εικόνα 3.39, φαίνεται η επιφάνεια αφετηρίας μετρήσεων και στην 3.40, το αποτέλεσμα της μετακίνησης, της δεύτερης χρονικής στιγμής. Από την εικόνα, φαίνεται ότι δεν χρησιμοποιήθηκαν όλα τα σημεία από την προβολή των σημείων, πράγμα που οφείλεται στην παρουσία τραχιών επιφανειών, εμποδίων κ.α. Αυτό φαίνεται περισσότερο στο στιγμιότυπο 3.41, όπου απαλείφονται αρκετά κελιά σημείων, ενώ κάποιες μετακινήσεις απεικονίζονται στο κέντρο της σήραγγας και στα δυο άκρα της.

Cell index	Date	Deviation (\pm m)	Distance (m)	Points count
M,43	25/11/2018 17:59	0.022	nan	813
N,43	25/11/2018 17:59	0.023	0.000	1370
O,43	25/11/2018 17:59	0.021	0.000	1419
P,43	25/11/2018 17:59	0.032	0.000	1387
Q,43	25/11/2018 17:59	0.024	0.014	248
R,43	25/11/2018 17:59	0.059	nan	123
S,43	25/11/2018 17:59	none	nan	0
T,43	25/11/2018 17:59	0.020	-0.013	1303
U,43	25/11/2018 17:59	0.024	0.000	1683
V,43	25/11/2018 17:59	0.022	0.000	1798
W,43	25/11/2018 17:59	0.134	nan	2350
X,43	25/11/2018 17:59	0.117	nan	1828
Y,43	25/11/2018 17:59	0.037	0.000	1654
M,44	25/11/2018 17:59	0.205	nan	426
N,44	25/11/2018 17:59	0.033	-0.009	365
O,44	25/11/2018 17:59	0.027	-0.018	725
P,44	25/11/2018 17:59	0.023	0.000	1441
Q,44	25/11/2018 17:59	0.029	0.000	1367
R,44	25/11/2018 17:59	0.022	0.025	490
S,44	25/11/2018 17:59	none	nan	0
T,44	25/11/2018 17:59	0.016	-0.013	1084
U,44	25/11/2018 17:59	0.030	0.000	1777
V,44	25/11/2018 17:59	0.021	0.000	1841
W,44	25/11/2018 17:59	0.134	nan	2254
X,44	25/11/2018 17:59	0.109	nan	1933
Y,44	25/11/2018 17:59	0.034	0.000	1584

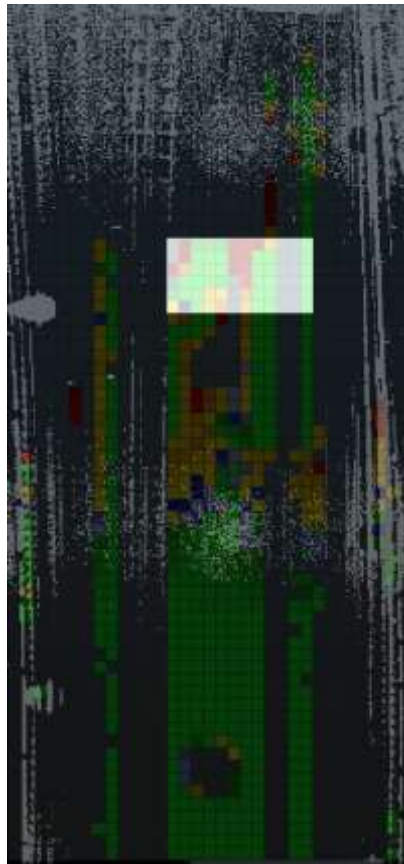
Κεφάλαιο 3 – Εισαγωγή & Επεξεργασία Δεδομένων – Εξαγωγή & Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

M,45	25/11/2018 17:59	0.182	nan	1234
N,45	25/11/2018 17:59	0.046	0.007	630
O,45	25/11/2018 17:59	0.026	-0.005	1012
P,45	25/11/2018 17:59	0.035	0.000	1540
Q,45	25/11/2018 17:59	0.030	0.012	805
R,45	25/11/2018 17:59	0.025	0.019	118
S,45	25/11/2018 17:59	none	nan	0
T,45	25/11/2018 17:59	0.023	-0.013	1036
U,45	25/11/2018 17:59	0.033	0.000	1887
V,45	25/11/2018 17:59	0.031	0.000	1798
W,45	25/11/2018 17:59	0.133	nan	2218
X,45	25/11/2018 17:59	0.118	nan	2079
Y,45	25/11/2018 17:59	0.048	0.000	1783
M,46	25/11/2018 17:59	0.153	nan	2099
N,46	25/11/2018 17:59	0.031	-0.001	1655
O,46	25/11/2018 17:59	0.028	0.000	1559
P,46	25/11/2018 17:59	0.029	0.000	1440
Q,46	25/11/2018 17:59	0.027	0.011	1022
R,46	25/11/2018 17:59	0.029	0.009	572
S,46	25/11/2018 17:59	none	nan	0
T,46	25/11/2018 17:59	0.016	-0.018	1018
U,46	25/11/2018 17:59	0.025	0.000	1995
V,46	25/11/2018 17:59	0.024	0.000	1761
W,46	25/11/2018 17:59	0.136	nan	2186
X,46	25/11/2018 17:59	0.115	nan	1888
Y,46	25/11/2018 17:59	0.038	0.000	1623
M,47	25/11/2018 17:59	0.003	nan	8
N,47	25/11/2018 17:59	0.020	nan	738
O,47	25/11/2018 17:59	0.047	0.000	1442
P,47	25/11/2018 17:59	0.028	0.000	1280
Q,47	25/11/2018 17:59	0.035	0.000	1000
R,47	25/11/2018 17:59	0.047	0.001	1238
S,47	25/11/2018 17:59	0.002	nan	8
T,47	25/11/2018 17:59	0.022	-0.020	884
U,47	25/11/2018 17:59	0.044	0.000	1886
V,47	25/11/2018 17:59	0.025	0.000	1508
W,47	25/11/2018 17:59	0.132	nan	2139
X,47	25/11/2018 17:59	0.122	nan	1829
Y,47	25/11/2018 17:59	0.047	0.000	1601

Κεφάλαιο 3 – Εισαγωγή & Επεξεργασία Δεδομένων – Εξαγωγή & Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

M,48	25/11/2018 17:59	none	nan	0
N,48	25/11/2018 17:59	0.007	-0.027	94
O,48	25/11/2018 17:59	0.021	-0.020	437
P,48	25/11/2018 17:59	0.028	0.000	1033
Q,48	25/11/2018 17:59	0.032	0.000	1071
R,48	25/11/2018 17:59	0.031	0.000	1522
S,48	25/11/2018 17:59	0.004	0.047	137
T,48	25/11/2018 17:59	0.016	-0.025	656
U,48	25/11/2018 17:59	0.032	0.000	1481
V,48	25/11/2018 17:59	0.024	0.000	1553
W,48	25/11/2018 17:59	0.133	nan	1961
X,48	25/11/2018 17:59	0.112	nan	1711
Y,48	25/11/2018 17:59	0.037	0.000	1354
M,49	25/11/2018 17:59	none	nan	0
N,49	25/11/2018 17:59	none	nan	0
O,49	25/11/2018 17:59	0.010	-0.033	350
P,49	25/11/2018 17:59	0.040	0.000	1482
Q,49	25/11/2018 17:59	0.038	0.000	1531
R,49	25/11/2018 17:59	0.041	0.000	1371
S,49	25/11/2018 17:59	0.008	0.048	270
T,49	25/11/2018 17:59	0.015	-0.028	612
U,49	25/11/2018 17:59	0.032	0.000	1288
V,49	25/11/2018 17:59	0.033	0.000	1161
W,49	25/11/2018 17:59	0.128	nan	1869
X,49	25/11/2018 17:59	0.128	nan	1435
Y,49	25/11/2018 17:59	0.040	0.001	1090
M,50	25/11/2018 17:59	0.018	nan	67
N,50	25/11/2018 17:59	none	nan	0
O,50	25/11/2018 17:59	0.008	-0.038	218
P,50	25/11/2018 17:59	0.030	-0.001	766
Q,50	25/11/2018 17:59	0.032	-0.001	661
R,50	25/11/2018 17:59	0.034	0.001	418
S,50	25/11/2018 17:59	0.027	0.033	94
T,50	25/11/2018 17:59	0.016	-0.027	60

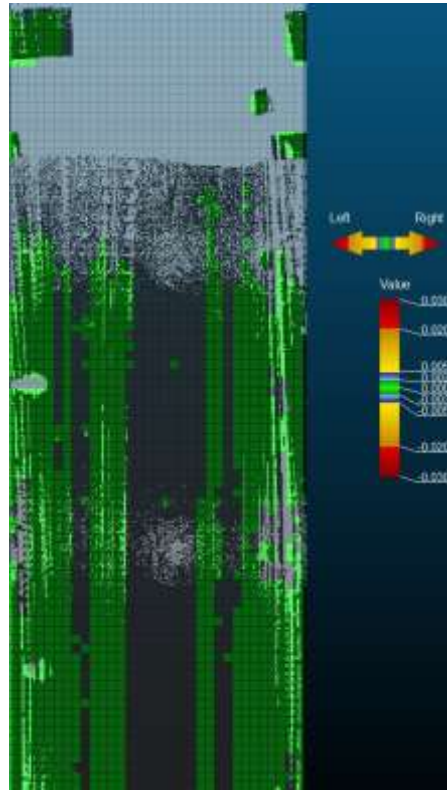
Πίνακας 3.8, Τα τελικά αποτελέσματα της επιλεγμένης περιοχής μελέτης, της σήραγγας.



