



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ – ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑΣ**

**Ανάπτυξη συστήματος ταχείας 3D  
μοντελοποίησης όψεων σε  
πυκνοδομημένο αστικό περιβάλλον**

**Στυλιανός Κοτσιέρης**

Αθήνα, Νοέμβριος 2017

**Επιβλέπων: Καθηγητής Α. Γεωργόπουλος**







# Ευχαριστίες

---

Έχοντας φτάσει στο τέλος της διπλωματικής μου εργασίας, νιώθω την ανάγκη να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στους ανθρώπους που μου προσέφεραν την βοήθεια τους όλους αυτούς τους μήνες.

Ένα τεράστιο ευχαριστώ, από τα βάθη της καρδιάς μου, στον Καθηγητή κ. Ανδρέα Γεωργόπουλο για τις καθοριστικές συμβουλές του, την αμέριστη συμπαράσταση και βοήθεια που μου προσέφερε απλόχερα όλους αυτούς τους μήνες. Είναι μεγάλη μου τιμή και νιώθω τυχερός που είχα την ευκαιρία να είναι ο επιβλέπων Καθηγητής της διπλωματικής μου εργασίας.

Θα ήθελα να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον Παναγιώτη Αγραφιώτη, Υποψήφιο διδάκτορα της σχολής Α.Τ.Μ του Ε.Μ.Π, για τον καταλυτικό ρόλο που έπαιξε τόσο στο σχεδιασμό όσο και στην ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας.

Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την Ολυμπία Κουρουνιώτη, τελειόφοιτη της σχολής Α.Τ.Μ, για την συνεισφορά της και την συνεργασία που είχαμε σε πολλά κομμάτια της διπλωματικής μου εργασίας, λόγω και της δικής της ενασχόλησης με 3D μοντελοποιήσεις όψεων σε πυκνοδομημένο αστικό περιβάλλον.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Θάνο Βλαστό για την ευκαιρία που μας έδωσε να εφαρμοστεί το σύστημα που αναπτύχθηκε στην Καλαμωτή της Χίου.

Τέλος οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στη μητέρα μου, Ζωή, και στον αδερφό μου Παναγιώτη, για την στήριξη τους σε κάθε βήμα της ζωής μου όλα αυτά τα χρόνια. Φυσικά ευχαριστώ μέσα από την καρδιά μου όλους τους υπέροχους φίλους μου για την πολύτιμη βοήθεια και την αμέριστη υποστήριξη που μου προσφέρουν διαρκώς.

Στέλιος Κοσσιέρης



# Περιεχόμενα

---

1	Εισαγωγή .....	1
1.1	Αντικείμενο της εργασίας.....	1
1.2	Διάρθρωση της εργασίας.....	5
2	Βιβλιογραφική επισκόπηση .....	7
2.1	Γενική χρήση των Action Camera.....	7
2.2	Τρισδιάστατες αναπαραστάσεις και παραγωγή ορθοφωτογραφιών .....	8
2.3	Χρήση Immersive video – πολυάριθμες Action camera για Φωτογραμμετρικούς σκοπούς.....	12
2.4	Σύγκριση φωτογραμμετρίας και laser scanner για τη συλλογή τρισδιάστατων δεδομένων .....	20
2.5	Χρήση των Action camera στην εναέρια φωτογραμμετρία.....	25
3	Δοκιμή στη περιοχή της Πλάκας.....	27
3.1	Φωτογραφικές μηχανές που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη συλλογή δεδομένων .....	27
3.1.1	Χαρακτηριστικά Μηχανής <i>GoPro Hero 4 Black</i> .....	27
3.1.2	Χαρακτηριστικά Μηχανής <i>Ricoh Theta S</i> .....	28
3.2	Βαθμονόμηση φωτογραφικών μηχανών .....	29
3.2.1	Η έννοια της βαθμονόμησης .....	29
3.2.2	Η έννοια της ακτινικής διαστρόφης .....	30
3.3	Διόρθωση ακτινικής διαστρόφης.....	31

3.3.1	Βαθμονόμηση στο πεδίο.....	31
3.3.2	Βαθμονόμηση στο Lens της Agisoft.....	33
3.4	Λογισμικό Photoscan της Agisoft.....	35
3.5	Εύρεση του βέλτιστου δυνατού συνδυασμού των καμερών .....	36
3.5.1	Αξιολόγηση σεναρίων.....	39
3.6	Εξαγωγή πυκνών νεφών σημείων για διάφορα σενάρια .....	40
3.6.1	Συμμετοχή όλων των μηχανών στη διαδικασία παραγωγής του πυκνού νέφους σημείων.....	40
3.6.2	Συμμετοχή μόνο των Action camera στη διαδικασία παραγωγής των νεφών σημείων.....	42
3.6.3	Παραγωγή πυκνού νέφους σημείων χωρίς τη Ricoh Theta S.....	43
3.6.4	Παραγωγή πυκνού νέφους με εικόνες της Ricoh Theta S από H=2.365m .....	46
3.7	Παράμετροι σχηματισμού των νεφών σημείων .....	49
3.8	Πρόβλημα σχηματισμού νεφών σε λείες επιφάνειες.....	50
3.9	Αξιολόγηση του συστήματος με την Canon EOS 6D .....	52
3.9.1	Παραγωγή νεφών σημείων με την Canon EOS 6D.....	52
3.9.2	Σύγκριση των πυκνών νεφών σημείων.....	54
4	Εφαρμογή στη Καλαμωτή.....	61
4.1	Περιγραφή της περιοχής μελέτης.....	61
4.2	Συλλογή δεδομένων στους δρόμους της Καλαμωτής.....	63
4.2.1	Συλλογή εικόνων .....	63
4.2.2	Ίδρυση Τοπικού Συστήματος Αναφοράς.....	65

4.3	Επεξεργασία δεδομένων και τρισδιάστατη αναπαράσταση.....	66
4.3.1	Τρισδιάστατη αναπαράσταση της Περιοχής 1 (Πύργος) .....	66
4.3.2	Τρισδιάστατη αναπαράσταση της Περιοχής 2 .....	77
5	Αξιολόγηση του συστήματος .....	91
5.1	Παραγωγή νέφους σημείων από την Canon EOS 6D.....	91
5.2	Παραγωγή νέφους σημείων από το σύστημα των GoPro - Ricoh Theta S.....	93
5.3	Σύγκριση νεφών σημείων GoPro - Ricoh Theta S και Canon EOS 6D.....	95
5.3.1	Σύγκριση ομοιογενών περιοχών των νεφών σημείων.....	99
5.4	Σύγκριση πυκνότητας νεφών GoPro - Ricoh Theta S και Canon 6D.....	104
5.5	Σύγκριση επιφανειών GoPro - Ricoh Theta S και Canon EOS 6D.....	107
5.5.1	Σύγκριση ομοιογενών περιοχών των επιφανειών.....	112
5.6	Παραγωγή και σύγκριση τομών από τα δύο νέφη .....	116
6	Έλεγχος απαιτούμενου αριθμού και κατανομής φωτοσταθερών.....	121
6.1	Φωτοσταθερά στην αρχή του δρόμου .....	122
6.2	Φωτοσταθερά στην αρχή και στο τέλος του δρόμου.....	126
6.3	Φωτοσταθερά στην Ανατολική πλευρά του δρόμου.....	131
6.4	Περιορισμένος αριθμός φωτοσταθερών σε ολόκληρο το τμήμα .....	136
6.5	Χρήση δύο αποστάσεων για κλίμακα .....	139
6.6	Γενικά συμπεράσματα από τις δοκιμές .....	142
7	Συμπεράσματα – Προτάσεις.....	145







## Περίληψη

---

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε σύστημα χαμηλού κόστους, αποτελούμενο από δύο action camera και μία σφαιρική κάμερα, για την γρήγορη και αξιόπιστη συλλογή δεδομένων με σκοπό την γεωμετρική τεκμηρίωση και την εξαγωγή ορθοφωτογραφιών, των στενών δρόμων της Καλαμωτής, ενός παραδοσιακού μεσαιωνικού Μαστιχοχωριού της Νότιας Χίου. Η ανάγκη για αποτύπωση - γεωμετρική τεκμηρίωση των όψεων του χωριού είναι μεγάλη, καθώς η αλλοίωση του παραδοσιακού οικισμού και η κατεδάφιση αρκετών αντιπροσωπευτικών δειγμάτων της μεσαιωνικής αρχιτεκτονικής αποτελούν τα μορφολογικά γνωρίσματα της σημερινής κατάστασης της Καλαμωτής. Η ιδιαιτερότητα της αποτύπωσης στην υπό μελέτη περιοχή, η οποία καθόρισε την στρατηγική ανάπτυξης του συστήματος, είναι το στενό πλάτος των δρόμων (2.00 - 2.30m) και το μεγάλο ύψος των κτηρίων (8.0 – 9.0m).

Κατά τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, συγκεντρώθηκαν οι πλέον σύγχρονες μελέτες που κάνουν χρήση *action camera* και σφαιρικών καμερών για φωτογραμμετρικούς σκοπούς, ενώ επισημάνθηκαν και αναδείχθηκαν τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ευρυγώνιων φακών των καμερών αυτών σε τέτοιου είδους εφαρμογές. Εν συνεχεία, έγινε εκτενής περιγραφή της διάταξης του συστήματος και της εφαρμογής του. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται τα τρισδιάστατα νέφη σημείων, οι επιφάνειες με υφή και οι ορθοφωτογραφίες της περιοχής. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε εκτενής μελέτη για τη σφαιρική κάμερα και τα στάδια στα οποία συμμετέχει, συνεισφέροντας στον σχηματισμό ενός ορθού νέφους σημείων.

Για την αξιολόγηση του συστήματος χρησιμοποιήθηκε η Canon EOS 6D, μηχανή υψηλής ανάλυσης, κατάλληλη για την παραγωγή ορθοφωτογραφιών μεγάλης γεωμετρικής ακρίβειας. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη σύγκριση είναι ιδιαίτερα ενθαρρυντικά για τη χρήση του συστήματος σε περιβάλλοντα με τις ιδιαιτερότητες των δρόμων της Καλαμωτής. Τέλος, εξετάστηκαν εναλλακτικά σενάρια της κατανομής στο χώρο και του αριθμού φωτοσταθερών σημείων, ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη γεωαναφορά του μοντέλου με στόχο την ταυτόχρονη μεγιστοποίηση της ακρίβειας και ελαχιστοποίησης του χρόνου.



# Summary

---

In this diploma thesis, a new low-cost system is described, aiming to facilitate the fast and reliable 3D documentation via the acquisition of the necessary data in outdoor environment. Focus is paid in the documentation of façades, especially in the case of very narrow streets. In particular, it provides a viable solution for buildings up to 8-10m high and streets as narrow as 2m or even less. Under these conditions, it is practically impossible to acquire these images given that the conventional practice would lead to a huge number of images and subsequently to high processing times. The new proposed system was assessed in the narrow streets of a medieval village on the Greek island of Chios. In order to manage the barrier of short-taking distances, we combined high-definition action cameras along with a 360° camera, which are usually provided with very wide-angle lenses and are capable of acquiring images of high definition. The system is rather cheap and, most importantly, extremely light. The derive results suggest that the system is fast in 3D data acquisition, able to produce deliverables of high quality.

In the literature review, the most recent studies, using action cameras and spherical cameras for photogrammetric purposes, were discussed and the advantages and disadvantages were highlighted. Next, an extensive description of the structure of the system and its implementation is provided. Specifically, three-dimensional point clouds, textured surfaces and orthoimages of the area are presented. In addition, an extensive study was conducted on the spherical camera, contributing to the formation of a correct cloud point.

To evaluate the system, higher resolution camera images were used to create a “baseline” dataset that serves as a reference point cloud. The camera used was the Canon EOS 6D, a full-frame DSLR camera with a 24mm prime lens. Also, in the actual implementation of the system in Chios, special targets were put and measured as control and check points. The main aim was to use the minimum number of control points into the photogrammetric processing and create a single model of the street’s façades by exploiting the 360° camera. Towards that direction, various tests were performed to decide the minimum number of control points used so as to minimize the data capturing time and maintain the system’s implementation “fast”. Finally, the results suggest that the system is able to achieve fast 3D data acquisition, used for deliverables of a scale of 1:200, by using the minimum number of control points required.



# Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>

---

## 1 Εισαγωγή

### 1.1 Αντικείμενο της εργασίας

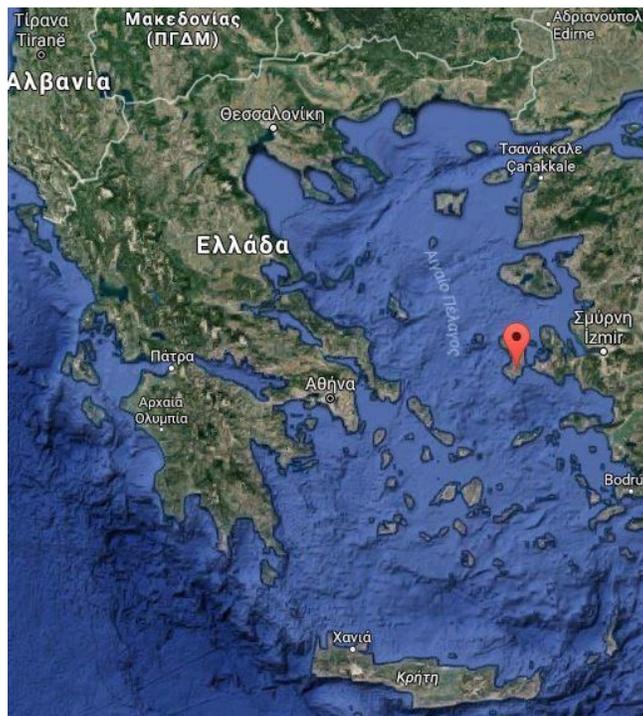
Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός συστήματος χαμηλού κόστους για τη γρήγορη και αξιόπιστη συλλογή δεδομένων με στόχο την παραγωγή τρισδιάστατου νέφους σημείων και επιφάνειας με υφή. Η εφαρμογή και αξιολόγηση του συστήματος πραγματοποιήθηκε για τη γεωμετρική τεκμηρίωση και την εξαγωγή ορθοφωτογραφιών των στενών δρόμων ενός τμήματος της Καλαμωτής, ενός παραδοσιακού μεσαιωνικού Μαστιχοχωριού της Νότιας Χίου. Η αλλοίωση του παλιού παραδοσιακού οικισμού και η κατεδάφιση αρκετών αντιπροσωπευτικών δειγμάτων της μεσαιωνικής αρχιτεκτονικής, οδήγησε στην ανάγκη της αποτύπωσης – γεωμετρικής τεκμηρίωσης των προσόψεων κτισμάτων του χωριού.

Η γεωμετρική τεκμηρίωση αναφέρεται στη συλλογή, την επεξεργασία, την απόδοση αλλά και την καταχώρηση στοιχείων για τον προσδιορισμό της θέσης και της πραγματικής μορφής, του σχήματος και μεγέθους των κτηρίων του χωριού, στο χώρο των τριών διαστάσεων τη χρονική στιγμή συλλογής των δεδομένων. Η γεωμετρική τεκμηρίωση των προσόψεων των κτηρίων με την Τοπομετρική – Φωτογραμμετρική μεθοδολογία συνίσταται στην ορθή προβολή ενός κατάλληλα επιλεγμένου συνόλου σημείων σε οριζόντια και κατακόρυφα επίπεδα. Με αυτό το τρόπο επιτυγχάνεται κοινό σύστημα αναφοράς στο τρισδιάστατο χώρο για όλα τα σημεία που προσδιορίζονται.

Η ορθοφωτογραφία είναι μια φωτογραφική εικόνα, η οποία έχει αναχθεί διαφορετικά ώστε να εξαλειφθούν οι παραμορφώσεις της αρχικής εικόνας, που οφείλονταν στην επίδραση των κλίσεων, στις εκτροπές λόγω αναγλύφου και στις κλίσεις της φωτογραφικής μηχανής. Οι κυριότερες ιδιότητες της ορθοφωτογραφίας είναι η ενιαία κλίμακα, η ποιοτική πληροφορία, η μετρητική αξιοπιστία και η ευελιξία της ως ψηφιακό προϊόν.

Έχοντας ως στόχο την παραγωγή ορθοφωτογραφιών, που αποτελεί ένα από τα βασικότερα προϊόντα της Φωτογραμμετρίας και της γεωμετρικής τεκμηρίωσης, δημιουργήθηκε ένα σύστημα γρήγορης αποτύπωσης και συγκεκριμένα γρήγορης συλλογής δεδομένων - φωτογραφιών. Μετά από σειρά εφαρμογών και ελέγχων του συστήματος, αυτό εφαρμόστηκε στους δρόμους της Καλαμωτής.

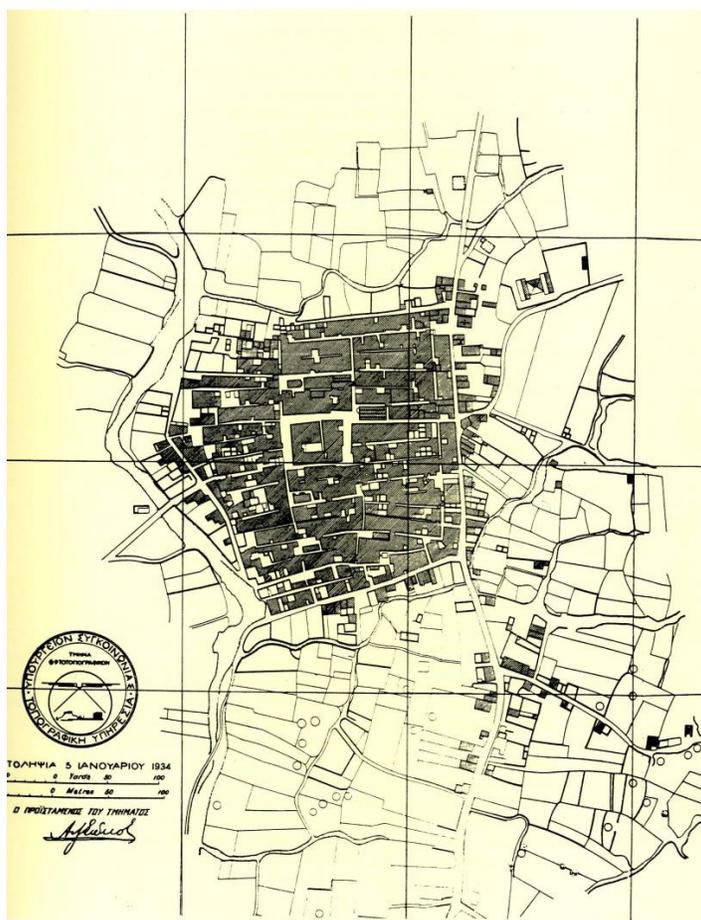
Η Καλαμωτή βρίσκεται στο νοτιοανατολικό μέρος της νήσου Χίου, μέσα σε μια εύφορη κοιλάδα και σε υψόμετρο 45 μέτρων. Είναι ένα μεσαιωνικό χωριό με πλούσια παράδοση και ιστορία, με ενεργή πολιτιστική και πνευματική δράση και με καθοριστικό ρόλο στην οικονομική και μορφωτική εξέλιξη των Μαστιχοχωριών, των οποίων ανέκαθεν αποτελούσε διοικητικό κέντρο.



**Εικόνα 1:** Γεωγραφική θέση της Καλαμωτής στον Ελλαδικό χώρο (πηγή: googleearth.com)

Το Μάρτιο του 1881 μεγάλος σεισμός ισοπέδωσε τα Μαστιχοχώρια της Νότιας Χίου. Συνολικά χάθηκαν πάνω από 4.000 ανθρώπινες ζωές, ενώ περίπου 7.000 τραυματίστηκαν, κυρίως στο νότιο μέρος του νησιού, ενώ στο βόρειο τμήμα δεν σκοτώθηκε κανένας και δεν υπήρξαν ζημιές. Σημαντικές καταστροφές υπέστησαν και τα σπίτια στις περιοχές αυτές, όπως η Καλαμωτή (Δαμαλάς, 1988).

Η παραδοσιακή αρχιτεκτονική της Καλαμωτής έχει τις ρίζες της κυρίως στους αιώνες της Γενουατοκρατίας. Η πολεοδομία των μεσαιωνικών χωριών της Χίου έχει γίνει αντικείμενο πολλών μελετών. Η αλλοίωση του παλιού παραδοσιακού οικισμού, η κατεδάφιση αρκετών αντιπροσωπευτικών δειγμάτων της μεσαιωνικής αρχιτεκτονικής και η επέκταση του χωριού προς το νότο, με την ανέγερση σύγχρονων τσιμεντένιων κατοικιών αποτελούν τα μορφολογικά γνωρίσματα της σημερινής κατάστασης της Καλαμωτής. Η έλλειψη κάθε πρόνοιας για τη συντήρηση, αποκατάσταση και προστασία του παραδοσιακού μέρους του χωριού, η ψυχολογία των χαλασμάτων και η τάση φυγής από τον κεντρικό πυρήνα, που έχουν καλλιεργηθεί, απειλούν άμεσα το γνήσιο αυτό μεσαιωνικό οικισμό της Νότιας Χίου. Ήδη το αρχικό τετράπλευρο σχήμα δύσκολα αναγνωρίζεται στις αεροφωτογραφίες και στα τοπογραφικά σχεδιαγράμματα. Ευτυχώς ο πολεοδομικός ιστός δείχνει να μην έχει αλλοιωθεί σημαντικά, αφήνοντας ακόμα ανεξίτηλα τα ιστορικά ίχνη, πάνω στα οποία ο σύγχρονος μελετητής μπορεί να σταθεί και να αναβιώσει τον παλιό οικισμό.



**Εικόνα 2:** Τοπογραφικό διάγραμμα του χωριού και της γύρω περιοχής (1934) (Δαμαλάς, 1988)

Είναι σημαντικό να υπενθυμίζεται πως, η πολύτιμη και αναντικατάστατη αυτή κληρονομιά καταστρέφεται, είτε από τη φυσική φθορά και το χρόνο, είτε από ανθρώπινη αμέλεια και άγνοια, και χάνεται οριστικά και αμετάκλητα. Και όποιος τόπος, μικρός ή μεγάλος, χάνει τις επαφές με τις ρίζες και την ιστορία του είναι καταδικασμένος να χάσει και την ταυτότητά του, μεταλλασσόμενος βαθμιαία σε ένα σύνολο ανθρώπων χωρίς παρελθόν αλλά και χωρίς μέλλον (Δαμαλάς, 1988).

Σημαντικό για το χωριό είναι το γεγονός πως κρίθηκε διατηρητέο ένα μεγάλο τμήμα αυτού, με την υπ' αριθμό 23049/928/4.3.86 απόφαση του ΥΧΟΠ. Η κίνηση αυτή είναι γεμάτη υποσχέσεις για τη διάσωση του παλιού οικισμού και τη σύμμετρη δόμηση του νέου, βάσει του ήδη εγκεκριμένου σχεδίου, πάνω σε αρχές αρχιτεκτονικής φυσιογνωμίας και αισθητικής που να συμβιβάζονται με την υπάρχουσα κληρονομιά.

Έχοντας οδηγό τα παραπάνω, δόθηκε η ευκαιρία να εφαρμοστεί το σύστημα στα στενά αυτού του Μεσαιωνικού χωριού, γνωρίζοντας την αναγκαιότητα αποτύπωσης – γεωμετρικής τεκμηρίωσης (Χάρτα της Βενετίας, 1964) για την προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς που έχει αφήσει η Καλαμωτή. Η γεωμετρική τεκμηρίωση αποτελεί υποσύνολο μιας συνολικής ολοκληρωμένης τεκμηρίωσης (βιβλιογραφική, ιστορική, αρχαιολογική, αρχιτεκτονική, χαρτογραφική, νομική κ.τ.λ.). Μέσω της γεωμετρικής τεκμηρίωσης θα καταγραφεί η παρούσα κατάσταση οικισμού, όπως αυτή διαμορφώθηκε στην πορεία των χρόνων, και αποτελεί αναγκαίο υπόβαθρο τόσο στις μελέτες εκείνων που εξετάζουν το παρελθόν του οικισμού, όσο και στις μελέτες που θα πραγματοποιηθούν στο μέλλον.

## 1.2 Διάρθρωση της εργασίας

Η παρούσα εργασία περιλαμβάνει, μαζί με την εισαγωγή (Κεφάλαιο 1), επτά Κεφάλαια.

Στο *Κεφάλαιο 2* παρουσιάζονται οι action camera και γίνεται εκτενής βιβλιογραφική επισκόπηση μεθόδων και τεχνικών που έχουν κατά καιρούς χρησιμοποιήσει τέτοιου είδους μηχανές αλλά και μηχανές σφαιρικών λήψεων, με σκοπό την παραγωγή τρισδιάστατου νέφους σημείων και ορθοφωτογραφιών.

Στο *Κεφάλαιο 3* αναλύονται όλες οι δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν για την ανάπτυξη του συστήματος στη περιοχή της Πλάκας.

Στο *Κεφάλαιο 4* γίνεται εκτενής αναφορά της εφαρμογής του συστήματος στη περιοχή της Καλαμωτής, ενώ περιλαμβάνονται αποτελέσματα τρισδιάστατων νεφών σημείων και ορθοφωτογραφιών της περιοχής.

Στο *Κεφάλαιο 5* αξιολογείται το σύστημα των GoPro - Ricoh Theta S με την μηχανή υψηλής ανάλυσης Canon EOS 6D.

Στο *Κεφάλαιο 6* αναλύεται ο απαιτούμενος αριθμός και η κατανομή των φωτοσταθερών στην περιοχή μελέτης, με στόχο την μεγιστοποίηση της ακρίβειας και την ελαχιστοποίηση του χρόνου συλλογής των δεδομένων.

Στο *Κεφάλαιο 7* συγκεντρώνονται τα κύρια συμπεράσματα της εργασίας και διατυπώνονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα του συστήματος.



# Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>

---

## 2 Βιβλιογραφική επισκόπηση

### 2.1 Γενική χρήση των Action Camera

Η συστηματική εξέλιξη της τεχνολογίας των φωτογραφικών μηχανών δεν θα μπορούσε να αφήσει ανεπηρέαστη την εξέλιξη των Action Camera. Σήμερα μια Action Camera παρέχει τη δυνατότητα λήψης υψηλής ευκρίνειας εικόνων, αλλά και video. Η σύγκριση των μηχανών αυτών, όπως είναι η σειρά GoPro, με τις παραδοσιακές ψηφιακές μηχανές επιτρέπει να αναφερθεί πως οι πρώτες δίνουν έμφαση στο σημαντικά μικρό μέγεθος και βάρος τους, με ταυτόχρονη αύξηση της ποιότητας τους και τη μείωση του κόστους τους.

Αρχικά οι Action Camera κατασκευάστηκαν για την καταγραφή δραστηριοτήτων, επίγειων και υποβρύχιων. Τα τελευταία χρόνια, η χρήση τους επεκτάθηκε και σε επιστημονικούς τομείς, όπως η Φωτογραμμετρία, χάρη στο μικρό τους βάρος, στο κατά πολύ μικρότερο κόστος τους σε σχέση με μια μηχανή DSLR και στην σχετικά υψηλή χωρική ανάλυση που διαθέτουν. Σήμερα, οι μηχανές αυτές τοποθετούνται πάνω σε μη επανδρωμένα αεροσκάφη (UAV), χρησιμοποιούνται ως κινητά συστήματα χαρτογράφησης (Mobile Mapping Systems) και χρησιμεύουν σε διάφορους άλλους Φωτογραμμετρικούς σκοπούς (Fiorillo et al, 2013).

Τα τελευταία χρόνια οι Action Camera συμμετέχουν για φωτογραμμετρικούς σκοπούς στην δημιουργία 3D αναπαραστάσεων (Multi-view 3D reconstruction) και αποτελούν μια φθηνή, αποτελεσματική, ευέλικτη και φιλική προς το χρήστη φωτογραμμετρική τεχνική, για λήψη σύνθετων δεδομένων υψηλής ευκρίνειας σε σύνθετα μορφολογικά περιβάλλοντα. Επιπλέον, αποτελούν μια σημαντική λύση για τις έρευνες σε χώρους Πολιτιστικής Κληρονομιάς, των οποίων οι ιδιαιτερότητες (στενότητα ή περιορισμένος χώρος) επιβάλλουν διαφορετικές προσεγγίσεις αποτύπωσης κάθε φορά. Η 3D αναπαράσταση είναι μια τεχνολογία που χρησιμοποιεί πολύπλοκους αλγορίθμους από την όραση υπολογιστών (computer vision), για την δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων από επικαλυπτόμενες δισδιάστατες εικόνες, οι οποίες λαμβάνονται από μία φωτογραφική

μηχανή (Favalli et al, 2011). Την τελευταία δεκαετία σημαντικές εξελίξεις έχουν σημειωθεί στο χώρο της φωτογραμμετρίας και ειδικά σε συνθήκες όπου η μηχανή με το ως προς φωτογράφιση αντικείμενο απέχουν μόλις λίγα μέτρα (close-range photogrammetry). Αυτό οφείλεται στην συνεχή ανάπτυξη αλγορίθμων από την όραση υπολογιστών, καθώς μέσω αυτών επιτυγχάνεται η αυτόματη βαθμονόμηση των μηχανών και ο υπολογισμός των παραμέτρων του εξωτερικού προσανατολισμού. Επίσης, ένας μεγάλος αριθμός ελεύθερων και εμπορικών λογισμικών έχει δημιουργηθεί τα τελευταία χρόνια με σκοπό τη δημιουργία 3D μοντέλων, ενώ και η αύξηση της ποιότητας χαμηλού κόστους ψηφιακών μηχανών, όπως οι action camera, συμβάλλει θετικά σε αυτή την εξέλιξη (Fonstad et al, 2013), (Green et al, 2014).

Με τη σειρά τους οι εξελίξεις αυτές και οι μαθηματικές σχέσεις πάνω στις οποίες βασίζονται αυτά τα λογισμικά παρέχουν μεγάλη ευελιξία και προσαρμοστικότητα στη χρήση καμερών με υπερευρυγώνιο (fisheye) φακό για φωτογραμμετρικές εφαρμογές. Τέτοιου είδους φακοί παρέχουν ευρεία κάλυψη και βοηθούν στην επίλυση των προβλημάτων που σχετίζονται με τους στενούς χώρους και τις σύνθετες συνθήκες. Το ευρύ οπτικό πεδίο αυτών των καμερών μειώνει σημαντικά τον αριθμό των λήψεων για τη κάλυψη της περιοχής και συνεπώς το χρόνο που απαιτείται για τη λήψη των δεδομένων. Σημαντικό μειονέκτημα αποτελεί η μεγάλη ακτινική διαστροφή του φακού (Ferreira, 2015; Strecha et al., 2015).

## **2.2 Τρισδιάστατες αναπαραστάσεις και παραγωγή ορθοφωτογραφιών**

Σημαντική μελέτη κάνοντας χρήση action camera πραγματοποιήθηκε από τους (Limongiello et al, 2016), οι οποίοι στόχευαν στη παραγωγή ορθοφωτογραφιών των προσόψεων των τοίχων ενός αρχαιολογικού χώρου στην Ιταλία. Ιδιαιτερότητα της μελέτης αποτελεί η λήψη των εικόνων σε πολύ στενό σοκάκι, πλάτους 0.80m-1.10m και ύψους που φτάνει τα 4m. Το μήκος του τείχους για το οποίο είναι επιθυμητή η εξαγωγή της ορθοφωτογραφίας φτάνει τα 20m.



**Εικόνα 3:** Στενό σοκάκι αρχαιολογικού χώρου (Limongiello et al, 2016)

Για να φέρουν εις πέρας το έργο τους χρησιμοποίησαν την GoPro Hero 3 Black, ανάλυσης 12 MP (4000×3000 pixel), εστιακής απόστασης 3mm και αισθητήρα μεγέθους 6.2×4.65 mm. Η μηχανή αυτή μοιάζει ιδανική για τη συγκεκριμένη μελέτη λόγω του μικρού της μεγέθους, του χαμηλού βάρους της καθώς και του φακού που διαθέτει. Τονίζεται πως ενώ το ευρύ οπτικό πεδίο του φακού θα συνεισφέρει σημαντικά στη μείωση του αριθμού των εικόνων που απαιτούνται για τη κάλυψη ολόκληρης της επιφάνειας και συνεπώς στη μείωση του χρόνου συλλογής των δεδομένων, η διαστρόφη του φακού προκαλεί ένα φαινόμενο στρέβλωσης της εικόνας, γνωστό και ως “bowl-effect” (Bolognesi et al., 2015). Εξαιτίας αυτού του παράγοντα η χρήση fisheye φακών για φωτογραμμετρικούς σκοπούς δεν είναι πάντα η ιδανικότερη (He & Ayman, 2015). Στη συγκεκριμένη μελέτη το φαινόμενο στρέβλωσης των εικόνων στις άκρες ενισχύεται λόγω των μικρών αποστάσεων από το προς φωτογράφιση αντικείμενο. Για την παραγωγή των ορθοφωτογραφιών λήφθηκαν 263 εικόνες, ενώ για τον προσανατολισμό και την κλίμακα του μοντέλου μετρήθηκαν 14 στόχοι (GCP) που είχαν κατανεμηθεί ομοιόμορφα στη περιοχή του τοίχου. Για την αξιολόγηση της διαδικασίας επεξεργασίας των εικόνων και της ακρίβειας των ορθοφωτογραφιών κάνοντας χρήση της GoPro οι Limongiello et al., (2016) χρησιμοποίησαν τρία διαφορετικά λογισμικά, τα οποία είναι: Agisoft PhotoScan, Pix4D mapper και 3DF Zephyr Aerial. Για την παραγωγή των ορθοφωτογραφιών χρησιμοποιήθηκαν και στα τρία λογισμικά κοινές παράμετροι. Ο χρόνος που χρειάστηκε το 3DF Zephyr Aerial για την παραγωγή του πυκνού νέφους σημείων είναι διπλάσιος των

άλλων λογισμικών, ενώ σχηματίστηκε το 10% των σημείων που σχηματίστηκαν στα άλλα δύο λογισμικά. Αναλυτικότερα το μέσο σφάλμα των φωτοσταθερών κατά την παραγωγή του 3D είναι μεγαλύτερο για το Agisoft PhotoScan και είναι ίσο με 3.51cm, ενώ το μικρότερο για το Pix4D και ίσο με 2.18cm. Εν συνεχεία, τα πυκνά νέφη που προέκυψαν από τα τρία λογισμικά συγκρίθηκαν στο ελεύθερο λογισμικό CloudCompare. Η μικρότερη μέση απόκλιση υπήρχε μεταξύ των λογισμικών Photoscan και Pix4D και είναι ίση με 1.5mm, ενώ η μεγαλύτερη μεταξύ του Photoscan και του 3DF Zephyr και είναι ίση με 3mm. Τέλος αξίζει να αναφερθεί πως η ορθοφωτογραφία που παράχθηκε από το 3DF Zephyr υστερεί σε σχέση με τα άλλα δύο λογισμικά, καθώς στα ψηλότερα τμήματα του τοίχου υπάρχουν κενά.

Μία ακόμα αναφορά στην μεγάλη σημασία των fisheye φακών και στη χρήση αυτών για φωτογραμμετρία σε στενούς δρόμους πραγματοποιείται από τον Kedzierski, (2009). Τονίζει πως η λήψη εικόνων με κανονικό φακό σε δρόμους πλάτους 2-4m είναι μια χρονοβόρα διαδικασία και για τη γεωμετρική τεκμηρίωση των προσόψεων των κτηρίων ενός τέτοιου δρόμου απαιτούνται έως και χιλιάδες φωτογραφίες. Όμως με τη χρήση fisheye φακών μειώνεται σημαντικά ο αριθμός των απαιτούμενων εικόνων και συνεπώς ο χρόνος επεξεργασίας για την εξαγωγή των ορθοφωτογραφιών. Τέλος επισημαίνει την δυνατότητα της χρήσης fisheye φακών για την τεκμηρίωση χώρων πολιτιστικής κληρονομιάς λόγω του χαμηλού κόστους σε σύγκριση με τους κανονικούς φακούς.

Σε μια πιο πρόσφατη μελέτη, ο Teo (2015) σύγκρινε τα πυκνά νέφη σημείων που σχηματίστηκαν από την λήψη εικόνων και των καρέ (frames) από video μιας action camera. Η λήψη εικόνων και video είναι δύο τρόποι συλλογής δεδομένων με στόχο την παραγωγή ενός 3D μοντέλου. Το σύστημα που δημιούργησε για τη λήψη των εικόνων περιλάμβανε πέντε μηχανές GoPro Hero 4 Black Edition, με σκοπό την ευρεία κάλυψη του χώρου (360°). Η φωτογραφική μηχανή GoPro Hero 4 έχει τη δυνατότητα λήψης εικόνων ανάλυσης 12 MP (4000 x 3000 pixels) και video 4K ανάλυσης 8.3MP (3840 x 2160 pixels). Λόγω της βελτίωσης της ανάλυσης και του αριθμού των καρέ ανά βίντεο, η χρήση βίντεο για τη συλλογή γεωχωρικών δεδομένων αυξάνεται σημαντικά και για φωτογραμμετρικούς σκοπούς. Η μέθοδός του περιλαμβάνει πέντε βασικά στάδια: 1) η βαθμονόμηση των μηχανών, 2) ο προσανατολισμός των εικόνων μεταξύ τους και 3) η εύρεση των προβολικών κέντρων των εικόνων, 4) η πυκνή συνταύτιση των εικόνων και τέλος 5) η

αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Για τον προσανατολισμό των εικόνων χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος Structure-from-Motion (SfM), ενώ για την δημιουργία του πυκνού νέφους σημείων χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος Semi Global Matching (SGM) (Fabio Remondino & Nocerino, 2014). Για να γίνει αντιληπτή η καταλληλότητα της χρήσης των action camera στη φωτογραμμετρία, αναλύεται η ακρίβεια της κάμερας σε διαφορετικές αποστάσεις και με διαφορετικούς τρόπους. Ο Teo (2015), κατέληξε στο συμπέρασμα πως για να επιτευχθεί ανάλυση τουλάχιστον 5 cm, η μέγιστη απόσταση για λήψη εικόνας 12MP και βίντεο 4K πρέπει να είναι μικρότερη από 20 μέτρα. Συνεπώς οι action camera είναι ιδανικότερες για φωτογραμμετρικούς σκοπούς σε εσωτερικούς χώρους. Επιπλέον τονίζει πως λόγω του μεγάλου FOV (εύρος οπτικού πεδίου) της GoPro, η βαθμονόμηση της κάμερας παίζει σημαντικό ρόλο στη διόρθωση της ακτινικής και της εφαπτομενικής διαστρόφης του φακού πριν από την παραγωγή του 3D μοντέλου. Η βαθμονόμηση των μηχανών πραγματοποιήθηκε σε δύο προγράμματα, στο Photoscan (Agisoft, 2015) και στο PhotoModeler (EOS System, 2015). Παρατηρήθηκε πως τα συνολικά σφάλματα του PhotoModeler είναι μικρότερα από 2 pixel σε όλες τις λειτουργίες, ενώ το PhotoScan δεν παρέχει δείκτη αβεβαιότητας στη διόρθωση της παραμόρφωσης του φακού. Επιπλέον τονίζει πως η διόρθωση της ακτινικής διαστρόφης έχει μεγαλύτερο αντίκτυπο στην διόρθωση της παραμόρφωσης του φακού από ό,τι η διόρθωση της εφαπτομενικής διαστρόφης.

Ακολούθως από την βαθμονόμηση των μηχανών και τον προσανατολισμό των εικόνων σχηματίστηκαν τα πυκνά νέφη σημείων για μία σκάλα και ένα κλειστό δωμάτιο, κάνοντας χρήση φωτογραφιών αλλά και video. Στόχος στην περίπτωση της σκάλας είναι η σύγκριση των πυκνών νεφών σημείων που παράγονται από τις εικόνες ανάλυσης 12MP, 4K video αλλά και video ανάλυσης 1080P. Ο φόβος για θολές εικόνες με τη λήψη 4K video οδήγησε τον Teo (2015) να πραγματοποιήσει λήψη video χαμηλότερης ανάλυσης (1080P). Η διάρκεια του χρόνου συλλογής των εικόνων διήρκεσε εξαπλάσιο χρόνο από ότι η λήψη video. Η διάρκεια επεξεργασίας των δεδομένων και της εξαγωγής του πυκνού νέφους σημείων, με τις εικόνες και του 4K video είναι η ίδια, ενώ χρειάζεται ο διπλάσιος χρόνος για την επεξεργασία των δεδομένων από το video ανάλυσης 1080P. Επιπλέον χρησιμοποιήθηκαν 4 σημεία ελέγχου για την αξιολόγηση του απόλυτου προσανατολισμού,

με το υπόλοιπο του σφάλματος και στις τρεις περιπτώσεις να είναι μικρότερο από 5cm. Τέλος, άξιο αναφοράς είναι πως η πυκνότητα των σημείων που σχηματίζονται με τις εικόνες ανάλυσης 12MP είναι η μεγαλύτερη από τις τρεις περιπτώσεις. Το πυκνό νέφος σημείων που σχηματίζεται με τη λήψη από το 4K video είναι πολύ κοντά στο νέφος που σχηματίζεται από τις εικόνες 12MP, αλλά υστερεί σε κάποια σημεία. Έτσι καταλήγει στο συμπέρασμα πως για τη παραγωγή του πυκνού νέφους σημείων της σκάλας είναι καλύτερη η λήψη εικόνων ανάλυσης 12MP.

Έπειτα πραγματοποιήθηκε η λήψη εικόνων αλλά και video σε κλειστό χώρο, διαστάσεων 20m x 15m x 3m. Οι φωτογραφίες λήφθηκαν από πέντε διαφορετικά ύψη, ανά 0.25m μεταξύ τους. Σε αυτή τη περίπτωση ο χρόνος συγκέντρωσης των δεδομένων διαφέρει σημαντικά, καθώς απαιτούνται 10 λεπτά για τη λήψη εικόνων, ενώ για τη λήψη video 22 δευτερόλεπτα. Επιπροσθέτως ο χρόνος που χρειάζεται για την επεξεργασία των δεδομένων είναι διπλάσιος για το 4K video, καθώς συμμετέχουν 376 εικόνες στην παραγωγή του πυκνού νέφους σημείων έναντι 125 εικόνων ανάλυσης 12MP. Όπως και στη περίπτωση της σκάλας, η πυκνότητα του νέφους είναι μεγαλύτερη στην περίπτωση των εικόνων 12MP από ό,τι με τα frames του 4K video.

### **2.3 Χρήση Immersive video – πολυάριθμες Action camera για Φωτογραμμετρικούς σκοπούς**

Την τελευταία δεκαετία έχουν αναπτυχθεί διαφόρων ειδών συστήματα, τα οποία αποτελούνται από πολυάριθμες action camera και χρησιμεύουν ακόμα και για φωτογραμμετρικούς σκοπούς. Η δυνατότητα του *immersive video* να συλλέγει τεράστιο όγκο δεδομένων σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα βρίσκει βασική εφαρμογή στη φωτογραμμετρία για συλλογή δεδομένων. Με τον όρο *immersive video* ονομάζεται η ταυτόχρονη λήψη video από πολυάριθμες μηχανές, οι οποίες καταγράφουν σε διαφορετικές μεταξύ τους κατευθύνσεις, ώστε να παρέχουν σφαιρική κάλυψη της περιοχής (360°). Λόγω της ευελιξίας και του χαμηλού κόστους των action camera, γίνεται αντιληπτό πως για την ανάπτυξη ενός τέτοιου συστήματος οι GoPro αποτελούν την ιδανικότερη επιλογή μηχανής.

Οι Kwiatek & Tokarczyk (2014) ανέπτυξαν ένα σύστημα αποτελούμενο από επτά μηχανές GoPro, τοποθετημένες σε μία βάση ώστε να παρέχουν σφαιρική κάλυψη 360°. Το σύστημα αυτό εφαρμόστηκε αρχικά για τη δημιουργία ενός συστήματος χαμηλού κόστους κινητής χαρτογράφησης και για την παραγωγή του 3D του εσωτερικού χώρου μιας εκκλησίας. Για την χαρτογράφηση της περιοχής με τη λήψη video είναι απαραίτητος ο συγχρονισμός των καμερών έτσι ώστε κάθε χρονική στιγμή οι GoPro να έχουν το μέγιστο αριθμό κοινών σημείων και με τη βοήθεια του GPS να είναι γνωστή η θέση του συστήματος και της κάθε εικόνας οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Έπειτα από την λήψη των video, για την υλοποίηση της χαρτογράφησης της περιοχής τα video κόβονται σε καρέ και τα 7 καρέ κάθε χρονικής στιγμής ενώνονται σχηματίζοντας πανοράματα, τα οποία έχουν ευρεία κάλυψη 360° για κάθε θέση του συστήματος. Κάνοντας χρήση του GPS, κάθε καρέ έχει γνωστές συντεταγμένες. Για την σωστή ένωση των καρέ είναι απαραίτητη η βαθμονόμηση των μηχανών πριν από την λήψη των video. Εφόσον το σύστημα είναι συνδεδεμένο με GPS είναι εφικτή η μέτρηση σημείων 3D, γραμμών αλλά και επιφανειών. Επιπλέον παρέχεται η δυνατότητα παύσης του video οποιαδήποτε χρονική στιγμή, επιτρέποντας στο χρήστη να πραγματοποιήσει μετρήσεις, να βρει τη συγκεκριμένη θέση στο χάρτη της περιοχής, ακόμα και να προσθέσει πληροφορίες σχετικά με την περιοχή. Ένας εκτιμώμενος χρόνος για τη κάλυψη 83km είναι τα 92min.



**Εικόνα 4:** Σύστημα αποτελούμενο από επτά GoPro (Kwiatek & Tokarczyk, 2014)

Οι Kwiatek & Tokarczyk, (2014) τονίζουν πως η χρήση video σφαιρικής κάλυψης έχει τη δυνατότητα να γίνει ένας από τους πιο οικονομικούς και ευέλικτους τρόπους για τη δημιουργία 3D μοντέλου εσωτερικών χώρων. Βέβαια η ανάλυση των μεμονωμένων πανοραμάτων είναι χαμηλότερη από αυτή των σφαιρικών εικόνων αλλά αποτελεί μια πιο άμεση μέθοδο για τη συλλογή των δεδομένων. Σύμφωνα και με τους Barazzetti et al. (2010), η χρήση σφαιρικών εικόνων είναι κατάλληλη για τη φωτογραμμετρία σε εξωτερικό περιβάλλον, όπως για τη δημιουργία 3D μοντέλων προσόψεων κτηρίων, ενώ αντίθετα τα

πανοράματα είναι κατάλληλα για τη δημιουργία 3D μοντέλων εσωτερικών χώρων. Ακόμα η ακρίβεια που δίνουν οι σφαιρικές εικόνες είναι μεγαλύτερη από αυτή των πανοραμάτων. Επιπροσθέτως οι Barazzetti et al. (2017) χρησιμοποίησαν την σφαιρική μηχανή Samsung Gear 360° για την παραγωγή 3D μοντέλου. Στόχος τους ήταν να ελεγχθεί η μετρητική ακρίβεια, καθώς και η πληροφορία που μπορεί να αποδώσει σε περίπτωση χρήσης της σε φωτογραμμετρικούς σκοπούς. Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης έδειξαν πως η κάμερα έχει περιορισμένη χρηστικότητα όταν απαιτείται μεγάλη μετρητική ακρίβεια, καθώς η σύνδεση των δύο εικόνων πολλές φορές χάνει την ακρίβεια της διότι το λογισμικό θέλει να δώσει γρήγορα την σφαιρική εικόνα. Για αυτό η χρήση αυτής της σφαιρικής κάμερας προτείνεται για εφαρμογές κλίμακας 1:100 – 1:200, ιδιαίτερα όταν υπάρχει περιορισμένος χρόνος για την συλλογή των δεδομένων. Προτείνεται πως η σύνδεση των δύο εικόνων σε σφαιρική μέσω κάποιου λογισμικού, όπως το Matlab, παρέχει μεγαλύτερη ακρίβεια στην παραγόμενη εικόνα. Τέλος, οι Kwiatek & Tokarczyk (2014) έχοντας ως στόχο την εικονική περιήγηση εντός μιας εκκλησίας, φωτογράφησαν το εσωτερικό αυτής με το σύστημα των επτά GoPro όπως περιγράφηκε παραπάνω, ενώ κάνοντας χρήση των πανοραμάτων δημιούργησαν στο λογισμικό Photoscan της Agisoft το 3D μοντέλο. Άξιο αναφοράς είναι πως ο συνολικός χρόνος συλλογής των δεδομένων ήταν 18 λεπτά και ο όγκος των δεδομένων αυτών ίσος με 9.8 GB (PGR files).

Οι Barazzetti et al. (2010) τονίζουν την σημαντικότητα των σφαιρικών εικόνων λόγω της μετρητικής πληροφορίας που μπορούν να προσφέρουν στο χώρο της φωτογραμμετρίας τα τελευταία χρόνια. Για την παραγωγή των 3D μοντέλων χρησιμοποίησαν σφαιρικές εικόνες, οι οποίες προήλθαν από την ένωση μεμονωμένων εικόνων, ληφθείσες από μηχανή DSLR. Αυτές οι σφαιρικές εικόνες έχουν πολύ υψηλή ανάλυση και είναι μεγέθους μερικών GigaPixel. Δίνεται έμφαση στην αυτοματοποιημένη διαδικασία του προσανατολισμού των εικόνων κάνοντας χρήση των σφαιρικών συντεταγμένων και αναλύεται η σχέση που συνδέει τις σφαιρικές συντεταγμένες με αυτές στο χώρο του αντικειμένου. Είναι άξιο αναφοράς πως η αυτοματοποιημένη διαδικασία προσανατολισμού παρουσίασε μεγάλη αξιοπιστία ακόμα και σε πολύπλοκες επιφάνειες. Ο αλγόριθμος SURF έδωσε τα καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά στην ταχύτητα της διαδικασίας, τον αριθμό των σχηματιζόμενων σημείων, την κατανομή των εξαγόμενων χαρακτηριστικών και τελικώς

την ακρίβεια της εκτιμώμενης θέσης λήψης. Τονίζεται πως η υψηλή λεπτομέρεια των 3D μοντέλων οφείλεται στην υψηλή ανάλυση των σφαιρικών εικόνων ενώ, οι Barazzetti et al. (2010) αναφέρουν πως κοινά αποτελέσματα ως προς τη γεωμετρία και τη ραδιομετρία του μοντέλου θα είχαν επιτευχθεί και με τη χρήση των εικόνων από τη DSLR, αλλά ο απαιτούμενος χρόνος επεξεργασίας και ο αριθμός των εικόνων που χρειάζονται είναι σημαντικά μεγαλύτερος.

Ακόμα μια εφαρμογή για τη δημιουργία 3D μοντέλου κάνοντας χρήση action camera πραγματοποιήθηκε από τους Kwiatek & Tokarczyk (2015). Το σύστημα που δημιούργησαν αποτελείται από έξι action camera και συγκεκριμένα από μηχανές Sony ICX274 με αισθητήρα CCD μεγέθους 1/1.8'' και εστιακής απόστασης 3.3mm. Σκοπός τους ήταν η δημιουργία σφαιρικών πανοραμάτων, έπειτα από την λήψη video και την ένωση των καρέ για κάθε χρονική στιγμή (Immersive video). Η ανάλυση των σφαιρικών εικόνων που δημιουργήθηκαν είναι 5400 x 2700 pixels. Τονίζουν πως σημαντικό πρόβλημα για την ακρίβεια των φωτογραμμετρικών υπολογισμών αποτελεί η χαμηλή ανάλυση των καρέ, ενώ πρόβλημα, το οποίο βρίσκει λύση στη κλασική φωτογραμμετρία, αποτελεί το γεγονός πως οι έξι εικόνες που ενώνονται για να σχηματίσουν μια σφαιρική εικόνα δεν έχουν κοινό προβολικό κέντρο. Άξιο αναφοράς είναι πως σχηματίστηκαν 406 σφαιρικές εικόνες και η διαδικασία λήψης των video διήρκεσε 15 λεπτά. Οι Kwiatek & Tokarczyk (2015) τονίζουν πως σημαντικό ρόλο στην ακρίβεια και στην αβεβαιότητα του 3D μοντέλου παίζει το λογισμικό που θα χρησιμοποιηθεί για τη ένωση των καρέ, καθώς διαφορετικό είναι να ενώνονται οι εικόνες σαν να έχουν κοινό προβολικό κέντρο (PTGUI) και διαφορετικό το να γίνεται αντιληπτό πως η κάθε εικόνα έχει διαφορετικό προβολικό κέντρο και έτσι να χρειάζεται να βρεθούν τα διανύσματα που συνδέουν τα κέντρα λήψεως μεταξύ τους (LadybugCapPro). Στη δεύτερη περίπτωση η αβεβαιότητα του μοντέλου είναι ακόμα και 12 cm μικρότερη από ότι στη πρώτη περίπτωση. Επιπλέον, γίνεται αναφορά στη μορφή που είναι αποθηκευμένες οι εικόνες, καθώς ο χρόνος επεξεργασίας και το τελικό συνολικό σφάλμα του μοντέλου διαφέρουν ανάλογα με το τύπο των αρχείων. Τέλος, τονίζουν πως όσο περισσότερες είναι οι σφαιρικές εικόνες που χρησιμοποιούνται για τη παραγωγή του μοντέλου τόσο περισσότερα σημεία δημιουργούνται και το μοντέλο έχει πιο ολοκληρωμένη μορφή. Συγκεκριμένα, με 71 σφαιρικά πανοράματα σχηματίζονται 116.056 σημεία, ενώ με

24 σφαιρικά πανοράματα μόνο 52.564 σημεία και ο χρόνος επεξεργασίας των δεδομένων δεν διαφέρει σε σημαντικό βαθμό.

Μία ακόμα εφαρμογή που έχει ως βασικό εργαλείο τις action camera είναι η δημιουργία ψηφιακών χαρτών σε πραγματικό χρόνο. Για τη δημιουργία της εφαρμογής HML (Hyper-Live Map) και την συνεχή ενημέρωση του ψηφιακού χάρτη σε πραγματικό χρόνο, οι (Kim et al, 2014) χρησιμοποίησαν τη GoPro HERO 3 Black Edition. Για την εφαρμογή HML είναι απαραίτητη η ανανέωση σε πραγματικό χρόνο της θέσης του χρήστη, της αλλαγής του εδάφους και της σύνδεσης με τα δεδομένα SNS (Social Networking Service). Για τη συλλογή των δεδομένων χρησιμοποίησαν τη λειτουργία video της GoPro HERO 3, ανάλυσης 1080P. Τα καρέ του video έχουν ανάλυση 1920 x 1080 pixels. Η μηχανή βρίσκεται τοποθετημένη μία στην μία άκρη και μία στην άλλη άκρη μιας μπάρας, η οποία βρίσκεται στην κορυφή ενός τρίποδα, με δυνατότητα περιστροφής 360°.



