

# ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΟΜΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΑΠΟ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ:

Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΒΑΡΒΑΚΕΙΟΥ  
ΑΓΟΡΑΣ, ΑΘΗΝΑ



ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ ΒΟΥΚΕΛΑΤΟΥ

Αρχιτέκτων Μηχανικός



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ | ΣΧΟΛΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Δ.Π.Μ.Σ Έρευνα στην Αρχιτεκτονική: Σχεδιασμός – Χώρος – Πολιτισμός  
Κατεύθυνση Β': Προωθημένα Ζητήματα Αρχιτεκτονικού Σχεδιασμού

**ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΟΜΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΑΠΟ  
ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ: Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΠΛΑΤΕΙΑΣ  
ΒΑΡΒΑΚΕΙΟΥ ΑΓΟΡΑΣ, ΑΘΗΝΑ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Αικατερίνη Βουκελάτου**

Διπλωματούχος Αρχιτέκτων Μηχανικός

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ

**Σωτήριος Κωτσόπουλος**

Αναπληρωτής Καθηγητής

ΣΥΜΒΟΥΛΟΣ

**Σταμάτης Χατζησταμάτης**

Αθήνα, Νοέμβριος 2024

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Η παρούσα έρευνα αποτελεί διπλωματική εργασία που εκπονήθηκε στο πλαίσιο του Μεταπτυχιακού Προγράμματος του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου Δ.Π.Μ.Σ *Έρευνα στην Αρχιτεκτονική: Σχεδιασμός – Χώρος – Πολιτισμός*, στην Κατεύθυνση Β': *Προωθημένα Ζητήματα Αρχιτεκτονικού Σχεδιασμού*. Ολοκληρώνοντας την προσπάθειά μου, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλους όσους συνέβαλαν στην επίτευξη αυτού του στόχου.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κύριο Σωτήριο Κωτσόπουλο, ο οποίος με στηρίζει ενεργά από την έναρξη αυτού του ακαδημαϊκού ταξιδιού έως και την ολοκλήρωσή του. Τον ευχαριστώ για την καθοδήγηση, τις εύστοχες παρατηρήσεις και την άμεση ανταπόκρισή του σε κάθε στάδιο αυτής της πορείας. Η εμπειρία και οι πολύτιμες συμβουλές του, διαδραμάτισαν καθοριστικό ρόλο στην επιτυχή ολοκλήρωση της φοίτησής μου αλλά και της παρούσας έρευνας.

Ακόμα, ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στο σύμβουλο αυτής της έρευνας, κύριο Σταμάτη Χατζησταμάτη, ο οποίος με τις εξειδικευμένες θεωρητικές και τεχνικές γνώσεις του, ήταν παρών σε κάθε δυσκολία.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την ειλικρινή ευγνωμοσύνη μου στην οικογένειά μου για την αγάπη, την κατανόηση, την υπομονή που επέδειξαν, καθώς και την διαρκή υποστήριξή τους, χωρίς την οποία θα ήταν αδύνατη η υλοποίηση των ονείρων μου.



## **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
<hr/>	
ΜΕΡΟΣ 1 <sup>ο</sup>	
<hr/>	
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	
1.1 Φωτογραμμετρική Αποτύπωση & Παραγωγή Τρισδιάστατου Μοντέλου Δομικών Πληροφοριών (BIM) - Σκοπιμότητα.....	3
1.2 Μεθοδολογία & Διάρθρωση Εργασίας.....	6
1.3 Επιδιωκόμενα Αποτελέσματα.....	7
<hr/>	
ΜΕΡΟΣ 2 <sup>ο</sup>	
<hr/>	
ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	
2.1 Βασικές Αρχές Φωτογραμμετρικής Αποτύπωσης: Μέθοδοι & Μέσα.....	7
2.2 Φωτογραμμετρική Επεξεργασία – Παραγωγή Νέφους Σημείων.....	15
2.3 BIM Μοντελοποίηση.....	20
2.4 Σχετική Βιβλιογραφία – Εφαρμογές.....	22
<hr/>	
ΜΕΡΟΣ 3 <sup>ο</sup>	
<hr/>	
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ & ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ (WORKFLOW)	
3.1 Συλλογή Δεδομένων: Αποτύπωση Πεδίου με Εναέρια Φωτογραμμετρία.....	27
3.2 Επεξεργασία Δεδομένων.....	34
3.3 Τεκμηρίωση σε περιβάλλον BIM.....	40
<hr/>	
ΜΕΡΟΣ 4 <sup>ο</sup>	
<hr/>	
ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ – ΠΛΑΤΕΙΑ ΒΑΡΒΑΚΕΙΟΥ ΑΓΟΡΑΣ, ΑΘΗΝΑ	
4.1 Ανάλυση Πεδίου.....	44
4.2 Εργασίες Πεδίου: Συλλογή & Επεξεργασία Δεδομένων.....	46
4.3 Μεταφορά σε περιβάλλον BIM.....	58
<hr/>	
ΜΕΡΟΣ 5 <sup>ο</sup>	
<hr/>	
ΑΠΟΔΕΙΞΗ – ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ	
5.1 Αποτελέσματα.....	68
5.2 Σύνοψη και Αξιολόγηση.....	73
5.3 Περαιτέρω Έρευνα.....	78
<hr/>	
ΜΕΡΟΣ 6 <sup>ο</sup>	
<hr/>	
ΕΝΘΕΤΟ: Αρχιτεκτονικά Σχέδια Τεκμηρίωσης.....	79
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	81
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	84

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ.** Υπό το πρίσμα της Ευρωπαϊκής αλλά και εγχώριας κατεύθυνσης προς τη ψηφιοποίηση του κατασκευαστικού κλάδου, ως αποτέλεσμα της υιοθέτησης καινοτόμων μεθόδων και λογισμικών που προκύπτουν από τη σύγχρονη έρευνα στον τομέα της αποτύπωσης, καταγραφής και διατήρησης υφιστάμενων - και νέων - έργων, η παρούσα εργασία, αποσκοπεί στη συστηματική παρουσίαση μιας μεθοδολογίας αποτύπωσης, επεξεργασίας και τελικής παραγωγής τρισδιάστατου μοντέλου δομικών πληροφοριών (Building Information Model – BIM) υψηλής πιστότητας από Φωτογραμμετρία. Ειδικότερα, η εναέρια φωτογραμμετρία και οι αποτυπώσεις πεδίων με χρήση ψηφιακών καμερών, αποτελούν υψηλής ακρίβειας τεχνικές, χρήσιμες για τη συλλογή τρισδιάστατων μετρήσεων για την παραγωγή λεπτομερών νεφών σημείων τα οποία λειτουργούν ως υπόβαθρα για την παραγωγή τρισδιάστατων μοντέλων τεκμηρίωσης υφιστάμενων δομών (as-built modelling) σε περιβάλλον BIM. Η μελέτη περίπτωσης που εξετάζεται, ως πεδίο πειραματισμού και πρακτικής εφαρμογής της προτεινόμενης μεθοδολογίας, είναι η ευρύτερη περιοχή της πλατείας Βαρβακείου Αγοράς, στην Αθήνα, και οι περιμετρικές αυτής όψεις, ως αστικό πεδίο αρχιτεκτονικού και ιστορικού ενδιαφέροντος. Οι εργασίες πεδίου για τη συλλογή των απαραίτητων δεδομένων έλαβαν χώρα την περίοδο Μαΐου – Ιουνίου 2023. Σκοπός αυτής της μελέτης είναι η διαπίστωση της πιστότητας και αποτελεσματικότητας της τρισδιάστατης τεκμηρίωσης καθώς και η συζήτηση επί της προοπτικής ενσωμάτωσης τέτοιων μεθοδολογιών τόσο στην ίδια την αρχιτεκτονική σύνθεση όσο και στην εκπαιδευτική διαδικασία.

## **ΜΕΡΟΣ 1<sup>ο</sup>**

### **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

#### 1.1 Φωτογραμμετρική Αποτύπωση & Παραγωγή Τρισδιάστατου Μοντέλου Δομικών Πληροφοριών (BIM) – Σκοπιμότητα

Η σύγχρονη έρευνα στο πεδίο της τρισδιάστατης απεικόνισης έχει σημειώσει ραγδαία εξέλιξη τα τελευταία χρόνια, διευρύνοντας τις δυνατότητες του σχεδιασμού και της διαχείρισης έργων. Ειδικότερα, στον τομέα της τρισδιάστατης αποτύπωσης, οι ανερχόμενες τεχνολογίες των laser σαρωτών και της φωτογραμμετρίας σε συνδυασμό με την αξιοποίηση της τεχνολογίας του BIM (Building Information Modelling), έχουν διαδραματίσει καθοριστικό ρόλο στην παραγωγή διαρκώς βελτιούμενων τρισδιάστατων μοντέλων τόσο σε επίπεδο ευκρίνειας και πιστότητας όσο και σε επίπεδο ενσωματωμένης ψηφιοποιημένης πληροφορίας. Παρόλο που η τεχνολογία αυτή συχνά συσχετίζεται με ειδικότητες πέραν της Αρχιτεκτονικής (όπως Τοπογραφία, Αγρονομία, Χαρτογραφία, Πολιτική Μηχανική κ.α.), στην πραγματικότητα, βρίσκει άμεση εφαρμογή σε ζητήματα που κατεξοχήν εμπίπτουν στο πεδίο της Αρχιτεκτονικής, όπως στη διαχείριση και αξιοποίηση του υφιστάμενου αστικού κτηριακού αποθέματος, στην καταγραφή, διαφύλαξη και ανάδειξη έργων πολιτιστικής κληρονομιάς, ακόμα και στην ταχεία ανάλυση και αξιολόγηση πεδίων σε έκτακτη ανάγκη (περιπτώσεις φυσικών καταστροφών, πολέμου κ.α.). Παράλληλα, η σύγχρονη διεπιστημονική προσέγγιση του σχεδιασμού, επιτάσσει τη συνεργασία και ροή πληροφοριών μεταξύ των διαφορετικών ειδικοτήτων που συνεργάζονται στο εκάστοτε έργο, εντός ενός κοινού περιβάλλοντος εργασίας με δυνατότητα δυναμικής επεξεργασίας και ανατροφοδότησης. Ως εκ τούτου, η εργασία σε περιβάλλον BIM βρίσκει ολοένα και μεγαλύτερη ενσωμάτωση στον κατασκευαστικό κλάδο στην κατεύθυνση της προοδευτικά οριζόντιας εφαρμογής του.

Το BIM ορίζεται ως η ψηφιακή τρισδιάστατη αναπαράσταση ενός αντικειμένου που εκτός των γεωμετρικών και χωρικών χαρακτηριστικών των μερών που το απαρτίζουν, περιλαμβάνει και όλες τις δομικές και ποιοτικές πληροφορίες καθενός από αυτά. Ειδικότερα, το BIM διαφοροποιείται εννοιολογικά από τη συμβατική τρισδιάστατη απεικόνιση αντικειμένων καθώς τα παραγόμενα τρισδιάστατα μέρη, φέρουν παραμετροποιημένη πληροφορία που περιγράφει την τυπολογία (π.χ. αν πρόκειται για τοίχο, υποστύλωμα, άνοιγμα κ.λπ.), τη σύσταση (π.χ. τα υλικά), τη λειτουργική τους συνεισφορά (π.χ. αν έχουν στατικά φέροντα ρόλο στο σύνολο της κατασκευής, αν πρόκειται για υποστύλωμα) ακόμα και την ενεργειακή τους συμπεριφορά (π.χ. το ποσοστό της επιτρεπόμενης εισαγόμενης ηλιακής ενέργειας προς το εσωτερικό της κατασκευής, αν πρόκειται για υαλοπίνακα). Με άλλα λόγια, το BIM συστήνει μια λογική παραμετρικής σχεδίασης υφιστάμενων ή μη αντικειμένων με δομική μονάδα το ίδιο το στοιχείο (object oriented design) και όχι τις γραμμές που τα ορίζουν<sup>1</sup>.

Έτσι, το παραγόμενο μοντέλο αποτελεί μια ψηφιακή ανακατασκευή του αντικειμένου με χρήση «έξυπνων στοιχείων-μερών» (smart components), αντίστοιχων με αυτών μιας πραγματικής κατασκευής (τοιχούς, δάπεδα, σκάλες, οροφές κ.λπ.) τα οποία βρίσκονται σε συσχέτιση και αλληλεξάρτηση μεταξύ τους και προσδιορίζονται από αριθμητικές και ποιοτικές παραμέτρους, εντός ενός δυναμικού ψηφιακού περιβάλλοντος με δυνατότητα διαρκούς ενημέρωσης και ανατροφοδότησης. Επιπρόσθετα, η κατασκευαστική διαδικασία, ως κατεξοχήν συνεργατική διαδικασία, απαιτεί άμεση ροή κι ανταλλαγή πληροφοριών και τεχνογνωσίας μεταξύ των μελετητών των διαφορετικών ειδικοτήτων που εργάζονται στο κοινό έργο. Έτσι, ο πολυεπίπεδος συντονισμός, η διαχείριση και επιτήρηση των ανθρώπων αλλά και του έργου συνολικά, σε επίπεδο χρονικό, ενεργειακό, κόστους και ποιοτικού ελέγχου απαιτείται καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός έργου, από το σχεδιασμό μέχρι την ενδεχόμενη κατεδάφιση. Με το BIM επιτυγχάνεται η ενσωμάτωση των διοικητικών - εκτός των κατασκευαστικών - παραμέτρων που ορίζουν το έργο στο κοινό περιβάλλον εργασίας. Συνολικά, λόγω των πολλαπλών ωφελειών της η τρισδιάστατη τεκμηρίωση σε BIM, ως προσομοίωση της κατασκευής σε ψηφιακό περιβάλλον, αποτελεί καινοτομία και όλο και μεγαλύτερη μερίδα μηχανικών την έχουν υιοθετήσει.

Μάλιστα, τον Ιούνιο του 2024 στην Ελλάδα, εγκρίθηκε υπό την ηγεσία του Υπουργείου Υποδομών και Μεταφορών, η *Εθνική Στρατηγική για το Building Information Modelling (BIM)* που αποσκοπεί στην υλοποίηση του οράματος για μετασχηματισμό του κατασκευαστικού κλάδου με την επακόλουθη ψηφιοποίηση των λειτουργιών και του τρόπου εργασίας της συνολικής αλυσίδας αξίας μέσω της γενικευμένης υιοθέτησης του BIM<sup>2</sup>. Πιο συγκεκριμένα, το *Στρατηγικό Σχέδιο* για την εφαρμογή του BIM εμπεριέχει όλες τις δραστηριότητες που σχετίζονται με την ανάπτυξη οικοδομικών έργων από έργα υποδομών μέχρι εξειδικευμένες κατασκευαστικές δραστηριότητες (όπως ηλεκτρολογικές ή υδραυλικές εγκαταστάσεις)<sup>3</sup>.

Παράλληλα, σε εξέλιξη βρίσκεται το ερευνητικό έργο 'openDBL (Digital Building Logbook)', ένα έργο πρωτοβουλία για την προώθηση της υιοθέτησης του BIM, χρηματοδοτούμενο από το ευρωπαϊκό πρόγραμμα Horizon 2021-2027 με αναμενόμενη

---

<sup>1</sup> Bregianni, A. (2013) *BIM Development for Cultural Heritage Management*, Diploma Thesis, National Technical University of Athens: School of Rural & Surveying Engineering Lab of Photogrammetry & Politecnico di Milano: School of Architecture B.E.S.T Department

<sup>2</sup> Ελληνική Δημοκρατία Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών (2024) *Εθνική Στρατηγική και οδικός χάρτης για την εφαρμογή του Building Information Modelling (BIM)*, Ελληνική Δημοκρατία-Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών, Αθήνα, σ.4-5

<sup>3</sup> Ο.π.

ολοκλήρωση τον Οκτώβριο 2024. Στο πλαίσιο του έργου συμμετέχουν 13 εταιρείες από διαφορετικές Ευρωπαϊκές χώρες (Ιταλία, Πολωνία, Ρουμανία, Ισπανία, Εσθονία, Γερμανία, Λετονία, Ελλάδα) μεταξύ των οποίων και ο Δήμος Κηφισιάς. Στόχος του έργου είναι η σύσταση μιας νέας ανοικτής και εύχρηστης BIM πλατφόρμας, η οποία θα λειτουργεί σαν ψηφιακό αποθετήριο του συνόλου των πληροφοριών που ορίζουν ένα κτήριο με σκοπό τη διαφάνεια, την αποτελεσματική λήψη αποφάσεων και την άμεση ανταλλαγή πληροφοριών στον κατασκευαστικό τομέα, μεταξύ ιδιοκτητών, μελετητών, χρηστών και δημοσίων αρχών. Ειδικότερα, η openDBL πλατφόρμα θα διασφαλίζει ότι οι πληροφορίες και τα δεδομένα θα εναρμονίζονται με τα σύγχρονα Ευρωπαϊκά πρότυπα και απαιτήσεις, ενισχύοντας την κυκλική οικονομία και τις πράσινες πολιτικές της Ε.Ε. καθώς θα συμβάλλει στην παρακολούθηση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτηρίων αναδεικνύοντας τις ανάγκες συντήρησής τους. Τέλος, η πλατφόρμα θα υποστηρίξει τη σύνδεση των δεδομένων με εξωτερικές βάσεις δεδομένων ενσωματώνοντας τεχνολογίες αιχμής (όπως AI, Blockchain, IoT and VR)<sup>4</sup>. Το έργο θα χρησιμοποιήσει κάποια επιλεγμένα κτήρια αναφοράς, τα οποία αφού σαρωθούν για τη συλλογή των δεδομένων τους, στη συνέχεια, θα μεταφερθούν στο περιβάλλον της openDBL πλατφόρμας ως νέφη σημείων προκειμένου να εφαρμοστούν στην πράξη οι δυνατότητες της νέας πλατφόρμας. Μεταξύ άλλων, ο δήμος Κηφισιάς θα εφαρμόσει τις δυνατότητες της πιλοτικά στα κτήρια του Δημαρχείου και στη Βίλλα Μίχλ (παιδικός σταθμός), τα οποία θα σαρωθούν με χρήση λέιζερ σαρωτών και αισθητήρων και στη συνέχεια θα μοντελοποιηθούν για τη σύσταση «ψηφιακού βιβλίου καταγραφής» στο πλαίσιο του οράματος αποτύπωσης και καταγραφής υφιστάμενων κτηρίων.

Αναλυτικότερα, η αποτύπωση υφιστάμενων αντικειμένων (κατασκευών, κτηρίων, υποδομών κ.α.) βασίζεται στη συλλογή των απαραίτητων μετρικών πληροφοριών (μετρήσεων, διαστάσεων) και στην επακόλουθη τρισδιάστατη ή τριτοδιάστατη τεκμηρίωσή τους με αρχιτεκτονικά σχέδια αποδίδοντας, έτσι, γραφικά την υπάρχουσα κατασκευασμένη συνθήκη. Χάρη στην επιστήμη της Φωτογραμμετρίας και στη χρήση LiDAR τεχνικών, τα δεδομένα που συλλέγονται εκτός από μετρική πληροφορία, φέρουν πληροφορία υψούς και χρώματος καθώς αποτελούν φωτογραφίες οι οποίες στη συνέχεια, μετά από ψηφιακή επεξεργασία μεταφράζονται σε νέφη σημείων (point clouds). Παραδοσιακά, η διαδικασία της αποτύπωσης υλοποιούνταν εμπειρικά με χρήση συμβατικών μέσων (π.χ. μετροταινία, αλφάδι) καθιστώντας την εξαιρετικά χρονοβόρα με μεγάλα περιθώρια αστοχίας και αποκλίσεων σε επίπεδο ακρίβειας. Σήμερα όμως, διατίθενται ειδικά σχεδιαστικά εργαλεία, λογισμικά και μέσα που βελτιστοποιούν τη διαδικασία της αποτύπωσης, επιτρέποντας την ανάπτυξη μιας συστηματοποιημένης ροής εργασίας που συνοψίζεται σε τρία στάδια: τη συλλογή των δεδομένων, την επεξεργασία των δεδομένων και την τρισδιάστατη τεκμηρίωση σε περιβάλλον BIM (Scan-to-BIM). Μάλιστα, η διαδικασία αυτή αποδεικνύεται ωφέλιμη και σε επίπεδο διαχείρισης έργου καθώς η ακρίβεια που προσφέρει επιτρέπει την ορθή αξιολόγηση και επικοινωνία της υφιστάμενης κατάστασης και των αναγκών της μειώνοντας το ρίσκο πιθανών λανθασμένων εκτιμήσεων κατά τη φάση της προμελέτης του έργου.

Στο πλαίσιο της αναγκαιότητας ταχείας και αξιόπιστης καταγραφής του υφιστάμενου δομημένου αστικού περιβάλλοντος για τη διατήρηση ή τον ανασχεδιασμό του, αλλά και της εναρμόνισής του με τις επιταγές της σύγχρονης ψηφιακής επανάστασης του BIM στον κατασκευαστικό τομέα, η παρούσα εργασία αποσκοπεί στην παρουσίαση μιας μεθοδολογίας αποτύπωσης πεδίου αστικού ενδιαφέροντος με χρήση φωτογραμμετρίας

---

<sup>4</sup> One Step Open DBL Solution (openDBL) (2021). Available at: (<https://www.edi.lv/en/projects/one-step-open-dbl-solution-opendbl/>) (Accessed: 2 September 2024).



και επακόλουθης παραγωγής τρισδιάστατου μοντέλου δομικών πληροφοριών για την τεκμηρίωση του.

## 1.2 Μεθοδολογία και Διάρθρωση Εργασίας

Η παρούσα εργασία, ακολουθεί την εξής διάρθρωση: Μετά το πρώτο εισαγωγικό μέρος στη θεματική των φωτογραμμετρικών αποτυπώσεων και τρισδιάστατων αναπαραστάσεων σε περιβάλλον BIM και στη σκοπιμότητα αυτού, στο δεύτερο μέρος γίνεται η παρουσίαση του επιστημονικού πλαισίου στο οποίο εντάσσεται η εργασία, αναλύοντας τις βασικές θεωρητικές έννοιες που δανείζεται, τις μεθοδολογίες που ακολουθεί και τα διαθέσιμα ψηφιακά εργαλεία που χρησιμοποιεί. Ακόμα στο ίδιο μέρος, γίνεται συζήτηση των κατευθύνσεων και αναζητήσεων της σύγχρονης έρευνας, με την πλειοψηφία αυτών να αφορούν σε έργα πολιτιστικής κληρονομιάς και το ενδιαφέρον να εστιάζεται στο κομμάτι της ψηφιοποίησης και τρισδιάστατης αναπαραγωγής δομών, τόσο σε επίπεδο ανάπτυξης νέων ανοικτών BIM περιβαλλόντων εργασίας, όσο και αυτοματοποίησης διεργασιών εντός αυτών, για την ελαχιστοποίηση του ανθρώπινου λάθους και την επακόλουθη ενίσχυση των παραμέτρων λεπτομέρειας και πιστότητας των παραγόμενων ψηφιακών δομών.

Στο τρίτο μέρος της εργασίας, παρουσιάζεται μια μεθοδολογία φωτογραμμετρικής αποτύπωσης και ψηφιακής καταγραφής αντικειμένων, η οποία υποδιαιρείται σε τρία βασικά στάδια: στην επίσκεψη στο πεδίο για τη συλλογή των φωτογραφικών δεδομένων, στην ψηφιακή επεξεργασία αυτών με την αξιοποίηση σύγχρονων φωτογραμμετρικών λογισμικών (χρήση των Autodesk ReCap® και Agisoft Metashape®, εδώ) και τέλος τη ψηφιακή ανασυγκρότησή του στη φιλοσοφία της τρισδιάστατης παραγωγής μοντέλων δομικών πληροφοριών BIM (Autodesk Revit®, εδώ).

Στο τέταρτο μέρος, παρουσιάζεται η πρακτική εφαρμογή της παραπάνω μεθοδολογίας υπό τη μορφή αρχιτεκτονικού πειραματισμού με τις έννοιες, τα μέσα και τα σύγχρονα λογισμικά, σε επιλεγμένη μελέτη περίπτωσης. Η πλατεία της Βαρβακείου Αγοράς της Αθήνας, επιλέχθηκε για τρεις κύριους λόγους: Αρχικά, σε αντίθεση με την πλειονότητα των έως τώρα ερευνών αρχιτεκτονικού ενδιαφέροντος που εστιάζουν σε μικρής κλίμακας έργα πολιτιστικής κληρονομιάς, συνήθως μεμονωμένα κτήρια, εδώ, επιλέχθηκε ένα μεγαλύτερης κλίμακας αστικό τοπίο προκειμένου να διερευνηθούν οι προκλήσεις και η αποτελεσματικότητα της φωτογραμμετρικής αποτύπωσης σε μεγαλύτερη κλίμακα. Ακόμα, η επιλογή αυτού του πεδίου, εξυπηρετεί σε μια πιο ολοκληρωμένη παρουσίαση μεθοδολογίας φωτογραμμετρικής καταγραφής και τρισδιάστατης αναπαραστάσης καθώς συνδυάζει διαφορετικές υποπεριπτώσεις αντικειμένων με διαφορετικές απαιτήσεις ως προς την καταγραφή και τη μοντελοποίηση, όπως τοπογραφία, αρχιτεκτονικές όψεις κτηρίων, λεπτομέρειες διακόσμου και ειδικές κατασκευές. Τέλος, σε επίπεδο αρχιτεκτονικής πρακτικής, η φωτογραμμετρική αποτύπωση και η τρισδιάστατη BIM αναπαραγωγή της πλατείας της Βαρβακείου Αγοράς, ως περίπτωση εκτεταμένου πεδίου ιστορικού και αστικού ενδιαφέροντος, αποτελεί ευκαιρία συζήτησης επί της προοπτικής ταχείας εκτίμησης και αντίληψης πεδίου για την περαιτέρω αρχιτεκτονική παρέμβαση, είτε αυτή αφορά σε διατήρηση ή επανάχρηση είτε σε ολικό ανασχεδιασμό.

Στο πέμπτο και έκτο μέρος, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της τρισδιάστατης μοντελοποίησης σε μορφή αρχιτεκτονικών σχεδίων τεκμηρίωσης. Στη συνέχεια, ακολουθεί συζήτηση επί της διαδικασίας, των προκλήσεων, των αποτελεσμάτων και των

σημείων που χρήζουν περαιτέρω έρευνας, στη βάση της επιδίωξης συγκρότησης μιας μεθοδολογίας-εργαλείου με προοπτική ενσωμάτωσης στην αρχιτεκτονική συνθετική και ερευνητική διαδικασία.

### 1.3 Επιδιωκόμενα αποτελέσματα

Τα επιδιωκόμενα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας, συνοψίζονται στα παρακάτω σημεία:

- Επιτυχής συλλογή των απαραίτητων δεδομένων πεδίου με πτητικά μέσα (drone) σύμφωνα με τις αρχές της φωτογραμμετρικής αποτύπωσης.
- Επεξεργασία των φωτογραφικών δεδομένων πεδίου και παραγωγή του νέφους σημείων που θα λειτουργήσει ως ψηφιοποιημένο υπόβαθρο αναφοράς για την τρισδιάστατη μοντελοποίηση.
- Τρισδιάστατη BIM μοντελοποίηση για την εξαγωγή αρχιτεκτονικών σχεδίων τεκμηρίωσης.

Έχοντας ολοκληρώσει τα παραπάνω βήματα, σκοπός αυτής της εργασίας είναι η παρουσίαση μιας μεθοδολογίας αποτύπωσης και τρισδιάστατης αναπαράστασης αντικειμένου με την αξιοποίηση των αρχών της φωτογραμμετρίας και της BIM φιλοσοφίας σχεδιασμού, προκειμένου να ελεγχθούν και να συζητηθούν τα οφέλη ή μη μιας τέτοιας μεθοδολογίας, καθώς και η προοπτική εισαγωγής της στην αρχιτεκτονική συνθετική και ερευνητική διαδικασία.

## **ΜΕΡΟΣ 2<sup>ο</sup>**

### **ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ**

#### 2.1 Βασικές Αρχές Φωτογραμμετρικής Αποτύπωσης: Μέθοδοι & Μέσα

Η επιστήμη της φωτογραμμετρίας είναι τόσο παλιά όσο και η φωτογραφία, εξελίσσεται όμως, γοργά παράλληλα με την τεχνολογική πρόοδο και τα ψηφιακά μέσα που αυτή αναπτύσσει. Από την ανακάλυψή της, περί τα 150 χρόνια πριν, η φωτογραμμετρία έχει εξελιχθεί από πλήρως αναλογική, οπτικο-μηχανική τεχνική σε αναλυτική μέθοδο που βασίζεται σε υποβοηθούμενη από ηλεκτρονικό υπολογιστή (computer-aided) επίλυση μαθηματικών αλγορίθμων για την τελική μετάφραση των αντικειμένων σε τρισδιάστατες συντεταγμένες σημείων<sup>5</sup>. Σύμφωνα με την Αμερικανική εταιρεία Φωτογραμμετρίας και Τηλεπισκόπησης (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing – ASPRS, 1980), η Φωτογραμμετρία ορίζεται ως «η τέχνη, η επιστήμη και η τεχνολογία της συλλογής έγκυρων πληροφοριών αντικειμένων του φυσικού κόσμου και του περιβάλλοντος, μέσω της διαδικασίας καταγραφής, μέτρησης και ερμηνείας φωτογραφικών εικόνων και ηλεκτρομαγνητικών φαινομένων»<sup>6</sup>.

Η αποτύπωση με φωτογραμμετρία, περιλαμβάνει τρία βασικά στάδια: Τη *συλλογή των δεδομένων πεδίου*, που αφορούν σε πληροφορίες ιδιοτήτων και χαρακτηριστικών επιφανειών των αντικειμένων, και αποκτούνται χωρίς την άμεση επαφή με το

---

<sup>5</sup> Aber, J., A., Marzolf, I., Ries, B., J. (2010) 'Photogrammetry', in *Small-Format Aerial Photography: Principles, Techniques and Geoscience Applications*. 1<sup>st</sup> edn. Elsevier, pp. 23-29.

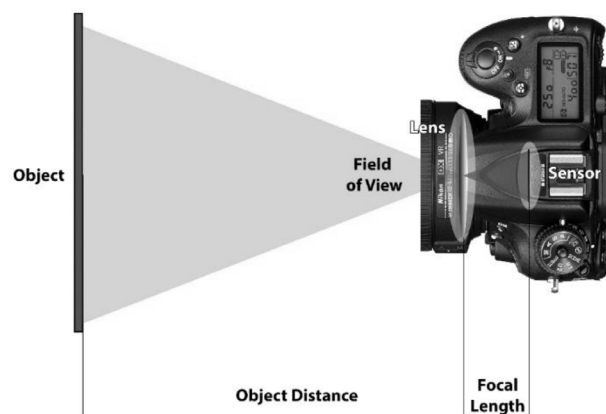
<sup>6</sup> Thompson, M. (ed.) (1966) *Manual of Photogrammetry*, 3rd edn. Falls Church, VA: American Society of Photogrammetry.

αντικείμενο. Οι διατάξεις που χρησιμοποιούνται για την απόκτηση των δεδομένων ονομάζονται *αισθητήρες*. Οι αισθητήρες, αποτελούνται από ένα οπτικό σύστημα και ένα σύστημα ανίχνευσης, τοποθετημένα πάνω σε πλατφόρμες. Μια τυπική μορφή ενός τέτοιου συστήματος είναι η φωτογραφική μηχανή (αισθητήρας) τοποθετημένη πάνω σε κάποιο πτητικό μέσο (πλατφόρμα). Το δεύτερο στάδιο, είναι η *επεξεργασία των δεδομένων* που γίνεται σε συνάρτηση με τα επιθυμητά τελικά φωτογραμμετρικά προϊόντα και πραγματοποιείται με χρήση κατάλληλου εξοπλισμού και οργάνων. Το τρίτο στάδιο, αφορά στην απόκτηση των επιθυμητών φωτογραμμετρικών προϊόντων όπως αυτά προκύπτουν από τις φωτογραμμετρικές διεργασίες επεξεργασίας και μπορεί να είναι γραφικά, αριθμητικά, εικονικά και φωτογραφικά<sup>7</sup>.

Σε θεωρητικό επίπεδο, η φωτογραμμετρία βασίζεται σε δύο σκέλη: τη *φωτογραφία*, η οποία θέτει τις αρχές που σχετίζονται με την εικόνα, και τη *μετρολογία* που σχετίζεται με μετρήσεις και τις τεχνικές παραγωγής τρισδιάστατων συντεταγμένων από δισδιάστατες φωτογραφίες<sup>8</sup>. Σε ό,τι αφορά στο κομμάτι της φωτογραφίας, τρεις είναι οι βασικές παράμετροι ρυθμίσεων για μια ευκρινή φωτογραφία, χρήσιμη για φωτογραμμετρία:

1. Οπτικό πεδίο (Field of view)
2. Εστίαση (Focusing)
3. Έκθεση (Exposure)

Το οπτικό πεδίο μιας κάμερας καθορίζει το πόσο «βλέπει» και είναι συνάρτηση της εστιακής απόστασης (focal length) του φακού και του μεγέθους του ψηφιακού αισθητήρα (format). Για παράδειγμα, για ένα δεδομένο φακό, ένας μεγαλύτερος αισθητήρας παρουσιάζει μεγαλύτερο οπτικό πεδίο. Όμοια, για δεδομένο αισθητήρα, ένας φακός μικρότερης εστιακής απόστασης έχει ευρύτερο οπτικό πεδίο. Η σχέση μεγέθους αισθητήρα – εστιακής απόστασης φακού – οπτικού πεδίου απεικονίζονται στην Εικόνα 2.1.1.



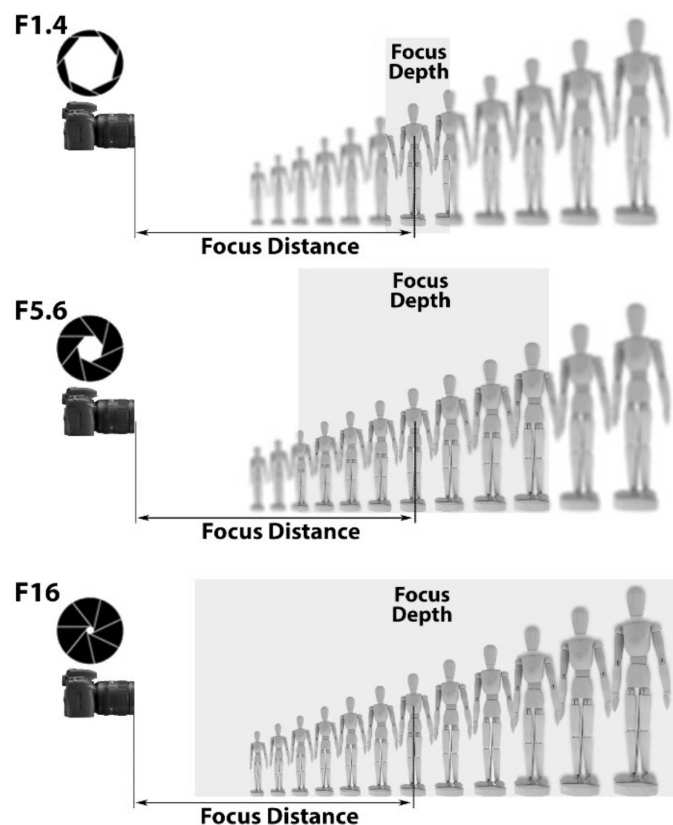
**Εικόνα 2.1.1:** Διάγραμμα απεικόνισης σχέσης αντικείμενου και αισθητήρα. Πηγή: Geodetic Systems

<sup>7</sup> Τσιώνης, Γ., (2017) *Φωτογραμμετρικές Μέθοδοι Αποτύπωσης και ελέγχου του Αιγαίου*. Διπλωματική Εργασία. Α.Π.Θ Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας και Ανάπτυξης.

<sup>8</sup> Geodetic Systems, (2023) *Basics of Photogrammetry*. Available at: <https://www.geodetic.com/basics-of-photogrammetry/#:~:text=Photogrammetry%20uses%20the%20basic%20principle,the%20pictures%20in%20the%20set> (Accessed: 2 September 2024).

Οι τυπικοί φακοί που επιλέγονται, συνήθως έχουν πενήντα μοίρες εύρος οπτικού πεδίου. Όσο ευρύτερο είναι το οπτικό πεδίο, τόσο περισσότερη πληροφορία μπορεί να ενταχθεί σε κάθε λήψη. Όμως, απαιτείται κάποιος συμβιβασμός μεταξύ εύρος οπτικού πεδίου και ακριβείας, όσον αφορά στην επιλεγμένη κάμερα που θα χρησιμοποιηθεί για τη Φωτογραμμετρική διαδικασία. Δηλαδή, παρόλο που οι ευρυγώνιοι φακοί καλύπτουν μεγαλύτερο τμήμα του αντικειμένου, τείνουν να εμφανίζουν μικρότερα επίπεδα ακριβείας λόγω ενδεχόμενων παραμορφώσεων των εικόνων. Για το λόγο αυτό, συνήθως επιλέγονται φακοί μεσαίου εύρους οπτικού πεδίου.

Η επόμενη παράμετρος ρύθμισης μιας ευκρινούς φωτογραφίας είναι η εστίασή της. Το εύρος της αποδεκτής εστίασης ονομάζεται «βάθος εστίασης» (depth of focus) και αποτελεί συνάρτηση πολλών παραγόντων όπως η εστιακή απόσταση του φακού, το μέγεθος του αισθητήρα, η απόσταση κάμερας και αντικειμένου, το μέγεθος του αντικειμένου και ο αριθμός  $f$  του φακού. Στην Εικόνα απεικονίζεται η σχέση μεταξύ του αριθμού  $f$ , της εστιακής απόστασης (focus distance) και του εστιακού βάθους (focus depth). Ειδικότερα, ρυθμίζοντας την εστίαση της κάμερας και θέτοντας υψηλό αριθμό  $f$ , μπορούν να ελαχιστοποιηθούν προβλήματα εστιακού βάθους, επιτυγχάνοντας βελτιωμένη ροή της φωτογραμμετρικής διαδικασίας.

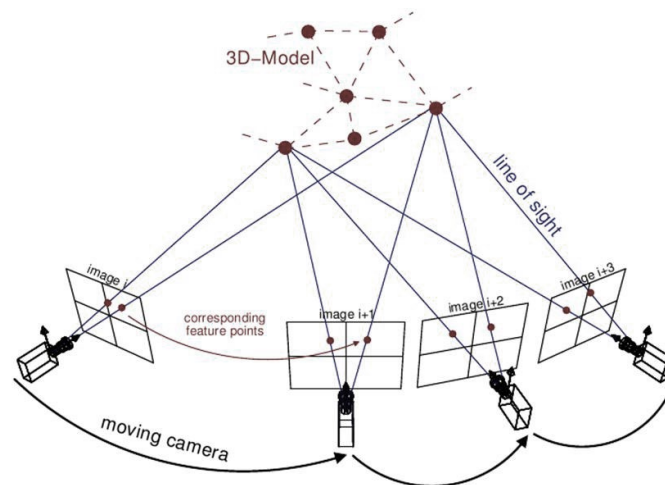


**Εικόνα 2.1.2:** Διάγραμμα εστίασης φακού σε συνάρτηση με το αντικείμενο. Πηγή: Geodetic Systems

Η τρίτη παράμετρος ευκρινείας φωτογραφίας σχετίζεται με την Έκθεση (Exposure) της ίδιας της εικόνας, του παρασκήνιου (background) και στόχου (target). Στη φωτογραμμετρία, είναι θεμιτό να έχουμε το αντικείμενο καλά φωτισμένο και το παρασκήνιο πιο σκοτεινό. Η έκθεση του στόχου καθορίζεται από το φλας ενώ αντίστοιχα η έκθεση του παρασκήνιου από το φυσικό φως της σκηνής. Πιο συγκεκριμένα, η έκθεση του παρασκήνιου ελέγχεται μέσω της ταχύτητας του κλείστρου και του αριθμού  $f$ . Όσο

πιο αργή είναι η ταχύτητα και πιο μικρός ο αριθμός, τόσο περισσότερο φως από την εικόνα εισέρχεται στους αισθητήρες της κάμερας, κάνοντας το παρασκήνιο πιο φωτεινό. Έτσι η 'έκθεση' αυξάνεται. Θεωρητικά, η εξάλειψη της έκθεσης παρασκήνιου θα επιφέρει το αποτέλεσμα που ζητείται, αλλά ταυτόχρονα θα γίνει πολύ δύσκολο να ξεχωρίσει ο στόχος μέσα στο πλάνο. Γι' αυτό συνήθως πραγματοποιείται ένας συμβιβασμός στις ρυθμίσεις έκθεσης, ώστε το πλάνο να είναι επαρκώς σκοτεινό αλλά παράλληλα το αντικείμενο επαρκώς φωτισμένο, ώστε να μπορεί να μετρηθεί στην περαιτέρω επεξεργασία.

Η φωτογραμμετρική επεξεργασία των εικόνων, βασίζεται στην αρχή της τριγωνοποίησης (triangulation). Η καταγραφή του αντικειμένου πραγματοποιείται με λήψη πολλαπλών



**Εικόνα 2.1.3:** Τριγωνοποίηση με χρήση πολλαπλών δισδιάστατων λήψεων του αντικειμένου από διαφορετικές ως προς αυτό θέσεις, Πηγή: European Commission

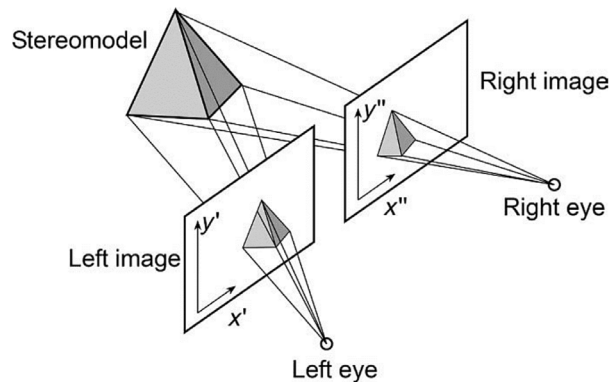
φωτογραφιών από τουλάχιστον δύο διαφορετικές, ως προς το αντικείμενο, θέσεις με σκοπό τη δημιουργία των επονομαζόμενων «οπτικών γραμμών» («lines of sight») μεταξύ της κάμερας και των σημείων πάνω στο αντικείμενο (Εικόνα 1). Αυτές οι γραμμές (συνικά ονομάζονται και «ακτίνες» (λόγω της οπτικής φύσης τους) και μαθηματικά μεταφράζονται σε τρισδιάστατες συντεταγμένες σημείων  $(x, y, z)$ <sup>9</sup>.

Η διαδικασία αυτή, μιμείται τον τρόπο με τον οποίο τα ανθρώπινα μάτια συνεργάζονται για την αντίληψη του χώρου, των αποστάσεων και του βάθους. Η στερεοσκοπική όραση είναι το φαινόμενο κατά το οποίο οι άνθρωποι μπορούν να αντιλαμβάνονται τις τρεις διαστάσεις των αντικειμένων χωρίς κάποιο επιπλέον όργανο, χάρη στη διόφθαλμη όρασή τους. Ειδικότερα, το κάθε ένα μάτι αποτυπώνει την εικόνα του ίδιου αντικειμένου από διαφορετική προοπτική και στη συνέχεια, ο εγκέφαλος συνδυάζει τις δύο εικόνες σε μία, δίνοντας έτσι την αντίληψη του βάθους<sup>10</sup>. Το βάθος γίνεται αντιληπτό με βάση τα σχετικά μεγέθη των αντικειμένων και των σκιών αυτών. Τα αντικείμενα αποτυπώνονται και στα δύο μάτια από δύο διαφορετικές θέσεις και η γωνία μεταξύ των δύο γραμμών όρασης (παραλλακτική γωνία) βοηθά τον εγκέφαλο να προσδιορίσει τις σχετικές αποστάσεις μεταξύ των αντικειμένων. Όσο μικρότερη είναι αυτή η γωνία, τόσο μεγαλύτερο είναι το

<sup>9</sup> Pinho, L. B., (2021) *Scan-to-BIM workflow: an overview and case study*, Master Thesis. Politecnico Milano.

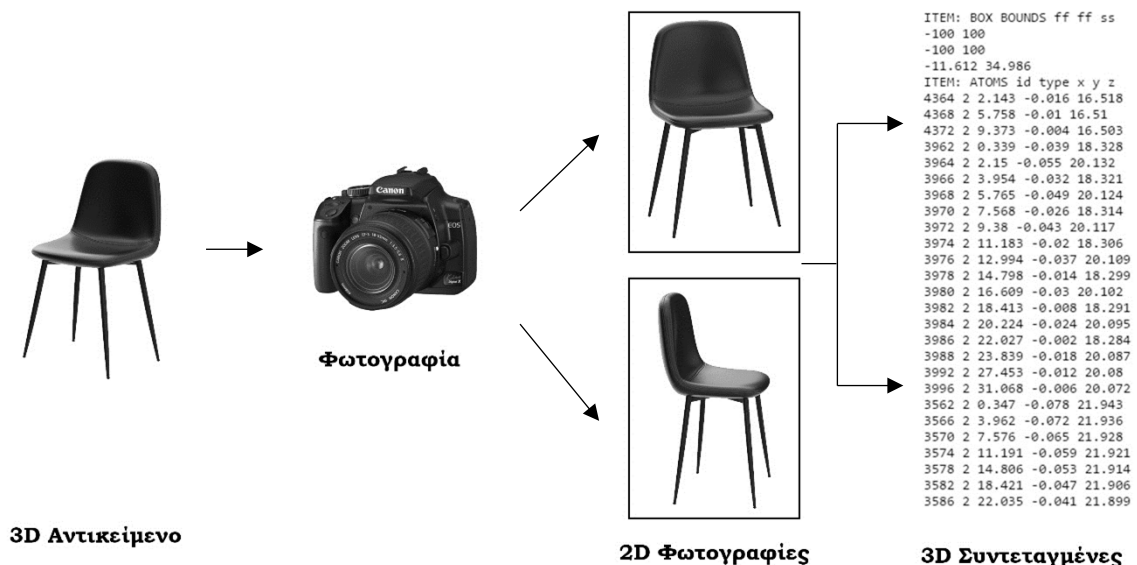
<sup>10</sup> Nassar, A., Y., A., M., (2020) *Photogrammetry: Stereoscopy and Parallax*. Available at: <https://www.slideshare.net/AhmedNassarJr/photogrammetry-stereoscopy-and-parallax> (Accessed: 2 September 2024).

βάθος του αντικειμένου. Έτσι, τα μακρινότερα αντικείμενα φαίνονται μικρότερα και τα κοντινότερα, μεγαλύτερα<sup>11</sup>. Όμοια, η τεχνητή στερεοσκοπική καταγραφή, μιμείται το φυσικό φαινόμενο της στερεοσκοπικής όρασης, με τον παρατηρητή να μην αποτυπώνει το αντικείμενο με μία μόνο εικόνα, βρισκόμενος ακριβώς μπροστά του, αλλά με δύο εικόνες καταγεγραμμένες από δύο διαφορετικές θέσεις ως προς αυτό. (Εικόνα 2.1.4).