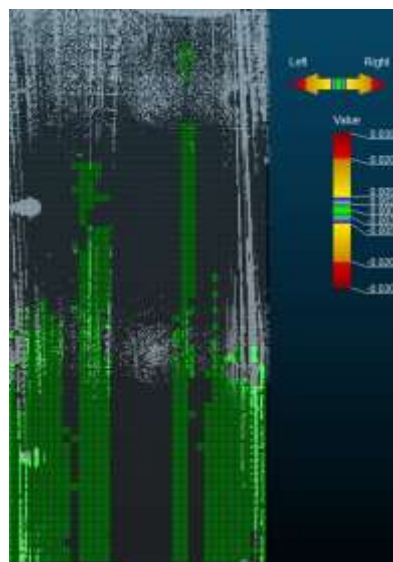
Εικόνα 3.43, Η επιλογή της περιοχής της κατασκευής για την δημιουργία πίνακα τελικών αποτελεσμάτων

Από τον πίνακα αποτελεσμάτων 3.8, φαίνονται πολύ καλές τιμές τυπικής απόκλισης, μετακινήσεις τάξεως μέχρι και εκατοστών και ταξινόμηση πολλών σημείων ανά κελί. Αυτό σημαίνει, ότι έχει γίνει ένας πολύ καλός υπολογισμός μετακινήσεων των σημείων και μπορούν να εξαχθούν χρήσιμα και ασφαλή συμπεράσματα για τις κάθετες μετατοπίσεις. Η ύπαρξη τέτοιων μετακινήσεων, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η συγκεκριμένη κατασκευή πρέπει να παρακολουθηθεί και στο μέλλον για την ύπαρξη τυχόν αστοχιών.

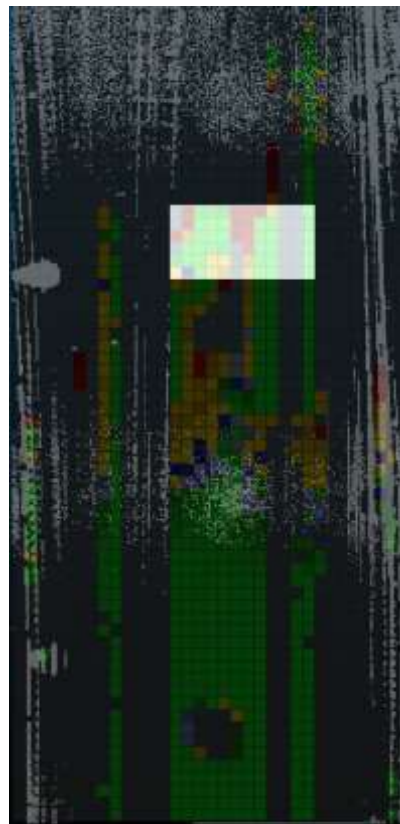
- Οριζόντιες μετακινήσεις (Left- Right)



Εικόνα 3.44, Ο κάνναβος των σημείων της πρώτης χρονικής στιγμής t_1 , ως επιφάνεια αναφοράς $(0,0)$.



Εικόνα 3.45, Ο κάνναβος των σημείων της χρονικής στιγμής t_2 , σε σύγκριση με την χρονική στιγμή t_1 .



Εικόνα 3.46, Η επιλογή της περιοχής της κατασκευής για την δημιουργία πίνακα τελικών αποτελεσμάτων

Cell index	Date	Deviation	Distance	Points count
N,45	25/11/2018 17:59	0.046	0.007	630
O,45	25/11/2018 17:59	0.026	-0.005	1012
P,45	25/11/2018 17:59	0.035	0.000	1540
Q,45	25/11/2018 17:59	0.030	0.012	805
R,45	25/11/2018 17:59	0.025	0.019	118
S,45	25/11/2018 17:59	none	nan	0
T,45	25/11/2018 17:59	0.023	-0.013	1036
U,45	25/11/2018 17:59	0.033	0.000	1887
V,45	25/11/2018 17:59	0.031	0.000	1798
W,45	25/11/2018 17:59	0.133	nan	2218
X,45	25/11/2018 17:59	0.118	nan	2079
Y,45	25/11/2018 17:59	0.048	0.000	1783
N,46	25/11/2018 17:59	0.031	-0.001	1655
O,46	25/11/2018 17:59	0.028	0.000	1559
P,46	25/11/2018 17:59	0.029	0.000	1440
Q,46	25/11/2018 17:59	0.027	0.011	1022
R,46	25/11/2018 17:59	0.029	0.009	572
S,46	25/11/2018 17:59	none	nan	0

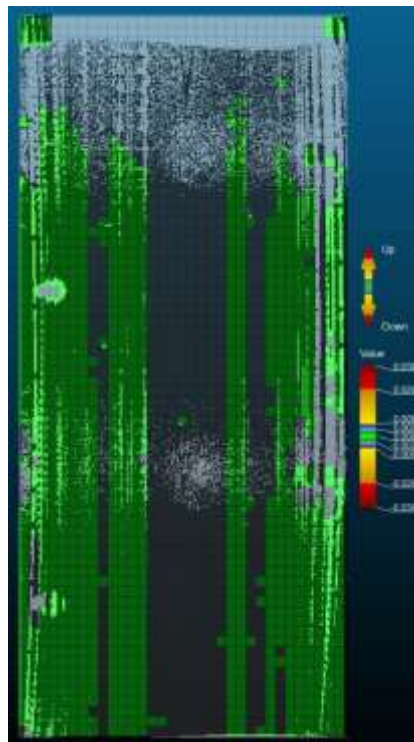
Κεφάλαιο 3 – Εισαγωγή & Επεξεργασία Δεδομένων – Εξαγωγή & Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

T,46	25/11/2018 17:59	0.016	-0.018	1018
U,46	25/11/2018 17:59	0.025	0.000	1995
V,46	25/11/2018 17:59	0.024	0.000	1761
W,46	25/11/2018 17:59	0.136	nan	2186
X,46	25/11/2018 17:59	0.115	nan	1888
Y,46	25/11/2018 17:59	0.038	0.000	1623
N,47	25/11/2018 17:59	0.020	nan	738
O,47	25/11/2018 17:59	0.047	0.000	1442
P,47	25/11/2018 17:59	0.028	0.000	1280
Q,47	25/11/2018 17:59	0.035	0.000	1000
R,47	25/11/2018 17:59	0.047	0.001	1238
S,47	25/11/2018 17:59	0.002	nan	8
T,47	25/11/2018 17:59	0.022	-0.020	884
U,47	25/11/2018 17:59	0.044	0.000	1886
V,47	25/11/2018 17:59	0.025	0.000	1508
W,47	25/11/2018 17:59	0.132	nan	2139
X,47	25/11/2018 17:59	0.122	nan	1829
Y,47	25/11/2018 17:59	0.047	0.000	1601
N,48	25/11/2018 17:59	0.007	-0.027	94
O,48	25/11/2018 17:59	0.021	-0.020	437
P,48	25/11/2018 17:59	0.028	0.000	1033
Q,48	25/11/2018 17:59	0.032	0.000	1071
R,48	25/11/2018 17:59	0.031	0.000	1522
S,48	25/11/2018 17:59	0.004	0.047	137
T,48	25/11/2018 17:59	0.016	-0.025	656
U,48	25/11/2018 17:59	0.032	0.000	1481
V,48	25/11/2018 17:59	0.024	0.000	1553
W,48	25/11/2018 17:59	0.133	nan	1961
X,48	25/11/2018 17:59	0.112	nan	1711
Y,48	25/11/2018 17:59	0.037	0.000	1354
N,49	25/11/2018 17:59	none	nan	0
O,49	25/11/2018 17:59	0.010	-0.033	350
P,49	25/11/2018 17:59	0.040	0.000	1482
Q,49	25/11/2018 17:59	0.038	0.000	1531
R,49	25/11/2018 17:59	0.041	0.000	1371
S,49	25/11/2018 17:59	0.008	0.048	270
T,49	25/11/2018 17:59	0.015	-0.028	612
U,49	25/11/2018 17:59	0.032	0.000	1288
V,49	25/11/2018 17:59	0.033	0.000	1161
W,49	25/11/2018 17:59	0.128	nan	1869
X,49	25/11/2018 17:59	0.128	nan	1435
Y,49	25/11/2018 17:59	0.040	0.001	1090
N,50	25/11/2018 17:59	none	nan	0
O,50	25/11/2018 17:59	0.008	-0.038	218
P,50	25/11/2018 17:59	0.030	-0.001	766
Q,50	25/11/2018 17:59	0.032	-0.001	661

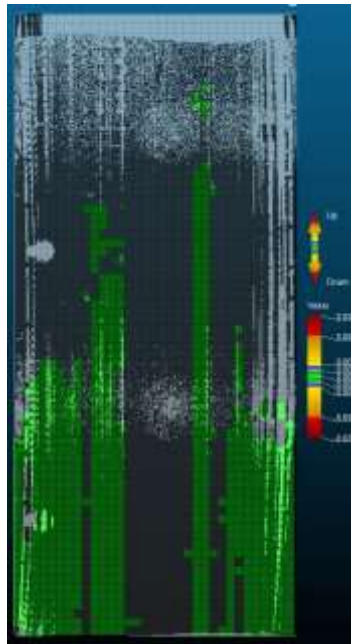
R,50	25/11/2018 17:59	0.034	0.001	418
S,50	25/11/2018 17:59	0.027	0.033	94
T,50	25/11/2018 17:59	0.016	-0.027	60

Πίνακας 3.9, Τα τελικά αποτελέσματα της επιλεγμένης περιοχής μελέτης, της σήραγγας.