**Εικόνα 5:** Σφαιρική λήψη video κάνοντας χρήση GoPro (Kim et al, 2014)

Με αυτό τον τρόπο συλλέγει δεδομένα πρώτα από την μία πλευρά της μπάρας και έπειτα από την άλλη. Η διόρθωση της διαστρωφής του φακού κρίθηκε απαραίτητη και πραγματοποιήθηκε στο GoPro Studio, ειδικό λογισμικό για τις μηχανές GoPro. Έπειτα από την μετατροπή του video σε καρέ και πριν από την παραγωγή του 3D μοντέλου, οι εικόνες μετατράπηκαν από έγχρωμες σε ασπρόμαυρες για την εύρεση περισσότερων κοινών σημείων κατά τον προσανατολισμό των εικόνων. Επιπλέον, για την ενίσχυση των εικόνων χρησιμοποιήθηκε φίλτρο ισοδυναμοποίησης για τους τόνους του γκρι των εικόνων. Έπειτα από την μετατροπή των εικόνων σε ασπρόμαυρες, τα κοινά σημεία που βρέθηκαν,

κάνοντας χρήση του αλγορίθμου SIFT, είναι 3609. Μετά και από την ισοδυναμοποίηση των εικόνων τα σημεία αυτά αυξάνονται στα 3641. Έπειτα από την εξαγωγή του νέφους, είναι χρήσιμο, για την καλύτερη ακρίβεια του μοντέλου μας, να διαγραφούν τα λάθος σημεία. Η διαδικασία αυτή γίνεται με τον αλγόριθμο RANSAC (RANdom Sample Consensus). Το αποτέλεσμα με τη χρήση του RANSAC είναι να μειωθούν τα σημεία στα 3289. Τέλος, η παραγωγή του νέφους σημείων γίνεται με τη μέθοδο DLT, η οποία περιλαμβάνει δυο στάδια. Στο πρώτο στάδιο, τα σημεία με γνωστές συντεταγμένες και τα υπόλοιπα κοινά σημεία, που προέκυψαν μεταξύ των εικόνων, χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των συντελεστών DLT και για την εύρεση των σημείων λήψης των φωτογραφιών. Στο δεύτερο στάδιο παράγονται τρισδιάστατα δεδομένα με τη βοήθεια των σημείων γνωστών συντεταγμένων. Τελικά το νέφος που προέκυψε αποτελείται από 4055 σημεία. Επιπροσθέτως τονίζουν πως κάνοντας χρήση LiDAR θα είχαν ως αποτέλεσμα ένα πιο πλήρες νέφος σημείων και ακριβέστερο. Τέλος, επισημαίνουν πως αν είχαν ληφθεί εικόνες από περισσότερες και διαφορετικές θέσεις, το τελικό νέφος θα αποτελέιτο από περισσότερα σημεία και θα είχε μεγαλύτερη ακρίβεια.

Από όλες τις παραπάνω μελέτες που έχουν υλοποιηθεί γίνεται αντιληπτό πως η χρήση σφαιρικών εικόνων αποτελεί μία πλήρη πηγή για τη συλλογή δεδομένων με σκοπό τη γεωμετρική τεκμηρίωση. Σε όλες τις παραπάνω μελέτες παρατηρείται η χρήση σφαιρικών εικόνων που έχουν δημιουργηθεί έπειτα από την ένωση μεμονωμένων εικόνων και όχι η απευθείας λήψη εικόνας 360°. Μία σφαιρική μηχανή για τη φωτογραμμετρία αποτελεί μία χαμηλού κόστους πηγή ψηφιακών δεδομένων, η οποία θα μειώνει σημαντικά το χρόνο συλλογής των δεδομένων αλλά και το χρόνο επεξεργασίας τους. Εκτενή έρευνα για όλες τις μορφές και τα χαρακτηριστικά των σφαιρικών καμερών έχει πραγματοποιηθεί από τον Fangi, (2009).

Οι Shum & Szeliski (2002) αναφέρουν πως η καλή χρήση των σφαιρικών φωτογραφιών και η παροχή λογισμικών, που επιτρέπει την σύνδεση εικόνων με σκοπό την εξαγωγή σφαιρικών φωτογραφιών, παρουσιάζει ποικίλα πλεονεκτήματα. Μερικά από αυτά είναι η γρήγορη συλλογή δεδομένων και το χαμηλό κόστος των μηχανών αυτών, η σφαιρική κάλυψη της περιοχής, η υψηλή ποιότητα εικόνας και η έλλειψη χρωματικής παραμόρφωσης. Η σφαιρική εικόνα που δημιουργείται από την ένωση πολυάριθμων

εικόνων έχει το πλεονέκτημα έναντι της απευθείας λήψης σφαιρικής εικόνας πως δεν παρουσιάζει ακτινική διαστρόφη.

Η σφαιρική φωτογραμμετρία πολλαπλών εικόνων (Multi-Image Spherical Photogrammetry) που εξελίσσεται τα τελευταία χρόνια, σύμφωνα και με τον Fangi (2009), παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα για τη χρήση αυτής. Όπως τονίζει, η σφαιρική φωτογραμμετρία αποτελεί μία γρήγορη, εξαντλητική πηγή απόκτησης δεδομένων και οικονομικά προσιτή για τη γεωμετρική τεκμηρίωση της πολιτιστικής κληρονομιάς. Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα για τη χρήση του 3D μοντέλου σε εικονική περιήγηση καθώς και η ύπαρξή του σε κάποιο παιχνίδι VR (Virtual Reality). Τέλος, Fangi, (2009) τονίζει πως ο αλγόριθμος SfM και οι υπόλοιπες λειτουργίες των λογισμικών διαθέτουν την δυνατότητα επεξεργασίας σφαιρικών εικόνων και έχουν τα ίδια αποτελέσματα με τις άλλες εικόνες. Σύμφωνα όμως με τους (Nnibale et al, 2011), δουλεύοντας με σφαιρικές εικόνες που χαρακτηρίζονται από γεωμετρική ποιότητα και υψηλή ανάλυση, τα αποτελέσματα του SfM βελτιώνονται καθώς ο αριθμός των εικόνων είναι σημαντικά λιγότερος.

Οι Tasseti & Malinverni (2013) με σκοπό την παραγωγή 3D μοντέλου και την εικονική περιήγηση χρησιμοποιούν σφαιρικές κάμερες. Κάνουν εκτενή έρευνα για τη σύνδεση του αλγορίθμου SfM με την σφαιρική φωτογραμμετρία πολλαπλών εικόνων. Για τις ανάγκες της μελέτης τους φωτογραφήθηκε η εξωτερική και η εσωτερική όψη του Κολοσσαίου της Ρώμης, με το εσωτερικό να χρειάζεται πέντε εικόνες για να καλυφθεί πλήρως και το εξωτερικό έξι. Είναι απαραίτητο να υπάρχει επικάλυψη μεταξύ των σφαιρικών εικόνων. Ο αριθμός των εικόνων είναι πολύ μικρός αν αναλογισθεί κανείς πως η αρένα έχει ελλειψοειδές σχήμα με διαστάσεις κύριων αξόνων 187,5 m και 156,5 m. Ακολούθως για την παραγωγή του 3D μοντέλου αξίζει να αναφερθεί πως δεν χρειάζεται διόρθωση της διαστρόφης των φακών καθώς αυτή διορθώνεται αυτόματα στο λογισμικό ένωσης των εικόνων. Τέλος η ανάλυση των σφαιρικών εικόνων είναι ίση με 5000 x 2000 pixel και η αβεβαιότητα προσανατολισμού των εικόνων είναι ίση με 0.02cm.

Όπως γίνεται αντιληπτό από τα παραπάνω, οι action camera συμμετέχουν σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών στη φωτογραμμετρία. Οι Bradley et al. (2015) κάνουν χρήση της μηχανής GoPro σε μία τελείως διαφορετική εφαρμογή από τις παραπάνω. Δεδομένου ότι

τα εργοτάξια παρέχουν σε καθημερινή βάση ένα τεράστιο όγκο πληροφοριών, του οποίου η καταγραφή είναι απαραίτητη, αναζητείται η καλύτερη δυνατή μέθοδος για την καταγραφή της καθημερινής προόδου της κατασκευής. Αυτό είναι εφικτό μέσω της λήψης υψηλής ανάλυσης πανοραμάτων (έως και 360°), τα οποία στη συνέχεια χρησιμοποιούνται σε λογισμικά εικονικής περιήγησης για την τεκμηρίωση του εργοταξίου (Virtual Reality Documentation). Όμως τα πανοράματα εικόνων δεν διαθέτουν την δυνατότητα παροχής της απαιτούμενης πληροφορίας, καθώς ορισμένα τμήματα του εργοταξίου δεν είναι ορατά. Έτσι οι Bradley et al., (2015) αναζητούν λύση στη δημιουργία του 3D μοντέλου μέσω φωτογραφιών και την εισαγωγή αυτού του μοντέλου σε περιβάλλον εικονικής περιήγησης για τις ανάγκες του εργοταξίου. Με αυτό τον τρόπο γίνεται εφικτή η πλήρης καταγραφή και η παράδοση των πληροφοριών στο προσωπικό του εργοταξίου με σκοπό την μείωση του φόρτου εργασίας και μελλοντικά την real-time καταγραφή των εργασιών. Για το λόγο αυτό μελετήθηκαν και αξιολογήθηκαν τα αποτελέσματα που δίνει η GoPro Hero 2 και η Canon EOS 60D σε διαφορετικά λογισμικά παραγωγής 3D μοντέλων, με σκοπό έπειτα την εικονική περιήγηση. Η GoPro Hero 2 είναι μηχανή ανάλυσης 11 MP, με ευρύ οπτικό πεδίο που φτάνει έως και τις 170°, και αισθητήρα CMOS. Από την άλλη η Canon EOS 60D είναι μηχανή υψηλής ανάλυσης, ίση με 17.9 MP και διαθέτει αισθητήρα μεγέθους ίσου με 22.3 × 14.9 mm.

Τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν για τις ανάγκες της μελέτης είναι: Agisoft PhotoScan, Photomodeler, Autodesk 123D Catch και Visual SFM. Κάθε ένα από τα λογισμικά έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά του. Σε συνολικό βαθμό το PhotoScan της Agisoft είναι το ιδανικότερο για την επεξεργασία των δεδομένων. Από τις δυο παραπάνω φωτογραφικές μηχανές λήφθηκαν εικόνες σε δύο διαφορετικά περιβάλλοντα, σε ένα δωμάτιο με λείες επιφάνειες και επαναλαμβανόμενα χρώματα στους τοίχους και έπειτα σε εξωτερικό χώρο με τραχείες επιφάνειες και πολλά χαρακτηριστικά σημεία. Αναλυτικότερα, για το δωμάτιο με τις λείες επιφάνειες, λήφθηκαν 79 εικόνες από τη GoPro και εισήχθησαν στο PhotoScan. Από αυτές, μόνο οι 20 προσανατολίστηκαν και συμμετείχαν στη δημιουργία της παραγωγής του νέφους σημείων. Με τη Canon EOS 60D λήφθηκαν 99 εικόνες, εκ των οποίων οι 81 συμμετείχαν στη παραγωγή του νέφους σημείων, όμως παρατηρήθηκαν αρκετά προβλήματα στη γεωμετρία του μοντέλου. Από τις 79 εικόνες της

GoPro που εισήχθησαν στο λογισμικό 123D Catch μόνο οι 24 μπόρεσαν να προσανατολιστούν και να συμμετέχουν στην παραγωγή του νέφους σημείων, αφήνοντας πολλές τρύπες, όπως και στην προηγούμενη περίπτωση. Έπειτα, με την εισαγωγή 102 εικόνων από την Canon EOS 60D, η γεωμετρία και η πληρότητα του μοντέλου βελτιώθηκαν αλλά και πάλι συμμετείχαν μόνο 32 εικόνες, οπότε τα αποτελέσματα δεν ήταν τα επιθυμητά. Έπειτα ούτε στο λογισμικό Visual SFM μπόρεσαν οι εικόνες να προσανατολιστούν και να σχηματίσουν ένα σωστό και πλήρες μοντέλο του δωματίου, με τα αποτελέσματα της action camera να είναι πολύ κοντά σε εκείνα της Canon. Γίνεται αντιληπτό πως οι λείες επιφάνειες με τις μονοτονίες χρωμάτων δημιουργούν στα λογισμικά τεράστιο πρόβλημα εύρεσης και συνταύτισης χαρακτηριστικών σημείων. Αντιθέτως, τα αποτελέσματα των λογισμικών για το εξωτερικό περιβάλλον με τις τραχείες επιφάνειες και την ποικιλία χρωμάτων είναι τελείως διαφορετικά. Απ' τις 70 εικόνες που λήφθηκαν από τη GoPro, το σύνολο αυτών προσανατολίστηκαν και συμμετείχαν στο PhotoScan για τη παραγωγή του νέφους, προσφέροντας ένα πολύ ικανοποιητικό αποτέλεσμα. Όπως ήταν αναμενόμενο, η Canon προσέφερε ένα πιο πυκνό νέφος σημείων, μεγαλύτερης ακρίβειας αλλά όχι σημαντικά καλύτερο από αυτό της action camera. Άξιο αναφοράς είναι πως και οι εικόνες της GoPro σχημάτισαν ένα πλήρες νέφος σημείων και στο λογισμικό 123D Catch. Όμως το λογισμικό αυτό έχει περιορισμένο αριθμό εικόνων που μπορούν να εισαχθούν και έτσι δεν ήταν εφικτό να δημιουργηθεί το μοντέλο από τις εικόνες της Canon. Επιπροσθέτως το λογισμικό Visual SFM σχημάτισε δύο νέφη πολύ κοντά μεταξύ τους, όπως και στη περίπτωση του δωματίου, ενώ ήταν κατώτερα ως προς τη γεωμετρία του μοντέλου από το PhotoScan. Τονίζεται πως μεγάλο ρόλο παίζουν οι συνθήκες φωτογράφισης, καθώς η τιμή του ISO πρέπει να είναι διαφορετική σε κάθε περίπτωση, όπως και η ταχύτητα κλείστρου με σκοπό την καλύτερη απόδοση του τοπίου στην εικόνα. Τέλος, η εικονική περιήγηση πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό Unity 3D.

## **2.4 Σύγκριση φωτογραμμετρίας και laser scanner για τη συλλογή τρισδιάστατων δεδομένων**

Τα τελευταία χρόνια η εξέλιξη των laser scanner είναι συνεχής και το μεγάλο ζήτημα είναι αν ένα laser scanner μπορεί να προσφέρει ακριβέστερη πληροφορία σε σύγκριση με την

επίγεια φωτογραμμετρία και τη χρήση φωτογραφικής μηχανής υψηλής ανάλυσης. Αυτές οι δύο τεχνικές αποτελούν τις πιο σύγχρονες για την συλλογή δεδομένων, με σκοπό την παραγωγή 3D μοντέλου. Έχουν πραγματοποιηθεί πολλές μελέτες για να εξαχθούν συμπεράσματα για κάθε τεχνική, με κάθε ερευνητή να καταλήγει σε διαφορετικά και σημαντικά αποτελέσματα για τη σύγκριση των δύο τεχνικών. Ο Baltsavias (1999) συγκρίνει τη φωτογραμμετρία με τη χρήση laser scanner και τονίζει τα πλεονεκτήματα του δεύτερου. Αναφέρει πως τα βασικά πλεονεκτήματα της χρήσης σαρωτή laser είναι η ακρίβεια που παρέχει στις μετρήσεις και η πυκνότητα των νεφών. Επιπλέον, τονίζει την σημασία που έχει η εντελώς αυτοματοποιημένη διαδικασία της σάρωσης και ο πολύ μικρότερος χρόνος που χρειάζεται για τη συλλογή των δεδομένων έναντι της επίγεια φωτογραμμετρίας. Ωστόσο, αναφέρει το μεγάλο μειονέκτημα των σαρωτών laser, το οποίο είναι το κόστος αγοράς τους. Μία ακόμα σημαντική έρευνα πραγματοποιείται από τους Fassi et al., (2013). Μερικές ακόμα σημαντικές έρευνες, όπως των Remondino et al. (2016), και των Thoeni & Giacomini (2014) περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω.

Οι Remondino et al. (2016) πειραματίστηκαν και αξιολόγησαν διάφορες μεθόδους για τη γεωμετρική τεκμηρίωση, περίπου 40 km, των ιστορικών στοών στη Μπολόνια της Ιταλίας. Οι στοές αυτές, δεδομένου ότι βρίσκονται στο ιστορικό κέντρο της πόλης, αντιπροσωπεύουν ένα ποιοτικό αρχιτεκτονικό έργο και παρουσιάζουν κοινωνικό και ανθρωπολογικό νόημα. Από το 2006 οι στοές βρίσκονται στον κατάλογο με τις περιοχές παγκόσμιας κληρονομιάς της UNESCO. Δεδομένου πως η μελέτη πραγματοποιείται πάνω σε ένα μνημείο πολιτιστικής κληρονομιάς, φέρει πολλά ζητήματα και προκλήσεις. Αρχικά προκύπτουν περιβαλλοντικά ζητήματα που σχετίζονται με τα χρώματα των στοών, την υφή, τις αλλαγές φωτισμού, τους στενούς χώρους, τους κανονισμούς αλλά ακόμα και τους πεζούς. Έπειτα προκύπτουν θέματα Hardware/Software καθώς είναι απαραίτητο να προσδιοριστεί η πιο παραγωγική και αξιόπιστη τεχνική 3D, για την παράδοση των απαραίτητων προϊόντων 3D με τις συγκεκριμένες προδιαγραφές. Το έργο στοχεύει στην παραγωγή ενός μοντέλου 3D που βασίζεται στην πραγματικότητα, σχεδιασμένο ως εξελικτικό σύστημα, ικανό όχι μόνο να καθορίσει την πραγματική κατάσταση, αλλά και να είναι χρήσιμο για το σχεδιασμό του μέλλοντος. Επιπλέον, σκοπός του έργου ήταν η καθιέρωση μιας αξιόπιστης μεθοδολογίας ικανής να συλλαμβάνει, να αναπαράγει και να

εμφανίζει το σχήμα και το χρώμα των υφιστάμενων αντικειμένων μέσα στα μοντέλα με βάση την πραγματικότητα. Κατά τη διάρκεια της έρευνας μελετήθηκαν διάφοροι τρόποι συλλογής των δεδομένων για την παραγωγή του 3D μοντέλου, με σκοπό την εύρεση του καλύτερου. Μελετήθηκαν και αξιολογήθηκαν τα αποτελέσματα για τις εξής μεθόδους: Αεροφωτογραμμετρία, Αερομεταφερόμενη σάρωση με laser (Lidar), RPAS/UAV φωτογραμμετρία, RPAS/UAV σάρωση με laser, επίγεια φωτογραμμετρία με μηχανή, επίγεια φωτογραμμετρία με πανοραμικές εικόνες, λήψη εικόνων με κινητό/Πίνακας, επίγεια σάρωση με laser, κινητή χαρτογράφηση με τη βοήθεια αυτοκινήτου και τέλος φορητή κινητή χαρτογράφηση. Οι Remondino et al. (2016) κατέληξαν στο γεγονός πως οι δύο καλύτερες μέθοδοι συλλογής δεδομένων είναι η επίγεια φωτογραμμετρία και η επίγεια σάρωση με laser. Λόγω όμως της χαμηλότερης τιμής μιας μηχανής από έναν σαρωτή laser, της ευελιξίας που διακρίνει τις μηχανές, καθώς και της σωστής γεωμετρίας και υφής του μοντέλου, η επίγεια φωτογραμμετρία αναγνωρίστηκε ως η πλέον κατάλληλη, ευέλικτη, αξιόπιστη και παραγωγική τεχνική για την δημιουργία του 3D μοντέλου.

Μία ακόμα μελέτη με σκοπό την εύρεση της καλύτερης μεθόδου για την παραγωγή του 3D μοντέλου ενός τμήματος βράχου, πραγματοποιήθηκε από τους Thoeni & Giacomini (2014). Για τις ανάγκες της μελέτης χρησιμοποιήθηκαν πέντε διαφορετικοί τύποι μηχανών, μεταξύ των οποίων μία μηχανή GoPro, και ένας επίγειος σαρωτής laser (TLS). Η παραγωγή των νεφών σημείων πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό Photoscan της Agisoft. Οι μηχανές που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι GoPro Hero 1080 ανάλυσης 5.04 Mp, iPhone 4S ανάλυσης 8 Mp, Panasonic Lumix LX5 ανάλυσης 9.52 Mp, Panasonic Lumix ZS20 ανάλυσης 14.1 Mp και τέλος η επαγγελματική Canon EOS 7D ανάλυσης 17.92 Mp. Η Panasonic Lumix LX5 διαθέτει αισθητήρα CCD υψηλής ποιότητας, ευρύ οπτικό πεδίο φωτογράφισης και μικρή ακτινική διαστροφή, χαρακτηριστικά που κάνουν την μηχανή να αποτελεί ιδανική επιλογή για φωτογραμμετρική χρήση (Thoeni & Giacomini., 2012). Αντίθετα, η Panasonic Lumix ZS20 διαθέτει αισθητήρα CMOS χαμηλότερου κόστους. Οι διαστάσεις του τμήματος του βράχου που μελετήθηκε και για το οποίο δημιουργήθηκε το 3D μοντέλο είναι 6m ύψος επί 20m μήκος. Σε πρώτο στάδιο για να δοθεί κλίμακα στο μοντέλο και να προσανατολιστεί, τοποθετήθηκαν ασπρόμαυροι στόχοι ομοιόμορφα καταναμημένοι στην επιφάνεια του βράχου, και οι οποίοι μετρήθηκαν με χρήση total station (Leica TPS1205). Έπειτα ανάλογα

με το οπτικό εύρος του φακού κάθε μηχανής και την ανάλυση που διαθέτει, λήφθηκαν οι φωτογραφίες. Για την κάλυψη της περιοχής, με τις απαραίτητες επικαλύψεις, η GoPro Hero 1080 χρειάστηκε τον μικρότερο αριθμό φωτογραφιών ενώ τον μεγαλύτερο αριθμό χρειάστηκε η Canon EOS 7D και το iPhone 4S. Μετά και την εξαγωγή του πυκνού νέφους σημείων για κάθε μηχανή, κάθε ένα από αυτά συγκρίθηκε με το νέφος που έχει προκύψει από το επίγειο laser scanner FARO Focus 3D, αβεβαιότητας  $\pm 2\text{mm}$ , το οποίο διαθέτει ενσωματωμένη μηχανή για να λαμβάνει φωτογραφίες ταυτόχρονα με τη σάρωση. Για να επιτευχθεί η παραπάνω ακρίβεια, το FARO Focus 3D σαρώνει διπλά το χώρο και δημιουργεί δύο νέφη σημείων, τα οποία στη συνέχεια ενώνονται με τη βοήθεια των φωτοσταθερών και άλλων χαρακτηριστικών σημείων του αντικειμένου. Έπειτα τονίζεται πως δεν είναι απαραίτητη η χειροκίνητη βαθμονόμηση των μηχανών καθώς το Photoscan της Agisoft υπολογίζει αυτόματα τις παραμέτρους της ακτινικής και της εφαπτομενικής διαστρωφής. Συγκεκριμένα, γίνεται αναφορά ότι για την GoPro Hero 1080, η οποία παρουσιάζει μεγάλη διαστρωφή, είναι αρκετά δύσκολο να εξαχθούν ορθά αποτελέσματα στο λογισμικό Lens της Agisoft. Επιπλέον, οι Thoeni & Giacomini (2014) κατέληξαν στο συμπέρασμα πως η βελτιστοποίηση μετά τον προσανατολισμό των εικόνων είναι απαραίτητη για την μείωση του σφάλματος και πως η χρήση μασκών στις εικόνες επηρεάζει ελάχιστα την αβεβαιότητα των φωτοσταθερών και συγκεκριμένα προκύπτει διαφορά της τάξης των  $\pm 2\text{mm}$ . Αξίζει να αναφερθεί πως και το αραιό νέφος σημείων και το πυκνό νέφος σημείων εξήχθησαν σε μεσαία ποιότητα (medium). Έπειτα και από την εξαγωγή των πυκνών νεφών σημείων και θεωρώντας ως σωστό το νέφος που έχει προκύψει από το laser scanner έγιναν οι προγραμματισμένες συγκρίσεις. Το νέφος με την μεγαλύτερη πυκνότητα ανά τετραγωνικό μέτρο και την μικρότερη αβεβαιότητα (mean deviation = 0.006m) ως προς το νέφος του laser scanner είναι το νέφος που προέκυψε από την Canon EOS 7D. Το νέφος με την μικρότερη πυκνότητα ανά τετραγωνικό μέτρο και την μεγαλύτερη μέση αβεβαιότητα (0.042m) ως προς το νέφος του laser scanner είναι αυτό της GoPro Hero 1080. Τέλος άξιο αναφοράς είναι το γεγονός πως οι δύο Panasonic Lumix πλησιάζουν σε σημαντικό βαθμό τα αποτελέσματα της Canon EOS 7D, κάτι το οποίο επιβεβαιώνει πως δεν χρειάζεται πανάκριβος εξοπλισμός για τη λήψη φωτογραφιών για φωτογραμμετρικούς σκοπούς.

Οι Strecha et al. (2015) πραγματοποίησαν έρευνα έχοντας ως στόχο την εύρεση της καλύτερης μεθόδου για την συλλογή τρισδιάστατων δεδομένων. Σκοπός ήταν η χρήση μιας ποικιλίας μηχανών, με διαφορετικούς φακούς, μεταξύ των οποίων και δύο action camera και εν συνεχεία η σύγκριση των νεφών σημείων που δίνει η κάθε μηχανή, με νέφος που λήφθηκε από laser scanner. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε στην εξωτερική όψη ενός κάστρου, ενώ χρήσιμα συμπεράσματα για την ακρίβεια και τη συλλογή των δεδομένων εξήχθησαν και για το εσωτερικό του κάστρου. Για την παραγωγή του νέφους του laser scanner χρησιμοποιήθηκαν τα νέφη από τους σαρωτές Faro Focus 3D X330 και the Trimble TX5, αβεβαιότητας  $\pm 2\text{mm}$ , τα οποία στη συνέχεια ενώθηκαν για να προκύψει το τελικό αποτέλεσμα. Για την σύγκριση των νεφών σημείων μεταξύ τους ήταν απαραίτητο να υπάρχει κοινό σύστημα αναφοράς. Για το λόγο αυτό, κατανεμήθηκαν ομοιόμορφα στην όψη του κάστρου στόχοι, των οποίων μετρήθηκαν οι συντεταγμένες, όπως και άλλων χαρακτηριστικών σημείων. Έπειτα πραγματοποιήθηκε η λήψη των εικόνων με τις μηχανές: Sony NEX 7 με αρχιτεκτονικό φακό (tilt-shift) και εστιακή απόσταση 16mm, Sony Alpha7R ανάλυσης 36MP με fisheye φακό εστιακής απόστασης 16mm και full frame αισθητήρα, Canon 7D με αρχιτεκτονικό φακό (tilt-shift) και εστιακής απόστασης 20mm, Canon 6D ανάλυσης 20.2MP, full frame αισθητήρα και με fisheye φακούς εστιακής απόστασης 8mm και 10mm αλλά κάνοντας χρήση και φακού zoom με κλίση (perspective) και εστιακής απόστασης 28mm. Τέλος, χρησιμοποιήθηκαν και δύο action camera με fisheye φακό: η GoPro Hero3+ (black edition) και η κάμερα που διαθέτει το Phantom2 Vision ανάλυσης 12MP. Αξίζει να αναφερθεί πως όλες οι φωτογραφίες, εκτός των action camera, λήφθηκαν με τη μηχανή τοποθετημένη πάνω σε βάση τριπόδου. Οι fisheye φακοί έχουν το μειονέκτημα να έχουν μεγάλο και ανομοιόμορφο μέγεθος εδαφοψηφίδας (Ground Sampling Distance) συγκριτικά με τους tilt-shift φακούς. Στη συγκεκριμένη μελέτη το μέγεθος GSD των fisheye φακών είναι μεγαλύτερο του 1cm ενώ μπορεί να φτάσει και το 1.78 cm στη περίπτωση του Phantom2 Vision, σε αντίθεση με τους perspective φακούς που έχουν μέγεθος GSD περίπου ίσο με 0.5cm. Επιπλέον, οι action camera έχουν την μεγαλύτερη αβεβαιότητα στη σκόπευση των φωτοσταθερών, ίση με 2.6cm, τη στιγμή που όλες οι υπόλοιπες, με εξαίρεση την Sony Alpha7R, έχουν αβεβαιότητα κοντά στο 1cm. Το πυκνότερο μοντέλο σχηματίζεται με την Canon 7D, καθώς παρήχθησαν 3.675.673 τρισδιάστατα σημεία, αλλά χρησιμοποιήθηκαν 1206 εικόνες. Το αραιότερο νέφος

σχηματίστηκε από την Canon 6D, με fisheye φακό εστιακής απόστασης 10mm, καθώς σχηματίστηκαν 207.311 σημεία από μόνο 135 εικόνες. Με την GoPro Hero3+ σχηματίστηκαν 864.360 σημεία από 709 εικόνες, ενώ τονίζεται πως χρειάζεται τον μισό χρόνο για την λήψη των εικόνων από ότι όλες οι υπόλοιπες μηχανές. Για τη σύγκριση των νεφών σημείων με το νέφος των laser scanner χρησιμοποιήθηκε το ελεύθερο λογισμικό CloudCompare. Οι Strecha et al. (2015) τονίζουν πως οι μηχανές που ήταν σταθερά τοποθετημένες πάνω σε τρίποδο έχουν σημαντικά μικρότερη απόκλιση από το νέφος του laser scanner σε σύγκριση με την απόκλιση των action camera. Την μεγαλύτερη απόκλιση, φτάνοντας ακόμα και τους  $\pm 6\text{cm}$ , από τις μηχανές που ελήφθησαν φωτογραφίες, σταθερά τοποθετημένες πάνω σε τρίποδα, την έχει η Canon 6D με fisheye φακό και εστιακή απόσταση 8mm, αποδεικνύοντας έτσι το σφάλμα που εισάγει η λήψη εικόνων με fisheye φακό οπτικού εύρους  $180^\circ$ . Επιπλέον, τονίζουν πως η απόκλιση του νέφους της GoPro, που φτάνει ακόμα και τους  $\pm 6.3\text{cm}$ , θα ήταν μικρότερη αν είχαν ληφθεί οι εικόνες με σταθερή τη μηχανή και όχι με τη λειτουργία time lapse βρισκόμενη σε κίνηση. Το ίδιο ισχύει και για την action camera του Phantom2 Vision, ενώ για όλες τις υπόλοιπες περιπτώσεις η μέση απόκλιση δεν ξεπερνάει τα  $2\text{cm}$ , φτάνοντας σε ακραίες περιπτώσεις τα  $4.2\text{cm}$ . Έπειτα από αυτές τις συγκρίσεις αναφέρουν πως με fisheye φακούς γίνεται να επιτευχθεί ακρίβεια καλύτερη των  $10\text{cm}$  αν φωτογραφηθεί το αντικείμενο από απόσταση μικρότερη των  $15\text{m}$ . Τέλος, καταλήγουν στο συμπέρασμα πως η χρήση μηχανών για την συλλογή τρισδιάστατων δεδομένων αποτελεί την καλύτερη δυνατή λύση δεδομένου του κόστους ενός laser scanner και του χρόνου που χρειάζεται για την συλλογή των δεδομένων. Χαρακτηριστικά τονίζουν πως χρειάστηκαν 4 ώρες να σαρώσουν το κάστρο ενώ 10 λεπτά να φωτογραφίσουν με τη GoPro. Φυσικά οι action camera δεν φημίζονται για την μακρινή φωτογράφιση εξωτερικών χώρων αλλά τονίζεται πως για την παραγωγή του 3D μοντέλου στο εσωτερικό του κάστρου η GoPro είναι απαραίτητη για τη συλλογή δεδομένων.

## **2.5 Χρήση των Action camera στην εναέρια φωτογραμμετρία**

Οι action camera βρίσκουν εφαρμογή και στην εναέρια φωτογραμμετρία καθώς είναι σημαντική η χρήση ενός συστήματος RPAS (Remotely Piloted Aircraft System), μικρού βάρους αλλά και χαμηλού κόστους. Οι Bolognesi et al., (2015) κάνουν χρήση της GoPro

Hero3 + Black Edition με σκοπό την παραγωγή του 3D μοντέλου και την γεωμετρική τεκμηρίωση ενός κάστρου στη Ferrara της Ιταλίας. Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε είναι το Photoscan της Agisoft. Για την κλίμακα και τον προσανατολισμό του μοντέλου μετρήθηκαν στόχοι, οι οποίοι τοποθετήθηκαν ομοιόμορφα κατανεμημένοι και στις τέσσερις πλευρές του κάστρου. Στη συνέχεια λήφθηκαν με δύο τρόπους φωτογραφίες με τη GoPro, τόσο παράλληλα με το προς φωτογράφιση αντικείμενο όσο και με κλίση ως προς αυτό. Για τις ανάγκες της μελέτης οι Bolognesi et al., (2015) πραγματοποίησαν μια σειρά πειραμάτων. Αρχικά σχημάτισαν το αραιό νέφος σημείων μόνο με εικόνες παράλληλες προς τη σκεπή του κάστρου και χωρίς να δοθούν πληροφορίες στο λογισμικό για τον τύπο της μηχανής, με συνέπεια να είναι αδύνατη η εξάλειψη της διαστροφής του φακού και ο υπολογισμός των κέντρων λήψεως των φωτογραφιών. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να σχηματιστεί ένα μοντέλο με καμπυλότητα. Τονίζουν πως με την συμμετοχή εικόνων που λήφθηκαν με κλίση ως προς το κάστρο και από ύψος χαμηλότερο από τη σκεπή, η καμπυλότητα εξαλείφεται πλήρως, ενώ μεγάλο ρόλο παίζει και η απόσταση λήψης από το αντικείμενο. Έπειτα, για την εξάλειψη της καμπυλότητας και με τη συμμετοχή μόνο εικόνων που λήφθηκαν πάνω από τη σκεπή, συμμετείχαν στο σχηματισμό του αραιού νέφους σημείων 9 φωτοσταθερά. Αυτό όμως δεν διόρθωσε την καμπυλότητα του 3D μοντέλου. Για την εξάλειψη της καμπυλότητας του μοντέλου χρειάστηκε να βαθμονομηθεί η GoPro, κάτι το οποίο πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό Photomodeler και έπειτα τα αποτελέσματα εισήχθησαν στο Photoscan. Αυτές οι τιμές εισήχθησαν ως προσεγγιστικές (no fix) επιτρέποντας στο Photoscan να τις μεταβάλει κατά τη διάρκεια σχηματισμού του 3D μοντέλου. Τέλος, η πλήρης εξάλειψη της καμπυλότητας πραγματοποιήθηκε και με την συμμετοχή φωτοσταθερών. Τα δύο πυκνά νέφη που σχηματίστηκαν, ένα για ολόκληρο το κάστρο και ένα με την πρόσοψη αυτού, συγκρίθηκαν με το πυκνό νέφος που δημιουργήθηκε από laser scanner και βρέθηκε ότι η μέση απόκλιση που υπάρχει μεταξύ των νεφών της πρόσοψης είναι ίση με 2 cm, ενώ η μέση απόκλιση του νέφους που περιλαμβάνει και τη σκεπή φτάνει τα 4 cm. Τέλος, επισημαίνουν πως η απόκλιση αυτή μπορεί να μειωθεί λαμβάνοντας φωτογραφίες υπό κλίση ως προς το κάστρο και από πιο κοντινή απόσταση. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό, από μία ακόμα μελέτη, πως η action camera παράγει μοντέλο πολύ μεγάλης ακρίβειας, ικανό να συγκριθεί με ένα μοντέλο που παράγεται από laser scanner.

## Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>

---

### 3 Δοκιμή στη περιοχή της Πλάκας

#### 3.1 Φωτογραφικές μηχανές που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη συλλογή δεδομένων

##### 3.1.1 Χαρακτηριστικά Μηχανής *GoPro Hero 4 Black*

Για την εκπόνηση της εργασίας και τη συλλογή των απαραίτητων εικόνων χρησιμοποιήθηκε η Action Cam Hero 4 Black Adventure (**Εικόνα 6**) η οποία διακρίνεται για την υψηλή ανάλυση φωτογραφίας αλλά και video (4K), σε συνδυασμό με fish-eye φακό εστιακής απόστασης 3 mm (Focal Length: 3mm), με εξαιρετικά ευρύ οπτικό πεδίο (FOV) που φτάνει τις 170°.



**Εικόνα 6:** GoPro Hero4 Black

Η Hero 4 Black έχει διαστάσεις 41mm x 59mm x 30mm και βάρος 89g. Είναι ευρέως γνωστή τόσο για την υψηλή ανάλυση φωτογραφίας, ίση με 4000 x 3000 pixels (12MP), όσο και για την υψηλή ανάλυση που διαθέτει για video 4K (3840 x 2160 pixels) με 30 καρέ ανά δευτερόλεπτο (30 fps). Επιπλέον η μηχανή διαθέτει δυνατότητα λήψης video 1080P (1920 x 1080 pixels) με 120 καρέ ανά δευτερόλεπτο (120 fps). Για ανάλυση της εικόνας

4000 x 3000 pixels (12MP), αναλογίας διαστάσεων 4:3 και μέγεθος αισθητήρα ίσο με 6,16mm x 4,62mm, το μέγεθος του pixel (pixel size ή pixel pitch) είναι ίσο με 1,54μm.

**Πίνακας 1:** Χαρακτηριστικά μηχανής *GoPro Hero4 Black*

<b>Mode</b>	<b>12 MP</b>	<b>4K</b>	<b>HD</b>
<b>Acquisition mode</b>	Still-image	video	video
<b>Sensor Resolution</b>	4000 x 3000 pixels	3840 x 2160 pixels	1920 x 1080 pixels
<b>Sensor Size</b>	1/2.3"		
<b>Image Ratio</b>	4:3	16:9	16:9
<b>Sensor Size [mm]</b>	6.16 x 4.62	5.9136 x 3.3264	5.9136 x 3.3264
<b>Pixel Size [μm]</b>	1.54	1.54	3.08

### 3.1.2 Χαρακτηριστικά Μηχανής *Ricoh Theta S*

Για τις ανάγκες του Fast Mapping χρησιμοποιήθηκε επίσης η Ricoh Theta S (**Εικόνα 7**), η οποία έχει διαστάσεις 130mm x 44mm x 22.9mm και βάρος 125g. Η μηχανή αυτή μας δίνει τη δυνατότητα λήψης σφαιρικών εικόνων υψηλής ευκρίνειας (5376 x 2688 pixels) και βίντεο 360° σε μία μόνο λήψη. Επιπλέον διαθέτει δύο αισθητήρες CMOS μεγέθους 1/2.3" και fish-eye φακούς εστιακής απόστασης 7.3 mm. Τέλος, η Ricoh Theta S επιτρέπει 25 λεπτά συνεχούς λήψης σφαιρικού βίντεο, με ανάλυση Full HD με 30 καρέ το δευτερόλεπτο (30 fps).

**Πίνακας 2:** Χαρακτηριστικά μηχανής *Ricoh Theta S*

<b>Sensor Resolution</b>	5376 x 2688 pixels
<b>Sensor Size [mm]</b>	6.2 x 4.6
<b>Pixel Size [μm]</b>	1.15



Εικόνα 7: Ricoh Theta S

## 3.2 Βαθμονόμηση φωτογραφικών μηχανών

Όπως περιγράφηκε παραπάνω, μεταξύ των μηχανών που θα χρησιμοποιηθούν για τη συλλογή των δεδομένων υπάρχουν και δύο Action Camera και συγκεκριμένα δύο GoPro, με ευρύ οπτικό πεδίο (FOV). Ωστόσο, η σημαντική διαστρόφη των φακών των μηχανών αυτών, αποτελεί ένα πρόβλημα για την χρήση τους στη φωτογραμμετρία. Για το λόγο αυτό, η βαθμονόμηση τους είναι απαραίτητη και παίζει σημαντικό ρόλο στη διόρθωση των παραμορφώσεων του φακού.

### 3.2.1 Η έννοια της βαθμονόμησης

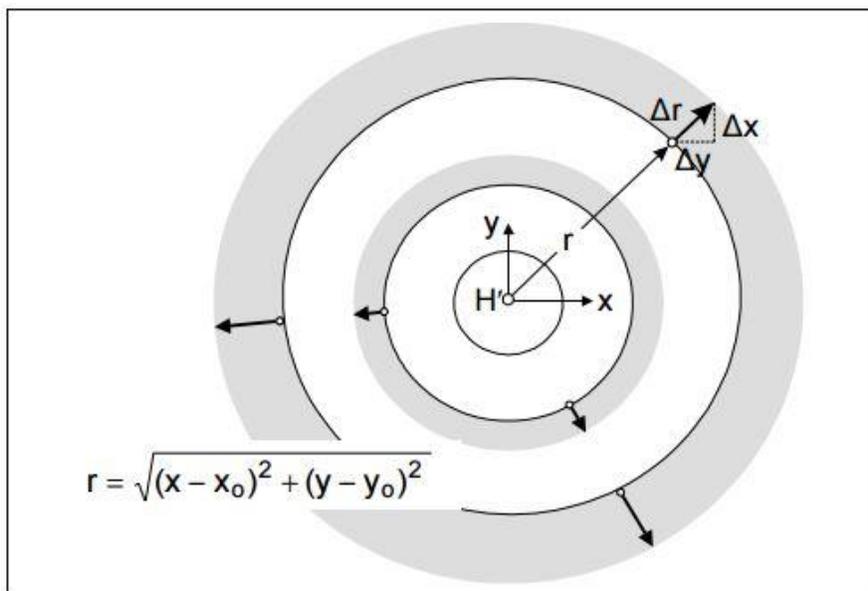
Με τον όρο «βαθμονόμηση» μιας φωτογραφικής μηχανής ονομάζεται η διαδικασία προσδιορισμού των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της. Η γνώση των χαρακτηριστικών αυτών είναι απαραίτητη αν οι φωτογραφίες που θα ληφθούν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για ακριβείς μετρήσεις αντικειμένων.

Το σημαντικότερο από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά είναι η εστιακή απόσταση, ή καλύτερα εν προκειμένω η σταθερά, του συστήματος των φακών.

Με την διαδικασία της βαθμονόμησης προσδιορίζονται οι παράμετροι του Εσωτερικού Προσανατολισμού, οι οποίες είναι: η βαθμονομημένη εστιακή απόσταση (σταθερά της μηχανής  $c$ ), οι συντεταγμένες  $x_0, y_0$  του πρωτεύοντος σημείου, οι συντεταγμένες των εικονοσημάτων στο σύστημα του φωτογραφικού επιπέδου, σε περίπτωση αναλογικής εικόνας, και η ακτινική παραμόρφωση των φακών.

### 3.2.2 Η έννοια της ακτινικής διαστρόφης

Η ακτινική διαστρόφη  $\Delta r$  αποτελεί το σημαντικότερο γεωμετρικό σφάλμα των φακών, εξαιτίας του οποίου οι προβολικές ακτίνες “τσακίζουν” βγαίνοντας από τον φακό, δηλαδή δεν εξέρχονται υπό την γωνία υπό την οποία προσπίπτουν (Πέτσα, 2000). Το παραπάνω έχει ως αποτέλεσμα οι ευθείες του χώρου να μην απεικονίζονται ως ευθείες – όπως επιτάσσει η κεντρική προβολή – αλλά καμπυλωμένες. Αυτό που συμβαίνει στη πραγματικότητα είναι μια ενιαία μεταβολή κλίμακας για κάθε απόσταση  $r$  στην εικόνα, και είναι συνάρτηση της ακτινικής απόστασης  $r$  από το πρωτεύον σημείο.



**Εικόνα 8:** Η επίδραση της ακτινικής διαστρόφης του φακού

Η ακτινική διαστρόφη είναι μεγαλύτερη στους φακούς μικρής εστιακής απόστασης, όπως είναι αυτοί των Action Camera (ευρυγώνιοι φακοί). Στη συνέχεια δίνεται χαρακτηριστικό παράδειγμα πιθοειδούς ακτινικής διαστρόφης, καμπύλωση των άκρων της κολώνας της

ΔΕΗ προς τα μέσα, από την εφαρμογή του συστήματος στη περιοχή της Καλαμωτής στη Χίο (Εικόνα 9).



Εικόνα 9: Έντονη Πιθοειδής Ακτινική Διαστροφή

### 3.3 Διόρθωση ακτινικής διαστροφής

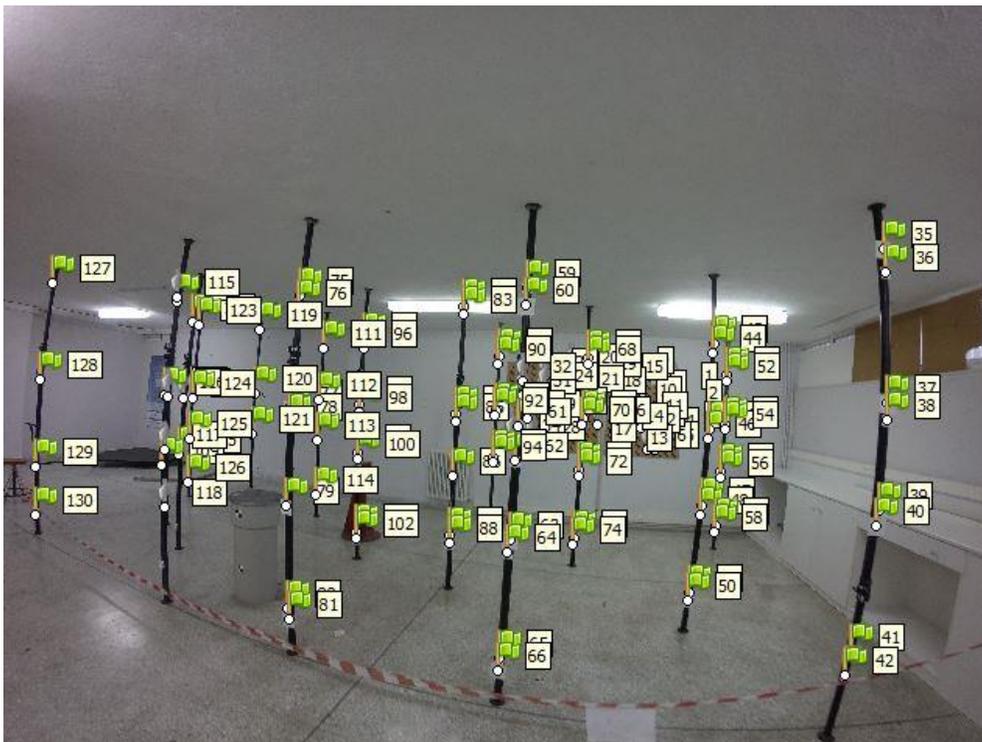
Στόχος ήταν να δοθούν στο λογισμικό Photoscan της Agisoft, αρχικές τιμές για τα στοιχεία της βαθμονόμησης (precalibrated), με σκοπό την όσο το δυνατόν καλύτερη προσέγγιση των τιμών αυτών. Δοκιμάστηκαν και ελέγχθηκαν δύο τρόποι, βαθμονόμηση στο πεδίο και βαθμονόμηση με χρήση του λογισμικού Agisoft Lens, για τη διόρθωση της ακτινικής διαστροφής, όπως περιγράφονται παρακάτω.

#### 3.3.1 Βαθμονόμηση στο πεδίο

Κατά την βαθμονόμηση στο πεδίο, πρώτα λήφθηκαν οι φωτογραφίες στο πεδίο βαθμονόμησης και στη συνέχεια εισήχθησαν στο λογισμικό Photoscan με στόχο να παρθούν οι τιμές των παραμέτρων της βαθμονόμησης. Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στην ύπαρξη ενός μεγάλου αριθμού φωτοσταθερών, τα οποία βρίσκονται κατανεμημένα σε

περισσότερα από ένα επίπεδα και σε διαφορετικές αποστάσεις από τη φωτογραφική μηχανή.

Πρώτα πραγματοποιήθηκε η εύρεση του προσανατολισμού των εικόνων και τα κέντρα λήψης των φωτογραφιών (Alignment) και στη συνέχεια σκοπεύθηκαν όλα τα φωτοσταθερά με στόχο το καλύτερο προσανατολισμό του μοντέλο στο χώρο. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η αυτόματη βελτιστοποίηση (optimization) του λογισμικού για την λήψη του καλύτερου δυνατού αποτελέσματος. Σκοπεύθηκαν συνολικά 138 φωτοσταθερά (**Εικόνα 10**) σε οκτώ εικόνες και το μοντέλο έπειτα από την βελτιστοποίησή του είχε σφάλμα ίσο με 0.01 m, ( $\text{Error(m)}=0.010056$ ) και σε pix ίσο με 0.597 ( $\text{Error(pix)} = 0.597$ ).



**Εικόνα 10:** Βαθμονόμηση στο πεδίο ελέγχου της ΣΑΤΜ

Ακολούθως πραγματοποιήθηκε έλεγχος, για τις τελικές τιμές των στοιχείων της βαθμονόμησης, ως προς το αν είναι σωστές οι τιμές αυτές και αν έχουν διορθωθεί οι εικόνες από την Ακτινική Διαστροφή. Με τη βοήθεια του Photoscan δημιουργήθηκε μια διορθωμένη εικόνα (Undistort photo) (**Εικόνα 11**).



**Εικόνα 11:** Διορθωμένη εικόνα από Ακτινική Διαστροφή

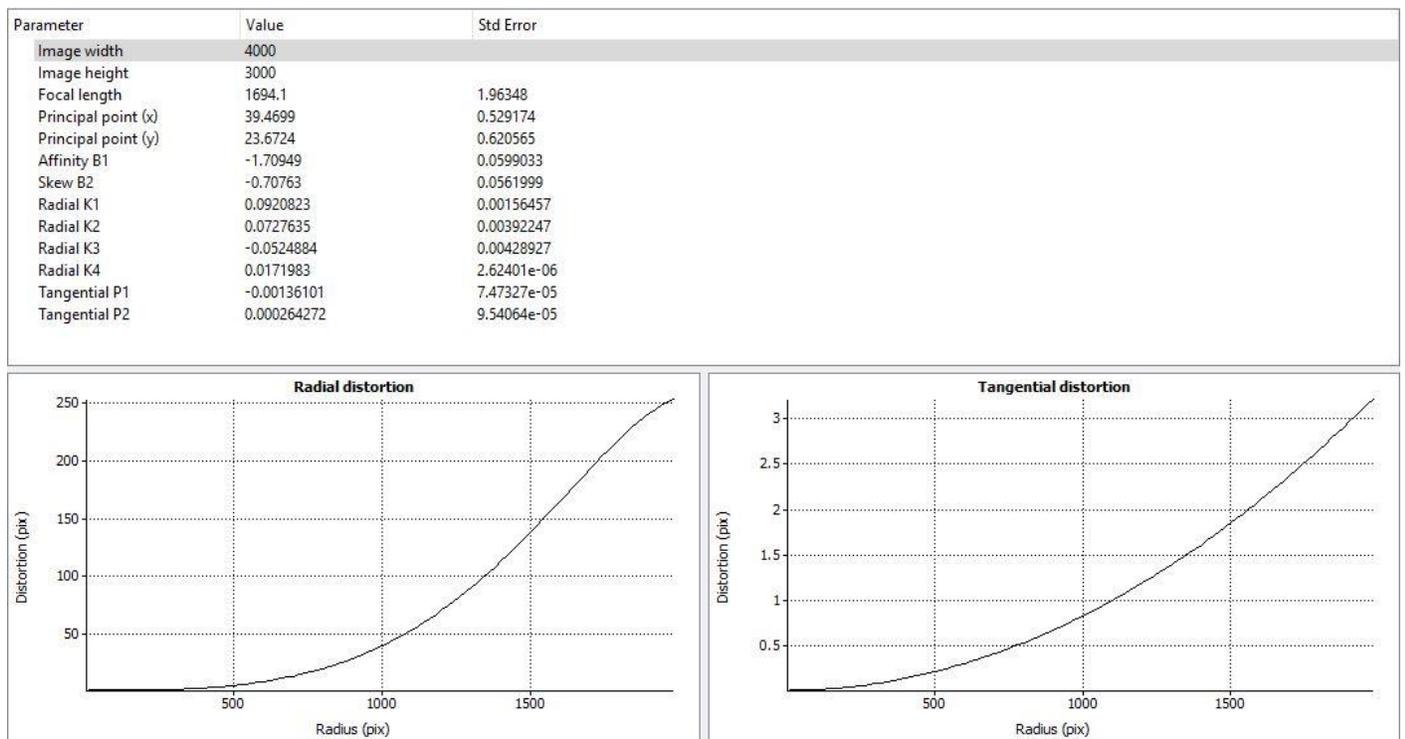
Όπως γίνεται αντιληπτό από τις δύο παραπάνω εικόνες, με την διαδικασία αυτή δεν πραγματοποιήθηκε η διόρθωση της ακτινικής διαστροφής από την εικόνα. Αυτό οφείλεται στην κατά πολύ μεγαλύτερη επιφάνεια που καλύπτουν οι φωτογραφίες λόγω του μεγάλου οπτικού πεδίου της Action Camera σε σύγκριση με το μέγεθος που καταλαμβάνουν τα κατανεμημένα φωτοσταθερά στο πεδίο. Έτσι δεν υπάρχουν σημεία γνωστών γεωδαιτικών συντεταγμένων σε ολόκληρη την επιφάνεια της εικόνας, με αποτέλεσμα η διόρθωση αυτού του σφάλματος του φακού να είναι πολύ δύσκολη. Παρά τις πολλές προσπάθειες που πραγματοποιήθηκαν δεν ήταν εφικτό να ληφθούν εικόνες με τέτοιο τρόπο, ώστε να καλύπτουν τα φωτοσταθερά ολόκληρη την επιφάνεια της εικόνας. Φυσικά αυτό θα ήταν πιο εύκολο να επιτευχθεί με μηχανή που διαθέτει κανονικό φακό.

### **3.3.2 Βαθμονόμηση στο Lens της Agisoft**

Η δεύτερη μέθοδος βαθμονόμησης περιλαμβάνει τη χρήση λογισμικού Agisoft Lens. Το εν λόγω λογισμικό είναι ένα λογισμικό αυτόματης βαθμονόμησης του φακού, το οποίο

χρησιμοποιεί την οθόνη LCD ως στόχο - πεδίο βαθμονόμησης. Η λειτουργία της οθόνης που διαθέτει το λογισμικό μοιάζει με σκακιέρα, με εναλλάξ μαύρα και άσπρα φαντρία.

Αρχικά λήφθηκαν οι φωτογραφίες σε αρκετά κοντινή απόσταση από την οθόνη LCD, λόγω του μεγάλου οπτικού πεδίου της Action camera, ώστε σε ολόκληρη την επιφάνεια της φωτογραφίας να περιλαμβάνονται ασπρόμαυρα φαντρία. Έπειτα το λογισμικό δίνει τις τιμές των στοιχείων της βαθμονόμησης και υπάρχει η δυνατότητα αποθήκευσης του αρχείου, σε μορφή συμβατή με το λογισμικό Photoscan. Επιπλέον το Agisoft Lens δίνει για κάθε βαθμονόμηση τα διαγράμματα της ακτινικής και εφαπτομενικής διαστρόφης που αντιστοιχούν στο πολυώνυμο του φακού, όπως παρατηρείται και στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 12).