**Εικόνα 2.1.4:** Στερεοσκοπικό ζεύγος εικόνων καταγραφής αντικειμένου, Πηγή: Nassar, 2020.

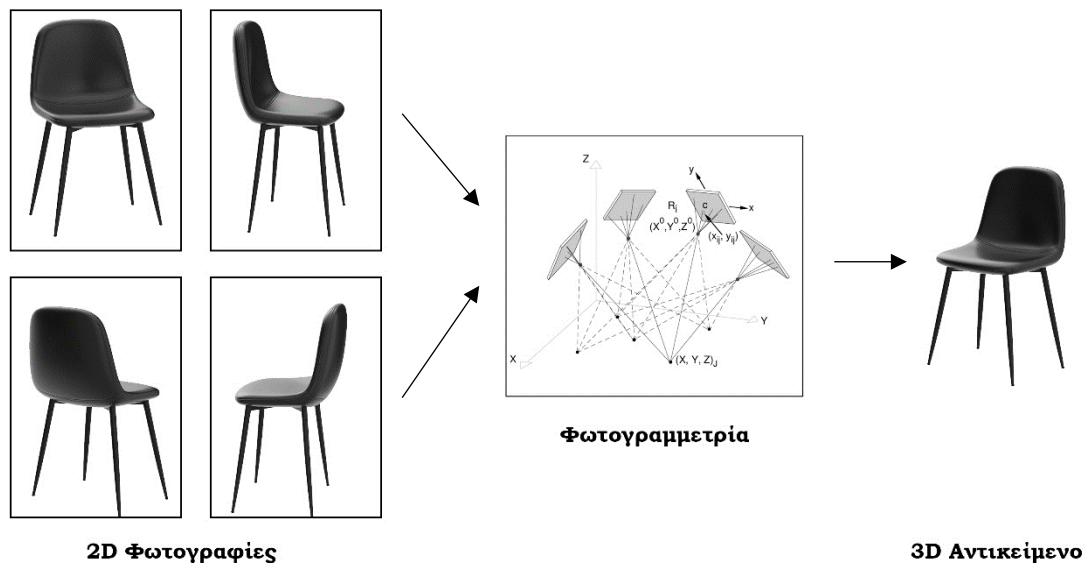
Το δεύτερο σκέλος της φωτογραμμετρίας είναι αυτό της *μετρολογίας*, δηλαδή της επιστημονικής μελέτης της μέτρησης. Η φωτογραφία με την ευρύτερη έννοιά της, είναι η διαδικασία μετατροπής των πραγματικών τρισδιάστατων αντικειμένων του φυσικού χώρου σε δισδιάστατα επίπεδα. Η κάμερα αποτελεί το μέσον μετατροπής ή χαρτογράφησης των τριών διαστάσεων στις δύο. Βέβαια, ο τρισδιάστατος φυσικός χώρος, δεν μπορεί να μεταφραστεί επακριβώς στον δισδιάστατο καθώς υπάρχουν πληροφορίες που χάνονται κατά τη διαδικασία (κυρίως πληροφορίες που σχετίζονται με το βάθος). Ωστόσο, είναι δυνατόν από πολλαπλές φωτογραφίες αντικειμένων να εξάγουμε μετρικές πληροφορίες με αρκετά μεγάλη ακρίβεια.



**Εικόνα 2.1.5:** Φωτογραφία: μεταφορά τρισδιάστατου αντικειμένου στο δισδιάστατο επίπεδο φωτογραφιών, Πηγή: Συγγραφέας

<sup>11</sup> *Stereo Photogrammetry: Principles of Aerial Photographs and Photogrammetry*, (Handout to PG Diploma in RS & GIS), Dr. Shyama Prasad Muckherjee University, Available at: <https://dspmuranchi.ac.in/pdf/Blog/Aerial%20Photograph%20Types%20and%20Characteristics.pdf> (Accessed 2 September 2024)

Η φωτογραμμετρία, αντιστρέφει τη φωτογραφική διαδικασία που περιγράφεται παραπάνω. Μετατρέπει ή χαρτογραφεί, δηλαδή, τις επίπεδες δισδιάστατες εικόνες πίσω στον πραγματικό κόσμο. Καθώς υπάρχει πληροφορία που χάνεται κατά τη φωτογραφική διαδικασία, ο τρισδιάστατος κόσμος δεν μπορεί να ανακατασκευαστεί ψηφιακά πλήρως από μία μόνο φωτογραφία. Αν αυτή η διαδικασία μπορούσε να υλοποιηθεί απολύτως σωστά, χωρίς δηλαδή απώλεια πληροφοριών, δύο διαφορετικές φωτογραφίες του ίδιου αντικειμένου θα ήταν αρκετές για την τρισδιάστατη ανακατασκευή του (στερεοσκοπικό ζεύγος εικόνων). Όμως αυτό δεν είναι εφικτό, επομένως απαιτούνται περισσότερες φωτογραφίες για τη λήψη επιπλέον πληροφοριών και βελτιστοποίηση της διαδικασίας.

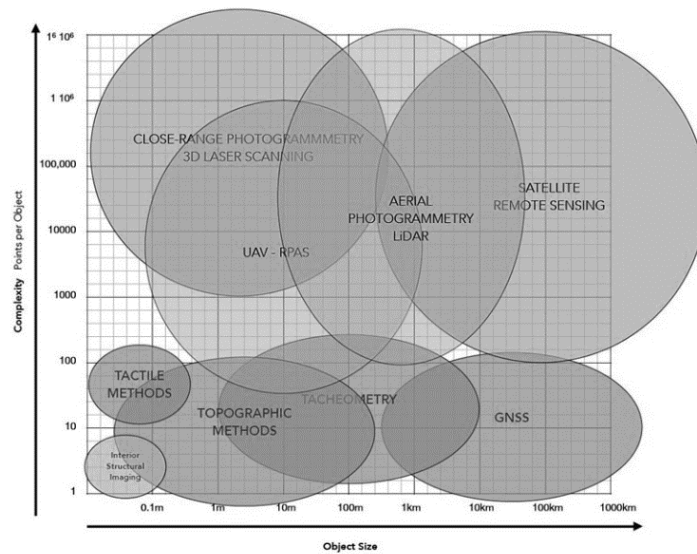


**Εικόνα 2.1.6:** Φωτογραμμετρία: μεταφορά δισδιάστατων φωτογραφιών στο ψηφιακό τρισδιάστατο χώρο, Πηγή: Συγγραφέας

Συνολικά, η επιστήμη της φωτογραμμετρίας, βασίζεται στην αρχή της στερεοσκοπικής όρασης και καταγραφής, θέτοντας ως θεμελιώδη αρχή της φωτογραμμετρικής καταγραφής αντικειμένων τη χρήση πολλαπλών αλληλεπικαλυπτόμενων λήψεων του ίδιου αντικειμένου από διαφορετικές ως προς αυτό θέσεις. Παράλληλα, για την παραγωγή των τρισδιάστατων συντεταγμένων των αντικειμένων από τους υπολογισμούς των φωτογραφιών απαιτούνται οι πληροφορίες για τη θέση της κάμερας και τις γωνίες σκόπευσης (προσανατολισμός κάμερας) για κάθε φωτογραφία. Ακόμα, κατά τους υπολογισμούς αυτούς πραγματοποιείται πρόβλεψη και απομάκρυνση λαθών.

Οι μέθοδοι φωτογραμμετρικής αποτύπωσης χωρίζονται σε *άμεσες* και *έμμεσες*. Οι πρώτες (τοπογραφικές, τοπομετρικές, αρχιτεκτονικές κ.α.) απαιτούν τη φυσική επαφή με το αντικείμενο σε αντίθεση με τις δεύτερες (φωτογραμμετρία, τηλεπισκόπηση, σάρωση με laser) που δεν την απαιτούν. Τα προϊόντα των αποτυπώσεων είναι πολλαπλά και μπορεί να είναι από μια αρχική εικόνα μέχρι ένα σύνολο τρισδιάστατων συντεταγμένων, ενώ σχετίζονται με τις απαιτήσεις του εκάστοτε έργου. Μέχρι την ανακάλυψη της φωτογραμμετρίας, τα προϊόντα των αποτυπώσεων περιορίζονταν σε γραμμικά σχέδια (κατόψεις, όψεις, τομές, προοπτικά κλπ.), ενώ με τη φωτογραμμετρία εισάγονται στα προϊόντα των αποτυπώσεων οι μετρήσιμες φωτογραφίες και τα παράγωγά τους (ορθοφωτογραφίες, ορθομωσαϊκά) καθώς και η εφαρμογή τους σε πολυμέσα, χωρικά συστήματα πληροφοριών. Το μέγεθος και η πολυπλοκότητα του αντικειμένου, ο σκοπός της καταγραφής αλλά και οι διαθέσιμοι οικονομικοί και χρονικοί πόροι για

την μελέτη, αποτελούν τις βασικότερες παραμέτρους για την επιλογή της μεθόδου αποτύπωσης<sup>12</sup>. Στην Εικόνα 7 απεικονίζονται οι διάφορες τεχνικές φωτογραμμετρικής αποτύπωσης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τις ανάγκες καταγραφής του εκάστοτε πεδίου.



**Εικόνα 2.1.7:** Μέθοδοι φωτογραμμετρίας και τηλεπισκόπησης, Πηγή: European Commission

Ειδικότερα, η ταξινόμηση των φωτογραμμετρικών μεθόδων πραγματοποιείται ανάλογα τον τύπο, τον τρόπο λήψης και την χρήση των φωτογραφιών. Αρχικά, γίνεται διάκριση σε Αεροφωτογραμμετρία (Aerial Photogrammetry) κατά την οποία η λήψη των φωτογραφιών πραγματοποιείται από αέρος και αντίστοιχα, σε Επίγεια Φωτογραμμετρία (Close Range Photogrammetry) κατά την οποία η λήψη των φωτογραφιών πραγματοποιείται από σταθμό που βρίσκεται στο έδαφος (Εικόνα 2.1.8) σε απόσταση από το αντικείμενο προς καταγραφή 300 μέτρων κατά μέγιστο<sup>13</sup>. Η Αεροφωτογραμμετρία πραγματοποιείται με τοποθέτηση κάμερας σε ένα αεροσκάφος ή drone το οποίο συνήθως πραγματοποιεί πτήση με την κάμερα κάθετη ως προς το έδαφος ή το αντικείμενο ενδιαφέροντος. Στην Επίγεια Φωτογραμμετρία, για τη λήψη των φωτογραφιών χρησιμοποιούνται τρίποδα στα οποία τοποθετούνται οι κάμερες.



(α)



(β)

**Εικόνα 2.1.8:** (α) όργανα αεροφωτογραμμετρίας, (β) Όργανα επίγειας φωτογραμμετρίας, Πηγή: Geomatching

<sup>12</sup> Πατιάς, Π. (2009), *Φωτογραμμετρία και Τεκμηρίωση Αρχαιολογικών χώρων με απλά λόγια*, Θεσσαλονίκη: Ζήτη.

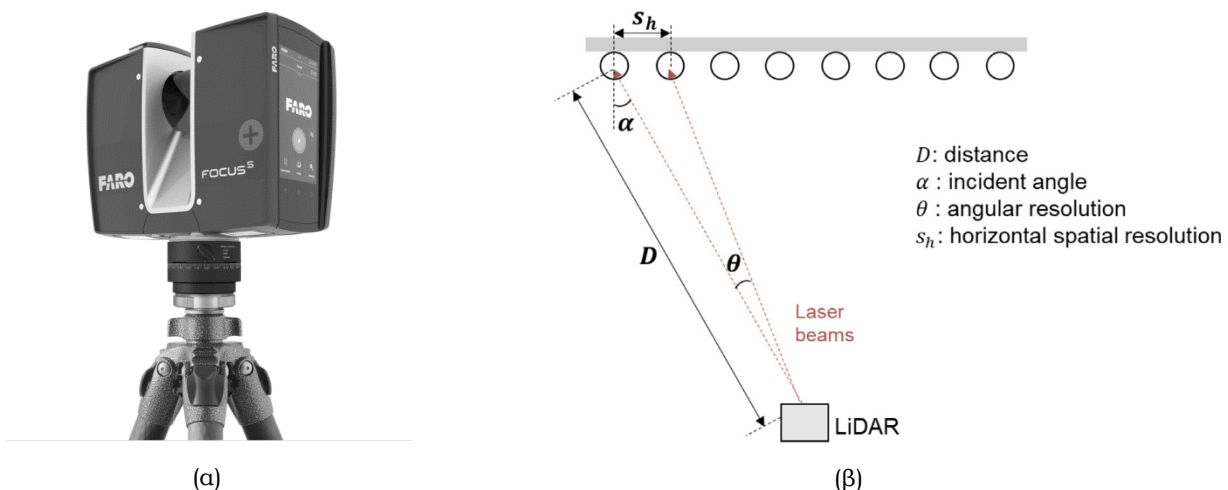
<sup>13</sup> Doumit, J. A. (2019). From Drones to Geospatial Data. 1<sup>st</sup> ed. Kuban State University, pp. 1–109 Available at:

[https://www.researchgate.net/publication/330555127\\_From\\_drones\\_to\\_geospatial\\_analysis](https://www.researchgate.net/publication/330555127_From_drones_to_geospatial_analysis) (Accessed: 18 August 2024).



Ακόμα, συναφής και επικουρική στη φωτογραμμετρία για το έργο των αποτυπώσεων τεχνολογία, αποτελεί η Τηλεπισκόπηση (Remote Sensing) και ο όρος προκύπτει από το γεγονός ότι δεν απαιτείται επαφή με το αντικείμενο προς καταγραφή. Η πιο διαδεδομένη τεχνική τηλεπισκόπησης είναι η σάρωση με laser, γνωστή και ως LiDAR (Light Detection and Ranging), κατά την οποία το laser σαρώνει τις επιφάνειες, παρέχοντας υψηλής ακρίβειας μετρήσεις, με επίπεδο ακρίβειας χιλιοστών<sup>14</sup>. Ο LiDAR laser σαρωτής μετρά την απόστασή του από τον στόχο, μέσω των ακτίνων που εκπέμπει προς το στόχο και που εισέρχονται πίσω στον αισθητήρα του μέσω ανάκλασης. Συγκεκριμένα, όπως περιγράφεται στο διάγραμμα της Εικόνας 2.1.9, για κάθε σημείο που σαρώνεται, υπολογίζεται η απόσταση  $D$  και η γωνία πρόσπτωσης  $\alpha$  μεταξύ του LiDAR και του στόχου. Χρησιμοποιώντας αυτές τις δύο μετρήσεις, υπολογίζεται η σχετική θέση κάθε σημείου ως προς τον σαρωτή. Στη συνέχεια, ο σαρωτής παράγει ένα νέφος σημείων το οποίο προσομοιώνει τη μορφολογία του πεδίου/αντικειμένου που σαρώνει. Ο παράγοντας που καθορίζει την ανάλυση (πυκνότητα) του νέφους σημείων είναι η απόσταση  $S_h$  μεταξύ των σημείων και προκύπτει από τη σχέση<sup>15</sup>:

$sh = \frac{\theta D}{\cos \alpha}$ , όπου  $\theta$ : η αυξανόμενη γωνία σάρωσης,  $D$ : η απόσταση και  $\alpha$ : η γωνία πρόσπτωσης.



**Εικόνα 2.1.9:** (α) LiDAR laser σαρωτής, Πηγή: IFO Group, (β), Σχέσεις μεταξύ των παραμέτρων σάρωσης και της ποιότητας των παραγόμενων νεφών σημείων, Πηγή: Tan et al, 2020

Η αποτύπωση τόσο με Φωτογραμμετρία (Εναέρια/Επίγεια) όσο και με laser σαρωτές παράγουν αποτελέσματα υψηλής αξιοπιστίας σε σημαντικά μικρότερο χρόνο σε αντιδιαστολή με τις παραδοσιακές μεθόδους αποτύπωσης. Οι αποτυπώσεις με φωτογραμμετρία, φαίνεται να υιοθετούνται από μεγαλύτερη μερίδα μηχανικών λόγω του ότι οι σύγχρονες ψηφιακές κάμερες είναι πολύ πιο οικονομικές, μεταφέρσιμες, μικρότερου μεγέθους και εύκολες στη χρήση ακόμα και από ανθρώπους χωρίς εξειδικευμένες γνώσεις, σε σύγκριση με τους laser σαρωτές, παρόλο που σε επίπεδο ακρίβειας και λεπτομέρειας των παραγόμενων μοντέλων οι τελευταίοι αποδίδουν

<sup>14</sup> ArcMap, (2021) Fundamentals about lidar. What is lidar data?. Available at: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/manage-data/las-dataset/what-is-lidar-data-htm> (Accessed: 18 August 2024)

<sup>15</sup> Tan, Y., Li, S., & Wang, Q. (2020). Automated Geometric Quality Inspection of Prefabricated Housing Units Using BIM and LiDAR. Remote Sensing, 12(15). Available at: <https://doi.org/10.3390/RS12152492> (Accessed: 18 August 2024)

εγκυρότερα αποτελέσματα. Ακόμα, οι φωτογραμμετρικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή τρισδιάστατων πληροφοριών γεωμετρίας από φωτογραφίες, είναι λιγότερο αποτελεσματικές σε περιπτώσεις απλών, κενών ή λείων επιφανειών, με αποτέλεσμα να απαιτείται για κάθε τέτοιο στοιχείο η λήψη περισσότερων φωτογραφιών από διαφορετικά ύψη και με διαφορετικές κλίσεις κάμερας, ώστε να εμφανίζεται σε περισσότερες από δύο εικόνες. Αυτό συχνά οδηγεί σε πιθανά χαμένα δεδομένα ή λάθος μεταφρασμένα στο τελικό νέφος σημείων<sup>16</sup>.

Στον παρακάτω πίνακα, συγκρίνονται κάποια βασικά σημεία των δύο τεχνολογιών:

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ	LASER ΣΑΡΩΤΕΣ
Κόστος Εξοπλισμού	Οικονομικό	Ακριβό
Ακρίβεια	Υψηλή (με προηγμένη αλγοριθμική επεξεργασία δεδομένων)	Υψηλή (με προηγμένη αλγοριθμική επεξεργασία δεδομένων)
Διάρκεια Σάρωσης	Μικρή	Μεγάλη
3D Δεδομένα	Χρειάζεται να εκτιμηθούν	Άμεσες μετρήσεις
Όγκος Δεδομένων	Σχετίζεται με την ανάλυση των φωτογραφιών	Σχετίζεται με την πυκνότητα των σημείων
Περιβαλλοντικές Συνθήκες	Απαιτηση για επαρκείς συνθήκες φωτισμού	Λειτουργεί τόσο την ημέρα όσο και την νύχτα
Εξειδικευμένη γνώση χρήση	Μη απαραίτητη	Συνίσταται

**Πίνακας 2.1.1:** Σύγκριση αποτυπώσεων με φωτογραμμετρία και laser σαρωτές. Πηγή: Abreu et al. 2023

Η παρούσα εργασία, ως αφορμή πειραματισμού τόσο με τις θεωρητικές έννοιες της τρισδιάστατης αποτύπωσης, όσο και με τα διαθέσιμα λογισμικά επεξεργασίας, θα εστιάσει στην συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων για την παραγωγή τρισδιάστατων νεφών σημείων, με εναέρια φωτογραμμετρία.

## 2.2 Φωτογραμμετρική Επεξεργασία – Παραγωγή Νέφους Σημείων

Μετά τη συλλογή των απαραίτητων δεδομένων από το πεδίο, σειρά έχει η επεξεργασία τους για την παραγωγή των ζητούμενων κάθε φορά φωτογραμμετρικών προϊόντων (ορθοφωτοχάρτες, ορθομωσαϊκά, τρισδιάστατες απεικονίσεις αντικειμένων, νέφη σημείων κ.α.). Υπάρχουν διάφορες φωτογραμμετρικές μέθοδοι επεξεργασίας φωτογραφικών δεδομένων, ωστόσο η συγκεκριμένη εργασία, εστιάζει στη μέθοδο *Structure from Motion (SfM)* καθώς παρουσιάζει δύο σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι άλλων μεθόδων, που σχετίζονται με την προοπτική ενσωμάτωσή της στη διαδικασία σχεδιασμού: Το πρώτο, είναι ότι η μέθοδος SfM μπορεί να γίνει κατανοητή και προσβάσιμη σε μεγαλύτερο μέρος ερευνητών και μηχανικών, αφού δεν απαιτεί χρήση ακριβού και σύγχρονου εξοπλισμού, όπως οι τρισδιάστατοι λέιζερ σαρωτές. Αντίθετα, δίνει πολύ καλά αποτελέσματα με χρήση συμβατικών ψηφιακών καμερών. Παράλληλα, το δεύτερο πλεονέκτημά της, είναι ότι δεν απαιτείται από το χρήστη εκτενής εμπειρία ή εξειδικευμένη γνώση χάρη στο μεγάλο ποσοστό αυτοματοποιημένων διεργασιών που

<sup>16</sup> Abreu, N.; Pinto, A.; Matos, A.; Pires, M. (2023) Procedural Point Cloud Modelling in Scan-to-BIM and Scan-vs-BIM Applications: A Review. ISPRS Int. J. Geo-Inf., 12, 260. <https://doi.org/10.3390/ijgi12070260>

παρέχουν τα σύγχρονα ψηφιακά φωτογραμμετρικά λογισμικά<sup>17</sup>. Ως εκ τούτου, αξιοποιώντας μια συγκροτημένη μεθοδολογία, διαφαίνεται η προοπτική ενσωμάτωσης της τρισδιάστατης φωτογραμμετρικής αποτύπωσης με χρήση της μεθόδου SfM στη διαδικασία σχεδιασμού.

Ειδικότερα, η μέθοδος SfM, βασίζεται στις αρχές της στερεοσκοπικής φωτογραμμετρίας και αποσκοπεί στην παραγωγή ενός πυκνού τρισδιάστατου νέφους σημείων (3D dense point cloud) αναπαράστασης του αντικειμένου που προκύπτει εξ' ολοκλήρου από τις δισδιάστατες φωτογραφίες πεδίου. Χάρη στην *τριγωνοποίηση*, βασική αρχή της φωτογραμμετρικής επιστήμης, κάθε τρισδιάστατη γεωμετρία μπορεί να ψηφιοποιηθεί και ανασυντεθεί από σημεία που εντοπίζονται σε πολλαπλές δισδιάστατες εικόνες διαφορετικής προοπτικής. Σημαντική προϋπόθεση για την ορθή ολοκλήρωση της τριγωνοποίησης είναι ο προσδιορισμός των παραμέτρων της κάμερας, δηλαδή η θέση και ο προσανατολισμός της, που επιτυγχάνεται μέσω της εύρεσης των πινάκων προβολών (projection matrix). Συγκεκριμένα, στην SfM μεθοδολογία, χρησιμοποιούνται ειδικοί αλγόριθμοι για τον υπολογισμό αυτών των πινάκων και των αντίστοιχων σημείων, λόγω μεγάλης πολυπλοκότητας.

Περιγραφικά, η SfM μεθοδολογία περιλαμβάνει δύο στάδια: Το πρώτο, αφορά στην *εξαγωγή των χαρακτηριστικών (Feature extraction)* σε μορφή δισδιάστατων συντεταγμένων στα επίπεδα των φωτογραφιών, την *αντιστοίχισή τους (Feature matching)* στις διαφορετικές εικόνες και την *γεωμετρική ανακατασκευή τους (3D reconstruction)* για την παραγωγή μιας ολοκληρωμένης τρισδιάστατης δομής. Το δεύτερο στάδιο, περιλαμβάνει τον *υπολογισμό της θέσης των φωτογραφιών και την τρισδιάστατη ανασύνθεση του νέφους σημείων*. Σε αυτό το στάδιο εντάσσονται πέντε διεργασίες: η επιλογή των περισσότερο ωφέλιμων ζευγών φωτογραφιών, η διαπίστωση της θέσης και του προσανατολισμού της κάμερας, η *τριγωνοποίηση των τρισδιάστατων σημείων*, η *συσχέτιση των συντεταγμένων της δομής με το παγκόσμιο σύστημα γεωγραφικών συντεταγμένων*, και η αφαίρεση της περιττής πληροφορίας ή τυχόν *παρεκκλίσεων*<sup>18</sup>.

Έτσι, επιγραμματικά, τα πέντε βήματα που ακολουθούν οι SfM αλγόριθμοι για την παραγωγή τρισδιάστατων νεφών σημείων είναι τα ακόλουθα:

- 1.Εξαγωγή «*χαρακτηριστικών*» (Feature extraction)
- 2.Αντιστοίχιση χαρακτηριστικών (Feature matching)
- 3.Τρισδιάστατη ανακατασκευή (3D reconstruction)
- 4.Προσαρμογή δέσμης (Bundle Adjustment)
- 5.Πλέγμα από νέφος σημείων (Mesh from point cloud)

Ακολούθως, περιγράφονται αναλυτικότερα τα βασικά σημεία της SfM μεθοδολογίας με παράθεση συνοδευτικών εικόνων και διαγραμμάτων για καλύτερη κατανόηση.

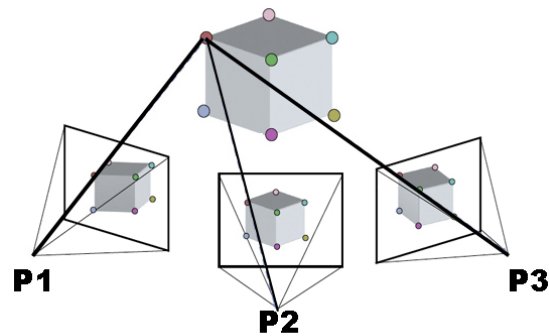
- Εξαγωγή χαρακτηριστικών και αντιστοίχιση

---

<sup>17</sup> Hu, Q., Luo, J., Hu, G., Duan, W., Zhou, H. (2018) *3D Point Cloud Generation using Incremental Structure-from-Motion*, proceedings of the First International Conference on Advanced Algorithms and Control Engineering, Pingtung, Taiwan, 10-12 August 2018, IOP Conf. Series: Journal of Physics. Volume 1087.

<sup>18</sup> Elkhachy, I. (2022), *3D Structure from 2D Dimensional Images Using Structure from Motion Algorithms*. Sustainability, Switzerland

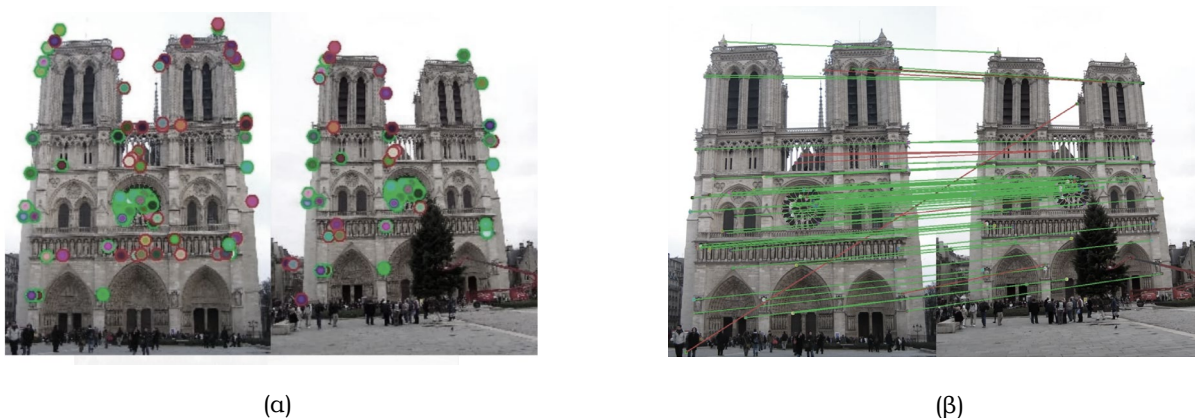
Η αντιστοίχιση σημείων σε πολλές φωτογραφίες, ιδίως μεγάλης ανάλυσης, είναι πολύ δύσκολη λόγω του υπολογιστικού όγκου και της μεγάλης πολυπλοκότητας, καθώς προϋποθέτει τη σύγκριση όλων των εικονοστοιχείων (pixels) κάθε φωτογραφίας με όλα τα εικονοστοιχεία (pixels)<sup>19</sup> του συνόλου των φωτογραφιών πεδίου. Όταν τα χαρακτηριστικά έχουν εντοπιστεί στις φωτογραφίες μια σειρά εξισώσεων επιλύονται για να ελαχιστοποιηθεί το σχετικό σφάλμα θέσεων των σημείων πάνω στις εικόνες. Για παράδειγμα, στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 2.2.1), ας θεωρήσουμε τις τρεις (ή και περισσότερες) φωτογραφίες στις οποίες εντοπίζονται τα ίδια σημεία που επισημαίνονται με διαφορετικά χρώματα. Αν το κόκκινο σημείο στη φωτογραφία P1 είναι το ίδιο κόκκινο



**Εικόνα 2.2.1:** Εντοπισμός χαρακτηριστικών αντικειμένου Πηγή: Wikimedia Commons

σημείο που εμφανίζεται στη φωτογραφία P2 όπως και στην P3 (όπως και σε όλες τις υπόλοιπες που θα το αναπαριστούν) και όμοια και για τα σημεία των υπόλοιπων διαφορετικών χρωμάτων, με τους κατάλληλους αλγορίθμους μπορούν να προσδιοριστούν οι σχετικές θέσεις τόσο των ίδιων των σημείων όσο και των καμερών που σχετίζεται με τη θέση και τον προσανατολισμό της<sup>20</sup>.

Συγκεκριμένα, η διεργασία αυτή πραγματοποιείται υπολογιστικά με χρήση του αλγορίθμου SIFT, ο οποίος εντοπίζει στις εικόνες τα χαρακτηριστικά και επιτελεί την



**Εικόνα 2.2.2 :** (α) Εξαγωγή χαρακτηριστικών, (β) Αντιστοίχιση χαρακτηριστικών μεταξύ φωτογραφιών διαφορετικής προοπτικής, Πηγή: Lobo, T. 2023

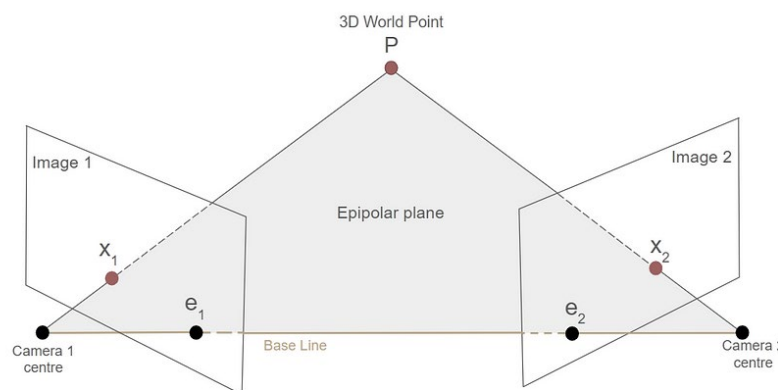
<sup>19</sup> Knudby, A. (2021) 'Photogrammetry and Structure-from-Motion', in *Remote Sensing*, Open Library Available from: <https://ecampusontario.pressbooks.pub/remotesensing/front-matter/welcome-to-remote-sensing/> (Accessed 2 September 2024)

<sup>20</sup> Elkhachy, I. (2022), 3D Structure from 2D Dimensional Images Using Structure from Motion Algorithms. Sustainability, Switzerland.

εξαγωγή και αντιστοίχισή τους στις διαφορετικές προοπτικές εικόνες του πεδίου<sup>21</sup>. Συνήθως, τα χαρακτηριστικά αφορούν σε προεξέχουσες περιοχές των δομών όπως γωνίες, ακμές, ή σημεία πιο σκοτεινά ή πιο φωτεινά από τα υπόλοιπα γύρω αντικείμενα. Παρόλο που τέτοια σημεία μπορεί να είναι ευκολότερο ή δυσκολότερο διακριτά από τον άνθρωπο, ο SIFT αλγόριθμος είναι κατάλληλα προγραμματισμένος ώστε να επιτυγχάνει την διαδικασία του εντοπισμού των χαρακτηριστικών χωρίς να επηρεάζεται από τις προαναφερθείσες τυχόν μη ευνοϊκές συνθήκες<sup>22</sup>. Για παράδειγμα, στις Εικόνες 2.2.2 α-β, μπορούν να εντοπιστούν και να εξαχθούν κάποια σημεία ενδιαφέροντος και στη συνέχεια, να αντιστοιχισθούν με τα ταυτόσημα τους στις υπόλοιπες φωτογραφίες διαφορετικής προοπτικής με μεθόδους αντιστοίχισης προτύπων και οπτικής ροής.

- Τρισδιάστατη ανακατασκευή

Ο εντοπισμός και η αντιστοίχιση των χαρακτηριστικών, είναι απαραίτητος για εξαγωγή πληροφοριών που σχετίζονται με την εσωτερική και εξωτερική γεωμετρία και προσανατολισμό της κάμερας καθώς και πληροφορίες για τις τρισδιάστατες συντεταγμένες των χαρακτηριστικών. Ειδικότερα, αφότου αναγνωριστούν τα αντιστοιχισμένα σημεία σε δύο προοπτικές του αντικειμένου, είναι δυνατό να υπολογιστεί η *επιπολική γεωμετρία* τους, δηλαδή η γεωμετρική σχέση μεταξύ των καμερών, των τρισδιάστατων σημείων και των προβολών των αντίστοιχων αυτών σημείων (Εικόνα 2.2.3). Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται *επιπολική γεωμετρία στερεοσκοπικού ζεύγους*.



**Εικόνα 2.2.3:** Επιπολική γεωμετρία στερεοσκοπικού ζεύγους, Πηγή: Lobo, T. 2023

Η σχέση ορίζεται αλγεβρικά με έναν θεμελιώδη πίνακα, που χρησιμεύει στη σύνδεση των αντίστοιχων σημείων στις διαφορετικές όψεις. Επιπλέον, ο πίνακας είναι δυνατόν να αναλυθεί μαθηματικά σε ζεύγη από πίνακες προβολών οι οποίοι περιγράφουν τη θέση και κατεύθυνση κάθε κάμερας. Έπειτα, με τριγωνοποίηση, μπορούν να υπολογιστούν τα τρισδιάστατα σημεία μέσω των προβολών των πραγματικών θέσεων πάνω στο επίπεδο των φωτογραφιών δύο ή περισσότερων προοπτικών. Ιδανικά, όλα τα τρισδιάστατα σημεία θα πρέπει να εντοπίζονται στα σημεία τομής των προβολών πίσω από τις φωτογραφίες, όμως, αυτό δεν επιτυγχάνεται πάντα λόγω θορύβου, ατελειών ή μικρών αποκλίσεων στις μετρήσεις. Για το λόγο αυτό, τα τρισδιάστατα σημεία επιλύονται

<sup>21</sup> Lobo, T. (2023) *Understanding Structures from Motion Algorithms: Obtaining the geometry of 3D scenes from 2D images*, Medium, Available at: <https://medium.com/@loboateresa/understanding-structure-from-motion-algorithms-fc034875fd0c> (Accessed: 14 July 2024)

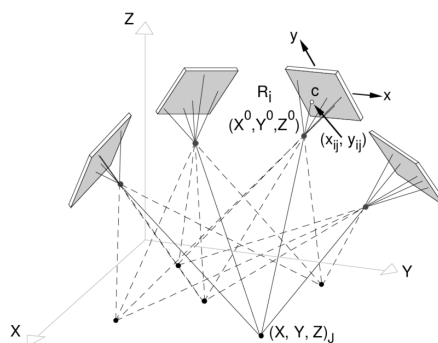
<sup>22</sup> Ο.π.

με τη βοήθεια της υπολογιστικής δύναμης, ώστε να μειώνονται στο ελάχιστο κάποιες μετρικές σφάλματος<sup>23</sup>.

Έτσι, σε αυτό το στάδιο, από την επεξεργασία του συνόλου των φωτογραφιών, επιτυγχάνεται ο προσδιορισμός των σχετικών θέσεων και του προσανατολισμού της κάμερας αλλά και των συντεταγμένων των χαρακτηριστικών, με αρχικό παράγωγο της διαδικασίας, ένα τρισδιάστατο νέφος σημείων  $(x,y,z)$  των χαρακτηριστικών. Τα τρισδιάστατα νέφη σημείων αρχικά παράγονται σε ένα σχετικό ή αυθαίρετο σύστημα συντεταγμένων με αναφορά στις εικόνες<sup>24</sup>. Ωστόσο, τα νέφη αυτά μπορούν να ευθυγραμμιστούν με το παγκόσμιο σύστημα συντεταγμένων χρησιμοποιώντας σημεία επίγειου ελέγχου (Ground Control Points-GCP) ή εικόνες με γεωαναφορά (GPS)<sup>25</sup>.

- Προσαρμογή δέσμης (Bundle Adjustment)

Το τελευταίο στάδιο της SfM μεθοδολογίας είναι η προσαρμογή της δέσμης (Bundle Adjustment), που αποσκοπεί στην ενίσχυση της ακρίβειας και της πιστότητας των παραχθέντων τρισδιάστατων νεφών σημείων, μέσω της διόρθωσης τυχόν λαθών που έχουν προκύψει κατά το στάδιο της τρισδιάστατης ανακατασκευής και οφείλονται σε ανακρίβειες, είτε στον προσανατολισμό της κάμερας, είτε στην εξαγωγή των χαρακτηριστικών. Συγκεκριμένα, αότου υπολογιστούν όλα τα τρισδιάστατα σημεία και οι θέσεις της κάμερας, γίνεται βελτιστοποίηση επαναληπτικά, με τη χρήση *μη γραμμικής ελαχιστοποίησης ελαχίστων τετραγώνων*<sup>26</sup>, ώστε να αποφευχθούν σφάλματα που προκύπτουν από την επαναπροβολή (reprojection error). Παιρνοντας τα χαρακτηριστικά των εικόνων  $(u_{ij})$ , ο αλγόριθμος SfM δίνει μία αρχική προσέγγιση των πινάκων προβολής  $(P_i)$  και των τρισδιάστατων σημείων  $(X_j)$  και στη συνέχεια, ο αλγόριθμος του bundle adjustment βελτιστοποιεί τη θέση αυτών μη-γραμμικά. Τελικά, ο αλγόριθμος προσαρμογής δέσμης φιλτράρει και αφαιρεί τρισδιάστατα σημεία που δε συνάδουν με το αποτέλεσμα, βρίσκοντας τις ακραίες τιμές στο σύνολο των σφαλμάτων επαναπροβολής όλων των ανακατασκευασμένων σημείων<sup>27</sup>.



**Εικόνα 2.2.4:** Γραφική απεικόνιση διαδικασίας του bundle adjustment. Πηγή: Fraser, C., S. et al. (1995)

<sup>23</sup> Lobo, T. (2023) *Understanding Structures from Motion Algorithms: Obtaining the geometry of 3D scenes from 2D images*, Medium, Available at: <https://medium.com/@loboateresa/understanding-structure-from-motion-algorithms-fc034875fd0c> (Accessed: 14 July 2024)

<sup>24</sup> Natan, M., Jim, C. H., & Lane, S. N., (2015) *Structure from Motion (SfM) Photogrammetry*, British society of geomorphology. Geomorphological Techniques, chapter 2.

<sup>25</sup> Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., & Reynolds, J. M. (2012) *Structure-from-Motion photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications*, Geomorphology, 179, 300-314.

<sup>26</sup> Lobo, T. (2023) *Understanding Structures from Motion Algorithms: Obtaining the geometry of 3D scenes from 2D images*, Medium, Available at: <https://medium.com/@loboateresa/understanding-structure-from-motion-algorithms-fc034875fd0c> (Accessed: 14 July 2024)

<sup>27</sup>Ο.π.

### 2.3 BIM Μοντελοποίηση

Τα τελευταία χρόνια, η φωτογραμμετρία ως μέθοδος αποτύπωσης, συνδυάζεται με την ανάπτυξη της τεχνολογίας του BIM για την ακριβή αναπαράσταση και τεκμηρίωση νέων ή υφιστάμενων έργων. Όπως αποδεικνύεται, το BIM αποτελεί μια από τις πιο υποσχόμενες εξελίξεις στον τομέα της αρχιτεκτονικής, της μηχανικής και των κατασκευών καθώς επιτυγχάνει την προσομοίωση της κατασκευής σε εικονικό περιβάλλον. Η ιδέα του BIM σαν μεθοδολογία σχεδιασμού διατυπώθηκε πρώτη φορά από τον Eastman (1975) στο *“The Use of Computers Instead of Drawings in Building Design”*, στο οποίο περιγράφονται οι λειτουργίες και οι στόχοι που γνωρίζουμε σήμερα ότι διέπουν το BIM. Βέβαια, παρόλο που το όραμα του Eastman χρειάστηκε 25 χρόνια πριν να γίνει πραγματικότητα, ακόμα και σήμερα το BIM διαρκώς εμπλουτίζεται και αναβαθμίζεται στην κατεύθυνση του οράματος<sup>28</sup>.

Συγκεκριμένα, το BIM αποτελεί μια ψηφιακή πλατφόρμα η οποία υποστηρίζει τη συνεργασία των μελετητών διαφορετικών ειδικοτήτων για την επίτευξη του προγραμματισμού, σχεδιασμού και της κατασκευής καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός έργου, προάγοντας την παραγωγικότητα, την αποτελεσματικότητα και την ακρίβεια σε όλα τα στάδια της μελέτης. Για το λόγο αυτό, παγκοσμίως, ο κατασκευαστικός κλάδος φαίνεται να μετατοπίζεται από τις δισδιάστατες γραμμές που περιγράφουν το αντικείμενο (CAD modelling), σε ένα πλήρες ψηφιακό χωρικό μοντέλο που υπερβαίνει τις διαστάσεις του. Το BIM, δηλαδή, ξεπερνά τις τρεις διαστάσεις του αντικειμένου, περνώντας στις ν-διαστάσεις, καθώς ανάμεσα στις πολλαπλές παραμέτρους που το στοιχειοθετούν, περιλαμβάνονται οι παράμετροι του χρόνου (time), του κόστους (cost), της διοίκησης (management), της διαχείρισης (maintenance), της αειφορίας (sustainability & CO<sub>2</sub> accounting), της ασφάλειας (Health and Safety) και της ψηφιοποίησης (digitization) των αντικειμένων. Έτσι, η πολυδιάστατη προσέγγιση της κατασκευής, όπως ορίζεται στο BIM, οδηγείται προοδευτικά προς τη συνολική ψηφιοποίηση και μετατροπή του ψηφιακού κλάδου εν γένει.

Για την επίτευξη του στόχου αυτού, η σύγχρονη έρευνα προσανατολίζεται στην ενσωμάτωση όλο και περισσότερων καινοτόμων μεθόδων και ανερχόμενων τεχνολογιών στο BIM. Η αποτύπωση και καταγραφή αντικειμένων με φωτογραμμετρία και τρισδιάστατους λέιζερ σαρωτές, αποτελεί μια εξ' αυτών, με το ενδιαφέρον να προσανατολίζεται κυρίως στις υφιστάμενες δομές<sup>29</sup>. Ειδικότερα, η διαδικασία δημιουργίας ενός BIM μοντέλου που προκύπτει από την ενσωμάτωση τρισδιάστατων προϊόντων φωτογραμμετρίας, περιγράφεται στην επιστημονική κοινότητα υπό τον όρο Scan-to-BIM (Σάρωση-σε-BIM). Η διαδικασία αυτή συχνά απαιτεί πολλές ώρες χειροκίνητης εργασίας από επαγγελματίες αρχιτέκτονα. Παρόλο που έχουν αναπτυχθεί εμπορικά και ανοικτά λογισμικά για αυτοματοποιημένη Σάρωση-σε-BIM, οι αρχιτέκτονες φαίνεται να μην τα επιλέγουν λόγω συχνά περιορισμένης απόδοσης ή αδυναμίας ενσωμάτωσής τους στη ροή των εργασιών τους<sup>30</sup>.

Αναλυτικότερα, μετά τη φωτογραμμετρική σάρωση, κατά τη μοντελοποίηση σε BIM, παράγεται το «ψηφιακό δίδυμο» (digital twin) ενός αντικειμένου που αποτυπώνει την ακριβή γεωμετρία καθώς και τα λειτουργικά/οικοδομικά χαρακτηριστικά κάθε ενός από τα μέρη που το συγκροτούν. Το τρισδιάστατο αυτό μοντέλο παρέχει στον χρήστη

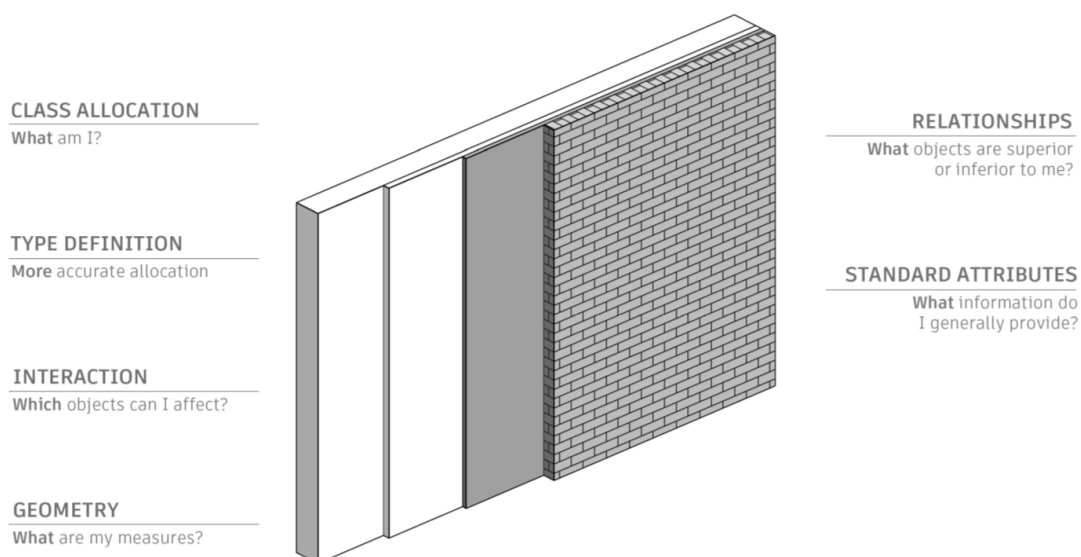
<sup>28</sup> Adekunle, S. A., Aigbavboa, C., Ejohwomu, O. A., (2021) SCAN TO BIM: a systematic literature review network analysis, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, IOP Publishing

<sup>29</sup> Ο.π.

<sup>30</sup> Song, W., Luo, J., Zhao, D., Fu, Y., Cheng, C., Furukawa, Y., (2021) A-Scan2BIM: Assistive Scan to Building Information Modeling, Simon Fraser University, Autodesk Research, Google Research

την πλήρη εποπτεία του αντικειμένου, καθώς δίνεται η δυνατότητα εργασίας και άμεσης μετάπτωσης από τις τρεις στις δύο διαστάσεις στις αυτομάτως παραγόμενες δισδιάστατες απόψεις του (κατόψεις, τομές, όψεις). Την ίδια στιγμή, οποιαδήποτε τροποποίηση του μοντέλου πραγματοποιηθεί σε οποιαδήποτε από τις δημιουργημένες απόψεις, ενημερώνει και το συνολικό μοντέλο, μειώνοντας έτσι σημαντικά τον χρόνο επεξεργασίας. Τελικός στόχος της αποτύπωσης και καταγραφής σε περιβάλλον BIM είναι εκτός από τον παραμετρικό σχεδιασμό του ίδιου του αντικειμένου, η συγκρότηση σειράς βιβλιοθηκών γι' αυτό, διαθέσιμων για επεξεργασία και ανατροφοδότηση σε όλους όσους εργάζονται σε αυτό. (*BIM Βιβλιοθήκες: ψηφιακές βάσεις αποθήκευσης BIM στοιχείων που έχουν παραχθεί παραμετρικά, ώστε να ενσωματώνουν στο συνολικό μοντέλο τις λειτουργικές, τεχνικές και λογικές πληροφορίες που τα διέπουν όταν φορτώνονται σε αυτό*<sup>31</sup>) Ακόμα, το BIM παρέχει τη δυνατότητα διασύνδεσης με εξωτερικές βάσεις δεδομένων ή με συστήματα γεωαναφοράς (3D GIS) για μια πιο ολοκληρωμένη προσέγγιση του έργου προσθέτοντας εκτός από τη μορφολογική, λειτουργική και κατασκευαστική του διάσταση, τη χωρική.

Για την ανάπτυξη ενός μοντέλου BIM απαιτείται πρώτα η επιλογή του κατάλληλου λογισμικού. Το κυρίαρχο και περισσότερο χρησιμοποιούμενο λογισμικό είναι το Autodesk Revit®. Κάθε Revit® Project αποτελεί μια μοναδική βάση δεδομένων που περιλαμβάνει το σύνολο των πληροφοριών που εισάγει ο χρήστης για ένα έργο καθώς παράγει το αρχιτεκτονικό μοντέλο. Ειδικότερα, σχεδιάζονται όλα τα επιμέρους στοιχεία που το απαρτίζουν, με ταυτόχρονη παραγωγή και επεξεργασία των διαφορετικών απόψεων «views» που τα περιγράφουν (π.χ. κατόψεις (floor plans), τομές (sections), όψεις (elevations)). Τα διάφορα στοιχεία κατατάσσονται σε *Κατηγορίες (Categories)* που αποτελούν ομάδες όμοιων στοιχείων όπως π.χ. «κολώνες», σε *Οικογένειες (Families)* που αποτελούν τις διαφορετικές τάξεις στοιχείων εντός της ίδιας κατηγορίας και διαφοροποιούνται ως προς τις παραμέτρους που τις καθορίζουν όπως π.χ. την υλικότητά τους, και τέλος σε *Τύπους (Types)* που διαφοροποιούνται ως προς ειδικές παραμέτρους όπως είναι οι διαστάσεις ή οι διατομές τους (Εικόνα 2.3.1).