- **Κατακόρυφες μετακινήσεις (Up- Down)**



Εικόνα 3.47, Ο κάνναβος των σημείων της πρώτης χρονικής στιγμής t_1 , ως επιφάνεια αναφοράς $(0,0)$.



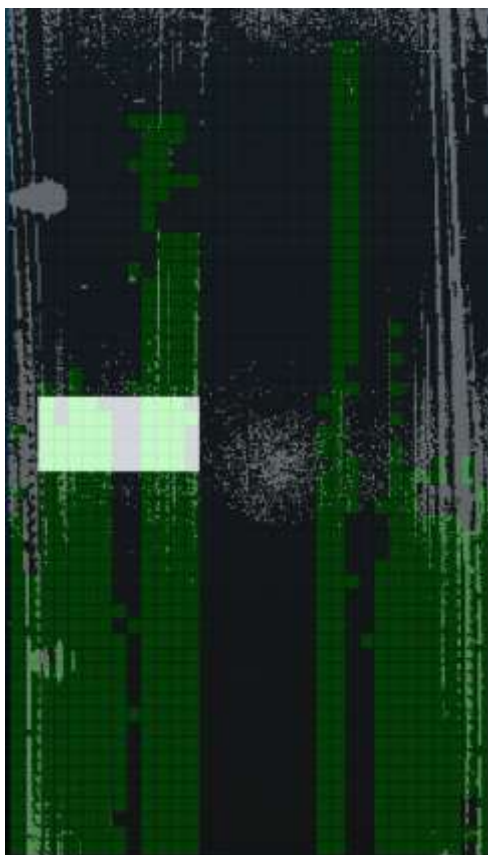
Εικόνα 3.48, Ο κάρναβος των σημείων της χρονικής στιγμής t_2 , σε σύγκριση με την χρονική στιγμή t_1 .

Cell index	Date	Deviation (\pm m)	Distance (m)	Points count
C,27	25/11/2018 17:59	0.178	0.000	284
D,27	25/11/2018 17:59	0.111	0.000	236
E,27	25/11/2018 17:59	0.241	0.000	286
F,27	25/11/2018 17:59	0.112	0.000	129
G,27	25/11/2018 17:59	0.203	0.000	159
H,27	25/11/2018 17:59	0.007	0.000	147
I,27	25/11/2018 17:59	0.009	0.000	156
J,27	25/11/2018 17:59	0.091	0.000	165
K,27	25/11/2018 17:59	0.149	0.000	195
L,27	25/11/2018 17:59	0.107	0.000	174
M,27	25/11/2018 17:59	0.206	0.000	85
C,28	25/11/2018 17:59	0.195	0.000	195
D,28	25/11/2018 17:59	0.094	0.000	153
E,28	25/11/2018 17:59	0.219	0.000	206
F,28	25/11/2018 17:59	0.097	0.000	154
G,28	25/11/2018 17:59	0.213	0.000	149
H,28	25/11/2018 17:59	0.007	0.000	121
I,28	25/11/2018 17:59	0.026	0.000	118
J,28	25/11/2018 17:59	0.099	0.000	140

Κεφάλαιο 3 – Εισαγωγή & Επεξεργασία Δεδομένων – Εξαγωγή & Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

K,28	25/11/2018 17:59	0.161	0.000	128
L,28	25/11/2018 17:59	0.112	0.000	128
M,28	25/11/2018 17:59	0.190	0.000	95
C,29	25/11/2018 17:59	0.225	0.000	183
D,29	25/11/2018 17:59	0.100	0.000	117
E,29	25/11/2018 17:59	0.227	0.000	169
F,29	25/11/2018 17:59	0.056	0.000	132
G,29	25/11/2018 17:59	0.252	0.000	125
H,29	25/11/2018 17:59	0.014	0.000	106
I,29	25/11/2018 17:59	0.024	0.000	169
J,29	25/11/2018 17:59	0.100	0.000	140
K,29	25/11/2018 17:59	0.141	0.000	163
L,29	25/11/2018 17:59	0.109	0.000	133
M,29	25/11/2018 17:59	0.145	0.000	51
C,30	25/11/2018 17:59	0.212	0.000	190
D,30	25/11/2018 17:59	0.116	0.000	83
E,30	25/11/2018 17:59	0.224	0.000	170
F,30	25/11/2018 17:59	0.088	0.000	108
G,30	25/11/2018 17:59	0.201	0.000	105
H,30	25/11/2018 17:59	0.009	0.000	101
I,30	25/11/2018 17:59	0.015	0.000	165
J,30	25/11/2018 17:59	0.103	0.000	155
K,30	25/11/2018 17:59	0.141	0.000	192
L,30	25/11/2018 17:59	0.113	0.000	153
M,30	25/11/2018 17:59	0.160	0.000	101
C,31	25/11/2018 17:59	0.221	0.000	140
D,31	25/11/2018 17:59	0.137	0.000	74
E,31	25/11/2018 17:59	0.232	0.000	142
F,31	25/11/2018 17:59	0.077	0.000	102
G,31	25/11/2018 17:59	0.212	0.000	67
H,31	25/11/2018 17:59	0.011	0.000	91
I,31	25/11/2018 17:59	0.014	0.000	160
J,31	25/11/2018 17:59	0.136	0.000	273
K,31	25/11/2018 17:59	0.150	0.000	186
L,31	25/11/2018 17:59	0.122	0.000	172
M,31	25/11/2018 17:59	0.128	0.000	69

Πίνακας 3.10, Τα τελικά αποτελέσματα της επιλεγμένης περιοχής μελέτης, της σήραγγας.



Εικόνα 3.49, Η επιλογή της περιοχής της κατασκευής για την δημιουργία πίνακα τελικών αποτελεσμάτων.

Στις οριζόντιες & κατακόρυφες μετακινήσεις, παρατηρήθηκαν απειροελάχιστες μετακινήσεις, τάξεως χιλιοστού και χαμηλότερα. Τα σημεία που χρησιμοποίησε το πρόγραμμα, είναι αυτά που δεν χρησιμοποιήθηκαν στις κάθετες και είναι σημεία της οροφής καθώς και πλευρικών κατασκευών κατά μήκος της σήραγγας που σχηματίζουν γωνίες-ακμές ή ο σαρωτής, τις σάρωσε υπό τέτοια γωνία, ώστε μπόρεσε να υπολογίσει διανύσματα μετακίνησης μόνο γι' αυτά. Βέβαια, απ' όσο φαίνεται μεταξύ των δυο σαρώσεων, δεν χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια κελιά. Τελικώς, εξάγεται το συμπέρασμα ότι δεν υπάρχουν μετακινήσεις στην οροφή της σήραγγας όπως επίσης φαίνεται και από τον τελικό πίνακα αποτελεσμάτων 3.10. Η δυσκολία υπολογισμών των μετακινήσεων αυτών, αποδεικνύεται από την στήλη της τυπικής απόκλισης, όπως φαίνονται μεγάλες τιμές σφάλματος, στον υπολογισμό του μέσου όρου της απόστασης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

4.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

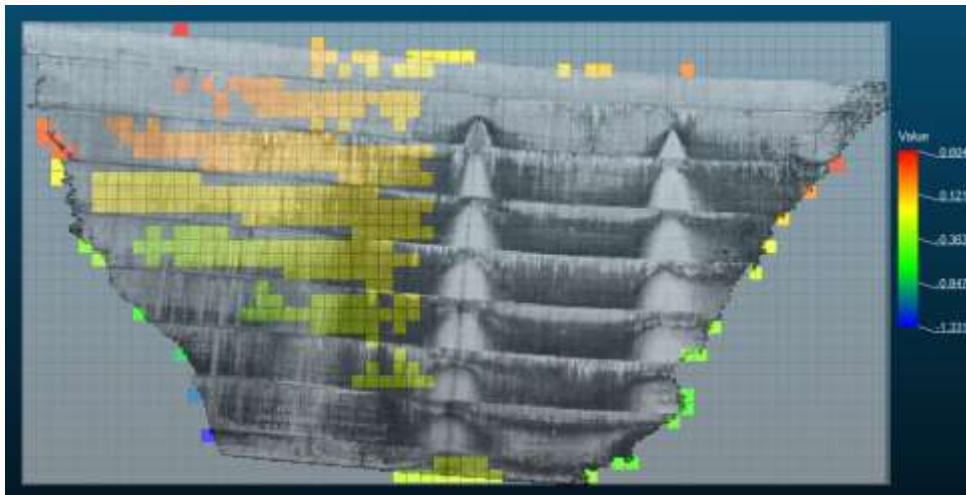
4.1.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ

Στο τελευταίο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας, θα αναλυθούν και θα επισημανθούν τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από την εμπειρία χρήσης του λογισμικού Orsis και τα αποτελέσματα από την μελέτη μικρομετακινήσεων που έγινε στις τέσσερις κατασκευές που μελετήθηκαν στο 3^ο κεφάλαιο. Όπως έγινε γνωστό, ιδίως στο 2^ο κεφάλαιο, όπου παρουσιάστηκε το λογισμικό και ειδικότερα στην ενότητα όπου αναλύθηκαν οι παράμετροι σχηματισμού της μαθηματικής επιφάνειας (σελ. 30), αυτοί οι παράμετροι είναι πολύ σημαντικοί για την συνέχιση της μελέτης και της εξαγωγής του τελικού αποτελέσματος. Εκτός από την επιλογή της επιφάνειας αυτή που μοντελοποιεί, την επιφάνεια που έχει σαρωθεί, οι παράμετροι που αφορούν το μέγεθος κελιού (Grid Size), την τυπική απόκλιση (Standard Deviation) και οι επιλογές της επιφάνειας όπου για κάθε μια, υπάρχουν οι δικές τους. Όμως, για τα δυο πρώτα, μπορεί ο χρήστης, να χρησιμοποιήσει αυτές τις τιμές που θεωρεί ο ίδιος, ότι θα του το προσφέρουν το βέλτιστο αποτέλεσμα. Στη συνέχεια, θα παρουσιαστούν παραδείγματα που δείχνουν πόσο σημαντικός είναι ο συνδυασμός αυτών των δυο παραμέτρων στην έκβαση του αποτελέσματος.

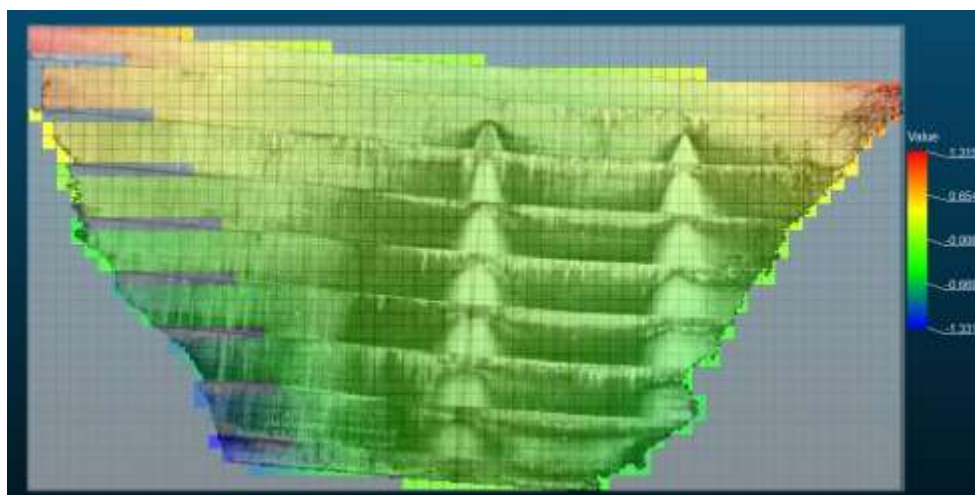
Όπως έχει προαναφερθεί, το κάθε κελί στην προβολή, του καννάβου, εμπεριέχει μέσα σημεία τα οποία έχουν ταξινομηθεί βάσει της απόστασής τους από τη μαθηματική επιφάνεια. Δηλαδή, το λογισμικό υπολογίζει ένα μέσο όρο αποστάσεων και ταυτόχρονα μια τυπική απόκλιση που τον συνοδεύει. Εάν οι αποστάσεις των σημείων είναι κοντά σε αυτόν τον μέσο όρο, τα ταξινομεί και έτσι δημιουργούνται τα κελιά. Το πρόγραμμα, παρέχει στο χρήστη τη δυνατότητα, να εισάγει οποιαδήποτε τυπική απόκλιση αυτός επιθυμεί δηλαδή ουσιαστικά την ακρίβεια που θα υπολογιστεί ο μέσος όρος. Από αυτό, εξάγεται το συμπέρασμα ότι επιλέγοντας διαφορετικές τυπικές αποκλίσεις, το αποτέλεσμα γίνεται διαφορετικό, γιατί κάθε φορά που αυτή θα αλλάζει, θα εξάγονται διαφορετικά κελιά καννάβου, άρα και διαφορετικά αποτελέσματα. Βέβαια ταυτόχρονα με την τυπική απόκλιση, εισάγεται και το μέγεθος κελιού που επιθυμείται. Αυτοί οι δυο παράμετροι αλληλοσχετίζονται μεταξύ τους, όπως θα αναλυθεί παρακάτω, στα παραδείγματα που θα ακολουθήσουν.

- Ίδιο μέγεθος κελιού και διαφορετική τυπική απόκλιση

Το πρώτο παράδειγμα, αφορά στην περίπτωση υπολογισμού της μαθηματικής επιφάνειας βάσει των σημείων, διατηρώντας το ίδιο μέγεθος κελιού αλλά αλλάζοντας την τυπική απόκλιση με την οποία υπολογίζεται ο μέσος όρος των αποστάσεων των σημείων. Οι δυο περιπτώσεις αφορούν, την κάθετη προβολή των σημείων με μέγεθος κελιού 0.8m x 0.8m και στην πρώτη περίπτωση με τυπική απόκλιση $\pm 0.01m$ και στην δεύτερη με τυπική απόκλιση $\pm 0.1m$.



Εικόνα 4.1, Περίπτωση 1: Μέγεθος κελιού 0.8m x 0.8m και τυπική απόκλιση $\pm 0.01m$.

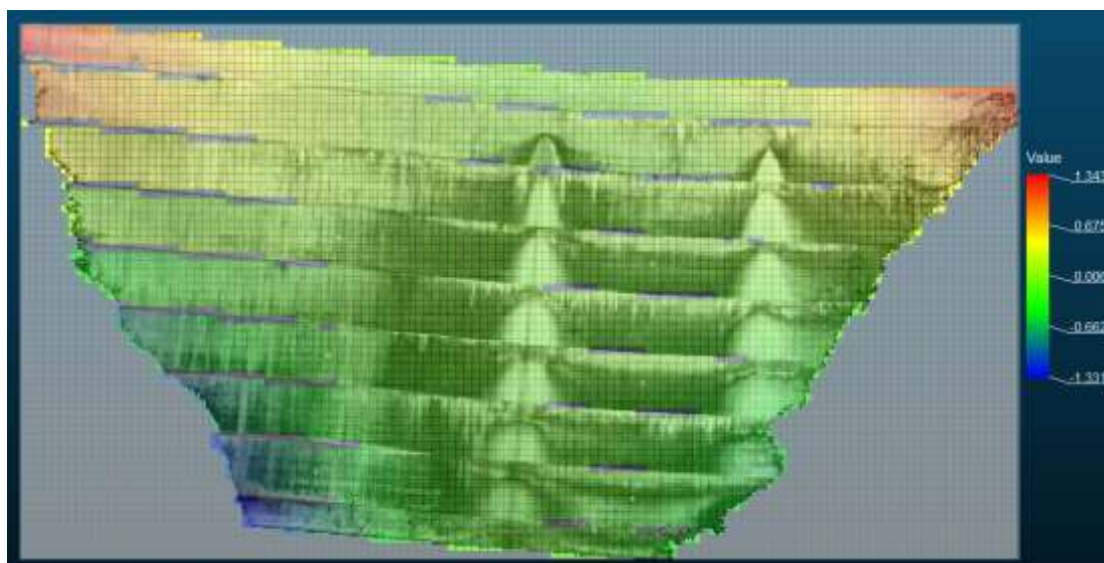


Εικόνα 4.2, Περίπτωση 2: Μέγεθος κελιού 0.8m x 0.8m και τυπική απόκλιση $\pm 0.1m$.