**Εικόνα 12:** Βαθμονόμηση με το Agisoft Lens

Τα λογισμικά της Agisoft χρησιμοποιούν για τον προσδιορισμό της παραμόρφωσης του φακού το μοντέλο παραμόρφωσης Brown (εξισώσεις (1) έως (4)) (Brown, 1971).

$$\Delta x = \Delta x_r + \Delta x_d, \quad \Delta y = \Delta y_r + \Delta y_d \quad (1)$$

$$\Delta x_r = (x - x_0) * (K_1 r^2 + K_2 r^4 + K_3 r^6), \Delta y_r = (y - y_0) * (K_1 r^2 + K_2 r^4 + K_3 r^6) \quad (2)$$

$$\Delta x_d = P_1[r^2 + 2(x - x_0)] + 2P_2(x - x_0)(y - y_0)$$

$$\Delta y_d = P_2[r^2 + 2(y - y_0)] + 2P_1(x - x_0)(y - y_0) \quad (3)$$

$$r = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2} \quad (4)$$

όπου  $\Delta x$  και  $\Delta y$  είναι οι συνολικές παραμορφώσεις του φακού. Στην ακτινική διαστρόφη αναφέρονται τα  $\Delta x_r, \Delta y_r$ , ενώ στην εφαπτομενική διαστρόφη τα  $\Delta x_d$  και  $\Delta y_d$ . Οι συντελεστές της ακτινικής διαστρόφης είναι τα  $K_1, K_2, K_3$  και της εφαπτομενικής διαστρόφης τα  $P_1$  και  $P_2$ . Το  $r$  είναι η ακτινική απόσταση, τα  $(x, y)$  είναι οι εικονοσυντεταγμένες και τέλος τα  $(x_0, y_0)$  οι συντεταγμένες του Πρωτεύοντος σημείου.

### 3.4 Λογισμικό Photoscan της Agisoft

Για την εκπόνηση της εργασίας και την δημιουργία των 3D προβολών επιλέχθηκε το λογισμικό Photoscan (Agisoft, 2015), δεδομένου ότι αποτελεί μία προσιτή λύση εμπορικού λογισμικού, τύπου "all-in-one". Χρησιμοποιεί τις μεθόδους Structure from Motion (SfM) και Multi View Stereo (MVS), αλλά και αλγορίθμους για την πυκνή 3D αναπαράσταση πολλαπλών προβολών με σκοπό τη δημιουργία του πυκνού νέφους σημείων ενός αντικειμένου από εικόνες, οι οποίες προέρχονται από διαφορετικές θέσεις λήψης. Ενώ τα περισσότερα παραδοσιακά φωτογραμμετρικά λογισμικά απαιτούν να είναι γνωστή η τρισδιάστατη θέση της κάμερας ή των φωτοσταθερών που υπάρχουν για την επίλυση του τριγωνισμού και της 3D αναπαράστασης, η μέθοδος SfM επιλύει ταυτόχρονα και αυτόματα τη θέση της κάμερας και τη γεωμετρία της σκηνής, δηλαδή το σχήμα του απεικονιζόμενου αντικειμένου, χρησιμοποιώντας μια εξαιρετική τεχνική που βασίζεται σε χαρακτηριστικά αντιστοίχισης σε πολυάριθμες επικαλυπτόμενες εικόνες (Westoby et al. 2012). Η τρισδιάστατη αυτή ανακατασκευή βασίζεται στα αντίστοιχα χαρακτηριστικά σημεία που έχουν εντοπιστεί στις διάφορες εικόνες με την βοήθεια αλγορίθμων όπως ο SIFT. Ο αλγόριθμος SIFT (Scale - Invariant Feature Transform) αναπτύχθηκε από τον Lowe (1999) και αφορά την εξαγωγή σημειακών χαρακτηριστικών από εικόνες. Τα χαρακτηριστικά αυτά συνοδεύονται από ένα διάνυσμα περιγραφικών ιδιοτήτων. Το μέτρο ομοιότητας

μεταξύ των χαρακτηριστικών, που χρησιμοποιείται για την συνταύτιση, είναι ο υπολογισμός της ευκλείδειας απόστασης των διανυσμάτων των ιδιοτήτων τους (Remondino, 2006). Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει ο συγκεκριμένος αλγόριθμος, είναι ότι εντοπίζει μεγάλο πλήθος χαρακτηριστικών που διατηρούνται αναλλοίωτα σε γεωμετρικές και ραδιομετρικές παραμορφώσεις. Ακόμα και όταν οι εικόνες παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους, τα αποτελέσματα της συνταύτισης είναι ικανοποιητικά.

Στη συνέχεια οι αλγόριθμοι πολλαπλής εμπροσθοτομίας, γνωστοί και ως Multi View Stereo (MVS), έχουν ως στόχο την ανακατασκευή ενός πλήρους 3D μοντέλου του χώρου ή του αντικειμένου από συλλογή φωτογραφιών που λαμβάνονται από γνωστές θέσεις της φωτογραφικής μηχανής. Η εκτίμηση του υλοποιείται με την εξεύρεση εικονοστοιχείων που να ταυτίζονται στις εικόνες, δίνοντας έτσι την δυνατότητα μετατροπής της 2D θέσης σε 3D βάθη. Μετέπειτα στόχος του αλγόριθμου είναι η μετατροπή ενός νέφους σημείων σε μια συνεχόμενη επιφάνεια. Οι αλγόριθμοι αυτοί απαιτούν την είσοδο βαθμονομημένων φωτογραφιών και γεωμετρικής έκτασης του αντικειμένου ή της σκηνής που θα ανακατασκευαστεί. Ουσιαστικά συσχετίζουν τις μετρήσεις από πολλές εικόνες ταυτόχρονα, με αποτέλεσμα την τρισδιάστατη κατασκευή της επιφάνειας, με μεγάλη ακρίβεια.

Επιπροσθέτως, σημαντικό χαρακτηριστικό, για τις ανάγκες της μελέτης, αποτελεί η ικανότητα του λογισμικού να επεξεργάζεται σφαιρικές φωτογραφίες. Τέλος, η χειροκίνητη βαθμονόμηση των μηχανών πριν την εφαρμογή των αλγορίθμων αυτών δεν είναι απαραίτητη καθώς το λογισμικό διαθέτει αυτόματο υπολογισμό των παραμέτρων του εσωτερικού προσανατολισμού, ενώ για να δοθεί γεωαναφορά και κλίμακα στο μοντέλο και να βελτιωθεί η ακρίβειά του, είναι απαραίτητη η μέτρηση χαρακτηριστικών σημείων (φωτοσταθερά).

### **3.5 Εύρεση του βέλτιστου δυνατού συνδυασμού των καμερών**

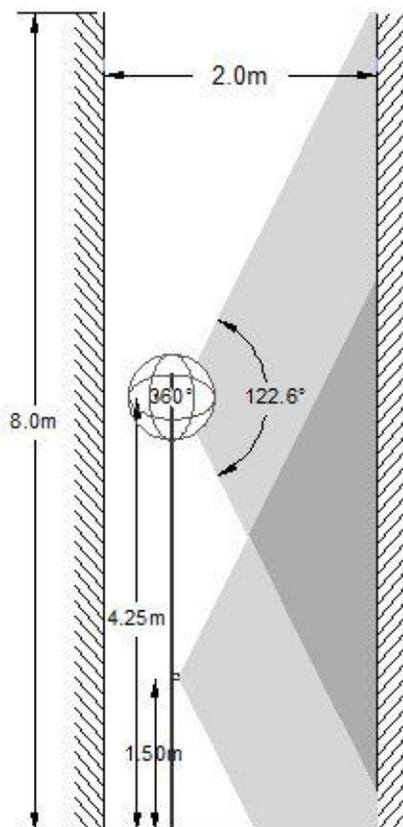
Έχοντας καταλήξει στον εξοπλισμό που θα χρησιμοποιηθεί για την συλλογή των εικόνων (κοντάρι – GoPro - Ricoh Theta S), απομένει να γίνουν οι κατάλληλες δοκιμές και να βρεθεί ο καλύτερος δυνατός συνδυασμός των καμερών για τις ανάγκες της γρήγορης

αποτύπωσης. Στόχος ήταν να πραγματοποιηθούν οι δοκιμές αυτές σε δρόμο με αντίστοιχα χαρακτηριστικά με εκείνα των δρόμων της Καλαμωτής της Χίου. Για τον παραπάνω λόγο επιλέχθηκαν τα στενά της Πλάκας και συγκεκριμένα η οδός Θρασυβούλου, με μέγιστο πλάτος οδού τα 2.33m και ύψος κτηρίων τα 8m περίπου, ώστε να δοκιμαστούν όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί και στη συνέχεια να αξιολογηθούν τα αποτελέσματα κάθε μεθόδου.

Έχοντας ως τελικό στόχο την παραγωγή ορθοφωτογραφιών των προσόψεων των κτηρίων, με τη βοήθεια του λογισμικού Photoscan της Agisoft, εξήχθησαν τα πυκνά νέφη σημείων για κάθε δυνατό συνδυασμό μεταξύ των καμερών, και αξιολογήθηκε κάθε μέθοδος, όπως φαίνεται παρακάτω.

Τα σενάρια που δημιουργήθηκαν και εξετάστηκαν για τη δοκιμή στη Πλάκα είναι τα εξής τρία:

1. Η πρώτη εφαρμογή του συστήματος περιλαμβάνει την τοποθέτηση των καμερών GoPro με τον άξονα λήψης οριζόντιο και αντίθετα μεταξύ τους, σε ύψος 1.50m, ώστε να καλύπτουν και τις δύο πλευρές του δρόμου. Με αυτό τον τρόπο ένα πέρασμα αρκεί καθώς φωτογραφίζονται και οι δύο πλευρές του δρόμου ταυτόχρονα. Σε ύψος 4.25m τοποθετήθηκε η Ricoh Theta S, με την οποία επιτυγχάνεται η σύνδεση των δύο πλευρών του δρόμου.
2. Το δεύτερο σενάριο (**Εικόνα 13**) περιλαμβάνει την τοποθέτηση των καμερών GoPro στην ίδια πλευρά του κονταριού, τοποθετημένες σε διαφορετικά ύψη, έχοντας κάποια μικρή κλίση ώστε να καλύπτουν μεγαλύτερη επιφάνεια του ως προς φωτογράφιση αντικειμένου. Οι GoPro τοποθετήθηκαν σε ύψη 1.50m και 4.25m. Η Ricoh Theta S τοποθετήθηκε στο ύψος της δεύτερης GoPro, στα 4.25m. Η Ricoh Theta S «κοιτάει» ευθεία στο δρόμο σε αντίθεση με την ελαφριά κλίση των Action camera.



**Εικόνα 13:** Μορφή συστήματος 2<sup>ου</sup> σεναρίου

3. Το τρίτο σενάριο περιλαμβάνει την τοποθέτηση των καμερών GoPro με οριζόντιο τον άξονα λήψης και αντίθετα μεταξύ τους, σε ύψος 4.30m. Σε ύψος 2.365m τοποθετήθηκε η Ricoh Theta S, με την οποία επιτυγχάνεται η σύνδεση των δύο πλευρών του δρόμου. Αυτό το σενάριο διαφέρει από το πρώτο ως προς το ύψος που είναι τοποθετημένες οι μηχανές.

Σε όλα τα παραπάνω σενάρια η συλλογή των φωτογραφιών από τις GoPro έγινε με τη λειτουργία time lapse ανά δύο δευτερόλεπτα. Στο πρώτο σενάριο με τη Ricoh Theta S έγινε λήψη video και λήψη έξι φωτογραφιών. Ακόμα λήψη video και λήψη επτά φωτογραφιών πραγματοποιήθηκε και στο τρίτο σενάριο από ύψος  $H = 2.365\text{m}$ .

Για να δοθεί κλίμακα στο μοντέλο χρησιμοποιήθηκαν ασπρόμαυροι στόχοι της Agisoft, οι οποίοι κολλήθηκαν στις προσόψεις των κτηρίων.

### 3.5.1 Αξιολόγηση σεναρίων

Στο πρώτο και στο τρίτο σενάριο, όπου οι GoPro έχουν τοποθετηθεί οριζόντια και αντίθετα μεταξύ τους, οι φωτογραφίες δεν καλύπτουν μεγάλη επιφάνεια των προσόψεων των κτηρίων. Γίνεται αντιληπτό πως στα σημεία κοντά στο έδαφος και στα ψηλότερα σημεία των κτηρίων (ύψος κοντά στα 8m), τα νέφη των σημείων θα προκύψουν μόνο με εικόνες από την Ricoh Theta S. Σε αυτή τη περίπτωση είναι απαραίτητο να ληφθεί μεγάλος αριθμός εικόνων από την Ricoh Theta S και από διαφορετικά υψόμετρα ώστε να εξαχθούν τα επιθυμητά αποτελέσματα. Βέβαια αυτό δεν συμβαδίζει με την ιδέα του Fast Mapping καθώς η Ricoh Theta S συνδέεται με το κινητό μέσω WiFi και για κάθε λήψη φωτογραφίας χρειάζεται 5-6 sec.

Γίνεται αντιληπτό πως μόνο ο σωστός συνδυασμός των GoPro θα οδηγήσει στα επιθυμητά αποτελέσματα και η “Ricoh Theta S” θα έχει τον βοηθητικό ρόλο στο να ενώσει τις δύο πλευρές, λόγω του ευρέος οπτικού της πεδίου.

Το δεύτερο σενάριο φαίνεται πως είναι και το επικρατέστερο καθώς οι μηχανές είναι τοποθετημένες με κατακόρυφο τον άξονα λήψης και καλύπτουν σημεία μέχρι και τα 7.5m, ενώ υπάρχει και η ελαφριά κλίση των μηχανών που οδηγεί σε μεγαλύτερη κάλυψη του προς φωτογράφιση αντικειμένου και σε μεγαλύτερες επικαλύψεις μεταξύ των εικόνων. Με αυτή τη διαδικασία αποτύπωσης είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθούν δυο περάσματα από το δρόμο, ώστε να αποτυπωθούν και οι δύο πλευρές, αλλά και πάλι η διαδικασία είναι ολιγόλεπτη. Η Ricoh Theta S κοιτάει ευθεία στο δρόμο και συλλέγει δεδομένα, είτε αυτά είναι εικόνες είτε video. Γίνεται αντιληπτό πως αυτή η δομή μεταξύ των μηχανών αποτελεί την καλύτερη δυνατή για τις ανάγκες του Fast Mapping.

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί πως η ανάλυση των εικόνων της Ricoh Theta S (5376 x 2688 pixel) είναι πολύ καλύτερη σε σύγκριση με την ανάλυση των frames (1920 x 960 pixels) που διαθέτει η λήψη video. Κατά συνέπεια, εξάγεται το συμπέρασμα πως για την παραγωγή των νεφών σημείων, είναι σαφώς καλύτερη η χρήση των εικόνων ανάλυσης 5376 x 2688 pixel.

## 3.6 Εξαγωγή πυκνών νεφών σημείων για διάφορα σενάρια

Έχοντας ως τελικό στόχο την παραγωγή ορθοφωτογραφιών των προσόψεων των κτηρίων, με τη βοήθεια του λογισμικού Photoscan της Agisoft, δημιουργήθηκε αρχικά το αραιό νέφος και στη συνέχεια το πυκνό νέφος σημείων, για τα διαφορετικά σενάρια πειραμάτων που ήταν απαραίτητο να πραγματοποιηθούν. Τα νέφη αυτά προέρχονται όλα από δεδομένα που παρήχθησαν κατά το επικρατέστερο σενάριο (**Εικόνα 13**), ωστόσο διαφέρουν στον τρόπο παραγωγής τους.

### 3.6.1 Συμμετοχή όλων των μηχανών στη διαδικασία παραγωγής του πυκνού νέφους σημείων

Για την πρώτη δοκιμή και την εξαγωγή του πρώτου πυκνού νέφους σημείων πήραν μέρος 165 εικόνες, εκ των οποίων οι 134 ήταν από τις GoPro κάμερες, οι 6 ήταν εικόνες υψηλής ανάλυσης της Ricoh Theta S και 25 frames από λήψη video της ίδιας μηχανής. Οι εικόνες της Ricoh Theta S που συμμετέχουν στη διαδικασία έχουν παρθεί από ύψος 4.25m. Η κλίμακα στο μοντέλο δόθηκε από στόχους, που τοποθετήθηκαν στην αρχή και στο τέλος του δρόμου, γνωρίζοντας ανά δύο τις μεταξύ τους αποστάσεις. Όλες οι εικόνες συμμετείχαν στη λειτουργία του Photoscan για τον προσδιορισμό των κέντρων λήψης των φωτογραφιών και του προσανατολισμού κάθε εικόνας, δημιουργώντας το αραιό νέφος σημείων (Align). Στη συνέχεια, βάσει των εκτιμώμενων θέσεων λήψης των καμερών, το πρόγραμμα υπολογίζει πληροφορίες βάθους για κάθε κάμερα με σκοπό την παραγωγή του πυκνού νέφους σημείων (Dense point cloud). Στη διαδικασία αυτή συμμετείχαν και οι 165 εικόνες, όπως και στο σχηματισμό του αραιού νέφους σημείων. Στη δοκιμή αυτή δόθηκαν αρχικές τιμές στα στοιχεία της βαθμονόμησης (precalibrated), οι οποίες υπολογίστηκαν στο Lens της Agisoft, αλλά δόθηκε η δυνατότητα στο λογισμικό να υπολογίσει νέες τιμές για τα στοιχεία αυτά καθώς δεν ενεργοποιήθηκε η λειτουργία fix calibration. Στις εικόνες που ακολουθούν (**Εικόνα 14** και **Εικόνα 15**) απεικονίζονται οι τιμές των στοιχείων της βαθμονόμησης.

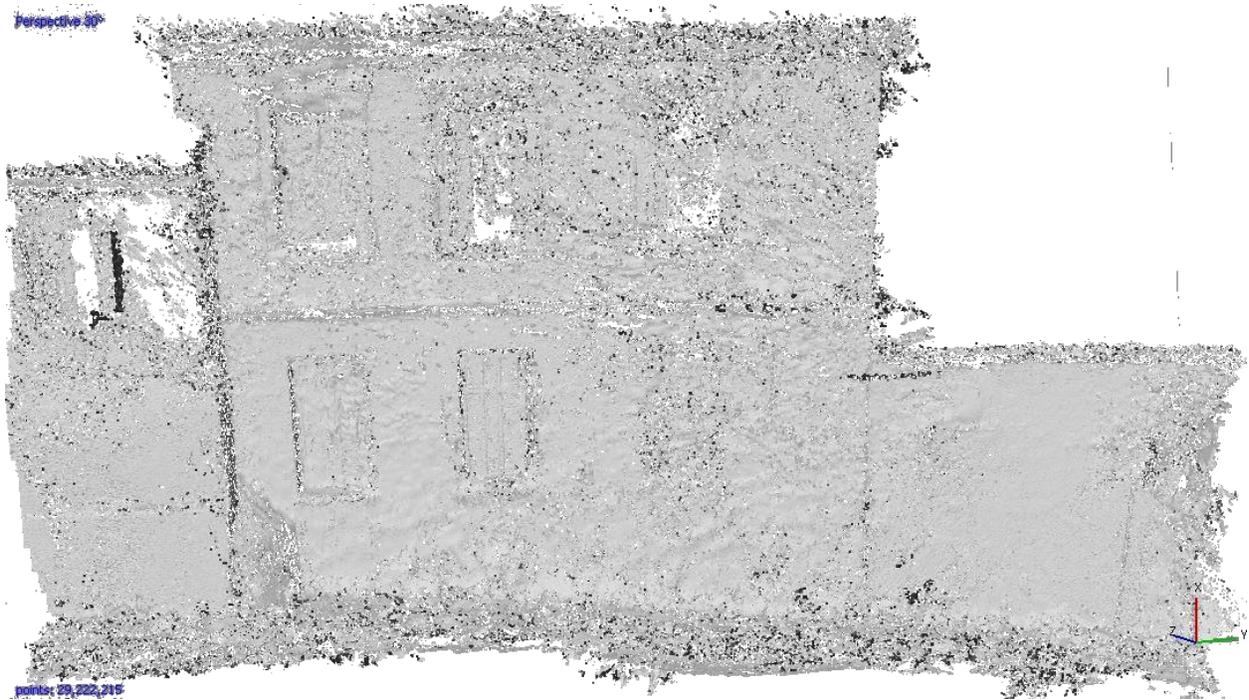
Initial	Adjusted	GPS/INS Offset
Type:	Precalibrated	<input type="checkbox"/> Fix calibration
f:	1590.34	
cx:	20.7198	b1: -0.258369
cy:	-73.0953	b2: -0.280354
k1:	0.107012	p1: -0.000457975
k2:	0.00686865	p2: -0.000245335
k3:	0.000514936	p3: 0
k4:	-0.00220905	p4: 0

**Εικόνα 14:** Αρχικές τιμές Βαθμονόμησης σε pixel (precalibrated)

Initial	Adjusted	GPS/INS Offset
f:	1751.61	
cx:	-38.5119	b1: 1.65351
cy:	-50.6433	b2: 4.72606
k1:	0.0545938	p1: 5.11636e-07
k2:	0.00571503	p2: -0.00087584
k3:	0.0019356	p3: 0
k4:	-0.00220905	p4: 0

**Εικόνα 15:** Τελικές τιμές Βαθμονόμησης σε pixel

Το πλήθος των σημείων που σχηματίστηκαν κατά το αραιό νέφος είναι 121.704, ενώ κατά τη δημιουργία του πυκνού νέφους 48.543.775. Αναλύοντας τα αποτελέσματα που προέκυψαν από αυτή την πρώτη δοκιμή, παρατηρήθηκε πως το πυκνό νέφος σημείων (Dense point cloud) έχει αρκετό θόρυβο και δεν αποτελεί το επιθυμητό αποτέλεσμα. Παρακάτω απεικονίζεται ένα τμήμα του δρόμου της περιοχής μελέτης (**Εικόνα 16**).



**Εικόνα 16:** Πυκνό νέφος σημείων με τη Ricoh Theta S (1<sup>η</sup> δοκιμή)

Με τόσο έντονο διακριτό θόρυβο δεν είναι εφικτό να εξαχθεί η ορθοφωτογραφία με την επιθυμητή ανάλυση και ακρίβεια.

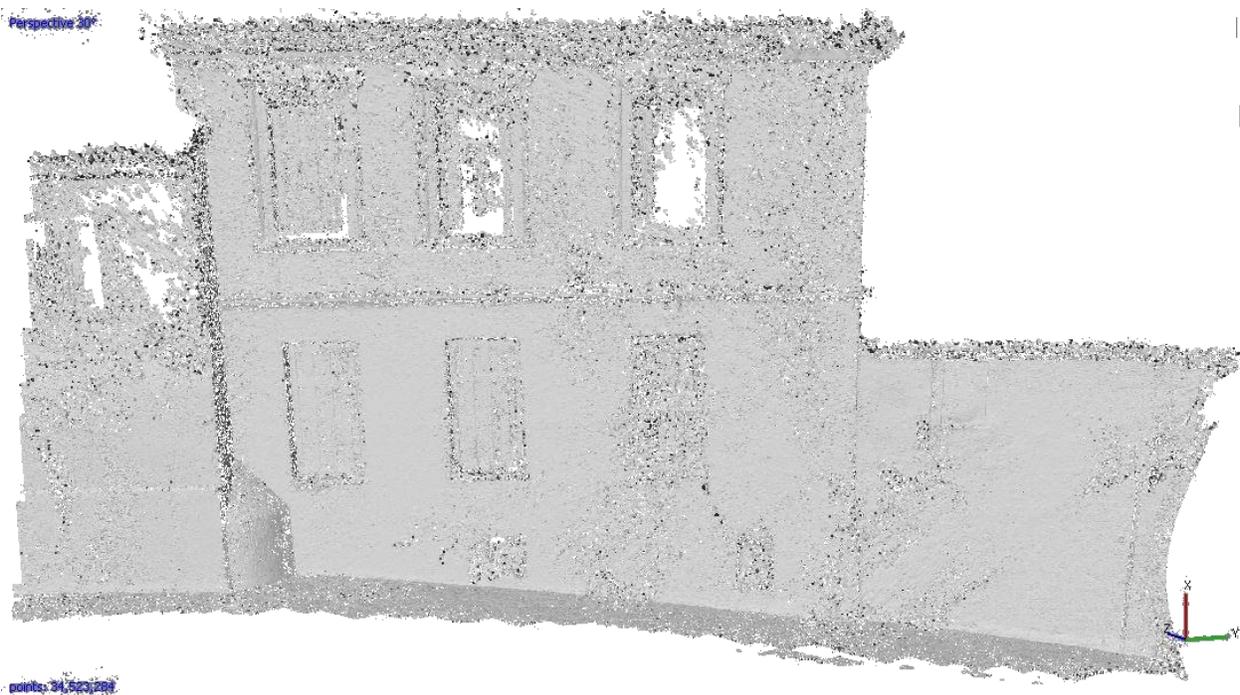
### **3.6.2 Συμμετοχή μόνο των Action camera στη διαδικασία παραγωγής των νεφών σημείων**

Έπειτα από την εξαγωγή των νεφών χρησιμοποιώντας τη Ricoh Theta S, είναι απαραίτητη η σύγκριση των νεφών αυτών με νέφη που προκύπτουν χωρίς τη συμμετοχή της μηχανής αυτής. Για το λόγο αυτό εξήχθησαν το αραιό και πυκνό νέφος σημείων μόνο με τις 134 εικόνες που ελήφθησαν με τις GoPro. Αξίζει να αναφερθεί το γεγονός πως τα σημεία που σχηματίστηκαν στο αραιό νέφος είναι 97.399, δηλαδή σχεδόν 25% λιγότερα από ό,τι στο παραπάνω πείραμα που συμμετείχε και η Ricoh Theta S. Είναι σημαντικό να τονισθεί πως η χρήση σφαιρικών εικόνων είναι απαραίτητη καθώς εξασφαλίζει την σύνδεση μεταξύ των δυο πλευρών του δρόμου καθώς και πολλές φορές την φωτογράφιση σημείων που δεν είναι εφικτό να φωτογραφηθούν με ένα πέρασμα στο δρόμο. Όσο για τη συμμετοχή της στο σχηματισμό του πυκνού νέφους σημείων γίνεται εκτενής αναφορά στην συνέχεια του Κεφαλαίου.

### 3.6.3 Παραγωγή πυκνού νέφους σημείων χωρίς τη Ricoh Theta S

Έπειτα για την αντιμετώπιση και την εξάλειψη του θορύβου απ' το πυκνό νέφος σημείων πραγματοποιήθηκε μια σειρά από πειράματα και ελέγχους. Το επικρατέστερο σενάριο για την εξάλειψη του θορύβου ήταν η εξαγωγή του πυκνού νέφους σημείων χωρίς την χρήση της Ricoh Theta S. Ο κύριος λόγος για αυτό είναι πως η σφαιρική κάμερα παράγει εικόνες χαμηλότερης ποιότητας από εκείνες των action camera και αυτό επηρεάζει την ποιότητα της διαδικασίας αντιστοίχισης μεταξύ των εικόνων.

Συνεπώς σε αυτή τη περίπτωση η παραγωγή του νέφους διαφέρει από την πρώτη δοκιμή, ως προς τις εικόνες οι οποίες πήραν μέρος στην διαδικασία παραγωγής του πυκνού νέφους σημείων. Όπως ακριβώς στην πρώτη δοκιμή, οι ίδιες 165 εικόνες πήραν μέρος στους προσανατολισμούς (Alignment) των εικόνων. Αντίθετα στη διαδικασία σχηματισμού του πυκνού νέφους σημείων δεν πήραν μέρος οι 31 εικόνες που λήφθηκαν από την Ricoh Theta S. Παρακάτω απεικονίζεται το πυκνό νέφος σημείων, του ίδιου με παραπάνω τμήματος δρόμου (Εικόνα 17).



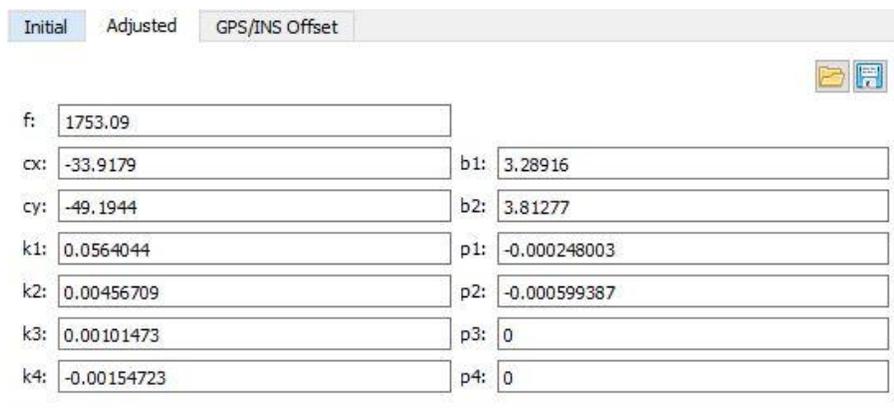
**Εικόνα 17:** Πυκνό νέφος σημείων χωρίς τη Ricoh Theta S (2<sup>η</sup> δοκιμή)

Έπειτα και από την εξαγωγή του πυκνού νέφους σημείων χωρίς τις εικόνες της Ricoh Theta S, γίνεται αντιληπτό πως ο θόρυβος έχει μειωθεί σε σημαντικό βαθμό. Φυσικά υπάρχουν περιθώρια περαιτέρω μείωσης του θορύβου. Για παράδειγμα ο θόρυβος που παρατηρείται και σε αυτή την περίπτωση είναι εφικτό να μειωθεί ουσιαστικά με τη λήψη και συμμετοχή περισσότερων φωτογραφιών στις διαδικασίες σχηματισμού των νεφών. Αυτό θα μπορούσε να επιτευχθεί με λήψη των φωτογραφιών ανά 1 δευτερόλεπτο αντί για δύο.

Άξιο αναφοράς είναι επίσης το γεγονός πως στη πρώτη δοκιμή, για ολόκληρη την περιοχή μελέτης, σχηματίστηκαν έπειτα από την δημιουργία του πυκνού νέφους 48.543.775 σημεία, ενώ κατά τον σχηματισμό του πυκνού νέφους χωρίς τη συμμετοχή 31 εικόνων που πάρθηκαν με τη Ricoh Theta S σχηματίστηκαν 57.353.436. Από αυτό γίνεται αντιληπτό πως η Ricoh Theta S, λόγω της έντονης γεωμετρίας της, δυσχεραίνει τον σχηματισμό ενός σωστού πυκνού νέφους σημείων. Επιπλέον, λόγω της εξέλιξης των σφαιρικών μηχανών τα τελευταία χρόνια, οι αλγόριθμοι συνταύτισης των εικόνων είναι πιθανό να μην είναι ακόμα σε θέση να προσαρμοστούν στην επεξεργασία σφαιρικών εικόνων.

### 3.6.3.1 Σχηματισμός αραιού νέφους χωρίς τη χρήση του Lens

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η εξαγωγή του αραιού νέφους σημείων (Align), με τις ίδιες 165 εικόνες που πήραν μέρος και στις παραπάνω δοκιμές, χωρίς όμως να δοθούν αρχικές τιμές στα στοιχεία της βαθμονόμησης. Μέσω αυτής της διαδικασίας θα ελεγχθούν τα αποτελέσματα των τιμών των στοιχείων της βαθμονόμησης, ως προς το πόσο επηρεάζουν οι αρχικές τιμές τον σχηματισμό του αραιού νέφους σημείων (Align) και κατ' επέκταση την δημιουργία του πυκνού νέφους σημείων (Dense point cloud). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στην εικόνα που ακολουθεί (**Εικόνα 18**).



Parameter	Value
f:	1753.09
cx:	-33.9179
cy:	-49.1944
k1:	0.0564044
k2:	0.00456709
k3:	0.00101473
k4:	-0.00154723
b1:	3.28916
b2:	3.81277
p1:	-0.000248003
p2:	-0.000599387
p3:	0
p4:	0

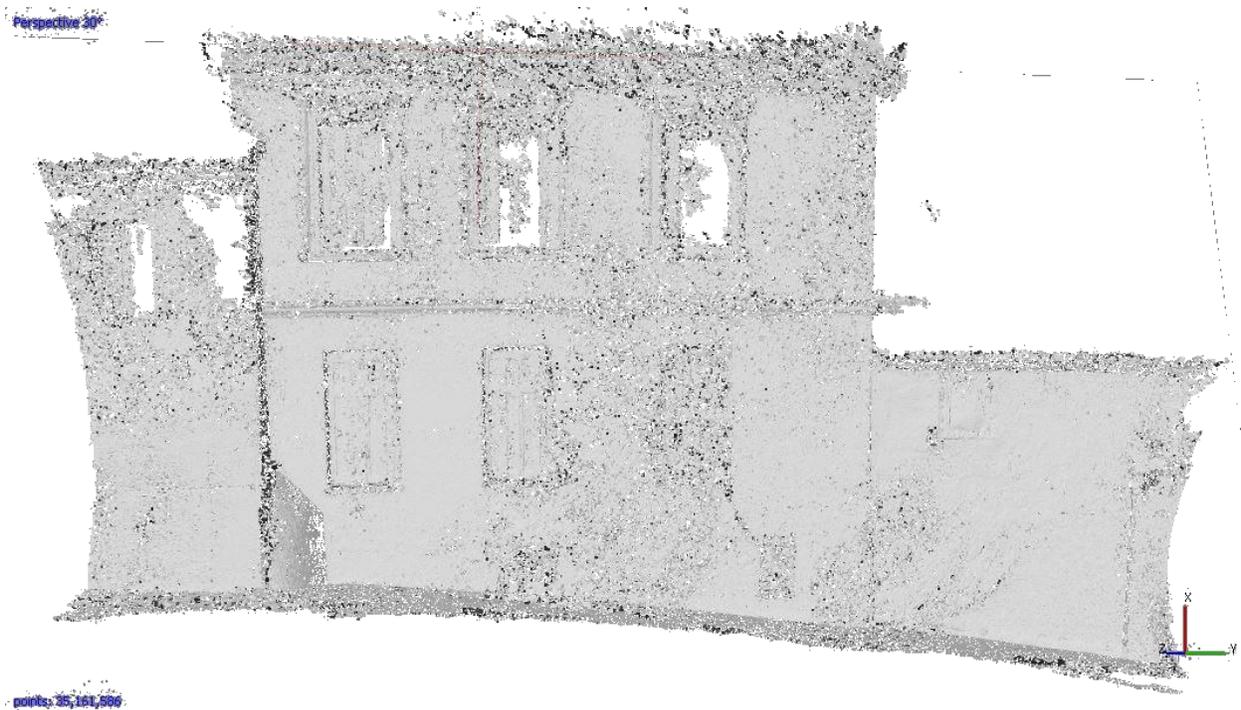
**Εικόνα 18:** Τιμές Βαθμονόμησης (σε pixel) χωρίς να έχουν δοθεί αρχικές τιμές (precalibrated)

Συγκρίνοντας τα παραπάνω αποτελέσματα με τις τιμές της βαθμονόμησης που προέκυψαν στο προηγούμενο πείραμα (**Εικόνα 15**) παρατηρείται πως η διαφορά μεταξύ των δύο εστιακών αποστάσεων  $f$  είναι 2 pixel. Μεγαλύτερη διαφορά παρατηρείται κατά τον άξονα των  $X$ , όπου η διαφορά μεταξύ των δύο τετμημένων είναι 4 pixel. Αντίθετα η διαφορά μεταξύ των τεταγμένων είναι μικρότερη του ενός pixel. Τέλος οι διαφορές που προκύπτουν μεταξύ των συντελεστών της ακτινικής και εφαπτομενικής διαστρόφησης είναι πάρα πολύ μικρές.

Άξιο αναφοράς είναι πως ο αριθμός των σημείων του αραιού νέφους που σχηματίστηκε, δίνοντας αρχικές τιμές στα στοιχεία της βαθμονόμησης (121.704), είναι σχεδόν διπλάσιος από τον αριθμό των σημείων που σχηματίστηκαν χωρίς αρχικές τιμές (76.418). Αυτό βέβαια δεν μπορεί να θεωρηθεί πως οφείλεται στις αρχικές τιμές των στοιχείων της βαθμονόμησης.

### 3.6.4 Παραγωγή πυκνού νέφους με εικόνες της Ricoh Theta S από H=2.365m

Επιπλέον πραγματοποιήθηκε στο δρομάκι της Πλάκας μία ακόμα δοκιμή, με σκοπό την εξαγωγή ενός ακόμα καλύτερου πυκνού νέφους σημείων. Σε αυτό το σενάριο, η εξαγωγή του πυκνού νέφους πραγματοποιήθηκε και με τη συμμετοχή εικόνων από τη Ricoh Theta S, όπως και στη πρώτη δοκιμή. Αυτή τη φορά πήραν μέρος στο σχηματισμό του αραιού νέφους και του πυκνού νέφους σημείων οι ίδιες 134 εικόνες από τις GoPro, ανάλυσης 4000 x 3000 pixel και 7 εικόνες από την Ricoh Theta S ανάλυσης 5376 x 2688 pixel. Σε αυτή τη δοκιμή, οι 7 σφαιρικές φωτογραφίες ελήφθησαν από ύψος 2.365m. Στη συνέχεια απεικονίζεται το πυκνό νέφος σημείων όπως προκύπτει με αυτόν το συνδυασμό εικόνων (Εικόνα 19).



**Εικόνα 19:** Πυκνό νέφος σημείων με εικόνες και από τη Ricoh Theta S από H=2.365m (3<sup>η</sup> δοκιμή)

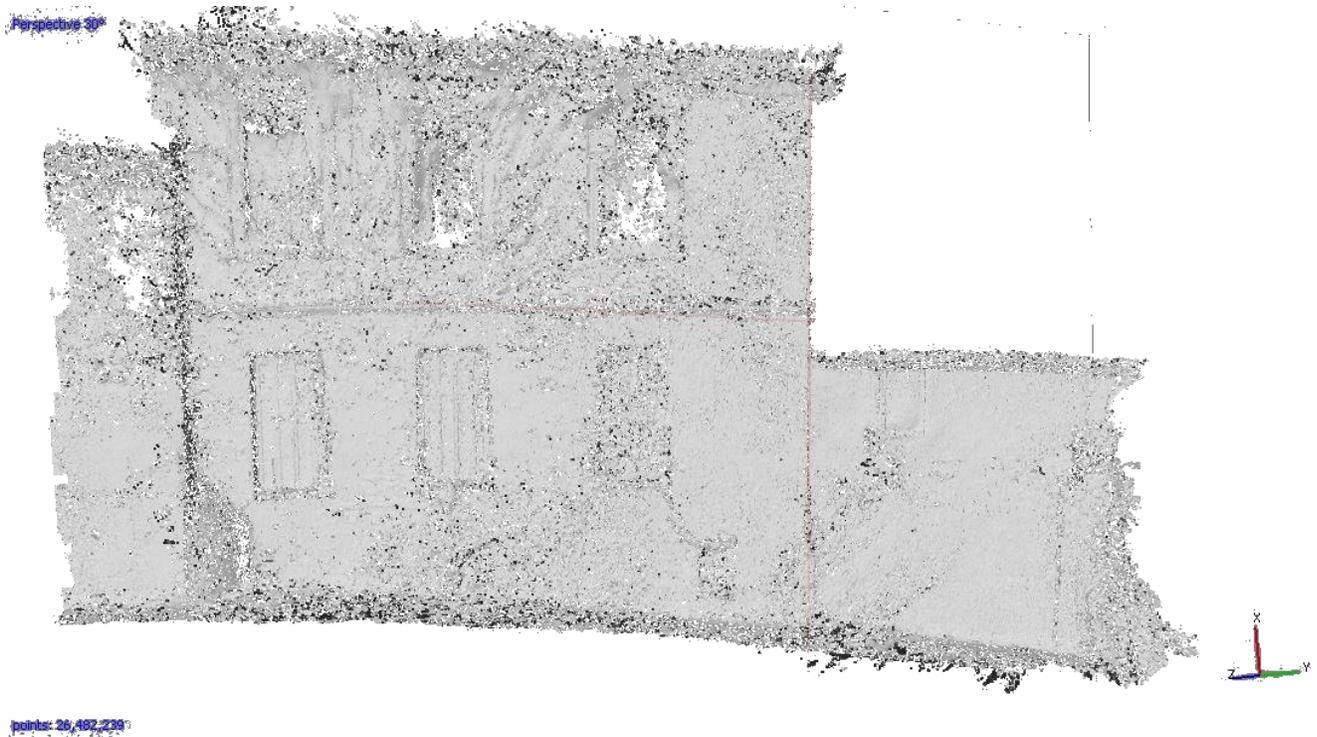
Σε αυτό το σενάριο δόθηκαν αρχικές τιμές στα στοιχεία της βαθμονόμησης και το πλήθος των σημείων που σχηματίστηκε κατά τη δημιουργία του αραιού νέφους είναι 65.034. Αυτό το αποτέλεσμα είναι άξιο αναφοράς καθώς το πλήθος των σημείων που σχηματίστηκε είναι ακόμα μικρότερο από το πλήθος των στοιχείων που προέκυψαν στο προηγούμενο σενάριο (76.418), όταν δεν δόθηκαν αρχικές τιμές στα στοιχεία της βαθμονόμησης. Πλέον

φαίνεται ξεκάθαρα πως οι αρχικές τιμές των στοιχείων της βαθμονόμησης, που εξάγονται από το Lens, δεν καθορίζουν το πλήθος των σημείων του αραιού νέφους και συνεπώς τον σχηματισμό του πυκνού νέφους σημείων.

Το πλήθος των σημείων που σχηματίστηκαν κατά το πυκνό νέφος είναι 55.516.953, ενώ το πυκνό νέφος παρουσιάζει περισσότερο θόρυβο από εκείνο που σχηματίστηκε μόνο με την συμμετοχή των GoPro μηχανών. Βέβαια παρουσιάζει σημαντικά λιγότερο θόρυβο από το πρώτο νέφος, στο οποίο συμμετείχε η Ricoh Theta S και στο σχηματισμό του πυκνού νέφους. Αξίζει να διερευνηθεί αν με την συμμετοχή επιπλέον εικόνων με την Ricoh Theta S από ύψος 2.365m εξαλείφεται ο θόρυβος σε σημαντικό βαθμό.

#### **3.6.4.1 Συμμετοχή περισσότερων εικόνων από την Ricoh Theta S**

Λαμβάνοντας για εικόνες τα καρέ από video, που λήφθηκε από ύψος 2.365m, εξήχθηκε το αραιό νέφος και το πυκνό νέφος σημείων από τις ίδιες 134 εικόνες, μηχανής GoPro και ανάλυσης 4000x3000 pixels, από τις 7 σφαιρικές εικόνες από την Ricoh Theta S ανάλυσης 5376x2688 pixels και 25 καρέ ανάλυσης 1920x960 pixels. Κατά τη δημιουργία του αραιού νέφους σχηματίστηκαν 123.101 σημεία, ενώ 46.008.422 σημεία σχηματίστηκαν κατά την δημιουργία του πυκνού νέφους σημείων. Παρακάτω απεικονίζεται το ίδιο τμήμα του δρόμου που μελετήθηκε και στα παραπάνω πειράματα (**Εικόνα 20**).

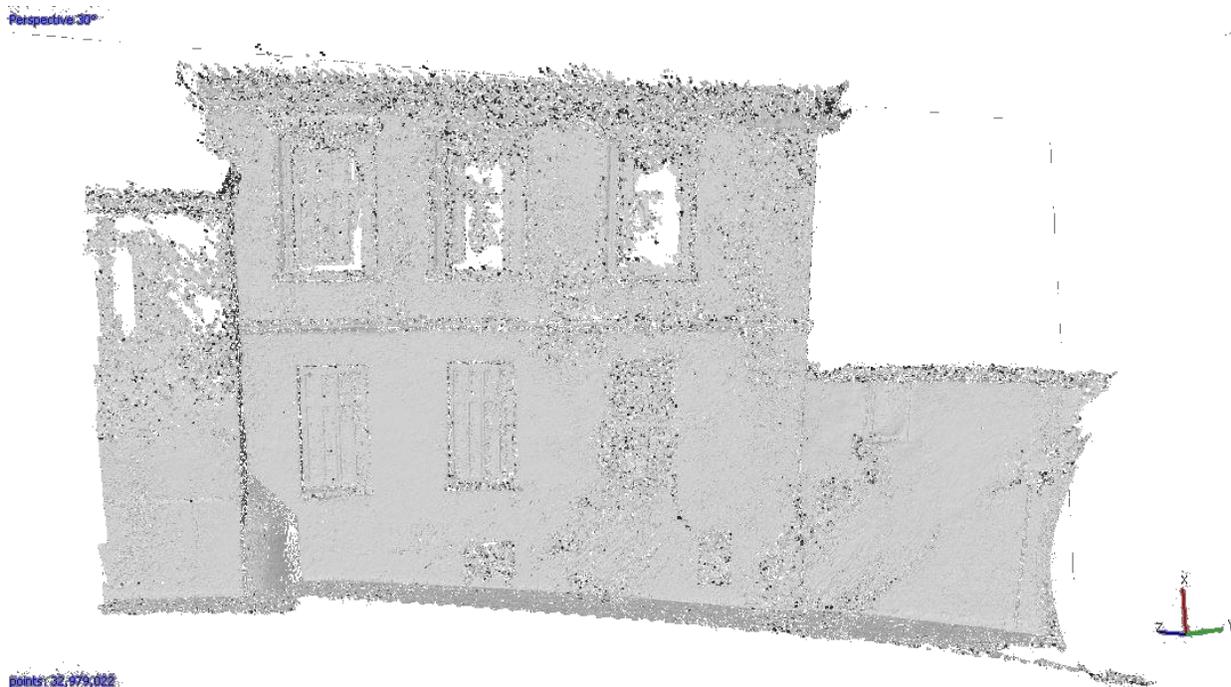


**Εικόνα 20:** Πυκνό νέφος σημείων και με frames της Ricoh Theta S (4<sup>η</sup> δοκιμή)

Έπειτα από την εξαγωγή του πυκνού νέφους σημείων και με την συμμετοχή των καρέ γίνεται αντιληπτό πως ο θόρυβος δεν εξαλείφθηκε αλλά αυξήθηκε σε μεγάλο βαθμό, όπως είχε συμβεί και στο πρώτο σενάριο, με τη διαφορά πως οι εικόνες με τη Ricoh Theta S είχαν ληφθεί από ύψος ίσο με 4.25m. Αρκεί να εξεταστεί και σε αυτή την περίπτωση το πυκνός νέφος που προκύπτει αν δεν συμμετέχουν στη δημιουργία του οι εικόνες από τη Ricoh Theta S.

#### **3.6.4.2 Εξαγωγή πυκνού νέφους χωρίς τη συμμετοχή της Ricoh Theta S**

Έχοντας ως οδηγό τα παραπάνω πραγματοποιείται η εξαγωγή των νεφών σημείων, με τη διαφορά πως στο σχηματισμό του πυκνού νέφους σημείων δεν παίρνουν μέρος οι 32 εικόνες που λήφθηκαν από την Ricoh Theta S. Σε αυτό το σενάριο το πλήθος των σημείων του πυκνού νέφους είναι ίσο με 59.877.486 και παρατηρείται σημαντική μείωση στο θόρυβο του νέφους (**Εικόνα 21**).

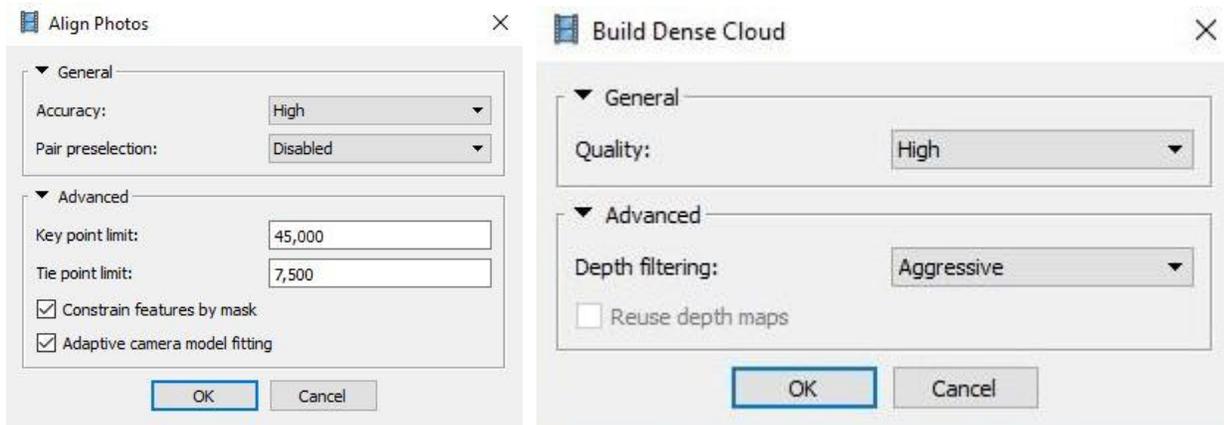


**Εικόνα 21:** Πυκνό νέφος σημείων χωρίς Ricoh Theta S (5<sup>η</sup> δοκιμή)

Γίνεται αντιληπτό πως ο θόρυβος μετά την συμμετοχή μόνο των action camera στη παραγωγή του πυκνού νέφους σημείων μειώνεται σε σημαντικό βαθμό. Συνεπώς ύστερα και από την εξαγωγή ενός ακόμα πυκνού νέφους σημείων χωρίς την συμμετοχή εικόνων από τη Ricoh Theta S, εξάγεται το συμπέρασμα πως οι σφαιρικές εικόνες είναι απαραίτητες μόνο στο σχηματισμό του αραιού νέφους σημείων, ενώ αντίθετα δυσχεραίνουν το σχηματισμό ενός σωστού πυκνού νέφους σημείων.

### **3.7 Παράμετροι σχηματισμού των νεφών σημείων**

Αξίζει να σημειωθεί πως όλα τα αραιά νέφη σημείων (Align) αλλά και τα πυκνά νέφη σημείων (Dense point cloud) δημιουργήθηκαν με τις ίδιες παραμέτρους, όπως απεικονίζεται παρακάτω (**Εικόνα 22**).



**Εικόνα 22:** Παράμετροι για το σχηματισμό των νεφών

Το επίπεδο High σημαίνει πως για την παραγωγή του νέφους, το λογισμικό ψάχνει να εντοπίσει χαρακτηριστικά σημεία μεταξύ των εικόνων με το αρχικό τους μέγεθος (pixel by pixel). Αντίθετα το επίπεδο Medium σημαίνει πως το λογισμικό πραγματοποιεί μείωση στην ανάλυση της εικόνας (image downscaling) κατά τέσσερις φορές και στη συνέχεια ψάχνει για χαρακτηριστικά σημεία.

### 3.8 Πρόβλημα σχηματισμού νεφών σε λείες επιφάνειες

Όλα τα παραπάνω πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε προσόψεις σπιτιών, οι οποίες είχαν έντονες εναλλαγές χρωμάτων και τραχείες επιφάνειες, χαρακτηριστικά τα οποία βοηθούν τους αλγορίθμους συνταύτισης των εικόνων να αναγνωρίσουν περισσότερα χαρακτηριστικά σημεία. Βέβαια στο στενό δρομάκι της Πλάκας, που εφαρμόστηκε και μελετήθηκε το σύστημα των GoPro, υπήρχαν και προσόψεις σπιτιών με λείες επιφάνειες και μονοτονίες χρωμάτων. Οι εικόνες που λήφθηκαν για αυτές τις προσόψεις συμμετείχαν κανονικά στο σχηματισμό των νεφών σημείων και τα αποτελέσματα για το πώς συμπεριφέρεται το λογισμικό σε τέτοιου είδους επιφάνειες είναι αξιοσημείωτα. Παρακάτω απεικονίζεται τμήμα προσόψεων του δρόμου της Πλάκας (**Εικόνα 23**), το οποίο βρίσκεται ακριβώς απέναντι από το τμήμα που απεικονίζεται και έχει αναλυθεί σε όλα τα παραπάνω πειράματα.



**Εικόνα 23:** Πυκνό νέφος σημείων προσόψεων με λείες επιφάνειες

Το παραπάνω στιγμιότυπο προέρχεται από το πυκνό νέφος σημείων της 2<sup>ης</sup> δοκιμής, εκεί που για ακριβώς ίδιο μήκος προσόψεων σχηματίστηκαν 34.523.284 σημεία. Γίνεται αντιληπτό πως στο τμήμα αυτό, το οποίο περιλαμβάνει λείους τοίχους λευκού χρώματος, σχηματίστηκαν 12.426.361 σημεία, δηλαδή το 1/3 των σημείων που σχηματίστηκε για τραχεία επιφάνεια με πλούσιες εναλλαγές χρωμάτων και ο θόρυβος του νέφους είναι σημαντικά μεγάλος. Παρατηρεί κανείς πως οι τρύπες στο νέφος είναι μεγάλες και αξίζει να αναφερθεί πως σε καμία από όλες τις παραπάνω δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν, τα πυκνά νέφη των προσόψεων των λείων επιφανειών δεν είχαν σημαντικές διαφορές με αυτό.

### 3.9 Αξιολόγηση του συστήματος με την Canon EOS 6D

Για τον έλεγχο των πυκνών νεφών σημείων που εξάγονται από το σύστημα του Fast Mapping, όπως περιγράφηκε παραπάνω, είναι χρήσιμη η σύγκριση των νεφών αυτών, με νέφος το οποίο προκύπτει από φωτογραφίες μηχανής υψηλότερης ανάλυσης, η οποία δίνει ένα πυκνότερο και ενδεχομένως ορθότερο νέφος σημείων. Η μηχανή που χρησιμοποιήθηκε για αυτή τη σύγκριση είναι η Canon EOS 6D, μηχανή full frame (Holst et al. 2011) και με δυνατότητα λήψης εικόνων υψηλής ανάλυσης, 5472 x 3648 pixel. Η εστιακή απόσταση του φακού που χρησιμοποιήθηκε είναι 24mm. Παρακάτω φαίνονται τα βασικά χαρακτηριστικά της μηχανής.