**Εικόνα 2.3.1:** Παραμετρικός σχεδιασμός αντικειμένου σε περιβάλλον BIM. Πηγή: Autodesk

<sup>31</sup> Karabegovic, I., Kovacevic, A., Banjanovic-Mehmedovic, L., Dasic, P., (2020) *Handbook of Research on Integrating Industry 4.0 in Business and Manufacturing*, IGI Global.



Παράλληλα, ανάλογα με την περίπτωση και τις απαιτήσεις του εκάστοτε έργου, τα BIM λογισμικά, όπως και το Autodesk Revit®, προσφέρουν τη δυνατότητα διασύνδεσης με εξωτερικές πλατφόρμες και εφαρμογές, συνήθως μέσω διαδικτύου, για την διεκπεραίωση επιπλέον μελετών πάνω στο παραχθέν μοντέλο, όπως αναλύσεις στατικής ή ενεργειακής συμπεριφοράς εξάγοντας ποιοτικά δεδομένα που επηρεάζουν τις αποφάσεις για τον περαιτέρω σχεδιασμό, αν πρόκειται για νέα κατασκευή, ή τη συντήρηση και διαχείριση, αν πρόκειται για υφιστάμενα κελύφη. Τέτοιες μελέτες μπορεί να είναι, για παράδειγμα, στατικές προσομοιώσεις για τον έλεγχο των δομικών επιλογών που αφορούν στο φέροντα οργανισμό της δομής ή περιβαλλοντικές προσομοιώσεις, όπως προσομοιώσεις φυσικού αερισμού και ηλιασμού για τον έλεγχο επιλογών που αφορούν στη μορφολογία, τον προσανατολισμό ή τα υλικά που έχουν επιλεγεί για τα διαφορετικά μέρη της δομής.

#### 2.4 Σχετική Βιβλιογραφία

Ο τομέας της ψηφιακής αποτύπωσης υφιστάμενων δομών με φωτογραμμετρία, έχει ενισχυθεί σημαντικά χάρη στη σύγχρονη έρευνα που εκπονείται τόσο στο κομμάτι της καταγραφής πεδίου, με αναβαθμίσεις στα όργανα και στις μεθόδους καταγραφής, όσο και στο κομμάτι της επεξεργασίας και παραγωγής τρισδιάστατων μοντέλων με χρήση καινοτόμων λογισμικών. Ειδικότερα, η χρήση *μη επαυδρωμένων συστημάτων αεροσκαφών* (Unmanned Aircraft Systems - UASs) κατά την εναέρια φωτογραμμετρική διαδικασία γίνεται ολοένα και πιο διαδεδομένη, χάρη στη δυνατότητα που παρέχει για συλλογή χωρικών πληροφοριών με τρόπο οικονομικό, γρήγορο, ευέλικτο και λεπτομερή. Τα συστήματα αυτά (UAS), στη βιβλιογραφία, απαντώνται με διάφορους όρους, όπως «*μη επαυδρωμένα εναέρια οχήματα*» (Unmanned Aerial Vehicles) «*εναέρια συστήματα με εξ' αποστάσεως πιλοτάρισμα*» (Remotely-Piloted Aerial Systems), «drones» κ.α. Σύμφωνα με τους Colonima, I. και Molina, P. (2014), τα UASs αφορούν σε συστήματα που περιλαμβάνουν ένα μη επαυδρωμένο αεροσκάφος (UA), έναν σταθμό ελέγχου στο έδαφος (GCS) και ένα σύνδεσμο επικοινωνίας μεταξύ αεροσκάφους (UA) και ελέγχου (C2) από τον σταθμό ελέγχου (GCS)<sup>32</sup>. Για τον λόγο αυτό, ο όρος UAV αφορά σε εναέρια πλατφόρμα, ενώ ο όρος UAS, αφορά σε σύνολο αισθητήρων και οργάνων διαχείρισης αεροσκάφους και ταυτόχρονης συλλογής χωρικών πληροφοριών.

Η τεχνολογία των UAS βρίσκει εφαρμογή σε διάφορους κλάδους μηχανικής (Αρχαιολογία, Πολιτική Μηχανική, Τοπογραφία κ.α.), μεταξύ των οποίων και στην Αρχιτεκτονική. Στη βιβλιογραφία, φαίνεται ότι η πλειοψηφία των μελετών που διεκπεραιώνονται τα τελευταία χρόνια, στον τομέα των αποτυπώσεων αρχιτεκτονικού ενδιαφέροντος με φωτογραμμετρία και χρήση εναέριων συστημάτων αεροσκαφών, αφορά σε κτήρια και ευρήματα πολιτιστικής κληρονομιάς. Διαφαίνεται ότι η απαίτηση για προστασία, ανάδειξη, διαχείριση και εξαγωγή ιστορικών πληροφοριών από αρχαιότητες είναι απολύτως επίκαιρη, με την επιστημονική κοινότητα να εστιάζει, εκτός από την ανάπτυξη μεθόδων αποτύπωσής τους, και στο κομμάτι της καταγραφής και αποθήκευσης των πληροφοριών αυτών, σε ψηφιακή μορφή.

Η γενικευμένη ανάπτυξη του BIM έχει διαδραματίσει καθοριστικό ρόλο στο εγχείρημα αυτό, με τη διατύπωση μεθοδολογιών που συνδυάζουν την αποτύπωση με

---

<sup>32</sup> Colomina, I., Molina, P. (2014) 'Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review', *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92, p.79–97. doi: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013>

φωτογραμμετρία ή LiDAR σαρωτές και την επακόλουθη BIM τεκμηρίωση, να συνοψίζεται υπό τον όρο «SCAN-to-BIM». Μάλιστα, για τα έργα ιστορικής και πολιτιστικής κληρονομιάς συγκεκριμένα, ο όρος HBIM (Historic/Heritage Building Information Modelling) έχει εισαχθεί, πλαισιώνοντας τις μελέτες αυτού του περιεχομένου. Ακολούθως, παρουσιάζεται μια επισκόπηση της σύγχρονης έρευνας που προσανατολίζεται στην αποτύπωση έργων αρχιτεκτονικού και ιστορικού ενδιαφέροντος με φωτογραμμετρία και χρήση τεχνολογιών UAS με σκοπό την παραγωγή τρισδιάστατων ψηφιακών μοντέλων.

Από τις αρχές της τελευταίας δεκαετίας, οι Saleri et al. (2013)<sup>33</sup>, με ιστορικά και πολιτιστικά κίνητρα, περιέγραψαν μια διαδικασία επεξεργασίας δεδομένων και ψηφιακής τρισδιάστατης ανακατασκευής μοντέλου με χρήση εναέριας φωτογραμμετρίας με μελέτη περίπτωσης την περιοχή του Θεάτρου της Πομπηίας στην Ιταλία. Οι ερευνητές χρησιμοποίησαν καινοτόμες, για την εποχή, γεωματικές τεχνολογίες και τέσσερα drone. Παράλληλα, στην ίδια γραμμή κινούνταν οι Mouget, A. και Lucet, G. (2014)<sup>34</sup>, συστήνοντας μια μεθοδολογία φωτογραμμετρικής καταγραφής, με σκοπό την αποτύπωση για εξαγωγή πληροφοριών του αρχιτεκτονικού ρυθμού των προκολομβιανών αρχαιολογικών πεδίων στο Μεξικό, χρησιμοποιώντας ένα Wings S800 εξακόπτερο με προσαρμοσμένη μια Sony Nex7 κάμερα. Λίγο αργότερα, οι Adami et al. (2019)<sup>35</sup> παρουσίασαν τα στάδια εναέριας καταγραφής με DJI Spark drone κατά τη διάρκεια των ανασκαφών στη Νάπολη της Ιταλίας.

Την τελευταία πενταετία, φαίνεται ότι η έρευνα, εκτός των άλλων, εστιάζει στη σύγκριση και αξιολόγηση των γνωστών πλέον τεχνικών και μεθόδων αποτύπωσης με ανάδειξη των θετικών και των αρνητικών κάθε μιας, με σκοπό τη βέλτιστη επιλογή, ανάλογα με τις απαιτήσεις κάθε έργου. Για παράδειγμα, οι Kadhim et al. (2021)<sup>36</sup> στην έρευνά τους, συνέκριναν δύο μεθόδους καταγραφής: LiDAR και UAV φωτογραμμετρίας, με μια SfM προσέγγιση, για σκοπούς ανίχνευσης κρυμμένων αρχαιολογικών ευρημάτων σε συγκεκριμένη περιοχή αρχαιολογικού ενδιαφέροντος. Η εφαρμογή των δύο μεθόδων διεκπεραιώθηκε στην περίπτωση της αρχαίας πόλης Cornwall (ΝΔ Αγγλία) που ονομάζεται Chun Castle. Οι συγκεκριμένοι ερευνητές παρατήρησαν ότι δεδομένα που είχαν συλλεγεί με UAV φωτογραμμετρία και επακόλουθη SfM επεξεργασία, απέδιδαν καλύτερα αποτελέσματα στην ανάδειξη μη εμφανών ή κρυμμένων ευρημάτων στο αρχαιολογικό πεδίο μελέτης, καθώς οι LiDAR σαρώσεις απέδιδαν μοντέλα μικρότερης λεπτομέρειας, γεγονός που οφείλονταν σε διαφοροποιήσεις στη χωρική ανάλυση των δύο συνόλων δεδομένων. Ακόμα, έρευνα αντιστοίχου περιεχομένου, διενήργησαν οι Baiocchi et al. (2021)<sup>37</sup> οι οποίοι χρησιμοποίησαν SfM αλγορίθμους για την

---

<sup>33</sup> Saleri, R., Cappellini, V., Nony, N., De Luca, L., Pierrot-Deseilligny, M., Bardiere, E., Campi, M. (2013) 'UAV photogrammetry for archaeological survey: The Theaters area of Pompeii', *Digital Heritage International Congress (Digital Heritage)*. Marseille, France, 28 October–1 November 2013. 2, pp. 497–502.

<sup>34</sup> Mouget, A., Lucet, G. 'Photogrammetric archeological survey with UAV', *ISPRS Technical Commission V. Symposium*, Riva del Garda, Italy, 23–25 June 2014, 2.

<sup>35</sup> Adami, A., Fregonese, L., Gallo, L., Helder, J., Pepe, M., Treccani, D., (2019) *Ultra light UAV systems for the metrical documentation of cultural heritage: Applications for architecture and archaeology* in proceedings of the 6th International Workshop LowCost 3D-Sensors, Algorithms, Applications, Strasbourg, France, 2–3 December 2019, Volume 42, pp. 15–21.

<sup>36</sup> Kadhim, I., Abed, F., M., (2021) The Potential of LiDAR and UAV-photogrammetric data analysis to interpret archaeological sites: A Case Study of Chun Castle in South-West England, *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 2021, 10, 41.

<sup>37</sup> Baiocchi, V., Onori, M., Scuti, M. (2021) Integrated Geomatic Techniques for the Localization and Georeferencing of Ancient Hermitages, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* 2021, 46, 31–37.

επεξεργασία των φωτογραφικών δεδομένων που είχαν συλλέξει από UAV φωτογραμμετρία, μελετώντας την προοπτική ενσωμάτωσης τέτοιων γεωματικών τεχνικών για τον εντοπισμό χαμένων ή μη χαρτογραφημένων ερημητηρίων μοναχών στην ευρύτερη περιοχής μελέτης του μοναστηρίου Fara Sabina στην Ιταλία. Ειδικότερα, παρήγαγαν ορθοφωτογραφίες επτά ερημητηρίων για την αντιπαραβολή τους με χάρτη της περιοχής από το 1820 που άνηκε στον Gregorian Cadastre. Η σύγκριση οδήγησε στον εντοπισμό δύο χαμένων, κάτω από πυκνή βλάστηση, ερημητηρίων με δύο εξ' αυτών να παραμένουν ακόμα στην αφάνεια.

Ειδικά στις περιπτώσεις έργων πολιτιστικής κληρονομιάς, παρατηρούνται σύνθετες γεωμετρίες οι οποίες είναι δύσκολο να αποτυπωθούν με ακρίβεια με χρήση συμβατικών μέσων. Ως εκ τούτου, οι φωτογραμμετρικές αποτυπώσεις και ειδικά εκείνες που κάνουν χρήση πτητικών μέσων, εξυπηρετούν στην κατά το δυνατό λεπτομερέστερη αποτύπωση πολύπλοκων γεωμετριών, μέσω των αλληλεπικαλυπτόμενων φωτογραφιών περιμετρικά των αντικειμένων. Πράγματι, οι Rocha, G. et al. (2020)<sup>38</sup> στη μελέτη τους διαπίστωσαν ότι τα ιστορικά κτήρια περιλαμβάνουν συχνά μη παραμετροποιήσιμες γεωμετρίες, γεγονός που καθιστά τη ψηφιακή μοντελοποίηση χρονοβόρα με χαμηλά επίπεδα ακρίβειας. Υπογράμμισαν τον καταλυτικό ρόλο που διαδραματίζουν οι σύγχρονες τεχνολογίες καταγραφής: laser σάρωσεις και φωτογραμμετρικές καταγραφές, ως προς την ελαχιστοποίηση του χρόνου παραμονής στο πεδίο και την ταυτόχρονη καταγραφή στοιχείων κτηρίων μη κανονικής γεωμετρίας, με αποδεδειγμένη υψηλή ακρίβεια. Ωστόσο, επεσήμαναν ότι η μετάφραση των δεδομένων πεδίου σε BIM μοντέλα δομικών πληροφοριών, χωρίς απώλεια δεδομένων, αποτελεί ακόμα πρόκληση. Στην έρευνά τους, επιχείρησαν την παραγωγή ενός HBIM μοντέλου με συνδυασμό μεθόδων laser σάρωσης και φωτογραμμετρίας, για το Engine House Paços Reais στη Λισαβόνα της Πορτογαλίας. Συγκεκριμένα, ανέλυσαν τον τρόπο και τις παραμέτρους που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την Scan-to-HBIM διαδικασία, και περιέγραψαν τη διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων, που περιελάμβανε την *αντιστοίχιση* (data alignment) των δεδομένων, την *εκκαθάριση* (cleaning) των περιπτώσεων και το *συνδυασμό* (merging) πριν τη φάση της μοντελοποίησης του νέφους σημείων.

Ακόμα, οι Pepe et al (2021)<sup>39</sup> περιέγραψαν μια UAS μεθοδολογία καταγραφής, για τη γρήγορη και απλή ψηφιακή ανοικοδόμηση, τρισδιάστατων μοντέλων περίπλοκων γεωμετριών κατασκευών, παρουσιάζοντας ως μελέτη περίπτωσης τη ψηφιακή μοντελοποίηση γέφυρας, χτισμένης στα μέσα του 1800, στη νότια Ιταλία. Συγκεκριμένα, παρήγαγαν ένα τρισδιάστατο νέφος σημείων με χρήση UAS Xiaomi Mi 4K, ένα drone με προσαρμοσμένη μια 12 MP κάμερα, και η επεξεργασία έγινε στο περιβάλλον του λογισμικού Agisoft Metashape®. Η τελική μοντελοποίηση πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον Rhinoceros®. Οι μελετητές ανέλυσαν τη δυνατότητα ανάπτυξης συγκεκριμένης μεθοδολογίας, υποστηρίζοντας ότι η εφαρμογή της θα συνέβαλε καταλυτικά σε έργα συντήρησης και αποκατάστασης υφιστάμενων δομών. Στην ίδια γραμμή κινούμενοι, οι Martínez-Carricondo et al. (2021)<sup>40</sup> επεσήμαναν τη σπουδαιότητα εφαρμογής τέτοιων μεθόδων για την αξιολόγηση της υφιστάμενης

---

<sup>38</sup> Rocha, G., Mateus, L., Fernandez, J., Ferreira, V., (2020) 'A Scan-to-BIM Methodology Applied to Heritage Buildings', *Heritage 2020*, 3(1), p. 47-67.

<sup>39</sup> Pepe, M., Constantino, D. (2021), 'UAV photogrammetry and 3D modelling of complex architecture for maintenance purposes: The case study of the masonry bridge on the Sele river, Italy', *Period. Polytech. Civ. Eng. 2021*, 65, p. 191-203.

<sup>40</sup> Martínez-Carricondo, P., Carvajal-Ramírez, F., Yero-Paneque, L., Agüera-Vega, F. (2021) 'Combination of HBIM and UAV photogrammetry for modelling and documentation of forgotten heritage. Case study: Isabel II dam in Níjar, Almería, Spain', *Heritage Sci. 2021*, 9, p. 95.

κατάστασης δομών και τον προσδιορισμό των απαιτούμενων ενεργειών συντήρησης. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε UAV φωτογραμμετρία για την περίπτωση μιας μνημειώδους υδραυλικής κατασκευής, του φράγματος Isabel II dam, που οικοδομήθηκε στα μέσα του 19<sup>ου</sup> αιώνα στην Ισπανία, προκειμένου να διεξαχθεί έρευνα, για την τρέχουσα κατάστασή αυτού και των παρακείμενων κατασκευών. Έτσι, το νέφος σημείων που προέκυψε από τη φωτογραμμετρική διαδικασία, οδήγησε στην παραγωγή ενός τρισδιάστατου ψηφιακού μοντέλου του φράγματος, χρήσιμου για τη συνολική αξιολόγηση και ανίχνευση των σημείων προς συντήρηση.

Ακόμα, η έντονη ερευνητική ενασχόληση με το ζήτημα των αποτυπώσεων, συνεπάγεται και εμπορική ενασχόληση, καθώς δεν είναι λίγες οι εταιρείες που αναπτύσσουν εργαλεία και λογισμικά υποβοήθησης της διαδικασίας ψηφιοποίησης και επεξεργασίας των δεδομένων, με τους ερευνητές να τα χρησιμοποιούν και να τα αξιολογούν. Ενδεικτικά, οι Dasari et al (2021)<sup>41</sup> στη μελέτη καταγραφής των Ghanpur ναών, ένα σύνολο δώδεκα πέτρινων ναών, διαφορετικού σχεδιασμού και μεγέθους, που βρίσκονται κοντά στην πόλη Warangal στην πολιτεία Telangana της Ινδίας, διενήργησαν την επεξεργασία των φωτογραμμετρικών δεδομένων στο λογισμικό της εταιρείας PIX4D (Pix4Dmapper Desktop®). Η συλλογή των δεδομένων αυτών επιτεύχθη με UAV φωτογραμμετρία και χρήση του DJI Phantom 4 Pro. Αντίστοιχα, το συγκεκριμένο drone χρησιμοποιήθηκε και στη μελέτη των Sabil et al. (2022)<sup>42</sup> για την αποτύπωση των Masjid Tanjung Sembong και των Teratak Selari Bonda στη Μαλαισία. Συγκεκριμένα, το DJI Phantom 4 Pro χρησιμοποιήθηκε για πτήσεις σε υψηλότερα υψόμετρα και μεγαλύτερη, συνολικά, απόσταση πτήσης, ενώ για τα χαμηλότερα υψόμετρα χρησιμοποιήθηκε ένα DJI Tello. Την ίδια χρονιά, οι Kanun et al. (2022)<sup>43</sup>, παρήγαγαν το τρισδιάστατο μοντέλο μιας αρχαίας Kanytellis κατοικίας με φωτογραμμετρία, χρησιμοποιώντας ένα Anadi Parrot HDR, με σκοπό τη σύγκριση των δεδομένων που εξήγαγαν σε δύο διαφορετικά λογισμικά επεξεργασίας το Agisoft Metashape® (Agisoft LLC, St. Petersburg, Ρωσία) και Context Capture® (Agisoft LLC, St. Petersburg, Ρωσία).

Παράλληλα, στη σύγχρονη σχετική βιβλιογραφία, διαπιστώνεται προσανατολισμός προς την ανάπτυξη ειδικών εργαλείων και τεχνολογιών στο κομμάτι της ψηφιακής ανοικοδόμησης και συγκεκριμένα της μοντελοποίησης σε BIM περιβάλλον. Οι Badenko, V. et al. (2019)<sup>44</sup> διαπίστωσαν την ανάγκη αναβάθμισης όλων των σταδίων της BIM μοντελοποίησης, περιγράφοντας στη μελέτη τους μια προσαρμοστική μέθοδο για μοντελοποίηση και ανάλυση υφιστάμενων εγκαταστάσεων με δυνατότητα εύκολης επανάληψης. Η μελέτη υποστήριξε ότι η προτεινόμενη μέθοδος αποσκοπούσε στη γεφύρωση κάποιων κενών στις έως τότε διατυπωμένες μεθοδολογίες στο κομμάτι της αναγνώρισης και του προσδιορισμού συγκεκριμένων μερών ή τμημάτων αντικειμένων,

---

<sup>41</sup> Dasari, S., Mesapam, S., Kumarapu, K., Mandla, V., R., (2021) 'UAV in Development of 3D Heritage Monument Model: A Case Study of Kota Gullu, Warangal, India', *J. Indian Soc. Remote Sens.* 2021, 49, p. 1733–1737.

<sup>42</sup> Sabil, A., Mahmud, N.A.A., Utaberta, N., Amin, N.D.N., Asif, N., Yusof, H., (2022) 'The Application of Photogrammetry in Architecture Historical Documentation: The measured drawing of Tanjung Sembong Mosque and Teratak Selari Bonda', *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 2022, 1022.

<sup>43</sup> Kanun, E., Alptekin, A., Karatas, L., Yakar, M. (2022) 'The use of UAV photogrammetry in modeling ancient structures: A case study of "Kanytellis"', *Adv. UAV 2022*, 2, p. 41-50.

<sup>44</sup> Badenko, V., Fedotov, A., Zotov, D., Lytkin, S., Volgin, D., Garg, R. D., Min, Liu (2019) 'Scan-to-BIM methodology adapted for different application', *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-5/W2, p. 1-7.

πχ. αναγνώριση σωλήνων. Οι Kadhim, N., Mhmood, A., D. και Abd-Ulabbas (2020)<sup>45</sup> στη μελέτη τους, υπογραμμίζουν το ζήτημα της διασυνδεσιμότητας μεταξύ νεφών σημείων (αναφορικά με τους τύπους αρχείων, τις επεκτάσεις κ.λπ.) με τις BIM εφαρμογές μοντελοποίησης, παρουσιάζοντας τη δική τους μεθοδολογία διασύνδεσης και παραγωγής τρισδιάστατων BIM μοντέλων από δεδομένα laser σαρώσεων.

Ακόμα, πλειάδα ερευνών έχει εστιάσει στη δυνατότητα αυτοματοποίησης κάποιων - αν όχι όλων - διαδικασιών εντός του BIM περιβάλλοντος για ελαχιστοποίηση του ανθρώπινου σφάλματος, αν και η προσέγγιση αυτή έχει δεχτεί έντονη αμφισβήτηση από κάποιους ερευνητές. Για παράδειγμα, οι Ozimek et al. (2021)<sup>46</sup> παρουσίασαν μια μέθοδο παραγωγής μοντέλων υψηλής ακρίβειας, ιστορικών αρχιτεκτονημάτων και τοπίων με σύνθετες γεωμετρίες. Σύμφωνα με αυτή την έρευνα, οι επίγειες και UAV τεχνικές προτάθηκαν ως μέθοδοι παραγωγής μοντέλων επισημαίνοντας ωστόσο, τα μειονεκτήματα των αυτοματοποιημένων διαδικασιών μοντελοποίησης. Από την άλλη, οι Song et al. (2023)<sup>47</sup> αναγνωρίζουν στη μελέτη τους το ότι η scan-to-BIM διαδικασία απαιτεί πολλές ώρες χειροκίνητης εργασίας από επαγγελματίες αρχιτέκτονα. Δεδομένης αυτής της πρόκλησης, η έρευνα απαντά με μια μεικτή προσέγγιση, δηλαδή εστιάζει στην υποβοήθηση των αρχιτεκτόνων με αυτοματοποιημένες διαδικασίες και όχι στην ολική εξάλειψη ή αντικατάστασή τους. Έτσι, παρουσιάζουν ένα σύστημα που δέχεται τα μη επεξεργασμένα δεδομένα των σαρωτών, τα επεξεργάζεται στο ιστορικό (σε τυχόν προϋπάρχοντα BIM μοντέλα) και στη συνέχεια, μέσω αυτοματοποιημένων διεργασιών, προβλέπει μια σειρά διαδικασιών επεξεργασίας μοντέλου ως APIs, ενός επαγγελματικού BIM λογισμικού (όπως το Autodesk Revit®). Ακόμα, η έρευνα παρουσιάζει το πρώτο scan-to-BIM dataset, για περίπτωση κλίμακας κτηρίου, που περιλαμβάνει μια σειρά από εντολές επεξεργασίας μοντέλου ως APIs σε περιβάλλον AutoDesk Revit®. Η βάση δεδομένων περιλαμβάνει 89 ώρες scan-to-BIM διαδικασιών μοντελοποίησης από επαγγελματίες αρχιτέκτονες και περισσότερες από 16 σκηνές που εκτείνονται σε περισσότερα από 35,000 m<sup>2</sup>.

Συνοψίζοντας, η θεματική των φωτογραμμετρικών αποτυπώσεων αντικειμένων με επακόλουθη ψηφιακή ανακατασκευή τους σύμφωνα με τις αρχές του BIM (Scan-to-(H)BIM), έχει απασχολήσει σημαντικά τη σύγχρονη έρευνα, κατά την τελευταία δεκαετία. Συγκεκριμένα, η παρούσα εργασία, προσανατολίστηκε στη διερεύνηση περιπτώσεων βιβλιογραφικών αναφορών, που έχουν χρησιμοποιήσει μεθόδους και τεχνικές UAV φωτογραμμετρίας. Στην αρχή της δεκαετίας, η πλειοψηφία αυτών, φάνηκε να αφορά σε έργα πολιτιστικής κληρονομιάς, ως απάντηση στην απαίτηση αποτελεσματικής μελέτης, ανάδειξης, επισκόπησης και αξιολόγησης των σύνθετων γεωμετριών τους αλλά και της συνολικής κατάστασής τους. Η εκάστοτε ερευνητική ομάδα παρουσιάζει τη δική της μεθοδολογία αποτύπωσης, και συχνά την αντιπαραβάλλει με διαφορετικές προσεγγίσεις και πρακτικές αποτύπωσης, στην προσπάθεια προσδιορισμού της καταλληλότερης για κάθε διαφορετική περίπτωση αντικειμένου. Στα μέσα της δεκαετίας, το ερευνητικό ενδιαφέρον γύρω από το κομμάτι της BIM ανακατασκευής εντάθηκε, με την επακόλουθη ανάπτυξη διαφορετικών

---

<sup>45</sup> Kadhim, N., Mhmood, A. D., Abd-Ulabbas, A. H. (2021) 'The creation of 3D building models using laser-scanning data for BIM modelling', IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. Baghdad, Iraq, 21-22 December. IOP Publishing, 1105, pp. 012101.

<sup>46</sup> Ozimek, A., Ozimek, P., Skabek, K. Labedz\*\*, P. (2021) 'Digital modelling and accuracy verification of a complex architectural object based on photogrammetric reconstruction', Buildings, 11(5), pp. 206.

<sup>47</sup> Song, W., Luo, J., Zhao, D., Fu, Y., Cheng, C., Furukawa, Y. 'A-Scan2BIM: Assistive Scan to Building Information Modeling', 2023. [Online]. Available at: <https://arxiv.org/abs/2311.18166>.

εμπορικών λογισμικών και ειδικών εργαλείων υποβοήθησης του ψηφιακού μέρους της αποτύπωσης, τόσο στο κομμάτι της επεξεργασίας των φωτογραμμετρικών δεδομένων, με έμφαση στη διαλειτουργικότητα και διασυνδεσιμότητα αυτών με τα BIM περιβάλλοντα, όσο και με την ίδια τη μοντελοποίηση στο BIM, με έμφαση στην αυτοματοποίηση ορισμένων βημάτων, στη μείωση του χρόνου μοντελοποίησης και στην ελαχιστοποίηση του ανθρώπινου λάθους.

Η εργασία αυτή, εντάσσεται στο παρόν ερευνητικό πλαίσιο, ωστόσο επιχειρεί την επέκταση της εφαρμογής της UAV φωτογραμμετρικής αποτύπωσης, πέραν των έργων πολιτιστικής κληρονομιάς, σε περιπτώσεις εκτεταμένων αστικών περιβαλλόντων, μεγαλύτερης κλίμακας, με έντονη ετερογένεια ως προς τα στοιχεία που συνθέτουν το κάθε αστικό σύνολο, ως κομμάτι της αρχιτεκτονικής διαδικασίας. Ως εκ τούτου, διαφοροποιείται από τη πλειοψηφία της βιβλιογραφίας που εστιάζει στην παρουσίαση μετρήσεων και αποτελεσμάτων, δίνοντας μεγαλύτερη έμφαση στην παρουσίαση μιας μεθοδολογίας UAV φωτογραμμετρικής αποτύπωσης και ψηφιακής ανακατασκευής πεδίου, σε μορφή ροής εργασίας (workflow). Η εργασία εστιάζει στο σαφή προσδιορισμό των βημάτων, στην ορθή χρήση των οργάνων και στην περιγραφή των διαδικασιών μοντελοποίησης. Συγκεκριμένα, η πλατεία της Βαρβακείου Αγοράς, ως μελέτη περίπτωσης αποτύπωσης και τρισδιάστατης ψηφιακής ανακατασκευής, αποτυπώθηκε με χρήση drone DJI Mini 3 Pro με προσαρμοσμένη κάμερα του τύπου FC3582 για τη συλλογή των φωτογραφικών δεδομένων. Η επεξεργασία αυτών πραγματοποιήθηκε στα λογισμικά φωτογραμμετρικής επεξεργασίας Autodesk Recap® και Agisoft Metashape® και η τρισδιάστατη τεκμηρίωση στο BIM περιβάλλον του Autodesk Revit®.

## **ΜΕΡΟΣ 3<sup>ο</sup>**

### **ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ & ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ (WORKFLOW)**

Η μεθοδολογία της αποτύπωσης και ψηφιακής καταγραφής με UAV φωτογραμμετρία, υποδιαιρείται σε τρία βασικά στάδια: (1) τη *συλλογή δεδομένων* που περιλαμβάνει την φωτογραφική αποτύπωση του αντικειμένου, την κατάλληλη (2) *ψηφιακή επεξεργασία* για την παραγωγή πυκνών νεφών σημείων σε ένα σύστημα συντεταγμένων και τέλος, τη (3) *μεταφορά τους σε περιβάλλον BIM* για την τρισδιάστατη τεκμηρίωση. Στις παρακάτω ενότητες του τρίτου μέρους της εργασίας, παρουσιάζεται αναλυτικά η παραπάνω διαδικασία, για κάθε στάδιο ξεχωριστά, λειτουργώντας ως εισαγωγική ενότητα για το τέταρτο μέρος, αυτό της πρακτικής εφαρμογής της, στην περίπτωση της πλατείας της Βαρβακείου Αγοράς, που έχει επιλεγεί ως μελέτη περίπτωσης.

#### 3.1 Συλλογή Δεδομένων: Αποτύπωση Πεδίου με Εναέρια Φωτογραμμετρία

##### *Προετοιμασία Πτήσης*

Η αποτύπωση με φωτογραμμετρία και χρήση μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (UAVs - drones), ξεκινά με την προετοιμασία και τον λεπτομερή σχεδιασμό της επίσκεψης και της πτήσης στο πεδίο. Πριν την επίσκεψη στο πεδίο, απαιτείται ο έλεγχος των καιρικών συνθηκών κατά την προγραμματισμένη ώρα της πτήσης και η εξασφάλιση των απαραίτητων αδειών πτήσης από την αρμόδια αρχή, για το εναέριο μέσο που θα χρησιμοποιηθεί (στην περίπτωσή μας drone). Είναι προφανές, ότι η καθαρή ατμόσφαιρα απαιτείται τόσο για λόγους ευκρίνειας και υψηλής διακριτότητας όσο και

για λόγους μείωσης της ατμοσφαιρικής διάθλασης. Έτσι, ημέρες με νέφωση (μεγαλύτερη από 10%) αποφεύγονται, ακόμη και αν τα νέφη βρίσκονται σε μεγαλύτερα από το ύψος της πτήσης υψόμετρα, αφού ακόμα και σε αυτή την περίπτωση, οι ενδεχόμενες σκιές ενδεχομένως να καλύψουν ή να καταστήσουν δυσδιάκριτο μεγάλο ποσοστό πληροφοριών. Επίσης, είναι προτιμότερο, οι πτήσεις να πραγματοποιούνται κατά περιόδους που ο ήλιος εμφανίζει μεγάλες κλίσεις (30-70%) για να αποφεύγονται οι έντονες σκιές στις φωτογραφίες<sup>48</sup>. Ακόμα, αναφορικά στον ορθό προγραμματισμό της πτήσης, ο χειριστής οφείλει να ενημερωθεί για ενδεχόμενη NOTAM (Notice to Airmen) στο πεδίο που προγραμματίζει την πτήση του, μια ειδοποίηση προς τους πιλότους που εκδίδεται από την αρμόδια αρχή της πολιτικής αεροπορίας για πιθανούς κινδύνους στο συγκεκριμένο πεδίο, που μπορεί να επηρεάσουν την πορεία ή την ασφάλεια της πτήσης.

Το δεύτερο σκέλος της προετοιμασίας της επίσκεψης περιλαμβάνει μια πρώτη περιήγηση στο πεδίο είτε με φυσική παρουσία είτε χρησιμοποιώντας διαδικτυακούς χάρτες και δορυφορικές εικόνες, για την απόκτηση μιας πρώτης εικόνας των απαιτήσεων και των ειδικών συνθηκών που συγκροτούν την κάθε ξεχωριστή περίπτωση πεδίου. Στη συνέχεια, στο πρακτικό κομμάτι της προετοιμασίας της επίσκεψης, περιλαμβάνονται: ο έλεγχος ενημερότητας των λογισμικών που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν, ο έλεγχος επάρκειας μπαταρίας του drone και του χειριστηρίου, (μάλιστα συστήνεται η μεταφορά στο πεδίο εφεδρικών μπαταριών μιας και η ζωή τους είναι συνήθως περιορισμένη) και τέλος, ο έλεγχος χωρητικότητας της κάρτας μνήμης της φωτογραφικής κάμερας που θα φέρει το drone.

Κατά την επίσκεψη στο πεδίο, απαιτείται η επιλογή μιας ασφαλούς και εξυπηρετικής τοποθεσίας, από την οποία θα πραγματοποιηθεί η απογείωση και η προσγείωση του drone. Προτού ξεκινήσει η πτήση, απαιτείται εξέταση και έλεγχος της κατάστασης του drone και των προπελών του όπως και της τοποθέτησης της κάμερας επάνω στο drone, ώστε να επιτρέπεται η ανεμπόδιστη περιστροφή της. Κατά την ενεργοποίηση του drone και του χειριστηρίου του, απαιτείται σύνδεση στο δίκτυο με το GPS να καταγράφει τις ακριβείς γεωγραφικές συντεταγμένες της πτήσης.

Κατά τη διάρκεια της πτήσης, ο χρήστης πρέπει να διατηρεί οπτική επαφή με το drone και να τηρεί τους κανονισμούς ταχύτητας, επιτάχυνσης και αποστάσεων. Συγκεκριμένα, η πτήση κοντά σε ανθρώπους, ζώα, κτήρια και καλώδια ηλεκτροδότησης πρέπει να αποφεύγεται. Παράλληλα, χρειάζεται διαρκής παρακολούθηση των επιπέδων της μπαταρίας κατά τη διάρκεια της πτήσης και ενδεχόμενη επιστροφή στο σημείο απογείωσης σε περίπτωση μειούμενης μπαταρίας ή τυχόν επιπλοκής του εξοπλισμού.

Κατά την ολοκλήρωση της πτήσης, απενεργοποιούνται drone και χειριστήριο, απομακρύνεται η μπαταρία και αποθηκεύεται όλος ο εξοπλισμός. Τέλος, πραγματοποιείται η επισκόπηση του καταγεγραμμένου φωτογραφικού υλικού.

#### *Προετοιμασία Οργάνων & Συσκευών καταγραφής*

Η συλλογή δεδομένων με φωτογραμμετρία, αποσκοπεί στην απόκτηση ακριβών πληροφοριών ιδιοτήτων επιφανειών και αντικειμένων. Αυτό επιτυγχάνεται χωρίς φυσική επαφή με το ίδιο το αντικείμενο ή με τα στοιχεία που το απαρτίζουν. Η γενική ορολογία των συσκευών καταγραφής δεδομένων είναι ο όρος «αισθητήρας» (sensor) που περιλαμβάνει οπτικό σύστημα ανίχνευσης. Ο αισθητήρας τοποθετείται σε κάποια «πλατφόρμα» (platform). Οι περισσότεροι συνήθεις αισθητήρες είναι κάμερες τα

---

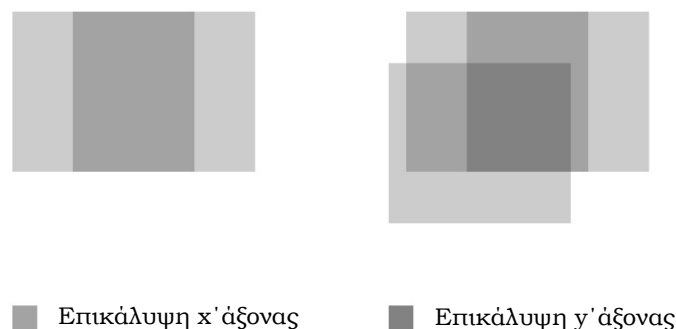
<sup>48</sup> Λαζαρίδου, Μ., Πάτιμος, Ε. (2010) *Φωτογραμμετρία-Γεωπληροφοριακά Συστήματα*, Πανεπιστημιακές Παραδόσεις, Τεύχος 1ο, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.

παράγωγα των οποίων, οι φωτογραφίες, εξυπηρετούν την ανίχνευση του αντικειμένου. Οι κάμερες τοποθετούνται πάνω σε πτητικά μέσα, ως οι πιο κοινές πλατφόρμες υποδοχής αισθητήρων.

Σε ότι αφορά στις ρυθμίσεις της κάμερας, για την επίτευξη καλύτερης ανάλυσης (resolution) συνιστάται η χρήση ψηφιακών καμερών και η λήψη των φωτογραφιών στην μεγαλύτερη δυνατή ανάλυση. Η εστιακή απόσταση (focal length) για κοινές κάμερες ρυθμίζεται ιδανικά στα 50mm ή στο εύρος μεταξύ 20 και 80mm. Αργότερα, κατά την επεξεργασία των δεδομένων στα αντίστοιχα φωτογραμμετρικά λογισμικά, μαζί με τα στοιχεία εστιακής απόστασης, πρέπει να περαστούν στο λογισμικό και τα χαρακτηριστικά παραμόρφωσης του φακού (lens distortion) που χρησιμοποιήθηκε για τη λήψη των φωτογραφιών επιλέγοντας τον αντίστοιχο τύπο κάμερας στο αντίστοιχο παράθυρο διαλόγου.

### Σενάρια καταγραφής

Τα σενάρια καταγραφής διαφέρουν ανάλογα με το είδος και τις απαιτήσεις του εκάστοτε αντικειμένου (π.χ. αν πρόκειται για κτήριο, γλυπτό, αστικό τοπίο κ.α). Για αποτελεσματικότερη καταγραφή συστήνεται η αποτύπωση μεγαλύτερης περιοχής γύρω από το αντικείμενο της μελέτης μέσω της λήψης πολλαπλών φωτογραφιών. Κάθε φωτογραφία χρειάζεται να διατηρεί τις ίδιες διαστάσεις και το αντικείμενο μελέτης να καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος της ακολουθώντας τον κανόνα της αλληλοεπικάλυψης. Συγκεκριμένα, ως βασική αρχή φωτογράφισης ορίζεται ποσοστό αλληλοεπικάλυψης 70-80% και ειδικότερα στην περίπτωση της αεροφωτογραφίας το ποσοστό διαμορφώνεται σε 60% κατ' ελάχιστο για επικάλυψη κατά τον x' άξονα και 80% κατά τον y' άξονα (Εικόνα 3.1.1).

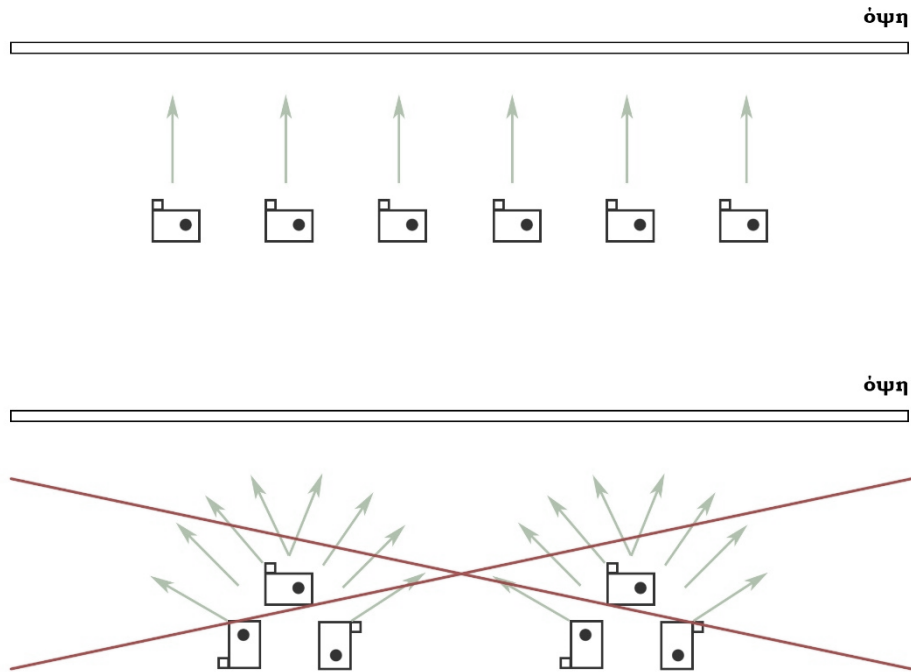


**Εικόνα 3.1.1:** Γραφική απεικόνιση αλληλοεπικάλυψης φωτογραφιών στους άξονες, Πηγή: Συγγραφέας

### Συνθήκες Φωτισμού

Ιδανικά, οι φωτογραμμετρικές εργασίες πρέπει να πραγματοποιούνται σε ημέρες με σταθερή ηλιοφάνεια χωρίς δυνατό αέρα ή βροχή. Ο σταθερός φωτισμός εξασφαλίζει καλύτερη ποιότητα των φωτογραφιών με ελαχιστοποίηση αντανακλάσεων και παραμέτρων θάμβωσης. Μάλιστα, συστήνεται, εφόσον είναι δυνατή, η απομάκρυνση τυχόν φωτεινών πηγών ή επιφανειών υψηλής ανακλαστικότητας (όπως μέταλλα ή καθρέπτες) από το πεδίο. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, οι συνθήκες ηλιασμού μεταβάλλονται με αποτέλεσμα στο ίδιο πεδίο κάποια διαφορετική στιγμή της ημέρας να δημιουργηθούν έντονες σκιές σε ακαθόριστα σχήματα ή ακόμα και ολόκληρες περιοχές





**Εικόνα 3.1.2:** Γραφική απεικόνιση ορθής και μη ορθής κίνησης της κάμερας ως προς μια όψη, Πηγή: Συγγραφέας

πιο σκοτεινές. Για το λόγο αυτό, σε περίπτωση που οι εργασίες πεδίου δεν ολοκληρωθούν την ίδια ημέρα, να επαναληφθούν κάποια επόμενη, ιδανικά σε αντίστοιχη ώρα και καιρικές συνθήκες. Σε περίπτωση αποτύπωσης εσωτερικού χώρου, προτείνεται η χρήση σταθερού τεχνητού φωτισμού.

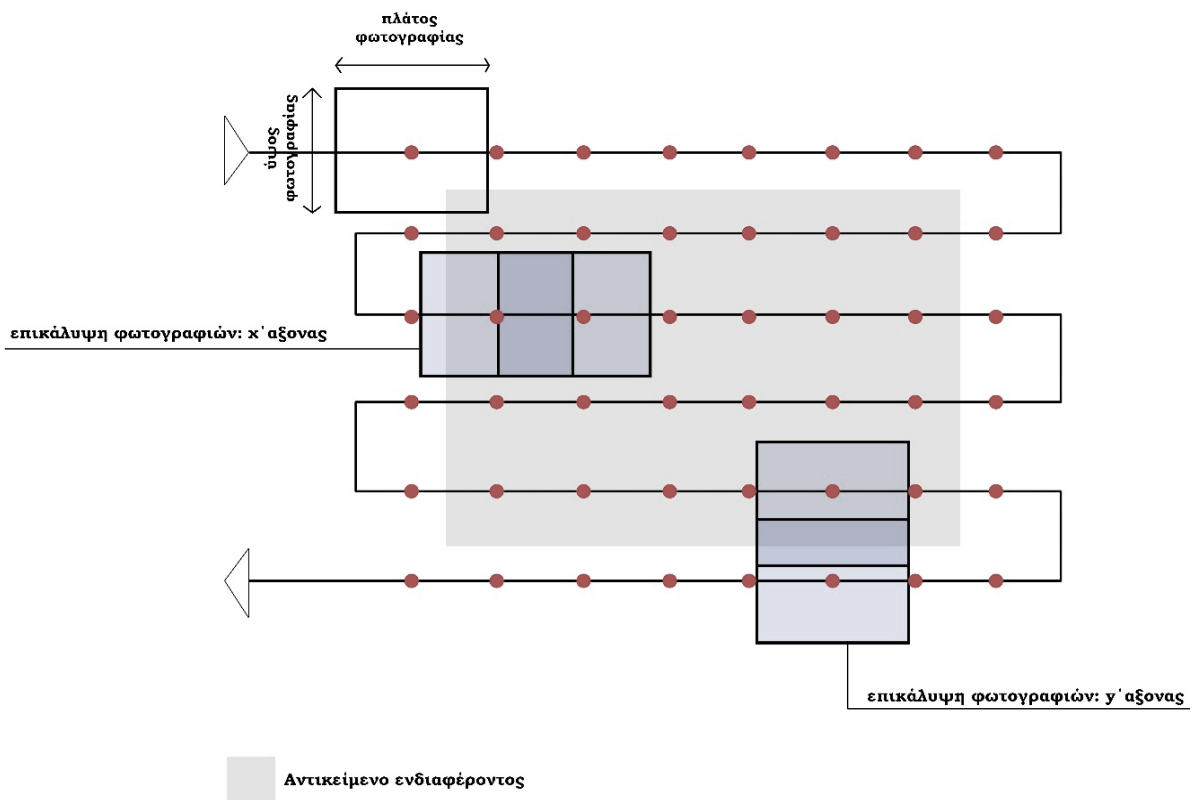
### *Γεωαναφορά*

Στην περίπτωση της εναέριας φωτογραμμετρίας, προκειμένου τα σημεία των φωτογραφιών να έχουν αναφορά στο σύστημα γεωγραφικών συντεταγμένων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν κάποια σημεία αναφοράς που ονομάζονται Ground Control Points (GCPs) τα οποία είναι σημεία δεδομένων διαστάσεων και γεωγραφικών συντεταγμένων, που τοποθετούνται σε στρατηγικές θέσεις εντός του πεδίου καταγραφής και εξυπηρετούν τόσο στη γεωμετρική όσο και γεωγραφική ακρίβεια του παραγόμενου μοντέλου. Βέβαια, υπάρχουν φωτογραμμετρικά λογισμικά, τα οποία δεν απαιτούν την χρήση GCPs καθώς αντλούν τις γεωγραφικές συντεταγμένες των διαφορετικών θέσεων λήψης των εικόνων από το σύστημα γεωαναφοράς (GPS) της κάμερας. Ακόμα, για μεγαλύτερη ακρίβεια κλίμακας απαιτείται η τοποθέτηση τουλάχιστον δύο σημείων στο πεδίο δεδομένης απόστασης μεταξύ τους ή εναλλακτικά, η τοποθέτηση κάποιου κλιμακόμετρου εντός της περιοχής λήψης των εικόνων.