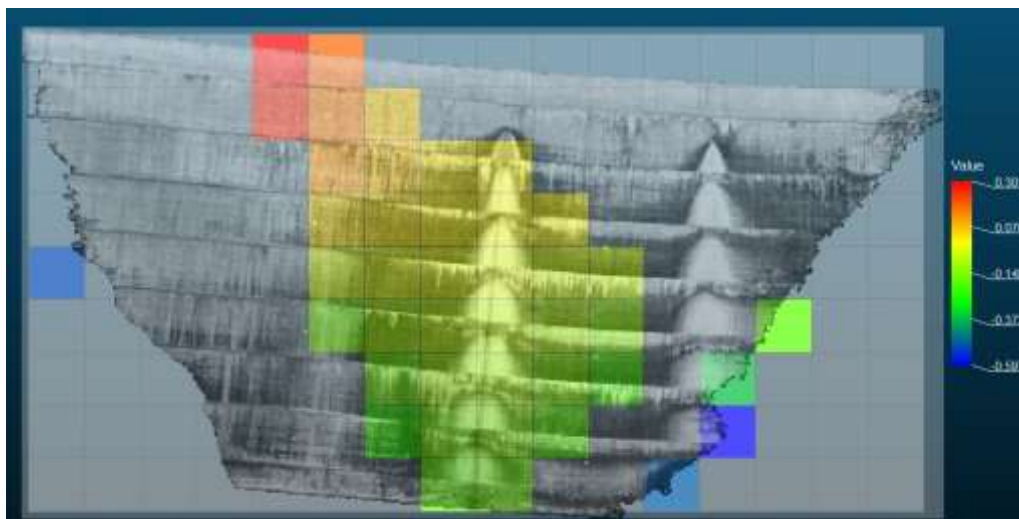
Από τις παραπάνω εικόνες, φαίνεται ότι διατηρώντας το ίδιο μέγεθος κελιού, όσο μειώνεται η τυπική απόκλιση, τόσο για λιγότερες περιοχές μελέτης, έχει γίνει υπολογισμός μετακίνησης ενώ συμβαίνει το αντίθετο όσο μεγαλώνει η τυπική απόκλιση. Αυτό συμβαίνει διότι μειώνοντας την τυπική απόκλιση, το λογισμικό προσπαθεί να ταξινομήσει σημεία των οποίων η κάθετη απόσταση από τις συντεταγμένες του σαρωτή προς την μαθηματική επιφάνεια που έχει ξεδιπλωθεί και έχει γίνει ένα με το επίπεδο, διαφέρει αρκετά, από σημείο σε σημείο. Άρα, αδυνατεί να ταξινομήσει σημεία και να υπολογίσει έναν μέσο όρο τέτοιο που να συνάδει με την τυπική απόκλιση. Στη αντίθετη περίπτωση, είναι πιο εύκολο να ταξινομήσει σημεία καθώς μεγαλώνοντας την τυπική απόκλιση, θα ταξινομήσει με μεγαλύτερο μέσο όρο αποστάσεων, τα σημεία και άρα θα υπάρξουν περισσότερες περιοχές μελέτης.

- **Ίδια τυπική απόκλιση και διαφορετικό μέγεθος κελιού**

Το επόμενο παράδειγμα αφορά την περίπτωση που διατηρείται η ίδια τυπική απόκλιση και διαφορετικό μέγεθος κελιού. Στις περιπτώσεις, εισάγεται τυπική απόκλιση ίση με $\pm 0.05m$ ενώ στην πρώτη περίπτωση, το μέγεθος κελιού θα είναι διαστάσεων $0.4m \times 0.4m$ και στην δεύτερη $3.2m \times 3.2m$.



Εικόνα 4.3, Περίπτωση 1: Τυπική απόκλιση $\pm 0.05m$ και Μέγεθος κελιού $0.4m \times 0.4m$.



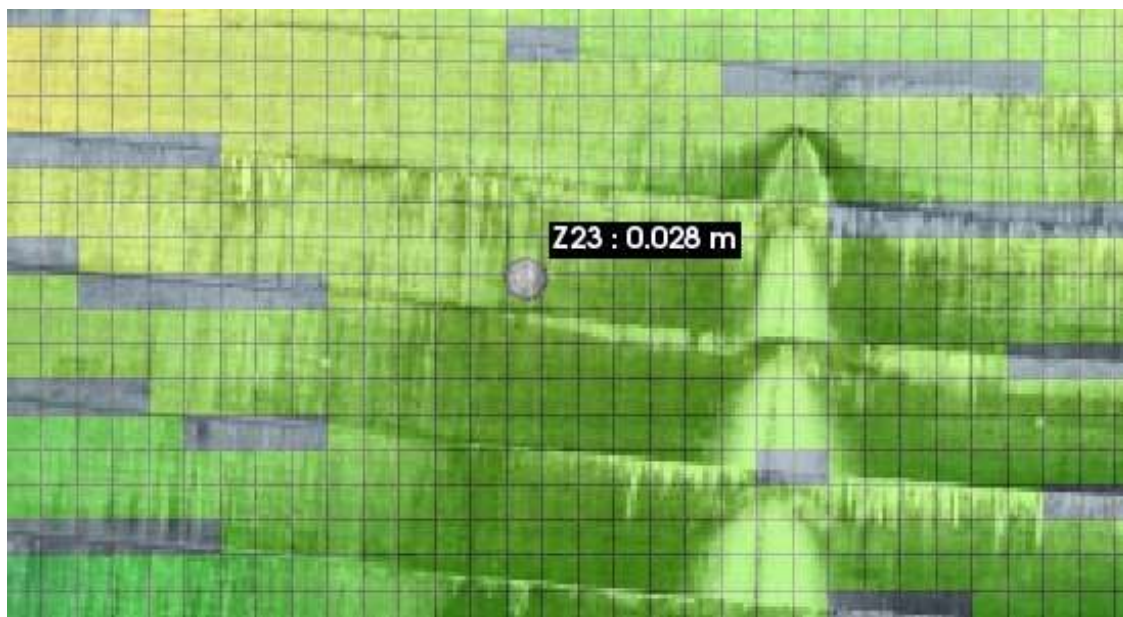
Εικόνα 4.4, Περίπτωση 2: Τυπική απόκλιση $\pm 0.05m$ και Μέγεθος κελιού $3.2m \times 3.2m$.

Στις δυο εικόνες, φαίνεται πόσο σημαντικός είναι ο ρόλος του μεγέθους κελιού εάν διατηρηθεί η ίδια τυπική απόκλιση. Με μικρό μέγεθος κελιού, οι περιοχές υπολογισμού μελέτης, καταλαμβάνουν σχεδόν ολόκληρη την κατασκευή ενώ με μεγάλο μέγεθος κελιού, οι περιοχές είναι λιγότερες. Αυτό συμβαίνει διότι απλά, οι μέσοι όροι των αποστάσεων υπολογίζονται με το ίδιο τυπική απόκλιση, επομένως αλλάζοντας το μέγεθος των κελιών, το λογισμικό κάνει την ταξινόμηση μόνο με τη διάσταση του κελιού.

Επί προσθέτως, από την τιμή της τυπικής απόκλισης, μπορεί να καταλάβει ο χρήστης εάν τα κελιά που εμπεριέχουν τα σημεία, έχουν υπολογιστεί με πολύ καλή ακρίβεια ή όχι, βάσει του πίνακα περιεχόμενων του λογισμικού, επιλέγοντας με την κατάλληλη εντολή, ένα κελί. Επίσης θα φανεί, ότι σημαντική είναι η επιλογή του σημείου της κατασκευής, από όπου θα επιλεγεί ένα κελί: αν π.χ. επιλεγθεί από μια περιοχή λείας επιφάνειας, αναμένεται η τυπική απόκλιση να είναι μικρή ενώ αν επιλεγθεί από μια περιοχή η οποία διαχωρίζει δυο επιφάνειες ή είναι περιοχή ακμών, αναμένεται η τυπική απόκλιση να είναι μεγάλη. Στα κελιά που δεν έχουν υπολογιστεί κελιά (με το γκρι χρώμα), η τυπική απόκλιση θα είναι πολύ μεγάλη κι αυτό δικαιολογεί την αδυναμία υπολογισμού, αφού το λογισμικό, δεν υπολόγισε μετακινήσεις βάσει της διαφοράς των αποστάσεων των μεταξύ των σημείων της περιοχής. Στη συνέχεια, θα παρουσιαστούν τρεις διαφορετικές περιπτώσεις.

- **Περίπτωση 1:**

Στην περίπτωση αυτή, επιλέγεται ένα τυχαίο κελί με το όνομα Z23, το οποίο ανήκει σε μια περιοχή που η επιφάνεια είναι ενιαία. Σύμφωνα με τον πίνακα πληροφοριών, ο μέσος όρος των αποστάσεων είναι 0.028m με τυπική απόκλιση $\pm 0.008m$. Απ αυτό επιβεβαιώνεται ότι πράγματι, το κελί αυτό, ανήκει σε μια επίπεδη επιφάνεια.



Εικόνα 4.5, Η επιλογή του κελιού Z23.

Additional properties	
Cell	Z23
Deviation	0.008431
Points count	1571
Average Distance	0.028295

Εικόνα 4.6, Ο πίνακας πληροφοριών του κελιού Z23.

- **Περίπτωση 2:**

Σε αυτή την περίπτωση το κελί AB18, έχει επιλεγεί από μια περιοχή όπου δυο περιοχές της κατασκευής διαχωρίζονται, μάλλον από κάποια στρώση σκυροδέματος. Αυτό σημαίνει ότι το κελί, θα εμπεριέχει μέσα του σημεία τα οποία θα έχουν μεγάλο εύρος αποστάσεων μεταξύ τους, αφού θα

προέρχονται από τις δυο επιφάνειες, πάνω και κάτω από την εσοχή από που έχει παρθεί το κελί. Αυτό φαίνεται από τον πίνακα πληροφοριών που ο μέσος όρος αποστάσεων είναι 0.020m αλλά η τυπική απόκλιση είναι σχεδόν η ίδια με τον μέσο όρο δηλαδή πολύ μεγάλη.