**Πίνακας 3:** Χαρακτηριστικά μηχανής Canon EOS 6D

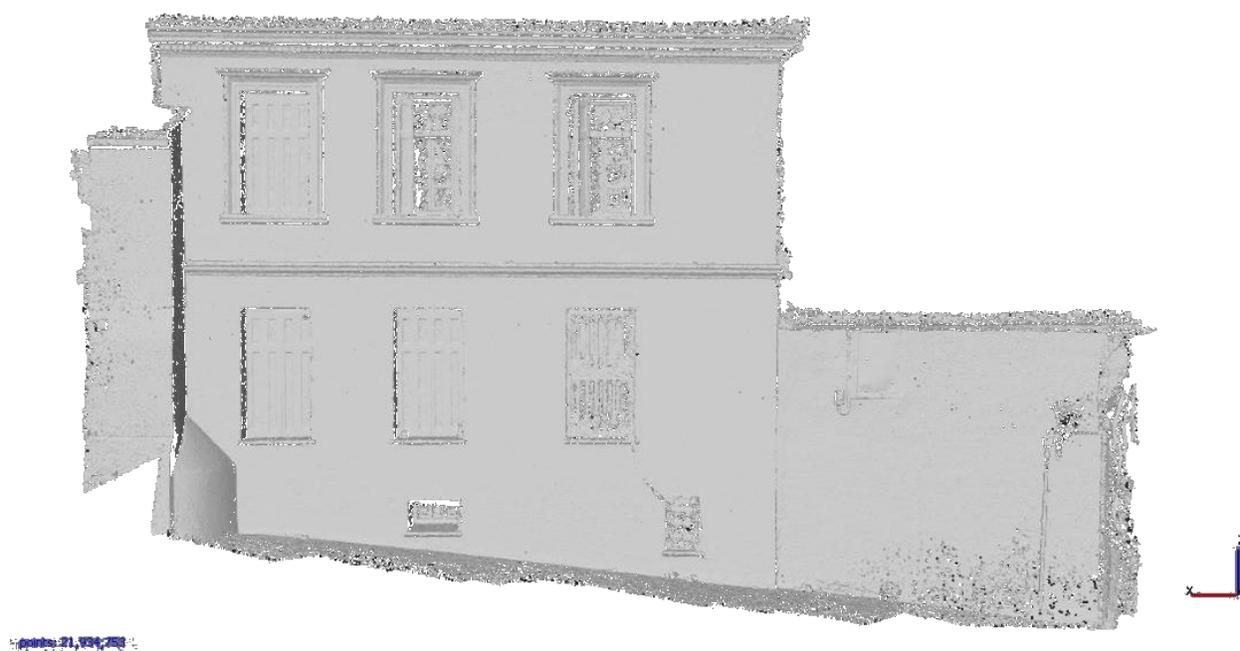
<b>Mode</b>	<b>20 MP</b>
<b>Acquisition mode</b>	Still-image
<b>Sensor Resolution</b>	5472 x 3648 pixels
<b>Sensor Size</b>	1/4 inches
<b>Image Ratio</b>	3:2
<b>Sensor Size [mm]</b>	35.8 x 23.9
<b>Pixel Size [mm]</b>	0.006

#### 3.9.1 Παραγωγή νεφών σημείων με την Canon EOS 6D

Για τη σύγκριση των νεφών σημείων ήταν απαραίτητο αρχικά να σχηματιστεί το πυκνό νέφος σημείων από φωτογραφίες της Canon EOS 6D. Για το λόγο αυτό λήφθηκαν 233 εικόνες σε δύο προσόψεις, στο τμήμα του δρόμου που απεικονίζονται και τα παραπάνω πυκνά νέφη σημείων και σκοπεύθηκαν 35 χαρακτηριστικά σημεία, ώστε να δοθεί κλίμακα στο μοντέλο και να ενταχθεί ολόκληρο το τμήμα του δρόμου που μελετάται σε κοινό τοπικό σύστημα αναφοράς. Οι φωτογραφίες λήφθηκαν από τρία διαφορετικά ύψη ώστε να δοθεί όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια στο μοντέλο. Οι φωτογραφίες λήφθηκαν σε

απόσταση 2m από τις προσόψεις των κτηρίων, όπως είχαν ληφθεί και οι εικόνες από τις Go Pro, και από ύψη 1.60m, 4.50m και 6.50m. Τέλος η αβεβαιότητα της σκόπευσης των 35 χαρακτηριστικών σημείων είναι ίση με 0.01m και 0.864 pix.

Στο σχηματισμό του αραιού νέφους αλλά και του πυκνού νέφους σημείων πήραν μέρος 233 εικόνες. Κατά το σχηματισμό του αραιού νέφους δημιουργήθηκαν 138.377 σημεία ενώ κατά το σχηματισμό του πυκνού νέφους 21.934.753. Αξίζει να αναφερθεί πως τα νέφη σημείων προέκυψαν με τις ίδιες ακριβώς παραμέτρους που προέκυψαν και τα νέφη με τις GoPro. Παρακάτω απεικονίζεται το πυκνό νέφος σημείων από την Canon EOS 6D (**Εικόνα 24**).



**Εικόνα 24:** Πυκνό νέφος σημείων από την Canon EOS 6D

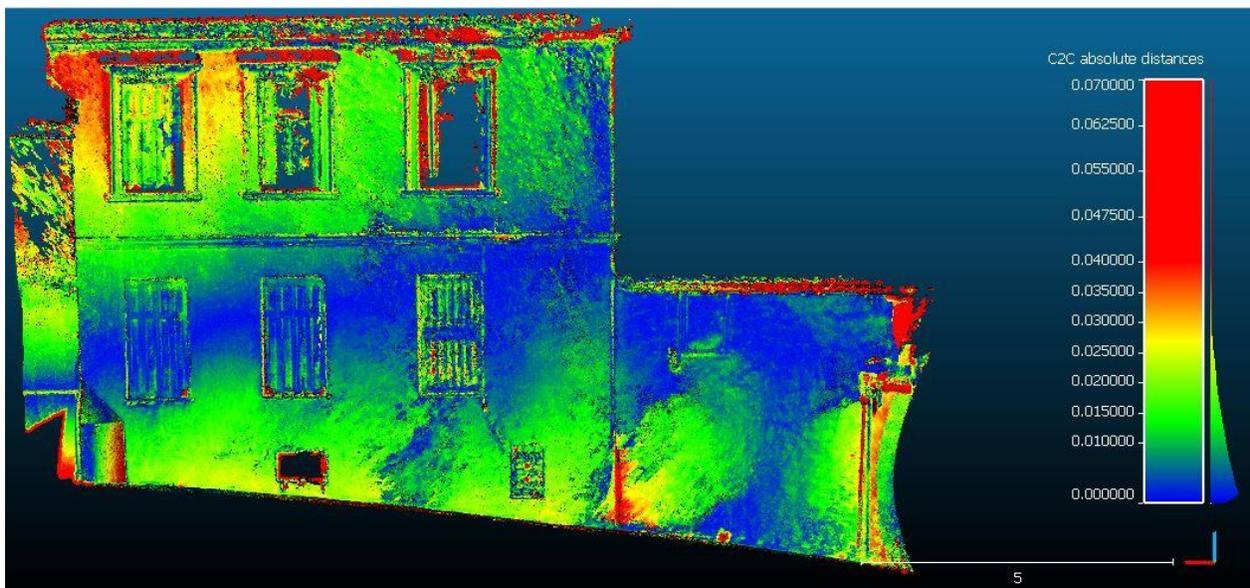
Γίνεται αντιληπτό πως το παραπάνω πυκνό νέφος σημείων είναι καθαρότερο από τα νέφη που προέκυψαν από τις GoPro, καθώς ο θόρυβος που υπάρχει σε κάποια σημεία, είναι δυνατό να εξαλειφθεί πλήρως μετά από κατάλληλη επεξεργασία του νέφους.

### 3.9.2 Σύγκριση των πυκνών νεφών σημείων

Για τη περαιτέρω διερεύνηση και τη σύγκριση του παραπάνω νέφους, με τα νέφη που προέκυψαν από τις GoPro χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Cloud Compare (CloudCompare, 2014).

#### 3.9.2.1 Σύγκριση Canon EOS 6D με το νέφος της 2<sup>ης</sup> δοκιμής

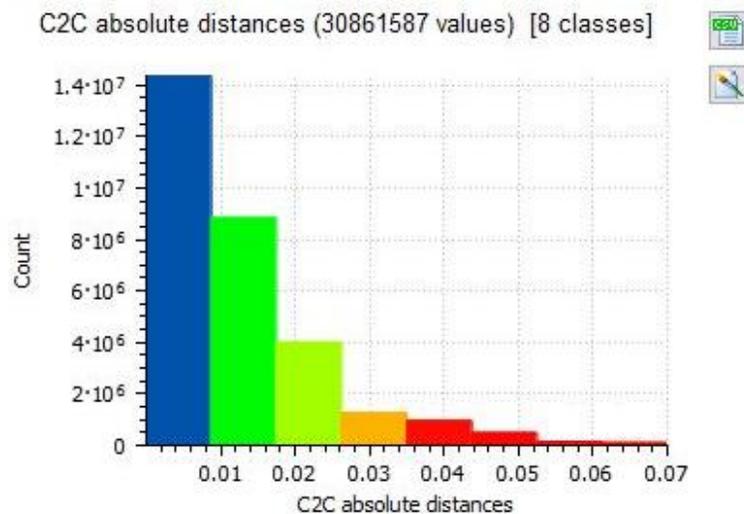
Αρχικά συγκρίθηκε το νέφος της Canon EOS 6D με το πρώτο πυκνό νέφος σημείων που προέκυψε χωρίς την χρήση της Ricoh Theta S. Το σύνολο των σημείων που σχηματίστηκαν σε αυτή τη δοκιμή, για τις δύο προσόψεις, ήταν 34.523.204 (**Εικόνα 17**). Για να γίνει σύγκριση των δυο νεφών είναι απαραίτητο να προσανατολιστούν μεταξύ τους με χρήση του λογισμικού Cloud Compare. Αυτό επιτεύχθηκε με αβεβαιότητα 0.05m. Αξίζει να αναφερθεί πως ως νέφος αναφοράς χρησιμοποιήθηκε το νέφος της μηχανής Canon EOS 6D καθώς η αβεβαιότητα του μοντέλου αυτού είναι μικρότερη από εκείνη του μοντέλου των GoPro, λόγω των γνωστών προβλημάτων που δημιουργούν οι ευρυγώνιοι φακοί στην συνταύτιση των εικόνων και στην εξαγωγή ενός απόλυτα ορθού νέφους σημείων. Παρακάτω απεικονίζεται στιγμιότυπο από τη σύγκριση μεταξύ των δύο νεφών (**Εικόνα 25**).



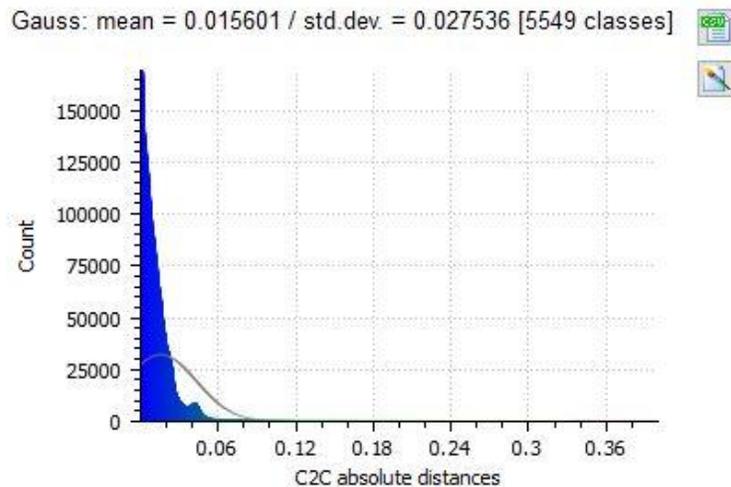
**Εικόνα 25:** Σύγκριση νεφών της Canon EOS 6D με νέφος από GoPro (2<sup>η</sup> δοκιμή)

Στην παραπάνω εικόνα απεικονίζονται με κόκκινο χρώμα τα σημεία που έχουν από 4cm έως 7cm απόκλιση ως προς το νέφος της DLSR, καθώς επιλέχθηκε ως όριο ανοχής τα 4cm λόγω των προδιαγραφών της εργασίας. Όπως γίνεται αντιληπτό από την παραπάνω εικόνα, τα σημεία του νέφους που προήλθαν από τις GoPro και έχουν απόκλιση μικρότερη του ενός πόντου (απεικόνιση με χρώμα μπλε) σε σχέση με το νέφος της Canon EOS 6D κυμαίνονται σε ύψη από 2.50 – 3.50m. Αυτό φαίνεται λογικό καθώς αυτά τα σημεία βρίσκονται στο επικαλυπτόμενο τμήμα των δύο εικόνων που φωτογραφίζουν οι GoPro την ίδια χρονική στιγμή. Γίνεται αντιληπτό πως πολλά από αυτά τα σημεία υπάρχουν στις εικόνες διπλάσιες φορές από σημεία τα οποία βρίσκονται χαμηλά στο έδαφος και στις κορυφές των προσόψεων. Όπως παρατηρείται και στην εικόνα στα χαμηλότερα και στα ψηλότερα σημεία των προσόψεων η απόκλιση μεταξύ των δύο νεφών κυμαίνεται στα 0.02 – 0.04m. Υπάρχουν σημεία όπου η αβεβαιότητα μεταξύ των νεφών φτάνει και τα 0.07m. Αυτά είναι σημεία γωνιών, παραθύρων και εσοχών, όπου λόγω της λήψης των εικόνων ανά 2 δευτερόλεπτα δεν υπήρξε η επιθυμητή επικάλυψη μεταξύ των εικόνων, με αποτέλεσμα να μην δημιουργείται το επιθυμητό νέφος, όπως στη περίπτωση της μηχανής Canon EOS 6D.

Στη συνέχεια απεικονίζεται ιστόγραμμα το οποίο παρουσιάζει τον αριθμό των σημείων που αντιστοιχούν στη κάθε κλάση αβεβαιότητας (**Εικόνα 26**), καθώς και στατιστικά στοιχεία για τη σύγκριση των δύο αυτών νεφών (**Εικόνα 27**).



**Εικόνα 26:** Ιστόγραμμα τιμών αβεβαιότητας ανά ομάδα διαφορών



**Εικόνα 27:** Κατανομή Gauss και στατιστικά μεγέθη

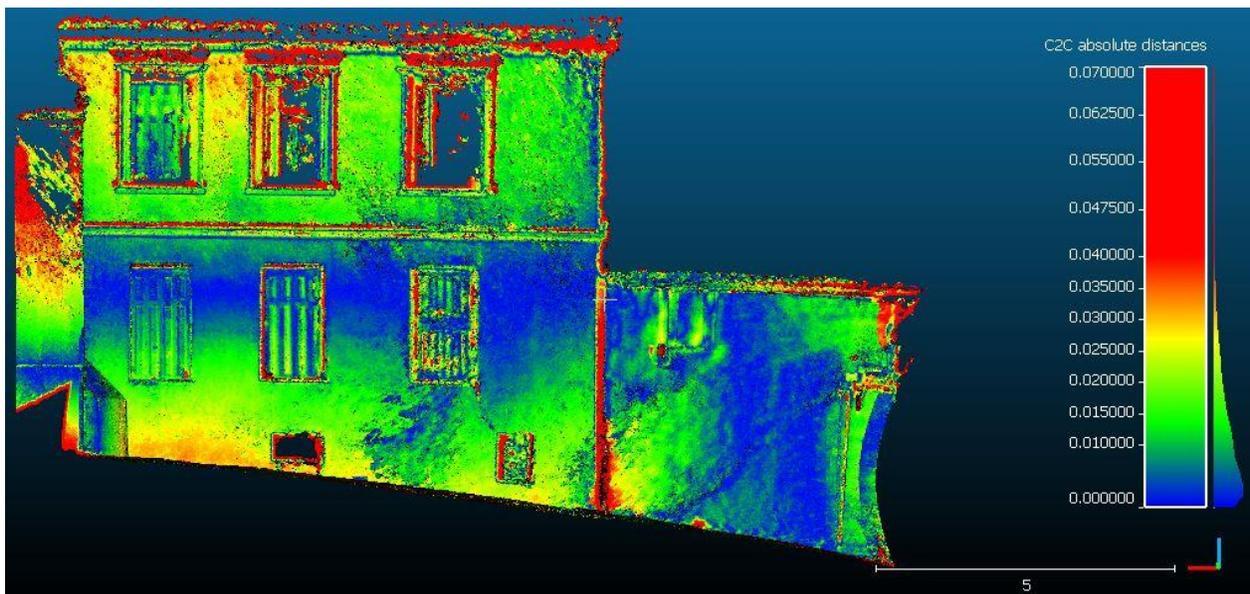
Από τις δύο παραπάνω εικόνες γίνεται αρχικά αντιληπτό πως από τα 30.861.587 σημεία που συμμετέχουν σε αυτή τη σύγκριση, τα 2/3 αυτών έχουν απόκλιση από το νέφος της Canon EOS 6D μικρότερη από τα 2cm. Αυτό γίνεται αντιληπτό και από την απεικόνιση της κατανομής που προκύπτει. Βέβαια αξίζει να αναφερθεί πως η μέση τιμή της απόκλισης των δύο νεφών είναι μικρότερη από την ακρίβεια ταύτισης των νεφών όπως προέκυψε από τον αλγόριθμο ICP.

Τονίζεται πως η κατανομή που χρησιμοποιείται από το λογισμικό του CloudCompare και αναφέρεται κατά την παρούσα διπλωματική εργασία ως κανονική κατανομή – κατανομή Gauss είναι η μισή κανονική κατανομή (Folded-Normal distribution ή Half-normal distribution), η οποία χρησιμοποιεί μόνο απόλυτες τιμές για να περιγράψει το δείγμα.

### 3.9.2.2 Σύγκριση Canon EOS 6D με το νέφος της 5<sup>ης</sup> δοκιμής

Έπειτα συγκρίθηκε το νέφος της Canon EOS 6D με το δεύτερο πυκνό νέφος σημείων που προέκυψε χωρίς την χρήση της Ricoh Theta S (**Εικόνα 21**). Η διαφορά του νέφους αυτού με το παραπάνω συγκρινόμενο είναι πως οι εικόνες με την Ricoh Theta S έχουν ληφθεί από ύψος ίσο με 2.365m. Αυτά τα δύο νέφη που συγκρίνονται με το νέφος της Canon EOS 6D, είναι τα ορθότερα και με το λιγότερο θόρυβο καθώς η σφαιρική κάμερα δεν συμμετέχει στη δημιουργία του πυκνού νέφους σημείων.

Κατά τη δημιουργία του πυκνού νέφους σημείων σχηματίστηκαν 32.079.922 σημεία, περισσότερα από τα σημεία που σχηματίστηκαν με την Canon EOS 6D και σε αυτή τη περίπτωση. Τα δύο νέφη ήταν απαραίτητο να προσανατολιστούν πριν συγκριθούν, όπως και στη παραπάνω περίπτωση, κάτι το οποίο επιτεύχθηκε με αβεβαιότητα 0.04m. Παρακάτω απεικονίζεται στιγμιότυπο από το λογισμικό Cloud Compare με τη σύγκριση των δύο νεφών και την αβεβαιότητα του νέφους που προέκυψε από τις GoPro ως προς εκείνο της Canon EOS 6D (**Εικόνα 28**).

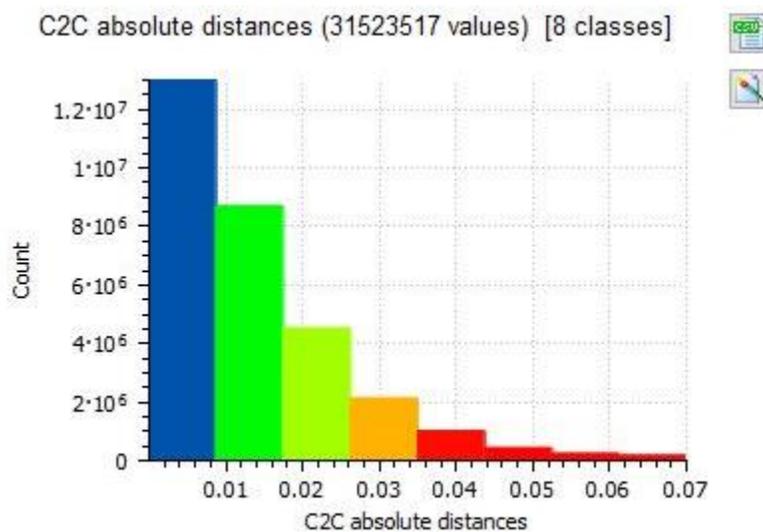


**Εικόνα 28:** Σύγκριση νεφών της Canon EOS 6D με νέφος από GoPro (5η δοκιμή)

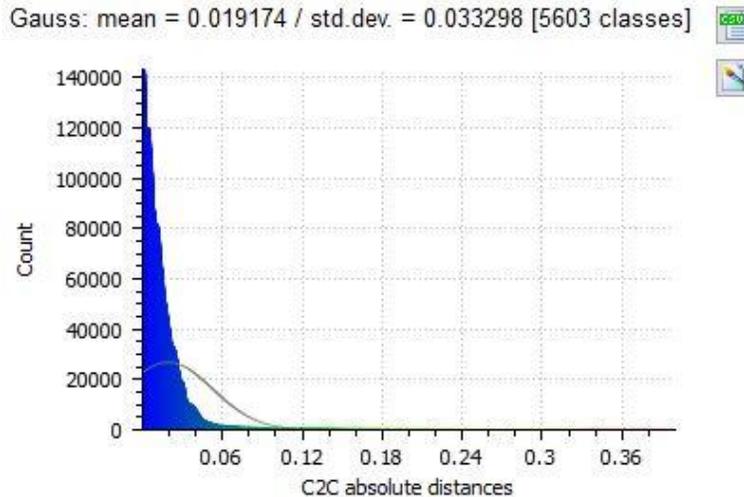
Όπως και στη προηγούμενη σύγκριση απεικονίζονται με κόκκινο χρώμα τα σημεία που έχουν από 4cm έως 7cm απόκλιση ως προς το νέφος της DLSR, καθώς επιλέχθηκε ως όριο ανοχής τα 4cm. Όπως παρατηρείται στην παραπάνω εικόνα, τα σημεία του νέφους που προήλθαν από τις GoPro και έχουν απόκλιση μικρότερη του ενός πόντου σε σχέση με το νέφος της Canon EOS 6D κυμαίνονται σε ύψη από 2.50 - 3.50m, όπως και στη προηγούμενη σύγκριση. Σε αυτήν τη περίπτωση βέβαια είναι φανερό πως το πράσινο και κίτρινο χρώμα είναι πιο έντονα, υποδηλώνοντας πως υπάρχουν περισσότερα σημεία με μεγαλύτερη απόκλιση από το νέφος αναφοράς. Αυτό ήταν αναμενόμενο καθώς οι σφαιρικές εικόνες ελήφθησαν από το ύψος που υπάρχει η μεγαλύτερη επικάλυψη μεταξύ των GoPro και έτσι δεν συνεισέφερε στο μέγιστο βαθμό στο σχηματισμό σημείων στις κορυφές των κτηρίων όπως στο προηγούμενο νέφος. Αυτό γίνεται αντιληπτό και από το

γεγονός ότι ο δεύτερος όροφος είναι όλος πράσινος (απόκλιση 0.0125-0.03m), κάτι το οποίο δεν παρατηρείται στη προηγούμενη σύγκριση. Επιπλέον παρατηρείται περισσότερο έντονο πράσινο χρώμα και στα χαμηλότερα σημεία της πρόσοψης, σε αντίθεση με την προηγούμενη σύγκριση (Εικόνα 25).

Στη συνέχεια απεικονίζεται ιστόγραμμα το οποίο παρουσιάζει τον αριθμό των σημείων που αντιστοιχούν στη κάθε κλάση αβεβαιότητας (Εικόνα 29), καθώς και στατιστικά στοιχεία για τη σύγκριση των δύο αυτών νεφών (Εικόνα 30).



Εικόνα 29: Ιστόγραμμα τιμών αβεβαιότητας ανά ομάδα διαφορών



**Εικόνα 30:** Κατανομή Gauss και στατιστικά μεγέθη

Από τις δύο παραπάνω εικόνες γίνεται αρχικά αντιληπτό πως, όπως και στην προηγούμενη σύγκριση, από τα 31.523.517 σημεία που συμμετέχουν σε αυτή τη σύγκριση, περίπου τα 2/3 αυτών έχουν απόκλιση από το νέφος της Canon EOS 6D μικρότερη από τα 2cm. Οι τιμές απόκλισης μεταξύ αυτών των σημείων είναι μικρότερες από το σφάλμα προσανατολισμού των δύο νεφών, το οποίο προκύπτει από τον αλγόριθμο ICP. Αυτό γίνεται αντιληπτό και από την απεικόνιση της κατανομής που προκύπτει, καθώς η μέση τιμή της απόκλισης των δύο νεφών είναι ίση με 0.019m και η τυπική απόκλιση ίση με 0.033m.

Έπειτα από αυτές τις συγκρίσεις γίνεται φανερό πως το νέφος που έχει προκύψει με τις εικόνες από την Ricoh Theta S και έχουν ληφθεί από ύψος 2.365m εμφανίζει μεγαλύτερη απόκλιση ως προς το νέφος της μηχανής DSLR. Το αποτέλεσμα αυτό παίζει σημαντικό ρόλο για την θέση τοποθέτησης της κάμερας Ricoh Theta S κατά την εφαρμογή του συστήματος στα σοκάκια της Καλαμωτής.

Γίνεται αντιληπτό, επίσης, πως το σύστημα των GoPro με τη Ricoh Theta S μπορεί να χρησιμοποιηθεί με μεγάλη ακρίβεια για φωτογραμμετρικούς σκοπούς. Η αβεβαιότητα που προκύπτει σε σχέση με την μηχανή DSLR είναι αρκετά ικανοποιητική και πόσο μάλλον αν συνυπολογίσουμε πως το νέφος της μηχανής DSLR προέκυψε με σχεδόν τις τριπλάσιες εικόνες σε σχέση με αυτό των GoPro. Επιπλέον, σημαντικό είναι να αναφερθεί πως για τη δημιουργία του νέφους και τους αλγορίθμους για τη συνταύτιση των εικόνων και την

εύρεση χαρακτηριστικών σημείων, πως οι φωτογραφίες με την Canon EOS 6D λήφθηκαν με τη μηχανή να βρίσκεται σταθερά τοποθετημένη πάνω σε τρίποδο, σε αντίθεση με την λήψη των εικόνων του συστήματος των GoPro που πραγματοποιήθηκε με τη λειτουργία time lapse σε συνεχή κίνηση. Είναι σίγουρο πως αν το νέφος των GoPro σχηματιζόταν με περισσότερες εικόνες και αν οι εικόνες αυτές είχαν ληφθεί έχοντας τοποθετημένη την action camera πάνω σε τρίποδο, τότε η απόκλιση του νέφους των GoPro από εκείνο της Canon EOS 6D θα ήταν μικρότερη.

## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>

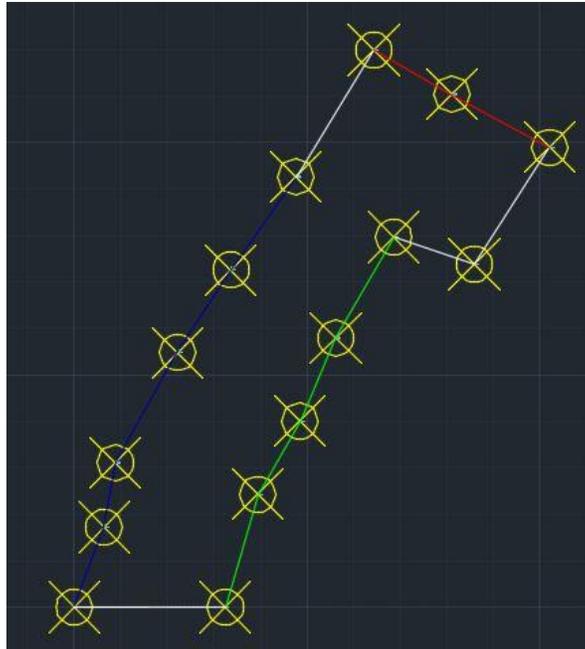
---

### 4 Εφαρμογή στη Καλαμωτή

Σκοπός της ανάπτυξης του παραπάνω συστήματος είναι η εφαρμογή του σε περιοχές με χαρακτηριστικά όπως αυτά της Πλάκας, δηλαδή σε δρομάκια με μικρό πλάτος και μεγάλα ύψη κτηρίων. Τα περισσότερα από τα δρομάκια του χωριού της Καλαμωτής (Χίος, Ελλάδα) έχουν αυτά τα χαρακτηριστικά. Το πλάτος τους δεν υπερβαίνει τα 2.20m ενώ το ύψος των σπιτιών κυμαίνεται στα 8m - 9m.

#### 4.1 Περιγραφή της περιοχής μελέτης

Η εφαρμογή του συστήματος GoPro – Ricoh Theta S στους δρόμους της Καλαμωτής στη Χίο, πραγματοποιήθηκε για συνολικό μήκος 400m. Από αυτά τα 400m, στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν τα 280m, καθώς σε αυτά πληρούνταν οι απαιτήσεις της στενότητας των δρόμων και του ύψους των κτηρίων. Στα υπόλοιπα μέτρα, παρότι είχαν και αυτά κτήρια που έφταναν τα 8m ύψος, το πλάτος του δρόμου ήταν μεγαλύτερο από 4m. Τα δεδομένα που λήφθηκαν για τα τμήματα αυτά δεν επεξεργάστηκαν καθώς το υπό μελέτη σύστημα προορίζεται για συλλογή δεδομένων για πλάτος δρόμου περίπου ίσο με 2.0m.



**Εικόνα 31:** Περιοχή μελέτης στη Καλαμωτή

Η περιοχή μελέτης χωρίστηκε σε τρία τμήματα, τα οποία απεικονίζονται στην παραπάνω εικόνα με κόκκινο, μπλε και πράσινο χρώμα (**Εικόνα 31**). Η Περιοχή 1 ή Πύργος απεικονίζεται με κόκκινο χρώμα και έχει μήκος 43.20m. Η Περιοχή 2 απεικονίζεται με μπλε χρώμα και έχει μήκος 105.20m, ενώ η Περιοχή 3 με πράσινο χρώμα έχει μήκος 88.0m.

Στη συνέχεια απεικονίζεται δορυφορική εικόνα (Google Earth) του χωριού της Καλαμωτής, ενώ διακρίνονται με τα αντίστοιχα χρώματα και οι περιοχές μελέτης όπως περιγράφηκαν παραπάνω.



**Εικόνα 32:** Απεικόνιση των περιοχών μελέτης σε αεροφωτογραφία (πηγή:googleearth.com)

## **4.2 Συλλογή δεδομένων στους δρόμους της Καλαμωτής**

Για την τρισδιάστατη αναπαράσταση των προσόψεων των κτηρίων και την μετέπειτα παραγωγή ορθοφωτογραφιών ήταν απαραίτητη η συλλογή των κατάλληλων εικόνων. Επιπλέον, στόχος ήταν όλοι οι δρόμοι να ενταχθούν σε ένα κοινό σύστημα αναφοράς.

### **4.2.1 Συλλογή εικόνων**

Η συλλογή των εικόνων πραγματοποιήθηκε με το σύστημα του στυλεού, στο οποίο βρίσκονται τοποθετημένες οι δύο GoPro και η Ricoh Theta S. Όπως έχει περιγραφεί αναλυτικά σε προηγούμενη παράγραφο (Ενότητα 3.5), οι GoPro συνέλεξαν φωτογραφίες τοποθετημένες κατακόρυφα στην ίδια πλευρά του κονταριού, σε διαφορετικά ύψη, με τον άξονα λήψης τους όχι ακριβώς κάθετο στις προσόψεις, ώστε να καλύπτουν μεγαλύτερη επιφάνεια του ως προς φωτογράφιση αντικειμένου. Οι GoPro τοποθετήθηκαν σε ύψη 1.50m και 4.25m. Η Ricoh Theta S τοποθετήθηκε στο ύψος της δεύτερης GoPro, δηλ. στα 4.25m. Η Ricoh Theta S κοιτάει ευθεία στο δρόμο σε αντίθεση με την ελαφριά κλίση των

action camera. Στην Καλαμωτή, η λήψη των εικόνων έγινε με τη λειτουργία time lapse ανά ένα δευτερόλεπτο, σε αντίθεση με τη δοκιμή που πραγματοποιήθηκε στην Πλάκα όπου οι εικόνες λήφθηκαν ανά δύο δευτερόλεπτα. Αυτό είχε ως σκοπό την λήψη περισσότερων εικόνων για την παραγωγή ενός ακριβέστερου και πυκνότερου μοντέλου. Με αυτόν το τρόπο το σύστημα έχει κατά πλάτος επικάλυψη 65% και κατά μήκος 90%.

Στο σημείο αυτό αξίζει να τονισθεί, πως οι συνθήκες φωτογράφισης δεν ήταν οι ιδανικότερες, λόγω της κατάστασης των δρόμων της Καλαμωτής αλλά και λόγω του φωτισμού. Σε όλους τους δρόμους της Καλαμωτής που μελετήθηκαν υπήρχαν ογκώδεις θάμνοι, οι οποίοι σε κάποιες περιπτώσεις κάλυπταν μεγάλο τμήμα της πρόσοψης, ενώ και σε δύο περιπτώσεις οι θάμνοι βρίσκονταν εντός του δρόμου με αποτέλεσμα να μην μπορεί να λειτουργήσει το σύστημα φωτογράφισης με τον επιθυμητό τρόπο. Επιπλέον σε όλους του δρόμους της Καλαμωτής υπήρχαν καλώδια σε ύψος μικρότερο από τα πέντε μέτρα και κάθε φορά έπρεπε να ανεβοκατεβαίνει το κοντάρι, ώστε να ξεπερνάει το εμπόδιο και να συνεχίζει την λήψη εικόνων.

Επιπροσθέτως λόγω της περιόδου που πραγματοποιήθηκε η λήψη των εικόνων, της θέσης των κτηρίων αλλά και των τρυπών που είχαν πολλά από αυτά τα ερείπια, ήταν πολύ δύσκολο να βρεθεί η κατάλληλη ώρα και φωτισμός, ώστε να ληφθούν οι φωτογραφίες. Το μήνα Ιούνιο που πραγματοποιήθηκε η επίσκεψη στην Καλαμωτή, από πολύ νωρίς το πρωί, ο ήλιος ανέτειλε γρήγορα με αποτέλεσμα να περνούν οι ακτίνες του από τις πολλές τρύπες ορισμένων προσόψεων, ενώ ταυτόχρονα τα κτήρια από τη μέση και κάτω δεν φωτίζονταν καθόλου. Αντίθετα τα κτήρια από τη μέση και πάνω φωτίζονταν πάρα πολύ έντονα, προκαλώντας έτσι αντιθέσεις στην απόχρωση των φωτογραφιών μεταξύ δύο ορόφων του ίδιου κτηρίου.



**Εικόνα 33:** Λήψη φωτογραφιών στη Καλαμωτή

#### **4.2.2 Ίδρυση Τοπικού Συστήματος Αναφοράς**

Με σκοπό την ένταξη όλης της περιοχής μελέτης σε κοινό σύστημα αναφοράς, ιδρύθηκε όδευση κατά μήκος των δρόμων της Καλαμωτής. Η όδευση αποτελείται από 15 στάσεις, καθώς τα στενά δρομάκια του χωριού δεν είναι ευθεία και δεν υπήρχε ορατότητα ώστε να ιδρυθούν λιγότερες. Έτσι τοποθετήθηκαν και μετρήθηκαν κατά μήκος των δρόμων στόχοι του Photoscan. Γίνεται αντιληπτό πως στα ψηλότερα σημεία των κτηρίων δεν ήταν εφικτό να κολληθούν στόχοι, με αποτέλεσμα να μετρηθούν χαρακτηριστικά σημεία των προσόψεων των κτηρίων. Ο γεωδαιτικός σταθμός που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις των σημείων είναι ο GPT-3003 της TOPCON. Η αβεβαιότητα στις μετρήσεις χωρίς τη χρήση πρίσματος, σύμφωνα με τις εργοστασιακές προδιαγραφές, είναι 0.5cm, ενώ με τη χρήση πρίσματος είναι  $\pm(3\text{mm}+2\text{ppm} \times D)$ , όπου D η μετρημένη απόσταση. Έπειτα από την λύση της όδευσης η διόρθωση του γραμμικού σφάλματος σε κάθε στάση για την οριζοντιογραφία είναι 4mm, ενώ για την υψομετρία 6mm. Αυτά τα αποτελέσματα είναι ικανοποιητικά βάσει των προδιαγραφών της εργασίας.

## **4.3 Επεξεργασία δεδομένων και τρισδιάστατη αναπαράσταση**

### **4.3.1 Τρισδιάστατη αναπαράσταση της Περιοχής 1 (Πύργος)**

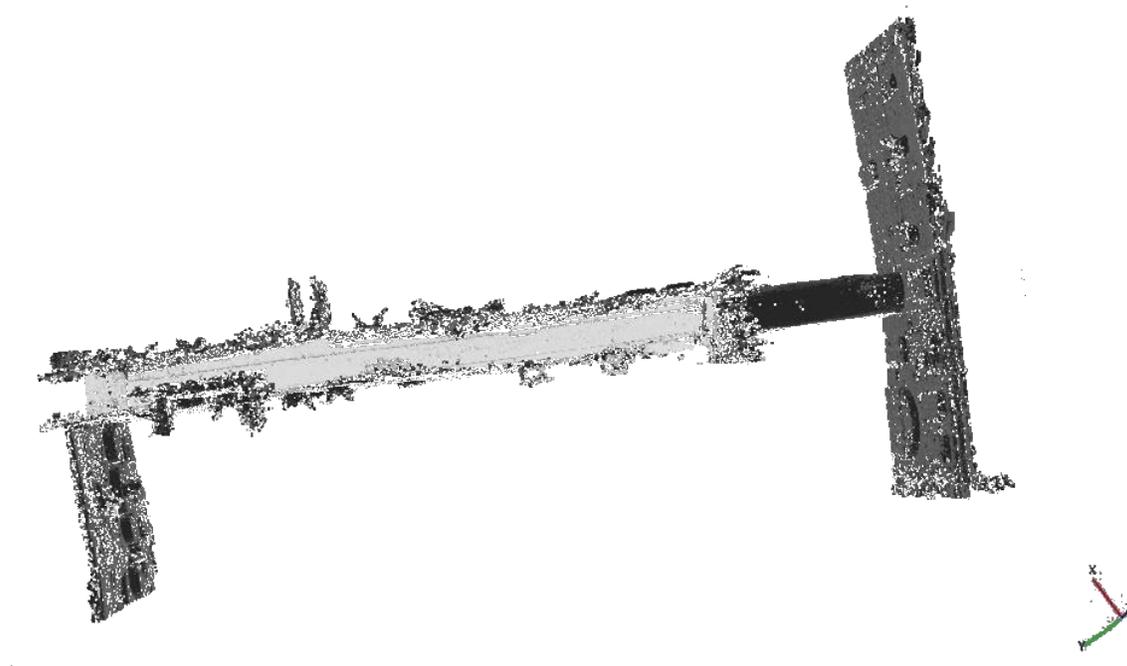
Για την παραγωγή του τρισδιάστατου μοντέλου στην Περιοχή 1 χρησιμοποιήθηκαν 1432 φωτογραφίες. Οι 1408 εικόνες, ανάλυσης 4000 x 3000 pixel, λήφθηκαν από την GoPro, ενώ οι υπόλοιπες 24 φωτογραφίες λήφθηκαν από την Ricoh Theta S με ανάλυση 5376 x 2688 pixel. Στο σχηματισμό του αραιού νέφους σημείων συμμετείχαν και οι 1432 εικόνες, ενώ έπειτα από τα συμπεράσματα των πειραμάτων στη περιοχή της Πλάκας, οι 24 εικόνες της Ricoh Theta S δεν συμμετείχαν στο σχηματισμό του πυκνού νέφους.

Η διαδικασία της παραγωγής του τρισδιάστατου μοντέλου όλων των δρόμων της Καλαμωτής πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό Photoscan (Agisoft, 2015). Η παραγωγή του αραιού νέφους σημείων πραγματοποιήθηκε σε επίπεδο High και για μήκος δρόμου 43.18m προσδιορίστηκαν 869.430 σημεία. Ο θόρυβος από το αραιό νέφος εξαλείφθηκε σε έναν βαθμό τόσο χειροκίνητα όσο και μέσω των λειτουργιών που διαθέτει το λογισμικό. Κατά συνέπεια, το πλήθος σημείων που σχηματίζει το αραιό νέφος είναι 860.746. Έπειτα από τον σχηματισμό του αραιού νέφους σημείων σκοπεύθηκαν τα τριάντα εννέα φωτοσταθερά που βρίσκονται σε αυτή τη περιοχή μελέτης. Το σφάλμα του μοντέλου έπειτα από την σκόπευση των φωτοσταθερών είναι 5.4cm και το σφάλμα επαναπροβολής (Reprojection error) όλων των σημείων είναι 0.984pixel.

### ***Παραγωγή πυκνού νέφους σημείων Περιοχής 1***

Λόγω των πολλών εκατοντάδων χιλιάδων σημείων του αραιού νέφους και με σκοπό να επιταχυνθεί η διαδικασία, η περιοχή χωρίστηκε σε τρεις διαφορετικές ομάδες εικόνων (chunk) για την παραγωγή του πυκνού νέφους. Στη συνέχεια έγινε η συνένωση των πυκνών νεφών σημείων και η παραγωγή του τελικού νέφους πραγματοποιήθηκε σε ποιότητα medium. Δεδομένης της ταχύτερης διαδικασίας για την παραγωγή του μοντέλου σε ποιότητα medium και της ύπαρξης λιγότερου θορύβου, όλα τα πυκνά νέφη παρήχθησαν με αυτή την ποιότητα. Ο συνολικός αριθμός των σημείων που αποτελούν το πυκνό νέφος, μετά την ένωση των τριών ομάδων εικόνων (chunk), είναι ίσος με 64.139.110. Το επόμενο

στιγμιότυπο (**Εικόνα 34**) απεικονίζει τη συνολική εικόνα του πυκνού νέφους της περιοχής του Πύργου.



**Εικόνα 34:** Πυκνό νέφος σημείων Περιοχής 1 (Πύργος)

Από την παραπάνω απεικόνιση αντιλαμβάνεται κανείς την γεωμετρία του χώρου και την στενότητα των δρόμων της Καλαμωτής.



**Εικόνα 35:** Πυκνό νέφος σημείων της Ανατολικής όψης – Περιοχή 1



**Εικόνα 36:** Πυκνό νέφος σημείων της Δυτικής όψης – Περιοχή 1

Παραπάνω απεικονίζονται τα πυκνά νέφη σημείων των δύο όψεων του δρόμου της Περιοχής 1 όπως εξήχθησαν από το λογισμικό του Photoscan.

Έπειτα από την παραγωγή του πυκνού νέφους σημείων, στόχος ήταν η παραγωγή της επιφάνειας και στη συνέχεια η παραγωγή ορθοφωτογραφιών των προσόψεων των κτηρίων. Λόγω του έντονου θορύβου που υπάρχει στο πυκνό νέφος η επιφάνεια που παρήχθη δεν περιγράφει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο το ανάγλυφο των κτηρίων. Ο έντονος θόρυβος που υπάρχει, δεν γίνεται αντιληπτός από τα δύο παραπάνω στιγμιότυπα (**Εικόνα 35** και **Εικόνα 36**), παρά μόνο εντός των λογισμικών και κατά την επεξεργασία των νεφών. Στη συνέχεια οι ορθοφωτογραφίες που προέκυψαν, από το παραπάνω πυκνό νέφος, δεν παρείχαν την επιθυμητή ανάλυση και ακρίβεια, λόγω της ύπαρξης έντονου θορύβου και της κακοσχηματισμένης επιφάνειας των όψεων. Για την εξαγωγή μιας ορθότερης επιφάνειας και ακολούθως την παραγωγή μιας ακριβέστερης ορθοφωτογραφίας κρίθηκε αναγκαία η επεξεργασία του πυκνού νέφους σημείων. Για αυτό το σκοπό χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Geomagic, καθώς στο λογισμικό Photoscan δεν υπάρχει δυνατότητα περαιτέρω επεξεργασίας του πυκνού νέφους. Στο λογισμικό Geomagic υπάρχει η δυνατότητα διαγραφής σημαντικά μεγαλύτερου αριθμού σημείων σε σύγκριση με το Photoscan. Το πλήθος των σημείων που είχε σχηματιστεί λάθος κατά την παραγωγή του αραιού και του πυκνού νέφους διαγράφηκε, αρχικά χειροκίνητα και στην συνέχεια με τη βοήθεια εντολών του λογισμικού. Η διαγραφή αυτών των σημείων

πραγματοποιήθηκε έπειτα από σειρά πολλών δοκιμών και με μεγάλη προσοχή, καθώς αποτελεί σημαντικό στάδιο για την μετέπειτα παραγωγή της επιθυμητής επιφάνειας. Επιπλέον, πολύ σημαντικό εργαλείο του λογισμικού Geomagic αποτελεί η επιλογή του επιθυμητού αριθμού σημείων και η απόσταση μεταξύ αυτών, ανάλογα με την καμπυλότητα και την πολυπλοκότητα του αντικειμένου, με σκοπό την καλύτερη δυνατή περιγραφή του.

Έπειτα από την επεξεργασία του πυκνού νέφους στο λογισμικό Geomagic, ο αριθμός των σημείων που αποτελούν το νέφος είναι 7.350.466. Αντιλαμβάνεται κανείς πως η μείωση του αριθμού των σημείων είναι τεράστια, αλλά αυτός ο αριθμός περιγράφει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο το μοντέλο που έχει σχηματιστεί. Μέσω αυτής της διαδικασίας, ο θόρυβος έχει εξαλειφθεί σε μεγάλο βαθμό.

Στην επόμενη εικόνα (**Εικόνα 37**) απεικονίζονται τα στιγμιότυπα πυκνών νεφών σημείων των όψεων της Περιοχής 1, όπως αυτά προέκυψαν έπειτα από την επεξεργασία στο λογισμικό Geomagic.



**Εικόνα 37:** Πυκνό νέφος σημείων της Ανατολικής όψης – Λογισμικό Geomagic

Όπως γίνεται αντιληπτό, το πυκνό νέφος που σχηματίστηκε έπειτα από επεξεργασία στο λογισμικό Geomagic, παρουσιάζει σημαντική μείωση θορύβου σε σύγκριση με το πυκνό νέφος όπως εξήχθη από το λογισμικό Photoscan.

Στη παραπάνω απεικόνιση παρατηρεί κανείς ένα μεγάλο κενό, που υπάρχει στη μέση των όψεων του δρόμου και στο ύψος του δευτέρου ορόφου. Όπως έχει προαναφερθεί, τα περισσότερα σπίτια στους δρόμους της Καλαμωτής είναι ερείπια, με αποτελέσματα να

υπάρχουν πάρα πολλά κενά στους τοίχους των σπιτιών. Συγκεκριμένα σε αυτό το κενό, όπως και στο κάτω δεξιά τμήμα, στο όριο μεταξύ του σπιτιού και της στοάς, υπάρχουν θάμνοι, οι οποίοι δεν είναι εύκολο να αποτυπωθούν λόγω του ακανόνιστου σχήματος τους. Για αυτό το λόγο παρατηρούνται αυτές οι δύο τρύπες. Επιπλέον τρύπες παρατηρεί κανείς και στα περισσότερα ανοίγματα των παραθύρων, όπου είναι και η πραγματική εικόνα των όψεων.

Στη συνέχεια απεικονίζεται το πυκνό νέφος σημείων της Δυτικής όψης, έπειτα από επεξεργασία (**Εικόνα 38**).



**Εικόνα 38:** Πυκνό νέφος σημείων της Δυτικής όψης – Λογισμικό Geomagic

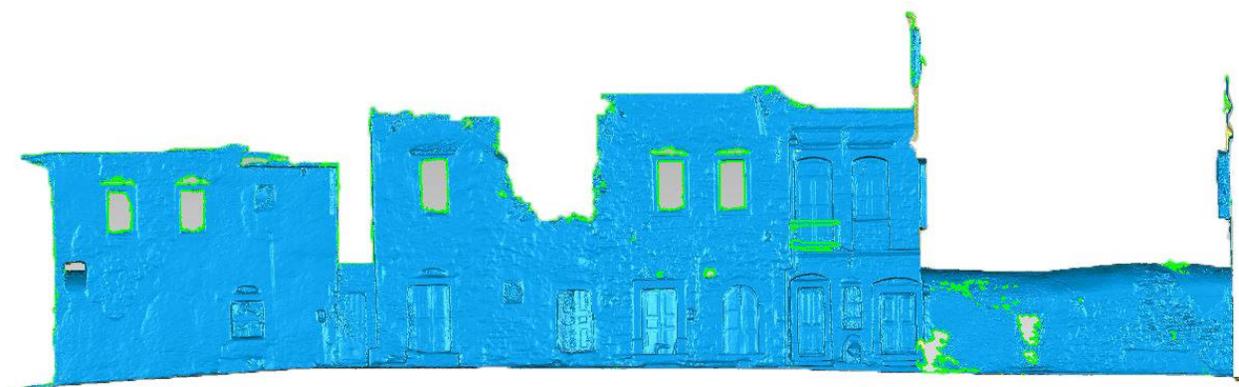
Σε αυτή τη πλευρά του δρόμου παρατηρείται ένα μεγάλο κενό στο πυκνό νέφος στο κάτω τμήμα των προσόψεων. Όπως και παραπάνω, το κενό αυτό οφείλεται στην ύπαρξη ενός μεγάλου θάμνου που βρίσκεται κολλητά στο τοίχο του κτηρίου και επεκτείνεται και εντός του δρόμου, με αποτέλεσμα να μην μπορούν να ληφθούν φωτογραφίες για το τμήμα του τοίχου που βρίσκεται πίσω από τον θάμνο.

Επιπλέον παρατηρείται έντονος θόρυβος στο πάνω τμήμα της πρόσοψης του άκρα δεξιά κτηρίου, καθώς υπάρχει ένα δωμάτιο που βρίσκεται σε ύψος μεγαλύτερο από τα 9m και η φωτογράφησή του παρουσίασε πολλά προβλήματα. Για αυτό το λόγο δεν υπάρχουν οι τέλειες εικόνες, ώστε να σχηματιστεί ένα ορθό και ακριβές πυκνό νέφος σημείων για αυτό το τμήμα της πρόσοψης. Για τη παραγωγή του πυκνού νέφους στο τμήμα αυτό, θα χρειαζόταν η λήψη εικόνων από μεγαλύτερο ύψος, κάτι το οποίο σημαίνει πως θα έπρεπε

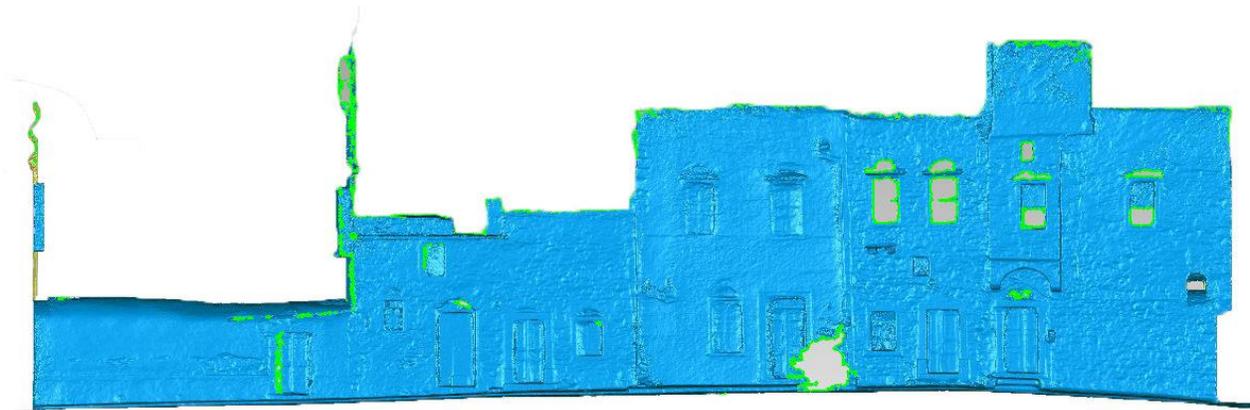
να σηκωθεί ο στυλαιός ψηλότερα στο συγκεκριμένα τμήμα του δρόμου. Βέβαια το ιδανικότερο, σε περίπτωση που εφαρμοσθεί το σύστημα σε δρόμο με ύψος κτηρίων που υπερβαίνει τα εννιά μέτρα, όπως σε αυτή την περίπτωση, θα ήταν η χρήση στυλαιού μεγαλύτερου μήκους και η τοποθέτηση μιας ακόμα action camera σε ύψος κοντά στα 7.0m.

### ***Παραγωγή επιφάνειας (mesh) Περιοχής 1***

Έπειτα από την επεξεργασία του πυκνού νέφους, στο ίδιο λογισμικό, σχηματίστηκε η επιφάνεια (mesh) του τρισδιάστατου μοντέλου της Περιοχής 1. Μετά από σειρά δοκιμών και επεξεργασίες της επιφάνειας, αλλά και αναλύσεων των αποτελεσμάτων, η επιφάνεια αποτελείται από 14.317.411 τρίγωνα. Στη συνέχεια απεικονίζεται η τελική μορφή των επιφανειών της Ανατολικής (**Εικόνα 39**) και της Δυτικής όψης (**Εικόνα 40**).



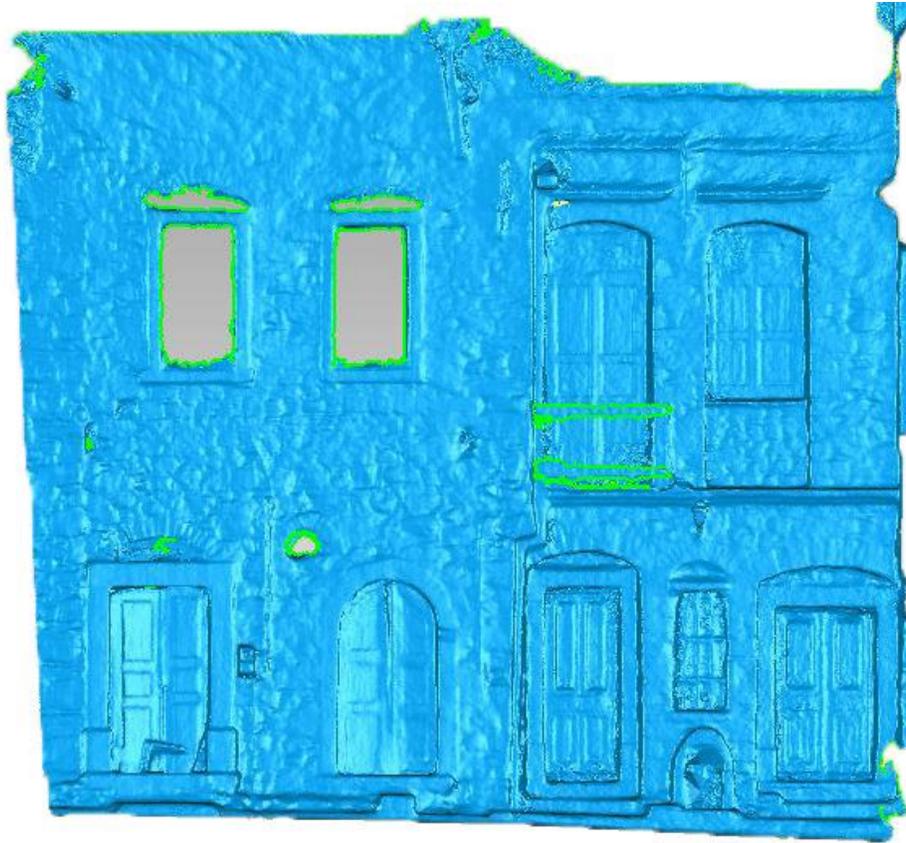
**Εικόνα 39:** Επιφάνεια Ανατολικής όψης Περιοχής 1



**Εικόνα 40:** Επιφάνεια Δυτικής όψης Περιοχής 1

Αξίζει να αναφερθεί πως προέκυψαν πολλές δυσκολίες κατά την επεξεργασία της επιφάνειας, ειδικά στα τμήματα των προσόψεων όπου δεν είχε σχηματιστεί ορθό και πυκνό νέφος σημείων. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να είναι δύσκολο να σχηματιστεί η επιφάνεια που θα περιέγραφε με τον ορθότερο και ακριβέστερο τρόπο το ανάγλυφο της πρόσοψης στα τμήματα αυτά. Τα τμήματα αυτά είναι ανοίγματα παραθύρων, αναρριχώμενα φυτά, πόρτες οι οποίες ήταν μισόκλειστες και σωλήνες σε τμήματα των τοίχων.

Στη συνέχεια απεικονίζεται σε μεγέθυνση η επιφάνεια μέρους της Ανατολικής όψης της Περιοχής 1, για να παρουσιαστεί με μεγαλύτερη ανάλυση δείγμα της επεξεργασίας της επιφάνειας που έχει πραγματοποιηθεί (**Εικόνα 41**).