### *Καταγραφή: θέσεις κάμερας ως προς το αντικείμενο για ωφέλιμες λήψεις*

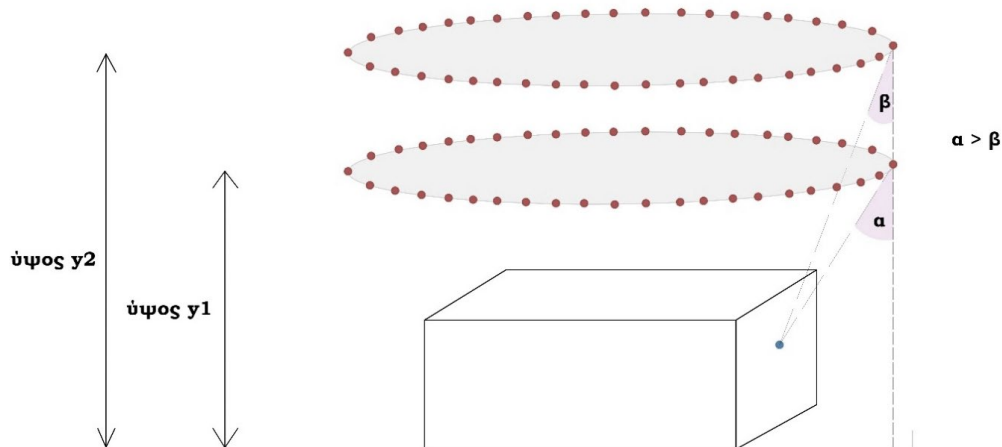
Στην περίπτωση καταγραφής μιας όψης κτηρίου/αντικειμένου, ο ορθός τρόπος καταγραφής οπτικοποιείται στην Εικόνα 3.1.2. Συγκεκριμένα, η κάμερα πρέπει να κινείται γραμμικά, παράλληλα με την όψη, τραβώντας πολλαπλές λήψεις με μεγάλη αλληλοεπικάλυψη (περί το 70-80%: ιδανικά, κάθε σημείο να εντοπίζεται σε τουλάχιστον τρεις διαδοχικές λήψεις) σαρώνοντας την σε όλο το ύψος της. Ειδικότερα, στις απολήξεις της (ακραία σημεία όπου μεταβάλλεται η γεωμετρία) συνιστάται η λήψη μεγαλύτερου αριθμού φωτογραφιών με μεγαλύτερο - από το μέσο - ποσοστό αλληλοεπικάλυψης για

τη διασφάλιση αποτύπωσης ικανού αριθμού σημείων και την επίτευξη μεγαλύτερης δυνατής λεπτομέρειας του παραγόμενου μοντέλου. Ακόμα, στη λογική αύξησης των παραμέτρων λεπτομέρειας, η σάρωση μπορεί να πραγματοποιηθεί με περισσότερες σειρές λήψεων διασφαλίζοντας ότι η κάμερα θα εκτελεί συνεχή γραμμική πορεία ως προς το αντικείμενο και ότι θα λαμβάνονται διαφορετικές σειρές λήψεων με την κάμερα να βρίσκεται σε διαφορετική κλίση και ύψος ως προς το αντικείμενο. Ειδικότερα, θα μπορούσαμε να πούμε, ότι κατά την καταγραφή του αντικειμένου, η γραμμική πορεία που διαγράφει η κάμερα ως προς αυτό, σχηματίζει έναν κάναβο με σημεία σταθμούς στους οποίους πραγματοποιούνται οι λήψεις διατηρώντας τον κανόνα υψηλής αλληλεπικάλυψης και στους δύο άξονες (Εικόνα 3.1.3). Για επίτευξη υψηλότερης λεπτομέρειας, είναι αποδοτικό να πραγματοποιείται καταγραφή σειράς επιπλέον λήψεων σε διαφορετικά ύψη και με την κάμερα να τοποθετείται σε διαφορετικές κλίσεις ως προς το αντικείμενο (Εικόνα 3.1.4). Συγκεκριμένα, συνιστάται ανάλογη μείωση του ύψους καταγραφής και αύξηση της κλίσης της κάμερας για κάθε διαφορετική σειρά λήψεων.



**Εικόνα 3.1.3:** Γραφική απεικόνιση πορείας καταγραφής αντικειμένου με αλληλεπικαλυπτόμενες λήψεις στους δύο άξονες, Πηγή: Συγγραφέας

Όμοια, ακολουθώντας την ίδια αρχή καταγραφής, μπορούν να αποτυπωθούν και εσωτερικοί χώροι καταγράφοντας με σειρά τις διαδοχικές όψεις/επιφάνειες που τους ορίζουν. Ο παρατηρητής στέκεται με την πλάτη παράλληλη σε κάθε όψη καταγράφοντας κάθε φορά την απέναντι. Και εδώ, ο ορθός τρόπος καταγραφής είναι η γραμμική πορεία της κάμερας και όχι η περιστροφή της γύρω από σημείο. Σε περιπτώσεις μονόχρωμων επιφανειών, ή επιφανειών χωρίς υφή όπως τοίχοι, που είναι πιο δύσκολο να καταγραφούν, συνιστάται η καταγραφή τους από μικρότερη απόσταση ώστε να γίνουν



**Εικόνα 3.1.4:** Γραφική απεικόνιση περιμετρικής πορείας καταγραφής αντικειμένου σε διαφορετικά ως προς το αντικείμενο ύψη για επίτευξη μεγαλύτερης λεπτομέρειας, Πηγή: Συγγραφέας

ορατά σημεία μικρολεπτομερειών και να διευκολύνεται η διαδικασία λόγω των αντιθέσεων.

#### Ανάλυση και Ακρίβεια

Κατά την εναέρια φωτογραμμετρία, η μετρική ακρίβεια αποτελεί τον βασικότερο στόχο μιας αποτύπωσης που αποσκοπεί σε επακόλουθη - as-built - τρισδιάστατη μοντελοποίηση. Για το λόγο αυτό, εισάγεται η παράμετρος Ground Sampling Distance (GSD) η οποία αναφέρεται στην απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών κέντρων δύο εικονοστοιχείων (pixel) μετρημένων πάνω στο αντικείμενο (Εικόνα 3.1.5α)<sup>49</sup>. Με άλλα λόγια, η απόσταση μεταξύ των αντικειμένων στον πραγματικό χώρο, αναπαρίσταται από δύο εικονοστοιχεία (pixels) σε μια εικόνα. Για παράδειγμα, μια εικόνα με GSD 1 μέτρου/εικονοστοιχείο (1m/pixel) σημαίνει ότι η απόσταση στον πραγματικό χώρο μεταξύ δύο στοιχείων που βρίσκονται σε απόσταση 1 εικονοστοιχείου (pixel) στην εικόνα, είναι 1 μέτρο. Αυτή η παράμετρος προσδιορίζει την ανάλυση της εικόνας (resolution), εξυπηρετώντας στην εξαγωγή ασφαλών μετρήσεων από τα δεδομένα που έχουν συλλεγεί και εκφράζονται σε μονάδες μήκους/εικονοστοιχείο (units of length/pixel)<sup>50</sup>. Συγκεκριμένα, ο υπολογισμός (Εικόνα 3.1.5β) της παραμέτρου GSD προκύπτει από:

- Το ύψος/απόσταση της κάμερας/πτήσης από το έδαφος/αντικείμενο (H)
- Το πλάτος της φωτογραφίας (I)
- Το πλάτος του αισθητήρα (S)
- Την εστιακή απόσταση (F)

Υπολογίζεται με τη σχέση:  $GSD = \frac{S \times H}{I \times F}$ , και μετριέται σε εκατοστά/εικονοστοιχεία.

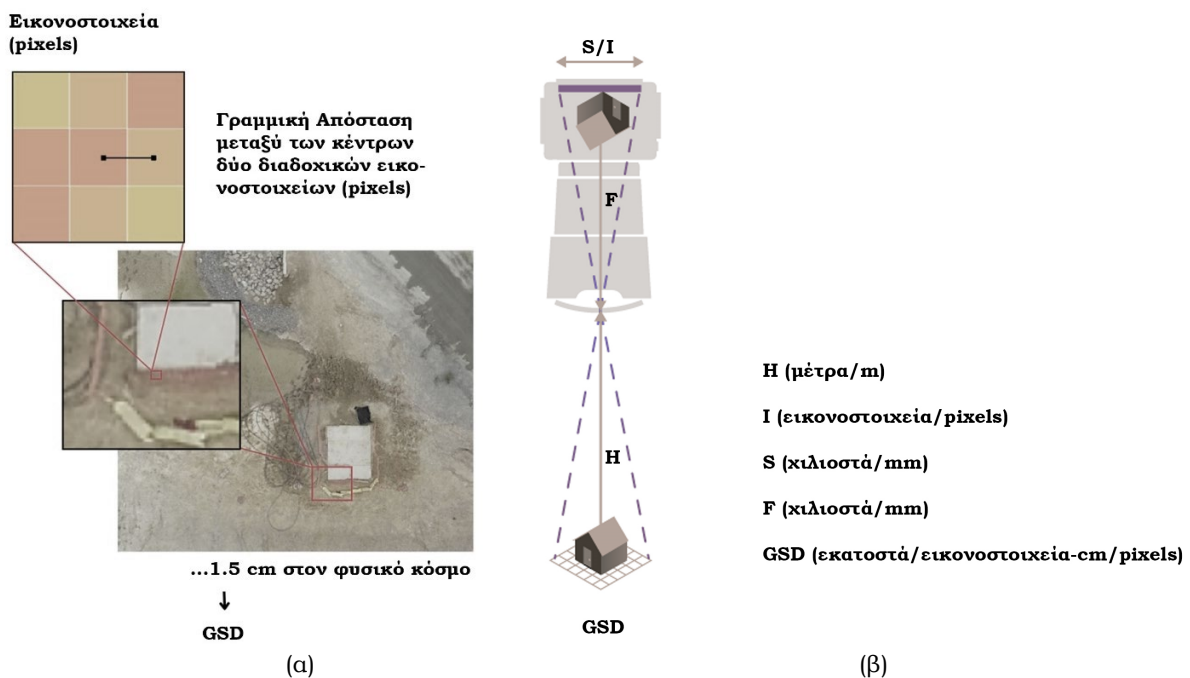
Η επιλογή του μέτρου της GSD παραμέτρου είναι σημαντική προτού ξεκινήσει η αποτύπωση και η λήψη των φωτογραφιών, προκειμένου να προσαρμοστεί το ύψος της

<sup>49</sup> Vision Aerial (2021) *What is Ground Sample Distance (GSD)?*. Available at: <https://visionaerial.com/what-is-ground-sample-distance/> (Accessed: 16 August 2024)

<sup>50</sup> Dhari, R. (2024) *GSD Calculator – Ground Sample Distance*. Available at: <https://www.omnicalculator.com/other/ground-sample-distance> (Accessed: 16 August 2024)

πήσης και τα χαρακτηριστικά της κάμερας σύμφωνα με τις απαιτήσεις του έργου. Όταν απαιτείται λεπτομερής αποτύπωση μιας περιοχής προτείνεται η μικρό μέτρο GSD, δηλαδή πτήση σε μικρότερη/κοντινότερη απόσταση από το αντικείμενο/περιοχή καταγραφής. Αντίθετα, όταν αποτυπώνονται μεγάλες περιοχές για τις οποίες δεν απαιτείται μεγάλο ποσοστό λεπτομέρειας, η πτήση μπορεί να γίνει σε μεγαλύτερη απόσταση γεγονός που κατ' επέκταση μειώνει και το συνολικό όγκο των απαιτούμενων δεδομένων αλλά και τον χρόνο παραμονής στο πεδίο. Ενδεικτικά:

- GSD = 5cm σημαίνει ότι ένα εικονοστοιχείο (pixel) στην φωτογραφία αποτυπώνει 5 γραμμικά εκατοστά στο φυσικό κόσμο ( $5 \times 5 = 25 \text{ cm}^2$ )



**Εικόνα 3.1.5:** (α) Οπτικοποίηση της παραμέτρου GSD, Πηγή: Skycatch, Επεξεργασία: Συγγραφέας, (β) Υπολογισμός παραμέτρου GSD, Πηγή: PIX4D, Επεξεργασία: Συγγραφέας

Για παράδειγμα, για να υπολογίσουμε την απόσταση πτήσης (H) για αποτύπωση με GSD 2 cm/pixel και drone με πλάτος αισθητήρα (S) 13 cm, εστιακή απόσταση (F) κάμερας 10.62 mm και πλάτος φωτογραφίας (I) 5000 pixels:

$$GSD = \frac{S \times H}{I \times F} \Rightarrow H = \frac{0.02 \times 10.62 \times 0.01 \times 5000}{0.13} = 81.7 \text{ m}$$

Επομένως, το drone θα πρέπει να πετάξει σε ύψος 81.7m για να επιτύχουμε ανάλυση 2 cm/pixel με τα δοθέντα όργανα<sup>51</sup>.

Στον παρακάτω πίνακα, φαίνονται οι μέγιστες τιμές GSD για φωτογραμμετρία στις τυπικές κλίμακες που χρησιμοποιούνται στην αρχιτεκτονική.

<sup>51</sup> Dhari, R. (2024) *GSD Calculator – Ground Sample Distance*. Available at: <https://www.omnicalculator.com/other/ground-sample-distance> (Accessed: 16 August 2024)

ΚΛΙΜΑΚΑ	ΜΕΓΙΣΤΟ GSD
1 : 500	4 cm
1 : 200	2 cm
1 : 100	1 cm
1 : 50	0.3 cm
1 : 20	0.2 cm
1 : 10	0.1 cm

**Πίνακας 3.1.1:** Μέγιστες τιμές GSD ανά γνωστή κλίμακα σχεδιασμού

Σημειώνεται, ότι ακόμα και αν η πτήση διατηρεί ένα σταθερό ύψος ως προς το αντικείμενο, ενδέχεται όλες οι φωτογραφίες να μην έχουν ακριβώς το ίδιο GSD, λόγω πιθανών ανωμαλιών του εδάφους, μικρών διαφοροποιήσεων στη γωνία της κάμερας ως προς το αντικείμενο κ.α. Κατά το επόμενο στάδιο ωστόσο, αυτό της επεξεργασίας και της παραγωγής των τρισδιάστατων νεφών σημείων και των ορθομωσαϊκών, τα φωτογραμμετρικά λογισμικά υπολογίζουν και χρησιμοποιούν μια μέση τιμή για το GSD<sup>52</sup>.

### 3.2 Επεξεργασία Δεδομένων

Μετά την συλλογή των δεδομένων πεδίου, το δεύτερο στάδιο της φωτογραμμετρικής διαδικασίας περιλαμβάνει την επεξεργασία των δεδομένων με χρήση φωτογραμμετρικών λογισμικών. Στην παρούσα εργασία, αξιοποιείται το λογισμικό Agisoft Metashape®, επομένως, η επεξεργασία των φωτογραφικών δεδομένων για την παραγωγή του τρισδιάστατου νέφους σημείων, θα παρουσιαστεί σε αυτό το περιβάλλον εργασίας, και συνοψίζεται στα παρακάτω στάδια. Η παρουσίαση της μεθοδολογίας στηρίζεται στο προτεινόμενο από την εταιρεία εγχειρίδιο εργασίας.

- Εισαγωγή φωτογραφιών

Είναι σημαντικό οι φωτογραφίες που θα εισαχθούν στο λογισμικό, να μην έχουν υποστεί γεωμετρική παραμόρφωση, όπως περιστροφή, περικοπή ή αλλαγή μεγέθους, καθώς αυτό θα επηρεάσει τη διαδικασία αυτόματης βαθμονόμησης (calibration) που υπολογίζει τις παραμέτρους βαθμονόμησης και παραμόρφωσης (distortion). Ειδικότερα, το Agisoft Metashape® δέχεται μόνο ανεπεξεργαστες (raw) φωτογραφίες, όπως έχουν καταγραφεί από ψηφιακή κάμερα, καθώς σε περίπτωση εισόδου φωτογραφιών που έχουν υποστεί προηγουμένως επεξεργασία ως προς τη γεωμετρία είναι πιθανό να προκύψουν ανακριβή αποτελέσματα ή ακόμα και να αποτύχει η παραγωγή του νέφους σημείων. Από την άλλη, τροποποιήσεις φωτομετρικών παραμέτρων των εικόνων, όπως η φωτεινότητα ή το κοντράστ, δεν επηρεάζει το αποτέλεσμα της ανασύνθεσης (με εξαίρεση την χρήση φίλτρων (π.χ. Γκαουσιανό) που μπορεί να επηρεάσουν μικρές λεπτομέρειες των φωτογραφιών και να χαθεί η πιστότητα του παραγόμενου νέφους).

Η εισαγωγή των επιλεγμένων φωτογραφιών στο περιβάλλον εργασίας (workspace) φέρουν κάποιες σημάνσεις (flags) που υποδεικνύουν την κατάστασή τους.

<sup>52</sup> PIX4D, *Ground sampling distance (GSD) in photogrammetry*. Available at: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202559809> (Accessed 08 September 2024)

Συγκεκριμένα, η σήμανση NC (Not Calibrated) υποδηλώνει ότι τα μεταδεδομένα (metadata) της φωτογραφίας δεν είναι αρκετά για να υπολογιστεί η εστιακή απόσταση της κάμερας. Σε αυτή την περίπτωση το λογισμικό, θεωρεί ότι η φωτογραφία έχει τραβηχτεί χρησιμοποιώντας φακό 50mm. Στην περίπτωση που δεν αληθεύει αυτό, μπορεί να πραγματοποιηθεί χειροκίνητη βαθμονόμηση. Η σήμανση NA (Not Aligned) υποδεικνύει ότι οι παράμετροι του εξωτερικού προσανατολισμού της κάμερας, δεν έχουν προσδιοριστεί για αυτή τη φωτογραφία ακόμα. Η εκτίμηση των παραμέτρων αυτών πραγματοποιείται στο στάδιο της ευθυγράμμισης των φωτογραφιών (Align Photos) ή μπορεί να εισαχθεί ως πληροφορία με την επιλογή Import Cameras.

- Βαθμονόμηση Κάμερας

Εάν η λήψη των φωτογραφιών έχει πραγματοποιηθεί με σφαιρικό, κυλινδρικό ή fisheye φακό, τότε γι' αυτό πρέπει να προσδιοριστεί στο λογισμικό ο σωστός τύπος αισθητήρα από το μενού βαθμονόμησης κάμερας (camera calibration tools) πριν την επεξεργασία. Εάν χρησιμοποιούνται φακοί για μεγέθυνση, η εστιακή απόσταση πρέπει να τεθεί είτε στη μέγιστη είτε στην ελάχιστη τιμή της, κατά την αποτύπωση του πεδίου, για αποτελέσματα μεγαλύτερης ακρίβειας. Για ενδιάμεση εστιακή απόσταση, είναι καλό να χρησιμοποιούνται διαφορετικά σύνολα ρυθμίσεων για τις διαφορετικές φωτογραφίες. Το Agisoft Metashape® υπολογίζει αυτόματα τις αρχικές τιμές του μεγέθους του αισθητήρα και της εστιακής απόστασης (focal length) βάσει των δεδομένων EXIF. Όσο καλύτερη είναι η αρχική εκτίμηση των παραμέτρων, τόσο καλύτερη θα είναι και η αυτόματη βαθμονόμηση της κάμερας. Αν και η ύπαρξη αυτών των μεταδεδομένων (metadata) είναι σημαντική για ένα αξιόπιστο αποτέλεσμα, είναι δυνατό να ανασυντεθεί η σκηνή και να παραχθεί νέφος σημείων και χωρίς αυτά, δεδομένου ότι το λογισμικό διαθέτει κάποιες προεπιλεγμένες ρυθμίσεις παραμέτρων.

- Πιστότητα Εικόνας

Η πιστότητα της εικόνας διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο για το αποτέλεσμα της ανασύνθεσης. Σε περίπτωση που οι εικόνες είναι θολές, τότε οι αλγόριθμοι υλοποίησης της ευθυγράμμισης και παραγωγής των υφών (textures) των αντικειμένων, ενδεχομένως να δώσουν αποτελέσματα χαμηλότερης ποιότητας και ακρίβειας. Το Agisoft Metashape® περιλαμβάνει εργαλεία που υπολογίζουν την ποιότητα (resolution) της εικόνας, βάσει του επιπέδου σαφήνειας του πιο εστιασμένου σημείου της εικόνας. Έτσι, καθορίζεται μια κλίμακα για την επιλογή των φωτογραφιών, ώστε να χρησιμοποιούνται εικόνες που φέρουν από ένα βαθμό ποιότητας και επάνω, ενώ οι υπόλοιπες να απορρίπτονται. Η εκτίμηση της ποιότητας των φωτογραφιών πραγματοποιείται με εισαγωγή των λεπτομερειών (details) στο πεδίο των φωτογραφιών (photos) του μενού επεξεργασίας (change). Στο στάδιο αυτό, γίνεται η επιλογή των φωτογραφιών που πρόκειται να υποστούν επεξεργασία για τον προσδιορισμό της ποιότητας (estimate image quality). Με το πέρας της επεξεργασίας, προσδιορίζεται η τιμή που υποδεικνύει την ποιότητα της φωτογραφίας (στήλη quality). Οι φωτογραφίες με τιμή ποιότητας μικρότερης του 0,5 είναι προτιμότερο να μη λαμβάνονται υπόψη κατά την περαιτέρω επεξεργασία και προτείνεται η απενεργοποίηση (disable) ή διαγραφή (delete) τους.

- «Μάσκες» Επεξεργασίας

Το στάδιο αυτό αποτελεί προαιρετικό βήμα της επεξεργασίας δεδομένων και αφορά στην αφαίρεση μερών από τις φωτογραφίες ώστε να εξαιρεθούν από τη διαδικασία ανάλυσης και ανασύνθεσης. Η εισαγωγή «μασκών» μπορεί να πραγματοποιηθεί οποιαδήποτε στιγμή πριν την ευθυγράμμιση των φωτογραφιών (photo alignment). Συγκεκριμένα, οι

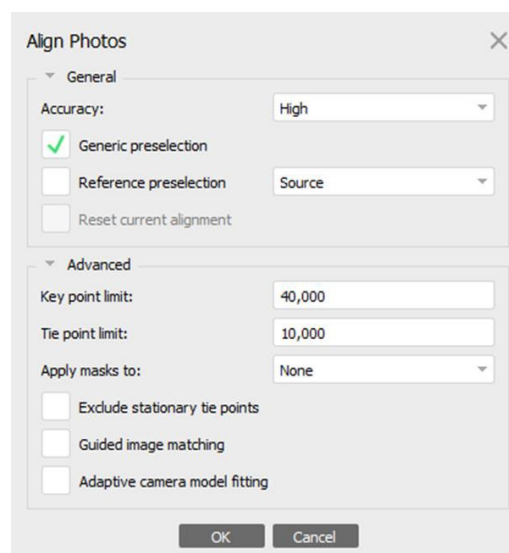
«μάσκες» χρησιμοποιούνται σε στοιχεία ή περιοχές των φωτογραφιών που μπορεί να αλλοιώσουν το αποτέλεσμα της ανασύνθεσης όπως εκτεταμένες σκοτεινές περιοχές παρασκήνιου (background) ή λανθασμένα στοιχεία προσκήνιου (foreground). Στο Agisoft Metashape® αυτές οι «μάσκες» προσδιορίζονται χειροκίνητα με πλαίσια γύρω από τις συγκεκριμένες περιοχές (Εικόνα 3.2.1α). Τέλος, οι «μασκαρεμένες» περιοχές (Εικόνα 3.2.1β) μπορούν να χρησιμοποιηθούν προαιρετικά στο στάδιο της ευθυγράμμισης φωτογραφιών, ενώ πρέπει να είναι ενεργές στο στάδιο της παραγωγής του μοντέλου (build model) και των υφών (build texture).



**Εικόνα 3.2.1:** (α) Επιλογή αντικειμένου για «μάσκα», Πηγή: Agisoft, (β) «Μασκαρεμένες» περιοχές, Πηγή: Agisoft

- Ευθυγράμμιση φωτογραφιών

Σε αυτό το στάδιο γίνεται η γεωμετρική ανασύνθεση κάθε φωτογραφίας ως προς τη θέση και τον προσανατολισμό της κάμερας, βάση της εκτίμησης του αλγορίθμου και με τη δημιουργία σημείων κλειδιών στην εικόνα. Οι επιλογές που εμφανίζονται στο παράθυρο διαλόγου απεικονίζονται στην Εικόνα 3.2.2.



**Εικόνα 3.2.2:** Παράθυρο διαλόγου παραμέτρων ευθυγράμμισης εικόνας, Πηγή: Agisoft

Συγκεκριμένα, στο κωρίο της ακρίβειας (Accuracy) προσδιορίζει το πόσο ακριβής θα είναι η εκτίμηση της κάμερας. Στην επιλεγμένη υψηλή (High) ρύθμιση δίνεται καλύτερο αποτέλεσμα, αλλά η διαδικασία υλοποίησης του αλγορίθμου απαιτεί μεγαλύτερο χρόνο.

Το αντίστροφο συμβαίνει με την επιλογή της χαμηλής (Low) ακρίβειας. Ακόμα, σε περίπτωση μεγάλου πλήθους φωτογραφιών, περισσότερες δηλαδή από εκατό, προτείνεται η ενεργοποίηση των επιλογών *Generic Preselection* και *Reference preselection* για να μειώνεται ο χρόνος επεξεργασίας. Με αυτές τις ρυθμίσεις, οι φωτογραφίες αντιστοιχίζονται αρχικά σε χαμηλότερη ανάλυση και βρίσκονται ζευγάρια αλληλεπικαλυπτόμενων φωτογραφιών προτού γίνει δεύτερο πέρασμα στην αρχική ανάλυση, ενώ ταυτόχρονα λαμβάνεται υπόψη η πληροφορία GPS των φωτογραφιών. Ακόμα, άλλες δύο σημαντικές επιλογές είναι το *Key point limit* και το *Tie point limit*. Με το πρώτο ορίζουμε το ανώτατο όριο των «χαρακτηριστικών» σημείων που πρέπει να ευρεθούν σε κάθε φωτογραφία, δηλαδή τα σημεία εκείνα που μπορεί να αναγνωριστούν και σε άλλες φωτογραφίες (π.χ. περιγράμματα αντικειμένων). Η δεύτερη παράμετρος έχει να κάνει με τον αριθμό των χαρακτηριστικών που μπορεί να συνδέουν την μία φωτογραφία με κάποια άλλη (ελάχιστο τρία σημεία). Και στις δύο περιπτώσεις, η μεγάλη αύξηση αυτού του αριθμού αυξάνει τόσο την ακρίβεια και την αξιοπιστία του τελικού μοντέλου όσο και τον συνολικό χρόνο επεξεργασίας των εικόνων. Για το λόγο αυτό, πρέπει να χρησιμοποιούνται παράμετροι που βελτιστοποιούν τις δύο συνιστώσες αναλόγως με την κάθε περίπτωση αποτύπωσης.

- Βελτιστοποίηση σημείων με χειροκίνητη αφαίρεση/φιλτράρισμα βάσει κριτηρίου

Από το παραχθέν αραιό νέφος σημείων, είναι σημαντικό να αφαιρέσουμε τα σημεία που περιλαμβάνουν μεγάλο αριθμό «θορύβου». Συχνά ο «θόρυβος» προστίθεται στις μετρήσεις όταν έχει γίνει κακή εκτίμηση των παραμέτρων της κάμερας. Συγκεκριμένα, οι παράμετροι που μπορεί να επηρεάσουν την πιστότητα των σημείων είναι οι ακόλουθοι τρεις:

(α) *Αβεβαιότητα ανασύνθεσης (reconstruction uncertainty)*: η παράμετρος αυτή αφορά στην αναλογία μεταξύ του μεγαλύτερου και μικρότερου «ημιάξονα της έλλειψης σφάλματος» κατά την τριγωνοποίηση των τρισδιάστατων συντεταγμένων μεταξύ δύο φωτογραφιών.

(β) *Ακρίβεια προβολής (projection accuracy)*: η παράμετρος αυτή προσδιορίζει την ακρίβεια με την οποία τα tie points μπορούν να γίνουν γνωστά δεδομένου του μεγέθους των χαρακτηριστικών σημείων που τέμνονται για να τα δημιουργήσουν.

(γ) *Σφάλμα επαναπροβολής (reprojection error)*: η παράμετρος αυτή προσδιορίζει το μέγεθος του σφάλματος μεταξύ της θέσης του αρχικού τρισδιάστατου σημείου στη φωτογραφία και της θέσης του ίδιου σημείου που προβάλλεται πάνω στην κάθε άλλη φωτογραφία για να εκτιμηθεί η - σχετική - θέση του.

Παρόλο που δίνεται η δυνατότητα να αφαιρεθούν τέτοια σημεία αλλά και όποια άλλα θέλουμε χειροκίνητα στο *Tie Point Cloud* χρησιμοποιώντας τα εργαλεία επιλογής και την εντολή *Delete Selection* (του μενού *Edit*), είναι πιο πρακτικό να αφήσουμε το εργαλείο να φιλτράρει αυτόματα τα σημεία χρησιμοποιώντας τις παραπάνω παραμέτρους. Αυτό γίνεται από την επιλογή *Gradual Selection* (του μενού *Model*). Στο παράθυρο που εμφανίζεται επιλέγουμε το *Reconstruction uncertainty* και σύρουμε την μπάρα ρύθμισης αναλόγως. Κατ' αυτόν τον τρόπο επιλέγονται τα ανεπιθύμητα σημεία τα οποία μπορούμε να σβήσουμε.

- Κλίμακα (Scale Bar)

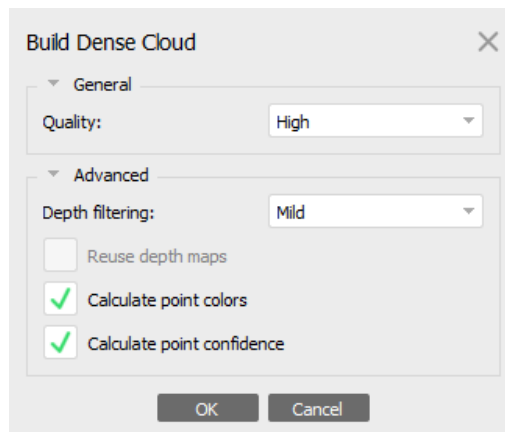
Άλλο ένα σημαντικό βήμα για την δημιουργία του πιστού νέφους σημείων, είναι η τοποθέτηση κλιμάκων σ' αυτό. Αυτό γίνεται έχοντας μετρήσει μια γνωστή απόσταση μεταξύ δύο σημείων στο πεδίο και σημειώνοντας τα αντίστοιχα σημεία στο point cloud



με την επιλογή Add Marker και Create scale bar. Συνιστάται η χρήση τουλάχιστον τριών scale bars για την επίτευξη μεγάλου βαθμού εμπιστοσύνης.

- Δημιουργία πυκνού νέφους σημείων (Build Dense point cloud)

Συνδυάζοντας τις εκτιμώμενες θέσεις του αραιού νέφους σημείων με το «χάρτη βάθους» (depth map) της κάθε κάμερας, παράγεται το πυκνό νέφος σημείων. Επιλέγοντας την εντολή Build Dense Cloud από το μενού Workflow, οδηγούμαστε στο εξής αναδυόμενο παράθυρο:



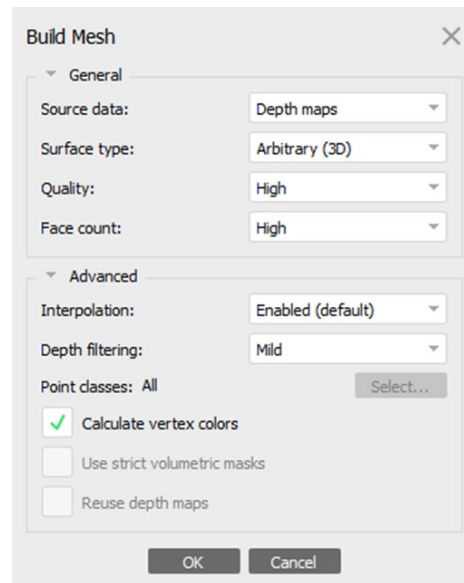
**Εικόνα 3.2.3:** Παράθυρο διαλόγου παραμέτρων παραγωγής πυκνού νέφους σημείων, Πηγή: Agisoft

Η επιλογή *Quality* ορίζει την ποιότητα του παραγόμενου νέφους. Η μεγαλύτερη ποιότητα αποδίδει μεγαλύτερη λεπτομέρεια και πιο ακριβή γεωμετρία, απαιτεί όμως, μεγαλύτερο χρόνο επεξεργασίας. Αυτή η παράμετρος είναι παρόμοια με την ακρίβεια στο βήμα ευθυγράμμισης των φωτογραφιών. Για την περίπτωση ύπαρξης μεγάλου ποσοστού λεπτομέρειας προς μοντελοποίηση στις φωτογραφίες, μπορεί να επιλεγεί η ρύθμιση *Mild depth filtering*, η οποία εξασφαλίζει τη διατήρηση των λεπτομερειών αυτών κατά το φιλτράρισμα. Συγκεκριμένα, η παράμετρος αυτή είναι χρήσιμη για παράδειγμα, σε περιπτώσεις εναέριων λήψεων στεγών με κακή υφή. Αν το έργο δεν περιλαμβάνει τέτοιες λεπτομέρειες, τότε προτείνεται η αποφυγή της επιλογής *Aggressive depth filtering*, καθώς με αυτή επιτυγχάνεται το φιλτράρισμα κάποιων δεδομένων με σκοπό τη συνολική μείωση του χρόνου της διαδικασίας. Ακόμα, ως επιλογές δίνονται και οι *Moderate*, η οποία αποδίδει αποτελέσματα λεπτομέρειας μεταξύ των *Mild* και *Aggressive* και η επιλογή *Disabled*. Βέβαια, η τελευταία συχνά αποφεύγεται καθώς μπορεί να προσθέσει «θόρυβο» στο παραγόμενο πυκνό νέφος. Ακόμα, αν στο σύνολο των φωτογραφικών δεδομένων, υπάρχουν χάρτες (depth maps) υπάρχει η επιλογή *Reuse depth maps* η οποία, επίσης, εξοικονομεί χρόνο. Αν δεν υπάρχουν διαθέσιμοι τέτοιοι χάρτες, μπορεί να γίνει αποεπιλογή του *Reuse depth maps*, ώστε να δημιουργηθούν εκ νέου σε αυτό το βήμα. Τέλος, αναφορικά στις ρυθμίσεις παραγωγής του πυκνού νέφους σημείων, σημειώνεται ότι η δημιουργία της πληροφορίας του χρώματος επιτυγχάνεται με την επιλογή *Calculate point colors* η οποία πρέπει να είναι ενεργοποιημένη. Αφότου δημιουργηθεί το πυκνό νέφος σημείων, απαιτείται έλεγχος για την μείωση του τυχόν θορύβου που μπορεί να εμφανίζει το μοντέλο, με επεξεργασία μείωσής του, όπως έχει περιγραφεί παραπάνω.

- Δημιουργία Πλέγματος (Mesh)

Στο Agisoft Metashape® μπορεί να ανασυντεθεί πολυγωνικό πλέγμα, βασισμένο στις πληροφορίες του νέφους σημείων (πυκνό νέφος, tie points) ή στα δεδομένα των *depth*

*maps*. Η δεύτερη προσέγγιση δίνει καλύτερα αποτελέσματα για αντικείμενα και πεδία με μεγάλο αριθμό μικρών λεπτομερειών. Η εντολή παραγωγής του πλέγματος *Build Mesh* περιλαμβάνει επίσης ρύθμιση παραμέτρων σε αναδυόμενο παράθυρο διαλόγου (Εικόνα 3.2.4).



**Εικόνα 3.2.4:** Παράθυρο διαλόγου παραμέτρων ανασύνθεση πολυγωνικού πλέγματος, Πηγή: Agisoft

Στις γενικές παραμέτρους παραγωγής πλέγματος, αρχικά ορίζεται το *Source data* που αφορά στην προέλευση των δεδομένων για τη δημιουργία του πλέγματος, με τις περιπτώσεις επιλογών να είναι τρεις:

(α) *Tie points*: που χρησιμοποιούνται για γρήγορη ανασύνθεση του τρισδιάστατου μοντέλου, (β) *Dense cloud*: που βασίζεται στο πυκνό νέφος σημείων που έχει παραχθεί από το προηγούμενο βήμα, αυξάνοντας την ποιότητα του παραγόμενου μοντέλου και (γ) *Depth maps*: που χρησιμοποιείται πληροφορία από όλες τις φωτογραφίες πιο αποτελεσματικά και με λιγότερο υπολογιστικό φόρτο σε σύγκριση με την παραγωγή του νέφους σημείων.

Στη συνέχεια, αναφορικά στο είδος των επιφανειών, δίνονται δύο επιλογές:

(α) *Arbitrary* που επιλέγεται για περιπτώσεις μοντελοποίησης αντικειμένων 'κλειστού τύπου', όπως κτήρια, αγάλματα κλπ. Επιπλέον, με την επιλογή αυτή μειώνεται η χρήση των υπολογιστικών πόρων, καθώς το πρόγραμμα δεν υποθέτει τι είδος των αντικειμένων προς ανασύνθεση, (β) *Height Field* που βελτιστοποιεί τη μοντελοποίηση επίπεδων επιφανειών, όπως οικόπεδα, ανάγλυφα κλπ., χρήσιμη στην αεροφωτογραφία, καθώς χρειάζεται επίσης λιγότερους υπολογιστικούς πόρους επιτρέποντας έτσι την επεξεργασία μεγαλύτερου όγκου πληροφοριών.

Η παράμετρος *Quality* καθορίζει την ποιότητα της ανασύνθεσης από *depth maps*, εάν έχει επιλεγεί αυτή η προέλευση. Η επιλογή μεγαλύτερης ποιότητας χρησιμεύει ώστε να υπάρχει πιο λεπτομερής και ακριβής γεωμετρία με το γνωστό μειονέκτημα μεγαλύτερου χρόνου επεξεργασίας.

Το *Face count* προσδιορίζει το μέγιστο αριθμό πολυγώνων στο τελικό πλέγμα. Οι τιμή αυτής της παραμέτρου (*High*, *Medium*, *Low*) αποδίδει τον βέλτιστο αριθμό πολυγώνων σε κάθε επίπεδο ακρίβειας. Ακόμα, η τιμή της παραμέτρου μπορεί να εισαχθεί από τον

χρήστη με την προϋπόθεση, όμως, η τιμή να μην είναι πολύ μεγάλη (δηλαδή μεγαλύτερη από 10 εκατομμύρια), καθώς το παραγόμενο μοντέλο πιθανόν να μην μπορεί να απεικονιστεί σωστά σε άλλα λογισμικά, αλλά ούτε και πολύ μικρή, καθώς σε αυτή την περίπτωση, το πλέγμα δεν θα δείχνει την απαραίτητη λεπτομέρεια.

Τέλος, αναφορικά στην παραμέτρου του *Depth filtering*, κι εδώ, συνήθως επιλέγεται στη ρύθμιση *Mild* (εκτός αν έχει χρησιμοποιηθεί *Reuse depth maps*). Ακόμα, χρήσιμη είναι η ενεργοποίηση της επιλογής *Aggressive filtering* για περαιτέρω φιλτράρισμα και βελτίωση της γεωμετρίας, με απαίτηση για έλεγχο του αποτελέσματος ως προς το επίπεδο λεπτομέρειας για τυχόν απώλεια.

### 3.3 Τεκμηρίωση σε περιβάλλον BIM

Το τρίτο στάδιο της μεθοδολογίας αποτύπωσης και καταγραφής υφιστάμενων αντικειμένων με φωτογραμμετρία, περιλαμβάνει τη μεταφορά των δεδομένων πεδίου, αφότου έχουν υποστεί την απαραίτητη ψηφιακή επεξεργασία και μεταφραστεί σε νέφη σημείων (point clouds), σε περιβάλλον BIM για την τελική τεκμηρίωσή τους. Η διαδικασία αυτή, αποτελεί ακόμα πρόκληση λόγω δυσκολιών στην ακέραια μεταφορά δεδομένων μεταξύ λογισμικών αλλά και γενικότερων ζητημάτων συμβατότητας<sup>53</sup>. Παρακάτω, αναλύονται τα βασικά σημεία της προετοιμασίας ενός συμβατού αρχείου νέφους σημείων, με χρήση του ειδικού φωτογραμμετρικού λογισμικού Autodesk ReCap® για την επιτυχή ενσωμάτωση και τεκμηρίωση των νεφών σημείων σε περιβάλλον BIM, και συγκεκριμένα στο περιβάλλον του Autodesk Revit®.

#### *Συμβατότητα – Διαλειτουργικότητα*

Η συμβατότητα μεταξύ των αρχείων BIM επιτυγχάνεται με τη χρήση κάποιων τυποποιημένων πρότυπων τύπων αρχείου (file formats), ώστε να καθίσταται δυνατή η μεταφορά και επεξεργασία της πληροφορίας μεταξύ των διαφορετικών εφαρμογών. Ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος τύπος αρχείου για μεταφορά δεδομένων που εξασφαλίζει την κοινή χρήση τους μεταξύ διαφορετικών λογισμικών και εφαρμογών είναι το Industry Foundation Classes (IFC). Τα IFC αρχεία, περιλαμβάνουν δεδομένα γεωμετρίας και άλλες πληροφορίες που σχετίζονται με τις σχέσεις εξάρτησης μεταξύ των μερών που συγκροτούν το συνολικό μοντέλο<sup>54</sup>. Επομένως, εκτός των δυσδιάστατων αρχιτεκτονικών σχεδίων, τελικός στόχος της τεκμηρίωσης του αντικειμένου και πιθανό παραδοτέο, θα είναι το ψηφιοποιημένο BIM δίδυμό του σε μορφή IFC.

Για να ξεκινήσει η μοντελοποίηση στο περιβάλλον BIM, χρειάζεται να εισαχθεί το νέφος σημείων που έχει παραχθεί κατά τη φωτογραμμετρική διαδικασία. Κι εδώ, είναι σημαντική η διασφάλιση της συμβατότητας για την αποτελεσματική μεταφορά της πληροφορίας μεταξύ των λογισμικών. Το ψηφιακό περιβάλλον εργασίας θα πρέπει υποστηρίζει τη φόρτωση τυχόν προϋπαρχόντων μοντέλων BIM (αρχεία της μορφής IFC) αλλά και νεφών σημείων, τα οποία αποτελούν αρχεία διαφόρων μορφών. Η πρώτη μορφή αρχείου που χρησιμοποιείται βασίζεται σε κείμενο (text-based format). Σε αυτή την περίπτωση, κάθε σημείο του νέφους περιγράφεται σε μία διαφορετική γραμμή κειμένου στην οποία αναγράφονται οι συντεταγμένες και τα χαρακτηριστικά του διαχωρισμένα με οριοθέτες (π.χ. κόμμα). Έτσι, κάθε ψηφίο αποτελεί μέρος ενός

<sup>53</sup> Abreu, N., Pinto, A., Matos, A., Pires, M. (2023) 'Procedural Point Cloud Modelling in Scan-to-BIM and Scan-vs-BIM Applications: A Review', *ISPRS Int. J. Geo-Inf.*, 12, 260.

<sup>54</sup> Ο.π.

κωδικοποιημένου συστήματος χαρακτήρων (π.χ. ASCII, Unicode). Η δεύτερη μορφή αρχείου είναι η δυαδική (binary-based), όπου η πληροφορία είναι γραμμένη σε δυαδική μορφή και απαιτεί συγκεκριμένη επέκταση αρχείου. Συνήθεις επεκτάσεις αρχείων κειμένου νεφών σημείων είναι τα XYZ και ASC, ενώ για τα δυαδικά αρχεία, συνήθεις επεκτάσεις είναι οι PCD (point cloud library) και LAS. Ακόμα, υπάρχουν και επεκτάσεις συμβατές και με τις δύο μορφές αρχείων, όπως το PLY και το E57. Συγκριτικά, τα αρχεία που βασίζονται σε κείμενο, είναι ευκολότερα προσβάσιμα και αναγνώσιμα από τον χρήστη, ενώ τα αρχεία δυαδικής μορφής είναι μικρότερα σε μέγεθος και προσπελούνται γρηγορότερα από τον υπολογιστή<sup>55</sup>.

*Επεξεργασία Νέφους Σημείων στο φωτογραμμετρικό λογισμικό Autodesk ReCap®*

- Ευθυγράμμιση (Alignment) του νέφους σημείων

Πρώτο βήμα της επεξεργασίας είναι η ευθυγράμμιση του νέφους. Συγκεκριμένα, απαιτείται ο έλεγχος και η ρύθμιση του προσανατολισμού (orientation) του νέφους σημείων ως προς το τοπικό σύστημα συντεταγμένων, δηλαδή ως προς τους άξονες του περιβάλλοντος εργασίας, και στη συνέχεια, η ευθυγράμμισή του με το σύστημα παγκόσμιων συντεταγμένων. Η διαδικασία αυτή, επιτυγχάνεται μέσω της εισαγωγής γεωαναφοράς μέσω διαδικτύου με χρήση Google Maps και True North.

- Εκκαθάριση Δεδομένων

Προς διευκόλυνση της διαδικασίας της μοντελοποίησης, είναι θεμιτή η συνολική επισκόπηση του νέφους σημείων και η επακόλουθη διαγραφή σημείων που δεν κρίνονται απαραίτητα για τη μοντελοποίηση, καθώς δεν οριοθετούν κάποιο αντικείμενο ή μέρος του αντικειμένου ενδιαφέροντος. Η διαδικασία αυτή συμβάλλει στην διατήρηση μόνο της απαραίτητης και χρήσιμης πληροφορίας ενισχύοντας τα επίπεδα ευκρίνειας και αντιληπτικότητας του νέφους, για βελτιστοποίηση της εργασίας του αρχιτέκτονα.

- Σύγκριση νέφους σημείων με το πρωτογενές υλικό

Είναι χρήσιμο, τόσο κατά την εκκαθάριση του νέφους σημείων όσο και κατά την ίδια τη μοντελοποίηση στη συνέχεια, να πραγματοποιείται σύγκριση με το πρωτογενές υλικό, δηλαδή αντιπαραβολή του νέφους με τις δυσδιάστατες ορθοφωτογραφίες ή ενδεχόμενα προϋπάρχοντα δυσδιάστατα σχέδια για ενίσχυση των επιπέδων ακρίβειας, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις ασαφειών σε περιοχές του νέφους.

- Μείωση του μεγέθους του αρχείου για μείωση του χρόνου μοντελοποίησης

Εκτός από την εκκαθάριση δεδομένων που συμβάλλει στη μείωση του συνολικού μεγέθους του αρχείου, είναι δυνατή η τμηματοποίηση του μοντέλου για επιμέρους εργασία, δηλαδή η κατάτμηση του νέφους σε επιμέρους μικρότερα αρχεία για επακόλουθη επιμέρους BIM μοντελοποίηση και τελική σύνθεση σε ένα κοινό Revit Project.