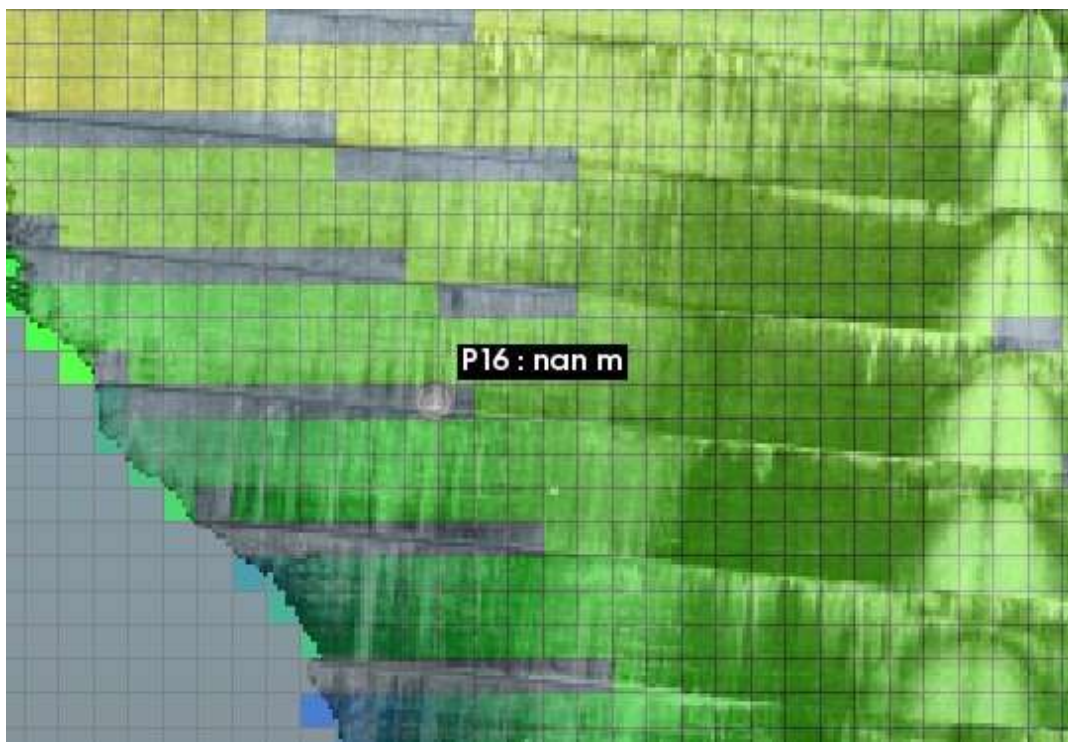
Εικόνα 4.7, Η επιλογή του κελιού AB18.

Additional properties	
Cell	AB18
Deviation	0.018379
Points count	1503
Average Distance	-0.020392

Εικόνα 4.8, Ο πίνακας πληροφοριών του κελιού AB18.

- **Περίπτωση 3:**

Στην περίπτωση αυτή, έχει επιλεγεί ένα κελί όπου δεν έγινε καν η προβολή των σημείων από τη σάρωση, στο επίπεδο της μαθηματικής επιφάνειας. Αυτό έγινε διότι ο μέσος όρος των αποστάσεων υπολογίστηκε πολύ μεγάλος και έτσι το λογισμικό, δεν προχώρησε σε ταξινόμηση σημείων. Η τυπική απόκλιση είναι της τάξης κοντά στα 10 εκατοστά που είναι πολύ μεγάλη για υπολογισμό μετακινήσεων.



Εικόνα 4.9, Η επιλογή του κελιού P16.

Additional properties	
Cell	P16
Deviation	0.096340
Points count	1600
Average Distance	nan

Εικόνα 4.10, Ο πίνακας πληροφοριών του κελιού P16.

4.1.2 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΖΟΥΝ ΠΡΟΣΟΧΗΣ

Στο προηγούμενο κεφάλαιο, παρουσιάστηκε η μελέτη προσδιορισμού παραμορφώσεων σε τέσσερα διαφορετικά είδη κατασκευών. Από το τελικό αποτέλεσμα, εντοπίστηκαν οι περιοχές όπου δέχονται τις περισσότερες πιέσεις και όπου εκεί θα πρέπει να εστιαστεί η προσοχή των αρμόδιων οργάνων για την εποπτεία και παρακολούθηση των κατασκευών.

Στην περίπτωση του φράγματος (περ. 1), σχεδόν όλες τις πιέσεις, δέχεται η κορυφή του φράγματος, λόγω της υδροστατικής πίεσης του νερού λόγω της συγκέντρωσης του. Σε περίπτωση που εντοπιστούν μεγάλες

μετακινήσεις, πρέπει να εφαρμοστούν τεχνικές αντιμετώπισής τους. Κάποιες θα μπορούσε να είναι η μείωση του νερού στον ταμιευτήρα, η ενίσχυση της κορυφής του φράγματος με κάποιου είδους κατασκευή.

Στην επόμενη περίπτωση που αφορά το κτίριο (περ.2), μετακινήσεις παρουσιάστηκαν σε πολλές περιοχές του, ανάλογα του είδους της μετακίνησης. Παράγοντες που μπορούν να προκαλέσουν τέτοιες αστοχίες είναι οι σεισμοί, το ίδιο βάρος του σκυροδέματος + το πρόσθετο βάρος που εισάγουν οι κάτοικοι στην κατασκευή, οι άνεμοι κλπ. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, να δημιουργούνται ρηγματώσεις στο κτίριο και σε πιο σπάνιες περιπτώσεις, αστοχίες που προκαλούν πτώσεις υλικών (π.χ. σοβάδων), υποχωρήσεις δαπέδων, μετακινήσεων προβολών (μπαλκονιών) κ.α. Αυτά αντιμετωπίζονται αναλόγως την αστοχία: οι ρηγματώσεις με ενέσεις ρητίνης ή σκυροδέματος, οι υποχωρήσεις με επανατοποθέτηση υλικών με έξτρα ενισχύσεις κ.α.

Στην περίπτωση του εδάφους (περ.3), παρουσιάστηκαν μετακινήσεις οι οποίες, εάν σε μεγάλες σε βαθμό, μπορούν να προκαλέσουν πολλά προβλήματα εάν η περιοχή μελέτης, βρίσκεται κοντά σε κατοικήσιμες περιοχές ή οι περιοχές όπου υπάρχουν ανθρώπινες δραστηριότητες. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα, είναι οι μετακινήσεις εδαφών και βραχωδών μαζών που παρατηρούνται σε περιοχές όπου οι βροχές είναι πολύ συχνές, κάτι που δημιουργεί άμεσο κίνδυνο για την υγεία σε περιπτώσεις πτώσης μαζών σε δρόμους ή μετακινήσεις εδαφών που προκαλούνται έπειτα από τεράστια νεροποντή και βυθίζουν ολόκληρους οικισμούς ή χωριά. Εδώ, απαιτούνται δραστικές αποφάσεις για το πως θα αντιμετωπιστούν τέτοια φαινόμενα. Ένας απ' αυτούς είναι η δημιουργία μεγάλων τοίχων αντιστήριξης ή μεταλλικών κατασκευών που θα συγκρατούν, τέτοιους όγκους εδάφους. Επίσης, η φύτευση καμένων εδαφών όπου πριν ήταν δάση, θα μείωνε την ροή του νερού προς τους οικισμούς.

Τέλος, όπως έχει αναφερθεί, η κατασκευή της σήραγγας δέχεται πιέσεις από διάφορες δυνάμεις: η οροφή και οι πλευρές της, από τον εδαφικό σχηματισμό που βρίσκεται από πάνω της, η επιφάνεια του άξονα που διέρχεται την σήραγγα, από τυχόν υδάτινους πόρους που βρίσκονται από κάτω της και από την διέλευση των οχημάτων που την χρησιμοποιούν. Σε περιπτώσεις μεγάλης αστοχίας, γίνονται στοχευμένες παρεμβάσεις

όπως η ενίσχυση της οροφής και των πλευρών με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και ενίσχυση του με χάλυβα, ενίσχυση του δρόμου κατά μήκος του άξονα με άσφαλτο.

4.1.3 ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα εργασία κατέδειξε, την πρόοδο που έχει γίνει, στην ανάπτυξη νέων μεθόδων και νέων λογισμικών, για τον υπολογισμό μικρομετακινήσεων σε κατασκευές και σχηματισμούς. Πλέον, οι μελέτες έχουν μειωθεί πολύ, σε χρόνο και κόπο, με τη χρήση απλά, ενός συστήματος σάρωσης (Laser Scanner), ενός Η/Υ και ενός λογισμικού, κατάλληλου για μια τέτοια εργασία όπως το λογισμικό Orsis. Επίσης, είναι δυνατή η εισαγωγή-εξαγωγή δεδομένων και η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων τους, με μέσα που τα προηγούμενα χρόνια, δεν υπήρχαν στην διάθεση του μελετητή μηχανικού όπως αναλύθηκαν σε προηγούμενα κεφάλαια. Ο χρόνος μελέτης, μειώνεται αρκετά και έτσι είναι δυνατή η λήψη αποφάσεων και κατ' επέκταση επεμβάσεων, πιο άμεσα σε σχέση με άλλες μεθόδους και για μεγαλύτερες επιφάνειες της κατασκευής ή σε πολλές περιπτώσεις, για όλη της την έκταση. Ένα άλλο πλεονέκτημα, είναι η δυνατότητα αποστολής των δεδομένων από τον έναν χρήστη στον άλλον ώστε να υπάρχει η δυνατότητα επεξεργασίας και επαλήθευσης των αποτελεσμάτων, όχι μόνο από τον χρήστη ή την ομάδα που έχει αναλάβει την συγκεκριμένη εργασία αλλά και άλλους συνεργάτες ή συνάδελφους που έχουν το ίδιο γνωστικό αντικείμενο.