**Εικόνα 41:** Τμήμα επιφάνειας Ανατολικής όψης Περιοχής 1

### ***Απόδοση υφής (Texture) Περιοχής 1***

Έπειτα από την παραγωγή της επιφάνειας, δίνεται υφή (texture) στο μοντέλο, όπου αξίζει να τονισθεί πως δεν αποτελεί απαραίτητη προεργασία για την παραγωγή της ορθοφωτογραφίας των δύο όψεων. Στο στάδιο αυτό το μοντέλο παίρνει πραγματικό χρώμα από τις εικόνες, καθώς συμβάλλουν και τα τρία κανάλια (R-G-B) στο σχηματισμό της υφής, σε αντίθεση με όλα τα προηγούμενα στάδια που πραγματοποιήθηκαν με τις εικόνες να είναι ασπρόμαυρες. Οι δυο επόμενες εικόνες παρουσιάζουν την υφή της ανατολικής και δυτικής όψης, αντίστοιχα (**Εικόνα 42 - Εικόνα 43**).



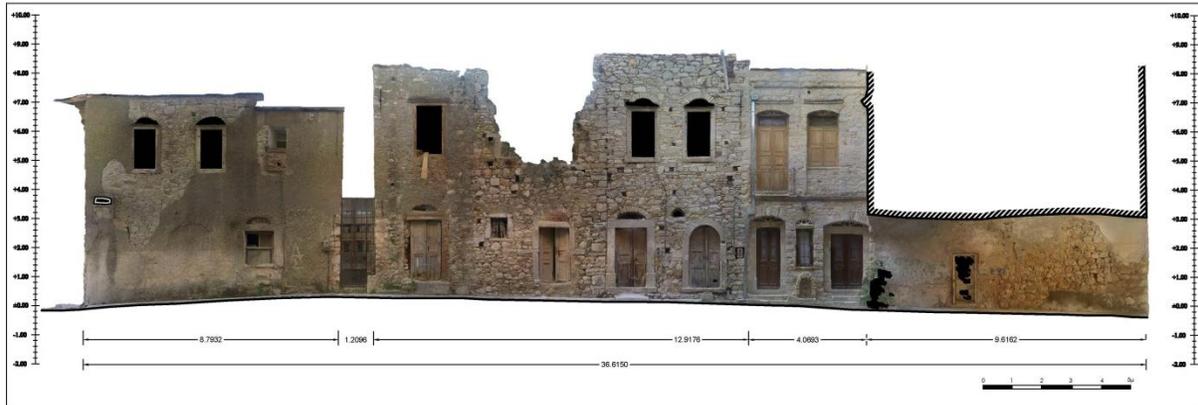
**Εικόνα 42:** Υφή Ανατολικής Όψης



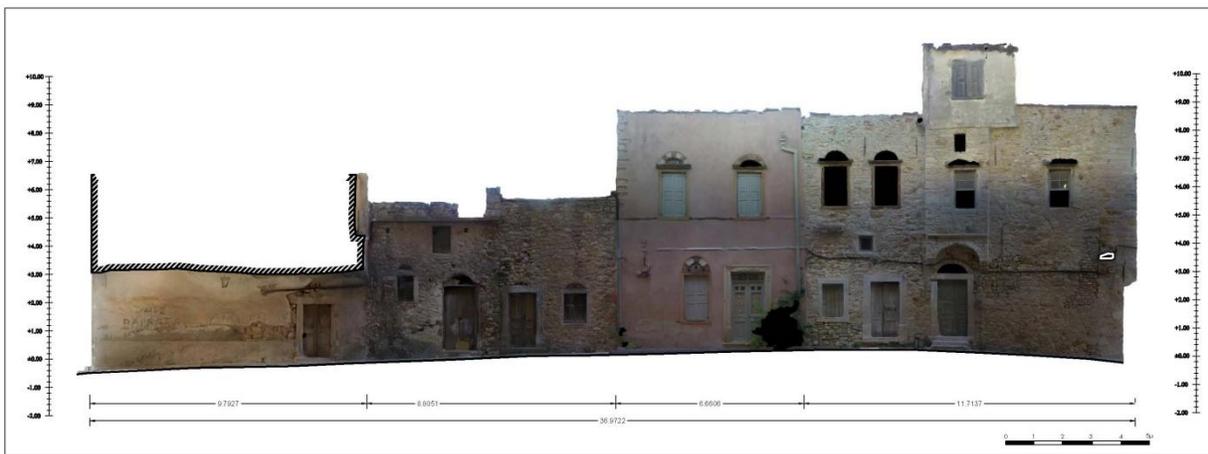
**Εικόνα 43:** Υφή Δυτικής Όψης

### ***Παραγωγή ορθοφωτογραφιών Περιοχής 1***

Όλα τα στάδια επεξεργασίας του τρισδιάστατου μοντέλου είχαν ως τελικό στόχο την παραγωγή των ορθοφωτογραφιών των δύο πλευρών του δρόμου. Η ορθοφωτογραφία αποτελεί ένα δισδιάστατο προϊόν. Για την παραγωγή των ορθοφωτογραφιών και τον ορισμό του επιπέδου για την εξαγωγή αυτών, εισήχθησαν σημεία στην επιφάνεια για να ορίσουν τον οριζόντιο και τον κατακόρυφο άξονα. Το μέγεθος εδαφοψηφίδας επιλέχθηκε ίσο με 4mm, καθώς επαρκεί για την αποτύπωση των απαιτούμενων λεπτομερειών των προσόψεων του κτηρίου. Ακόμα σύμφωνα με τον συντελεστή της κλίμακας φωτογράφισης, η ελάχιστη εδαφοψηφίδα με την οποία θα μπορούσε να εξαχθεί ορθοφωτογραφία είναι 1mm. Οι δυο εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζουν τις ορθοφωτογραφίες της ανατολικής και δυτικής όψης, αντίστοιχα (**Εικόνα 44 - Εικόνα 45**).



**Εικόνα 44:** Ορθοφωτογραφία Ανατολικής Όψης



**Εικόνα 45:** Ορθοφωτογραφία Δυτικής Όψης

Για να ελεγχθεί η γεωμετρική ακρίβεια των ορθοφωτογραφιών υπολογίστηκαν και συγκρίθηκαν οι αποστάσεις μεταξύ σημείων, όπως αυτές προκύπτουν από τις μετρήσεις στο ύπαιθρο και όπως αυτές προκύπτουν από την ορθοφωτογραφία στο σχεδιαστικό πρόγραμμα AutoCAD.

Αρχικά για τον έλεγχο της ακρίβειας της ορθοφωτογραφίας της Ανατολικής όψης μετρήθηκαν στο AutoCAD οι αποστάσεις μεταξύ των φωτοσταθερών 1555 – 552 και 552 – 553. Η απόσταση μεταξύ των φωτοσταθερών 1555 – 552 στην ορθοφωτογραφία είναι ίση με 15.481m, ενώ η απόσταση όπως προκύπτει έπειτα από τις μετρήσεις με το total station είναι 15.470m. Η διαφορά μεταξύ των δύο αποστάσεων είναι 0.01m. Επιπλέον η απόσταση μεταξύ των 552 – 553 στην ορθοφωτογραφία είναι ίση με 4.776m, ενώ η απόσταση όπως προκύπτει έπειτα από τις μετρήσεις είναι ίση με 4.790m. Η διαφορά αυτή είναι 0.014m.

Έπειτα και από τον έλεγχο δύο αποστάσεων, γίνεται αντιληπτό πως η ακρίβεια της ορθοφωτογραφίας της Ανατολικής όψης είναι πολύ ικανοποιητική.

**Πίνακας 4:** Έλεγχος ακρίβειας ορθοφωτογραφίας Ανατολικής όψης

<b>Σημεία</b>	<b>Απόσταση στο πεδίο</b>	<b>Απόσταση στην ορθοφωτογραφία</b>	<b>Διαφορά των δύο αποστάσεων</b>
<b>1555-552</b>	15.47m	15.48m	0.01m
<b>552-553</b>	4.79m	4.77m	0.02m
<b>551-552</b>	6.92m	6.95m	0.03m
<b>554-557</b>	11.05m	11.02m	0.03m
<b>554-551</b>	12.88	12.92m	0.04m
<b>Μέσος όρος</b>	-	-	<b>0.03m</b>

Ακολούθως για τον έλεγχο της ακρίβειας της ορθοφωτογραφίας της Δυτικής όψης μετρήθηκαν και συγκρίθηκαν οι αποστάσεις μεταξύ των φωτοσταθερών 116 – 94 και 133 – 116. Η απόσταση μεταξύ των φωτοσταθερών 116 – 94 στην ορθοφωτογραφία είναι 19.188m, ενώ η ίδια απόσταση όπως προκύπτει από τις μετρήσεις με το total station είναι 19.183m. Η διαφορά είναι ίση με 0.5cm. Επιπλέον στην ορθοφωτογραφία μετρήθηκε η απόσταση μεταξύ των φωτοσταθερών 133 – 116 ίση με 13.864m, ενώ η απόσταση αυτή όπως μετρήθηκε στο ύπαιθρο είναι 13.858m. Η διαφορά είναι ίση με 0.6cm. Έπειτα μετρήθηκε η απόσταση μεταξύ του φωτοσταθερού 133 και του χαρακτηριστικού σημείου με γνωστές συντεταγμένες 538. Η απόσταση μεταξύ των δύο αυτών σημείων στην ορθοφωτογραφία είναι 7.664m, ενώ η απόσταση που προκύπτει από τις μετρήσεις στο ύπαιθρο είναι 7.698m. Η διαφορά μεταξύ των δύο αποστάσεων είναι 0.034m. Στη συνέχεια μετρήθηκε μία ακόμα απόσταση, μεταξύ του φωτοσταθερού 94 και του χαρακτηριστικού σημείου 1550. Η απόσταση που μετρήθηκε στην ορθοφωτογραφία είναι 8.06m, ενώ η απόσταση που προκύπτει έπειτα από μετρήσεις στο ύπαιθρο είναι 8.01m. Η διαφορά είναι 0.05m. Τέλος, ελέγχθηκε η ακρίβεια της ορθοφωτογραφίας μετρώντας την απόσταση

μεταξύ του φωτοσταθερού 94 και του χαρακτηριστικού σημείου 539. Η απόσταση των δύο αυτών σημείων είναι σημαντικά μεγαλύτερη από την προηγούμενη απόσταση. Η απόσταση μεταξύ των δύο σημείων στην ορθοφωτογραφία είναι ίση με 22.444m ενώ από τις μετρήσεις στο ύπαιθρο προκύπτει απόσταση ίση με 22.396m. Η διαφορά μεταξύ των δύο αυτών αποστάσεων είναι 0.048m. Γίνεται αντιληπτό πως οι διαφορές αυτές είναι μικρές, ακόμα και στις περιπτώσεις της μέτρησης μεταξύ χαρακτηριστικού σημείου και στόχου, το οποίο σημαίνει πως η ακρίβεια είναι παραπάνω από ικανοποιητική για τις προδιαγραφές της μελέτης.

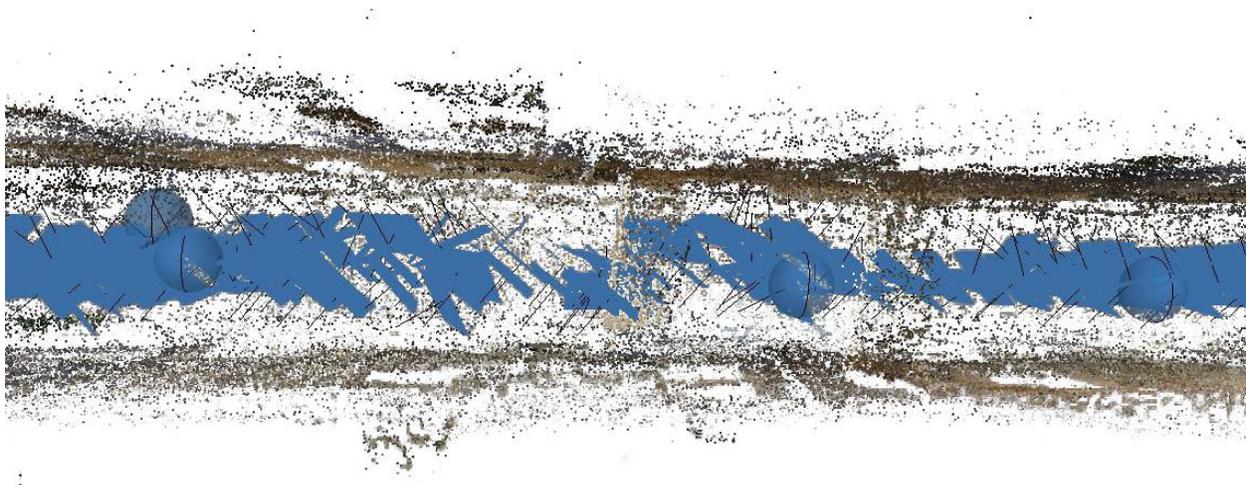
**Πίνακας 5:** Έλεγχος ακρίβειας ορθοφωτογραφίας Δυτικής όψης

Σημεία	Απόσταση στο πεδίο	Απόσταση στην ορθοφωτογραφία	Διαφορά των δύο αποστάσεων
<b>116-94</b>	19.18m	19.19m	0.01m
<b>116-133</b>	13.85m	13.86m	0.01m
<b>133-538</b>	7.70m	7.66m	0.04m
<b>94-1550</b>	8.01m	8.06m	0.05m
<b>94-539</b>	22.39m	22.44m	0.05m
<b>Μέσος όρος</b>	-	-	<b>0.032m</b>

#### **4.3.2 Τρισδιάστατη αναπαράσταση της Περιοχής 2**

Για την παραγωγή του τρισδιάστατου μοντέλου της Περιοχής 2 χρησιμοποιήθηκαν 1051 φωτογραφίες. Από αυτές, οι 1033 εικόνες έχουν ανάλυση 4000 x 3000 pixel και λήφθηκαν από τις GoPro, ενώ οι υπόλοιπες 18 φωτογραφίες λήφθηκαν από την Ricoh Theta S, έχοντας ανάλυση 5376 x 2688 pixel. Όπως και για την Περιοχή 1, οι φωτογραφίες της σφαιρικής κάμερας δεν συμμετέχουν στην διαδικασία παραγωγής του πυκνού νέφους σημείων. Αντίθετα, στο σχηματισμό του αραιού νέφους σημείων συμμετείχαν και οι 1051 εικόνες. Παρακάτω απεικονίζεται τμήμα του αραιού νέφους της Περιοχής 2 και με μπλε

χρώμα οι θέσεις των φωτογραφιών. Οι εικόνες που έχουν ληφθεί από την Ricoh Theta S απεικονίζονται με σφαιρικό σχήμα.



**Εικόνα 46:** Θέσεις καμερών στο αραιό νέφος σημείων

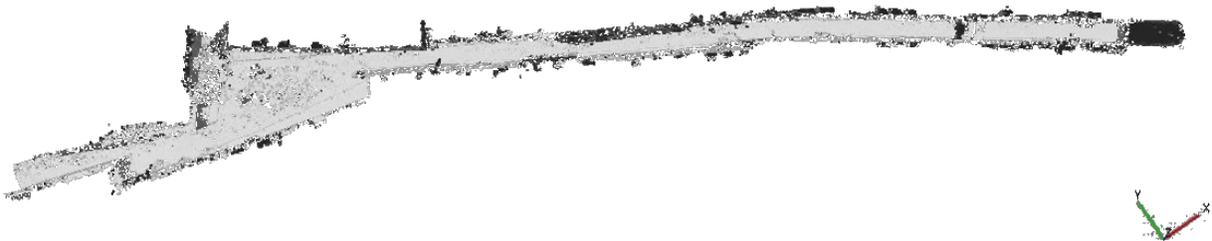
Η παραγωγή του αραιού νέφους σημείων, όπως σε όλες τις περιπτώσεις, πραγματοποιήθηκε σε επίπεδο High (pixel by pixel) και για δρόμο μήκους 105.2m, σχηματίστηκαν 777.731 σημεία. Ο σχηματισμός των αραιών νεφών σε επίπεδο High αποτελεί αρχικό και καθοριστικό σημείο για την παραγωγή του τρισδιάστατου μοντέλου. Πλήθος των σημείων αυτών αποτελεί θόρυβο του αραιού νέφους, ο οποίος είναι απαραίτητο να εξαλειφθεί. Έτσι, έπειτα από την εξάλειψη του θορύβου, μέσω του λογισμικού Photoscan, ο αριθμός των σημείων που αποτελούν το αραιό νέφος είναι 767.253.

Έπειτα από τον σχηματισμό του αραιού νέφους σκοπεύθηκαν τα φωτοσταθερά που βρίσκονται σε αυτή τη περιοχή μελέτης, για να ενταχθεί το μοντέλο της Περιοχής 2 στο σύστημα αναφοράς που ιδρύθηκε. Αρχικά σκοπεύθηκαν τριάντα φωτοσταθερά, μερικά από τα οποία είναι χαρακτηριστικά σημεία του δρόμου και άλλα είναι στόχοι του Photoscan, με το σφάλμα του μοντέλου να υπερβαίνει τα 10cm. Αυτό δεν αποτελεί την επιθυμητή ακρίβεια, καθώς το επιθυμητό σφάλμα του μοντέλου είναι της τάξης των 5cm και κάτω. Έπειτα από σειρά δοκιμασιών αποφασίστηκε πως πέντε από τα φωτοσταθερά δεν θα συμμετέχουν στην επίλυση του μοντέλου. Αυτά τα σημεία πιθανόν να μετρήθηκαν με μεγαλύτερη αβεβαιότητα λόγω της στενότητας του δρόμου και της μη καλής

ορατότητας από τις στάσεις της όδευσης προς τα σημεία αυτά. Τελικά το σφάλμα του μοντέλου έπειτα από την σκόπευση των φωτοσταθερών είναι ίσο με 4.5cm και το σφάλμα επαναπροβολής (Reprojection Error) όλων των σημείων είναι 0.908pixel.

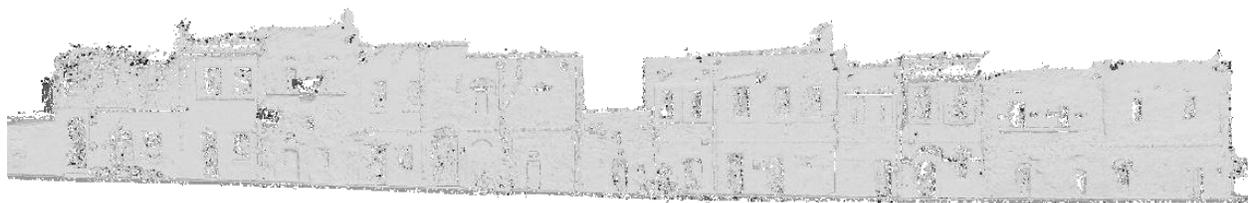
## ***Παραγωγή Πυκνού νέφους σημείων Περιοχής 2***

Έπειτα από την παραγωγή του αραιού νέφους σειρά παίρνει ο σχηματισμός του πυκνού νέφους σημείων. Λόγω του μεγάλου μήκους του δρόμου και των πολλών εκατοντάδων χιλιάδων σημείων του αραιού νέφους, για την ταχύτερη παραγωγή του πυκνού νέφους, ο δρόμος χωρίστηκε σε τρία επιμέρους τμήματα, τα οποία επεξεργάστηκαν ξεχωριστά. Η παραγωγή του πυκνού νέφους και σε αυτήν την περίπτωση πραγματοποιήθηκε σε ποιότητα Medium. Έπειτα από την ένωση των πυκνών νεφών σημείων των επιμέρους τμημάτων, το πλήθος των σημείων που αποτελούν το συνολικό νέφος είναι 96.079.900. Στη συνέχεια απεικονίζεται (**Εικόνα 47**) το πυκνό νέφος σημείων ολόκληρου του δρόμου, με σκοπό να γίνει κατανοητή η γεωμετρία του χώρου. Τα σημεία που απεικονίζονται με άσπρο χρώμα είναι ο δρόμος και δεξιά και αριστερά από αυτόν οι προσόψεις που μελετώνται.



**Εικόνα 47:** Πυκνό νέφος σημείων Περιοχής 2

Το πυκνό νέφος το οποίο προέκυψε από το λογισμικό του Photoscan περιέχει θόρυβο, ο οποίος είναι απαραίτητο να εξαλειφθεί. Σε αντίθετη περίπτωση, η επιφάνεια που θα σχηματιστεί δεν θα περιγράφει με τον επιθυμητό τρόπο το ανάγλυφο των προσόψεων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή ορθοφωτογραφιών, οι οποίες δεν διαθέτουν την απαιτούμενη ανάλυση και ακρίβεια. Στη συνέχεια απεικονίζεται στιγμιότυπο της Νότιας όψης του δρόμου, από το λογισμικό του Photoscan (**Εικόνα 48**).

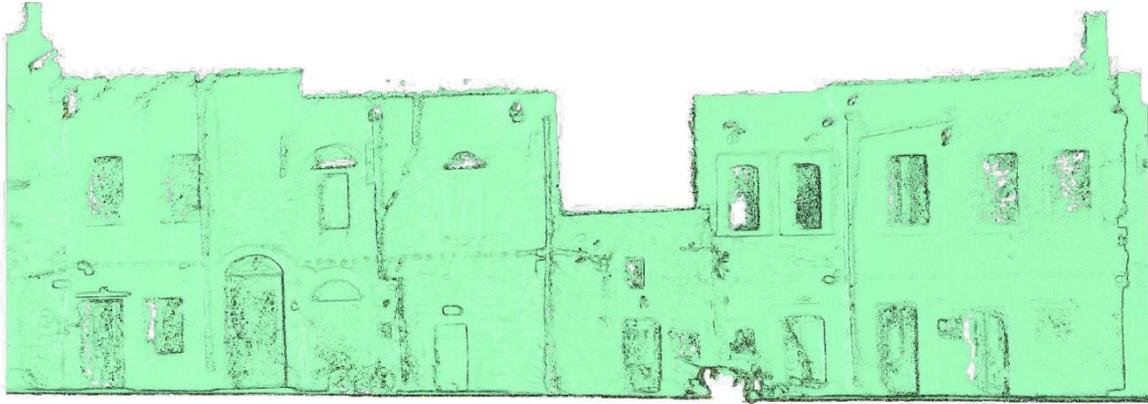


**Εικόνα 48:** Πυκνό νέφος σημείων τμήματος Νότιας όψης

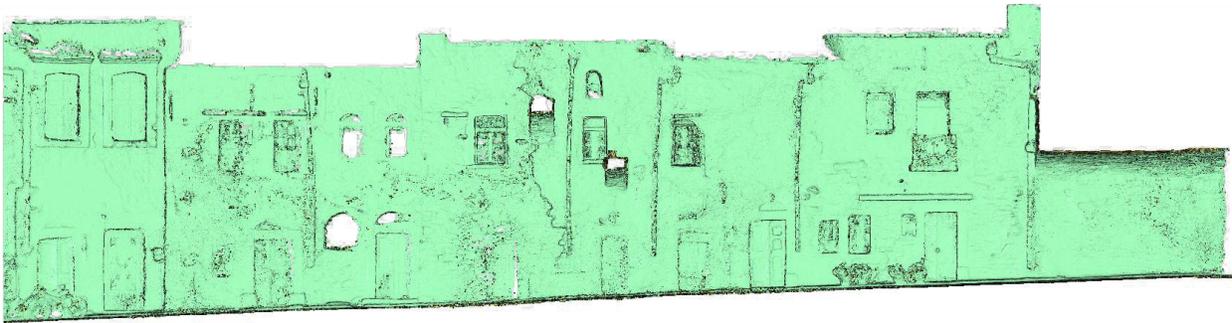
Από την παραπάνω εικόνα γίνεται αντιληπτό μέρος του θορύβου που υπάρχει στις προσόψεις των κτηρίων. Έντονος θόρυβος παρατηρείται στα παράθυρα, στις πόρτες, στις εσοχές των τοίχων και σε τμήματα όπου υπάρχουν αναρριχόμενα φυτά. Σε αυτά τα τμήματα για την εξαγωγή ενός ορθότερου νέφους θα ήταν χρήσιμες περισσότερες εικόνες. Ο έντονος θόρυβος που υπάρχει στις προσόψεις δεν είναι εύκολο να απεικονιστεί σε μια φωτογραφία, αλλά διακρίνεται σε έντονο βαθμό εντός του λογισμικού.

Όπως και στην περιοχή του Πύργου, για την εξάλειψη του θορύβου του πυκνού νέφους και την εξαγωγή μίας ορθότερης επιφάνειας (mesh) και ακολούθως την παραγωγή μιας ακριβέστερης ορθοφωτογραφίας το νέφος εισήχθη για επεξεργασία στο λογισμικό Geomagic.

Έπειτα από σειρά δοκιμών κατά την επεξεργασία του πυκνού νέφους σημείων στο λογισμικό Geomagic, το πλήθος των σημείων που αποτελούν το πυκνό νέφος είναι 13.531.994. Γίνεται αντιληπτό πως ο αριθμός των σημείων που αφαιρέθηκε είναι μεγάλος, καθώς το πυκνό νέφος πλέον αποτελείται από το 10% των σημείων που είχε αρχικά. Όμως, αυτό το πλήθος των σημείων περιγράφει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο την γεωμετρία του χώρου της Περιοχής 2. Στη συνέχεια απεικονίζονται τμήματα πυκνού νέφους έπειτα από την επεξεργασία στο Geomagic (**Εικόνα 49** και **Εικόνα 50**).



**Εικόνα 49:** Πυκνό νέφος σημείων τμήματος Νότιας όψης



**Εικόνα 50:** Πυκνό νέφος σημείων τμήματος Βόρειας όψης

Από τα δύο παραπάνω στιγμιότυπα γίνεται αντιληπτό πως ο θόρυβος έχει εξαλειφθεί σε μεγάλο βαθμό από τους τοίχους των κτηρίων, οι οποίοι αποτελούνται από λιθοδομή στο μεγαλύτερο τμήμα τους. Τα μοναδικά τμήματα τοίχων στα οποία υπάρχει μερικός θόρυβος, είναι τμήματα τα οποία αποτελούνται από σοβά καθώς οι λίθοι έχουν υποχωρήσει. Επιπλέον, θόρυβος παρατηρείται στα περισσότερα παράθυρα, τα οποία στο μεγαλύτερο μέρος τους αποτελούνται από τζάμι και είναι δύσκολο να σχηματιστούν σημεία, τα οποία να περιγράφουν ορθά αυτή την μορφή. Όπως είχε διαπιστωθεί και από τα πειράματα στη περιοχή της Πλάκας είναι δύσκολο για τους αλγορίθμους συνταύτισης εικόνων να σχηματίσουν ένα πυκνό και ακριβές νέφος σημείων σε περιοχές με τζάμια και λείες επιφάνειες (Ενότητα 3.8).

Ακόμα, αξίζει να αναφερθεί πως για τις πόρτες και τα παράθυρα που δεν οφείλεται ο θόρυβος στην ύπαρξη τζαμιού, χρήσιμη θα ήταν η συμμετοχή περισσότερων εικόνων στη δημιουργία των νεφών σημείων. Τονίζεται πως όσες τρύπες παρατηρούνται στα τμήματα

των προσόψεων της Βόρειας όψης υπάρχουν στην πραγματικότητα, ενώ οι δύο δεξιά τρύπες υπάρχουν λόγω της τομής των ημικυλινδρικών υποστηρικτικών τόξων που υπάρχουν στα δρομάκια της Καλαμωτής. Στο τμήμα της Νότιας όψης που απεικονίζεται παραπάνω, η τρύπα που υπάρχει στο κάτω μέρος είναι λόγω της ύπαρξης ογκώδη θάμνου.

Επιπλέον θόρυβος παραμένει στα σημεία των τοίχων όπου υπάρχουν αναρριχόμενα φυτά και το σύστημα των GoPro δεν μπορεί να περιγράψει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο την γεωμετρία αυτών. Παρ' όλα αυτά, ο θόρυβος που έχει απομείνει είναι σημαντικά λιγότερος από εκείνον που είχε το νέφος όπως προέκυψε από το λογισμικό του Photoscan.

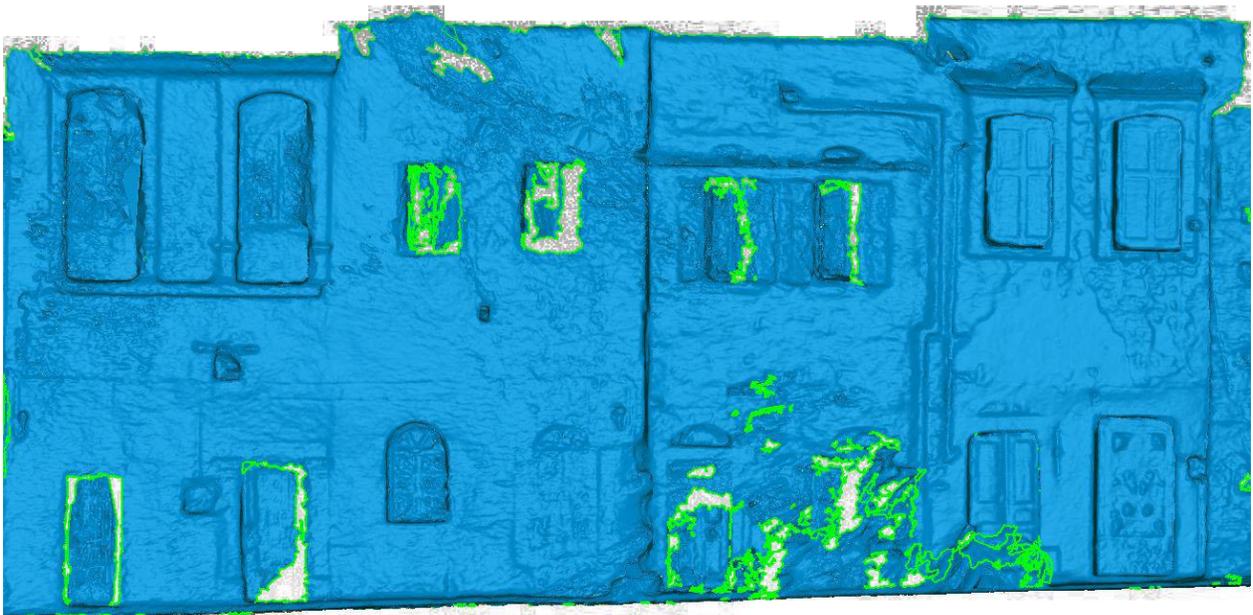
### ***Παραγωγή επιφάνειας (mesh) Περιοχής 2***

Έπειτα από τον καθαρισμό του πυκνού νέφους σειρά έχει η δημιουργία της επιφάνειας των προσόψεων των κτηρίων. Στόχος είναι η παραγωγή της επιφάνειας που περιγράφει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο το ανάγλυφο των προσόψεων, καθώς παίζει καθοριστικό ρόλο στην παραγωγή των ορθοφωτογραφιών. Μετά από σειρά δοκιμασιών, η επιφάνεια που περιγράφει το σύνολο των προσόψεων αποτελείται από 27.141.853 τρίγωνα.

Αξίζει να σημειωθεί πως πολλές δυσκολίες στον σχηματισμό της επιφάνειας υπήρξαν στα τμήματα όπου δεν είχε σχηματιστεί πλήρες και πυκνό νέφος σημείων. Αυτά είναι κυρίως τμήματα σε παράθυρα, πόρτες, εσοχές στους τοίχους και αναρριχώμενα φυτά. Για αυτά τα τμήματα χρειάστηκε αρκετή προσπάθεια για να σχηματιστεί η επιθυμητή επιφάνεια. Παρακάτω απεικονίζονται τμήματα της επιφάνειας της Νότιας και της Βόρειας όψης, αντίστοιχα (**Εικόνα 51**) και (**Εικόνα 52**).



**Εικόνα 51:** Επιφάνεια τμήματος Νότιας όψης



**Εικόνα 52:** Επιφάνεια τμήματος Βόρειας όψης

Από τις παραπάνω απεικονίσεις γίνεται αντιληπτή η καλοσχηματισμένη επιφάνεια στα τμήματα των τοίχων, ενώ παρατηρούνται τρύπες σε τμήματα πορτών και παραθύρων. Οι τρύπες απεικονίζονται με πράσινο χρώμα. Στο τμήμα της Βόρειας όψης στο κάτω τμήμα των προσόψεων παρατηρείται πλήθος από τρύπες, το οποίο οφείλεται στην ύπαρξη ενός μεγάλου θάμνου. Στο τμήμα της Νότιας όψης δεν έχουν μείνει ανοικτές τρύπες καθώς είχε

σηματιστεί ένα πιο πλήρες και πυκνό νέφος σημείων σε σύγκριση με εκείνο της Βόρειας όψης.

### ***Απόδοση υφής Περιοχής 2***

Όπως και στην Περιοχή 1, έπειτα από τον σχηματισμό της επιφάνειας δόθηκε υφή στο μοντέλο. Οι δύο παρακάτω εικόνες παρουσιάζουν την υφή της Βόρειας και Νότιας όψης της Περιοχής 2, αντίστοιχα (**Εικόνα 53-Εικόνα 54**).



**Εικόνα 53:** Υφή Βόρειας Όψης



**Εικόνα 54:** Υφή Νότιας Όψης

### ***Παραγωγή ορθοφωτογραφιών Περιοχής 2***

Ο τελικός στόχος ύστερα από όλα τα στάδια επεξεργασίας του τρισδιάστατου μοντέλου της Περιοχής 2 είναι η παραγωγή των ορθοφωτογραφιών των προσόψεων των κτηρίων. Για τον ορισμό του επιπέδου των ορθοφωτογραφιών, προσδιορίστηκαν σημεία στην επιφάνεια για να ορίσουν τον οριζόντιο και τον κατακόρυφο άξονα. Όπως και στην Περιοχή 1 το μέγεθος εδαφοψηφίδας επιλέχθηκε ίσο με 4mm, καθώς επαρκεί για την αποτύπωση των απαιτούμενων λεπτομερειών των προσόψεων του κτηρίου. Η κλίμακα φωτογράφισης είναι η ίδια με την Περιοχή 1, συνεπώς υπάρχει η πληροφορία για την εξαγωγή ορθοφωτογραφιών με το παραπάνω μέγεθος εδαφοψηφίδας. Τέλος, λόγω του μεγάλου μήκους του δρόμου (105m) και την ύπαρξη στροφών εντός αυτού δεν είναι

εφικτή η παραγωγή μίας ορθοφωτογραφίας για κάθε πλευρά του δρόμου, όπως πραγματοποιήθηκε στην Περιοχή 1, καθώς πολλές από τις προσόψεις των κτηρίων δεν θα προβάλλονταν στο σωστό επίπεδο. Στη συνέχεια οι εικόνες παρουσιάζουν ορθοφωτογραφίες τμημάτων της Βόρειας και της Νότιας όψης.



**Εικόνα 55:** Ορθοφωτογραφία τμήματος Βόρειας Όψης (1<sup>η</sup>)



**Εικόνα 56:** Ορθοφωτογραφία τμήματος Βόρειας Όψης (2<sup>η</sup>)



**Εικόνα 57:** Ορθοφωτογραφία τμήματος Νότιας Όψης (3<sup>η</sup>)



**Εικόνα 58:** Ορθοφωτογραφία τμήματος Νότιας Όψης (4<sup>η</sup>)

Μετά από την εξαγωγή των ορθοφωτογραφιών είναι απαραίτητος ο έλεγχος της ακρίβειάς τους. Όπως και στην περίπτωση της Περιοχής 1, αυτός πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια του σχεδιαστικού προγράμματος AutoCAD.

Για τον έλεγχο της ακρίβειας της πρώτης ορθοφωτογραφίας (**Εικόνα 55**), χρησιμοποιήθηκαν 4 φωτοσταθερά και 2 σημεία ελέγχου που υπάρχουν στο απεικονιζόμενο τμήμα. Τα σημεία ελέγχου, σημείο 591 και 595, δεν συμμετείχαν στον σχηματισμό του τρισδιάστατου νέφους και για τον λόγο αυτό παρέχουν μεγαλύτερης

αξιοπιστίας πληροφορία για την ακρίβεια της ορθοφωτογραφίας. Αρχικά η απόσταση μεταξύ των σημείων 592 – 591, βάσει των μετρήσεων στο ύπαιθρο, υπολογίστηκε ίση με 3.49m, ενώ η ίδια απόσταση πάνω στην ορθοφωτογραφία είναι 3.46m. Η διαφορά προκύπτει ίση με 0.03m. Έπειτα η απόσταση μεταξύ του φωτοσταθερού 592 και του σημείου ελέγχου 595, βάσει των μετρήσεων στο ύπαιθρο είναι 8.17m, ενώ η απόσταση πάνω στην ορθοφωτογραφία είναι 8.21m. Η διαφορά είναι 0.04m. Στη συνέχεια η απόσταση μεταξύ των δύο φωτοσταθερών 592 – 577, σύμφωνα με τις μετρήσεις στο ύπαιθρο, είναι 10.09m, ενώ η ίδια απόσταση στην ορθοφωτογραφία προκύπτει 10.07m. Η διαφορά είναι 0.02m. Επιπροσθέτως η απόσταση μεταξύ των φωτοσταθερών 577 – 594 στο πεδίο είναι 8.70m, ενώ στην ορθοφωτογραφία 8.65m. Τέλος, υπολογίστηκε η απόσταση μεταξύ των φωτοσταθερών 594 και 605, τα οποία βρίσκονται στα δύο άκρα της ορθοφωτογραφίας. Η απόσταση αυτών, βάσει των μετρήσεων στο πεδίο, είναι 24.80m ενώ πάνω στην ορθοφωτογραφία είναι 24.74m. Η διαφορά είναι 0.06m και αποτελεί την μεγαλύτερη που έχει προκύψει μεταξύ των σημείων στο τμήμα αυτό. Σύμφωνα με τον έλεγχο που πραγματοποιήθηκε, η ακρίβεια της ορθοφωτογραφίας είναι πολύ ικανοποιητική και εντός των προδιαγραφών που ζητήθηκαν.

**Πίνακας 6:** Έλεγχος ακρίβειας πρώτης ορθοφωτογραφίας (Εικόνα 55)

<b>Σημεία</b>	<b>Απόσταση στο πεδίο</b>	<b>Απόσταση στην ορθοφωτογραφία</b>	<b>Διαφορά των δύο αποστάσεων</b>
<b>592-591</b>	3.49m	3.46m	0.03m
<b>592-595</b>	8.17m	8.21m	0.04m
<b>577-592</b>	10.09m	10.07m	0.02m
<b>577-594</b>	8.70m	8.65m	0.05m
<b>594-605</b>	24.80m	24.74m	0.06m
<b>Μέσος όρος</b>	-	-	<b>0.04m</b>

Ακολούθως πραγματοποιήθηκε ο έλεγχος της ακρίβειας της δεύτερης ορθοφωτογραφίας (**Εικόνα 56**). Για τον έλεγχο χρησιμοποιήθηκαν 4 φωτοσταθερά και 1 σημείο ελέγχου. Πρώτα η απόσταση μεταξύ των φωτοσταθερών 802 – 807, βάσει των μετρήσεων στο πεδίο, είναι 7.57m, ενώ η ίδια απόσταση πάνω στην ορθοφωτογραφία είναι 7.55m. Η διαφορά είναι 0.02m. Έπειτα η απόσταση μεταξύ του φωτοσταθερού 802 και του σημείου ελέγχου 810, το οποίο βρίσκεται στο άκρο αριστερό τμήμα της ορθοφωτογραφίας, είναι 10.21m. Η ίδια απόσταση πάνω στην ορθοφωτογραφία μετρήθηκε ίση με 10.22m. Τέλος, η απόσταση μεταξύ των φωτοσταθερών 803 – 804 είναι 5.73m, ενώ πάνω στην ορθοφωτογραφία 5.74m. Η διαφορά και σε αυτή την περίπτωση είναι 0.01m. Γίνεται αντιληπτό πως οι διαφορές αυτές είναι μικρές, ακόμα και στις περιπτώσεις της μέτρησης μεταξύ φωτοσταθερού και σημείου ελέγχου, το οποίο σημαίνει πως η ακρίβεια είναι παραπάνω από ικανοποιητική για τις προδιαγραφές της μελέτης.

**Πίνακας 7:** Έλεγχος ακρίβειας δεύτερης ορθοφωτογραφίας (**Εικόνα 56**)

<b>Σημεία</b>	<b>Απόσταση στο πεδίο</b>	<b>Απόσταση στην ορθοφωτογραφία</b>	<b>Διαφορά των δύο αποστάσεων</b>
<b>802-807</b>	7.57m	7.55m	0.02m
<b>802-810</b>	10.21m	10.22m	0.01m
<b>803-804</b>	5.73m	5.74m	0.01m
<b>Μέσος όρος</b>	-	-	<b>0.015m</b>

Για τον έλεγχο της ακρίβειας της τρίτης ορθοφωτογραφίας (**Εικόνα 57**), η οποία αποτελεί τμήμα της Νότιας πλευράς της περιοχής 2, χρησιμοποιήθηκε το σημείο ελέγχου 599 και το φωτοσταθερό 603. Η απόσταση μεταξύ των δύο σημείων, σύμφωνα με τις μετρήσεις στο πεδίο είναι 4.81m, ενώ η ίδια απόσταση πάνω στην ορθοφωτογραφία είναι 4.75m. Η διαφορά είναι 0.06m.

Τέλος, για τον έλεγχο της ακρίβειας της τελευταίας ορθοφωτογραφίας (**Εικόνα 58**) χρησιμοποιήθηκε το σημείο ελέγχου 808 και το φωτοσταθερό 809. Η απόσταση μεταξύ

των δύο στο πεδίο είναι 7.51m, ενώ η απόσταση βάσει της ορθοφωτογραφίας είναι 7.45m. Η διαφορά και σε αυτήν τη περίπτωση είναι 0.06m.

Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό πως το σφάλμα των ορθοφωτογραφιών φτάνει έως και τα 0.06m. Συνεπώς, το σύστημα που αναπτύχθηκε και μελετάται στην παρούσα εργασία είναι ικανό να συλλέξει δεδομένα που χρησιμοποιούνται για παραδοτέα κλίμακας 1:200 – 1:250. Η ακρίβεια του συστήματος θα μπορούσε να αυξηθεί αν χρησιμοποιούνταν καλύτερες φωτογραφικές μηχανές, όπως η Canon EOS 6D, ειδικές για φωτογραμμετρικούς σκοπούς. Επίσης, στον σχηματισμό τρισδιάστατου μοντέλου μεγαλύτερης ακρίβειας, θα συνεισέφερε η καλύτερη κατανομή των φωτοσταθερών, καθώς αποδείχτηκε πως είναι απαραίτητη η χρήση αυτών σε ολόκληρη την επιφάνεια του μοντέλου και καθοριστική στις άκρες αυτού.



## Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>

---

### 5 Αξιολόγηση του συστήματος

Όπως στην περιοχή της Πλάκας, που πραγματοποιήθηκε το βασικό στάδιο μελέτης του συστήματος των GoPro, έτσι και κατά την εφαρμογή του συστήματος στους δρόμους της Καλαμωτής λήφθηκαν εικόνες με την ψηφιακή μηχανή υψηλής ανάλυσης Canon EOS 6D, της πρόσοψης ενός κτηρίου. Σκοπός ήταν η σύγκριση του συστήματος που αναπτύχθηκε με μία μηχανή υψηλής ανάλυσης, η οποία κατά τεκμήριο δίνει ένα ορθότερο, πληρέστερο και ακριβέστερο νέφος σημείων. Σημαντικό για τη μηχανή αυτή είναι πως δεν παρουσιάζει το μεγάλο πρόβλημα των Action Camera, που δεν είναι άλλο από την ακτινική διαστροφή, η οποία δημιουργεί προβλήματα στη χρήση των καμερών αυτών σε φωτογραμμετρικούς σκοπούς.

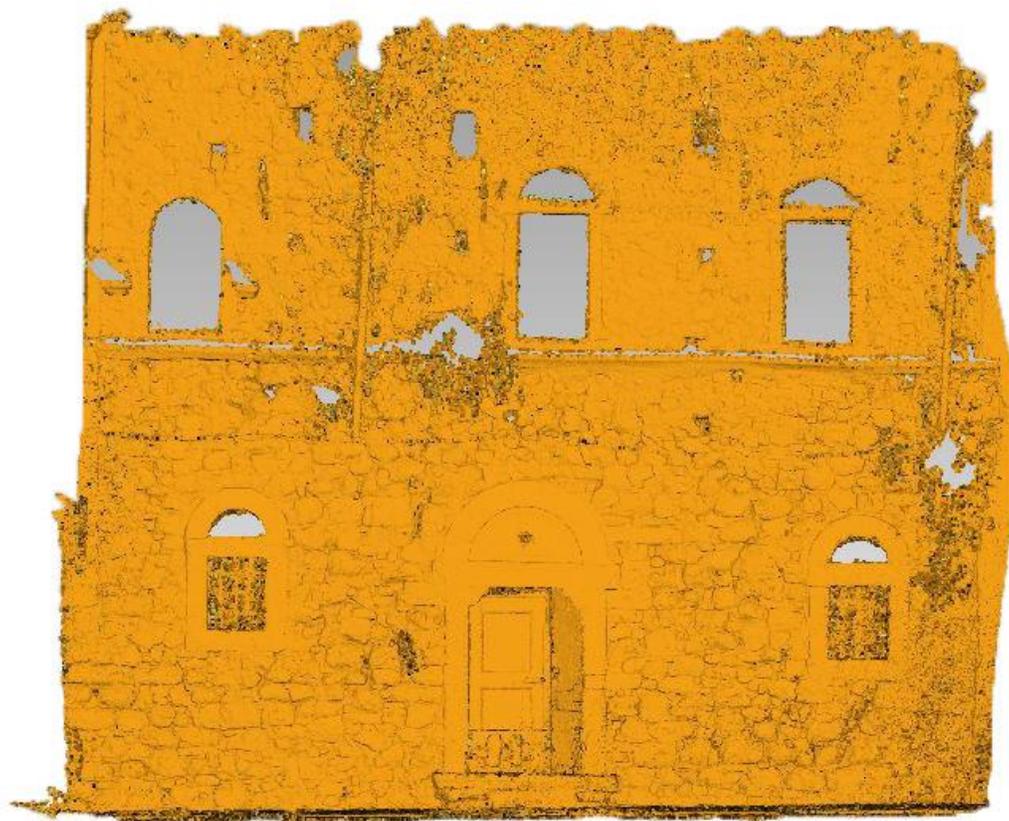
#### 5.1 Παραγωγή νέφους σημείων από την Canon EOS 6D

Για την παραγωγή του νέφους σημείων, μήκους πρόσοψης 9.70m και ύψους 8.35m, λήφθηκαν 34 εικόνες, υψηλής ανάλυσης 3648 x 5472 pixel. Για να βρίσκεται το μοντέλο σε κοινό σύστημα αναφοράς με το μοντέλο του συστήματος των GoPro σκοπεύθηκαν πέντε σημεία γνωστών γεωδαιτικών συντεταγμένων, τα οποία είχαν χρησιμοποιηθεί και στην δημιουργία του μοντέλου από τις GoPro στην περιοχή του Πύργου. Το σφάλμα έπειτα και από την σκόπευση των πέντε φωτοσταθερών είναι 5mm ( $\text{Error}(m)=0.005$ ).

Αξίζει να αναφερθεί πως, σε αντίθεση με όλα τα πυκνά νέφη σημείων του συστήματος των GoPro που σχηματίστηκαν με ποιότητα Medium, το πυκνό νέφος σημείων με την Canon EOS 6D παρήχθη με ποιότητα High, όπως και το αραιό νέφος. Έτσι κατά την παραγωγή του αραιού νέφους σημείων προσδιορίστηκαν 46.170 σημεία, ενώ κατά την παραγωγή του πυκνού νέφους σημείων προσδιορίστηκαν 23.835.390 σημεία. Αντιλαμβάνεται κανείς πως ο αριθμός των σημείων που προσδιορίστηκε κατά το πυκνό νέφος είναι αρκετά μεγάλος, για επιφάνεια 81m<sup>2</sup>, καθώς υπάρχει σημείο ανά 0.5cm και υπάρχει η ανάγκη για εξάλειψη του θορύβου που σχηματίστηκε. Παρακάτω απεικονίζεται στιγμιότυπο του πυκνού νέφους σημείων πριν (**Εικόνα 59**) αλλά και μετά (**Εικόνα 60**) την επεξεργασία του.



**Εικόνα 59:** Πυκνό νέφος σημείων από την Canon 6D χωρίς επεξεργασία (Photoscan)



**Εικόνα 60:** Πυκνό νέφος σημείων από την Canon 6D μετά την επεξεργασία (Geomagic)

Για την επεξεργασία του πυκνού νέφους και την εξάλειψη του θορύβου από αυτό, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Geomagic. Όπως απεικονίζεται παραπάνω, ο αριθμός των σημείων που τελικά αποτελούν το πυκνό νέφος είναι ίσος με 1.164.602, αριθμός σημαντικά μικρότερος από το αρχικό πλήθος σημείων που είχε σχηματιστεί. Αντιλαμβάνεται κανείς πως η μείωση των σημείων είναι τεράστια, ενώ ο θόρυβος έχει εξαλειφθεί στο μεγαλύτερο τμήμα της πρόσοψης. Αυτό μπορεί να μην γίνεται ορατό από τα δύο παραπάνω στιγμιότυπα, αλλά γίνεται αντιληπτό κατά την επεξεργασία του νέφους εντός του λογισμικού. Αξίζει να αναφερθεί πως ως θόρυβος αποκαλούνται εκείνα τα σημεία τα οποία έχουν προσανατολιστεί λάθος στο χώρο, κατά τον σχηματισμό του αραιού νέφους σημείων, και είναι απαραίτητο να εξαλειφθούν για να μην οδηγούν σε σφάλματα στα επόμενα στάδια σχηματισμού του τρισδιάστατου μοντέλου και επομένως στην παραγωγή των ορθοφωτογραφιών.

## **5.2 Παραγωγή νέφους σημείων από το σύστημα των GoPro - Ricoh Theta S**

Για τον τρόπο συλλογής των δεδομένων με αυτό το σύστημα έχει γίνει εκτενής αναφορά σε προηγούμενη παράγραφο (Ενότητα 4.2). Το τμήμα αυτό της πρόσοψης βρίσκεται στη περιοχή του Πύργου (πρώτη περιοχή που μελετήθηκε στο χωριό της Καλαμωτής). Αξίζει να αναφερθεί το σφάλμα που προέκυψε μετά τη στόχευση των φωτοσταθερών για ολόκληρο το δρομάκι του Πύργου, μήκους 50m περίπου, το οποίο είναι 5.4cm ( $\text{Error}(m)=0.054$ ). Στη συνέχεια απεικονίζεται στιγμιότυπο του πυκνού νέφους της πρόσοψης, που μελετήθηκε παραπάνω και με την Canon EOS 6D (**Εικόνα 61**).



**Εικόνα 61:** Πυκνό νέφος σημείων χωρίς επεξεργασία (Photoscan)

Στο σχηματισμό των νεφών σημείων με το σύστημα των GoPro χρησιμοποιήθηκαν 110 εικόνες, ενώ ο αριθμός των σημείων που σχηματίστηκαν κατά την παραγωγή του πυκνού νέφους είναι 7.938.183. Στην παραπάνω εικόνα παρατηρείται θόρυβος στο νέφος, ο οποίος είναι απαραίτητο να εξαλειφθεί. Για το λόγο αυτό το πυκνό νέφος υπέστη επεξεργασία στο λογισμικό Geomagic και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω (**Εικόνα 62**).



**Εικόνα 62:** Πυκνό νέφος σημείων μετά την επεξεργασία (Geomagic)

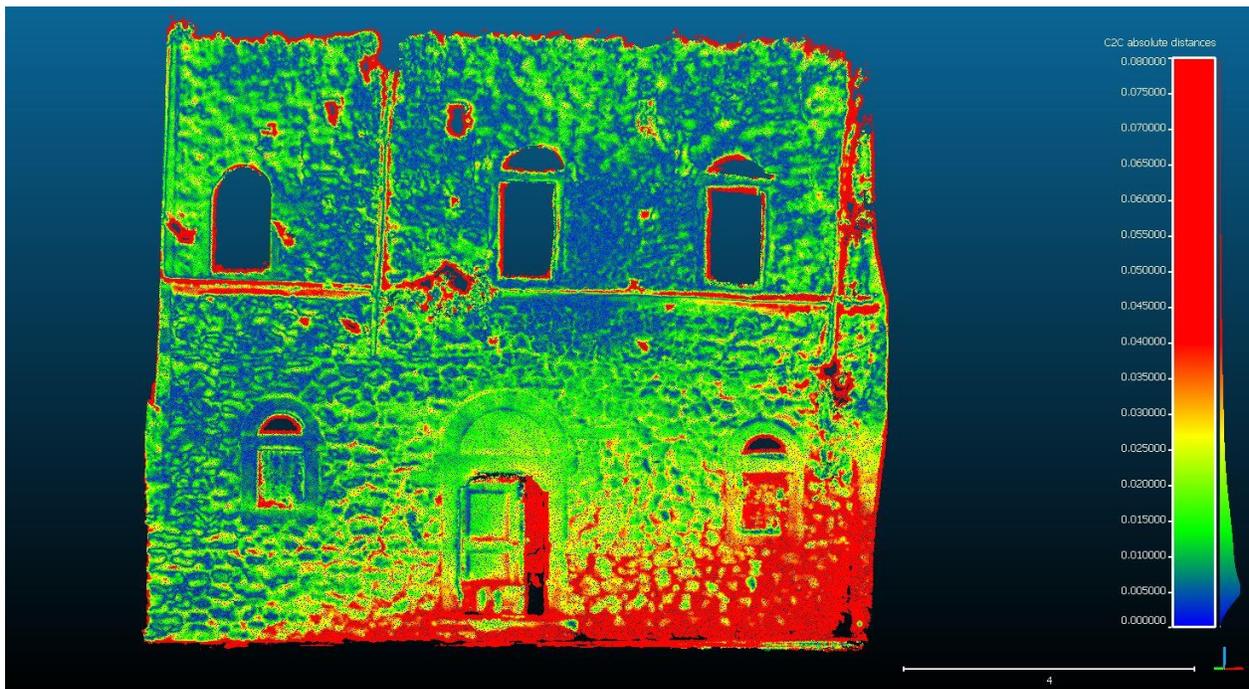
Έπειτα από την επεξεργασία του νέφους παρατηρείται πως ο θόρυβος έχει μειωθεί σε σημαντικό βαθμό, ενώ πλέον τα σημεία του πυκνού νέφους είναι 880.331. Όπως και στην περίπτωση της μηχανής DSLR, παρά την σημαντική μείωση του αριθμού των σημείων, το νέφος παραμένει αρκετά πυκνό ώστε να σχηματιστεί μια επιφάνεια που περιγράφει με τον επιθυμητό τρόπο το ανάγλυφο του αντικειμένου. Στη σύγκριση των δύο συστημάτων θα πάρουν μέρος τα δύο νέφη έτσι όπως προέκυψαν έπειτα από τον καθαρισμό τους. Αξίζει να αναφερθεί πως για τον καθαρισμό και των δύο νεφών χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιες παράμετροι και ακολουθήθηκε ακριβώς η ίδια διαδικασία.