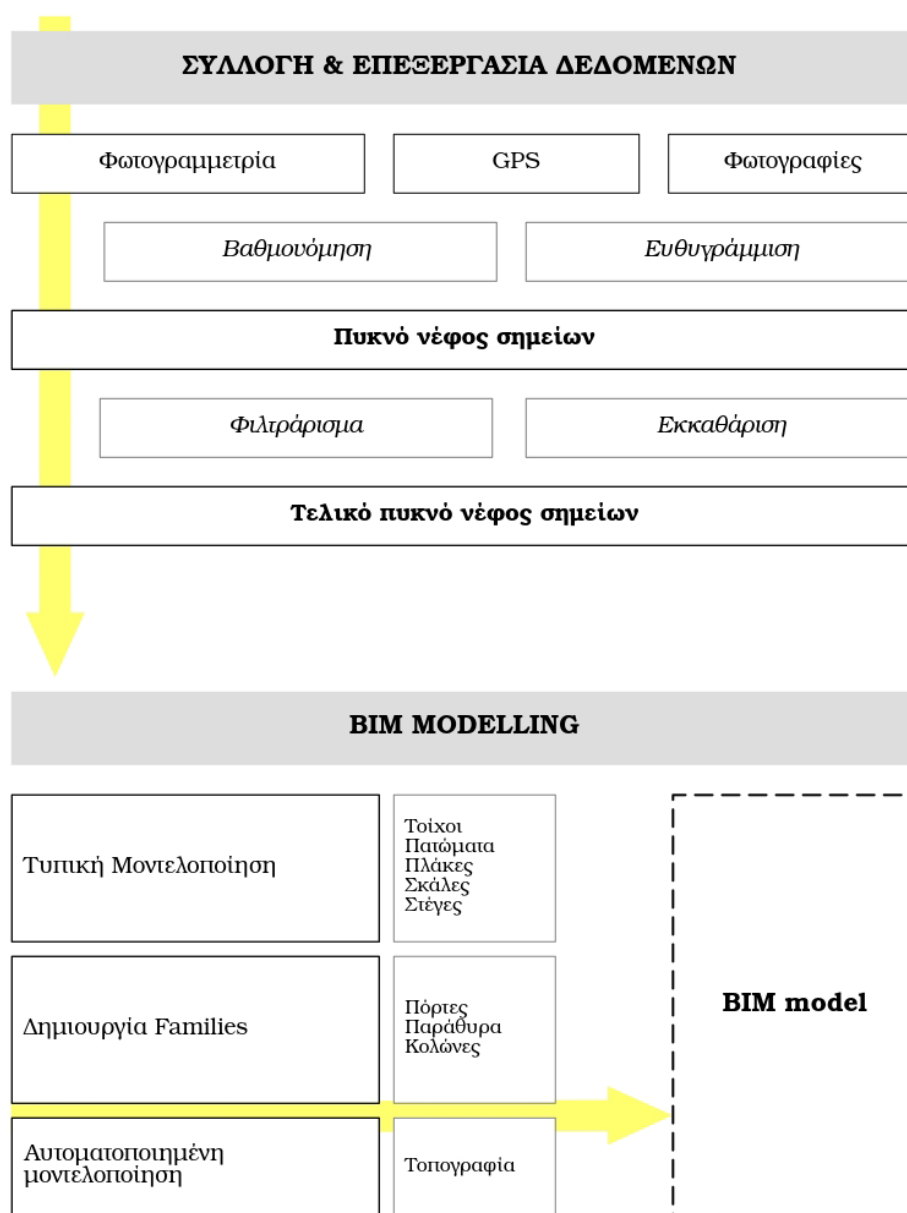
- Εξαγωγή του νέφους σε μοφή .las ή .rcp

Με το πέρας της επεξεργασίας του νέφους εντός του Autodesk ReCap®, προχωράμε στην εξαγωγή του σε αρχείο της δυαδικής μορφής .las ή .rcp, συμβατά και επεξεργάσιμα στο Autodesk Revit®.

---

<sup>55</sup> Abreu, N., Pinto, A., Matos, A., Pires, M. (2023) 'Procedural Point Cloud Modelling in Scan-to-BIM and Scan-vs-BIM Applications: A Review', *ISPRS Int. J. Geo-Inf.*, 12, 260.

Συνοψίζοντας, η προτεινόμενη μεθοδολογία αποτύπωσης και καταγραφής αντικειμένων υπό μορφή ροής εργασίας (workflow), απεικονίζεται γραφικά στο παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 3.3.1). Η διαδικασία χωρίζεται σε τρία βασικά μέρη: τη *συλλογή*, την *επεξεργασία* των φωτογραφικών δεδομένων πεδίου και, στη συνέχεια, τη *BIM τεκμηρίωσή* του. Συγκεκριμένα, τα δύο πρώτα μέρη περιλαμβάνουν τη λήψη των φωτογραφικών δεδομένων με χρήση φωτογραμμετρίας, την εξασφάλιση σύνδεσης σε ένα σύστημα συντεταγμένων και τη φωτογραμμετρική επεξεργασία για τη σύνθεση ενός τρισδιάστατου πυκνού νέφους σημείων. Στο τρίτο μέρος της διαδικασίας, το παραχθέν νέφος λειτουργεί ως ψηφιακό υπόβαθρο για την μοντελοποίηση σύμφωνα με τις αρχές του BIM (μοντελοποίηση με χρήση τυπικών στοιχείων, σχεδιασμός families, δημιουργία αλληλεξαρτήσεων μεταξύ των στοιχείων, αυτοματοποιημένες διεργασίες παραγωγής σύνθετων γεωμετριών κ.α.)



**Εικόνα 3.3.1:** Ροή εργασιών αποτύπωσης και ψηφιακής καταγραφής αντικειμένων, Πηγή: Συγγραφέας

## ΜΕΡΟΣ 4<sup>ο</sup>

### ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ – ΠΛΑΤΕΙΑ ΒΑΡΒΑΚΕΙΟΥ ΑΓΟΡΑΣ, ΑΘΗΝΑ

Ως μελέτη περίπτωσης εφαρμογής της προτεινόμενης μεθοδολογίας, με σκοπό την αποτύπωση και την BIM καταγραφή της, επιλέχθηκε η πλατεία της Βαρβακείου Αγοράς στην Αθήνα και η περιμετρικές αυτής όψεις. Ακολούθως, θα αναλυθούν τα σημεία εκείνα που οδήγησαν στην επιλογή του συγκεκριμένου πεδίου, εκτός της προφανούς ιστορικής αλλά και σύγχρονης σημασίας του για την πόλη της Αθήνας.



**Εικόνα 4.1.1:** Αστικό πεδίο αποτύπωσης: πλατεία Βαρβακείου Αγοράς, Πηγή: Google Earth, Επεξεργασία: Συγγραφέας

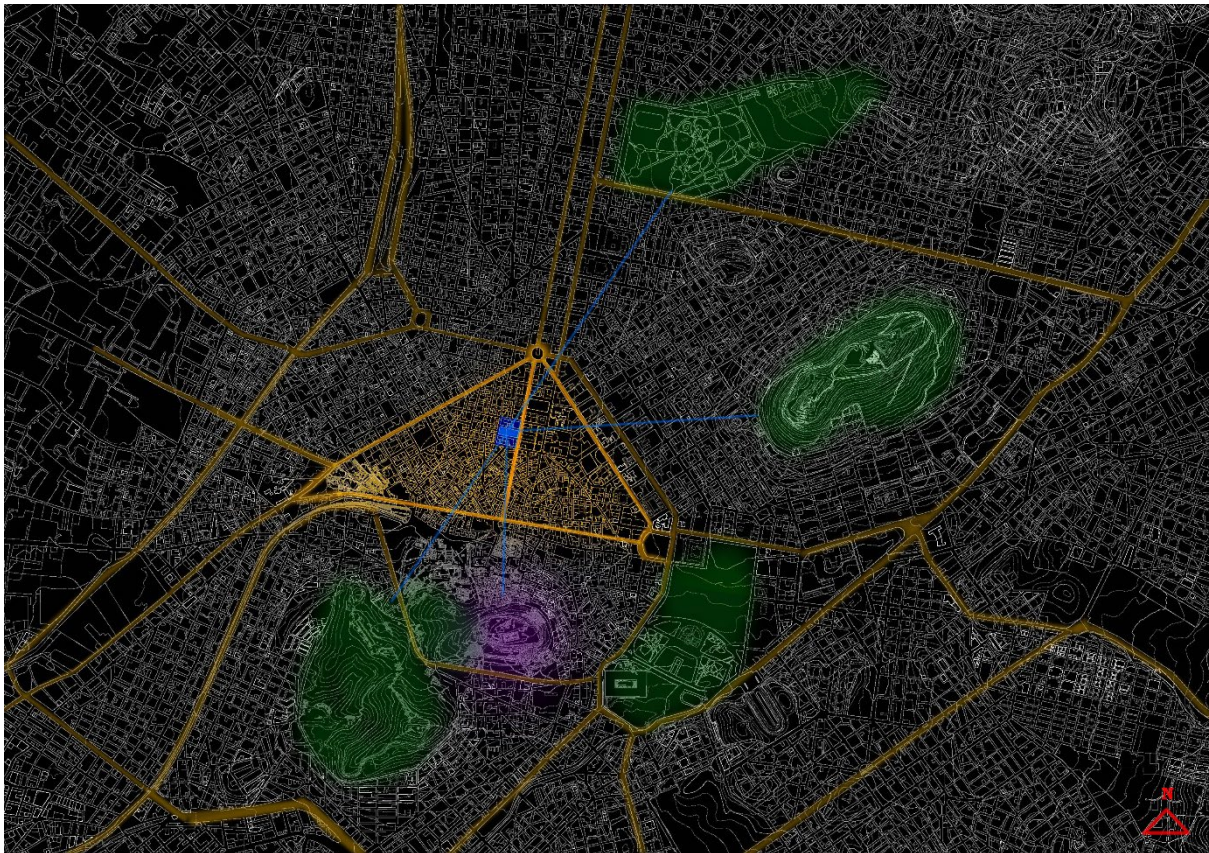
Αρχικά, αποτελεί ένα εκτεταμένο πεδίο αστικού περιβάλλοντος που εμπεριέχει πολλαπλές διαφορετικές υποπεριπτώσεις κλίμακας και λεπτομέρειας αντικειμένων (όπως στοιχεία τοπογραφίας, αρχιτεκτονικά στοιχεία διακόσμου όψεων, μεταλλικές κατασκευές, στοιχεία πλήρωσης δημόσιου χώρου όπως ιστοί φωτισμού, παγκάκια κ.α.) με διαφορετικές απαιτήσεις τόσο ως προς την αποτύπωση όσο και ως προς την μοντελοποίησή τους. Ως εκ τούτου, αποτελεί ενδεδειγμένο πεδίο για αποτύπωση με χρήση UAV φωτογραμμετρίας, με σκοπό τη διερεύνηση τόσο της αποτελεσματικότητας της ίδιας της διαδικασίας και των προϊόντων της, όσο και των προκλήσεων που τη συνοδεύουν.

Επιπρόσθετα, στη σύγχρονη βιβλιογραφία, διαφαίνεται πως η πλειοψηφία των αντικειμένων που επιλέγεται να αποτυπωθούν και καταγραφούν με αντίστοιχες μεθοδολογικές προσεγγίσεις, αποτελούν μεμονωμένα κτηριακά έργα, όπως κτήρια πολιτιστικής κληρονομιάς ή ιστορικής σημασίας, με κύρια επιδίωξη τη μελέτη και τη διαφύλαξή τους. Αντίθετα, η παρούσα εργασία εστιάζει στη μελέτη ενός ευρύτερου αστικού τοπίου εξετάζοντας τη μεγαλύτερη κλίμακα με απώτερο σκοπό, την εξοικείωση με τις σύγχρονες μεθόδους αποτύπωσης και της συζήτησης επί της ενδεχόμενης ένταξης της στην αρχιτεκτονική εφαρμογή και μαθητεία. Ειδικότερα, σε επίπεδο αρχιτεκτονικής πρακτικής -επαγγελματικής και ακαδημαϊκής-, ένα από τα σημαντικότερα εναρκτήρια στάδια κάθε νέας μελέτης, είναι η ορθή ανάγνωση και ανάλυση των εκάστοτε πεδίων παρέμβασης. Για το λόγο αυτό, η εξοικείωση των αρχιτεκτόνων με φωτογραμμετρικές

τεχνικές αποτύπωσης, χάρη στην μη απαίτηση εξαιρετικά εξειδικευμένης τεχνογνωσίας και πολύ ακριβών οργάνων καθώς και χάρη στην επιβεβαιωμένη ταχύτητα της συνολικής διαδικασίας αποτύπωσης και παραγωγής υψηλής ακρίβειας ψηφιακών «δίδυμων» μοντέλων, μπορεί να συνεισφέρει σημαντικά στην αποδοτικότερη επισκόπηση, ερμηνεία των απαιτήσεων των εκάστοτε πεδίων και τελική πλαίσωση των μελετών. Μάλιστα, η πλατεία της Βαρβακειού Αγοράς, έχει αποτελέσει πολλές φορές αντικείμενο αρχιτεκτονικών μελετών και διαγωνισμών, με την ανάπλασή της ακόμα να παραμένει σε επίπεδο ιδεατού σχεδιασμού.

#### 4.1 Ανάλυση Πεδίου

Η πλατεία της Βαρβακειού Αγοράς, βρίσκεται εντός του κεντρικού τμήματος του Εμπορικού Τριγώνου της Αθήνας. Το ιστορικό τρίγωνο οριοθετείται από τρεις βασικούς οδικούς άξονες. Οι οδοί Σταδίου και Πειραιώς (Π. Τσαλδάρη) σχηματίζουν τα σκέλη του τριγώνου που συμβάλλουν στην κορυφή του στην πλατεία Ομονοίας. Η βάση του τριγώνου ορίζεται από την οδό Ερμού (Εικόνα 4.1.1α). Αυτό το σαφώς καθορισμένο τρίγωνο, σχεδιάστηκε πρώτη φορά από τους Κλεάνθη και Σάουμπερτ (1832) στο Νέο Σχέδιο Πόλης. Εσωτερικά, το τρίγωνο τμηματοποιείται σε δύο μέρη με την κάθετη οδό Αθηνάς που συνδέει την πλατεία Μοναστηρακίου με την πλατεία Ομονοίας. Η Βαρβάκειος Αγορά και η πλατεία της, διαχωρίζονται από την οδό Αθηνάς, με το κτήριο της Αγοράς να βρίσκεται στο ανατολικό τμήμα του τριγώνου και την πλατεία στο δυτικό (Εικόνα 4.1.1β).



**Εικόνα 4.1.1:** (α) Η πλατεία της Βαρβακειού Αγοράς εντός του ιστορικού τριγώνου των Αθηνών και η σχέση της με το βασικό οδικό δίκτυο και τα σημεία Πεδίων του Άρεως, λόφο του Λυκαβηττού, Εθνικό Κήπο, Ακρόπολη και λόφο του Φιλοπάππου, κλ. 1:40000, Πηγή: Συγγραφέας



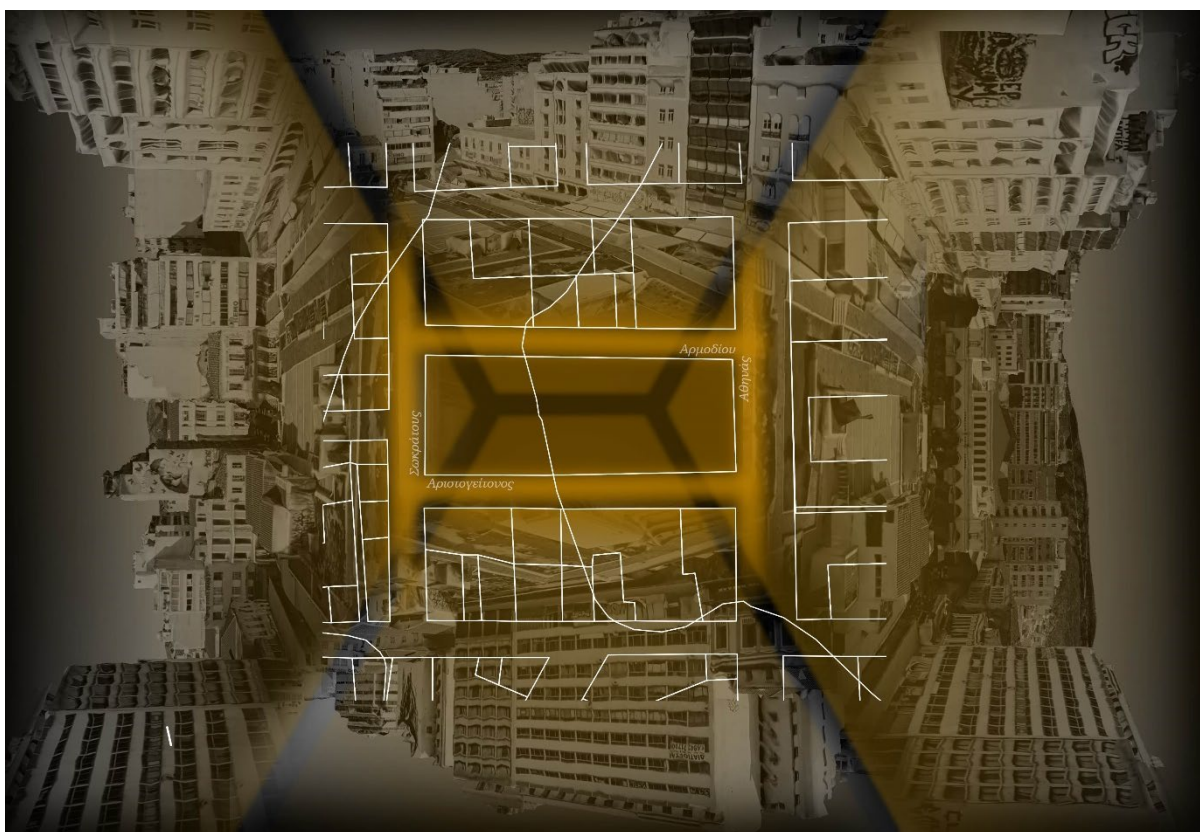
**Εικόνα 4.1.1:** (β) Επισήμανση Πλατείας Βαρβακειού 1:10000, Πηγή: Συγγραφέας

Ως προς τις οπτικές φυγές, η πλατεία, συνδέεται τόσο με την Ακρόπολη και το Λόφο του Φιλοπάππου όσο και με το Λυκαβηττό (Εικόνα 4.1.2α-β). Ως προς το κτηριακό απόθεμα, περιμετρικά της, πρόκειται για κτήρια που παρουσιάζουν έντονη ετερογένεια καθώς προέρχονται από διαφορετικές ιστορικές περιόδους με διαφορετικά ύψη και ετερόκλητα χαρακτηριστικά (Εικόνα 4.1.3). Η ίδια η πλατεία είναι υπερυψωμένη σε σχέση με το επίπεδο του δρόμου, με το υπόγειο της να λειτουργεί ως χώρος στάθμευσης. Προγραμματικά, η πλατεία λειτουργεί ως υπαίθρια προέκταση του κτηρίου της Βαρβακειού Αγοράς, με την εμπορική δραστηριότητα να εντοπίζεται κυρίως στις οδούς Αρμοδίου και Αριστογείτονος γύρω από την πλατεία. Μάλιστα, οι υπαίθριες αγορές με τις εφήμερες διατάξεις πάγκων που λειτουργούν κατά τη διάρκεια της ημέρας στεγάζονται από μόνιμα μεταλλικά στέγαστρα. Στην πλατεία υπάρχουν διαμορφωμένα σημεία πρασίνου και στάσεων.



**Εικόνα 4.1.2:** (α-β) Οπτική συσχέτιση πλατείας με την Ακρόπολη και το Λυκαβηττό, Πηγή: Google Earth





**Εικόνα 4.1.3:** Πλατεία Βαρβακείου και περιμετρικές αυτής όψεις, Πηγή: Google Earth, Επεξεργασία: Συγγραφέας

## 4.2 Εργασίες Πεδίου: Συλλογή & Επεξεργασία Δεδομένων

### *Συλλογή Δεδομένων*

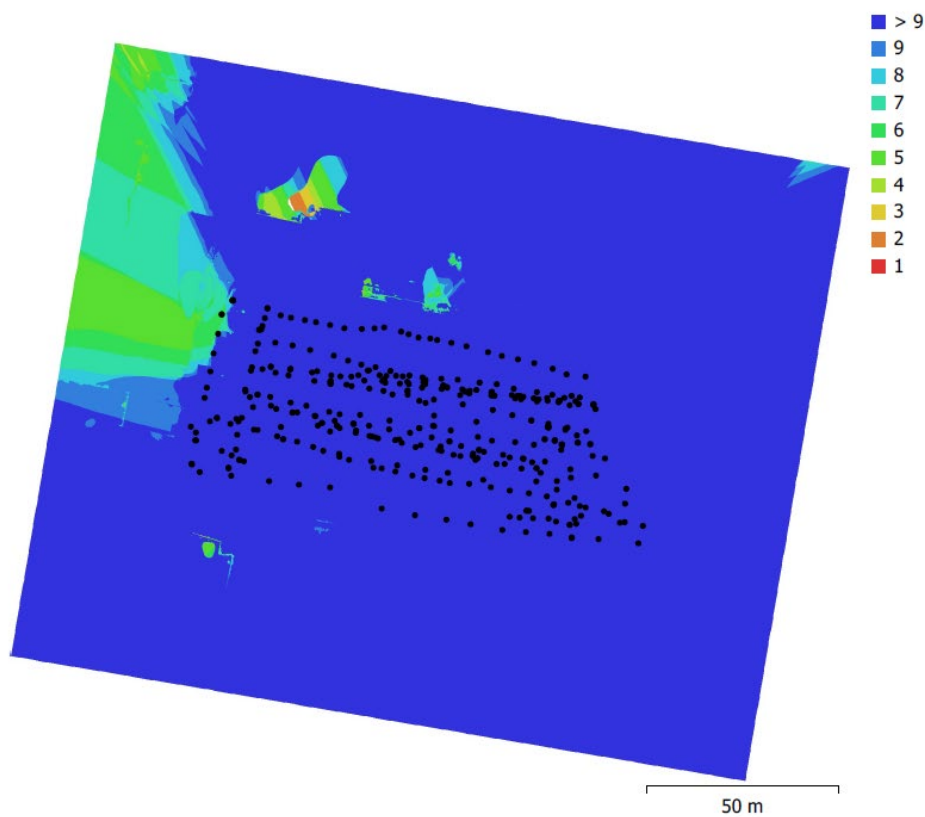
Οι εργασίες πεδίου για τη συλλογή των δεδομένων, πραγματοποιήθηκαν κατά την χρονική περίοδο Μαΐου – Ιουνίου 2023, με τη συνολική διαδικασία αποτύπωσης της πλατείας και των περιμετρικών αυτής όψεων, να ολοκληρώνεται σε περίπου δυόμιση ώρες. Για την αποτύπωση χρησιμοποιήθηκαν δύο drone DJI Mini 3 Pro με προσαρμοσμένες 4K ψηφιακές κάμερες, του τύπου FC3582 (Εικόνα 4.2.1). Η χωρητικότητα της μπαταρίας ανέρχεται στα 2453 mAh δίνοντας μια χρονική αυτονομία περίπου στα 40 λεπτά χρήσης. Επομένως, λόγω του μεγάλου πεδίου αποτύπωσης και της περιορισμένης αυτονομίας της μπαταρίας, χρησιμοποιήθηκαν δύο drones. Ως προς τα τεχνικά χαρακτηριστικά, πρόκειται για κάμερα ανάλυσης 4032x3024 pixels, εστιακής απόστασης 6,72mm και μεγέθους εικονοστοιχείου 2,4x2,4 μm. Συνολικά, η πτήση για την καταγραφή της πλατείας, εξασφάλισε 401 φωτογραφικές λήψεις (290 με την πρώτη κάμερα και 111 με την δεύτερη). Ακόμα, χάρη στη σύνδεση των οργάνων στο GPS οι φωτογραφίες διαθέτουν γεωαναφορά εντασσόμενες στο σύστημα συντεταγμένων WGS 84 (EPSG::4326).

Η επίσκεψη στο πεδίο πραγματοποιήθηκε σε ημέρα με καλές καιρικές συνθήκες και απογευματινές ώρες (μετά τις 3 μ.μ.), ώστε τα περισσότερα εμπορικά καταστήματα να είναι κλειστά και η κίνηση πεζών περιορισμένη. Αφότου ελέγχθηκε η δυνατότητα πτήσης στο συγκεκριμένο πεδίο, διερευνήθηκαν οι ωφέλιμες θέσεις στην πλατεία από τις οποίες θα πραγματοποιούνταν η απογείωση και η προσγείωση των drone.

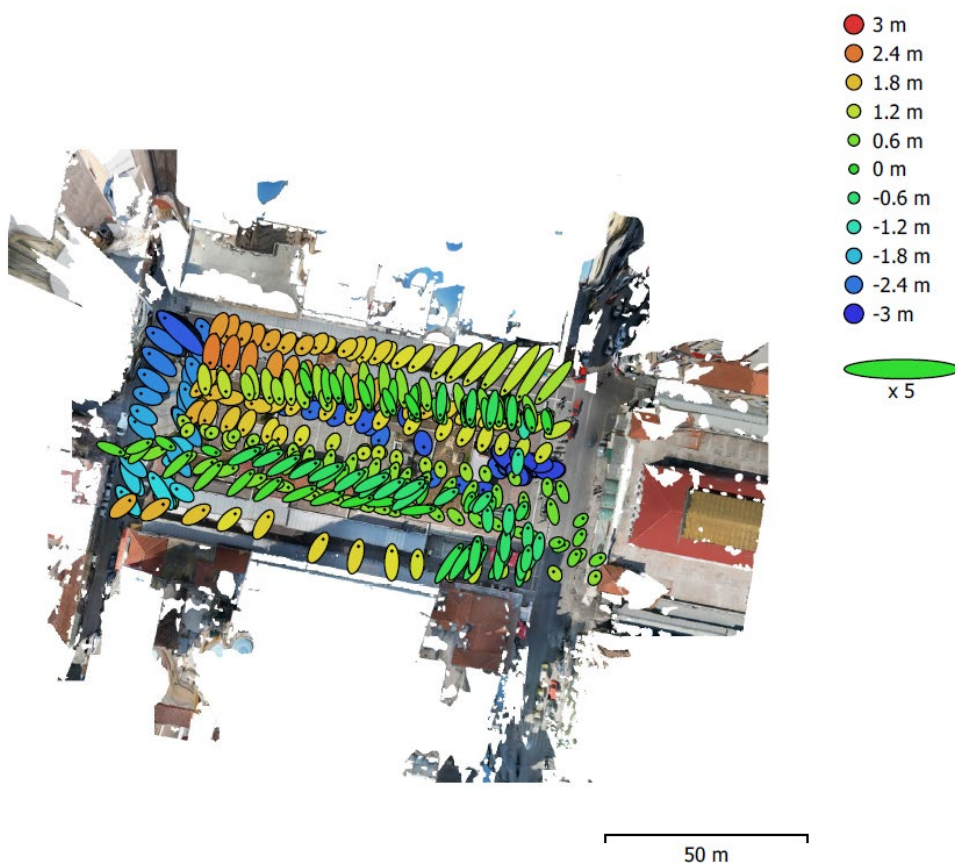


**Εικόνα 4.2.1:** DJI Mini 3 Pro με ενσωματωμένη FC3582 ψηφιακή κάμερα, Πηγή: DJI

Η πτήση σχεδιάστηκε αποτυπώνοντας πρώτα τις περιμετρικές όψεις, πετώντας το drone σε μια νοητή γραμμική πορεία, διατηρώντας το σε, κατά το δυνατό, σταθερό ύψος, καθ' όλη τη διάρκεια της πτήσης, καθώς μετακινούνταν γραμμικά. Βασικότερη αρχή αποτύπωσης ήταν η διατήρηση της αλληλοεπικάλυψης των διαδοχικών φωτογραφιών σε υψηλά ποσοστά μεταξύ 60%-70% (Εικόνα 4.2.2). Η καταγραφή ξεκίνησε αποτυπώνοντας τις όψεις στις οδούς Αρμοδίου και Αριστογείτονος, στη συνέχεια τις όψεις από την οδό Αθηνάς και Σωκράτους. Με την ίδια αρχή αλληλοεπικάλυψης και συνεχούς γραμμικής κίνησης του drone, αποτυπώθηκε και η πλατεία. Κατά μέσο όρο, το drone πετούσε στα 15,6 m καλύπτοντας συνολικό εμβαδόν 0.0318 km<sup>2</sup>.



**Εικόνα 4.2.2:** Θέσεις λήψεων και γραφική αναπαράσταση ποσοστού αλληλοεπικάλυψης: θέσεις λήψεων συμβολίζονται με μαύρες κουκίδες, μπλε χρώμα αποτυπώνει υψηλά επίπεδα αλληλοεπικάλυψης, κάθε σημείο εμφανίζεται σε περισσότερες από εννέα λήψεις, Πηγή: Συγγραφέας.



**Εικόνα 4.2.3:** Θέσεις λήψεων και υπολογισμός σφάλματος: αναπαράσταση σφάλματος στον z' άξονα με το χρώμα, αναπαράσταση σφάλματος στους x' και y' άξονες με το σχήμα της έλλειψης, εκτιμώμενες θέσεις λήψεων συμβολίζονται με μαύρη κουκίδα, Πηγή: Συγγραφέας.

Συγκεκριμένα, στα παραπάνω γραφήματα, φαίνεται ότι η συλλογή των φωτογραφιών που πραγματοποιήθηκε στο πεδίο, πέτυχε υψηλά επίπεδα αλληλοεπικάλυψης με κάθε σημείο να εμφανίζεται κατά μέσο όρο σε περισσότερες από εννέα λήψεις, γεγονός που εξασφαλίζει υψηλό ποσοστό ακριβείας. Ακόμα, στο δεύτερο γράφημα, απεικονίζεται η εκτίμηση των θέσεων λήψης με μια μαύρη κουκίδα εντός μιας χρωματιστής έλλειψης. Ειδικότερα, η μαύρη κουκίδα αποτυπώνει την εκτιμώμενη θέση, το χρώμα της περιμετρικής έλλειψης το εύρος του σφάλματος εκτίμησης στον z άξονα και το σχήμα της έλλειψης το εύρος σφάλματος εκτίμησης στους x', y' άξονες.

Αναφορικά στα επίπεδα ανάλυσης και ακριβείας, γνωρίζοντας τα τεχνικά χαρακτηριστικά της κάμερας (πλάτος φωτογραφίας, πλάτος αισθητήρα, εστιακή απόσταση) καθώς και το μέσο ύψος πτήσης του drone, μπορούμε να υπολογίσουμε την παράμετρο GSD, για να προσδιορίσουμε το μέτρο της απόστασης του φυσικού κόσμου που αποτυπώνεται σε κάθε εικονοστοιχείο (pixel). Για τον υπολογισμό αυτό, χρησιμοποιήθηκε εργαλείο της εταιρείας Pilotbyte (Εικόνα 4.2.4) στο οποίο εισάγουμε το μοντέλο των οργάνων που χρησιμοποιήθηκε και το μέσο ύψος της πτήσης στα 15,6 m (στρογγυλοποιείται στα 16 m). Προκύπτει ότι το  $GSD=0.53 \text{ cm/px}$ , που σημαίνει ότι ένα εικονοστοιχείο στη φωτογραφία ισούται με 0.53 cm μετρημένα στο φυσικό κόσμο. Κατ' επέκταση, ο αριθμός αυτός συνεπάγεται ότι το μοντέλο και τα σχέδια τεκμηρίωσης που θα παραχθούν στη συνέχεια, θα έχουν επίπεδο λεπτομέρειας, όπως αυτή απεικονίζεται σε κλίμακα μεταξύ 1 : 50 και 1 : 100.

Select Drone

### Camera Settings

Image Width	4032
Image Height	3024
Sensor Width	9.7
Sensor Height	7.3
Focal Length	6.97

Flight Height

### GSD

0.53 cm/px

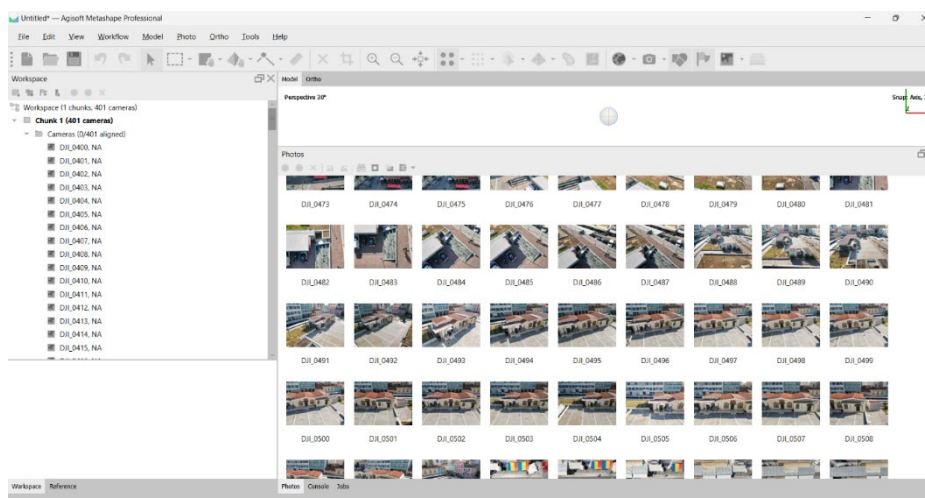
**Εικόνα 4.2.4:** Υπολογισμός παραμέτρου ακριβείας καταγραφής, GSD, Πηγή: Pilotbyte.

### Επεξεργασία Δεδομένων

Η επεξεργασία των φωτογραφικών δεδομένων περιλαμβάνει όλες τις διαδικασίες που περιεγράφηκαν στο κεφάλαιο 3, με σκοπό τη δημιουργία του πυκνού νέφους σημείων. Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για τη διαδικασία αυτή, είναι το Agisoft Metashape® 1.8.3 build 14331, με σύστημα συντεταγμένων το WGS 84 (EPSG::4326) και γωνίες περιστροφής το Yaw, Pitch και Roll.

- Εισαγωγή φωτογραφιών

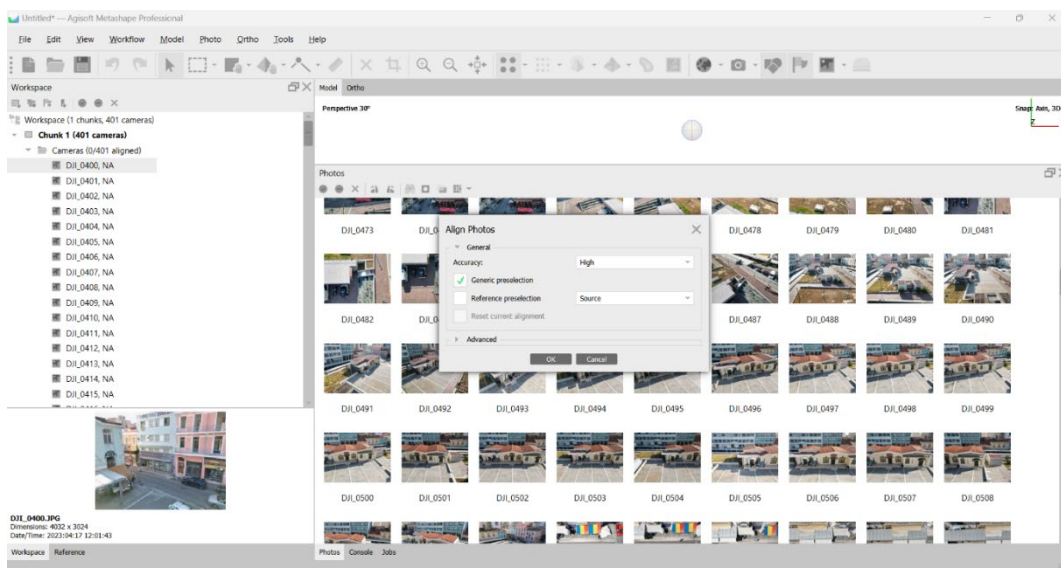
Το πρώτο βήμα της επεξεργασίας των φωτογραφικών δεδομένων στο περιβάλλον του φωτογραμμετρικού προγράμματος Agisoft Metashape®, είναι η εισαγωγή των φωτογραφιών πεδίου (Εικόνα 4.2.5). Οι φωτογραφίες φορτώθηκαν στο πρόγραμμα χωρίς να έχουν υποστεί κανενός τύπου επεξεργασία (raw) προκειμένου να μην επηρεαστεί η αποτελεσματικότητα της διαδικασίας της βαθμονόμησης. Σε αυτό το στάδιο, οι φωτογραφίες εμφανίζονται με την ένδειξη NA, η οποία υποδεικνύει ότι οι παράμετροι προσανατολισμού της κάμερας δεν έχουν ακόμα προσδιοριστεί.



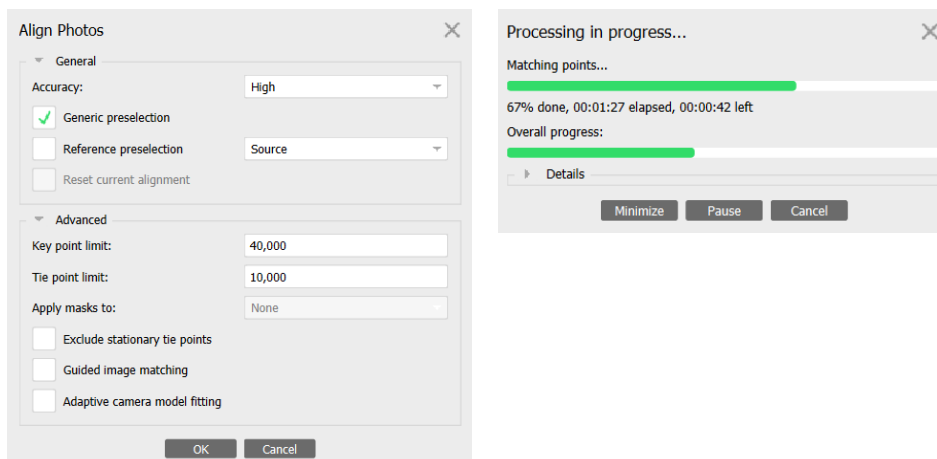
**Εικόνα 4.2.5:** Εισαγωγή φωτογραφιών στο Agisoft Metashape®, Πηγή: Συγγραφέας

- Ευθυγράμμιση φωτογραφιών

Κατά την ευθυγράμμιση, προσδιορίζεται αλγοριθμικά ο προσανατολισμός και η θέση της κάμερας. Οι ρυθμίσεις ευθυγράμμισης ορίζονται στο αντίστοιχο αναδυόμενο παράθυρο (Εικόνα 4.2.6). Για ένα γρήγορο έλεγχο, μπορούμε να πραγματοποιήσουμε την ευθυγράμμιση, επιλέγοντας *Low* στο επίπεδο ακριβείας *Accuracy*. Στη συνέχεια, για τα βέλτιστα αποτελέσματα επιλέχθηκε η επιλογή *High*. Ακόμα, μιας και το σύνολο των φωτογραφιών πεδίου υπερβαίνει τις 100, ενεργοποιήθηκε η επιλογή *Generic preselection* που επιτρέπει στο πρόγραμμα να προσδιορίσει τα ζεύγη φωτογραφιών που πιθανά να μην επικαλύπτονται, ώστε να παραλειφθούν κατά τα επόμενα βήματα επεξεργασίας, εξοικονομώντας αρκετό χρόνο υπολογισμού.



**Εικόνα 4.2.6:** Ευθυγράμμιση φωτογραφιών (*Align Photos*) στο Agisoft Metashape®, Πηγή: Συγγραφέας



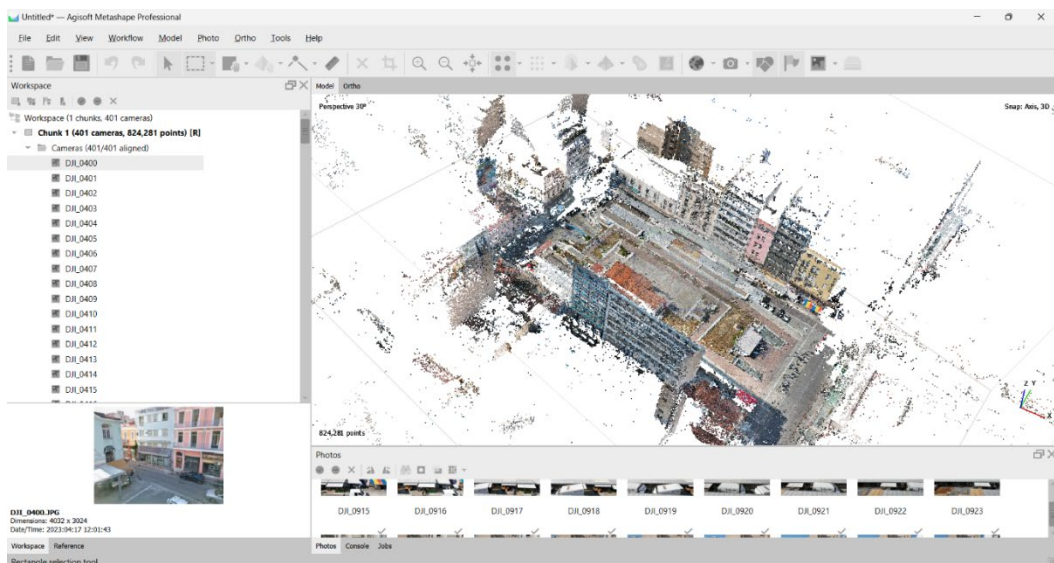
**Εικόνα 4.2.7:** Προηγμένες επιλογές ευθυγράμμισης και παραγωγή του αραιού νέφους σημείων, Πηγή: Συγγραφέας

Στο αναπτυσσόμενο παράθυρο των προηγμένων ρυθμίσεων (*Advanced*) (Εικόνα 4.2.7), η επιλογή *Key point limit* ορίζει τον αριθμό των κοινών σημείων που θα αναζητήσει το πρόγραμμα σε κάθε φωτογραφία. Έτσι, οι υψηλότερες τιμές ορίζουν ότι θα πρέπει να αναζητηθούν περισσότερα «χαρακτηριστικά» στις εικόνες, με αποτέλεσμα να

επιτυγχάνονται ευθυγραμμίσεις υψηλότερης ποιότητας. Βέβαια, η αναζήτηση υψηλού αριθμού «χαρακτηριστικών» συνεπάγεται και μεγαλύτερη χρονική διάρκεια υπολογισμού. Για το λόγο αυτό, ένα συνιστώμενο εύρος τιμής ορίζεται μεταξύ των 20.000 – 100.000. Το ανώτερο συνιστώμενο όριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περίπτωση πολύ υψηλής υπολογιστικής ισχύος ή ακόμα και να μηδενιστεί («απεριόριστο»). Στη συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχθηκε μια μέση τιμή στα 40.000.

Στη συνέχεια, η παράμετρος *tie point limit* ορίζει ένα όριο στον αριθμό των σημείων που συνδέουν τη μια φωτογραφία με την άλλη. Θεωρητικά, τρεις φωτογραφίες θα ήταν οι ελάχιστες επαρκείς, αλλά όσες περισσότερες μπορούν να χρησιμοποιηθούν -σε συνάρτηση με το χρόνο υπολογισμού- τόσο το καλύτερο. Για την παράμετρο αυτή, το συνιστώμενο εύρος κυμαίνεται μεταξύ 2.000 – 40.000, και συγκεκριμένα εδώ ορίστηκε σε 10.000.

Τέλος, η τρίτη παράμετρος ευθυγράμμισης, αφορά στη χρήση μασκών που στην συγκεκριμένη περίπτωση δεν χρησιμοποιήθηκαν, επομένως, η παράμετρος καθορίστηκε σε *None* και οι επιλογές της παρέμειναν αποεπιλεγμένες. Ο χρόνος επεξεργασίας που χρειάστηκε για το στάδιο της αντιστοίχισης είναι 2 λεπτά και 49 δευτερόλεπτα ενώ ο χρόνος ευθυγράμμισης είναι 2 λεπτά και 18 δευτερόλεπτα. Τελικά, από τις συνολικά 401 φωτογραφίες το λογισμικό κατάφερε να ευθυγραμμίσει με αυτές τις παραμέτρους, τις 379 καθώς ένα μικρό ποσοστό των σημείων πάνω στις φωτογραφίες είχε μικρή αλληλοεπικάλυψη. Το αραιό νέφος σημείων που δημιουργήθηκε στο τέλος αυτού του βήματος περιλάμβανε 309,072 χρήσιμα σημεία (Εικόνα 4.2.8).

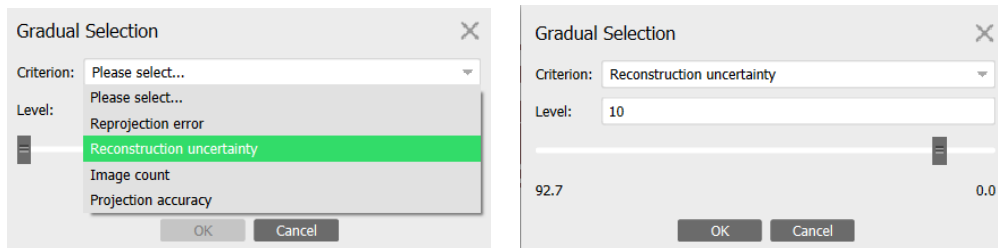


**Εικόνα 4.2.8:** Αραιό νέφος σημείων, Πηγή: Συγγραφέας

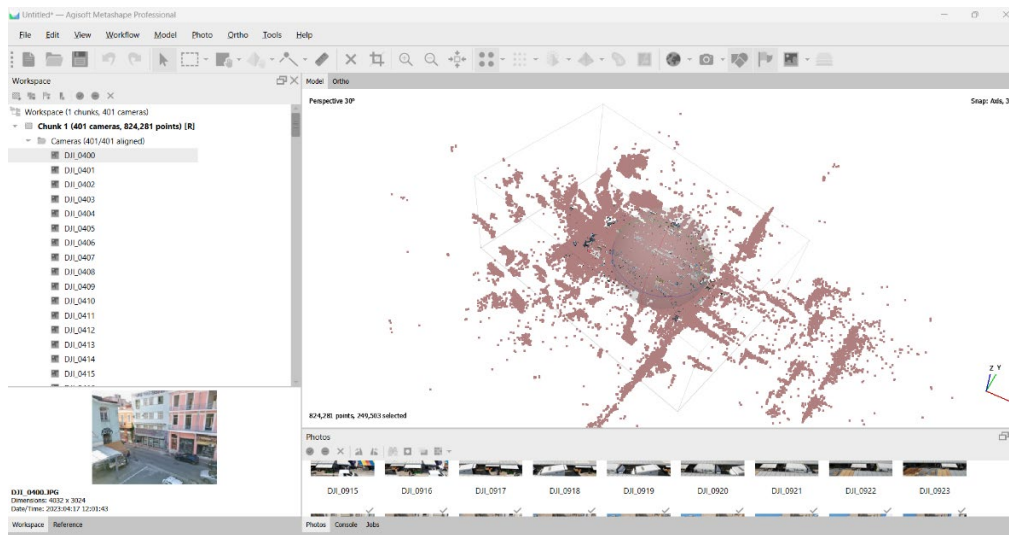
- Φιλτράρισμα με Gradual Selection (*Optimization*)

Επιλέγοντας φιλτράρισμα με gradual selection, εμφανίζεται το αναδυόμενο παράθυρο που παρέχει τρεις επιλογές (Εικόνα 4.2.9). Πρώτα επιλέχθηκε φιλτράρισμα με Reconstruction uncertainty ορίζοντας το μέτρο της στην τιμή 10 παρατηρώντας τα σημεία του αραιού νέφους σημείων που γίνονται κόκκινα, και τα οποία διαγράφηκαν (Εικόνα 4.2.10). Στη συνέχεια, επαναλήφθηκε η ευθυγράμμιση των καμερών με βάση μόνο τα σημεία υψηλής ποιότητας που διατηρήθηκαν, επιλέγοντας το εικονίδιο *Update* (Εικόνα 4.2.11α-β). Έπειτα, επαναλήφθηκε η διαδικασία του *Gradual selection* επιλέγοντας αυτή τη φορά την επιλογή *Reprojection Error* από το αναδυόμενο παράθυρο

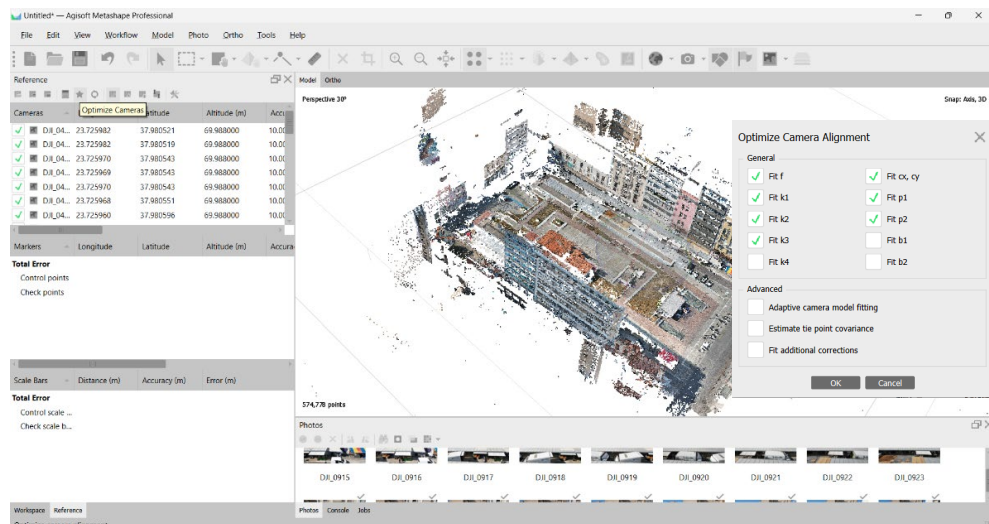
παραμέτρων φιλτραρίσματος (Εικόνα 4.2.9) και καθορίζοντας τη τιμή στο 0.6, ώστε να μην είναι πολύ υψηλότερη του 50% των σημείων. Τα επιλεγμένα σημεία έγιναν κόκκινα, διαγράφηκαν και τα μοντέλο και κάμερες ενημερώθηκαν (update), αντίστοιχα με το προηγούμενο βήμα. Τέλος, η διαδικασία του φιλτραρίσματος πρέπει να επαναληφθεί μια τρίτη φορά, επιλέγοντας το κριτήριο *Projection accuracy*, επιλέγοντας τα σημεία, διαγράφοντάς τα και ενημερώνοντας ξανά το μοντέλο και τις κάμερες.