Όλα αυτά πηγάζουν από την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και μεθόδων για τον προσδιορισμό μετακινήσεων. Στην παρούσα εργασία, αναλύθηκε η μέθοδος της μοντελοποίησης επιφανειών αξιοποιώντας το νέφος σημείων που έχει δημιουργηθεί δηλαδή του αποτελέσματος της σάρωσης, από τον επίγειο σαρωτή. Ουσιαστικά πρόκειται, για την εύρεση του ιδεατού εκείνου σχήματος που θα προσαρμόζεται βέλτιστα στο νέφος σημείων της κατασκευής, ώστε έπειτα με τα κατάλληλα βήματα όπως:

- Ταύτιση γεωμετρικού σχήματος με το οριζόντιο επίπεδο
- Κάθετη προβολή των σημείων στο οριζόντιο επίπεδο – γεωμετρικό σχήμα
- Αυτόματη ταξινόμηση των νεφών σε κελιά καννάβου,

να προσδιορίζονται μετακινήσεις στην κατασκευή. Όμως, η εξαγωγή του τελικού αποτελέσματος, εξαρτάται κατά πολύ μεγάλο βαθμό, από το τι είδους αποτέλεσμα, θέλει να εξάγει ο μελετητής – μηχανικός, γι' αυτό, έχει τη δυνατότητα, να εισάγει τις παραμέτρους του γεωμετρικού σχήματος που επιθυμεί όπως:

- Μέγεθος κελιού
- Τυπική απόκλιση

Αυτές οι δύο παράμετροι, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως επηρεάζουν σημαντικά στο τελικό αποτέλεσμα: Αναλόγως το μέγεθος του κελιού που ορίζει ο χρήστης, το λογισμικό θα ταξινομήσει τα σημεία της κατασκευής, εμπεριέχοντας ρίσκο για το τελικό αποτέλεσμα διότι τα σημεία μεταξύ τους έχουν διαφορετικές αποστάσεις από τον σαρωτή και έτσι αν επιλεγθεί ένα μεγάλο μέγεθος κελιού, δεν είναι σίγουρο ότι θα έχει γίνει σωστή ταξινόμηση και μέσα στο κελί, υπάρχει η πιθανότητα να υπάρχουν σημεία με μεγάλες αποκλίσεις στις αποστάσεις. Εκεί υπεισέρχεται και ρόλος της τυπικής απόκλισης. Που ουσιαστικά είναι το σφάλμα υπολογισμού του μέσου όρου των αποστάσεων του κάθε κελιού. Όπως είναι κατανοητό, αν σε ένα κελί, υπάρχουν τέτοια σημεία (διάφορων αποστάσεων), δεν θα εξαχθεί ένας καλός μέσος και κατά συνέπεια η τιμή της τυπικής απόκλισης θα είναι μεγάλη, λόγω της μεγάλης διαφοράς της μικρότερης με την μεγαλύτερη απόσταση σημείου – σαρωτή. Επομένως εδώ, αναδεικνύεται η μεγάλη σπουδαιότητα των δυο παραμέτρων.

Στις περιπτώσεις – κατασκευές που αναλύθηκαν προηγουμένως, χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιες παράμετροι ώστε να εξαχθούν με τον ίδιο τρόπο, τα τελικά τους αποτελέσματα. Όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως, το λογισμικό υπολογίζει ως μετακίνηση τον μέσο όρο των αποστάσεων των σημείων κάθε κελιού από την επιφάνεια αφετηρίας μετρήσεων (πρώτη εποχή σάρωσης) και την συνοδεύει η τυπική

απόκλιση αυτού του μέσου όρου. Ο μελετητής, βάσει της τυπικής απόκλισης, μπορεί να κρίνει ποιοτικά, για την αξιοπιστία υπολογισμού της μετακίνησης: μεγάλες τιμές → μικρή αξιοπιστία και το αντίθετο. Σε κάθε περίπτωση, προσδιορίστηκαν και των τριών τύπων οι μετακινήσεις. Οι κάθετες (In-Out), μετακινήσεις υπολογίστηκαν σε όλες τις περιπτώσεις, εξάγοντας και περισσότερα αποτελέσματα από τις άλλες δυο, οριζόντιες και κατακόρυφες. Αυτό προκύπτει από την φύση των μετρήσεων του σαρωτή: Ο σαρωτής στέλνει τις δέσμες Laser προς την κατασκευή, δημιουργώντας το νέφος σημείων της κατασκευής. Ειδικά αν πρόκειται για ανομοιόμορφη κατασκευή, σημαίνει ότι τα σημεία αυτά, θα έχουν διαφορετικές αποστάσεις από τον σαρωτή. Επειδή το λογισμικό Orpsis, λειτουργεί με τη μέθοδο του γεωμετρικού σχήματος που γίνεται ένα με το οριζόντιο επίπεδο, αυτές οι διαφορές στις αποστάσεις, προσδιορίζονται πιο εύκολα απ' ό,τι οι διαφορές που αφορούν πάνω στη επιφάνεια της κατασκευής, ως προς την διεύθυνση αυτής, είτε οριζόντια είτε κατακόρυφα. Οι τελευταίες, προσδιορίζονται με διανύσματα κίνησης, όπως έχουν αναφερθεί και παραπάνω.

Σε κάθε κατασκευή, μπορεί ο μηχανικός, έχοντας τις κατάλληλες γνώσεις, να εκτιμήσει από πριν, για τις περιοχές όπου μπορεί πράγματι, να έχουν συμβεί μικρομετακινήσεις και γενικότερα να έχουν επηρεαστεί από διάφορες παραμέτρους. Επομένως η διαδικασία προσδιορισμού μετακινήσεων με λογισμικό, αποτελεί μια επαλήθευση των εκτιμήσεων αυτών. Πράγματι, στην περίπτωση του φράγματος (περ.1), η επηρεαζόμενη περιοχή, όπου αναμένονται μετακινήσεις είναι η περιοχή κοντά στην παρουσία του νερού, λόγω των μεγάλων πιέσεων που δημιουργεί η παρουσία του όπως φαίνεται στην εικόνα 3.5. Στην περίπτωση του κτιρίου (περ.2), αναμένονται οι περισσότερες μετακινήσεις, όσο μεγαλώνει το ύψος του κτιρίου λόγω σεισμικών δονήσεων, από την πάροδο του χρόνου, από πλευρικούς ανέμους. Πράγματι αυτό φαίνεται από την εικόνα 3.19, όπου οι μετακινήσεις επικεντρώνονται στα ψηλότερα στρώματα του κτιρίου. Στην τρίτη περίπτωση, των εδαφικών μαζών, φαίνονται μετακινήσεις σε διάφορες περιοχές τους. Αυτό είναι κάτι που αναμένεται, καθώς η τυχαιότητα μετακίνησης τους είναι μεγάλη, λόγω της μικρής συνεκτικότητάς τους που π.χ. μια βροχόπτωση ή λόγω δυνάμεων βαρύτητας, μπορεί να το μετακινήσει. Και τέλος, στην περίπτωση των σηράγγων, αναμένονται

μετακινήσεις στην οροφή και στον άξονα της οδού που την διέρχεται, πράγμα που φαίνεται από τις εικόνες 3.40-3.41.

Τελικώς, αποδεικνύεται ότι η ανάπτυξη της τεχνολογίας, προσφέρει όλο και μεγαλύτερα πλεονεκτήματα για τέτοιους είδους εργασίες, όμως υπάρχουν και μειονεκτήματα που πρέπει οπωσδήποτε να προσεχθούν. Το κόστος του επίγειου σαρωτή είναι πολύ μεγάλο και πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην χρησιμοποίησή του, για τυχόν καταστροφή ή βλάβη του. Επίσης οι καιρικές συνθήκες επηρεάζουν ιδιαίτερα την σάρωση του επιθυμητού αντικειμένου καθώς επίσης δυσκολεύει στην μελέτη μετακινήσεων, η φύση της ίδιας της κατασκευής π.χ. αν πρόκειται για κατασκευή τραχιάς επιφάνειας ή με υψομετρικές διαφορές. Συμπερασματικά, για τον Αγρονόμο & Τοπογράφο Μηχανικό που αυτές οι μελέτες είναι ένα από τα στάδια ασχολίας του, τα πράγματα έχουν γίνει πολύ πιο εύκολα και γρήγορα σε σχέση με πριν, καθώς η χρήση γεωδαιτικού σταθμού ή άλλων οργάνων, έκανε πιο δύσκολη και χρονοβόρα την εργασία του αλλά και στα θέματα της ακρίβειας που ως γνωστόν, από την ακαδημαϊκή του πορεία, είναι ένα από τα ζητήματα που τον απασχολούν, καθώς μαθαίνει πόσο σημαντική είναι για την ολοκλήρωση ενός έργου.