### **5.3 Σύγκριση νεφών σημείων GoPro - Ricoh Theta S και Canon EOS 6D**

Τα νέφη που προέκυψαν έπειτα από επεξεργασία στο Geomagic, εισήχθησαν στο λογισμικό CloudCompare (CloudCompare, 2014) για να συγκριθούν και να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα για την καταλληλότητα της χρήσης του συστήματος των GoPro για

φωτογραμμετρικούς σκοπούς. Για τη σύγκριση επιλέχθηκε η Canon EOS 6D λόγω της υψηλής ανάλυσης και του κατά πολύ μεγαλύτερου μεγέθους pixel που διαθέτει από ό,τι μια GoPro. Επιπλέον, δεν διαθέτει ευρυγώνιο φακό, όπως η GoPro, με αποτέλεσμα να αποφεύγονται προβλήματα ακραίας ακτινικής διαστρόφης και συνεπώς να αποτελεί μια ιδανική μηχανή για μελέτες στο αντικείμενο της φωτογραμμετρίας.

Με βάση τα προαναφερθέντα πλεονεκτήματα της Canon EOS 6D, η σύγκριση μεταξύ των δύο συστημάτων πραγματοποιείται έχοντας ως νέφος αναφοράς αυτό της μηχανής DSLR. Για τη σύγκριση επιλέγεται ως ανώτατο όριο απόκλισης των τιμών του συστήματος των GoPro από εκείνο της Canon EOS 6D τα 8cm, καθώς στις περιοχές ενδιαφέροντος δεν υπάρχουν τιμές απόκλισης μεταξύ των δύο νεφών μεγαλύτερες από 8cm, ενώ ως τιμή ανοχής επιλέγονται τα 4cm λόγω των αναγκών και των προδιαγραφών της εργασίας, όπως απεικονίζεται παρακάτω (**Εικόνα 63**). Αυτό σημαίνει πως τα σημεία με απόκλιση μεγαλύτερη από 4cm απεικονίζονται με κόκκινο χρώμα.

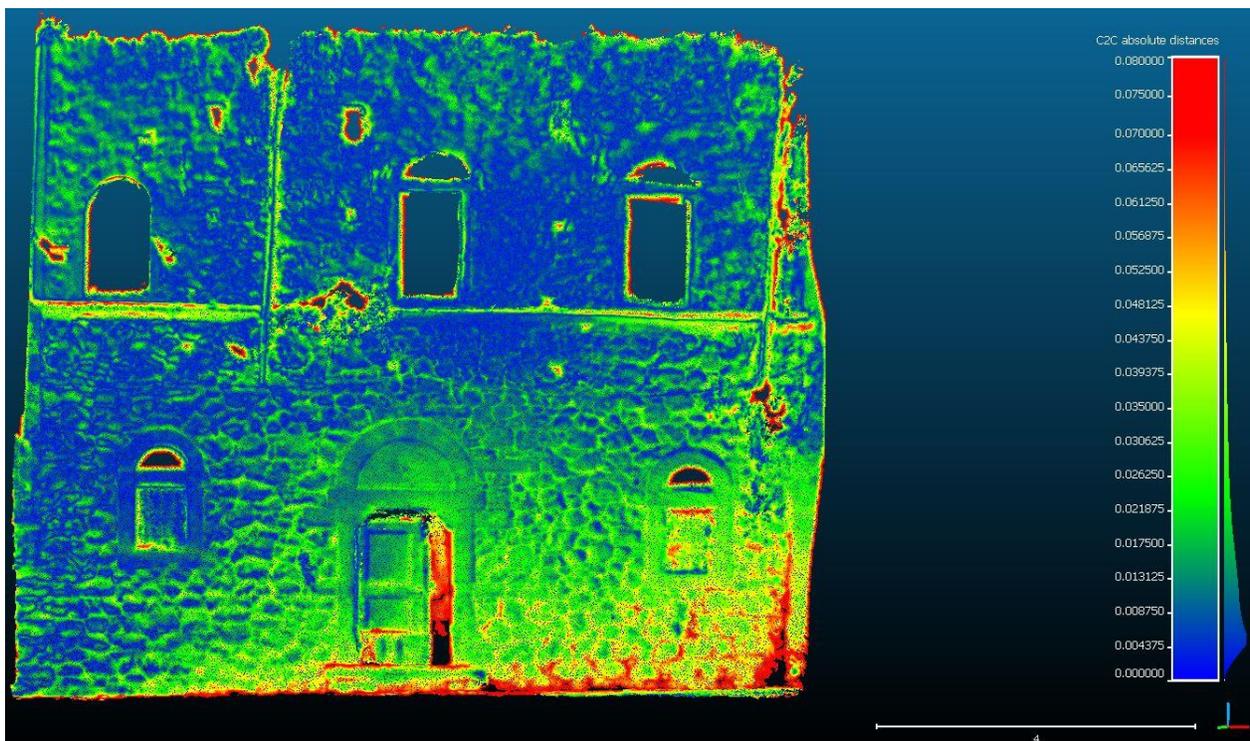


**Εικόνα 63:** Σύγκριση νεφών με ανοχή 4cm

Από την σύγκριση προκύπτει πως απόκλιση μεγαλύτερη των 4cm υπάρχει σε εσοχές παραθύρων και τρυπών του τοίχου, στο δεξιά τμήμα της πόρτας όπου έχει κλίση προς τα μέσα και σε σημεία στο τοίχο όπου υπάρχουν αναρριχόμενα φυτά και το σύστημα των

GoPro είναι πολύ δύσκολο να εξαγάγει ορθά και ακριβή αποτελέσματα για αυτά. Επιπλέον άξιο παρατήρησης είναι το έντονο κόκκινο χρώμα στο κάτω δεξιά τμήμα της πρόσοψης του σπιτιού, το οποίο αποτελεί και την άκρη ολόκληρου του μοντέλου της περιοχής του Πύργου. Όπως έχει προαναφερθεί το σφάλμα του μοντέλου, στο οποίο και η πρόσοψη αυτή είναι μέρος του, είναι ίσο με 5cm. Κατά συνέπεια, το έντονο κόκκινο χρώμα στο τμήμα αυτό της πρόσοψης είναι λογικό, καθώς φωτοσταθερά στο κάτω μέρος του σπιτιού υπάρχουν ακριβώς δεξιά από τη πόρτα και στο αριστερό άκρο της πρόσοψης, ενώ στο πάνω μέρος υπάρχουν στη κάτω δεξιά γωνία του δεξιά παραθύρου και στην ίδια γωνία του μεσαίου παραθύρου. Γίνεται αντιληπτό πως στα τελευταία 4m του μοντέλου και στην δεξιά γωνία της πρόσοψης το μοντέλο έχει «κρεμάσει», καθώς ως γνωστόν στις άκρες του μοντέλου παρουσιάζονται και τα μεγαλύτερα σφάλματα.

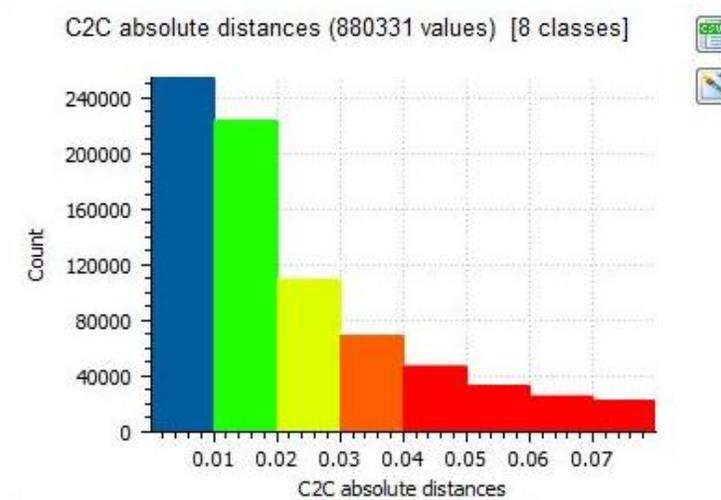
Για τον έλεγχο της απόκλισης των τιμών στο τμήμα αυτό της πρόσοψης πραγματοποιήθηκε η σύγκριση ξανά αλλά με ανοχή τα 7cm, έτσι ώστε να ελεγχθεί το εύρος τιμών της απόκλισης για εκείνο το τμήμα (**Εικόνα 64**).



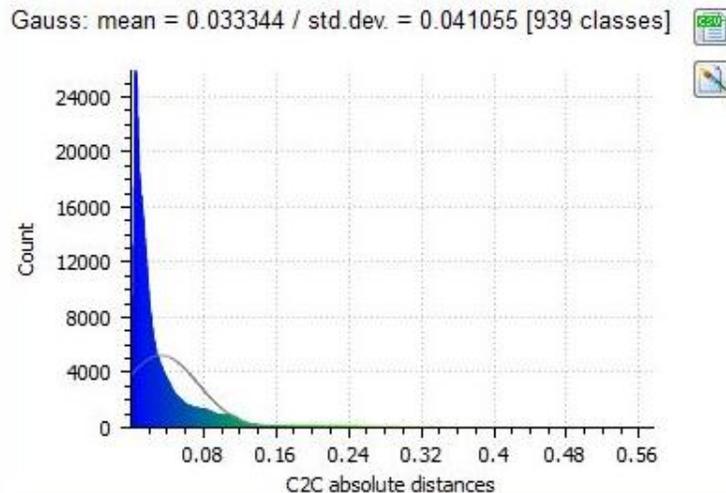
**Εικόνα 64:** Σύγκριση νεφών με ανοχή 7cm

Από την σύγκριση των δύο νεφών, ορίζοντας ως ανοχή τα 7cm, γίνεται αντιληπτό πως το κόκκινο χρώμα έχει εξαλειφθεί στο μεγαλύτερο βαθμό και κυρίως στις εσοχές και στα παράθυρα. Ακόμα έχει εξαλειφθεί μερικώς στο δεξιά άκρο της πρόσοψης, καταλήγοντας στο συμπέρασμα πως το εύρος τιμών της απόκλισης στο τμήμα αυτό κυμαίνεται από 3cm-7cm.

Στη συνέχεια απεικονίζεται το ιστόγραμμα, το οποίο παρουσιάζει τον αριθμό των σημείων που αντιστοιχούν στη κάθε κλάση αβεβαιότητας (**Εικόνα 65**) καθώς και στατιστικά στοιχεία, σύμφωνα με την κατανομή του Gauss, για τη σύγκριση των δύο αυτών νεφών (**Εικόνα 66**).



**Εικόνα 65:** Ιστόγραμμα τιμών αβεβαιότητας ανά κλάση



**Εικόνα 66:** Κατανομή Gauss και στατιστικά μεγέθη

Από το ιστόγραμμα απόκλισης των τιμών εξάγεται η πληροφορία πως 660.000 σημεία από τα συνολικά 880.331 (ποσοστό 75%) έχουν απόκλιση από το νέφος της Canon EOS 6D μικρότερη των 4cm, ενώ η κατανομή δείχνει πως η μέση τιμή απόκλισης είναι 3.3cm, με τυπική απόκλιση 4.1cm. Λόγω της τιμής της μέσης απόκλισης, η οποία προκύπτει διπλάσια από εκείνη που είχε προκύψει στη δοκιμή στην περιοχή της Πλάκας και της τιμής της τυπικής απόκλισης, η οποία φανερώνει πως το δείγμα αυτό δεν είναι αρκετά ομοιογενές, η σύγκριση μεταξύ των δύο νεφών χρειάζεται περαιτέρω ανάλυση και αξιολόγηση.

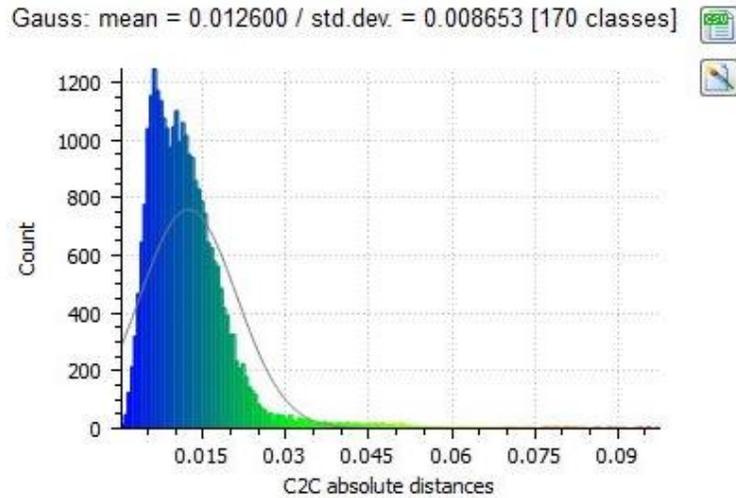
### 5.3.1 Σύγκριση ομοιογενών περιοχών των νεφών σημείων

Για την ακριβέστερη αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που δίνει η σύγκριση των δύο νεφών σημείων κρίθηκε απαραίτητη η σύγκριση ομοιογενέστερων περιοχών του δείγματος. Τα πολλά αναρριχόμενα φυτά, οι εσοχές και τα παράθυρα δεν επιτρέπουν την εξαγωγή αποτελεσμάτων με την επιθυμητή ακρίβεια. Για αυτό το λόγο, από την πρόσοψη που μελετήθηκε παραπάνω, πραγματοποιήθηκε σύγκριση σε τρία διαφορετικά τμήματα αυτής, ακριβώς με τον ίδιο τρόπο. Στη συνέχεια απεικονίζονται στη πρόσοψη που μελετάται οι τρεις περιοχές για τις οποίες πραγματοποιήθηκε περαιτέρω ανάλυση.

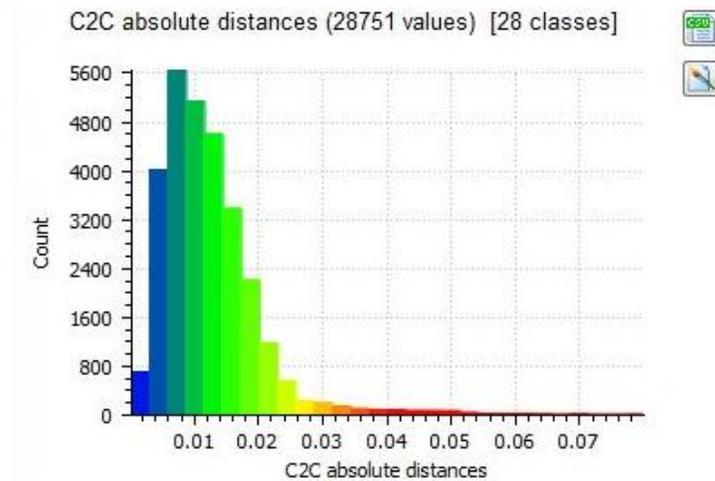


**Εικόνα 67:** Ομοιογενείς περιοχές της πρόσοψης

Αρχικά η περιοχή A, στο πάνω αριστερά τμήμα της πρόσοψης, αποτελεί μία ομοιογενή περιοχή χωρίς εσοχές και χωρίς αναρριχόμενα φυτά. Η σύγκριση πραγματοποιήθηκε με ανοχή τα 4cm, ενώ το όριο τιμών που συμμετείχε σε αυτή τη σύγκριση ήταν τα 7cm. Έπειτα από τη σύγκριση προέκυψε πως η μέση τιμή απόκλισης μεταξύ των δύο νεφών στην περιοχή A είναι 1.2cm ενώ η τυπική απόκλιση 0.8cm. Οι τιμές αυτές ήταν αναμενόμενες καθώς η περιοχή A περιλαμβάνει λιθοδομή και η απόκλιση μεταξύ των δύο νεφών σε αντίστοιχες περιοχές είναι η μικρότερη. Η χαμηλή τιμή της τυπικής απόκλισης εξασφαλίζει την ύπαρξη ενός ομοιογενούς δείγματος και δεν υπάρχει αμφιβολία πλέον για το αν είναι αξιόπιστα αυτά τα συμπεράσματα. Τα αποτελέσματα αυτά αποτελούν βασική πηγή για την αξιολόγηση του συστήματος των GoPro. Παρακάτω απεικονίζονται αυτά τα στατιστικά στοιχεία καθώς και η περιγραφή του δείγματος από την κατανομή του Gauss (**Εικόνα 68** και **Εικόνα 69**).



**Εικόνα 68:** Κατανομή Gauss της περιοχής A

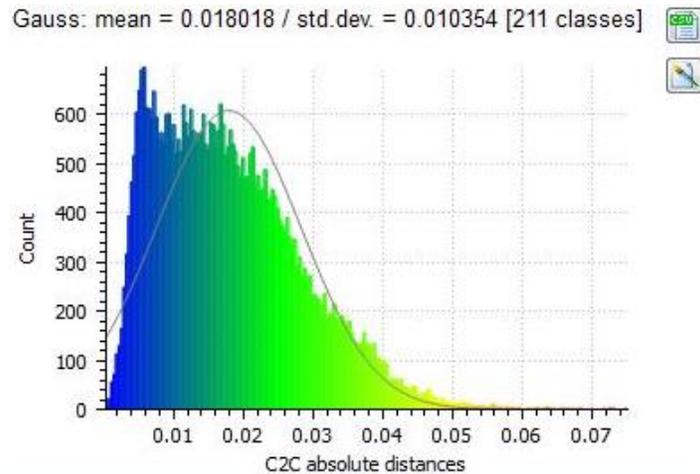


**Εικόνα 69:** Ιστόγραμμα τιμών απόκλισης ανά κλάση

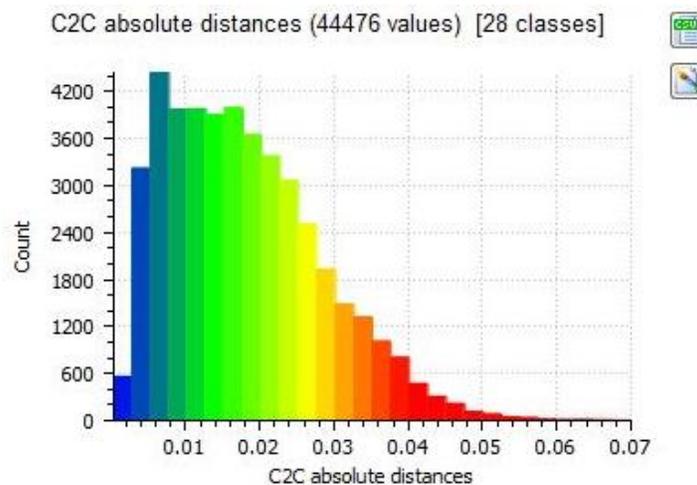
Από το παραπάνω ιστόγραμμα γίνεται αντιληπτό πως η συντριπτική πλειοψηφία των σημείων έχουν απόκλιση μικρότερη από 2cm. Συγκεκριμένα 25.000 σημεία, από τον συνολικό αριθμό των 28.751 σημείων (ποσοστό 87%) έχουν απόκλιση μεταξύ 0cm - 2cm. Με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται οι γραμμές που περιλαμβάνουν σημεία με απόκλιση μεγαλύτερη των 4cm, όπου έχει ορισθεί και η ανοχή του δείγματος.

Έπειτα μελετήθηκε η περιοχή B, η οποία αποτελεί μία μεγαλύτερη περιοχή από την A. Για ακόμα μια σύγκριση ως όριο ανοχής θεωρήθηκαν τα 4cm, ενώ όριο τιμών ήταν τα 7cm. Έπειτα από τη σύγκριση προέκυψε πως η μέση τιμή απόκλισης, μεταξύ των δύο νεφών στη περιοχή B, είναι 1.8cm ενώ η τυπική απόκλιση 1.0cm. Η τιμή της μέσης απόκλισης είναι ίση

με εκείνη που είχε προκύψει στη σύγκριση των δύο αντίστοιχων νεφών στη περιοχή της Πλάκας. Για αυτό το λόγο μέσες τιμές απόκλισης κοντά στα 2cm είναι αναμενόμενες και αποτελούν ένα πολύ αισιόδοξο αποτέλεσμα για το σύστημα των GoPro μαζί με τη Ricoh Theta S. Η τιμή της τυπικής απόκλισης κινείται γύρω από αυτήν της μέσης τιμής, κάτι το οποίο σημαίνει πως το δείγμα είναι ομοιογενές (**Εικόνα 70**). Στη συνέχεια απεικονίζεται η κατανομή Gauss για αυτό το δείγμα και το ιστόγραμμα τιμών απόκλισης (**Εικόνα 71**).



**Εικόνα 70:** Κατανομή Gauss της περιοχής B

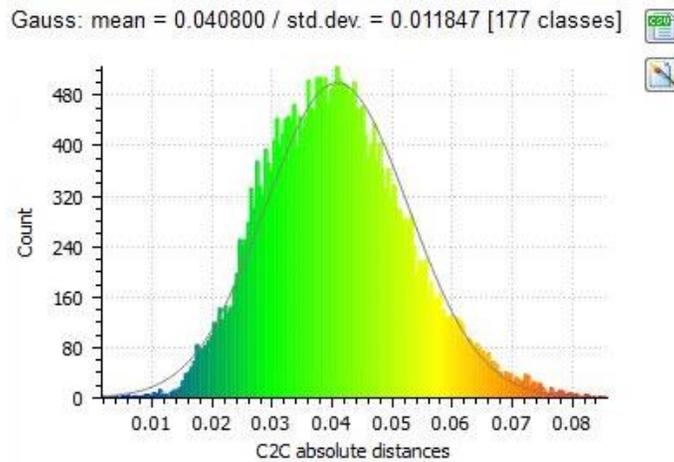


**Εικόνα 71:** Ιστόγραμμα τιμών απόκλισης ανά κλάση

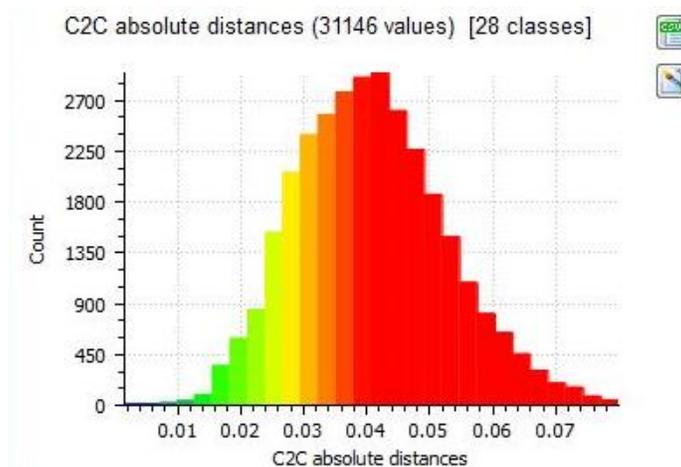
Οι κόκκινες τιμές στο ιστόγραμμα φανερώνουν πως είναι τιμές άνω του ορίου της ανοχής. Στην περιοχή B, όπως και στην A, η συντριπτική πλειονότητα των σημείων έχει απόκλιση

από το νέφος της Canon EOS 6D μικρότερη από 4cm, και συγκεκριμένα σχεδόν τα 40.000 σημεία από το σύνολο των 44.476 σημείων, ποσοστό 90%.

Τέλος η περιοχή Γ, μεγέθους ίσου με την περιοχή Β, έχει μέση τιμή απόκλισης 4.1cm και τυπική απόκλιση 1.2cm. Αυτό βάσει και της παραπάνω συνολικής σύγκρισης των νεφών, είναι λογικό καθώς η περιοχή αυτή απεικονίζεται με έντονο κόκκινο χρώμα. Αυτό επιβεβαιώνεται στην σύγκριση των νεφών για την περιοχή Γ και εξάγεται χρήσιμο συμπέρασμα για το εύρος της απόκλισης των τιμών στην περιοχή αυτή, κάτι το οποίο δεν μπορούσε να εξαχθεί από την συνολική σύγκριση της πρόσοψης (**Εικόνα 72**). Η τιμή της τυπικής απόκλισης φανερώνει πως το δείγμα κινείται γύρω από την μέση τιμή και παρουσιάζει ομοιογένεια.



**Εικόνα 72:** Κατανομή Gauss της περιοχής Γ



**Εικόνα 73:** Ιστογράμμα τιμών απόκλισης ανά κλάση

Από το ιστόγραμμα τιμών γίνεται αντιληπτό πως από τα 31.146 σημεία, τα 22.000, ποσοστό 71%, βρίσκονται εντός του εύρους απόκλισης τιμών 3cm-5cm (**Εικόνα 73**).

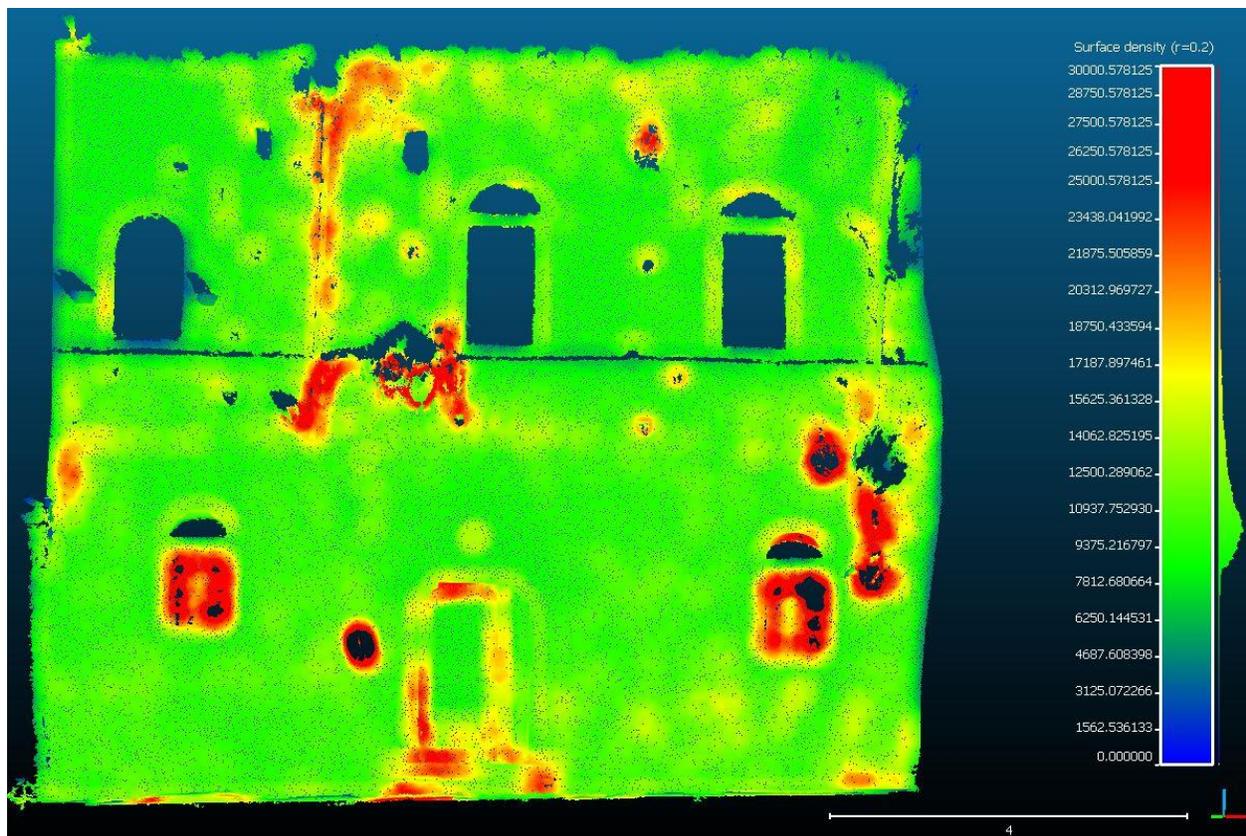
Έπειτα από τις τρεις συγκρίσεις στα τμήματα της πρόσοψης, εξάγεται το συμπέρασμα πως τα αναρριχόμενα φυτά, οι εσοχές και τα ανοίγματα παραθύρων και της πόρτας δεν επιτρέπουν στις action camera να περιγράψουν με τον βέλτιστο τρόπο την γεωμετρία αυτών των περιοχών. Στις περιοχές που παρατηρούνται τα παραπάνω, η απόκλιση μεταξύ των δύο νεφών είναι σημαντικά μεγαλύτερη από ό,τι σε ολόκληρη την υπόλοιπη πρόσοψη. Για αυτό και στη συνολική σύγκριση η τυπική απόκλιση ήταν μεγαλύτερη από τη μέση τιμή απόκλισης και το δείγμα δεν παρουσίαζε ομοιογένεια.

#### **5.4 Σύγκριση πυκνότητας νεφών GoPro - Ricoh Theta S και Canon 6D**

Για την καλύτερη αξιολόγηση του συστήματος των GoPro κρίθηκε αναγκαία η ανάλυση της πυκνότητας των δύο νεφών. Η σύγκριση της πυκνότητας μεταξύ των δύο νεφών πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό Cloud Compare (CloudCompare, 2014). Για την εκτίμηση της πυκνότητας των δύο νεφών, το λογισμικό υπολογίζει τον αριθμό των γειτονικών σημείων ανάλογα με την ακτίνα που ορίζεται για το κύκλο εύρεσης αυτών. Έτσι η πυκνότητα βρίσκεται από τον τύπο  $surface\ density = N / (\pi * R^2)$ , όπου  $N$  ο αριθμός των γειτονικών σημείων και  $R$  η ακτίνα του κύκλου εύρεσης των γειτονικών σημείων.

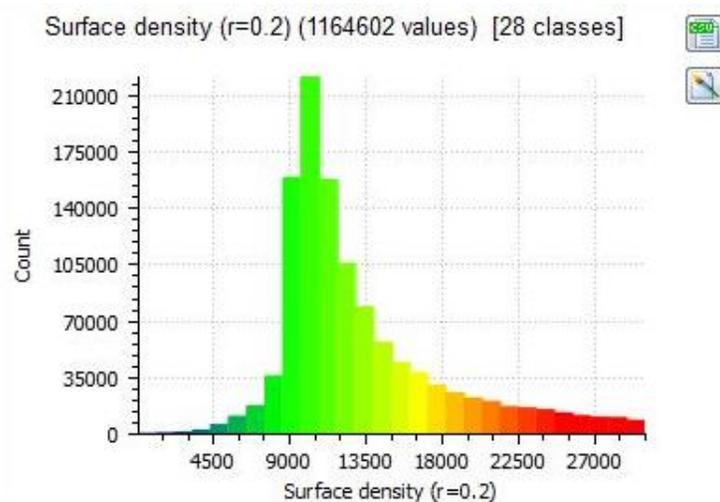
Για την εύρεση της πυκνότητας και των δύο νεφών ορίστηκε ως μήκος ακτίνας τα 0.20m και ως όριο ανοχής τα 25000 σημεία/ $m^2$ . Το όριο ανοχής δεν παίζει κάποιον ρόλο στη μελέτη πυκνότητας των νεφών αλλά επιλέχθηκε έπειτα από σειρά δοκιμών, ώστε να αποτελεί την κατάλληλη τιμή για να γίνονται ορατές οι διαφορές και στα δύο νέφη έχοντας το ίδιο όριο. Αξίζει να αναφερθεί πως περιοχές με πυκνότητα μεγαλύτερη από το όριο ανοχής απεικονίζονται με κόκκινο χρώμα.

Αρχικά, μελετήθηκε το νέφος της μηχανής DSLR. Όπως απεικονίζεται παρακάτω (**Εικόνα 74**), οι κόκκινες περιοχές είναι περιοχές παραθύρων, σωλήνων, εσοχών και αναρριχόμενων φυτών. Αυτό μοιάζει λογικό καθώς το λογισμικό Photoscan για την καλύτερη αναπαράσταση της γεωμετρίας των περιοχών αυτών σχηματίζει μεγαλύτερο αριθμό σημείων, από ό,τι για την περιγραφή της γεωμετρίας μιας πέτρας.



**Εικόνα 74:** Πυκνότητα της Canon EOS 6D

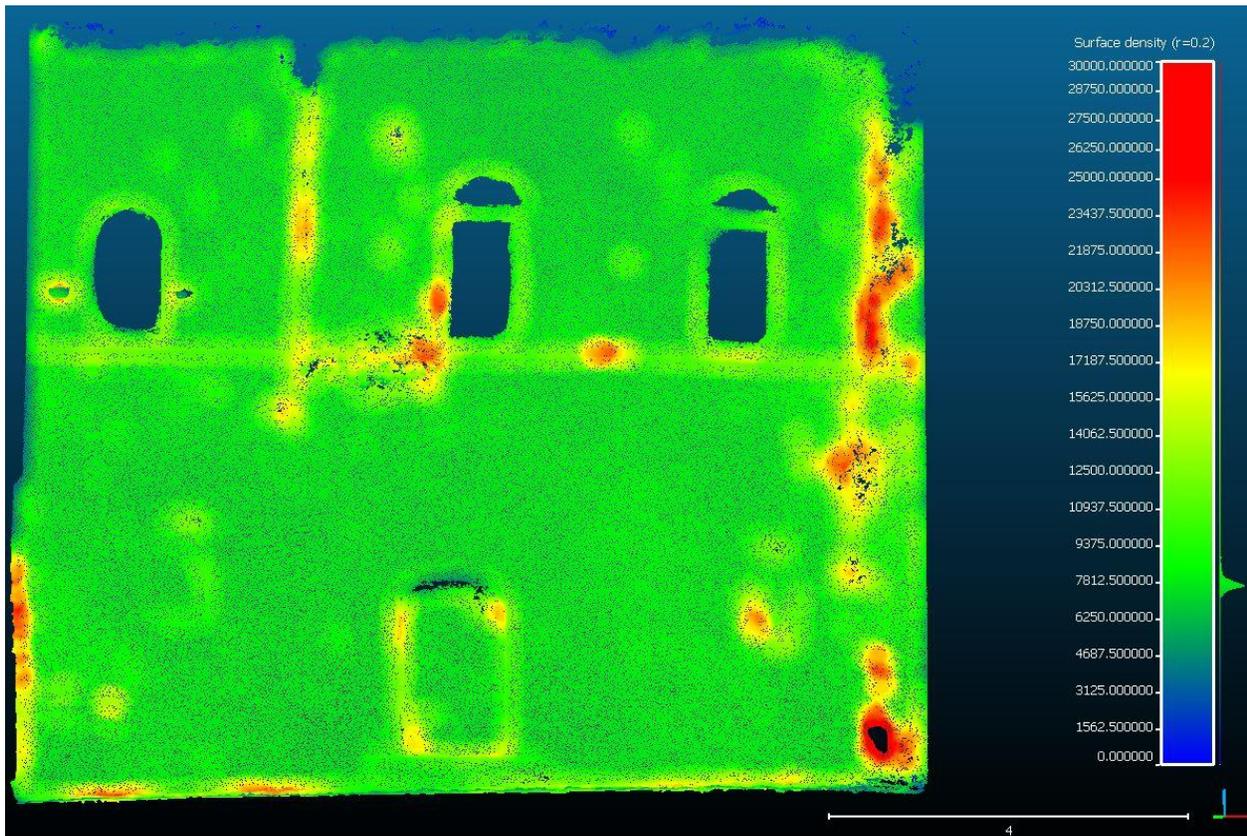
Χρησιμοποιώντας την κανονική κατανομή για την περιγραφή του δείγματος, του νέφους της Canon EOS 6D η μέση τιμή πυκνότητας προκύπτει  $13776.8 \text{ σημεία}/\text{m}^2$  και η τυπική απόκλιση του δείγματος  $6041.5 \text{ σημεία}/\text{m}^2$ .



**Εικόνα 75:** Ιστόγραμμα τιμών πυκνότητας Canon 6D

Από το παραπάνω ιστόγραμμα (Εικόνα 75) τιμών προκύπτει πως περίπου 715.000 σημεία, από το συνολικό αριθμό των 1.164.602 σημείων, ποσοστό 61%, έχει πυκνότητα μεταξύ 9000-14000 σημεία/ $m^2$ .

Στη συνέχεια απεικονίζεται το νέφος του συστήματος GoPro - Ricoh Theta S.

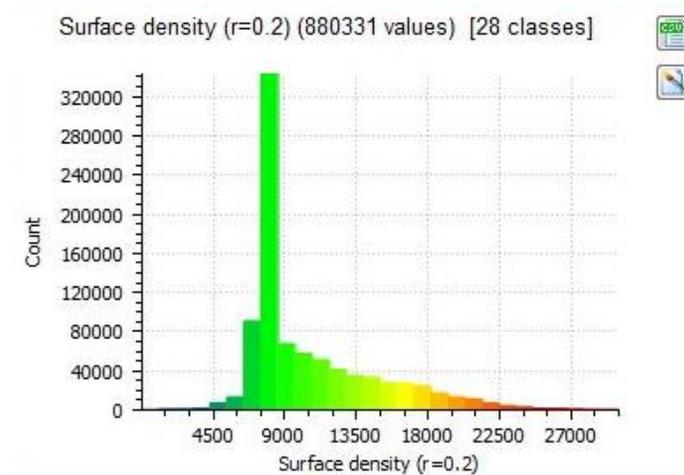


Εικόνα 76: Πυκνότητα του συστήματος GoPro - Ricoh Theta S

Ορίζοντας ίδιο μήκος ακτίνας και όριο ανοχής του δείγματος με παραπάνω, παρατηρείται πως οι περιοχές κόκκινου χρώματος είναι σημαντικά μικρότερες από αυτές που προέκυψαν στο παραπάνω νέφος, καθώς το νέφος των action camera προφανώς δεν περιγράφει με την μεγαλύτερη ακρίβεια την γεωμετρία των ανώμαλων επιφανειών.

Έπειτα και από την εξαγωγή των στατιστικών στοιχείων, σύμφωνα με την κατανομή Gauss, η μέση τιμή πυκνότητας είναι 10532.3 σημεία/ $m^2$  με την τυπική απόκλιση του δείγματος να είναι 4245.5 σημεία/ $m^2$ .

Στη συνέχεια απεικονίζεται το ιστόγραμμα των τιμών της πυκνότητας του νέφους των GoPro - Ricoh Theta S.



**Εικόνα 77:** Ιστόγραμμα τιμών πυκνότητας GoPro - Ricoh Theta S

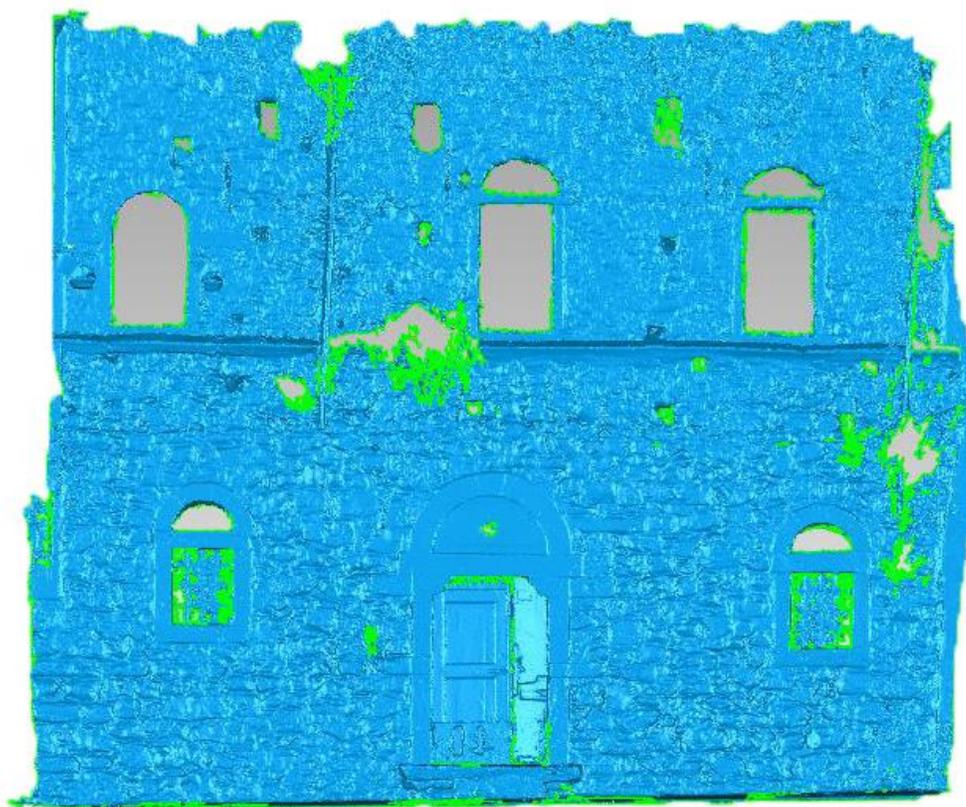
Από το παραπάνω ιστόγραμμα τιμών πυκνότητας εξάγεται η πληροφορία πως 545.000 περιοχές αντικειμένου έχουν πυκνότητα μεταξύ 8000-11000 σημεία/ $m^2$ .

Έπειτα από την εξαγωγή της πυκνότητας και των δυο νεφών παρατηρείται πως το πυκνό νέφος που παράγεται από την μηχανή DSLR είναι πιο πυκνό, αλλά όχι με σημαντική διαφορά. Στο να υπάρχει σχετικά μικρή διαφορά μεταξύ των δύο νεφών, παίζει καθοριστικό ρόλο και ο αριθμός των εικόνων που συμμετέχει στην παραγωγή του πυκνού νέφους σημείων, καθώς ο αριθμός των GoPro - Ricoh Theta S είναι τριπλάσιος από εκείνον της μηχανής DSLR. Επίσης, για το λογισμικό Photoscan είναι ευκολότερο να βρει κοινά σημεία μεταξύ των εικόνων της Canon καθώς δεν υπεισέρχεται σε αυτή τη διαδικασία το πρόβλημα της έντονης ακτινικής διαστροφής που παρουσιάζουν οι action camera, οι οποίες εισάγονται και υπόκεινται σε επεξεργασία ως fisheye.

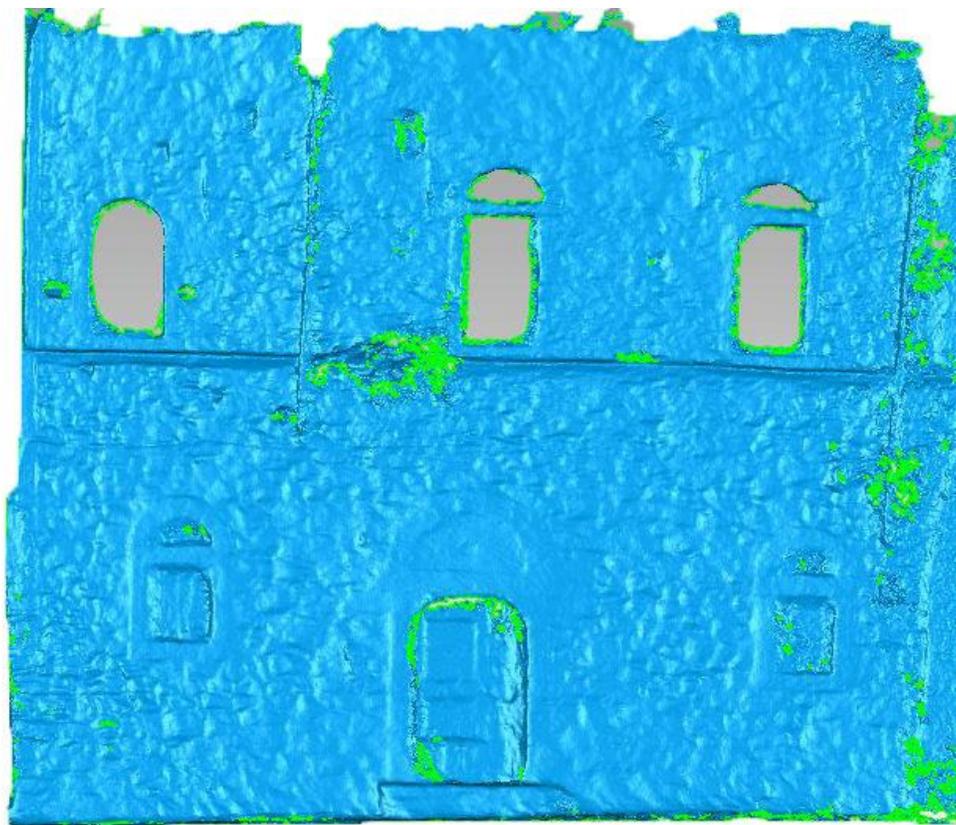
## 5.5 Σύγκριση επιφανειών GoPro - Ricoh Theta S και Canon EOS 6D

Έπειτα από την επεξεργασία των νεφών σημείων στο λογισμικό Geomagic και τη σύγκρισή τους στο ίδιο λογισμικό, δημιουργήθηκαν και οι επιφάνειες (mesh) για τα δύο νέφη. Οι παράμετροι και η διαδικασία η οποία ακολουθήθηκε ήταν ακριβώς η ίδια, ώστε οι

επιφάνειες να μπορούν να συγκριθούν μεταξύ τους. Στις παρακάτω εικόνες (**Εικόνα 78** και **Εικόνα 79**) παρουσιάζονται στιγμιότυπα των επιφανειών από το λογισμικό Geomagic.



**Εικόνα 78:** Επιφάνεια από την Canon EOS 6D

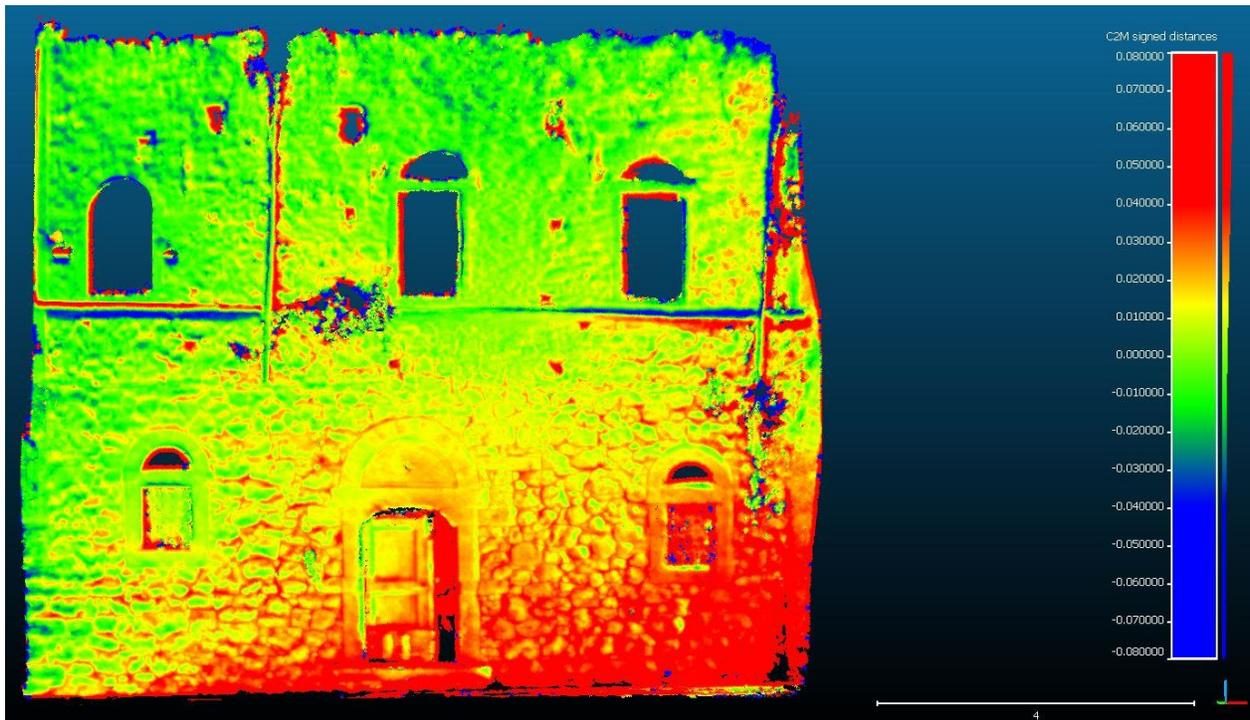


**Εικόνα 79:** Επιφάνεια από GoPro - Ricoh Theta S

Από την απεικόνιση της επιφάνειας, που προέρχεται από την Canon EOS 6D (**Εικόνα 78**), γίνεται αντιληπτό πως η επιφάνεια περιγράφει πολύ ρεαλιστικά την μορφολογία της πρόσοψης του σπιτιού. Οι πέτρες, τα παράθυρα αλλά και η πόρτα είναι πολύ κοντά στην πραγματική κατάσταση του σπιτιού. Τα τρίγωνα που σχηματίστηκαν και περιγράφουν την πρόσοψη αυτή είναι 2.155.611.

Ακολούθως η επιφάνεια των GoPro - Ricoh Theta S (**Εικόνα 79**) φαίνεται πολύ πιο λεία σε ορισμένα σημεία και απέχει λίγο από την πραγματική εικόνα του ανάγλυφου του σπιτιού. Αυτό συμβαίνει κυρίως σε τμήματα παραθύρων και στην πόρτα, ενώ και σε κάποιες περιοχές με πέτρα η επιφάνεια δεν περιγράφει τόσο καλά την μορφολογία όσο εκείνη της Canon EOS 6D. Αξίζει να αναφερθεί πως τα τρίγωνα που έχουν σχηματιστεί σε αυτή την επιφάνεια είναι 1.700.930 και μένει να πραγματοποιηθεί η σύγκριση ώστε να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα για τις διαφορές των δύο επιφανειών.

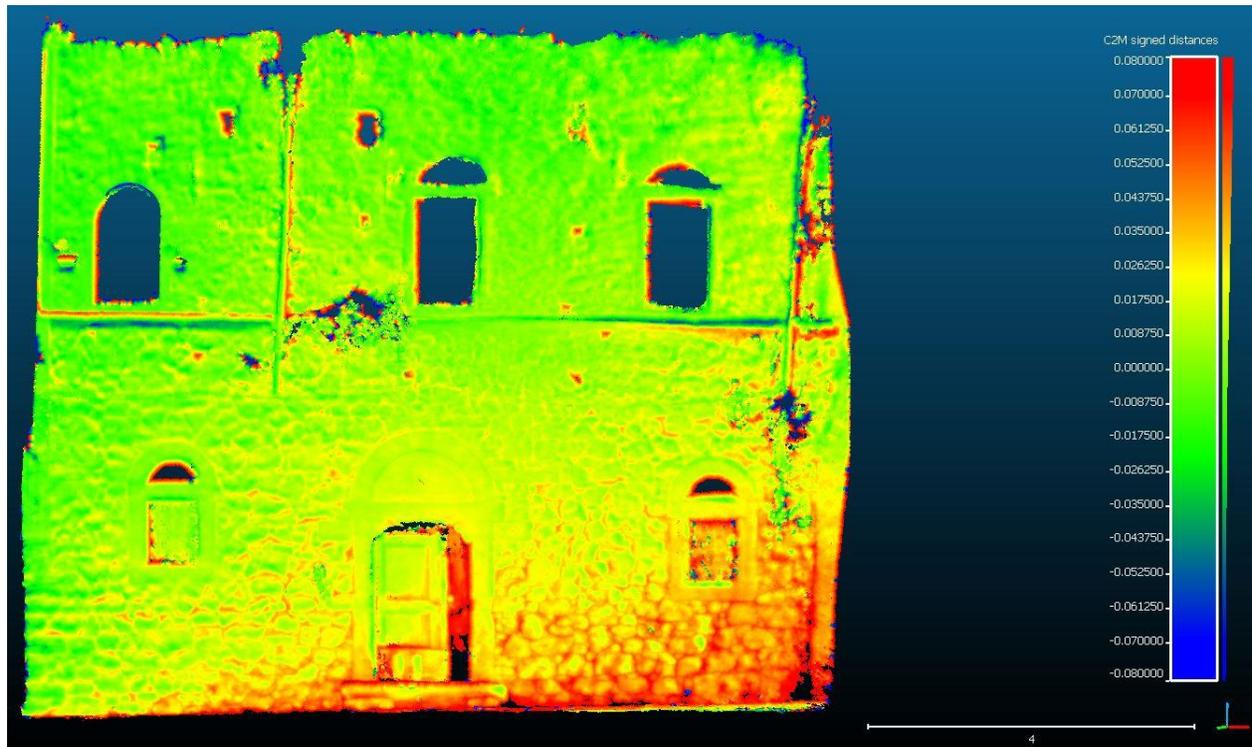
Η σύγκριση των επιφανειών πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό CloudCompare, όπως άλλωστε και των νεφών, και στη συνέχεια (Εικόνα 80) απεικονίζεται στιγμιότυπο της σύγκρισης αυτής ορίζοντας ως ανοχή τα  $\pm 4\text{cm}$  και ανώτατο όριο απόκλισης των δύο νεφών τα  $\pm 8\text{cm}$ . Η τιμή της ανοχής ορίστηκε βάσει των προδιαγραφών της εργασίας, ενώ τα όρια των τιμών απόκλισης είναι τα μέγιστα στην περιοχή μελέτης.



Εικόνα 80: Σύγκριση επιφανειών με ανοχή  $\pm 4\text{ cm}$

Σε αντίθεση με την σύγκριση των νεφών, το λογισμικό για σύγκριση επιφανειών παρέχει τη δυνατότητα εύρεσης και αρνητικών τιμών. Έτσι ορίστηκαν ως ανοχή τα  $\pm 4\text{cm}$ , όπου η απόκλιση μεγαλύτερη των  $+4\text{cm}$  απεικονίζεται με κόκκινο χρώμα ενώ μικρότερη των  $-4\text{cm}$  απεικονίζεται με μπλε χρώμα. Από την σύγκριση, παρατηρείται έντονο πράσινο χρώμα, το οποίο σημαίνει πως κατά μεγάλο ποσοστό υπάρχει απόκλιση της τάξης του  $\pm 1\text{cm}$ . Επιπλέον κόκκινο και μπλε χρώμα παρατηρείται στις εσοχές, στα παράθυρα και στο δεξιό τμήμα της πόρτας, ενώ έντονο κόκκινο χρώμα όπως και στη σύγκριση των νεφών παρατηρείται στο κάτω δεξιό τμήμα του σπιτιού. Αυτό ήταν αναμενόμενο να προκύψει σε αυτή τη σύγκριση εφόσον παρουσιάστηκε και στη σύγκριση των νεφών.

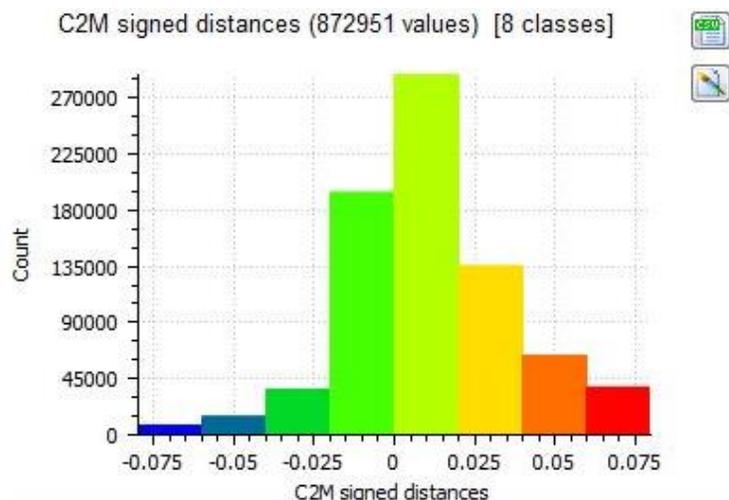
Για να ελεγχθεί και να επιβεβαιωθεί πως το εύρος απόκλισης των τιμών κυμαίνεται μεταξύ 4cm -7cm πραγματοποιήθηκε σύγκριση μεταξύ των δύο επιφανειών με ανοχή τα  $\pm 7$ cm.



**Εικόνα 81:** Σύγκριση επιφανειών με ανοχή  $\pm 7$  cm

Έπειτα από τη σύγκριση των επιφανειών με ανοχή τα  $\pm 7$ cm παρατηρείται πως το κάτω δεξιά τμήμα έχει γίνει πορτοκαλί ενώ παραμένουν κάποιες κόκκινες λεπτομέρειες (**Εικόνα 81**). Αποδεικνύεται με αυτό τον τρόπο πως το εύρος απόκλισης μεταξύ των δύο επιφανειών, στο τμήμα αυτό, κυμαίνεται από 3cm-7cm. Η γενικότερη εικόνα της σύγκρισης είναι πως η επιφάνεια έχει πράσινο χρώμα, κάτι το οποίο σημαίνει πως η απόκλιση είναι της τάξης των  $\pm 2$ cm.