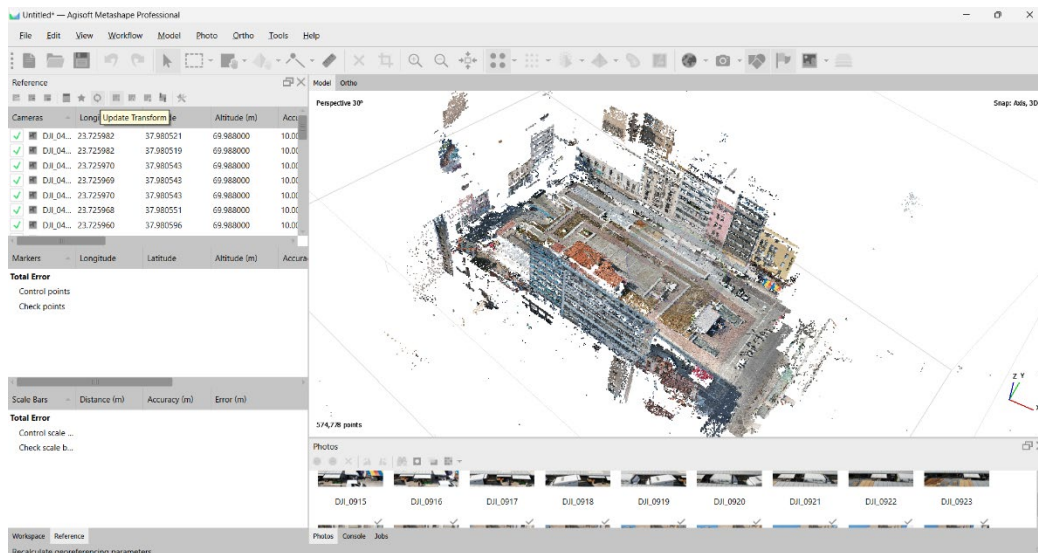
**Εικόνα 4.2.9:** Αναδυόμενο παράθυρο φιλτραρίσματος, Πηγή: Συγγραφέας



**Εικόνα 4.2.10:** Αφαιρούμενα σημεία φιλτραρίσματος με Gradual Selection, Πηγή: Συγγραφέας



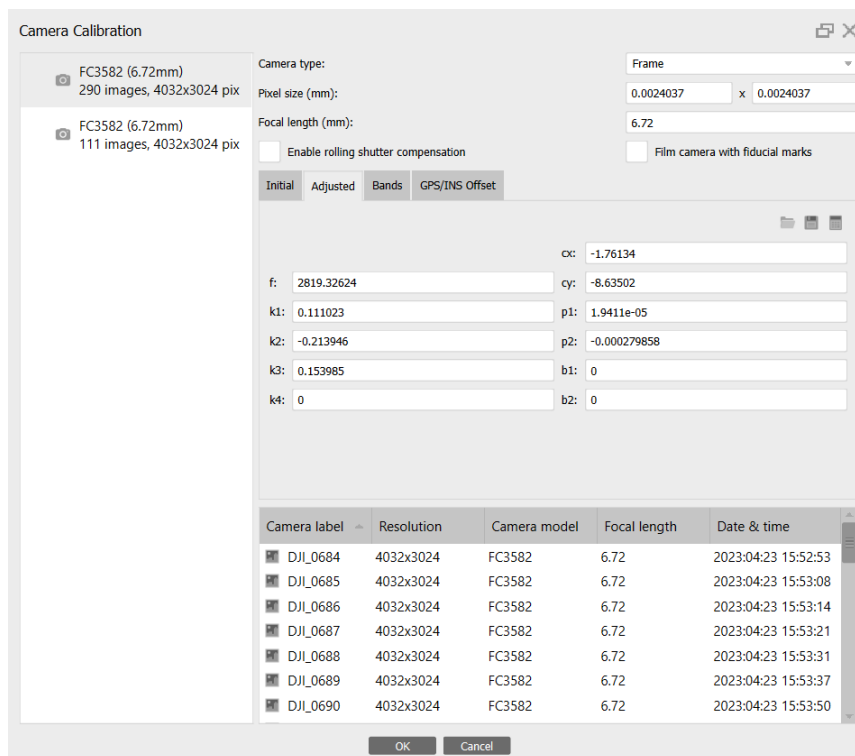
**Εικόνα 4.2.11α:** Βελτιστοποίηση ευθυγράμμισης καμερών - Ρυθμίσεις, Πηγή: Συγγραφέας



**Εικόνα 4.2.11β:** Βελτιστοποίηση ευθυγράμμισης καμερών, Πηγή: Συγγραφέας

- Έλεγχος παραμέτρων βαθμονόμησης (*camera calibration parameters*)

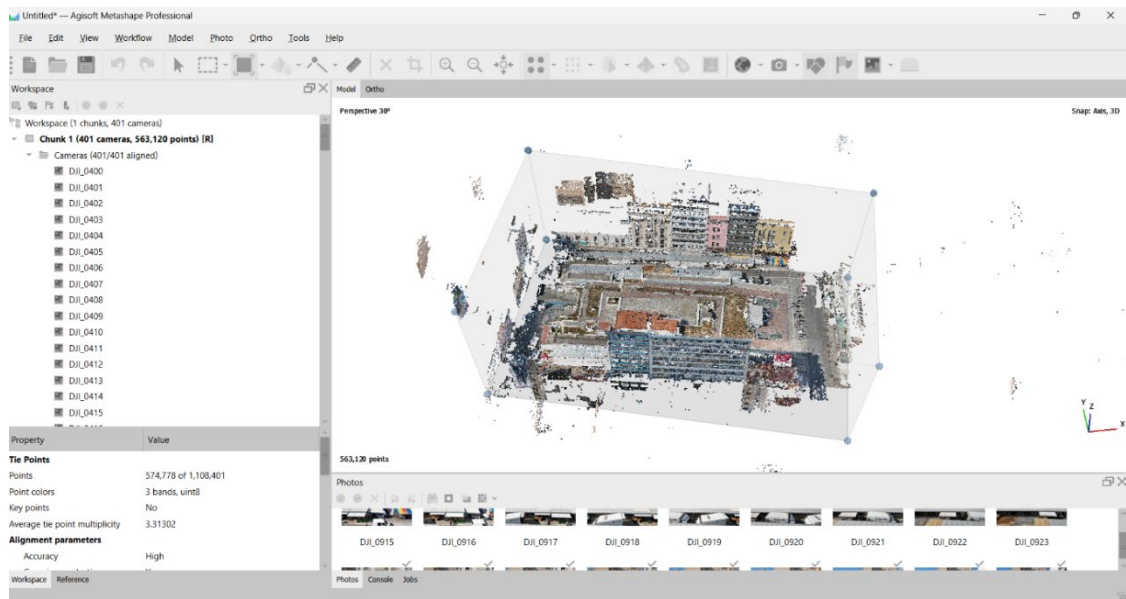
Μετά την ευθυγράμμιση και το φιλτράρισμα, συστήνεται ο έλεγχος των παραμέτρων βαθμονόμησης (Εικόνα 4.2.12) και συγκεκριμένα οι τιμές των  $c_x$ ,  $c_y$  και  $b_1$ ,  $b_2$  να μην είναι πολύ μεγάλες (εκατοντάδες ή περισσότερο και δεκάδες ή περισσότερο, αντίστοιχα).



**Εικόνα 4.2.12:** Παράμετροι βαθμονόμησης καμερών, Πηγή: Συγγραφέας

Αφού ολοκληρωθούν τα παραπάνω βήματα, για να ολοκληρωθεί η ευθυγράμμιση των φωτογραφιών, προσδιορίστηκε ένα πλαίσιο οριοθέτησης (*Region box*) ώστε να ανταποκρίνεται στον επιθυμητό όγκο ή αντικείμενο καταγραφής.





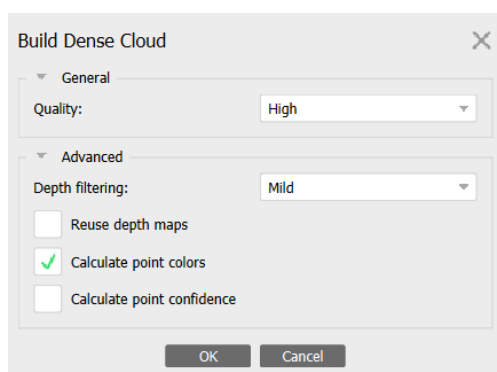
**Εικόνα 4.2.13:** Προσδιορισμός πλαισίου οριοθέτησης (Region box), Πηγή: Συγγραφέας

- Χειροκίνητη εκκαθάριση σημείων

Με τα διαθέσιμα εργαλεία επιλογής, διαγράφηκαν σημεία του μοντέλου που δεν ήταν απαραίτητα. Σημειώνεται όμως, ότι η διαγραφή των σημείων με τα εργαλεία επιλογής απλώς τα ακυρώνουν διατηρώντας τα όμως στο έργο με δυνατότητα αποκατάστασής τους εφόσον χρειαστεί.

- Δημιουργία πυκνού νέφους σημείων (Build Dense point cloud)

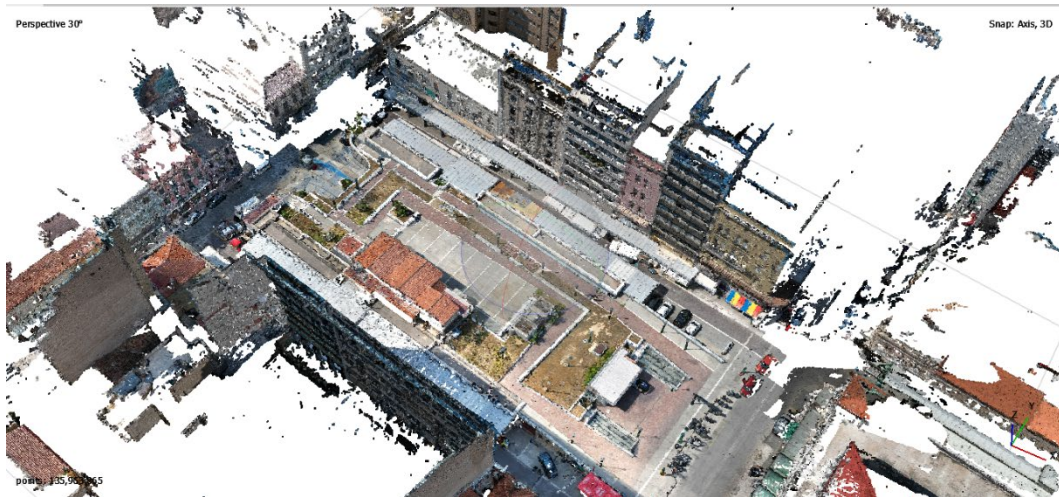
Για την παραγωγή του πυκνού νέφους σημείων, με διατήρηση υψηλού ποσοστού λεπτομερειών, ορίσαμε την ποιότητά του (*quality*) σε υψηλή (*high*) και το φιλτράρισμα (*depth filtering*) σε ήπιο (*mild*), ως έναν καλό συνδυασμό των παραμέτρων λεπτομέρειας και χρόνου επεξεργασίας (Εικόνα 4.2.14α). Ακόμα, για την εξασφάλιση χρωμάτων και υφών στο παραγόμενο μοντέλο, κρατήσαμε επιλεγμένη την επιλογή *Calculate point colors*. Ο χρόνος επεξεργασίας με τις συγκεκριμένες παραμέτρους ήταν 19 λεπτά (Εικόνα 4.2.14β-γ) με το παραγόμενο νέφος να περιλαμβάνει 135,963,865 σημεία. Σε αυτό το βήμα δημιουργήθηκαν και οι χάρτες βάθους, συγκεκριμένα 376, με βαθμό γειννίασης (*max neighbors*) 16, υψηλή ποιότητα και ήπιο επίπεδο φιλτραρίσματος, χρησιμοποιώντας ακόμα 15 λεπτά και 13 δευτερόλεπτα.



(α)

Depth maps generation parameters	
Quality	High
Filtering mode	Mild
Max neighbors	16
Processing time	15 minutes 13 seconds
Memory usage	3.56 GB
Dense cloud generation parameters	
Processing time	19 minutes 2 seconds
Memory usage	10.96 GB
Date created	2023:04:27 11:29:22
Software version	1.8.3.14331
File size	1.77 GB

(β)

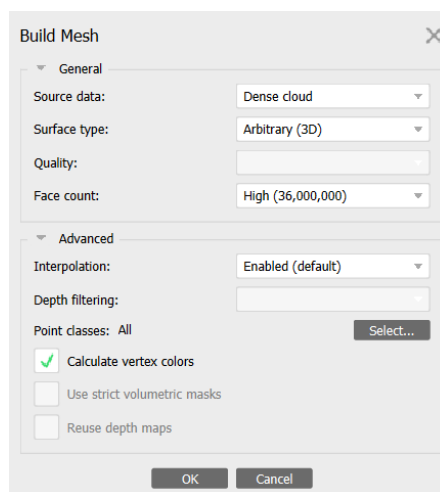


(γ)

**Εικόνα 4.2.14:** (α) Προσδιορισμός παραμέτρων παραγωγής Dense cloud, (β) Καταγραφή αποτελεσμάτων επεξεργασίας, (γ) Dense point cloud πλατείας, Πηγή: Συγγραφέας

- Δημιουργία Πλέγματος (Mesh)

Το Agisoft Metashape® εκτός από την ψηφιακή αναπαράσταση αντικειμένων με πυκνά νέφη σημείων, μπορεί χρησιμοποιώντας αυτά, να παράξει επιφάνειες μεταξύ των σημείων, σε μορφή πλεγμάτων (mesh), για ένα αληθοφανές τρισδιάστατο γεωμετρικό μοντέλο. Συγκεκριμένα, στις παραμέτρους ρύθμισης του παραγόμενου πλέγματος, επιλέξαμε ως πηγή δεδομένων (*source data*) το πυκνό νέφος σημείων (*dense point cloud*) και ως εκ τούτου το παραγόμενο πλέγμα φέρει τις παραμέτρους του πυκνού νέφους σημείων. Συγκεκριμένα, μιας και δεν μοντελοποιούμε κάποια επίπεδη επιφάνεια, αλλά μια σύνθετη γεωμετρία, επιλέγεται το *Arbitrary (3D)* για τον τύπο των παραγόμενων επιφανειών. Ακόμα, για την καλύτερη δυνατή ποιότητα γεωμετρίας και ευκρίνειας, επιλέγεται υψηλή ποιότητα (*High quality*) και υψηλός αριθμός παραγόμενων πολυγώνων (*high face count*) μεταξύ των σημείων. Επιπρόσθετα, ενεργοποιήσαμε την επιλογή παρεμβολής (*interpolation*) για την αυτόματη προσθήκη επιπλέον σημείων όπου είναι απαραίτητο, όπως για παράδειγμα, σε περιπτώσεις πιθανών κενών στο παραχθέν πυκνό νέφος σημείων. Έτσι, εξασφαλίζεται μεγαλύτερη ενότητα και συνέχεια στο τρισδιάστατο μοντέλο.



(α)

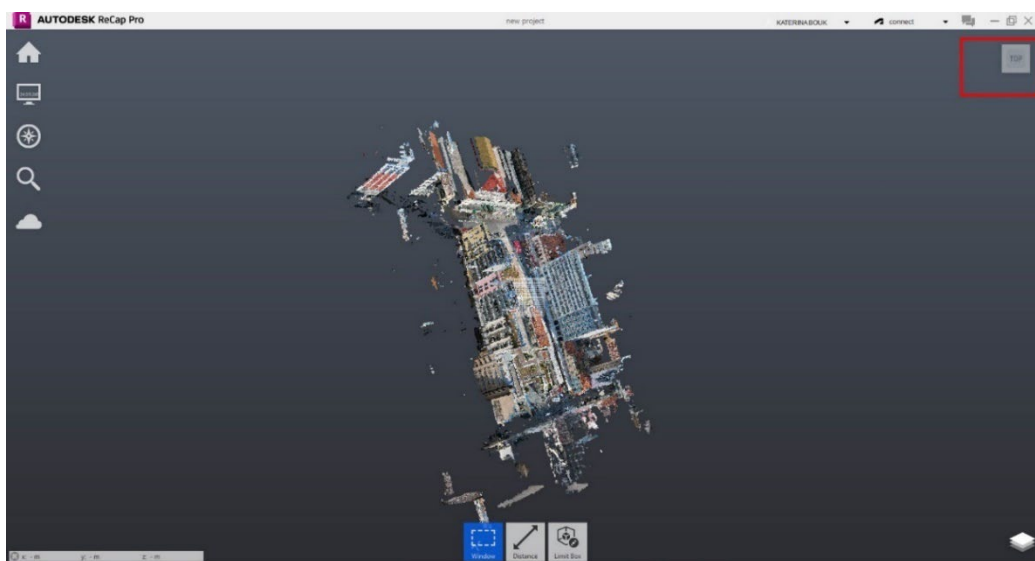


(β)

**Εικόνα 4.2.15:** (α) Προσδιορισμός παραμέτρων παραγωγής Mesh, (β) 3D μοντέλο πλατείας, Πηγή: Συγγραφέας

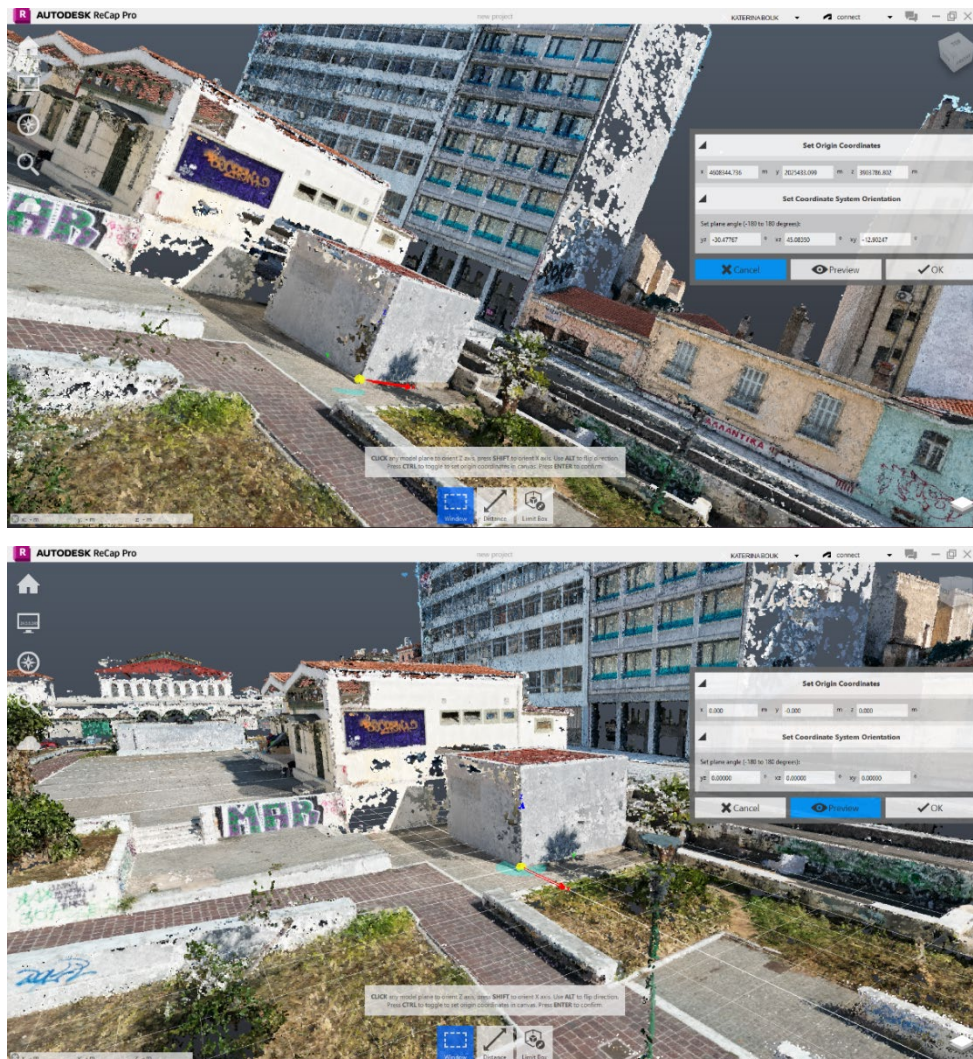
Συνολικά, η παραγωγή ενός αξιόπιστου τρισδιάστατου μοντέλου με χρήση UAV φωτογραμμετρίας, μέσω της αξιοποίησης διαθέσιμων φωτογραμμετρικών λογισμικών, όπως το Agisoft Metashape®, αποδεικνύεται απλή και ταχεία διαδικασία. Ωστόσο, αν τελικό σκοπό της φωτογραμμετρικής αποτύπωσης αποτελεί η ψηφιακή BIM τεκμηρίωση, το προϊόν φωτογραμμετρίας που αξιοποιείται και επιδέχεται περαιτέρω επεξεργασία, για τη μεταφορά του στο περιβάλλον BIM, είναι το πυκνό νέφος σημείων (dense point cloud). Συγκεκριμένα, το πυκνό νέφος σημείων λειτουργεί ως υπόβαθρο αναφοράς, πάνω το οποίο θα πραγματοποιηθεί τρισδιάστατη ψηφιακή ανακατασκευή στο BIM. Παρακάτω, θα αναλυθεί η διαδικασία περαιτέρω επεξεργασίας του νέφους σημείων, στο περιβάλλον του Autodesk ReCap®.

Το πυκνό νέφος σημείων εξάγεται από το Agisoft Metashape® σε μορφή αρχείου τύπου .las, το οποίο στη συνέχεια εισάγεται στο Autodesk ReCap®.

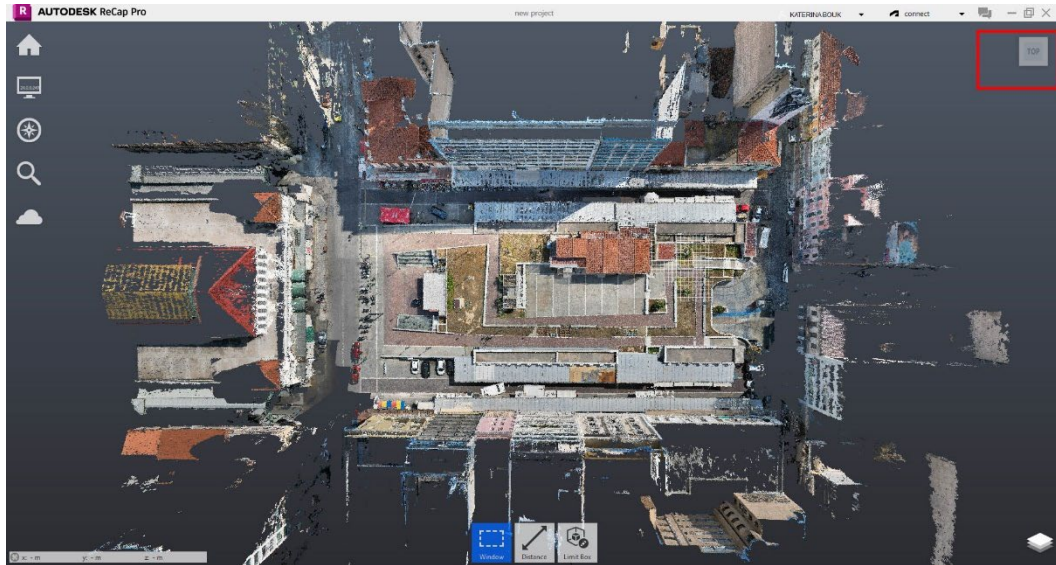


**Εικόνα 4.2.16:** Εισαγωγή πυκνού νέφους σημείων στο Autodesk ReCap®: τυχαίος προσανατολισμός, Πηγή: Συγγραφέας

Παρατηρούμε, ότι το μοντέλο εισάγεται με τυχαίο προσανατολισμό ως προς το σύστημα αξόνων του περιβάλλοντος εργασίας (Εικόνα 4.2.16), επομένως το πρώτο στάδιο της επεξεργασίας είναι η ευθυγράμμιση του νέφους. Η ευθυγράμμιση του πυκνού νέφους σημείων επιτυγχάνεται με την εισαγωγή ενός σημείου αναφοράς (origin point) σε κάποια ευκολά αντιληπτή δομή του νέφους, όπως για παράδειγμα, σε κάποια εμφανή ακμή κάποιου όγκου, η οποία θα αποτελέσει και το σύστημα συντεταγμένων του νέφους. Ειδικότερα, εδώ ορίστηκε ως σημείο αναφοράς το κάτω άκρο της βάσης δεδομένου τοίχου (Εικόνα 4.2.17) και ακολουθώντας τις οδηγίες του προγράμματος, ενεργοποιήθηκε η απεικόνιση των αξόνων  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , οι οποίοι καθορίστηκαν με τη σειρά δίνοντας ως αναφορά για τον καθένα, κάποια κάθετη ως προς αυτόν επιφάνεια. Στη συνέχεια, προχωρήσαμε στον «καθαρισμό» του πυκνού νέφους σημείων, αφαιρώντας τα σημεία εκείνα που δεν θα ήταν χρήσιμα κατά τη μοντελοποίηση. Η εκκαθάριση είναι μια διαδικασία που συμβάλλει στην αποδοτικότερη και περισσότερο εύστοχη αντίληψη και ερμηνεία των πληροφοριών του νέφους. Παράλληλα, οδηγεί στην συνολική μείωση του μεγέθους του παραγόμενου μοντέλου, γεγονός που το καθιστά περισσότερο διαχειρίσιμο, τόσο κατά την μεταφορά μεταξύ λογισμικών όσο και κατά την ίδια την μοντελοποίηση.



**Εικόνα 4.2.17:** Ευθυγράμμιση νέφους σημείων τροποποιώντας την αρχή των αξόνων (update origin point) στο Autodesk ReCap®, Πηγή: Συγγραφέας



**Εικόνα 4.2.18:** Ευθυγράμμιση νέφους σημείων και ρύθμιση του προσανατολισμού , Πηγή: Συγγραφέας

### 4.3 Μεταφορά σε περιβάλλον BIM

Το BIM περιβάλλον που επιλέχθηκε για τη μοντελοποίηση, ήταν το Autodesk Revit®, χάρη στη διασφάλιση ευρείας συμβατότητας παραγόμενων αρχείων που προσφέρει στη λογική των IFC (Industry Foundation Classes) προτύπων. Άλλωστε, η Autodesk αποτελεί κυρίαρχη εταιρεία παραγωγής και προώθησης των IFC, ως ουδέτερα αρχεία φτιαγμένα για την υποστήριξη του κύκλου ζωής των κτηρίων. Ειδικότερα, από το 1994 μέχρι και σήμερα, το Autodesk Revit® διαρκώς πιστοποιείται με τα επίσημα πρότυπα και τις αναβαθμίσεις των IFC, με την σύγχρονη έρευνα να ενισχύει την διαλειτουργικότητα και την χωρητικότητα<sup>56</sup> του προγράμματος. Παράλληλα, συγκριτικές έρευνες αποδοτικότητας BIM λογισμικών, διαπιστώνουν ότι το Autodesk Revit® υπερικχύει έναντι των υπολοίπων, αναφορικά στην τυπική συμβατότητα και στην ελαχιστοποίηση της απώλειας δεδομένων κατά τη μεταφορά της πληροφορίας<sup>57</sup>.

Ειδικά για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας, το Autodesk Revit®, ενδείκνυται για την αποτελεσματική *εισαγωγή* (importing) και *διαχείριση* (managing) νεφών σημείων, χάρη στις RCS και RCP επεκτάσεις που παρέχει. Επιπρόσθετα, διευκολύνει τη συνολική διαδικασία μοντελοποίησης, χάρη στο ταυτόχρονα διοδιάστατο και τρισδιάστατο απεικονιστικό περιβάλλον εργασίας και διεπαφής του με τον χρήστη, διασφαλίζοντας τη συνολική, κάθε φορά, επισκόπηση του έργου. Ακόμα, αξιοποιείται το δυναμικό εργαλείο επεξεργασίας τυπικών *οικογενειών* (families) του Autodesk Revit® αλλά και δημιουργίας νέων, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του εκάστοτε έργου. Για ειδικά μέρη ή τμήματα (components) υφιστάμενων δομών, που δεν εντάσσονται σε τυπικές οικογένειες ή δεν είναι παραμετροποιήσιμα, χρησιμοποιείται το εργαλείο model-in-place. Τέλος, το Autodesk Revit® επιλέχθηκε χάρη στη συμβατότητα του με άλλα λογισμικά που

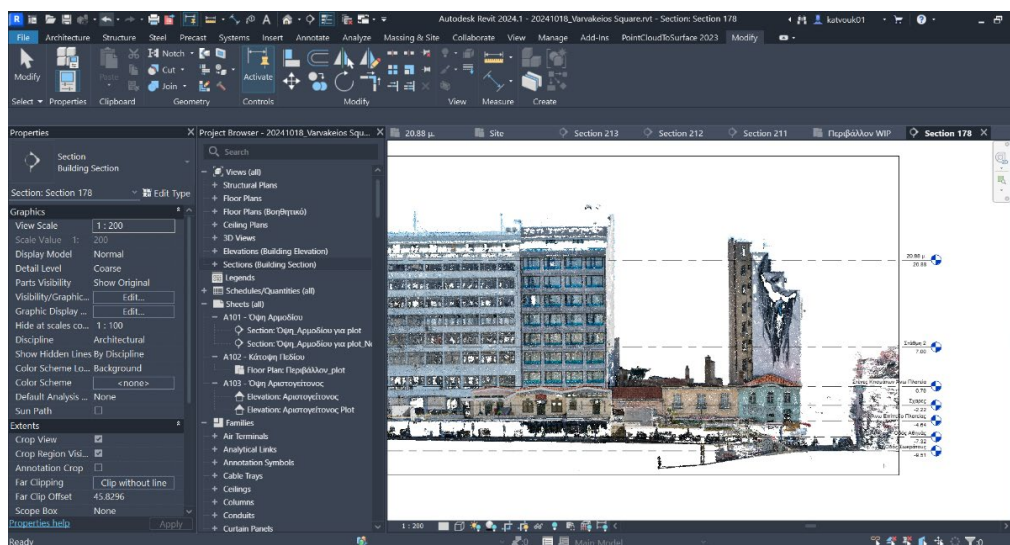
<sup>56</sup> Zada, A.J., Tizani, W., Oti, A., H., Building Information Modelling (BIM)—Versioning for Collaborative Design *In Proceedings* of the 2014 International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, Orlando, USA, 23–25 June 2014, p. 512–519.

<sup>57</sup> Nizam, R.S., Zhang, C., Current state of information exchange between the two most popular BIM software: Revit and Tekla. In *Proceedings of the 1st International Conference on Sustainable Buildings and Structures*, Suzhou, China, 29 October–1 November 2015, CRC Press: Boca Raton, USA, 2016, p. 175–181.

μπορούν να φορτωθούν στο συγκεκριμένο, ως επέκταση (plug-in), προκειμένου να υλοποιούν συγκεκριμένες διεργασίες, που το ίδιο το Autodesk Revit®, ενδεχομένως, να μη μπορεί να υλοποιήσει πρωτογενώς.

Πριν την έναρξη της μοντελοποίησης, μετά την εισαγωγή του νέφους σημείων στο περιβάλλον εργασίας του Autodesk Revit®, το πρώτο στάδιο είναι η ρύθμιση του προσανατολισμού. Παρόλο που η ευθυγράμμιση και ρύθμιση του προσανατολισμού του νέφους, έχει ήδη πραγματοποιηθεί κατά την επεξεργασία του στο Autodesk ReCap®, περνώντας στο Autodesk Revit®, ενδέχεται να απαιτηθεί κάποια εκ νέου τροποποίηση, ώστε να εξασφαλιστεί η κάθετη τοποθέτηση του νέφους ως προς το επίπεδο εργασίας (work space) του Autodesk Revit®. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται οπτική περιήγηση του χρήστη στο μοντέλο, ώστε να προσδιοριστούν οι βασικές *στάθμες* (Levels) σύμφωνα με τις οποίες θα γίνει η μοντελοποίηση, η συσχέτιση και αλληλεξάρτηση των μερών του μοντέλου. Η διαδικασία αυτή εξυπηρετεί στην καλύτερη κατανόηση της συνολικής γεωμετρίας και στην αποφυγή ανακρίβειών μεταξύ νέφους και παραγόμενου μοντέλου. Ακόμα, η ύπαρξη των στάθμων βοηθά στη συνεπέστερη μοντελοποίηση τοίχων (Walls), δαπέδων (Floors), κλιμάκων (Stairs) καθώς αυτά τα στοιχεία προσαρτιούνται τόσο μεταξύ τους όσο και πάνω στις στάθμες που τα ορίζουν. Ακόμα, για κάθε μια στάθμη που προσδιορίζεται, ταυτόχρονα δημιουργείται και η αντίστοιχη κάτοψη (Floor Plan) στην οποία, μάλιστα, μπορεί να ρυθμιστεί κατά βούληση, το εύρος ορατότητας (View Range) για να μπορεί να επιλέγει ο χρήστης κάθε φορά το τι εξυπηρετεί να προβάλλεται. Σημειώνεται, ότι είναι επιθυμητό να προσδιορίζεται μικρός αριθμός στάθμων, ιδανικά μόνο των απαραίτητων, για την αποφυγή περιττής πολυπλοκότητας και τη διασφάλιση της μέγιστης αποδοτικότητας του προγράμματος. Βέβαια, στην περίπτωση που χρειαστούν τοπικά περισσότερες στάθμες για τη μοντελοποίηση συγκεκριμένου αντικειμένου (π.χ. για τη μοντελοποίηση κάποιας σκάλας όπου μπορεί να εξυπηρετεί η δημιουργία της κατώτερης και της ανώτερης στάθμης, ώστε να προσδιοριστεί σαφώς η υψομετρική διαφορά που γεφυρώνει), προτείνεται οι επιπλέον στάθμες να ομαδοποιούνται και τακτοποιούνται σε κάποια βοηθητική υποκατηγορία κρατώντας το αρχείο στην κατά το δυνατόν πιο απλή εσωτερική οργάνωση.

Στην Εικόνα 4.3.1, φαίνεται μια τυπική διαμήκης τομή του νέφους σημείων της πλατείας, σύμφωνα με την οποία προσδιορίστηκαν, αρχικά, κάποιες βασικές στάθμες, σύμφωνα με τις οποίες ξεκίνησε η μοντελοποίηση.



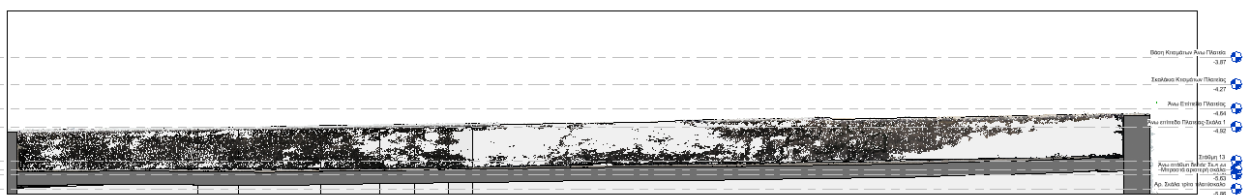
**Εικόνα 4.3.1:** Προσδιορισμός τυπικών στάθμων (Levels) στο Autodesk Revit®, Πηγή: Συγγραφέας

Η βασική αρχή που υιοθετήθηκε για τη μοντελοποίηση του αστικού τοπίου της πλατείας και των περιμετρικών αυτής όψεων, ήταν ο επιμερισμός και η ιεράρχηση των στοιχείων που το συνθέτουν, «από το γενικό προς το ειδικό», δηλαδή από την έναρξη της μοντελοποίησης με την παραγωγή τοίχων και τοιχιών, με χρήση κάποιου *βασικού τοίχου* (Basic Wall) διαφοροποιούμενου πάχους, την προσθήκη στεγών (Roofs) και τη δημιουργία κλιμάκων (Stairs), προς τον προοδευτικό εμπλουτισμό του μοντέλου με περισσότερα στοιχεία, όπως παράθυρα (windows), πόρτες (Doors) και ειδικές λεπτομέρειες, όπως στοιχεία διακόσμου, με χρήση in-place component. Παράλληλα, έπρεπε να μοντελοποιηθούν πιστά τα στοιχεία τοπογραφίας (δρόμοι, ράμπες, περιοχές πρασίνου κ.λπ.) τηρώντας την ιδιαίτερη μορφολογία τους. Τέλος, έπρεπε να στηθούν οι περιμετρικές μεταλλικές κατασκευές στέγασης των υπαίθριων αγορών.

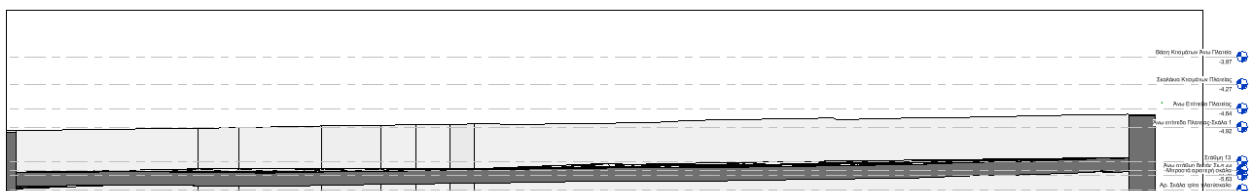
Έτσι, θα μπορούσαμε να πούμε, ότι η μοντελοποίηση της πλατείας εκπονήθηκε σε *τέσσερα στάδια* που αντιμετωπίστηκαν σχεδιαστικά, ως τέσσερα αυτόνομα αντικείμενα με ειδικές απαιτήσεις μοντελοποίησης. Αρχικά, στήθηκε η ίδια η πλατεία, στη συνέχεια η τοπογραφία εντός και περιμετρικά της, έπειτα οι μεταλλικές δομές που στεγάζουν τις υπαίθριες αγορές και τέλος, οι όψεις των γύρω κτηρίων στις οδούς Αρμοδίου και Αριστογείτονος.

- Πλατεία

Η πλατεία, λόγω της υψομετρικής διαφοράς της από το επίπεδο των οδών Αθηνάς και Σωκράτους, αναπτύσσεται κλιμακωτά, σε επίπεδα, τα οποία γεφυρώνονται με σκάλες, ράμπες και διαμορφωμένες διαδρομές με κλίσεις. Ακόμα, βασικό στοιχείο της διαμόρφωσης της πλατείας, αποτελούν τα φυτεμένα παρτέρια εκατέρωθεν των διαδρομών. Έτσι, δουλεύοντας κατοπικά, κυρίως στην άποψη *Περιβάλλον* (Site), όπου είναι ορατή όλη η πληροφορία του πεδίου, πρώτα μοντελοποιήθηκαν τα διαφορετικά τοιχεία που ορίζουν τις διαδρομές, επιλέγοντας ανάλογα, τα διαφορετικά πάχη των γενικών τοίχων (Types of Basic Walls) που χρησιμοποιήθηκαν, ώστε να είναι σύμφωνα με το αποτύπωμά τους στο νέφος σημείων σε κάτοψη. Παράλληλα, ελέγχονταν η πιστότητα των παραγόμενων τοιχιών, μέσω αλληπάλληλων τομών και αντίστοιχων προσαρμογών των προφίλ (Edit profile) του εκάστοτε τοιχείου (Εικόνα 4.3.2α-β).



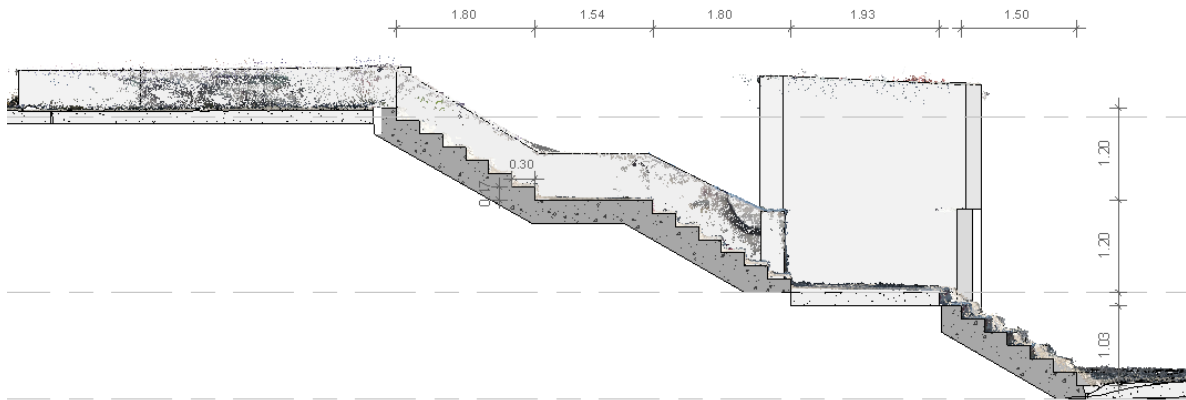
(α)



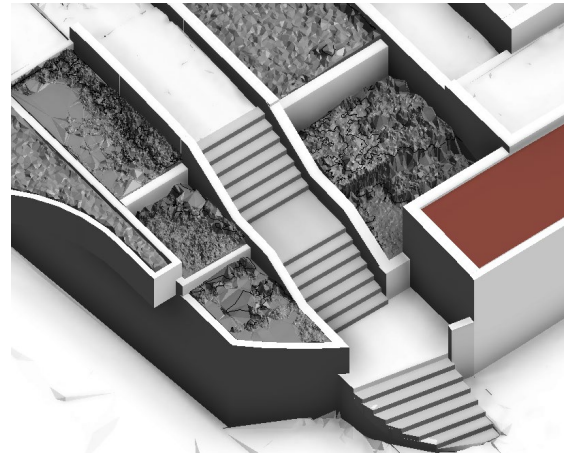
(β)

**Εικόνα 4.3.2:** (α) Τομή ενδεικτικού τοιχείου: προσαρμογή προφίλ τοιχείου ώστε να ταυτίζεται με το αποτύπωμά του στο νέφος, (β) Τοίχιο χωρίς το νέφος, Πηγή: Συγγραφέας

Έπειτα, χρησιμοποιώντας επιπλέον βοηθητικές στάθμες (levels) μοντελοποιήθηκαν οι σκάλες. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιώντας το Monolithic Stair Component, σχεδιάζονταν κατοψικά η κάθε σκάλα με τα πατήματά της, ορίζονταν οι διαφορετικές στάθμες που αυτή γεφύρωνε καθώς και η γραμμή ανάβασής της, και το πρόγραμμα την παρήγαγε.



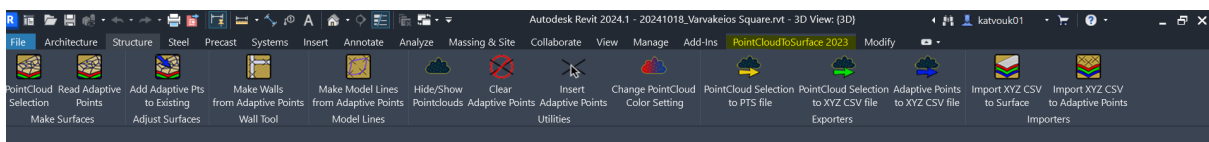
(α)



(β)

**Εικόνα 4.3.3:** (α) Διαμήκης τομή κλίμακας (β) Αξονομετρική άποψη κλίμακας, Πηγή: Συγγραφέας

Στη συνέχεια, παρατηρήθηκε ότι σε πολλά σημεία οι διαφορετικές διαδρομές (δάπεδα) παρουσίαζαν διπλή καμπυλότητα και ήταν αδύνατο να παραχθούν δάπεδα (Floors) χειροκίνητα, από μια μόνο άποψη (View). Έτσι, χρησιμοποιήθηκε ειδικό παραμετρικό εργαλείο επέκτασης (plug-in), συμβατό με το Autodesk Revit®, το PointCloudToSurface 2023<sup>58</sup>.



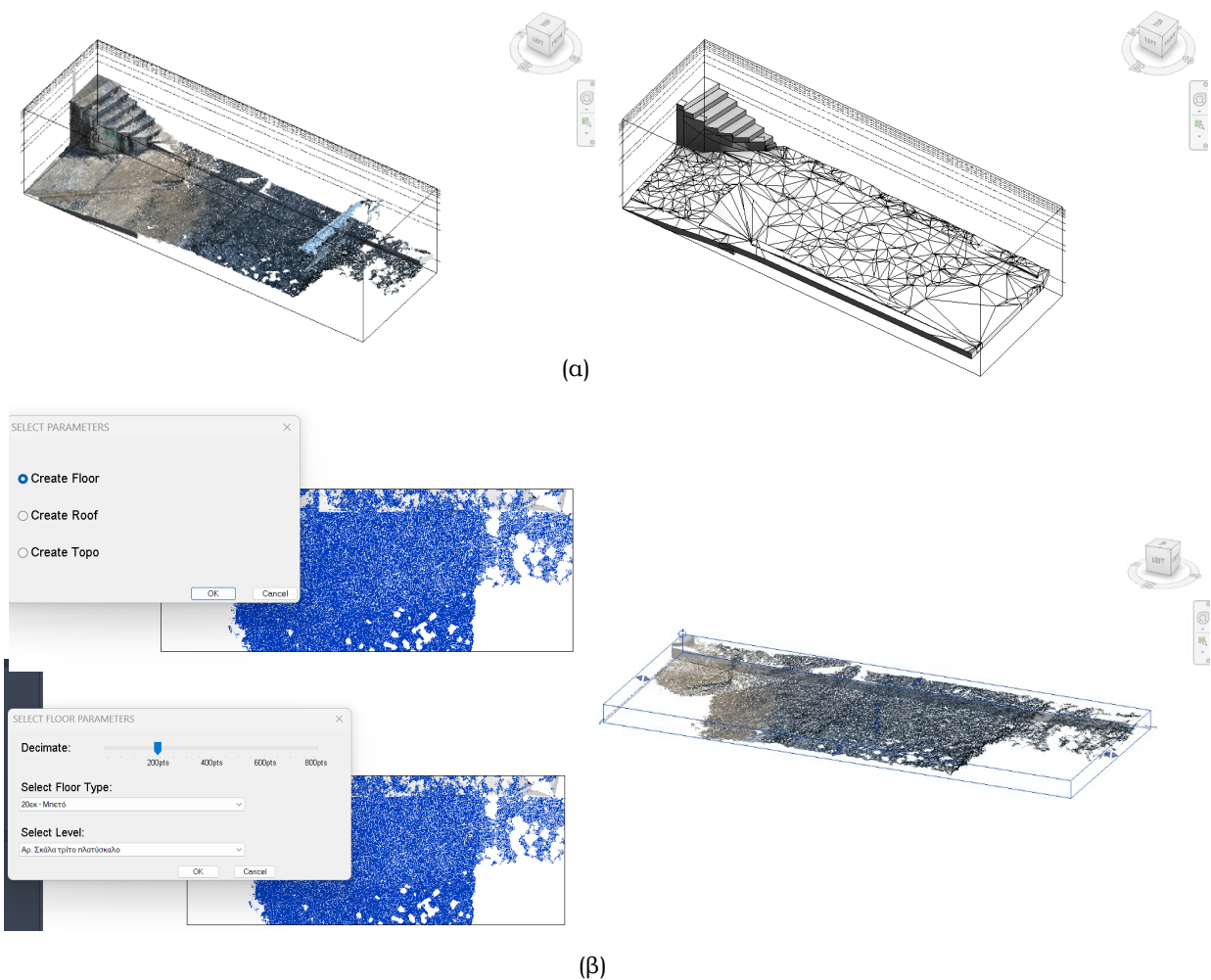
**Εικόνα 4.3.4:** PointCloudToSurface 2023® Plug-in into Autodesk Revit®, Πηγή: Συγγραφέας

<sup>58</sup> ADB3D, (2020), *ADB3D Point Cloud to Surface*. Available at: <https://www.adb3d.com.au/pointcloudtosurfacesuite> (Accessed 19 October 2024)



- Τοπογραφία

Στο πλαίσιο της γενικευμένης προσπάθειας της κοινότητας για αυτοματοποίηση μέρους -αν όχι του συνόλου- των διεργασιών της Scan-to-BIM μεθοδολογίας, με σκοπό την επίτευξη της κατά το δυνατόν πληρέστερης και πιστότερης αποτύπωσης, αναπτύσσονται διαρκώς νέα εργαλεία-επεκτάσεις, ειδικά για τα BIM λογισμικά, με αυτό το σκοπό. Το PointCloudToSurface 2023® που χρησιμοποιήθηκε εδώ, ως τέτοιο, αποτελεί σουίτα εντολών για χρήστες Autodesk Revit® που μοντελοποιούν νέφη σημείων για as-built έργα, για τη δημιουργία τοπογραφίας (Toposurface), δαπέδων (Floor), στεγών (Roof) και τοίχων (Walls), ώστε να ταυτίζονται απολύτως με το αποτύπωμά τους στο νέφος. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε η εντολή *Surface from Point Cloud Selection* ανάμεσα στις δεκατέσσερις διαθέσιμες. Δουλεύοντας σε τρισδιάστατη άποψη, και περιορίζοντας, με χρήση section box (Εικόνα 4.3.5α), την περιοχή του νέφους που πρόκειται να μοντελοποιηθεί, η εντολή αυτή, επιτρέπει τον καθορισμό επιλογής των σημείων ενδιαφέροντος εντός ενός πλαισίου (selection box) και στη συνέχεια, την επιλογή για μετατροπή τους σε τοπογραφία, δάπεδο ή οροφή (Εικόνα 4.3.5β). Ακόμα, μπορεί να καθοριστεί χειροκίνητα η πυκνότητα των υποδιαιρέσεων της παραγόμενης επιφάνειας ανάλογα την επιθυμητή λεπτομέρεια και κλίμακα του παραγόμενου αντικειμένου.