4.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Βεβαίως, σε κάθε τέτοια διαδικασία μελέτης μετακινήσεων, υπάρχει η δυνατότητα βελτιστοποίησης της στην φάση της σάρωσης του αντικειμένου είτε στην καλύτερη λειτουργία του λογισμικού μέσω τροποποιήσεων που μπορούν να γίνουν σε αυτό. Στο σημείο αυτό, θα παρουσιαστούν προτάσεις που θεωρεί ο συντάξας ότι θα οδηγήσει την διαδικασία αυτή, στο αποτέλεσμα αυτό.

Φάση σάρωσης:

Στο πεδίο, στην φάση της σάρωσης, υπάρχουν κάποιοι παράγοντες οι οποίοι, εάν εφαρμοστούν μπορούν να δώσουν καλύτερα αποτελέσματα. Ένα απ' αυτά είναι η επιλογή του τύπου του σαρωτή. Ανάλογα τον σαρωτή, το αποτέλεσμα που θα εξαχθεί θα εξαρτάται και από την ακρίβεια του. Η επιλογή συνδέεται προφανώς και από την οικονομική δυνατότητα που έχει ο μελετητής για την εκπλήρωση της μελέτης. Επομένως, ο συνδυασμός τιμής και ακρίβειας σαρωτή είναι αυτός που θα δώσει και το καλύτερο αποτέλεσμα που μπορεί να επιτευχθεί.

Επίσης το άλλο σημείο που πρέπει να προσεχθεί, είναι η μεθοδολογία που θα ακολουθηθεί καθώς και οι συνθήκες στο πεδίο που θα πρέπει να επικρατήσουν ώστε να γίνει σωστά η εργασία. Εάν εφαρμοστεί σωστή μεθοδολογία, το αποτέλεσμα θα εξαχθεί με μεγάλη ακρίβεια. Για να επιτευχθεί αυτό πρέπει π.χ. ο σαρωτής να τοποθετηθεί όσο γίνεται κάθιστα ως προς την επιφάνεια προς σάρωση και όσο κοντά γίνεται σ' αυτήν διότι σάρωση υπό γωνία, δεν θα δώσει σωστό το σχήμα της κατασκευής και σάρωση από μεγάλη απόσταση, θα δώσει περιορισμένο αριθμό σημείων επομένως σφάλματα στην απόσταση, μιας που είναι γνωστό ότι η ακρίβεια των σαρωτών κι εξαρτώνται από την απόσταση του σαρωτή από το αντικείμενο που θα σαρωθεί. Όσο αφορά στις συνθήκες που επικρατούν στο πεδίο, σάρωση υπό βροχή θα επηρεάζει τις μετρήσεις καθώς θα επηρέαζε την ανακλαστικότητα του αντικειμένου διότι αν υπάρχει νερό στην επιφάνεια του, θα επηρεάσουν τις ανακλώμενες ακτίνες από τον σαρωτή όπως επίσης πρέπει να γίνει η σάρωση με καλό καιρό, για να είναι επαρκής ο φωτισμός της κατασκευής.

Λειτουργία λογισμικού:

Από την μελέτη και την εξοικείωση με το λογισμικό, διαπιστώθηκε η δυνατότητα της βελτίωσης των λειτουργιών του που θα οδηγήσει σε εξοικονόμηση χρόνου, αυτοματοποίηση διαδικασιών, περισσότερες

επιλογές σε παραμέτρους που εισάγονται στο λογισμικό, εξαγωγή περισσότερης πληροφορίας κ.α. Μια, τέτοια λειτουργία θα ήταν η αυτοματοποίηση της διαδικασίας, της επικοινωνίας του σαρωτή με το λογισμικό που θα οδηγούσε π.χ. στην αυτόματη γεωαναφορά του παραγόμενου αποτελέσματος του σαρωτή (νέφος σημείων), στο επιθυμητό σύστημα αναφοράς που επιθυμεί ο χρήστης. Έτσι επιτυγχάνεται εξοικονόμηση χρόνου. Μία άλλη δυνατότητα που θα μπορούσε να παρέχει το λογισμικό, θα ήταν η αυτόματη αναγνώριση στόχων που βρίσκονται πάνω στην κατασκευή (Control Points). Αυτό θα οδηγούσε, σε μεγαλύτερη ακρίβεια και κατ'επέκταση σε πιο αξιόπιστο αποτέλεσμα διότι οι υπολογισμοί θα ήταν δυνατό να πραγματοποιηθούν αυτόματα και με ακρίβεια, εάν υπάρχουν στόχοι στην κατασκευή με γνωστές συντεταγμένες. Επίσης, πολύ χρήσιμο θα ήταν ο διαχωρισμός σε τμήματα μιας κατασκευής όπως μία σήραγγα. Αν υποθετηθεί, ότι η σήραγγα είναι μήκους 2 χιλιομέτρων, το λογισμικό θα είχε την δυνατότητα, διαχωρισμού της, ανά 100 ή 200μ ώστε να γίνει μελέτη σε πιο τοπικό επίπεδο για καλύτερα αποτελέσματα και έτσι ώστε να μπορέσει να γίνει μια παρουσίαση όλης της σήραγγας, απλά συνδέοντας όλα αυτά τα επιμέρους κομμάτια μαζί.

Όπως έχει αναλυθεί προηγουμένως, το λογισμικό χρησιμοποιεί την μέθοδο της μοντελοποίησης επιφανειών, βάσει της σαρωμένης κατασκευής που κατ'επέκταση, παράγεται το εξαγωγίμο προϊόν, δηλαδή το νέφος σημείων. Επιλέγεται, ένα ιδεατό στερεό όπου εκεί θα γίνει η προβολή των σημείων και το λογισμικό δίνει την επιλογή του κώνου, του κυλίνδρου και του οριζοντίου επιπέδου. Όμως θα μπορούσαν να υπάρχουν κι άλλες επιλογές εκτός από αυτές τις 3 και μάλιστα πιο σύνθετες. Μια τέτοια θα μπορούσε να είναι μια γραμμή τριών διαστάσεων που χρησιμοποιείται στην οδοποιία και ονομάζεται γενέτειρα κύκλου και εφαρμόζεται σε εφαρμογές δρόμων όπου υπάρχουν πρηνή με αναβαθμούς. Τέλος, μια πρόσθετη εφαρμογή, θα ήταν η απεικόνιση των 3D συντεταγμένων των κέντρων κάθε κελιού όπου περιέχονται τα σημεία όχι μόνο στο δισδιάστατο σύστημα συντεταγμένων της προβολής που δημιουργεί το λογισμικό αλλά και στο σύστημα συντεταγμένων του σαρωτή. Αυτό, θα βοηθούσε στην επαλήθευση των αποτελεσμάτων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

1. Αντωνίου Γ., *Ανίχνευση και προσδιορισμός των παραμορφώσεων της Καπνοδόχου Γ στην Τεχνόπολη με χρήση Τεχνολογίας Επίγειας Τρισδιάστατης Σάρωσης, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, Αθήνα, 2017, Διπλωματική εργασία*
2. Ιωάννης Δ. Δούκας - Δημήτριος Ρωσσικόπουλος, *Γεωδαιτικοί Έλεγχοι Παραμορφώσεων. Η περίπτωση των μνημείων και των τεχνικών έργων, 4^ο Τακτικό Συνέδριο Μετρολογίας, Αθήνα, 2012*
3. Λογισμικό Orsis, *ΓΕΩΣΟΦΙΑ ΜΕΠΕ, Μέλος της Moniterra Group.*
4. Πανταζής Γ., *Γεωδαιτικές Μέθοδοι Ελέγχου Μετακινήσεων, Εκδόσεις Ζήτη, Αθήνα, 2020*
5. Συμεωνίδης Π., *Σαρωτές Laser. Τεχνολογία, Τεχνικές & Εφαρμογές, Τμήμα Γεωπληροφορικής & Τοπογραφίας, Τ.Ε.Ι Σερρών, Σέρρες, 2007*
6. Χαλιμουρδάς Σ, *Παρακολούθηση παραμόρφωσεων και γεωμετρικής ποιότητας Τεχνικών Έργων με σύγχρονες γεωδαιτικές μεθόδους, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Α.Π.Θ, Θεσσαλονίκη, 2007, Διδακτορική διατριβή*
7. Tsakiri M - Lichti D – Pfeifer N, *Terrestrial Laser Scanning for Deformation Monitoring, 3rd IAG/ 12th FIG Symposium, Baden, May 2006*
8. Tsakiri M – Tournas E, *Deformation Monitoring based on Terrestrial Laser Scanner point cloud registration, 4rd IAG/ 13th FIG Symposium, Lisbon, May 2008*
9. Gordon S – Lichti D – Steward M, *Application of a High – Resolution Ground – Based laser scanner for Deformation Measurements, 10th FIG International Symposium on Deformation Measurements, California, USA, March 2001*
10. Zhang Guo – Hui, *Deformation monitor based on 3D Laser Scanner, The International Archives of the Photogrammetry – Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol XXXVII, Beijing, 2008*

11.Hao Yang – Mohamad Omidalizarandi - Xiangyang Xu - Ingo Neumann , *Terrestrial laser scanning technology for deformation monitoring and surface modeling of arch structures*, 2016