Στη συνέχεια απεικονίζεται ιστόγραμμα το οποίο παρουσιάζει τον αριθμό των σημείων που αντιστοιχούν στη κάθε κλάση σφάλματος (**Εικόνα 82**) καθώς και στατιστικά στοιχεία για τη σύγκριση των δύο αυτών επιφανειών, όπως περιγράφονται από την κατανομή του Gauss.



**Εικόνα 82:** Ιστόγραμμα τιμών αβεβαιότητας ανά κλάση

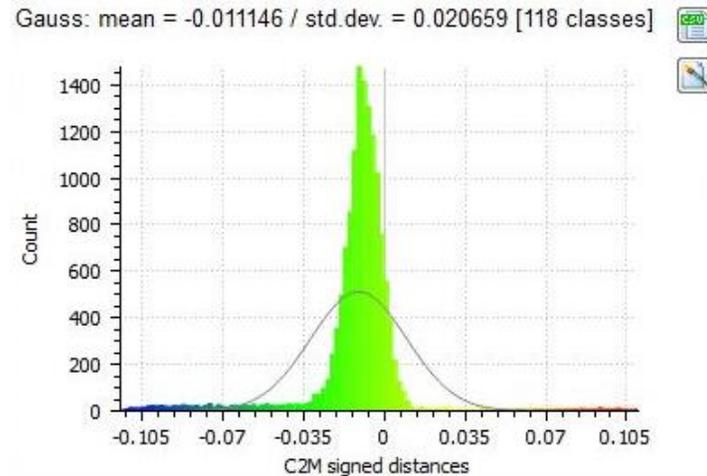
Από το ιστόγραμμα γίνεται αντιληπτό πως 645.000 τιμές, από τις 872.951, ποσοστό 74%, που έχουν συγκριθεί για τις δύο επιφάνειες, έχουν απόκλιση μικρότερη των 4cm. Επιπλέον χρησιμοποιώντας την κατανομή Gauss για την περιγραφή του δείγματος, προκύπτει πως η μέση τιμή απόκλισης μεταξύ των δυο επιφανειών είναι 1.5cm και η τυπική απόκλιση 13.8cm. Η μεγάλη αυτή τυπική απόκλιση φανερώνει πως το δείγμα δεν κινείται γύρω από την μέση τιμή και είναι ανομοιογενές, κάτι το οποίο οφείλεται στις υψηλές τιμές απόκλισης που υπάρχουν μεταξύ των δύο επιφανειών στα παράθυρα, στα αναρριχόμενα φυτά, στις εσοχές αλλά και στη πόρτα. Συνεπώς για την εξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων κρίθηκε απαραίτητη η σύγκριση υποπεριοχών της πρόσοψης που μελετάται.

### 5.5.1 Σύγκριση ομοιογενών περιοχών των επιφανειών

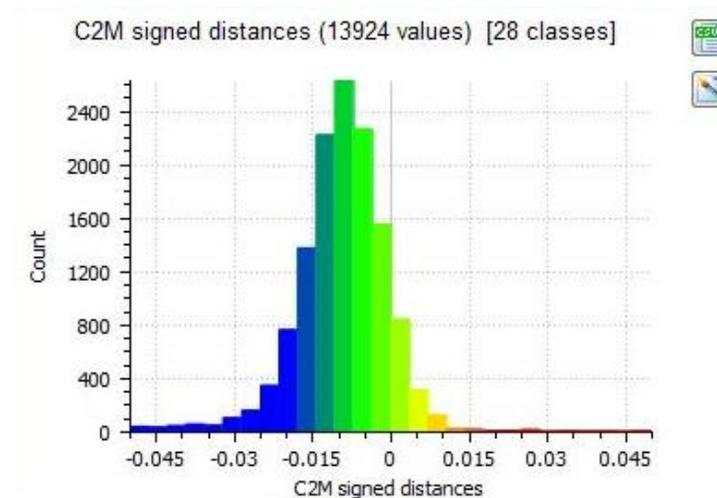
Όπως στην περίπτωση της σύγκρισης των νεφών σημείων, έτσι και μεταξύ των επιφανειών κρίθηκε αναγκαία η περαιτέρω σύγκριση ορισμένων τμημάτων τους, με σκοπό την εξαγωγή ακριβέστερων αποτελεσμάτων. Έτσι συγκρίθηκαν οι περιοχές Α, Β και Γ όπως και στην περίπτωση των νεφών.

Στην περιοχή Α, έπειτα από την σύγκριση των δύο επιφανειών, προέκυψε μέση τιμή απόκλισης 1.1cm και τυπική απόκλιση 2.0cm (**Εικόνα 83**). Αξίζει να αναφερθεί πως η ανοχή του δείγματος ορίστηκε  $\pm 2$ cm και στο παρακάτω ιστόγραμμα όσες τιμές έχουν μεγαλύτερη απόκλιση από αυτή την τιμή απεικονίζονται με κόκκινο και μπλε χρώμα. Η

τιμή της τυπικής απόκλισης φανερώνει πως το δείγμα βρίσκεται γύρω από την μέση τιμή και παρουσιάζει ομοιογένεια. Στη συνέχεια απεικονίζεται η κατανομή του Gauss που περιγράφει την σύγκριση μεταξύ των δυο επιφανειών.



**Εικόνα 83:** Κατανομή Gauss της περιοχής A

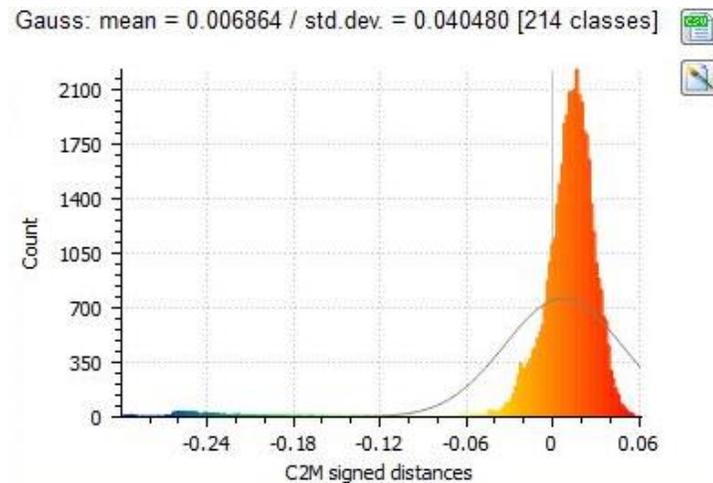


**Εικόνα 84:** Ιστόγραμμα τιμών απόκλισης περιοχής A

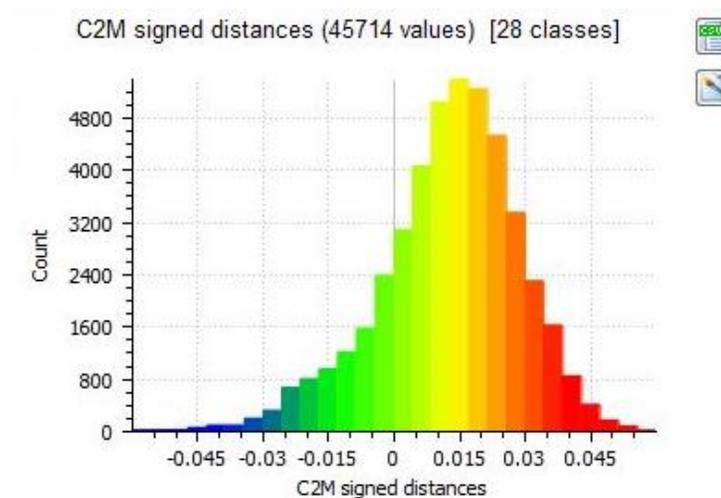
Από το παραπάνω ιστόγραμμα (**Εικόνα 84**) γίνεται αντιληπτό πως από τις 13.924 τιμές που συγκρίθηκαν, οι 12.200, ποσοστό 86%, έχουν εύρος απόκλισης τιμών από -2cm έως +2cm. Έπειτα από αυτή τη σύγκριση εξαγονται χρήσιμα συμπεράσματα για αυτό το τμήμα της πρόσοψης λόγω της μικρής τυπικής απόκλισης του δείγματος και της ομοιογένειας του.

Ομοίως, και στην περιοχή B, ως ανοχή του δείγματος, ορίστηκαν τα  $\pm 4\text{cm}$ , ενώ οι τιμές οι οποίες υπάρχουν στο δείγμα και απεικονίζονται είναι έως  $\pm 6\text{cm}$ . Η μέση τιμή του δείγματος

προέκυψε ίση με 0.6cm, ενώ η τυπική απόκλιση ίση με 4.0cm. Η τιμή της τυπικής απόκλισης φανερώνει πως το δείγμα δεν είναι ομοιογενές, αλλά όπως φαίνεται και από την κατανομή του Gauss η συντριπτική πλειονότητα των τιμών βρίσκεται εντός των  $\pm 4$ cm.



**Εικόνα 85:** Κατανομή Gauss της περιοχής B

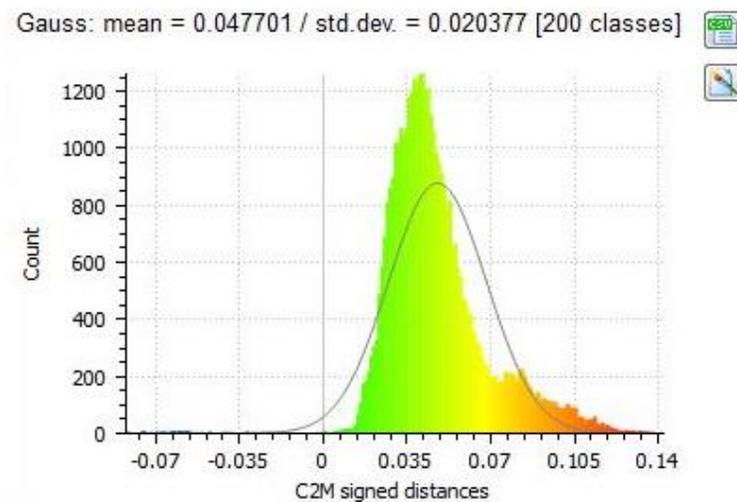


**Εικόνα 86:** Ιστογράμμα τιμών απόκλισης περιοχής B

Οι τιμές στις κλάσεις που απεικονίζονται με μπλε και κόκκινο χρώμα έχουν απόκλιση μεγαλύτερη από  $\pm 4$ cm, ενώ η πλειονότητα των τιμών φαίνεται πως συγκεντρώνεται γύρω από την μέση τιμή, και όπως παρατηρείται παραπάνω γύρω από την κίτρινη γραμμή του ιστογράμματος. Οι τιμές οι οποίες κυμαίνονται μεταξύ  $\pm 3$ cm είναι περίπου 38.500, ποσοστό 84%. Αριθμός, σημαντικά μεγάλος, για να δείξει την αξιοπιστία της πληροφορίας

που παρέχει αυτή η σύγκριση, παρά την μεγάλη διαφορά μεταξύ τυπικής απόκλισης και μέσης τιμής.

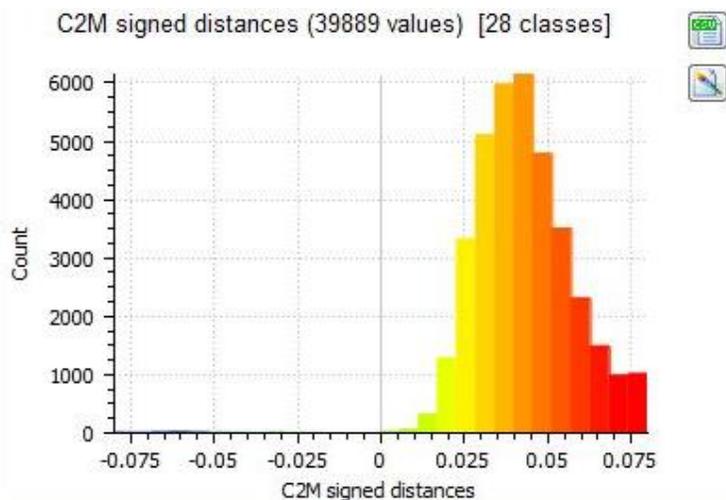
Τέλος, στην περιοχή Γ, ορίζοντας ως ανοχή τα  $\pm 7\text{cm}$ , προκύπτει μέση τιμή  $4.7\text{cm}$  και τυπική απόκλιση  $2.0\text{cm}$ . Οι τιμές του ιστογράμματος και της κατανομής που απεικονίζονται με μπλε και κόκκινο χρώμα έχουν απόκλιση μεγαλύτερη από  $\pm 7\text{cm}$ . Η μικρή τυπική απόκλιση κρίνει τα συμπεράσματα ως αξιόπιστα λόγω του εύρους της απόκλισης μεταξύ των τιμών σε αυτό το κομμάτι της πρόσοψης όπου παρουσιάζεται η μεγαλύτερη απόκλιση.



**Εικόνα 87:** Κατανομή Gauss της περιοχής Γ

Από την παραπάνω κατανομή παρατηρείται πως το μεγαλύτερο ποσοστό του δείγματος βρίσκεται γύρω από την μέση τιμή και συγκεκριμένα μεταξύ  $2.5\text{cm} - 6.5\text{cm}$ .

Από το ιστόγραμμα των τιμών απόκλισης (**Εικόνα 88**), παρατηρείται πως απόκλιση μεταξύ  $2.5\text{cm} - 6.0\text{cm}$  έχουν 29.000 τιμές, ποσοστό 73%. Αυτό το αποτέλεσμα αποτελεί χρήσιμη πληροφορία για το εύρος τιμών απόκλισης στο πιο ακραίο τμήμα του μοντέλου, για το οποίο δεν υπήρχε αξιόπιστη πληροφορία μετά τη σύγκριση του συνολικού τμήματος της πρόσοψης, λόγω της τεράστιας τιμής της τυπικής απόκλισης. Οι γραμμές με κόκκινη απόχρωση στο ιστόγραμμα έχουν απόκλιση μεγαλύτερη από  $7\text{cm}$ .

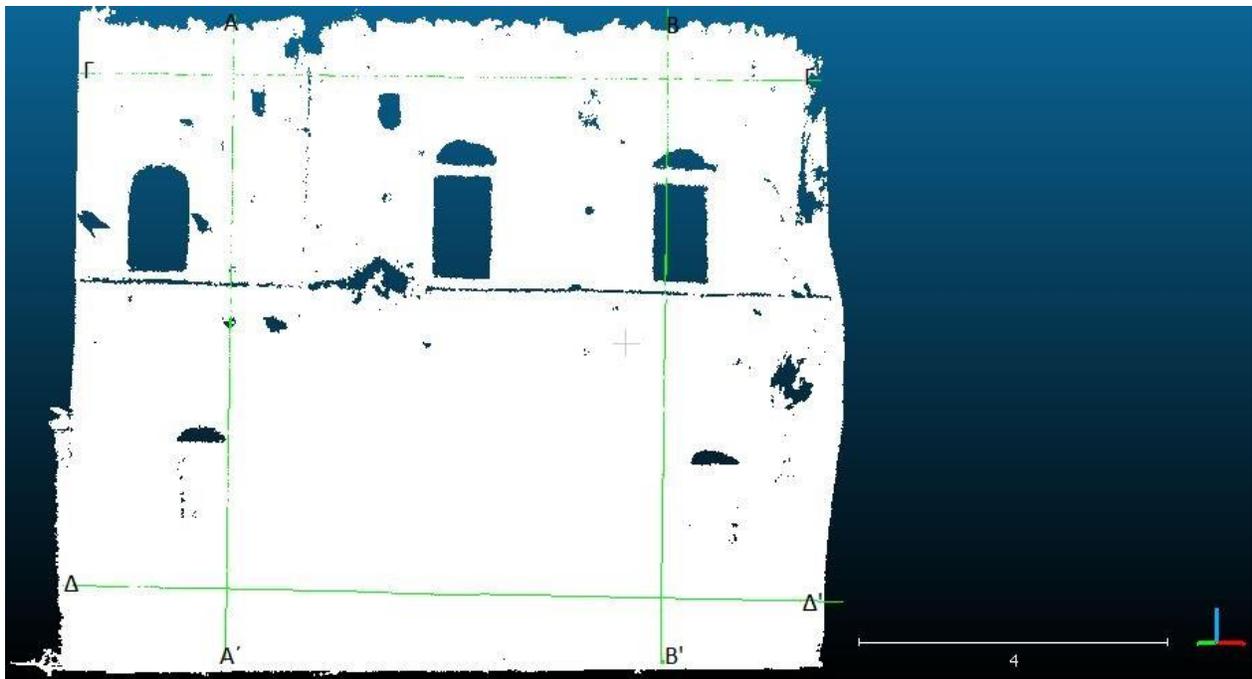


**Εικόνα 88:** Ιστόγραμμα τιμών απόκλισης περιοχής Γ

Από τις συγκρίσεις σε τμήματα της πρόσοψης εξάγεται το συμπέρασμα, όπως και στη σύγκριση μεταξύ των νεφών, πως τα αναρριχόμενα φυτά, οι εσοχές και τα ανοίγματα παραθύρων και της πόρτας οδήγησαν στη μεγάλη τυπική απόκλιση του δείγματος, που δεν επέτρεπε την εξαγωγή αξιόπιστων συμπερασμάτων. Στις περιοχές που παρατηρούνται τα παραπάνω, η απόκλιση μεταξύ των δύο νεφών είναι σημαντικά μεγαλύτερη από ό,τι σε ολόκληρη την υπόλοιπη πρόσοψη. Για το λόγο αυτό, στη συνολική σύγκριση η τυπική απόκλιση ήταν πολύ μεγαλύτερη από τη μέση τιμή απόκλισης και το δείγμα δεν παρουσίαζε ομοιογένεια.

## 5.6 Παραγωγή και σύγκριση τομών από τα δύο νέφη

Για την ανάλυση της διαφοράς μεταξύ των δύο νεφών και δύο επιφανειών και την αξιολόγηση των παραπάνω αποτελεσμάτων κρίθηκε ιδανική η παραγωγή τομών του μοντέλου. Οι τομές δίνουν την δυνατότητα να αξιολογηθεί καλύτερα η διαφορά μεταξύ των δύο πυκνών νεφών και να εντοπισθεί η αδυναμία του συστήματος των GoPro που φαίνεται να υπάρχει στις εσοχές και στα ανοίγματα. Για τις ανάγκες της μελέτης παρήχθησαν δύο κατακόρυφες και δύο οριζόντιες τομές όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα (**Εικόνα 89**).



**Εικόνα 89:** Παραγωγή και ανάλυση Τομών

Αρχικά παρήχθη η κατακόρυφη τομή AA', η οποία κόβει την πρόσοψη του σπιτιού στο μεγαλύτερο μέρος της σε πέτρες, αλλά περνάει και από δύο εσοχές (**Εικόνα 90**).



**Εικόνα 90:** Τομή AA'

Στην παραπάνω απεικόνιση, εντός του γαλάζιου περιγράμματος, γίνεται εύκολα αντιληπτή η μεγάλη διαφορά που υπάρχει μεταξύ των δύο τομών στα τμήματα των εσοχών του τοίχου. Η τομή, η οποία περιγράφει με έντονες καμπύλες την γεωμετρία των σημείων στο χώρο και διαφέρει από το υπόλοιπο σύνολο, αναφέρεται στο νέφος που έχει σχηματιστεί με την Canon EOS 6D. Η καμπύλη αυτή περιγράφει με μεγαλύτερη ακρίβεια την γεωμετρία των σημείων του νέφους σε αντίθεση με εκείνη του συστήματος των GoPro. Εντός του γαλάζιου περιγράμματος, η διαφορά μεταξύ των δύο καμπυλών φτάνει έως και τα 10cm, ενώ σε όλα τα υπόλοιπα τμήματα η διαφορά κυμαίνεται μεταξύ 2cm-3cm, με εξαίρεση το

τμήμα της πρόσοψης που βρίσκεται χαμηλά προς το έδαφος και η απόκλιση των δύο νεφών φτάνει έως και τα 4cm.

Στη συνέχεια παρήχθη μία ακόμα κατακόρυφη τομή (**Εικόνα 91**), η BB', η οποία κόβει το μοντέλο σε ένα παράθυρο της πρόσοψης του δευτέρου ορόφου, ενώ περνάει και από το κάτω δεξιά τμήμα της πρόσοψης όπου η απόκλιση μεταξύ των δύο νεφών αποδείχτηκε μεγαλύτερη των 4cm.



**Εικόνα 91:** Τομή BB'

Εντός του κίτρινου περιγράμματος παρατηρείται έντονη διαφορά μεταξύ της γεωμετρίας των σημείων των δύο νεφών. Η γραμμή με τις έντονες καμπύλες σε αυτό το τμήμα περιγράφει το νέφος της Canon EOS 6D. Η διαφορά μεταξύ των δύο νεφών στο τμήμα αυτό της πρόσοψης φτάνει έως και τα 17cm, καθώς το νέφος της Canon EOS 6D περιγράφει με μεγάλη ακρίβεια το πάχος του τοίχους του παραθύρου. Επιπλέον πιο έντονες καμπύλες παρατηρούνται στη γραμμή τομής, που σχηματίζεται με την μηχανή DSLR, και στο κάτω τμήμα της πρόσοψης. Στο τμήμα αυτό, που περικλείεται με κόκκινο περίγραμμα η απόκλιση μεταξύ των δύο τομών φτάνει έως και τα 8cm. Η γραμμή τομής που σχηματίζεται από το σύστημα των GoPro έχει πολύ πιο ομαλές καμπύλες.

Επιπλέον, εξήχθη μια οριζόντια τομή (**Εικόνα 92**), η ΓΓ', η οποία κόβει την πρόσοψη του σπιτιού στον επάνω όροφο και διέρχεται από έναν στύλο που βρίσκεται τοποθετημένος πάνω στο τοίχο του σπιτιού.



**Εικόνα 92:** Τομή ΓΓ'

Από την παραπάνω εικόνα διακρίνεται μεγάλη διαφορά μεταξύ των δύο τομών των πυκνών νεφών σημείων στο τμήμα εντός του κίτρινου περιγράμματος, στο οποίο

βρίσκεται ο στύλος. Σε αυτό το τμήμα η Canon EOS 6D περιγράφει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο την γεωμετρία των σημείων του μοντέλου, σε αντίθεση με το σύστημα των GoPro που η κλίση της καμπύλης είναι ίδια με όλη την υπόλοιπη τομή. Η απόκλιση μεταξύ των δύο τομών σε αυτό το σημείο φτάνει τα 10cm. Στη τομή ΓΓ' παρατηρείται μικρότερη απόκλιση μεταξύ των δύο γραμμών, σε σχέση με τις δύο προηγούμενες τομές, αλλά και πάλι η γεωμετρία των σημείων που προέρχονται από την DSLR μηχανή δίνει μία πιο ρεαλιστική εικόνα από εκείνη των action camera αλλά όχι σε σημείο που να αποθαρρύνει και να αποτρέπει την χρήση των action camera.

Τέλος, παρήχθη μία ακόμα οριζόντια τομή (**Εικόνα 93**), η ΔΔ', αυτή τη φορά στο κάτω τμήμα της πρόσοψης, σε ύψος όπου κόβει την πόρτα του σπιτιού.



**Εικόνα 93:** Τομή ΔΔ'

Η απόκλιση μεταξύ των δύο τομών στο δεξιό τμήμα της πόρτας φτάνει μέχρι και τα 10cm. Το νέφος που παρήχθη με την μηχανή DSLR περιγράφει άριστα τις έντονες γωνίες που σχηματίζονται σε αυτό το τμήμα, σε αντίθεση με το σύστημα των GoPro που έχει εξομαλύνει τις γωνίες αυτές. Στο αριστερό τμήμα από την πόρτα, η απόκλιση μεταξύ των δύο τομών είναι της τάξης των 2cm, σε αντίθεση με το δεξιό τμήμα που η απόκλιση φτάνει και τα 8cm. Αυτό το συμπέρασμα επιβεβαιώνει και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την σύγκριση των δύο πυκνών νεφών, καθώς ήταν το μοναδικό τμήμα της πρόσοψης όπου η απόκλιση μεταξύ των νεφών ξεπερνούσε τα 6cm και αναφερόταν σε περιοχή με πέτρα. Συνήθως η μεγάλη απόκλιση, όπως προέκυψε και από τις συγκρίσεις των τομών, εμφανίζεται στις εσοχές, στα ανοίγματα, σε αναρριχόμενα φυτά και στις πόρτες, εκεί όπου το σύστημα των action camera είναι αδύνατο να αναπαραστήσει με λεπτομέρεια το μοντέλο.

Συνοψίζοντας, οι συγκρίσεις μεταξύ: 1) της πυκνότητας των νεφών, 2) των σημείων των νεφών, 3) των επιφανειών αλλά και 4) των τομών που προκύπτουν από τα δύο αυτά συστήματα, αποδεικνύουν πως το νέφος που δημιουργείται με τη μηχανή DSLR είναι

ορθότερο, ακριβέστερο και πυκνότερο. Φυσικά οι αποκλίσεις μεταξύ των δύο συστημάτων είναι μικρές, κάτι το οποίο ενθαρρύνει την χρήση του συστήματος που αναπτύχθηκε για φωτογραμμετρικούς σκοπούς. Όπως περιγράφεται και παραπάνω μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ των δύο συστημάτων εμφανίζονται μόνο στα τμήματα όπου υπάρχουν αναρριχόμενα φυτά, ανοίγματα παραθύρων, μισόκλειστες πόρτες και τρύπες στους τοίχους, όπου το σύστημα των GoPro αδυνατεί να περιγράψει με τον ακριβέστερο τρόπο την γεωμετρία αυτών των τμημάτων.

## Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup>

---

### 6 Έλεγχος απαιτούμενου αριθμού και κατανομής φωτοσταθερών

Έχοντας ως στόχο την διερεύνηση για την παραγωγή μοντέλου με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια και εν συνεχεία την παραγωγή ορθοφωτογραφιών υψηλής γεωμετρικής ακρίβειας, σκοπεύθηκε και μετρήθηκε μεγάλο πλήθος σημείων στην περιοχή μελέτης. Ο χρόνος που χρειάστηκε για την ίδρυση της όδευσης και την μέτρηση φωτοσταθερών από τις δεκαπέντε στάσεις ήταν δύο ανθρωπομέρες. Δεδομένου ότι η εφαρμογή του συστήματος για τη συλλογή των δεδομένων, για δρόμο μήκους 350m, διήρκησε περίπου 45 λεπτά, τίθεται το ερώτημα αν θα ήταν εφικτό να εξαχθούν τα παραπάνω αποτελέσματα με την ίδια ακρίβεια στην περίπτωση μικρότερου αριθμού στάσεων και φωτοσταθερών. Αυτή η διερεύνηση πραγματοποιήθηκε με την προοπτική εφαρμογής του συστήματος για μεγαλύτερο μήκος δρόμων, ακόμα και μερικών χιλιομέτρων. Το μεγάλο πλεονέκτημα σε αυτή την περίπτωση είναι η σημαντική μείωση του συνολικού χρόνου απόκτησης των δεδομένων στο πεδίο, του χρόνου επεξεργασίας τους, καθώς και του κόστους εργασίας. Με αφορμή τα παραπάνω πραγματοποιήθηκε σειρά δοκιμών, κάνοντας χρήση διαφορετικού αριθμού φωτοσταθερών καθώς και διαφορετικής κατανομής αυτών στα διάφορα τμήματα των προσόψεων του δρόμου.

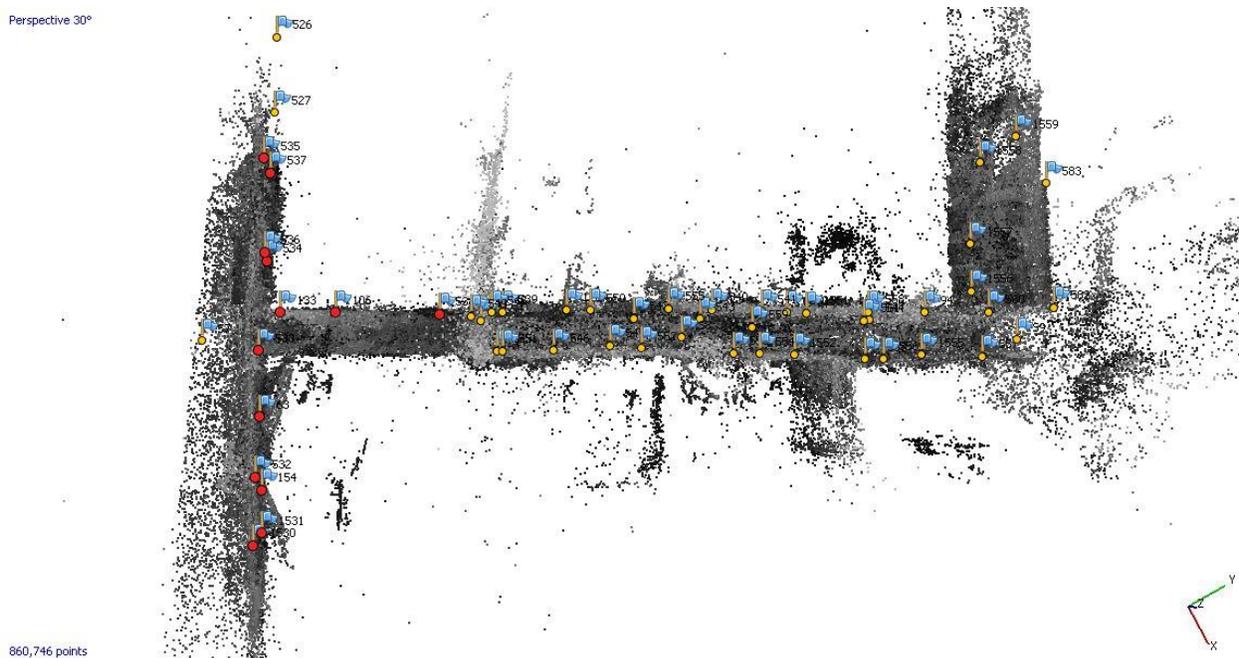
Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε στην Περιοχή 1, όπου σκοπεύθηκαν και υπολογίστηκαν οι συντεταγμένες 39 σημείων για μήκος δρόμου 45m. Όλες οι δοκιμές και τα αποτελέσματα εξήχθησαν για την Δυτική πλευρά του δρόμου και αφορούν στα εξής σενάρια:

1. Τοποθέτηση φωτοσταθερών στην αρχή του δρόμου
2. Τοποθέτηση φωτοσταθερών στην αρχή και στο τέλος του δρόμου
3. Τοποθέτηση φωτοσταθερών στην Ανατολική πλευρά του δρόμου
4. Τοποθέτηση μικρού αριθμού φωτοσταθερών κατά μήκος όλου του δρόμου
5. Τοποθέτηση δύο αποστάσεων για ορισμό της κλίμακας του μοντέλου

Η αβεβαιότητα του μοντέλου, όπως έχει προαναφερθεί, με τη σκόπευση 39 φωτοσταθερών σημείων είναι 0.054m.

## 6.1 Φωτοσταθερά στην αρχή του δρόμου

Αρχικά, ελέγχθηκε η αβεβαιότητα του μοντέλου στην περίπτωση που χρησιμοποιούνταν φωτοσταθερά μόνο στην αρχή του δρόμου του Πύργου, όπως παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα με κόκκινο χρώμα. Τα φωτοσταθερά είναι τα εξής 12: 538, 106, 133, 536, 535, 537, 533, 63, 154, 532, 1531 και 1530.

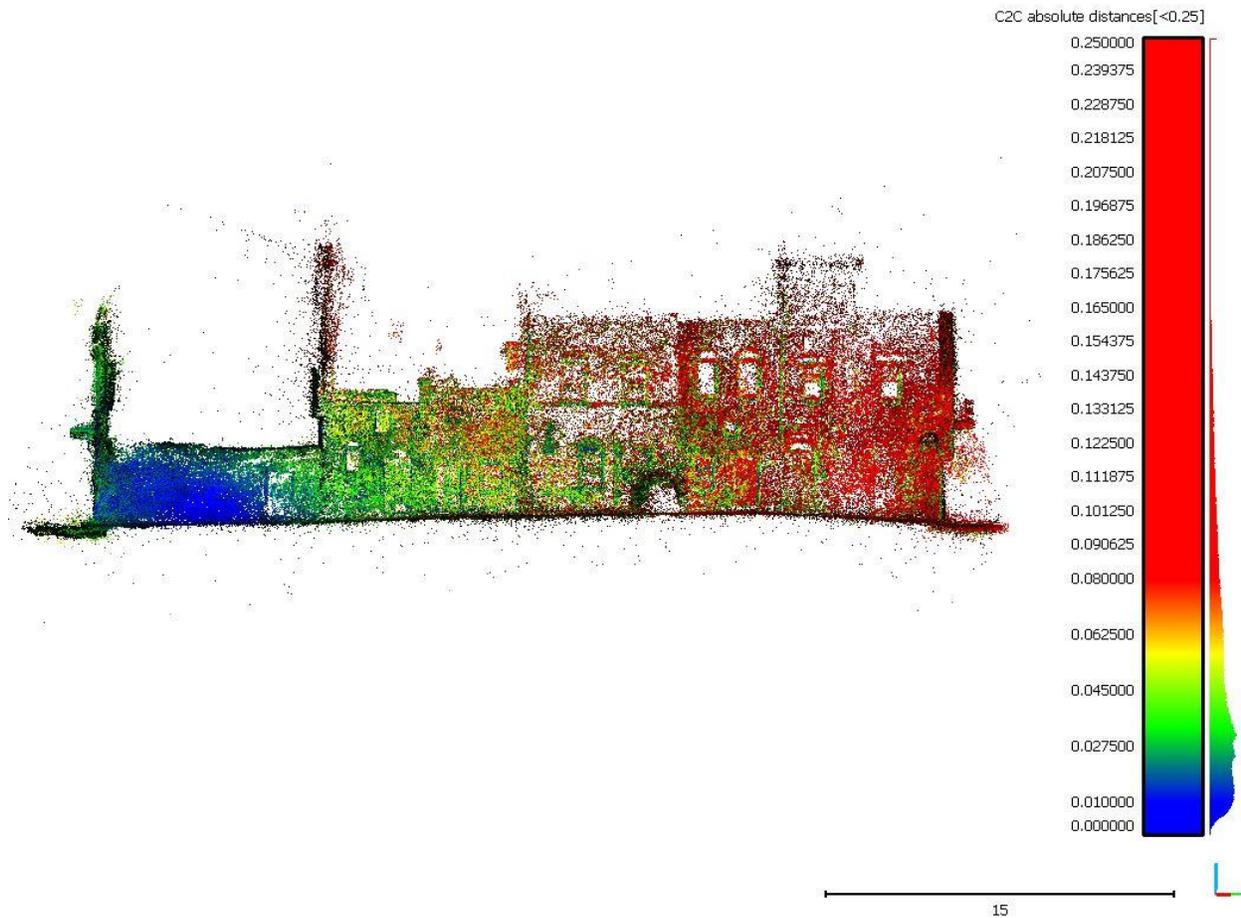


**Εικόνα 94:** Φωτοσταθερά στην αρχή του δρόμου

Με χρήση των 12 παραπάνω φωτοσταθερών, για την γεωαναφορά του συστήματος, προέκυψαν οι νέες συντεταγμένες του συνολικού αριθμού των φωτοσταθερών της Περιοχής 1. Υπολογίστηκαν οι διαφορές μεταξύ των αρχικών και τελικών συντεταγμένων των 39 φωτοσταθερών. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα και η τυπική απόκλιση των διαφορών για τις τρεις διαστάσεις στο χώρο προέκυψαν ως εξής:  $RMS_X = 0.103m$  με  $\sigma_X = 0.072m$ ,  $RMS_Y = 0.042m$  με  $\sigma_Y = 0.038m$ ,  $RMS_Z = 0.161m$  με  $\sigma_Z = 0.120m$ . Γίνεται αντιληπτό πως η μέση τιμή σφάλματος ( $RMS_{XYZ} = 0.196m$ ) είναι σημαντικά μεγάλη και κατά συνέπεια αποδεικνύεται ότι η χρήση φωτοσταθερών μόνο στην μία άκρη του μοντέλου δεν αποτελεί αξιόπιστη λύση για την επίτευξη της επιθυμητής ακρίβειας. Αυτό γίνεται ακόμα πιο εμφανές και μέσω της σύγκρισης του αραιού νέφους που προέκυψε με χρήση φωτοσταθερών σε ολόκληρο το τμήμα του δρόμου (νέφος αναφοράς) με εκείνο που

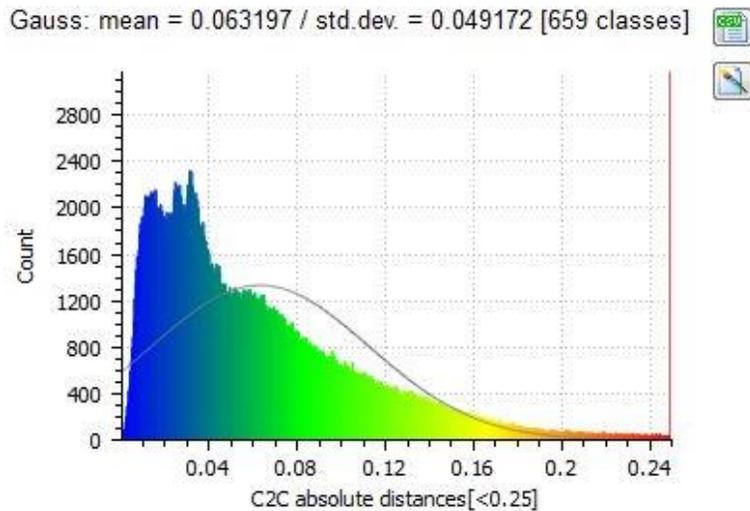
έχει φωτοσταθερά μόνο στην αρχή. Η μέση τιμή της απόκλισης μεταξύ των δύο νεφών είναι 0.06m, ενώ η τυπική απόκλιση είναι 0.05m. Όπως γίνεται φανερό από την επόμενη εικόνα, τα σημεία με μικρή απόκλιση των δυο νεφών (έως 2cm – απεικόνιση με μπλε χρώμα) βρίσκονται στο αριστερό τμήμα της πρόσοψης, ενώ όσο πιο δεξιά, και άρα σε μεγαλύτερη απόσταση από το σημείο που βρίσκονται τα φωτοσταθερά, οι αποκλίσεις αυξάνουν και λαμβάνουν τιμές μεγαλύτερες των 8cm κατά τα τελευταία 12m του δρόμου (απεικόνιση με κόκκινο χρώμα).

Η μεγάλη απόκλιση που παρουσιάζει η μέση τιμή του σφάλματος των φωτοσταθερών (0.196m) από αυτή του σφάλματος των νεφών (0.06m) σχετίζεται με την τεράστια διαφορά στο πλήθος σημείων κατά τον υπολογισμό των δυο μεγεθών. Το πρώτο μέγεθος έχει προκύψει από 39 σημεία, και κατά συνέπεια είναι πιο ευαίσθητο σε μεγάλα νούμερα, ενώ το δεύτερο από εκατοντάδες χιλιάδες. Αξίζει να τονιστεί τα αντίστοιχα διαγράμματα που απεικονίζονται στα επόμενα σενάρια έχουν την ίδια χρωματική κλίμακα έτσι ώστε να διευκολύνεται η άμεση οπτική σύγκριση.



**Εικόνα 95:** Αραιό νέφος με φωτοσταθερά μόνο στην αρχή (μπλε περιοχή)

Στο παρακάτω σχήμα (**Εικόνα 96**) απεικονίζεται το ιστόγραμμα των σφαλμάτων μεταξύ των δυο αραιών νεφών, καθώς και τα βασικά στατιστικά τους μεγέθη. Όπως φαίνεται, οι αποκλίσεις φτάνουν μέχρι και την τιμή των 0.25m, με το σχήμα της κατανομής να είναι θετικά ασύμμετρο καθώς υπάρχει σημαντικό πλήθος σημείων που είναι μεγαλύτερα από τη μέση τιμή. Όπως προκύπτει από το προηγούμενο σχήμα, που παρουσιάζει τη χωρική κατανομή των σφαλμάτων, τα σημεία αυτά αφορούν κυρίως στο άκρο του δρόμου που δεν έχει φωτοσταθερά.



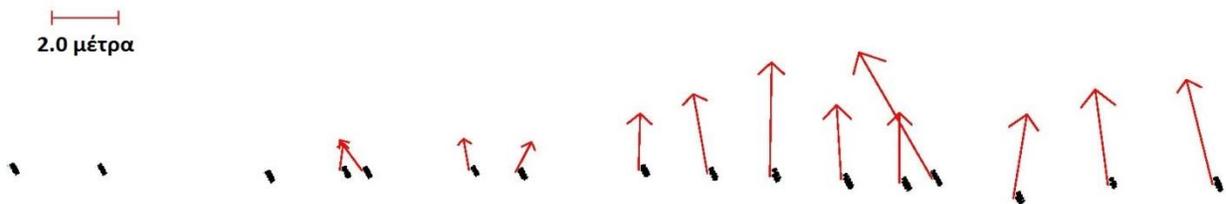
**Εικόνα 96:** Κατανομή Gauss

Τα διανύσματα μεταξύ των αρχικών και των τελικών συντεταγμένων σχεδιάστηκαν στο λογισμικό AutoCAD. Από τις παρακάτω εικόνες γίνεται αντιληπτή η υψομετρική και η οριζοντιογραφική μετατόπιση των φωτοσταθερών. Η αναπαράσταση των διανυσμάτων έχει πραγματοποιηθεί πάνω στην ορθοφωτογραφία της Δυτικής πλευράς, ενώ για να είναι διακριτά τα διανύσματα, το μήκος τους αυξήθηκε κατά 21 φορές (**Εικόνα 97**). Η ίδια τακτική ακολουθήθηκε και στις επόμενες ενότητες. Γίνεται αντιληπτό πως όσο πιο δεξιά στην εικόνα, τόσο μεγαλύτερο είναι και το διάνυσμα και κατά συνέπεια και το σφάλμα μεταξύ των συντεταγμένων. Αυτό διαπιστώθηκε και κατά τη σύγκριση των δύο νεφών. Επιπλέον, παρατηρείται μια συστηματικότητα στο σφάλμα, καθώς όλα τα διανύσματα έχουν διεύθυνση προς τα πάνω, γεγονός που φανερώνει πως οι νέες συντεταγμένες προκύπτουν σε μεγαλύτερο ύψος από τις αρχικές. Τέλος, από τα διανύσματα που απεικονίζονται παρακάτω παρατηρείται και μία στροφή του μοντέλου, η οποία οφείλεται στο «ελεύθερο» από φωτοσταθερά δεξιό τμήμα του δρόμου.



**Εικόνα 97:** Διανύσματα σφαλμάτων κάνοντας χρήση φωτοσταθερών μόνο στην αρχή

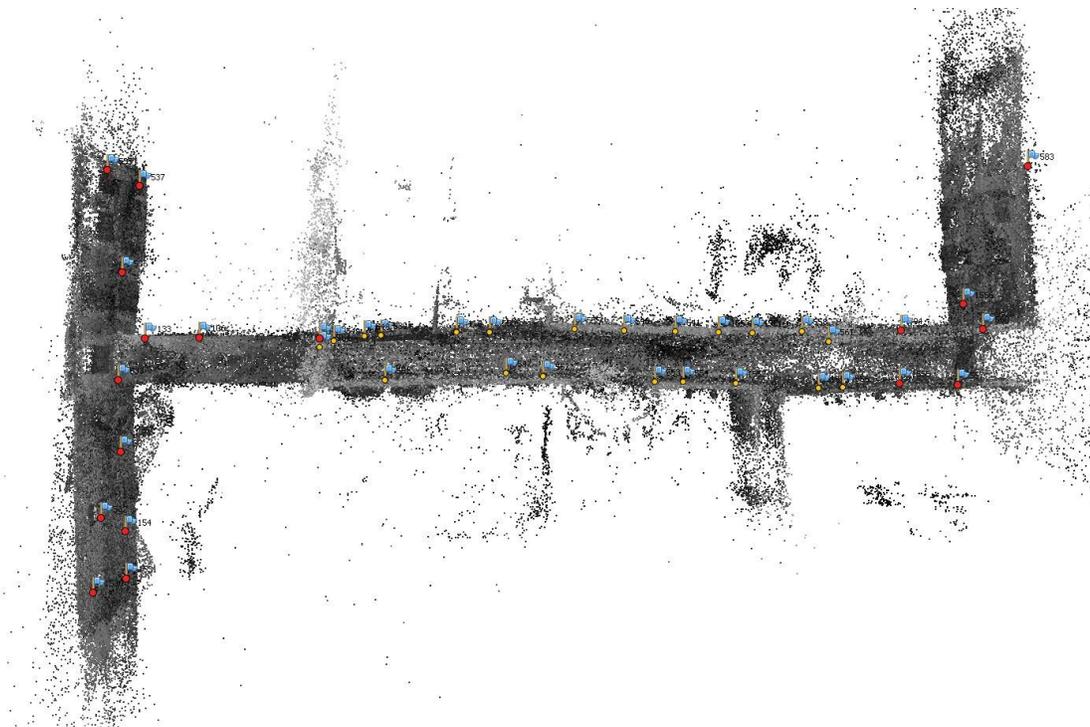
Επιπλέον, από τα διανύσματα που σχηματίζονται κατά τους άξονες X, Y παρατηρείται πως η πλευρά του δρόμου παρουσιάζει σημαντική μετατόπιση προς τα έξω (προς τα Δυτικά), ενώ τα διανύσματα μεγαλώνουν όσο απομακρύνονται από τα φωτοσταθερά που έχουν λάβει μέρος στη γεωαναφορά του μοντέλου.



**Εικόνα 98:** Διανύσματα σφαλμάτων κατά τους άξονες X, Y

## 6.2 Φωτοσταθερά στην αρχή και στο τέλος του δρόμου

Στην συνέχεια ελέγχθηκε η ακρίβεια του μοντέλου στην περίπτωση χρησιμοποίησης φωτοσταθερών στην αρχή αλλά και στο τέλος του δρόμου. Με αυτή τη δοκιμή ελέγχεται το κατά πόσο καλά η σφαιρική κάμερα συνδέει τις δύο πλευρές του δρόμου στο ενδιάμεσο τμήμα της Περιοχής 1, στο οποίο δεν θα χρησιμοποιηθούν φωτοσταθερά. Έτσι, για την ένταξη του μοντέλου στο σύστημα αναφοράς χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια φωτοσταθερά με παραπάνω (τα οποία βρίσκονται στην αρχή του δρόμου) καθώς και τα φωτοσταθερά 583, 560, 1556, 94, 557 και 1555, τα οποία βρίσκονται στο τέλος του δρόμου. Στην παρακάτω εικόνα με κόκκινο χρώμα παρουσιάζονται τα φωτοσταθερά που χρησιμοποιήθηκαν.



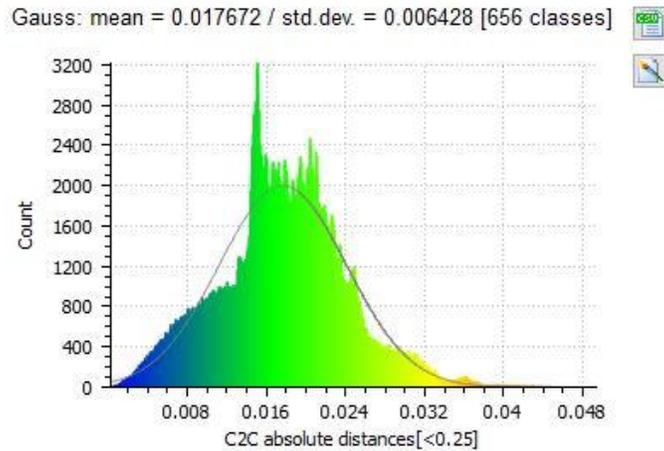
**Εικόνα 99:** Φωτοσταθερά στην αρχή και στο τέλος του δρόμου

Κάνοντας χρήση των παραπάνω 18 φωτοσταθερών, υπολογίστηκαν οι νέες συντεταγμένες όλων των φωτοσταθερών του μοντέλου. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα και η τυπική απόκλιση των διαφορών για τις τρεις διαστάσεις στο χώρο προέκυψαν ως εξής:  $RMS_x = 0.031m$  με  $\sigma_x = 0.032m$ ,  $RMS_y = 0.027m$  με  $\sigma_y = 0.027m$ ,  $RMS_z = 0.040m$  με  $\sigma_z = 0.037m$ . Γίνεται αντιληπτό πως η μέση τιμή του συνισταμένου σφάλματος ( $RMS_{xyz} = \pm 0.058m$ ) είναι σημαντικά μικρότερη από εκείνη που προέκυψε με χρήση φωτοσταθερών μόνο στο ένα άκρο. Πέραν αυτού, η ακρίβεια του μοντέλου είναι παρόμοια με εκείνη που προέκυψε κάνοντας χρήση όλων των φωτοσταθερών και κατά συνέπεια η χρήση φωτοσταθερών στις δύο άκρες του μοντέλου φαίνεται ότι αποτελεί μια αξιόπιστη λύση για την επίτευξη της επιθυμητής ακρίβειας. Το μεγάλο πλεονέκτημα της παρούσας διάταξης είναι η εξοικονόμηση χρόνου στη συλλογή των δεδομένων στο πεδίο, εφόσον δεν χρησιμοποιήθηκε μεγάλο μέρος των φωτοσταθερών και δεν χρησιμοποιήθηκε κανένα από τα σημεία που μετρήθηκαν από την ενδιάμεση στάση της όδευσης. Η αποτελεσματικότητα της παρούσας διάταξης επιβεβαιώνεται και μέσα από την σύγκριση των δύο νεφών. Όπως φαίνεται στην επόμενη εικόνα, η απόκλιση των δυο νεφών είναι μικρότερη των 2.5cm (μπλε χρώμα) σε όλο το μήκος του δρόμου.



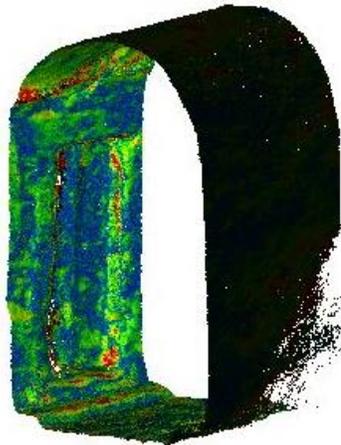
**Εικόνα 100:** Αραιό νέφος με φωτοσταθερά στην αρχή και στο τέλος

Το ιστόγραμμα των σφαλμάτων μεταξύ των δυο αραιών νεφών, καθώς και τα βασικά στατιστικά τους μεγέθη δίνονται στο επόμενο σχήμα (**Εικόνα 101**). Όπως φαίνεται, η μέση τιμή των αποκλίσεων είναι 1.7cm ενώ η τυπική απόκλιση 0.6cm. Το σχήμα του ιστογράμματος προσεγγίζει αυτό της κανονικής κατανομής.

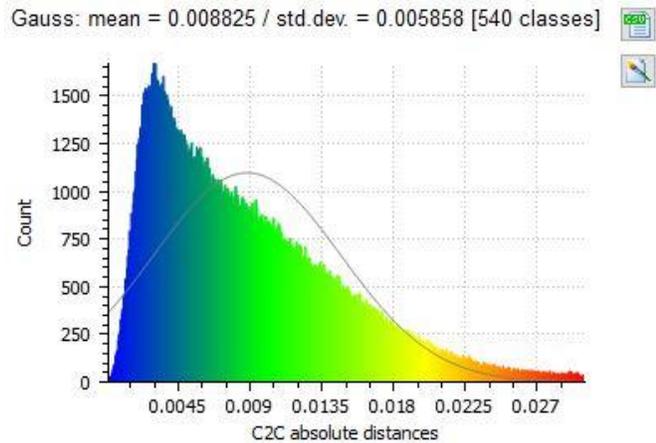


**Εικόνα 101:** Κατανομή Gauss

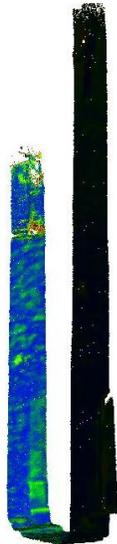
Τα παραπάνω αποτελέσματα είναι πολύ ενθαρρυντικά για την χρήση της σφαιρικής κάμερας και τον τρόπο που συνδέει αυτή τις δύο πλευρές του δρόμου. Αυτό μπορεί να δειχθεί με ποικίλους τρόπους. Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται οι συγκρίσεις, σε δύο τμήματα στη μέση της περιοχής μελέτης, οι οποίες φανερώνουν την μικρή απόκλιση μεταξύ των δύο πυκνών νεφών και συνεπώς την καθοριστική συνεισφορά της σφαιρικής κάμερας.



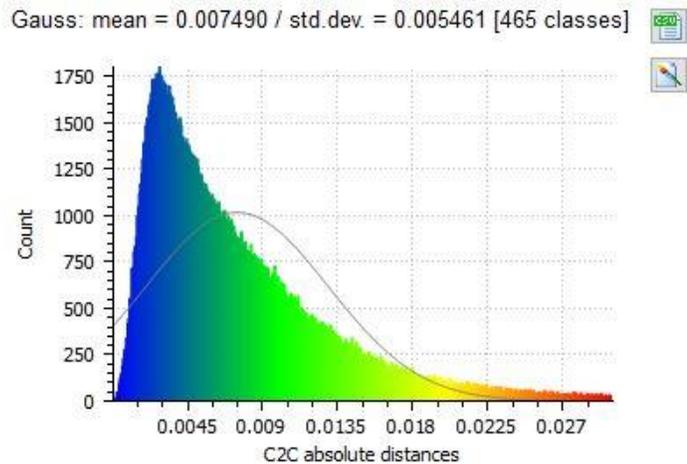
**Εικόνα 102:** Σύγκριση πυκνών νεφών 1



**Εικόνα 103:** Κατανομή Gauss και στατιστικά μεγέθη σύγκρισης 1



**Εικόνα 104:** Σύγκριση πυκνών νεφών 2



**Εικόνα 105:** Κατανομή Gauss και στατιστικά μεγέθη σύγκρισης 2

Στη συνέχεια (**Εικόνα 106**) απεικονίστηκαν πάνω στην ορθοφωτογραφία της Δυτικής όψης, τα διανύσματα των σφαλμάτων των φωτοσταθερών χρησιμοποιώντας τον ίδιο συντελεστή μεγέθυσής τους. Γίνεται αντιληπτό πως τα διανύσματα είναι πολύ μικρότερα από εκείνα της προηγούμενης δοκιμής, ενώ παρατηρείται συστηματικότητα στο σφάλμα εφόσον η διεύθυνση όλων των διανυσμάτων είναι προς τα κάτω.