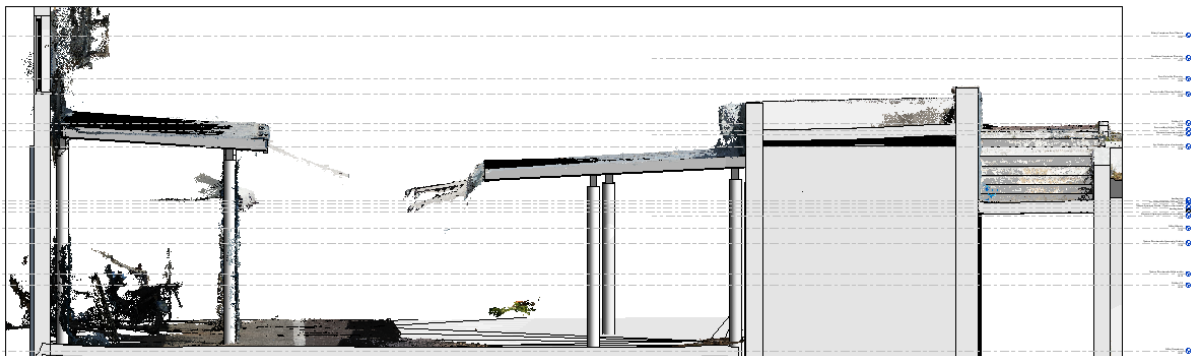
**Εικόνα 4.3.5:** (α) Αξονομετρική τρισδιάστατη άποψη ενδεικτικού τμήματος δαπέδου και περιορισμός Section Box, (β) Χρήση PointCloudToSurface 2023: καθορισμός δημιουργίας δαπέδου και πυκνότητας υποδιαιρέσεων παραγόμενης επιφάνειας, Πηγή: Συγγραφέας

- Μεταλλικές δομές στέγασης υπαίθριων αγορών

Το επόμενο αντικείμενο μοντελοποίησης ήταν οι μεταλλικές δομές που στεγάζουν τις υπαίθριες αγορές περιμετρικά της πλατείας. Για την περίπτωση αυτή, χρησιμοποιήθηκαν δομικά στοιχεία (structural elements), δηλαδή κολώνες (columns) και δοκάρια (beams). Χρησιμοποιώντας εικόνες από το πεδίο (Εικόνα 4.3.6α), συνδυαστικά με την πληροφορία που αντλούνταν από το νέφος σημείων (η οποία δεν ήταν λεπτομερής καθώς κατά την αποτύπωση δεν είχαν γίνει πολλές λήψεις κάτω από τα στέγαστρα) επιλέχθηκαν οι τύποι δομικών στοιχείων που απεικονίζονται στην Εικόνα 4.3.7: Μια κολώνα κυμαινόμενου ύψους, και δύο τύποι δοκών διαφορετικής διατομής, ο ένας για τις εγκάρσιες δοκούς και ο άλλος για το πλαίσιο περιμετρικά. Μάλιστα, για κάθε ένα δομικό στοιχείο προσαρμόζονταν αναλόγως η στάθμη της «αρχής» (Start level) και του «τέλους» τους (End level) προκειμένου να επιτευχθεί η απόδοση της κλίσης των μεταλλικών δομών κατά μήκος της πλατείας (Εικόνα 4.3.6β)



(α)

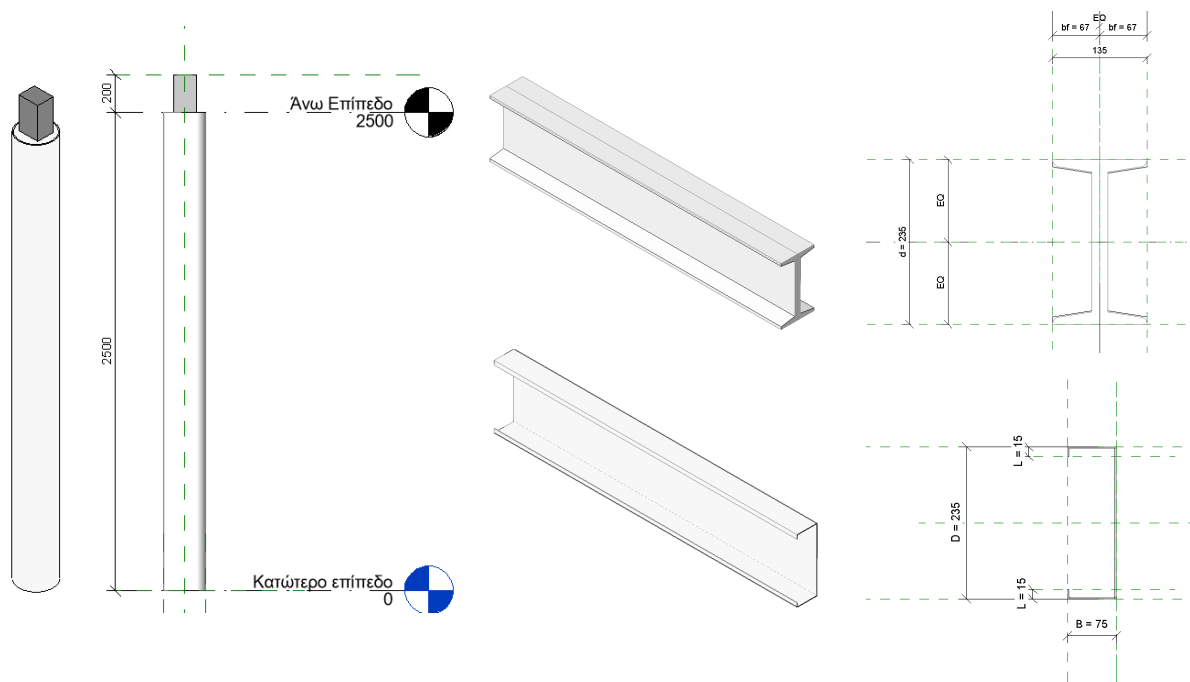


(β)



(γ)

**Εικόνα 4.3.6:** (α) Φωτογραφίες κάτω από το στέγαστρο στις οποίες φαίνεται η κατασκευαστική λογική της μεταλλικής δομής, (β) Τυπική εγκάρσια τομή: επικλινή μεταλλική δομή, (γ) Αξονομετρική άποψη τυπικού τμήματος μεταλλικής δομής, Πηγή: Συγγραφέας



**Εικόνα 4.3.7:** Τύποι δομικών στοιχείων που σχεδιάστηκαν για την μοντελοποίηση των μεταλλικών δομών στέγασης των υπαίθριων αγορών, Πηγή: Συγγραφέας

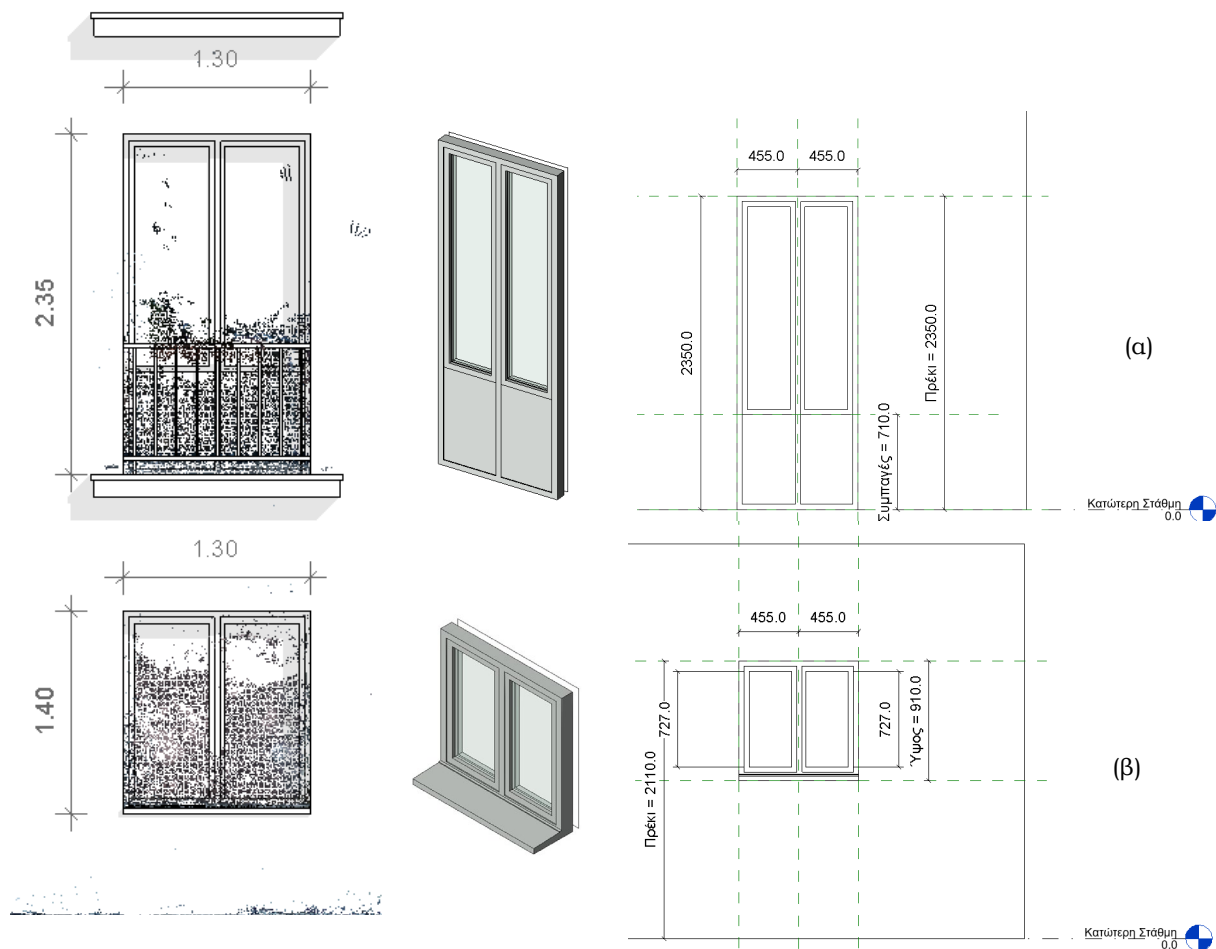
- Όψεις περιμετρικών κτηρίων

Τέταρτο αντικείμενο μοντελοποίησης αποτέλεσαν οι όψεις από τις οδούς Αρμοδίου και Αριστογείτονος. Η επιλογή αυτών των όψεων, βασίζεται στο ότι και κατά το στάδιο της συλλογής δεδομένων, ήταν αυτές οι κύριες όψεις ενδιαφέροντος, για τις οποίες πραγματοποιήθηκε επιμελής λήψη πλήθους φωτογραφιών. Ως αποτέλεσμα, το παραγόμενο νέφος σημείων, για τις εν λόγω περιοχές, παρουσιάζει αρκετά συνεπή, ως προς την πραγματικότητα, πληροφορία και επιτρέπει την έναρξη της μοντελοποίησης σε ένα ικανοποιητικό επίπεδο λεπτομέρειας. Συγκεκριμένα, για την οδό Αρμοδίου συλλέχθηκαν 61 λήψεις και για την οδό Αριστογείτονος 60. Βέβαια, σημειώνεται ότι όσες περισσότερες λήψεις συλλέγονται για την ίδια περιοχή τόσο αυξάνεται και η λεπτομέρεια του παραγόμενου νέφους, επομένως, σε κάθε περίπτωση, οι περισσότερες λήψεις βελτιώνουν και την πιστότητα των παραγόμενων BIM μοντέλων.

Για κάθε όψη, σχεδιάστηκαν οι τοίχοι (Walls) που ορίζουν το κάθε διαφορετικό κτήριο, ενώ, ο συνολικός τους όγκος προσδιορίστηκε πιο αφαιρετικά από το αποτύπωμά τους στο νέφος, όπου αυτό ήταν ορατό. Έπειτα για τη δημιουργία των παραθύρων (Windows), πορτών (Doors) χρησιμοποιήθηκαν άλλοτε τυπικές οικογένειες του Autodesk Revit®, από τις διαθέσιμες βιβλιοθήκες του (Libraries), με τις απαραίτητες τροποποιήσεις των παραμέτρων τους (πλάτος/ύψος κ.λπ.) προκειμένου να ανταποκρίνονται στο νέφος, και άλλοτε σχεδιάστηκαν νέες οικογένειες εξ' αρχής σύμφωνα με τις απαιτήσεις του νέφους. Για παράδειγμα, στην Εικόνα 4.3.8, αποτυπώνεται το γωνιακό κτήριο στη συμβολή των οδών Σωκράτους και Αριστογείτονος, για την περίπτωση του οποίου χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικές οικογένειες παραθύρων/πορτών. Ενδεικτικά, για τα ανοιγόμενα παράθυρα στον ημιώροφο, δημιουργήθηκε ένας νέος τύπος (type) με διαστάσεις 1300x1400mm της οικογένειας παραθύρων Windows\_Concept\_Plain\_Dbl, ενώ για τις μπαλκονόπορτες στον όροφο, χρησιμοποιήθηκε η οικογένεια πορτών Window\_Door\_Concept\_Plain\_Dbl, το οποίο προσαρμόστηκε ώστε κάθε φύλο να περιλαμβάνει ένα συμπαγές και ένα γυάλινο τμήμα, με διαστάσεις 2350x1300 mm, όπως αποτυπώνεται στο νέφος.



**Εικόνα 4.3.8:** Ενδεικτική περίπτωση κτηρίου: συμβολή οδών Σωκράτους και Αρμοδίου – ενδεικτικές περιπτώσεις ανοιγμάτων, Πηγή: Συγγραφέας

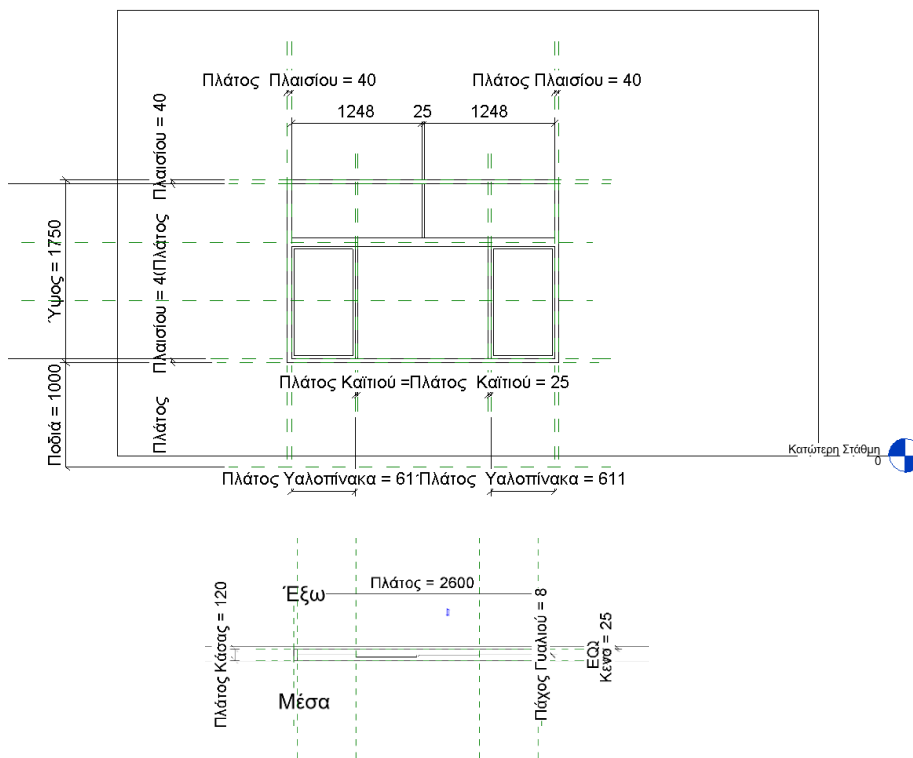


**Εικόνα 4.3.9:** Ενδεικτικές περιπτώσεις τυπικών ανοιγμάτων: (α) Τροποποίηση τυπικής οικογένειας πορτών, (β) Προσαρμογή παραμέτρων ύψους και πλάτους τυπικής οικογένειας παραθύρων, Πηγή: Συγγραφέας

Σε περιπτώσεις παραθύρων όψεων για τις οποίες δεν υπήρχε κάποιο τυπικό παράθυρο από τη βιβλιοθήκη του Autodesk Revit®, ώστε να τροποποιηθεί αναλόγως, απαιτήθηκε εξ' αρχής σχεδιασμός της οικογένειας. Ενδεικτικό παράδειγμα αυτής της περίπτωσης, αποτελούν τα παράθυρα του δεύτερου κτηρίου επί της οδού Αριστογείτονος. Συγκεκριμένα, τα καίτια, το πλαίσιο και οι υαλοπίνακες σχεδιάστηκαν ως extrusions με τις διαστάσεις τους να προσεγγίζουν, κατά το δυνατόν, καλύτερα την πληροφορία του νέφους.



(α)



(β)

**Εικόνα 4.3.10:** Ενδεικτική περίπτωση ανοίγματος για το οποίο σχεδιάστηκε οικογένεια: (α) φωτογραφία ανοίγματος και ψηφιακού διδύμου του, (β) Σχεδιασμός Οικογένειας-διαστάσεις, Πηγή: Συγγραφέας

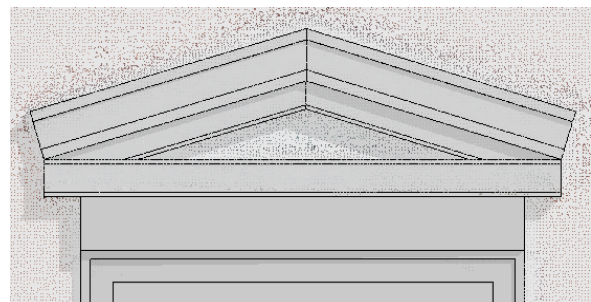
Ακολουθώντας την αρχή σχεδίασης «από το γενικό στο ειδικό», περνώντας από τη μεγαλύτερη προς τη μικρότερη κλίμακα, αφότου σχεδιάστηκαν και τοποθετήθηκαν τα ανοίγματα, οι στέγες και τα μπαλκόνια, όπου υπήρχαν, έγινε προσπάθεια μοντελοποίησης μορφολογικών και διακοσμητικών στοιχείων. Ενδεικτική περίπτωση, αποτελεί το γωνιακό νεοκλασικό κτήριο, στη συμβολή των οδών Αθηνάς και Αριστογείτονος, του οποίου η όψη φέρει στοιχεία διακόσμου. Στην Εικόνα 4.3.11 απεικονίζεται (α) φωτογραφία, (β) τμήμα της μοντελοποιημένης όψης και (γ) λεπτομέρεια της στέψης των παραθύρων.



(α)

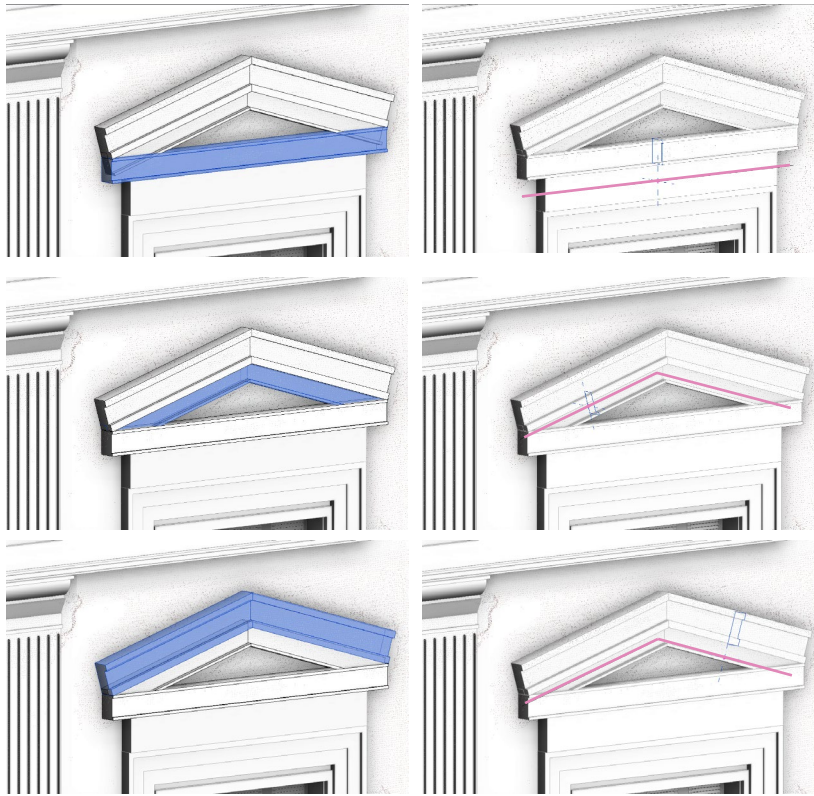


(β)



(γ)

**Εικόνα 4.3.11:** Ενδεικτική περίπτωση σχεδίασης διακόσμου: (α) Φωτογραφία τμήματος όψης νεοκλασικού, (β) BIM μοντελοποιημένο τμήμα όψης, (γ) Λεπτομέρεια διακόσμου, Πηγή: Συγγραφέας



**Εικόνα 4.3.12:** Στέψη model-in-place, Πηγή: Συγγραφέας

Ειδικότερα, η στέψη σχεδιάστηκε ως in-place model που αποτελείται από τρία μέρη κατασκευασμένα με το εργαλείο Sweep. Αρχικά, σχεδιάζοντας το προφίλ κάθε ενός από τα τρία μέρη σε τομή και στη συνέχεια ορίζοντας την διαδρομή (path) προς την οποία θα γίνει η εξώθηση της γεωμετρίας (extrusion). Στην Εικόνα 4.3.12 αποτυπώνεται η διαδικασία κατασκευής του: αριστερά φαίνεται επιλεγμένο το κάθε τμήμα της στέψης με μπλε χρώμα και δεξιά το προφίλ με το αντίστοιχο path, συμβολιζόμενο με χρώμα magenta.

## ΜΕΡΟΣ 5<sup>ο</sup>

### ΑΠΟΔΕΙΞΗ – ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

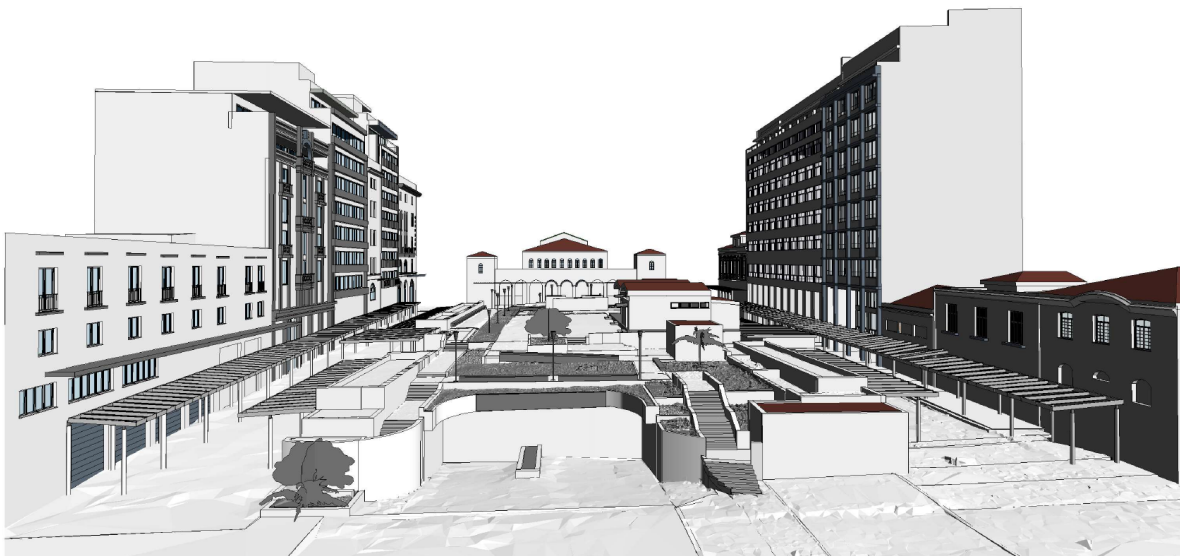
#### 5.1 Αποτελέσματα

Ακολουθώντας την κατηγοριοποίηση των τεσσάρων υποπεριπτώσεων αντικειμένων του συνόλου του πεδίου της πλατείας της Βαρβακείου, όπως περιγράφονται στο κεφάλαιο 4.3, ανάλογα με τις ειδικές απαιτήσεις μοντελοποίησης του καθενός, εφαρμόστηκε η κατάλληλη σχεδιαστική αρχή και ολοκληρώθηκε η μοντελοποίηση. Στις εικόνες 5.1.1-5.1.4, παρουσιάζονται απόψεις της πλατείας, για τη συνολική επισκόπηση της μοντελοποίησης. Η πλήρης σειρά αρχιτεκτονικών σχεδίων που εξήχθη από τη συγκεκριμένη διαδικασία, παρατίθεται στο υποκεφάλαιο του Μέρους 6<sup>ου</sup>: Ένθετο.

Επανεξετάζοντας τα επιδιωκόμενα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, όπως αυτά ετέθησαν στο κεφάλαιο 1.3, θα μπορούσαμε να πούμε, ότι τα εξαγόμενα αποτελέσματα, υποδιαιρούνται σε τρία σκέλη. Το πρώτο σκέλος, αφορά στην επιτυχή συλλογή των δεδομένων πεδίου. Πράγματι, ο τρόπος που προγραμματίστηκε και διεξήχθη η συλλογή των φωτογραφικών δεδομένων, οδήγησε στην παραγωγή λεπτομερούς νέφους σημείων.



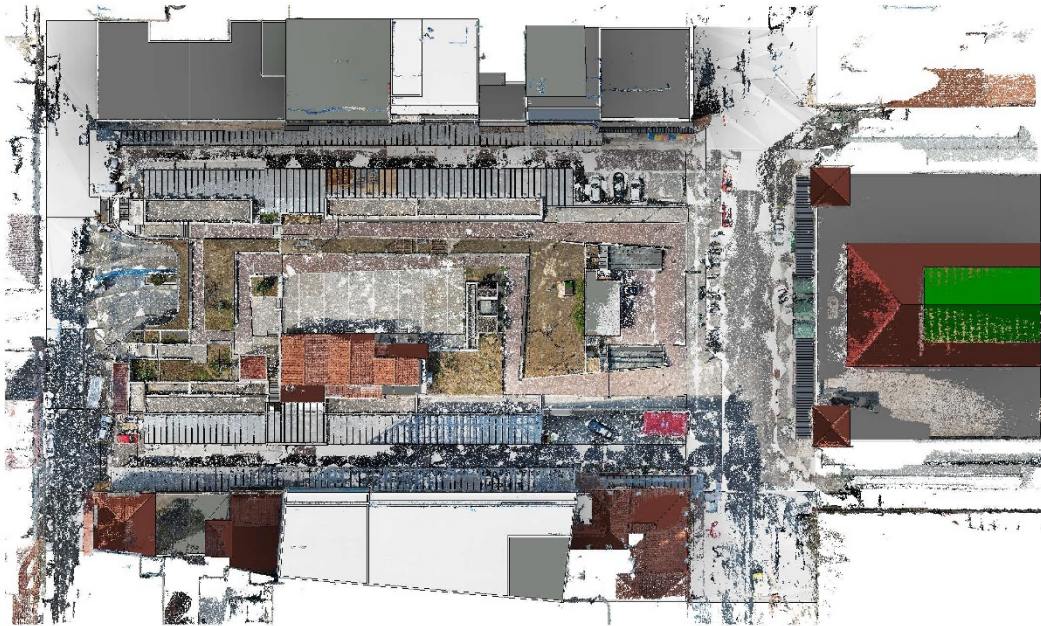
(α)



(β)

**Εικόνα 5.1.1:** Προοπτική άποψη πλατείας: (α) Ενεργοποιημένο νέφος σημείων, (β) Απενεργοποιημένο νέφος σημείων - BIM μοντέλο, Πηγή: Συγγραφέας





(α)



(β)

**Εικόνα 5.1.2:** Κάτοψη πλατείας: (α) Ενεργοποιημένο νέφος σημείων, (β) Απενεργοποιημένο νέφος σημείων - BIM μοντέλο, Πηγή: Συγγραφέας



(α)



(β)

**Εικόνα 5.1.3:** Προοπτική άποψη πλατείας: Οδός Αρμοδίου (α) Ενεργοποιημένο νέφος σημείων, (β) Απενεργοποιημένο νέφος σημείων - BIM μοντέλο, Πηγή: Συγγραφέας



(a)



(β)

**Εικόνα 5.1.4:** Προοπτική άποψη πλατείας: Οδός Αριστογείτονος (α) Ενεργοποιημένο νέφος σημείων, (β) Απενεργοποιημένο νέφος σημείων - BIM μοντέλο, Πηγή: Συγγραφέας

Το δεύτερο σκέλος σχετίζεται με την κατάλληλη επεξεργασία των φωτογραφικών δεδομένων, ώστε το παραχθέν νέφος, σε επίπεδο λεπτομέρειας, να αποτελέσει ένα ικανοποιητικό υπόβαθρο αναφοράς για το τελευταίο σκέλος, αυτό της επικείμενης μοντελοποίησης και εξαγωγής αρχιτεκτονικών σχεδίων τεκμηρίωσης. Πράγματι, η συγκεκριμένη έρευνα, παρήγαγε μια σειρά αρχιτεκτονικών σχεδίων τεκμηρίωσης, κάρη στην τρισδιάστατη μοντελοποίηση του νέφους σημείων της πλατείας Βαρβακείου. Η συνολική αξιολόγηση και ο σχολιασμός της διαδικασίας αυτής καθαυτής, η κριτική της ποιότητας της μεθοδολογίας και των αποτελεσμάτων καθώς και η συζήτηση επί της φιλοσοφίας και σκοπιμότητας της σάρωσης υφιστάμενων δομών, με σκοπό την BIM μοντελοποίησή τους πραγματοποιείται στο επόμενο κεφάλαιο.

## 5.2 Σύνοψη και Αξιολόγηση

Ολοκληρώνοντας την έρευνα, έχοντας αναλύσει το επιστημονικό πλαίσιο της επιστήμης της φωτογραμμετρίας καθώς και τις γενικές αρχές της μεθοδολογίας της φωτογραμμετρικής επεξεργασίας δεδομένων, με σκοπό την αποτύπωση και σύνθεση τρισδιάστατων αναπαραστάσεων αντικειμένων, πραγματοποιήθηκε εφαρμογή των ανωτέρω, σε μελέτη περίπτωσης αστικού περιβάλλοντος, υπό τη μορφή αρχιτεκτονικού πειραματισμού και πρακτικής εξοικείωσης με τις έννοιες και τα εργαλεία της φωτογραμμετρικής αποτύπωσης και BIM μοντελοποίησης. Στις ακόλουθες ενότητες, παρατίθενται η κριτική και τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από την παρούσα έρευνα. Συγκεκριμένα, η αξιολόγηση αναπτύσσεται γύρω από τους συγκεκριμένους άξονες: αρχικά, συζητούνται τα οφέλη του συνδυασμού φωτογραμμετρικών τεχνικών αποτύπωσης με τη BIM τεκμηρίωση και οι προοπτικές ενσωμάτωσής τους στην αρχιτεκτονική διαδικασία. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα σημεία εκείνα που χρήζουν βελτίωσης ή διαφορετικής αντιμετώπισης, όπως προκύπτουν από την πρακτική εφαρμογή τους στην παρούσα έρευνα, τόσο στο κομμάτι της φωτογραμμετρικής αποτύπωσης όσο και στο κομμάτι της BIM μοντελοποίησης. Τέλος, γίνεται λόγος για τις προοπτικές εισαγωγής μιας τέτοιας φιλοσοφίας εργαλειακού σχεδιασμού στην ακαδημαϊκή αρχιτεκτονική διαδικασία, για εκπαιδευτικούς σκοπούς.

- Φωτογραμμετρική Αποτύπωση & BIM μοντελοποίηση  
*Προοπτικές ενσωμάτωσης στην αρχιτεκτονική διαδικασία*

Σύγχρονες τεχνικές αποτύπωσης, όπως οι φωτογραμμετρικές και οι laser σαρώσεις, είναι αποδεδειγμένο, ότι αποτελούν τεχνολογίες που συνδυαστικά με την αναδυόμενη και ολοένα και περισσότερο χρησιμοποιούμενη τεχνολογία του BIM, ενισχύουν την ακρίβεια και την αποτελεσματικότητα του αρχιτεκτονικού έργου και του κατασκευαστικού κλάδου εν γένει. Ειδικότερα, όπως προκύπτει και από τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, η φωτογραμμετρική αποτύπωση, αποδίδει τρισδιάστατες χωρικές πληροφορίες, όπως πληροφορίες διαστάσεων ή μορφολογίας αλλά και ποιοτικές, όπως πληροφορίες υφών και χρωμάτων, υψηλής ακρίβειας και λεπτομέρειας, εξαλείφοντας την ανάγκη για επιτόπου αποτύπωση στο πεδίο με παραδοσιακά μέσα. Παράλληλα, η επακόλουθη μείωση του κόστους και του χρόνου παραμονής στο πεδίο, επιταχύνει την έναρξη των έργων, καθώς μειώνει σημαντικά τις επισκέψεις στο πεδίο, με τα ψηφιοποιημένα, πλέον, δεδομένα του, να γίνονται ευκολότερα επεξεργάσιμα, με σκοπό την ορθή ανάλυση και αξιολόγηση των εκάστοτε απαιτήσεων, για τη λήψη αποφάσεων. Συνολικά, η επιστήμη της φωτογραμμετρίας και των laser σαρώσεων, συνηγορούν στην αρχιτεκτονική διαδικασία, επιτρέποντας την ανάπτυξη λεπτομερών και ρεαλιστικών τρισδιάστατων μοντέλων κτηρίων ή του περιβάλλοντος χώρου αυτών ή του εκάστοτε γενικευμένου πεδίου, λειτουργώντας ως υπόβαθρο, για τον εκ νέου σχεδιασμό, για την συντήρηση και ανακατασκευή ή την

ψηφιοποίηση υφιστάμενων δομών, για σκοπούς αρχειακούς ή διασφάλισης πολιτιστικής κληρονομιάς.

Σε δεύτερο στάδιο, η μεταφορά των δεδομένων του πεδίου σε BIM, αναβαθμίζει συνολικά μια μελέτη, καθώς παρέχει μια ολοκληρωμένη βάση δεδομένων, στην οποία μπορούν να φορτωθούν όλες οι πληροφορίες του έργου και να εμπλουτίζονται διαρκώς με νέες, καθ' όλη τη διάρκεια σχεδιασμού, -ανα-κατασκευής και ζωής του. Με άλλα λόγια, το BIM αναπτύσσεται σε μια κοινή πλατφόρμα εργασίας, για όλες τις διαφορετικές ειδικότητες που συνεργάζονται σε ένα έργο, βελτιώνοντας, έτσι, την συνεργασία τη ροή πληροφοριών και τη λήψη αποφάσεων, σε πραγματικό χρόνο, έχοντας κάθε φορά εποπτεία όλων των δεδομένων. Ένα ακόμα σημαντικό όφελος της εργασίας σε BIM, είναι ότι εντός αυτού του ψηφιακού περιβάλλοντος εργασίας, δίνεται η δυνατότητα πολυεπίπεδης ανάλυσης και σχεδιασμού, καθώς τα μοντέλα μπορούν να υποβληθούν σε ψηφιακές προσομοιώσεις, όπως περιβαλλοντικές, στατικές κ.α. μειώνοντας, έτσι, τα ρίσκα και διασφαλίζοντας την συμμόρφωση των έργων στα εκάστοτε κανονιστικά πρότυπα.

- Φωτογραμμετρική Διαδικασία Συλλογής δεδομένων  
*Παρατηρήσεις & Σημεία προς βελτίωση*

Η φωτογραμμετρική αποτύπωση της πλατείας της Βαρβακείου Αγοράς, πραγματοποιήθηκε με χρήση εναέριας (UAV) φωτογραμμετρίας με drone και προσαρτημένη ψηφιακή κάμερα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, προκύπτει ότι η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ως προς την οργάνωση της πτήσης, τις αρχές αλληλοεπικάλυψης και αλληλουχίας κινήσεων, ήταν ορθή, καθώς κατέληξε σε ένα πλήθος φωτογραφιών ικανών να ανασυνθέσουν ένα νέφος σημείων ικανοποιητικής λεπτομέρειας. Ωστόσο, υπάρχουν κάποια σημεία που θα μπορούσαν να αναβαθμίσουν σημαντικά τόσο το επίπεδο λεπτομέρειας και ευκρίνειας, όσο και το επίπεδο ακρίβειας μειώνοντας σημαντικά το σφάλμα.

Έτσι, το πρώτο σημείο προς βελτίωση, αφορά στον εξαρχής συνειδητό καθορισμό του επιθυμητού επιπέδου λεπτομέρειας (LOD - Level of Detail) του παραγόμενου μοντέλου, ανάλογα με τον σκοπό της αποτύπωσης. Ειδικότερα, ο όρος LOD αφορά στην ανάλυση (resolution) του παραγόμενου μοντέλου και ο συγκεκριμένος προσδιορισμός του, πριν την έναρξη της αποτύπωσης, απαιτεί ένα συμβιβασμό μεταξύ επιδιωκόμενης ευκρίνειας και πρακτικών περιορισμών, όπως η διαθέσιμη υπολογιστική ισχύς για την επεξεργασία του όγκου και του μεγέθους των δεδομένων πεδίου, ο χρόνος εκτέλεσης της πτήσης και παραμονής στο πεδίο, η αυτονομία και η χωρητικότητα της μνήμης των οργάνων, οι καιρικές συνθήκες, η επικινδυνότητα του ίδιου του πεδίου κ.α. Παράλληλα, συνυπολογίζοντας τις παραμέτρους αυτές, για τον σωστό προσδιορισμό του επιπέδου λεπτομέρειας, απαιτείται ο καθορισμός του στόχου της αποτύπωσης, δηλαδή αν πρόκειται για στήσιμο κάποιου μοντέλου απλής οπτικοποίησης, αν πρόκειται για παραγωγή περιβάλλοντος εικονικής πραγματικότητας (VR) ή αν προορίζεται για προσομοιώσεις μηχανικής κ.λπ. Στη περίπτωση της πλατείας, ο στόχος της αποτύπωσης της οποίας ήταν η εξαγωγή κατασκευαστικών σχεδίων τεκμηρίωσης, το επίπεδο της επιθυμητής λεπτομέρειας θα ήταν πιο επικοινωνιακό να ήταν μεγαλύτερο. Από την άλλη μεριά, η κλίμακα του πεδίου προς αποτύπωση ως παράγοντας που επηρεάζει τον προσδιορισμό του επιπέδου λεπτομέρειας, ήταν δεσμευτική. Μεγάλες περιοχές, μοιραία απαιτούν μικρότερο επίπεδο λεπτομέρειας, λόγω του μεγέθους των δεδομένων τους, ενώ μικρότερες περιοχές, μπορούν να αποτυπωθούν με μεγαλύτερο επίπεδο λεπτομέρειας. Στην περίπτωση της πλατείας, παρατηρείται σύγκρουση στόχων, καθώς από τη μία, ο σκοπός της καταγραφής ήταν η εξαγωγή κατασκευαστικών σχεδίων, από την άλλη το μέγεθος του πεδίου και της πολυπλοκότητάς του ήταν αυξημένο.

Ακόμα, ένας παράγοντας καθορισμού της λεπτομέρειας και αύξησης της πιστότητας του παραγόμενου μοντέλου, είναι ο προσδιορισμός της παραμέτρου GSD (βλ. κεφάλαιο 3), δηλαδή της αναλογίας μεταξύ μετρήσεων στον φυσικό χώρο και της απόστασης των κέντρων δύο διαδοχικών εικονοστοιχείων στις φωτογραφίες που τις απεικονίζουν (π.χ. 5cm/pixel). Όσο μικρότερη είναι η τιμή της GSD, τόσο μεγαλύτερη η ακρίβεια αλλά ταυτόχρονα και η απαίτηση για πτήση πιο κοντά στο αντικείμενο, με αποτέλεσμα την αύξηση του συνολικού πλήθους των φωτογραφιών και κατ' επέκταση του χρόνου καταγραφής στο πεδίο. Επομένως, γίνεται φανερό ότι αναφορικά στον προγραμματισμό και στις αποφάσεις, πριν την έναρξη της διαδικασίας, είναι αναγκαία μια συνολική εκτίμηση των συνθηκών και μια προσεκτική ιεράρχηση των στόχων. Στην περίπτωση της πλατείας, για την οποία η διενέργεια της διαδικασίας είχε κυρίως πειραματικό χαρακτήρα, η παράμετρος ακριβείας GSD υπολογίστηκε σε 0.53 cm/pixel (βλ. κεφάλαιο 4.2) δηλαδή αρκετά υψηλή ακρίβεια.

Παράλληλα, όπως διαφαίνεται και στη σύγχρονη βιβλιογραφία (βλ. κεφάλαιο 2.4), πολλές φορές αποδεικνύεται περισσότερο ωφέλιμος, ο συνδυασμός μεθόδων και εργαλείων αποτύπωσης, για την επίτευξη της μέγιστης λεπτομέρειας και αποδοτικότητας των παραγόμενων μοντέλων. Πιο συγκεκριμένα, ο συνδυασμός φωτογραμμετρίας και λέιζερ σαρωτών (LiDAR) φαίνεται να εξασφαλίζει τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα, καθώς η πρώτη μέθοδος υπερτερεί στην καταγραφή πληροφοριών υψών επιφανειών, χρωμάτων και οπτικών λεπτομερειών, ενώ η δεύτερη υπερτερεί σε θέματα αποστάσεων, αποτύπωσης του βάθους, των σχημάτων και των περιγραμμάτων (χωρίς βέβαια να αμφισβητείται η αυτοτέλεια κάθε μιας μεθόδου ξεχωριστά). Βέβαια, και εδώ, ο συνδυασμός μεθόδων αυξάνει το κόστος, την πολυπλοκότητα της αποτύπωσης και την ανάγκη ειδικής τεχνογνωσίας, επομένως και αυτή η επιλογή είναι άμεσα συναρτώμενη με το σκοπό της αποτύπωσης. Στην περίπτωση της πλατείας, επιλέχθηκε η χρήση εναέριας φωτογραμμετρίας, καθώς υπερτερεί σε περιπτώσεις εκτεταμένων πεδίων μεγάλης κλίμακας με δυσπρόσιτα σημεία, όπως στέγες, ταρατσες και μπαλκόνια, ενώ ταυτόχρονα, με τη βοήθεια έμπειρων συμβούλων, η αποτύπωση μπορούσε να υλοποιηθεί από μια ομάδα φοιτητών, χωρίς εξειδικευμένη τεχνογνωσία.

Επιπρόσθετα, ένα ακόμα σημείο που μπορεί να φροντίσει κανείς πριν την έναρξη της καταγραφής, είναι η «προετοιμασία» του ίδιου του αντικειμένου καταγραφής αλλά και του περιβάλλοντος στο οποίο εντάσσεται. Για παράδειγμα, αν το αντικείμενο καταγραφής είναι σχετικά περιορισμένο, ή μικρότερης κλίμακας, όπως είναι ένα μεμονωμένο κτήριο, θα ήταν εφικτή και σκόπιμη, η φροντίδα της καθαρότητας των γωνιών και των ακμών του προκειμένου να αποτυπωθούν σωστά τα όριά του, και οι κύριες αναλογίες του. Ακόμα, είναι θεμιτή η απομάκρυνση περιττών αντικειμένων περιμετρικά του που αυξάνουν την πολυπλοκότητα της καταγραφής χωρίς να αποτελούν χρήσιμες πληροφορίες. Αντίστοιχα, σε μια ιδανική συνθήκη καταγραφής της πλατείας, θα είχε επιλεγεί χρονικό διάστημα χωρίς διερχόμενους πεζούς, όλα τα σταθμευμένα και κινούμενα οχήματα θα είχαν απομακρυνθεί, σκουπίδια, τέντες, πανιά και εφήμερες κατασκευές θα εκλείπαν όπως και οι πάγκοι με τα προϊόντα στις υπαίθριες αγορές. Η εξασφάλιση αυτών των συνθηκών, για το συγκεκριμένο πεδίο, είναι ανέφικτες, γεγονός που δυσχεραίνει συνολικά, την ομαλότητα της αποτύπωσης και της συνολικής ακριβείας του παραγόμενου μοντέλου.

Λαμβάνοντας υπόψη της παραπάνω παρατηρήσεις, παρακάτω, παρατίθενται επιγραμματικά, μια σειρά από βελτιωτικές προτάσεις για την επίτευξη καλύτερων αποτελεσμάτων λεπτομέρειας και πιστότητας του παραγόμενου μοντέλου, στην περίπτωση που επαναλαμβάναμε την αποτύπωση της πλατείας:

- Αύξηση του πλήθους των φωτογραφικών λήψεων, άρα και του επιπέδου λεπτομέρειας, των τμημάτων των όψεων, για μεγαλύτερη ευκρίνεια των

ανοιγμάτων και των στοιχείων διακόσμου (το επίπεδο λεπτομέρειας – πλήθος των φωτογραφιών που συλλέχθηκε για την αποτύπωση της ίδιας της πλατείας ήταν επαρκής).