**Εικόνα 106:** Διανύσματα σφαλμάτων κάνοντας χρήση φωτοσταθερών στην αρχή και στο τέλος

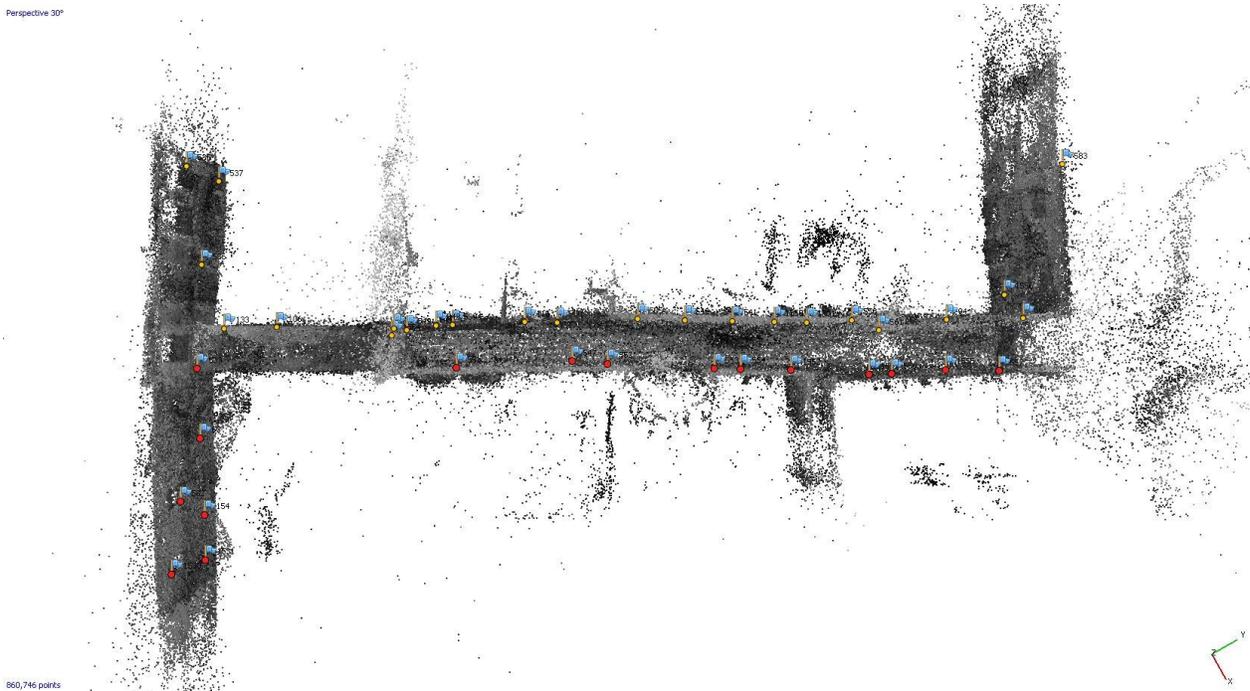


**Εικόνα 107:** Διανύσματα σφαλμάτων κατά τους άξονες X, Y

Η μεγαλύτερη απόκλιση μεταξύ των συντεταγμένων υπάρχει κατά τον άξονα Z, ενώ από τα διανύσματα σφαλμάτων κατά τους άξονες X,Y γίνεται αντιληπτό πως η μεγαλύτερη απόκλιση προκύπτει στα δύο σημεία που βρίσκονται στον δεύτερο όροφο και είναι της τάξης των 4.5cm. Σε όλα τα υπόλοιπα φωτοσταθερά παρουσιάζεται απόκλιση μικρότερη του 1.5cm.

### 6.3 Φωτοσταθερά στην Ανατολική πλευρά του δρόμου

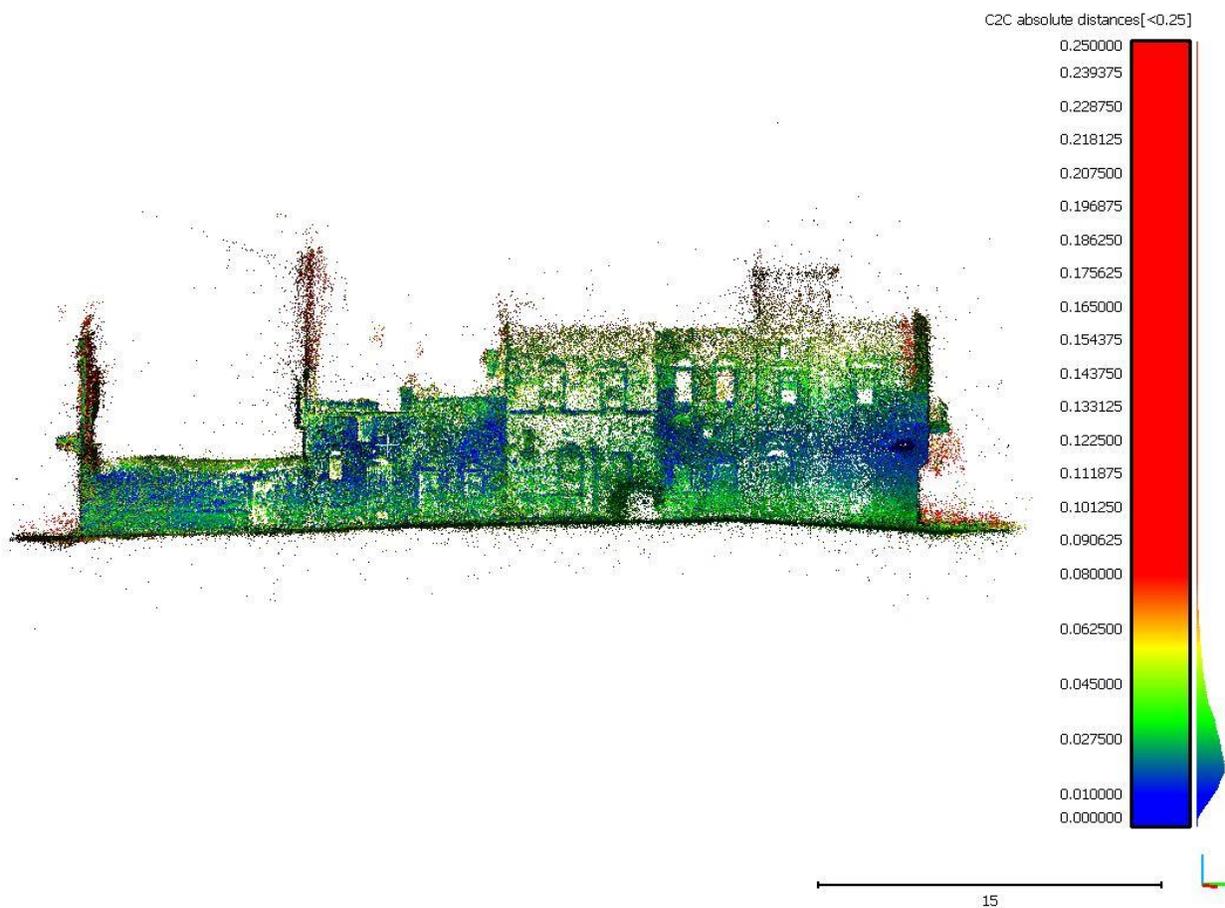
Στην επόμενη δοκιμή χρησιμοποιήθηκαν φωτοσταθερά μόνο στην μία πλευρά του δρόμου και συγκεκριμένα στην Ανατολική για να ελεγχθεί η ακρίβεια του μοντέλου και το πόσο μεταβάλλεται το πλάτος μεταξύ των δύο τοίχων σε περίπτωση που δεν υπάρχουν σημεία γνωστών συντεταγμένων στην Δυτική όψη. Τα φωτοσταθερά που απεικονίζονται με κόκκινο χρώμα είναι αυτά που συμμετέχουν στη διαδικασία.



**Εικόνα 108:** Φωτοσταθερά στην Ανατολική πλευρά

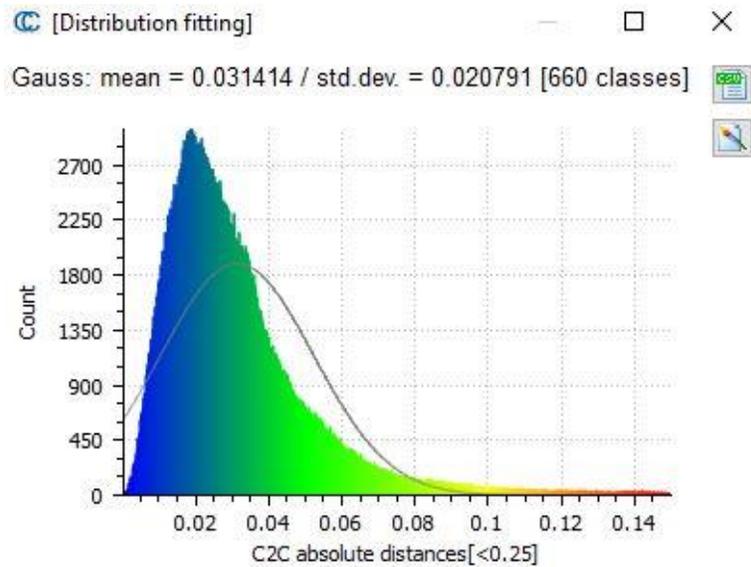
Από τη χρήση φωτοσταθερών μόνο στην μία πλευρά του δρόμου προέκυψαν οι νέες συντεταγμένες του συνολικού αριθμού των φωτοσταθερών της Περιοχής 1. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα και η τυπική απόκλιση των διαφορών για τις τρεις διαστάσεις στο χώρο προέκυψαν ως εξής:  $RMS_X = 0.040m$  με  $\sigma_X = 0.041m$ ,  $RMS_Y = 0.027m$  με  $\sigma_Y = 0.027m$ ,  $RMS_Z = 0.062m$  με  $\sigma_Z = 0.053m$ . Όπως προκύπτει, η μέση τιμή του συνισταμένου σφάλματος ( $RMS_{XYZ} = 0.078m$ ) είναι σημαντικά μεγαλύτερη από εκείνη που έχει το μοντέλο με σκόπευση 39 φωτοσταθερών. Συγκεκριμένα, σημαντικά μεγαλύτερη τιμή του μέσου τετραγωνικού σφάλματος εμφανίζεται στον άξονα Z των υψομέτρων.

Όπως παρατηρείται, στη σύγκριση μεταξύ των δύο νεφών, στη Δυτική πλευρά του δρόμου, κυριαρχεί το πράσινο και το μπλε χρώμα, ενώ διακρίνεται η διαφορά των χρωμάτων σε σχέση με την προηγούμενη σύγκριση. Οι τιμές απόκλισης στα τμήματα που απεικονίζονται με πράσινο χρώμα κυμαίνονται μεταξύ 0.03-0.06m (**Εικόνα 109**).



**Εικόνα 109:** Αραιό νέφος με φωτοσταθερά στην Ανατολική πλευρά

Το ιστόγραμμα των σφαλμάτων μεταξύ των δυο αραιών νεφών, καθώς και τα βασικά στατιστικά τους μεγέθη δίνονται στο επόμενο σχήμα (**Εικόνα 110**). Όπως φαίνεται, η μέση τιμή των αποκλίσεων είναι 0.03cm ενώ η τυπική απόκλιση 0.02cm.



**Εικόνα 110:** Κατανομή Gauss

Στη συνέχεια, απεικονίζονται τα διανύσματα των σφαλμάτων των φωτοσταθερών που υπάρχουν στη Δυτική πλευρά με τον ίδιο συντελεστή μεγέθυνσης.



**Εικόνα 111:** Διανύσματα σφαλμάτων με φωτοσταθερά στην Ανατολική πλευρά



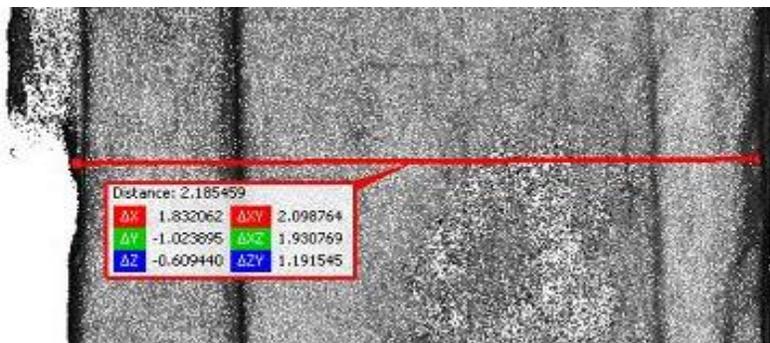
**Εικόνα 112:** Διανύσματα σφαλμάτων κατά τους άξονες X, Y

Από την **Εικόνα 111** παρατηρείται, πως τα σφάλματα παρουσιάζουν μια συστηματικότητα, καθώς η διεύθυνση όλων είναι προς τα κάτω. Το μέγεθος των

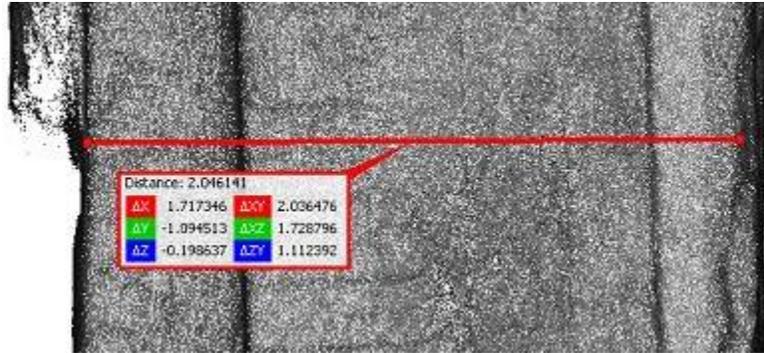
διανυσμάτων είναι φανερά μεγαλύτερο από εκείνων της προηγούμενης περίπτωσης, που χρησιμοποιήθηκαν φωτοσταθερά στην αρχή και στο τέλος του μοντέλου.

Από τα διανύσματα που απεικονίζουν την μεταβολή του τοίχου ως προς τους άξονες X,Y εξάγεται το συμπέρασμα πως το μεγαλύτερο σφάλμα παρουσιάζεται στα ψηλά τμήματα της πρόσοψης, τα οποία απομακρύνονται από την πλευρά που έχει φωτοσταθερά (Ανατολική). Αντίθετα, τα χαμηλά τμήματα της πρόσοψης παρουσιάζουν μια μετατόπιση προς την Ανατολική πλευρά, η οποία βέβαια είναι πολύ μικρότερη σε σύγκριση με την μετατόπιση στα ψηλά τμήματα. Αξίζει να αναφερθεί πως τα σημεία που βρίσκονται σε ενδιάμεσο ύψος παρουσιάζουν την μικρότερη απόκλιση, κάτι το οποίο φαίνεται και μετά τη σύγκριση των δύο νεφών, όπου στο ενδιάμεσο τμήμα των προσόψεων τα σημεία απεικονίζονται με μπλε χρώμα.

Η διαφορά στο πλάτος του δρόμου παρουσιάζεται στις παρακάτω εικόνες που απεικονίζουν τη μετρημένη απόσταση μεταξύ δύο σημείων στο επίπεδο του δρόμου. Η διαφορά που προκύπτει, με τη χρήση όλων των φωτοσταθερών και με φωτοσταθερά μόνο στην Ανατολική πλευρά, είναι 0.14m. Η απόσταση στο επίπεδο του δρόμου στην περίπτωση τοποθέτησης φωτοσταθερών στην Ανατολική πλευρά προκύπτει μικρότερη, κάτι το οποίο αποδείχθηκε και παραπάνω.



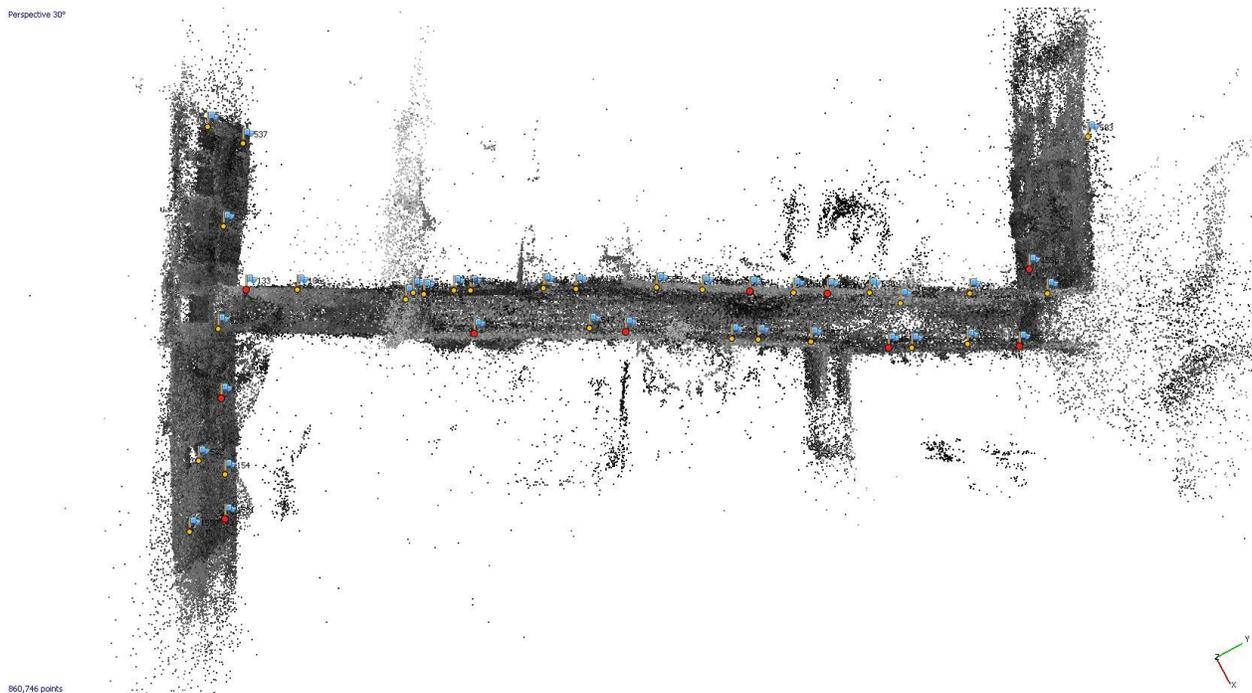
**Εικόνα 113:** Πλάτος δρόμου με φωτοσταθερά σε ολόκληρη τη περιοχή μελέτης



**Εικόνα 114:** Πλάτος δρόμου με φωτοσταθερά μόνο στην Ανατολική πλευρά

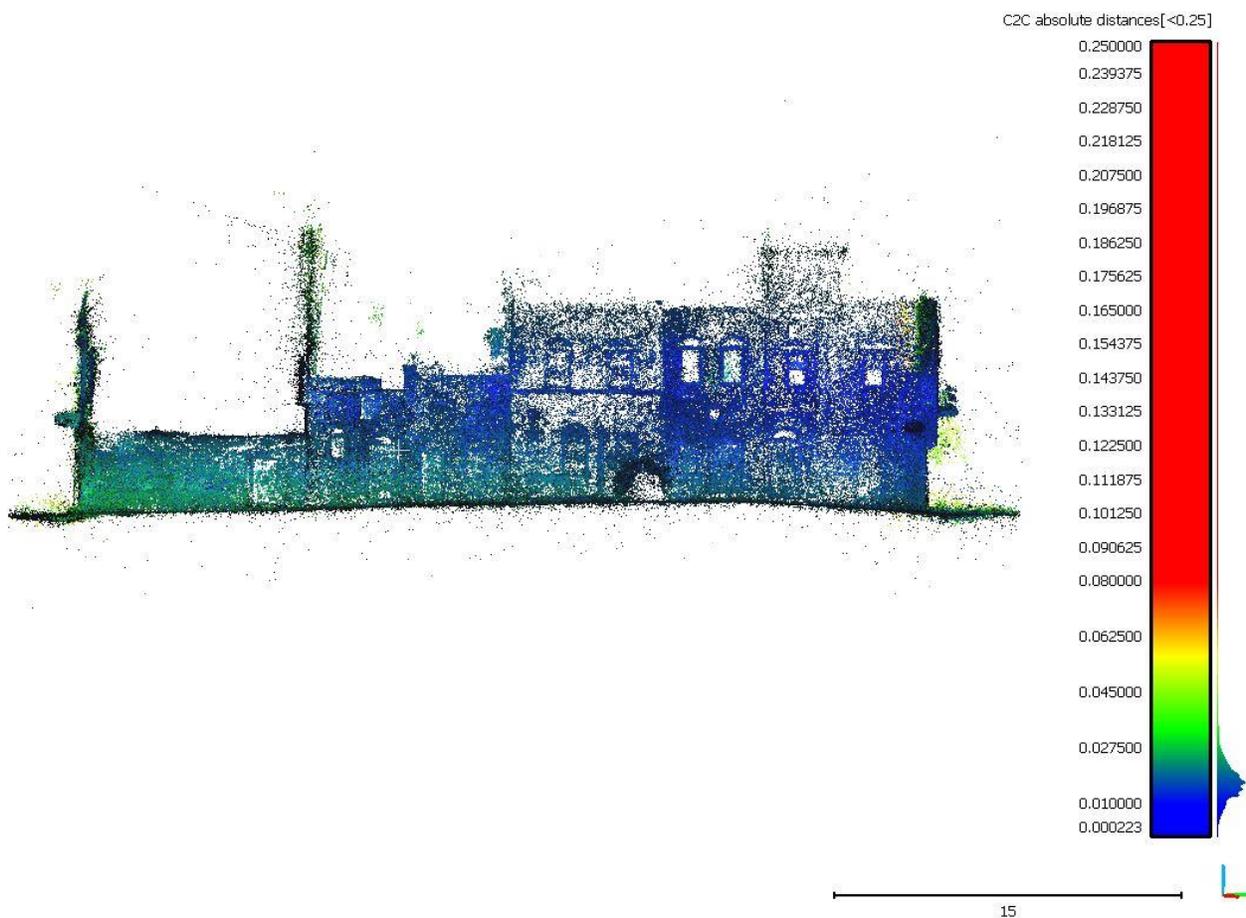
#### 6.4 Περιορισμένος αριθμός φωτοσταθερών σε ολόκληρο το τμήμα

Επόμενη δοκιμή για την ακρίβεια του μοντέλου αφορά στη χρήση περιορισμένου αριθμού φωτοσταθερών, ανομοιόμορφα κατανομημένων, κατά μήκος ολόκληρης της περιοχής του Πύργου. Το πλήθος των φωτοσταθερών που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα εξής 10: 63, 133, 541, 1531, 1551, 1553, 551, 552, 557 και 1556. Τα φωτοσταθερά αυτά απεικονίζονται παρακάτω με κόκκινο χρώμα.



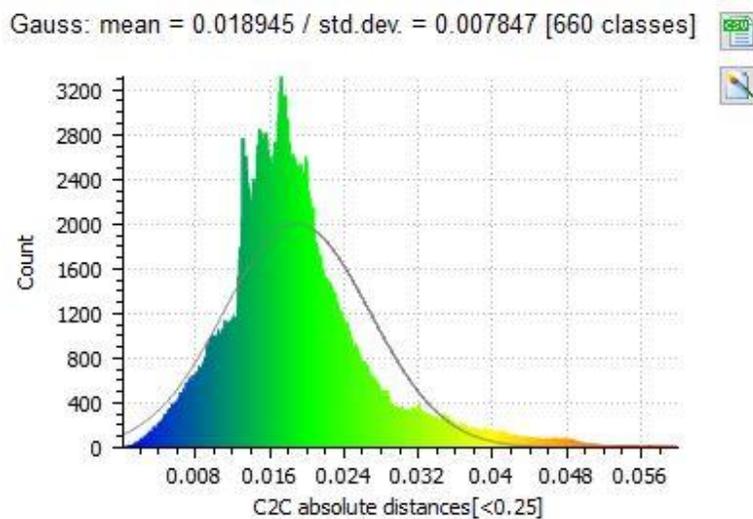
**Εικόνα 115:** Περιορισμένος αριθμός φωτοσταθερών κατά μήκος του δρόμου

Χρησιμοποιώντας περιορισμένο αριθμό φωτοσταθερών σε ολόκληρη την περιοχή μελέτης προέκυψαν οι νέες συντεταγμένες του συνολικού αριθμού των φωτοσταθερών της Περιοχής 1. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα και η τυπική απόκλιση των διαφορών για τις τρεις διαστάσεις στο χώρο προέκυψαν ως εξής:  $RMS_x = 0.034m$  με  $\sigma_x = 0.033m$ ,  $RMS_y = 0.026m$  με  $\sigma_y = 0.026m$ ,  $RMS_z = 0.040m$  με  $\sigma_z = 0.038m$ . Όπως προκύπτει, η μέση τιμή του συνισταμένου σφάλματος ( $RMS_{xyz} = 0.059m$ ) είναι πολύ κοντά στο σφάλμα που έχει το μοντέλο με τη χρήση και των 39 φωτοσταθερών, ενώ η μικρή απόκλιση μεταξύ των δύο νεφών φανερώνεται και με τη σύγκριση τους. Αυτή η δοκιμή είναι πολύ χρήσιμη για μελλοντική εφαρμογή του συστήματος σε μεγαλύτερη έκτασης περιοχές, καθώς μειώνει σημαντικά τον αριθμό των απαιτούμενων φωτοσταθερών και συνεπώς τον απαιτούμενο χρόνο εργασιών στο πεδίο.



**Εικόνα 116:** Αραιό νέφος με φωτοσταθερά κατά μήκος ολόκληρης της επιφάνειας

Όπως παρατηρείται στο στιγμιότυπο από την σύγκριση μεταξύ των δύο νεφών το χρώμα που κυριαρχεί είναι το μπλε (σφάλμα μικρότερο από 0.025m), όπως και στην περίπτωση της χρήσης φωτοσταθερών στην αρχή και στο τέλος του μοντέλου. Μόνο σε ένα μικρό τμήμα της επιφάνειας, στο αριστερά άκρο της πρόσοψης, παρουσιάζονται σημεία που τείνουν προς το πράσινο χρώμα, αλλά και σε αυτήν την περίπτωση η απόκλιση μεταξύ των νεφών δεν ξεπερνάει τα 0.03m (**Εικόνα 116**). Η μέση τιμή απόκλισης μεταξύ των νεφών είναι 0.02m και η τυπική απόκλιση 0.008m. Η τιμή της τυπικής απόκλισης φανερώνει και την ομοιογένεια του δείγματος.



**Εικόνα 117:** Κατανομή Gauss

Παρακάτω απεικονίζονται τα διανύσματα των σφαλμάτων που προέκυψαν σε αυτή τη δοκιμή. Παρατηρείται πως το μέγεθος των διανυσμάτων είναι λίγο μεγαλύτερο από εκείνων που προέκυψαν από τη συμμετοχή φωτοσταθερών στην αρχή και στο τέλος του μοντέλου. Επιπλέον, παρατηρείται και η συστηματικότητα των σφαλμάτων, καθώς στα άκρα τα διανύσματα έχουν διεύθυνση προς τα πάνω, ενώ όλα τα υπόλοιπα διανύσματα προς τα κάτω.



**Εικόνα 118:** Διανύσματα σφαλμάτων με φωτοσταθερά κατά μήκος όλου του δρόμου



**Εικόνα 119:** Διανύσματα σφαλμάτων κατά τους άξονες X, Y

Από τα διανύσματα σφαλμάτων κατά τους άξονες X,Y γίνεται αντιληπτό πως δεν υπάρχουν σημαντικές αποκλίσεις μεταξύ των συντεταγμένων. Οι μεγαλύτερες αποκλίσεις προκύπτουν στα χαμηλότερα και στα ψηλότερα τμήματα των προσόψεων (**Εικόνα 119**).

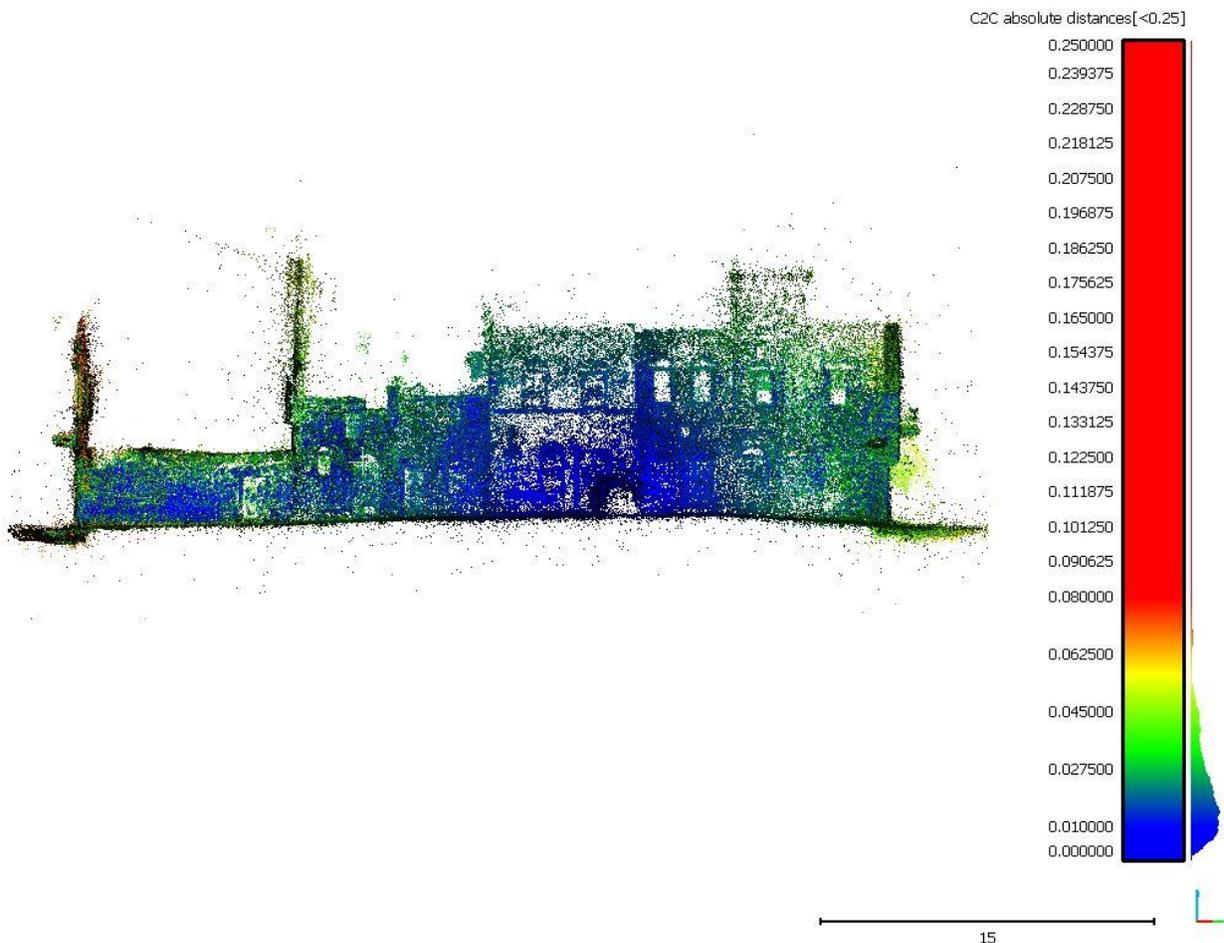
## 6.5 Χρήση δύο αποστάσεων για κλίμακα

Η τελευταία δοκιμή περιλαμβάνει την χρήση δύο «γνωστών» αποστάσεων, στο λογισμικό του Photoscan, ώστε να ορισθεί η κλίμακα. Για τις ανάγκες αυτής της δοκιμής χρησιμοποιήθηκε μία γνωστή απόσταση στην Ανατολική και μία στην Δυτική πλευρά του δρόμου. Οι αποστάσεις αυτές υπολογίστηκαν βάσει τεσσάρων μετρημένων φωτοσταθερών. Το «γνωστό μήκος» της Ανατολικής πλευράς είναι 15.470m, ενώ εκείνο της Δυτικής είναι 22.396m. Αυτό έγινε με σκοπό να εξαχθεί η πληροφορία της ακρίβειας του μοντέλου σε περίπτωση που γίνει χρήση μόνο δύο αποστάσεων.

Έπειτα από σειρά υπολογισμών το μέσο τετραγωνικό σφάλμα και η τυπική απόκλιση των διαφορών για τις τρεις διαστάσεις στο χώρο προέκυψαν ως εξής:  $RMS_X = 0.032m$  με  $\sigma_X = 0.032m$ ,  $RMS_Y = 0.035m$  με  $\sigma_Y = 0.031m$ ,  $RMS_Z = 0.052m$  με  $\sigma_Z = 0.051m$ . Γίνεται αντιληπτό πως η μέση τιμή του συνισταμένου σφάλματος ( $RMS_{XYZ} = 0.071m$ ) είναι

μεγαλύτερη από εκείνη του μοντέλου με τη χρήση και των 39 φωτοσταθερών, ενώ μεγαλύτερη τιμή σφάλματος αλλά και τυπικής απόκλισης εμφανίζεται στον άξονα των υψομέτρων.

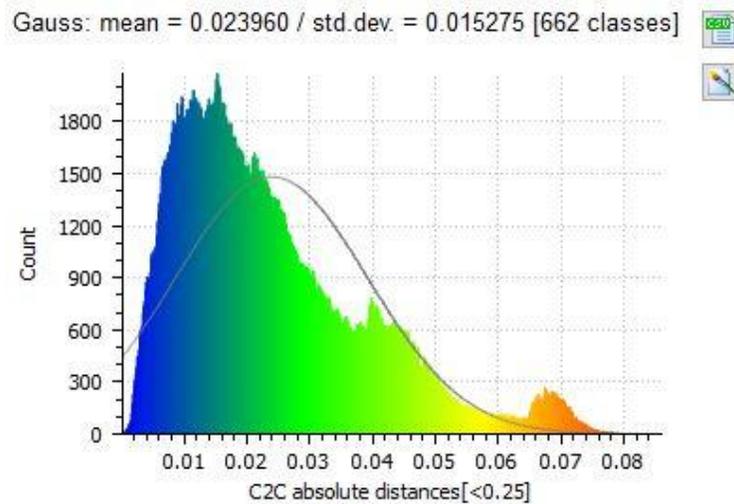
Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε σύγκριση μεταξύ των δύο νεφών και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω.



**Εικόνα 120:** Αραιό νέφος με χρήση μπαρών κλίμακας

Όπως φαίνεται στην παραπάνω απεικόνιση το χρώμα που υπερτερεί είναι το μπλε, ενώ στις άκρες του μοντέλου κυριαρχεί το πράσινο χρώμα. Η μπάρα κλίμακας σε αυτή την πρόσοψη έχει τοποθετηθεί στο τμήμα που τα σημεία παρουσιάζονται με μπλε χρώμα, ενώ εκτός αυτής τα σημεία έχουν πράσινο χρώμα. Το πράσινο χρώμα αντιπροσωπεύει απόκλιση εύρους 0.03-0.05m, ενώ τα μπλε σημεία έχουν απόκλιση μικρότερη των 0.025m,

που είναι και η μέση τιμή αβεβαιότητας των δύο νεφών. Η τυπική απόκλιση του δείγματος είναι 0.015m.



**Εικόνα 121:** Κατανομή Gauss

Η εφαρμογή του συστήματος και η ένταξη αυτού σε σύστημα αναφοράς χρησιμοποιώντας μόνο μετρημένες αποστάσεις δεν αποτελεί αξιόπιστη λύση, καθώς τα τμήματα που δεν έχουν μετρημένες αποστάσεις θα εμφανίζουν σημαντικά μεγαλύτερη αβεβαιότητα από αυτά που έχουν. Γίνεται αντιληπτό πως η χρήση του γεωδαιτικού σταθμού είναι απαραίτητη, αφού στα ψηλότερα τμήματα των προσόψεων δεν θα ήταν εφικτό να μετρηθούν αποστάσεις.

Στη συνέχεια απεικονίζονται τα διανύσματα σφαλμάτων για την Δυτική πλευρά του δρόμου.



**Εικόνα 122:** Διανύσματα σφαλμάτων χρησιμοποιώντας μετρημένες αποστάσεις



**Εικόνα 123:** Διανύσματα σφαλμάτων κατά τους άξονες X, Y

Η μεγάλη τυπική απόκλιση μεταξύ των δύο νεφών στα τμήματα όπου δεν υπάρχουν μετρημένα μήκη φαίνεται στο αριστερά άκρο της πρόσοψης. Το μέγεθος των διανυσμάτων σε αυτό το τμήμα είναι σημαντικά μεγαλύτερο από όλα τα υπόλοιπα. Επιπλέον, αξιοσημείωτη είναι η συστηματικότητα που εμφανίζουν τα σφάλματα, καθώς όσα σημεία είναι εκτός του τμήματος που έχει τοποθετηθεί η μπάρα για την κλίμακα, έχουν διάνυσμα με κατεύθυνση προς τα πάνω, ενώ τα διανύσματα των σημείων εντός αυτής έχουν κατεύθυνση προς τα κάτω. Για την ακριβέστερη δημιουργία του μοντέλου με την χρήση μόνο μετρημένων αποστάσεων θα ήταν χρήσιμη η μέτρηση περισσότερων αποστάσεων. Φυσικά, στα ψηλότερα τμήματα, το σφάλμα του μοντέλου θα είναι σημαντικά μεγαλύτερο, όπως φαίνεται και παραπάνω, για τα σημεία που βρίσκονται στον δεύτερο όροφο. Γίνεται αντιληπτή η ανάγκη για την μέτρηση σημείων με γεωδαιτικό σταθμό στο σύνολο της επιφάνειας ενδιαφέροντος.

## 6.6 Γενικά συμπεράσματα από τις δοκιμές

Η συστηματικότητα που παρατηρείται σε όλες τις δοκιμές οφείλεται στην κατανομή των φωτοσταθερών, καθώς η συντριπτική πλειονότητα αυτών βρίσκεται μέχρι το ύψος των 5m και μόλις 2 φωτοσταθερά βρίσκονται σε μεγαλύτερο ύψος.

Συνοψίζοντας, διαπιστώθηκε ότι ικανή λύση για την επίτευξη της επιθυμητής ακρίβειας του μοντέλου αποτελεί η χρήση φωτοσταθερών στην αρχή και στο τέλος της περιοχής μελέτης (Ενότητα 6.2). Αυτή η διάταξη επιτρέπει την σημαντική μείωση του χρόνου συλλογής των δεδομένων στο πεδίο και τον μετέπειτα χρόνο επεξεργασίας, καθώς προκύπτει πως μπορεί να επιτευχθεί ακρίβεια κοντά στα 5.5cm, χωρίς τη χρήση των

σημείων που μετρήθηκαν από την ενδιάμεση από τις τρεις στάσεις που ιδρύθηκαν στη περιοχή του Πύργου.

Σημαντικά αποτελέσματα για τυχόν μελλοντική εφαρμογή του συστήματος προέκυψαν και με την χρήση λιγότερων φωτοσταθερών σε ολόκληρη την περιοχή (Ενότητα 6.4). Τα αποτελέσματα που προέκυψαν είναι ενθαρρυντικά, καθώς η ακρίβεια του μοντέλου προέκυψε πολύ κοντά στην επιθυμητή, αλλά υστερεί σε σύγκριση με την προηγούμενη στην χρησιμοποίηση φωτοσταθερών και από τις τρεις στάσεις στην περιοχή του Πύργου. Αυτό σημαίνει πως δεν υπάρχει σημαντική διαφορά στο χρόνο συλλογής των δεδομένων.

Παρακάτω συνοψίζονται τα αποτελέσματα των βασικών στατιστικών μεγεθών όλων των σεναρίων. Στο **Πίνακας 8** παρουσιάζονται τα βασικά στατιστικά μεγέθη μεταξύ των 39 φωτοσταθερών της περιοχής του Πύργου, ενώ στο **Πίνακας 9** απεικονίζονται τα στατιστικά μεγέθη μεταξύ του συνολικού αριθμού σημείων της περιοχής μελέτης.

**Πίνακας 8:** Συγκεντρωτικός πίνακας βασικών στατιστικών μεγεθών των σφαλμάτων μεταξύ των 39 φωτοσταθερών

Θέση σημείων	Αριθμός Σημείων	Μέση τιμή σφάλματος (μ)	Τυπική απόκλιση (σ)
Αρχή του δρόμου	12	RMSx=0.103m, RMSy=0.042m, RMSz=0.161m	σχ=0.072m, σy=0.038m, σz=0.120m
		RMSxyz=0.196m	-
Αρχή και τέλος του δρόμου	18	RMSx=0.031m, RMSy=0.027m, RMSz=0.040m	σχ=0.032m, σy=0.027m, σz=0.037m
		RMSxyz=0.058m	-
Ανατολική πλευρά δρόμου	16	RMSx=0.040m, RMSy=0.027m, RMSz=0.062m	σχ=0.041m, σy=0.027m, σz=0.053m
		RMSxyz=0.078m	-
Σε ολόκληρο το δρόμο	10	RMSx=0.034m, RMSy=0.026m, RMSz=0.040m	σχ=0.033m, σy=0.026m, σz=0.038m
		RMSxyz=0.059m	-
Χρήση δύο μετρημένων αποστάσεων	2 «γνωστά» μήκη	RMSx=0.032m, RMSy=0.035m, RMSz=0.052m	σχ=0.032m, σy=0.031m, σz=0.051m
		RMSxyz=0.071m	-

**Πίνακας 9:** Συγκεντρωτικός πίνακας βασικών στατιστικών μεγεθών των σφαλμάτων του συνολικού πλήθους σημείων της Δυτικής επιφάνειας

<b>Θέση σημείων</b>	<b>Αριθμός Σημείων</b>	<b>Μέση τιμή σφάλματος (μ)</b>	<b>Τυπική απόκλιση (σ)</b>
<b>Αρχή του δρόμου</b>	12	0.063m	0.049
<b>Αρχή και τέλος του δρόμου</b>	18	0.017m	0.006
<b>Ανατολική πλευρά δρόμου</b>	16	0.031m	0.021
<b>Σε ολόκληρο το δρόμο</b>	10	0.019m	0.008
<b>Χρήση δύο μετρημένων αποστάσεων</b>	2 «γνωστά» μήκη	0.024m	0.015

## Κεφάλαιο 7<sup>ο</sup>

---

### 7 Συμπεράσματα – Προτάσεις

Στο κεφάλαιο αυτό συγκεντρώνονται τα κύρια συμπεράσματα που προέκυψαν κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας. Επιπλέον, παρουσιάζονται προτάσεις και κατευθυντήριες γραμμές στις οποίες θα μπορούσε να στηριχτεί η περαιτέρω μελέτη και εξέλιξη του συστήματος.

- Το σύστημα που αναπτύχθηκε, αποτελούμενο από δυο action cameras και μια σφαιρική μηχανή, είναι πολύ φθηνότερο από έναν σαρωτή laser και πολύ ταχύτερο για την συλλογή των δεδομένων από την εφαρμογή «παραδοσιακών» και δοκιμασμένων μεθόδων, όπως μία μηχανή DSLR ή ένα σύστημα UAV. Στην περίπτωση της Καλαμωτής είναι πολύ δύσκολο, ιδιαίτερα χρονοβόρο και εν τέλει αντισυμβατικό να εφαρμοστούν τα συστήματα αυτά λόγω του τεράστιου αριθμού εικόνων που απαιτούνται και της μορφολογίας της περιοχής (στενοί δρόμοι και ψηλά κτήρια, καλώδια ηλεκτρισμού κλπ), που εμποδίζει την πτήση UAV και περιορίζει κατά πολύ το εύρος κάλυψης με μια DSLR ακόμα και με την χρήση υπερευργώνιου φακού.
- Από την εκτενή βιβλιογραφική επισκόπηση αποδείχτηκε πως ο έλεγχος των παραμέτρων της σφαιρικής μηχανής, όπως είναι η εστιακή απόσταση και οι συντελεστές της ακτινικής και εφαπτομενικής διαστροφής του φακού, είναι περιορισμένος. Αυτό προκαλεί προβλήματα στους προσανατολισμούς των εικόνων και στην τελική ακρίβεια των ορθοφωτογραφιών. Το ζήτημα αυτό χρειάζεται περαιτέρω διερεύνηση.
- Η βαθμονόμηση των action cameras, λόγω της μεγάλης διαστροφής των ευρυγώνιων φακών τους, είναι απαραίτητη. Η διαδικασία αυτή δεν είναι εύκολο να πραγματοποιηθεί με μεγάλη ακρίβεια στο πεδίο.
- Η χρήση σφαιρικών εικόνων είναι απαραίτητη, καθώς εξασφαλίζει την σύνδεση μεταξύ των δυο πλευρών του δρόμου και παράλληλα μειώνει τον αριθμό των απαιτούμενων φωτοσταθερών. Όπως αποδείχτηκε, οι σφαιρικές εικόνες είναι απαραίτητες μόνο στο σχηματισμό του αραιού νέφους σημείων, ενώ αντίθετα η έντονη γεωμετρία τους δυσχεραίνει το σχηματισμό ενός ορθού πυκνού νέφους. Ο κύριος λόγος για αυτό είναι η χαμηλή ποιότητα εικόνας της σφαιρικής κάμερας σε συνδυασμό με τους υπερευργώνιους (180°) φακούς.

Αυτός ο συνδυασμός προκαλεί προβλήματα στην ποιότητα της διαδικασίας συνταύτισης των εικόνων. Επίσης η σύνδεση των δύο εικόνων (fisheye) σε μία (spherical) πολλές φορές χάνει την μετρητική της ακρίβεια καθώς το λογισμικό θέλει να δώσει γρήγορα την παραγόμενη εικόνα. Η ακρίβεια πιθανόν να ήταν μεγαλύτερη αν η σύνδεση των δύο εικόνων πραγματοποιούνταν σε κάποιο λογισμικό όπως το Matlab. Επιπλέον, λόγω της εξέλιξης των σφαιρικών μηχανών τα τελευταία χρόνια, οι αλγόριθμοι συνταύτισης των εικόνων είναι πιθανό να μην είναι ακόμα σε θέση να προσαρμοστούν στην επεξεργασία σφαιρικών εικόνων. Το ζήτημα αυτό χρειάζεται περαιτέρω διερεύνηση.

- Όπως παρατηρήθηκε, οι λείες επιφάνειες και οι μονοτονίες των χρωμάτων δυσκολεύουν τους αλγορίθμους συνταύτισης των εικόνων. Έτσι τα σημεία σύνδεσης που αναγνωρίζονται δεν αρκούν ώστε να σχηματιστεί ένα ορθό και πυκνό νέφος σημείων. Σε επιφάνειες με τα παραπάνω χαρακτηριστικά, οι κατάλληλες συνθήκες φωτισμού θα μπορούσαν να δώσουν υφή στο αντικείμενο και να οδηγήσουν στο σχηματισμό του επιθυμητού νέφους σημείων. Σε διαφορετική περίπτωση η χρήση σαρωτή Laser θα διευκόλυνε την συλλογή του νέφους.
- Από τις δοκιμές στη περιοχή της Πλάκας, παρατηρήθηκε πως δίνοντας προκαθορισμένες τιμές για τα στοιχεία της βαθμονόμησης στο λογισμικό του Photoscan, δεν επιτυγχάνεται η εξαγωγή ενός ορθότερου νέφους σημείων.
- Από την μελέτη εναλλακτικών σεναρίων για την βέλτιστη γεωαναφορά του μοντέλου, με στόχο την μεγιστοποίηση της ακρίβειας και την ελαχιστοποίηση του χρόνου, προκύπτει πως το παραπάνω μπορεί να επιτευχθεί ικανοποιητικά με χρήση φωτοσταθερών μόνο στις άκρες του μοντέλου. Αυτό αποδείχτηκε για μήκος δρόμου περίπου 40m. Βάσει των δοκιμών του συστήματος που έχουν πραγματοποιηθεί και της αξιολόγησης του, η χρήση φωτοσταθερών μόνο στις άκρες του μοντέλου θα παρείχε την επιθυμητή ακρίβεια για μήκος δρόμου 10-20m μεγαλύτερο από εκείνο της Περιοχής 1 (40m). Για μεγαλύτερο μήκος δρόμου, όπως εκείνο της Περιοχής 2 (105m), το ζήτημα αυτό χρειάζεται περαιτέρω διερεύνηση.
- Το σύστημα που αναπτύχθηκε και μελετήθηκε στην παρούσα εργασία είναι ικανό να παραγάγει ορθοφωτογραφίες ακρίβειας 0.05m (κλίμακα 1/200). Οι ορθοφωτογραφίες παρήχθησαν με εδαφοψηφίδα 4mm, καθώς υπήρχε η δυνατότητα για την αποτύπωση αυτού του μεγέθους λεπτομέρειας, βάσει και της κλίμακας φωτογράφισης. Η ακρίβεια του συστήματος θα μπορούσε να αυξηθεί αν χρησιμοποιούνταν καλύτερες φωτογραφικές μηχανές, όπως η Canon EOS 6D, ειδικές για φωτογραμμετρικούς σκοπούς. Επίσης, στον

σχηματισμό τρισδιάστατου μοντέλου μεγαλύτερης ακρίβειας, θα συνεισέφερε η καλύτερη κατανομή των φωτοσταθερών, καθώς αποδείχτηκε πως είναι απαραίτητη η χρήση αυτών σε ολόκληρη την επιφάνεια του μοντέλου και καθοριστική στις άκρες αυτού.

- Για την αποτύπωση των τμημάτων που ξεπερνούν τα 9.0m ύψος, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και μία τρίτη action camera. Έχοντας έναν μεγαλύτερο στυλαίο, που φτάνει τα 7.0m ύψος, η νέα action camera θα τοποθετούταν στα 6.5m.
- Με σκοπό την εξέλιξη της αυτονομίας του συστήματος και την επιτάχυνση της διαδικασίας εφαρμογής του θα μπορούσε να συμπεριλάβει συστήματα GNSS (Global Navigation Satellite System). Το σύστημα που αναπτύχθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι ικανό να συλλέξει δεδομένα για μήκος δρόμου 350m σε 45 λεπτά, ενώ το συνολικό μήκος των δρόμων του οικισμού της Καλαμωτής είναι περίπου 3.0km. Αν συνυπολογιστούν οι δυσκολίες της εφαρμογής του συστήματος (εμπόδια, συνθήκες φωτισμού), ο χρόνος που χρειάζεται για την συλλογή δεδομένων ολόκληρου του χωριού είναι 7-8 ανθρωποημέρες.

## Βιβλιογραφία

---

- Agisoft. (2015). AgiSoft PhotoScan Professional (Version 1.2.6) (Software). (2016). Retrieved from <http://www.agisoft.com/downloads/installer/>.
- Al, H. et. (n.d.). Green ' s Functions and Boundary Value Problems Third Edition.
- Baltsavias, E. P. (1999). A comparison between photogrammetry and laser scanning, 83–94.
- Barazzetti, L., Fangi, G., Remondino, F., & Scaioni, M. (2010). Automation in Multi-Image Spherical Photogrammetry for 3D Architectural Reconstructions.
- Barazzetti et al. (2017). 3D modelling with the SAMSUNG GEAR 360, *XLII*(March), 1–3. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W3-85-2017>
- Bolognesi, M., Furini, A., Russo, V., Pellegrinelli, A., Russo, P., & Heritage, C. (2015). Testing the low-cost rpas potential in 3d cultural heritage reconstruction, *XL*(February), 25–27. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W4-229-2015>
- Bradley, D. C., Rankohi, S., Rankin, J. H., & Waugh, L. M. (2015). An exploration of image-based walk through technologies.
- Brown, 1971. (n.d.). Brown, D.C., 1971, Close-range camera calibration, *Photogrammetry Engineering*, 37:855-866.
- CloudCompare. (2014). CloudCompare (version 2.8.1) [GPL software]. (2016). Retrieved from <http://www.cloudcompare.org/>.
- Fangi, G. (2009). CIPA HERITAGE DOCUMENTATION Documentation of Cultural Heritage, *XXXVIII*.
- Fassi, F., Fregonese, L., Ackermann, S., & Troia, V. De. (2013). Comparison between laser scanning and automated 3d modelling techniques to reconstruct complex and extensive cultural heritage areas ., *XL*(February), 25–26.
- Favalli et al. (2011). Author ' s Accepted Manuscript. *Computers and Geosciences*.

<https://doi.org/10.1016/j.cageo.2011.09.012>

Ferreira, V. (2015). 3D Reconstruction with Fisheye Images.

Fiorillo et al. (2013). 3d Surveying and modelling of the Archaeological Area of Paestum , Italy, 55–60.

Fonstad, M.A. and Dietrich, J.T. and Courville, B.C. and Jensen, J. L. and C. (2017). Topographic structure from motion: a new development in photogrammetric measurement, *44*(January).

Green, S. (2014). A Comparative Assessment of Structure from Motion Methods for Archaeological Research, (June). <https://doi.org/10.1016/j.jas.2014.02.030>

He, F., & Ayman, H. (2015). Target-based and feature-based calibration of low-cost digital cameras with large field-of-view, (May).

K. Kwiatek R. Tokarczyk. (2014). Photogrammetric applications of immersive video cameras, *II*(June), 23–25. <https://doi.org/10.5194/isprsannals-II-5-211-2014>

Kedzierski, M. (2009). Application of digital camera with fisheye lens in close range photogrammetry, *2009*(1).

Kim et al. (2014). An Experiment of Three-Dimensional Point Clouds Using GoPro, *8*(1), 82–85.

Kwiatek, K., & Tokarczyk, R. (2015). Immersive Photogrammetry in 3D Modelling <sup>\*\*\*</sup>, *9*(2), 51–62.

Limongiello et al. (2016). Testing GoPro for 3D model reconstruction in narrow spaces Testing GoPro for 3D model reconstruction in narrow spaces, (September). <https://doi.org/10.21014/acta>

Nibale et al. (2011). Image based modeling from spherical photogrammetry and structure for motion . The case of the treasury , nabatean architecture in petra, 62–73.

Remondino, F. (2014). Detectors and descriptors for photogrammetric applications,

(January 2006).

Remondino, F., Gaiani, M., Apollonio, F., Ballabeni, A., Ballabeni, M., & Morabito, D. (2016). 3D documentation of 40 kilometers of historical porticoes - The challenge. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 41(July), 711–718. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XLI-B5-711-2016>

Remondino, F., & Nocerino, E. (2014). State of the art in high density image matching, (October). <https://doi.org/10.1111/phor.12063>

Shum, H., & Szeliski, R. (2002). Correction to Construction of Panoramic Image Mosaics with Global and Local Alignment \*, 36(2), 151–152.

Strecha, C., Zoller, R., Rutishauser, S., Brot, B., Krull, M., Glassey, L., ... Fua, P. (2015). Quality assessment of 3d reconstruction using fisheye and perspective sensors, II(March), 25–27. <https://doi.org/10.5194/isprsannals-II-3-W4-215-2015>

Tassetti, A. N., & Malinverni, E. d'Annibale. (2013). From panoramic photos to a low-cost photogrammetric workflow for cultural heritage 3d documentation, XL(September), 2–6.

Teo, T. (2015). Video-Based Point Cloud Generation Using Multiple Action Cameras. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 40(4W5), 55–60. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-4-W5-55-2015>

Thoeni, K., & Giacomini, A. (2012). Efficient Photogrammetric Reconstruction of Highwalls in Open Pit Coal Mines, (January).

Thoeni, K., & Giacomini, A. (2014). A Comparison of Multi-view 3D Reconstruction of a Rock Wall using Several Cameras and a Laser Scanner, (June). <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-573-2014>

Westoby et al. (2012). Geomorphology “ Structure-from-Motion ” photogrammetry : A low-

cost , effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179, 300–314.  
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.08.021>

Δαμαλάς, Γ. Ι. (1988). *ΕΝΑ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΟ ΜΕΣΑΙΩΝΙΚΟ ΜΑΣΤΙΧΟΧΩΡΙ ΤΗΣ ΧΙΟΥ*.

Πέτσα, Έ. (2000). Θεμελιώδεις Έννοιες και Θεμελιώδη Προβλήματα της Φωτογραμμετρίας.