- Επιπρόσθετη λήψη φωτογραφιών από σημεία χαμηλότερα από το επίπεδο της πλατείας (από όπου απογειώθηκε και προσγειώθηκε το drone) για την συλλογή πληροφοριών και από τα επίπεδα των ισογείων των περιμετρικών κτηρίων και κάτω από τα στέγαστρα της υπαίθριας αγοράς.
  - Διενέργεια φωτογραμμετρικής αποτύπωσης του εσωτερικού του υπόγειου χώρου στάθμευσης της πλατείας, με σκοπό την παραγωγή δευτέρου -εσωτερικού- νέφους σημείων, με στόχο την τελική συνένωσή του με το εξωτερικό, για ένα πληρέστερο μοντέλο.
  - Φωτογραμμετρική αποτύπωση του εσωτερικού των περιμετρικών όψεων, για τον ακριβή προσδιορισμό του πάχους των τοίχων και της πιο λεπτομερούς αποτύπωσης της τυπολογίας των κουφωμάτων.
  - Διενέργεια καταγραφής των όψεων μια φορά με τα παράθυρα και τις πόρτες κλειστά, και μία φορά με ανοικτά, προκειμένου να αποτυπωθεί η πληροφορία για τις διατομές και τα προφίλ των ανοιγμάτων.
  - Χρήση σημείων σταθμών, δεδομένων αποστάσεων μεταξύ τους καθώς και δεδομένων συντεταγμένων στο φυσικό χώρο, για επαλήθευση μετρήσεων και καθορισμό γνωστών σημείων στον ψηφιακό χώρο, κατά την παραγωγή του νέφους σημείων.
- Επεξεργασία δεδομένων και BIM Μοντελοποίηση  
*Παρατηρήσεις & Σημεία προς βελτίωση*

Ο εξαρχής καθορισμός του επιθυμητού επιπέδου λεπτομέρειας, ανάλογα με τον στόχο του εκάστοτε έργου, επηρεάζει την αποδοτική υλοποίηση της BIM μοντελοποίησης. Μιας και η λεπτομέρεια που μπορεί κανείς να εισάγει σε ένα BIM έργο είναι πολύ εκτενής, υπάρχει ο κίνδυνος της «υπερ-ανάλυσης» και «υπερ-μοντελοποίησης», κάτι που μπορεί να μην είναι απαραίτητο. Για παράδειγμα, αν σκοπός της αποτύπωσης είναι η λεπτομερής καταγραφή της υφιστάμενης κατάστασης (as-built) ενός ιστορικού κτηρίου, στο πλαίσιο ενδεχόμενου έργου αρχειοθέτησης μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς, τότε η λεπτομερής και σε βάθος μοντελοποίηση είναι το ζητούμενο. Αντιθέτως, σε ενδεχόμενο έργο αποτύπωσης υφιστάμενου κτηρίου με σκοπό τον ανασχεδιασμό του, απαιτείται μικρό επίπεδο λεπτομέρειας, καθώς ο κύριος στόχος είναι η σύσταση ενός βασικού BIM μοντέλου για την έναρξη του σχεδιασμού και της νέας διαμόρφωσης των εσωτερικών χώρων. Σε αυτή την περίπτωση, η φωτογραμμετρική αποτύπωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την καταγραφή της γεωμετρίας του κτηρίου, εστιάζοντας στο κέλυφος και τον φέροντα οργανισμό του. Στην περίπτωση της πλατείας, ο στόχος της καταγραφής της οποίας, ήταν κυρίως ερευνητικός, αναλόγως την περιοχή του μοντέλου και του επιπέδου λεπτομέρειας καταγραφής που είχε επιτευχθεί, επιχειρήθηκε η κατά το δυνατόν λεπτομερέστερη μοντελοποίηση.

Παράλληλα, η εργασία με συνδυασμό φωτογραμμετρικών αποτυπώσεων και μοντελοποίησης σε BIM περιβάλλον, είναι σημαντικό να σημειωθεί, ότι προσφέρει τη δυνατότητα διαρκούς ανατροφοδότησης του μοντέλου με προσθήκη επιπλέον πληροφοριών κατά τόπους. Συγκεκριμένα, αν κάποιο σημείο δεν έχει αποτυπωθεί σωστά ή με την επιθυμητή λεπτομέρεια, είναι δυνατή η λήψη επιπλέον φωτογραφιών σημειακά και η ενσωμάτωσή τους στο στάδιο της φωτογραμμετρικής επεξεργασίας δεδομένων, ενημερώνοντας το νέφος σημείων που λειτουργεί ως υπόβαθρο εντός του BIM. Αυτή η διαδικασία μπορεί να πραγματοποιείται εφόσον οι φωτογραφίες διαθέτουν γεωαναφορά (georeferenced images). Αυτό επιτυγχάνεται με σύνδεση των οργάνων αποτύπωσης (drone/LiDAR κ.λπ.) στο σύστημα συντεταγμένων GPS (Global Positioning

System) αλλά και ο καθορισμός συγκεκριμένων σημείων – στόχων, GCP (Ground Control Points), με γνωστές συντεταγμένες, τοποθετημένα στρατηγικά έτσι ώστε να καλύπτεται συνολικά το πεδίο. Η χρήση τέτοιων σημείων εξυπηρετεί στην πιστότερη ευθυγράμμιση των σαρώσεων με το σύστημα συντεταγμένων του φυσικού κόσμου, με σκοπό την ελαχιστοποίηση του σφάλματος και τυχόν παραμορφώσεων του νέφους και κατ' επέκταση του τρισδιάστατου μοντέλου. Στην περίπτωση της πλατείας, η γεωναφορά περιορίστηκε στην χρήση GPS στο drone (βλ. κεφάλαιο 4.2), με γνωστές τις θέσεις λήψης κάθε φωτογραφίας.

Ειδικά για τη διαδικασία της μοντελοποίησης και εργασίας εντός του BIM περιβάλλοντος, είναι χρήσιμο να έχει προηγηθεί «καθαρισμός» και οργάνωση του νέφους σημείων που θα λειτουργήσει ως υπόβαθρο. Λόγω του ότι η σάρωση αποτυπώνει όλα τα ορατά στοιχεία του πεδίου, και τις περισσότερες φορές δεν είναι εφικτός ο πρότερος καθαρισμός του και η απομάκρυνση της περιττής πληροφορίας, χρειάζεται η εκ των υστέρων ψηφιακή επεξεργασία της σάρωσης, με χειροκίνητη αφαίρεση σημείων, διαγραφή ή χρήση ειδικών εργαλείων κάλυψης (π.χ. μάσκες, βλ. κεφάλαιο 3.2). Ακόμα, συνίσταται η περαιτέρω επεξεργασία του νέφους με χειροκίνητη επιλογή σημείων και η κατάταξή τους σε *περιοχές* (Autodesk ReCap® – Regions), χάρη στην δυνατότητα ενεργοποίησης και απενεργοποίησης της ορατότητας των περιοχών αυτών κατά βούληση. Για παράδειγμα, στην περίπτωση ενός αστικού περιβάλλοντος, προτείνεται η διαγραφή των σημείων που συνιστούν πεζούς και οχήματα, και η επιλογή των σημείων που συνιστούν διαφορετική κατηγορία αντικειμένου για την τοποθέτησή τους σε αντίστοιχη περιοχή, όπως για παράδειγμα περιοχή δρόμων, τοιχίων κ.ο.κ. Βέβαια, η συγκεκριμένη διαδικασία αυξάνει την απαίτηση για μεγαλύτερη υπολογιστική ισχύ. Στην περίπτωση της πλατείας, επιχειρήθηκε η κατηγοριοποίηση του νέφους σημείων σε περιοχές, ωστόσο η διαθέσιμη υπολογιστική ισχύς δεν ήταν η απαιτούμενη με αποτέλεσμα τη μη ολοκλήρωση της διαδικασίας. Παρόλα αυτά, το συγκεκριμένο βήμα είναι προαιρετικό, με την έννοια ότι ακόμα και αν δεν πραγματοποιηθεί η διαδικασία της μοντελοποίησης μπορεί να υλοποιηθεί απλώς με μεγαλύτερη πολυπλοκότητα.

Τέλος, διαφαίνεται πως οι σύγχρονη έρευνα και αγορά, προσανατολίζονται προς την ανάπτυξη λογισμικών, αυτόνομων αλλά και συμβατών με BIM, 2D και 3D λογισμικά, με σκοπό την αυτοματοποίηση μεγάλου όγκου της διαδικασίας μοντελοποίησης, μειώνοντας σημαντικά τον χρόνο και αυξάνοντας την ακρίβεια. Λογισμικά όπως το Trimble RealWorks®, ειδικά σχεδιασμένο για τη δημιουργία καμπύλων επιφανειών και ανάλυση πολύπλοκων λεπτομερειών, το ClearEdge3D EdgeWise® που αυτοματοποιεί την αναγνώριση σωλήνων και άλλων αρχιτεκτονικών στοιχείων (π.χ. τοίχους) και την μετατροπή τους σε BIM αντικείμενα, το FARO As-Built® με σειρά βοηθητικών εργαλείων ειδικά σχεδιασμένων για μοντελοποίηση νεφών σημείων, το Pointfuse® που χρησιμοποιεί τεχνητή νοημοσύνη για την αναγνώριση και μετατροπή των νεφών σε BIM αντικείμενα, είναι μόνο μερικά από τα διαθέσιμα λογισμικά που συμβάλλουν στην διευκόλυνση και αναβάθμιση της Scan-to-BIM διαδικασίας. Στην περίπτωση της πλατείας, χρησιμοποιήθηκε αντίστοιχο λογισμικό, το PointCloudToSurface 2023®, υπό μορφή επέκτασης (plug-in) εντός του Autodesk Revit®, για την αυτοματοποίηση της παραγωγής σύνθετων γεωμετριών όπως τα επικλινή δάπεδα (βλ. κεφάλαιο 4.3).

Σε συνέχεια των παραπάνω παρατηρήσεων, ακολούθως παρατίθεται σειρά βελτιωτικών προτάσεων για την αποτελεσματικότερη μοντελοποίηση σε BIM, της πλατείας:

- Λήψη περισσότερων φωτογραφιών σε σημεία όπου το νέφος δεν περιλάμβανε ικανοποιητική λεπτομέρεια και επαλήθευση μετρήσεων στο πεδίο.
- Χρήση GCP σημείων για πληρέστερη και αποδοτικότερη σύνδεση του μοντέλου στο σύστημα συντεταγμένων του φυσικού κόσμου.



- Αύξηση της διαθέσιμης υπολογιστικής ισχύος, ώστε να μπορεί να υποστηριχθεί η τμηματοποίηση του νέφους σημείων σε περιοχές (regions), στη λογική της κατηγοριοποίησης των υποπεριπτώσεων αντικειμένων, όπως αυτά περιεγράφηκαν στο κεφάλαιο 4.3.
- Πειραματισμός με περισσότερα λογισμικά αυτοματοποίησης μέρους της διαδικασίας αναγνώρισης και μοντελοποίησης αντικειμένων

Συμπερασματικά, η επιλογή της πλατείας Βαρβακείου Αγοράς, ως πεδίο πειραματισμού με την φωτογραμμετρική διαδικασία και την BIM μοντελοποίηση, ερευνητικά είχε μεγάλο ενδιαφέρον, καθώς ανέδειξε τόσο τις προοπτικές όσο και τις προκλήσεις που ενέχει μια τέτοια μεθοδολογία. Στα θετικά, αποδεικνύεται ότι αξιοποιώντας έναν απλό και οικονομικό εξοπλισμό, χωρίς απαίτηση εξειδικευμένης τεχνογνωσίας, ακολουθώντας τις μεθοδολογίες και τεχνικές της φωτογραμμετρικής αποτύπωσης, μπορούν να καταγράψουν επιτυχώς, και με υψηλά επίπεδα λεπτομέρειας, εκτενή αστικά πεδία, σε σύντομο χρονικό διάστημα. Ακόμα, η πλατεία, ως γενικευμένο αστικό πεδίο, συγκροτείται από πληθώρα διαφορετικών αντικειμένων, γεγονός που επιτάσσει τη διερεύνηση των ειδικών απαιτήσεων μοντελοποίησης κάθε ενός από αυτά, και την αναζήτηση του βέλτιστου τρόπου της BIM μοντελοποίησής τους. Από την άλλη μεριά, στα σημεία που δυσχεραίνουν τη συνολική διαδικασία, υπάγεται η αυξημένη πολυπλοκότητα και η πυκνή πληροφορία, που συνοδεύει τέτοια πεδία, σε σύγκριση με άλλα περιορισμένα ή με μεμονωμένα αντικείμενα προς αποτύπωση. Ακόμα, η επακόλουθη απαίτηση για εξασφάλιση περισσότερων λήψεων, σημειακά, ή ακόμα και διενέργεια νέων αποτυπώσεων, για την ορθή τεκμηρίωση, ήταν παράγοντας που μείωσε το ποσοστό πιστότητας του παραγόμενου BIM μοντέλου. Τέλος, αποδεικνύεται ότι η BIM μοντελοποίηση, αποτελεί μια χρονοβόρα διαδικασία, και ως εκ τούτου, ιδανικά, απαιτεί μια ομάδα αρχιτεκτόνων που να δουλεύουν στο κοινό έργο, οι οποίοι αξιοποιώντας και τα διαθέσιμα λογισμικά αυτοματοποιημένων διεργασιών, θα προσβλέπουν στην αύξηση της αποδοτικότητάς τους και στη συνολική εξοικονόμηση χρόνου.

- Φωτογραμμετρική Αποτύπωση & BIM μοντελοποίηση  
*Προοπτικές εισαγωγής της θεματικής στην ακαδημαϊκή εκπαιδευτική διαδικασία*

Τελευταία παράμετρος διερεύνησης της παρούσας εργασίας, είναι τα οφέλη της εισαγωγής της μεθοδολογίας της φωτογραμμετρικής αποτύπωσης και επακόλουθης BIM μοντελοποίησης, στην ακαδημαϊκή εκπαιδευτική διαδικασία. Αρχικά, η δυνατότητα αποτύπωσης χώρων, με κατάλληλη καθοδήγηση σε σύντομο χρονικό διάστημα, συμβάλλει στην ολοκληρωμένη κατανόηση του χώρου, των περιορισμών και των προοπτικών του, γεγονός που αποτελεί τη βάση και την εναρκτήριο συνθήκη για κάθε νέο σχεδιασμό. Φοιτητές που έχουν πειραματιστεί και φέρει σε πέρας κάποια φωτογραμμετρική αποτύπωση, θα είναι σε θέση να εκτιμήσουν καλύτερα την υφιστάμενη κατάσταση ενός χώρου ή πεδίου και να λάβουν σχεδιαστικές αποφάσεις με βάση πραγματικά δεδομένα. Παράλληλα, χάρη στην φωτογραμμετρική αποτύπωση, οι φοιτητές θα μπορούν να αναπτύξουν ρεαλιστικά τρισδιάστατα μοντέλα που εκτός από την πληροφορία του όγκου θα περιλαμβάνουν λεπτομέρειες υλικών και υφών. Η ενασχόλησή τους με σύγχρονες μεθοδολογίες και ψηφιακά εργαλεία, μπορεί να ενισχύσει τη δημιουργικότητα και την ευελιξία της σκέψης τους, χάρη στον πειραματισμό με διαφορετικές μορφές, υλικά και υφές και στη δυνατότητα άμεσης οπτικοποίησης και προσομοίωσης των ιδεών τους σε εικονικό περιβάλλον.

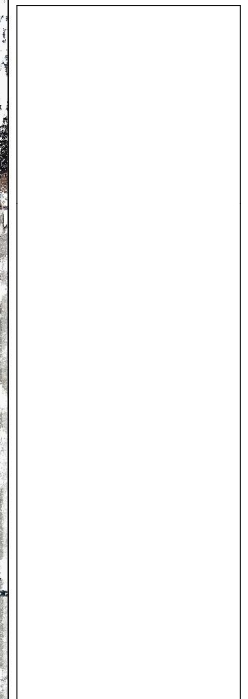
Σε δεύτερο στάδιο, ο συνδυασμός φωτογραμμετρικών αποτυπώσεων και εργασίας σε περιβάλλον BIM, μπορεί να λειτουργήσει ως αφορμή για την εισαγωγή των φοιτητών στην νοοτροπία του BIM, δηλαδή της διεπιστημονικής συνεργασίας για τον σχεδιασμό, τη διαχείριση και κατασκευή ενός έργου, εντός ενός κοινού ψηφιακού περιβάλλοντος εργασίας. Κατ' αυτόν τον τρόπο, οι φοιτητές μαθαίνουν από νωρίς να συνεργάζονται αποδοτικά στο πλαίσιο μιας ομάδας, και να συνυπολογίζουν στο σχεδιασμό τους παραμέτρους όπως η βιωσιμότητα, η διαχείριση, η κατασκευή και ο κύκλος ζωής ενός έργου. Η εξοικείωση των νέων αρχιτεκτόνων με μια τέτοια σχεδιαστική προσέγγιση, που υπερβαίνει τον όγκο και τη μορφολογία των δομών, συντελεί στον εμπλουτισμό των γνώσεων και των δεξιοτήτων τους, αυξάνοντας την ετοιμότητα και ανταγωνιστικότητά τους στις απαιτήσεις της σύγχρονης αγοράς εργασίας.

### 5.3 Περαιτέρω Έρευνα

Η έρευνα στο πεδίο των φωτογραμμετρικών αποτυπώσεων και των laser σαρώσεων σε συνδυασμό με τη BIM μοντελοποίηση είναι εκτενής και γοργά εξελισσόμενη, με αποτελέσματα και εργαλεία που μπορούν να αξιοποιηθούν στην αρχιτεκτονική, και τον κατασκευαστικό κλάδο εν γένει, προσφέροντας νέες δυνατότητες και προοπτικές στο σχεδιασμό, τη διατήρηση, τη συντήρηση και την αποκατάσταση χωρικών αντικειμένων. Οι σύγχρονες φωτογραμμετρικές μέθοδοι, σε συνδυασμό με την υιοθέτηση του BIM, παρέχουν τη δυνατότητα εξαιρετικά λεπτομερών αποτυπώσεων και την ανάπτυξη ολοκληρωμένων τρισδιάστατων ψηφιακών αναπαραστάσεων. Η περαιτέρω έρευνα σε αυτόν τον τομέα μπορεί να οδηγήσει σε γενικευμένη διατύπωση μεθοδολογιών και πρωτοκόλλων αποτύπωσης, με χρήση αυτών των τεχνολογιών. Παράλληλα, η ανάπτυξη αλγορίθμων αυτοματοποιημένων διαδικασιών, τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης βρίσκονται ήδη στον πυρήνα των ερευνών και των πειραματικών εφαρμογών, με σκοπό την προοδευτική ελαχιστοποίηση της ανθρώπινης εργασίας, τη μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας της διαδικασίας και τελικά της πιστότητας των παραγόμενων μοντέλων. Το ερώτημα, όμως, παραμένει: ποια η ισορροπία μεταξύ 'εργαλείου' και αρχιτεκτονικής πρακτικής;

**ΜΕΡΟΣ 6<sup>ο</sup>**

ΕΝΘΕΤΟ: Αρχιτεκτονικά Σχέδια Τεκμηρίωσης



Νο.	Περιγραφή	Ημερ.

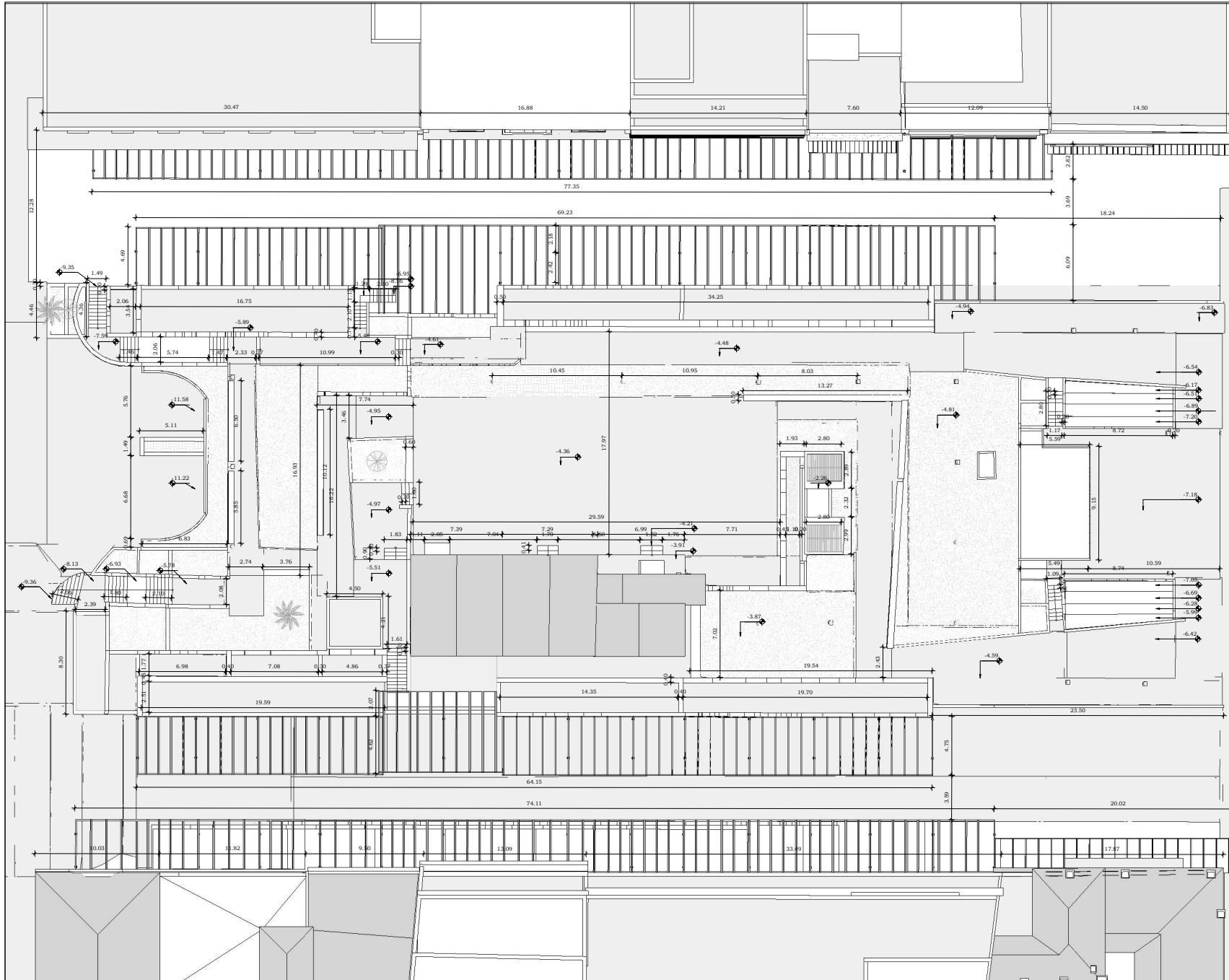
**ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΜΟΝΤΕΛΑ  
ΔΟΜΙΚΩΝ  
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΑΠΟ  
ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ: Η  
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ  
ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΒΑΡΒΑΚΕΙΟΥ  
ΑΓΟΡΑΣ, ΑΘΗΝΑ**

**Γενική Κάτοψη Πεδιού-  
Νέφος**

Νο Τίτλος 0001  
 Ημερομηνία 08/11/2024  
 Σχεδιαστής Κ. ΒΟΥΚΕΛΑΤΟΥ

**K-100**

Κλίμακα 1 : 100



No.	Περιγραφή	Ημερ.

**ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΜΟΝΤΕΛΑ  
ΔΟΜΙΚΩΝ  
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΑΠΟ  
ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ: Η  
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ  
ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΒΑΡΒΑΚΕΙΟΥ  
ΑΓΟΡΑΣ, ΑΘΗΝΑ**

**Γενική Κάτοψη Πεδίου**

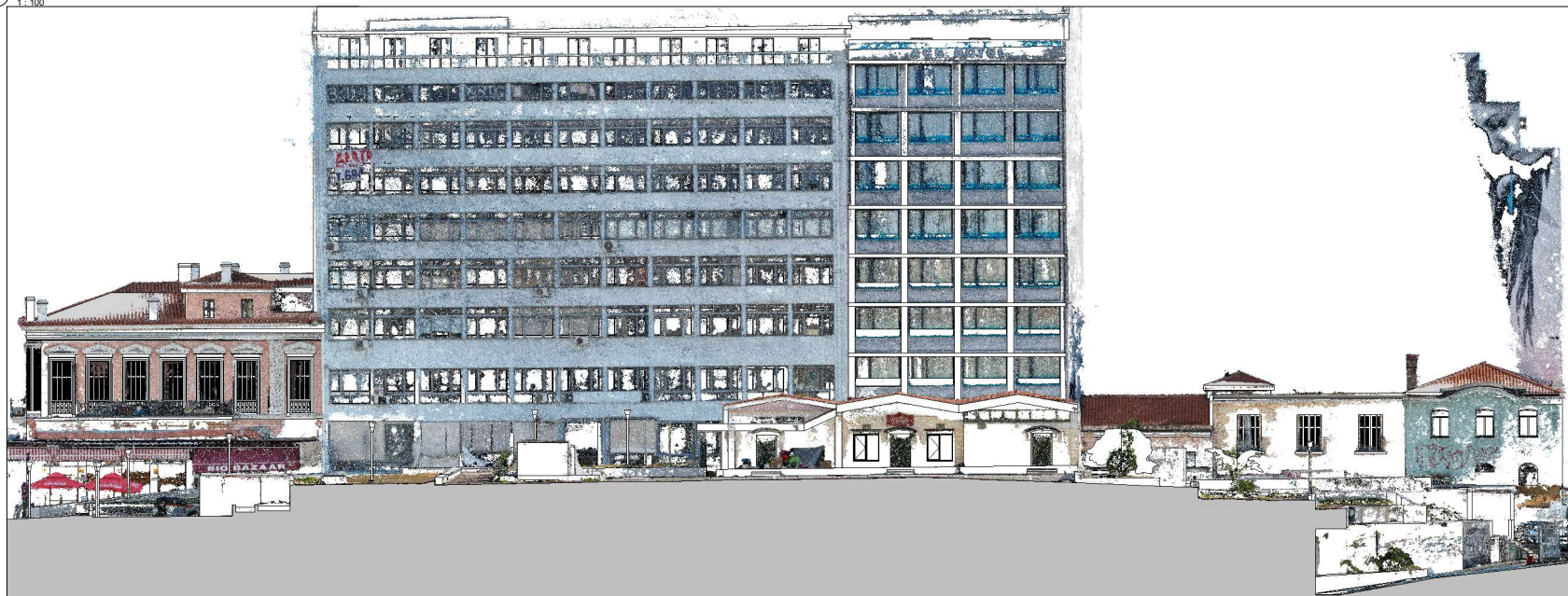
Νο Έργο	0001
Ημερομηνία	08/11/2024
Σχεδιαστής	Κ. ΒΟΥΚΕΛΑΤΟΥ

**K-101**

Κλίμακα	1 : 100
---------	---------



1 ΔΤ\_ΑΡΙΣΤΟΓΕΙΤΟΝΟΣ  
1:100



2 ΔΤ\_ΑΡΙΣΤΟΓΕΙΤΟΝΟΣ\_ΝΕΦΟΣ  
1:100

No.	Περιγραφή	Ημερ.

**ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΜΟΝΤΕΛΑ  
ΔΟΜΙΚΩΝ  
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΑΠΟ  
ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ: Η  
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ  
ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΒΑΡΒΑΚΕΙΟΥ  
ΑΓΟΡΑΣ, ΑΘΗΝΑ**

**Διαμήκης Τομή**

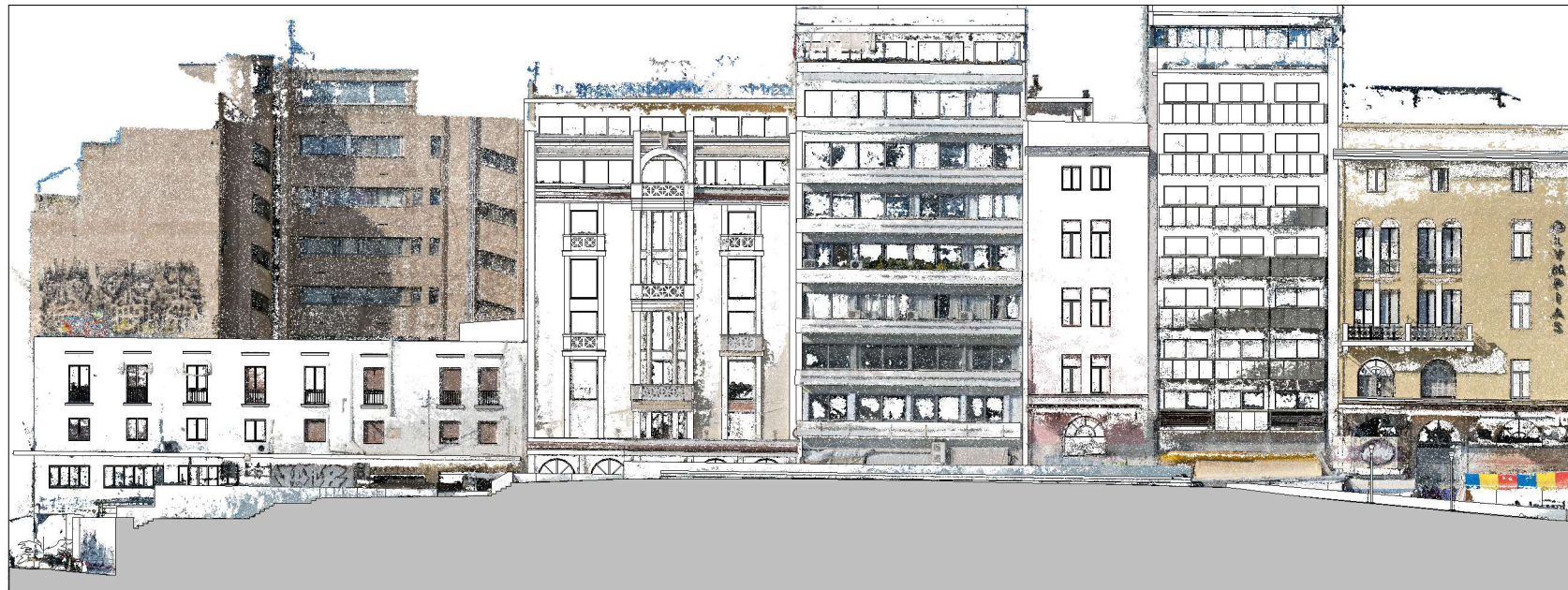
Νο Τίτλος	0001
Ημερομηνία	08/11/2024
Σχεδιαστής	K.ΒΟΥΚΕΛΛΟΥ

**T-100**

Κλίμακα	1 : 100
---------	---------



② ΔΤ\_ΑΡΜΟΔΙΟΥ  
1:100



① ΔΤ\_ΑΡΜΟΔΙΟΥ\_ΝΕΦΟΣ  
1:100

No.	Περιγραφή	Ημερ.

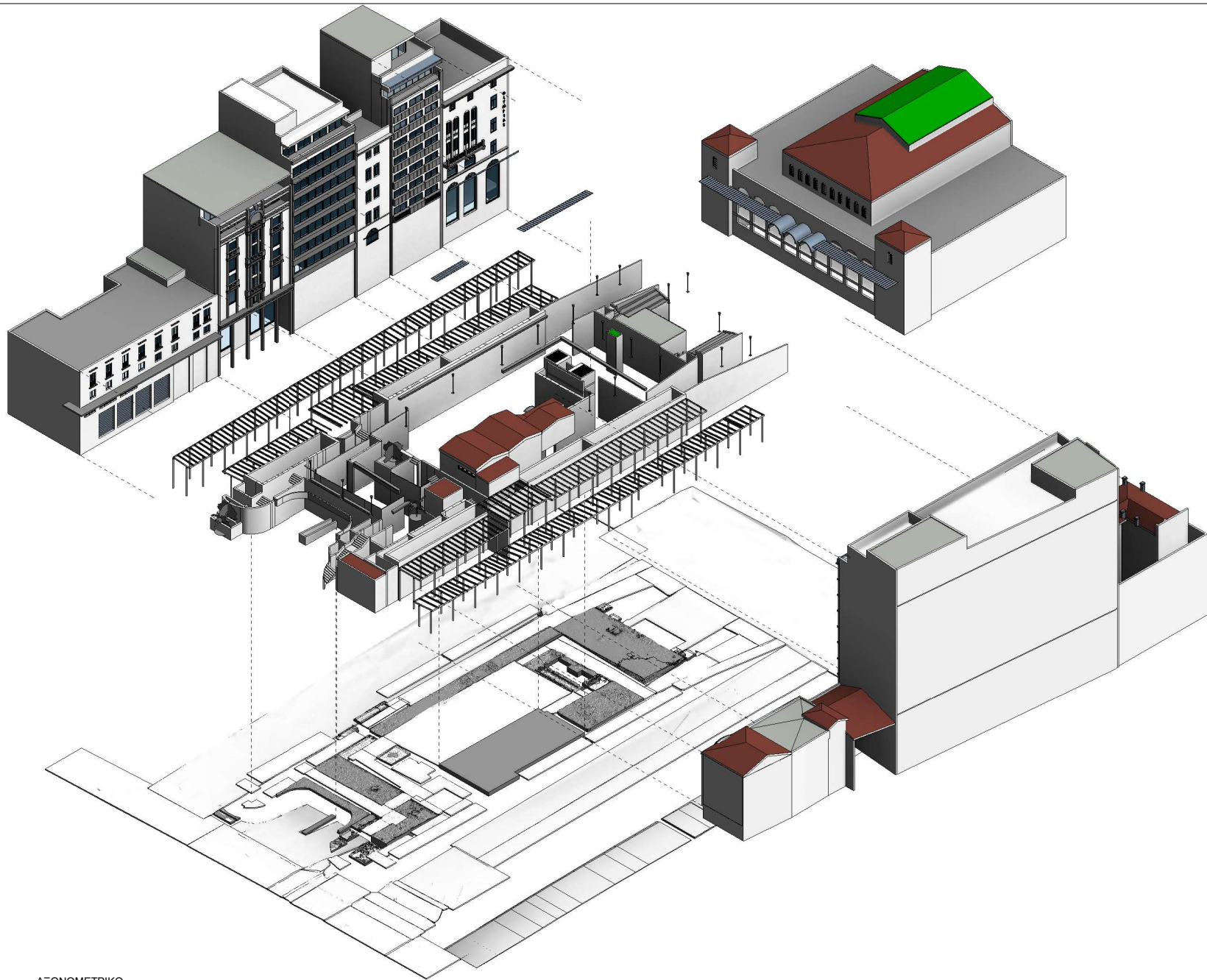
**ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΜΟΝΤΕΛΑ  
ΔΟΜΙΚΩΝ  
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΑΠΟ  
ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ: Η  
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ  
ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΒΑΡΒΑΚΕΙΟΥ  
ΑΓΟΡΑΣ, ΑΘΗΝΑ**

**Διαθήκης Τομή**

Νο Τίτλος	0001
Ημερομηνία	08/11/2024
Σχεδιαστής	K.ΒΟΥΚΕΛΛΟΥ

**T-101**

Κλίμακα	1 : 100
---------	---------



1 ΑΕΟΝΟΜΕΤΡΙΚΟ

Νο.	Περιγραφή	Ημερ.

**ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΜΟΝΤΕΛΑ  
ΔΟΜΙΚΩΝ  
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΑΠΟ  
ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ: Η  
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ  
ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΒΑΡΒΑΚΕΙΟΥ  
ΑΓΟΡΑΣ, ΑΘΗΝΑ**

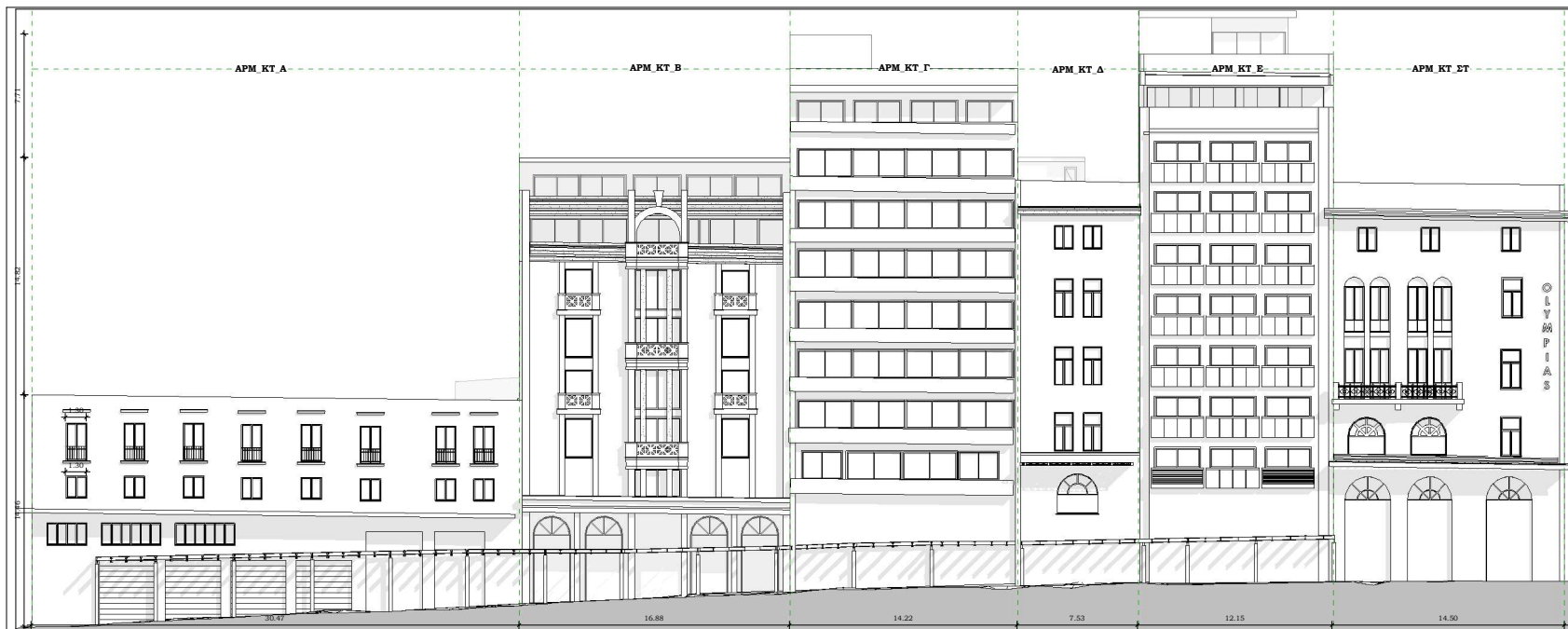
**Αξονομετρικό σε  
Έκρηξη**

Νο Έργο	0001
Ημερομηνία	08/11/2024
Σχεδιαστής	Κ.ΒΟΥΚΕΛΑΤΟΥ

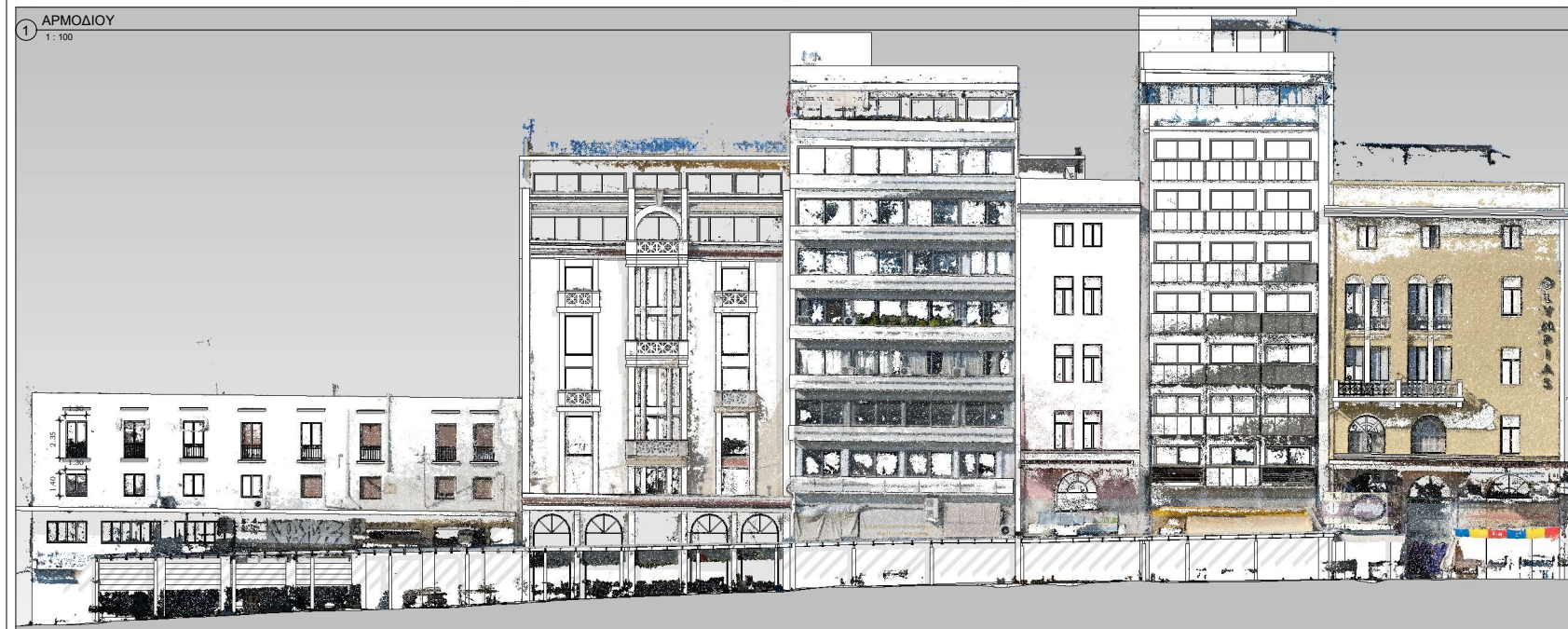
**A-100**

Κλίμακα





1 ΑΡΜΟΔΙΟΥ  
1 : 100



No.	Περιγραφή	Ημερ.

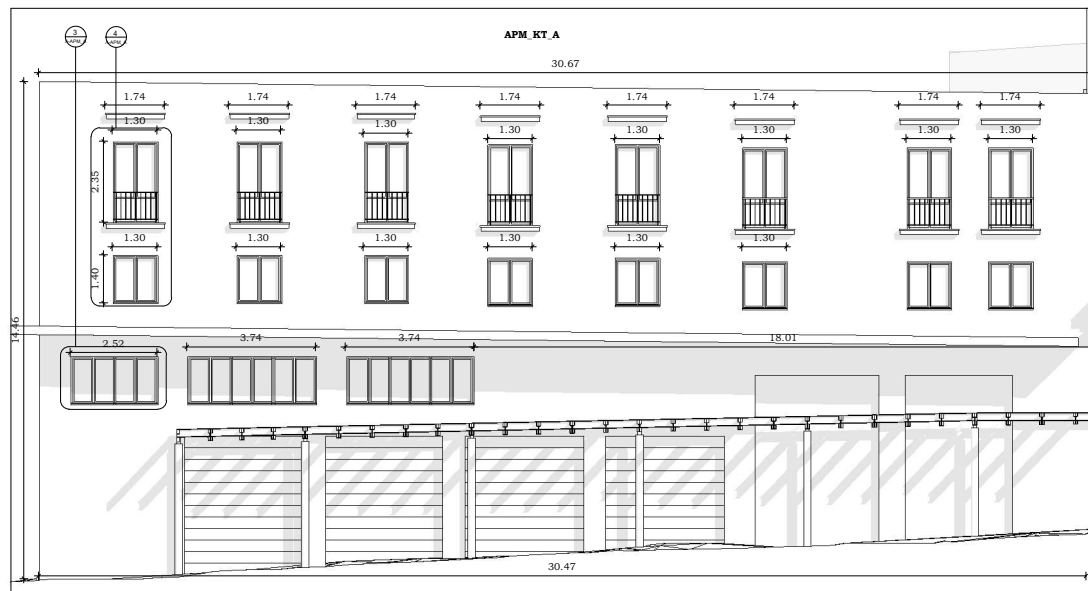
**ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΜΟΝΤΕΛΑ  
ΔΟΜΙΚΩΝ  
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΑΠΟ  
ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ: Η  
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ  
ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΒΑΡΒΑΚΕΙΟΥ  
ΑΓΟΡΑΣ, ΑΘΗΝΑ**

**Όψη Αρμοδίου**

Νο Τίτλου	0001
Ημερομηνία	08/11/2024
Σχεδιαστής	Κ. ΒΟΥΚΕΛΑΤΟΥ

**O-100**

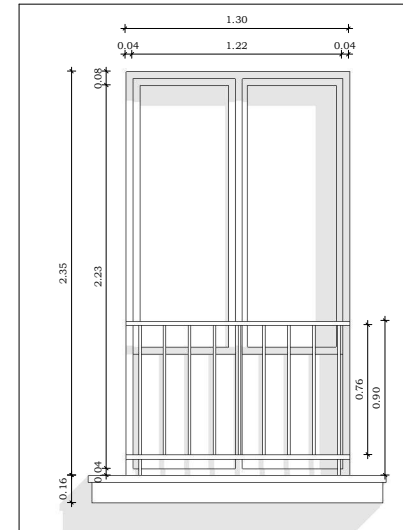
Κλίμακα	1 : 100
---------	---------



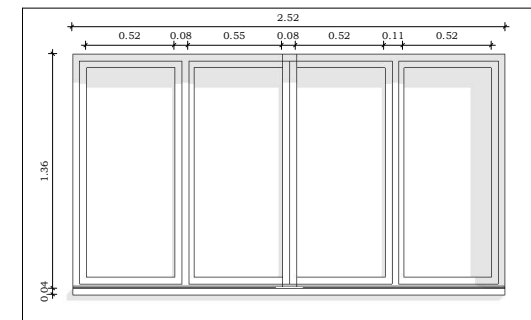
1 ΑΡΜ\_ΚΤΑ  
1:50



2 ΑΡΜ\_ΚΤΑ\_ΝΕΦΟΣ  
1:50



3 ΑΡΜ\_ΚΤΑ\_Π1&2  
1:10



4 ΑΡΜ\_ΚΤΑ\_Π3  
1:10

Νο.	Περιγραφή	Ημερ.

**ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΜΟΝΤΕΛΑ  
ΔΟΜΙΚΩΝ  
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΑΠΟ  
ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ: Η  
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ  
ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΒΑΡΒΑΚΕΙΟΥ  
ΑΓΟΡΑΣ, ΑΘΗΝΑ**

**Αρμόδιου Κτήριο  
Α.Λεπτομέρεια**

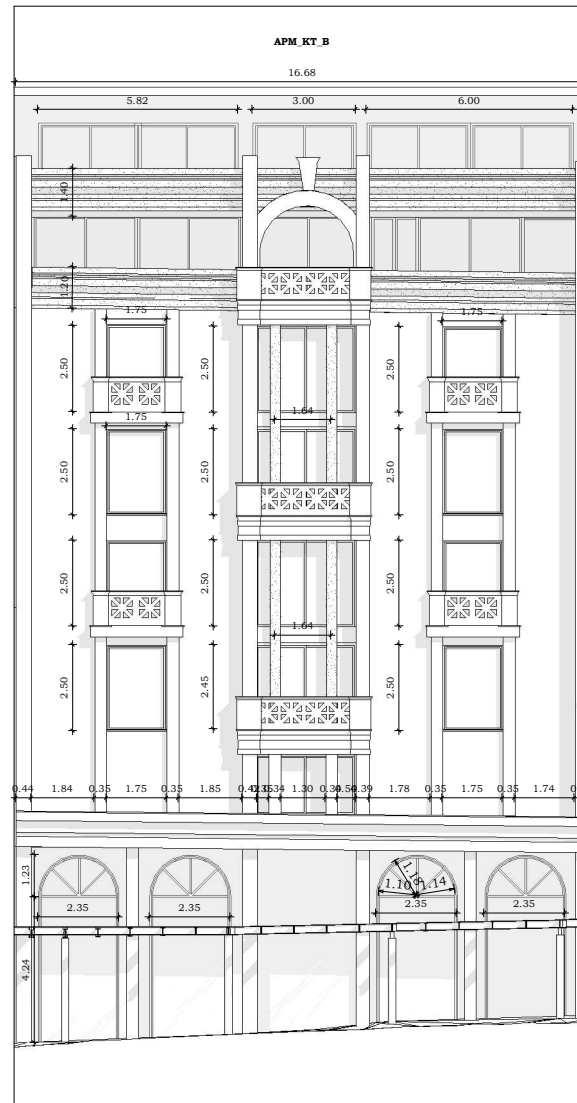
Νο Έργο	0001
Ημερομηνία	08/11/2024
Σχεδιαστής	Κ.ΒΟΥΚΕΛΑΤΟΥ

**Λ-ΑΡΜ\_Α**

Κλίμακα As indicated



① ΑΡΜ\_ΚΤΒ\_ΝΕΦΟΣ  
1:50



② ΑΡΜ\_ΚΤΒ  
1:50

No.	Περιγραφή	Μητρ.

**ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΜΟΝΤΕΛΑ  
ΔΟΜΙΚΩΝ  
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΑΠΟ  
ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ: Η  
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ  
ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΒΑΡΒΑΚΕΙΟΥ  
ΑΓΟΡΑΣ, ΑΘΗΝΑ**

**Αρμοδίου Κτήριο  
Β\_Λεπτομέρεια 1**

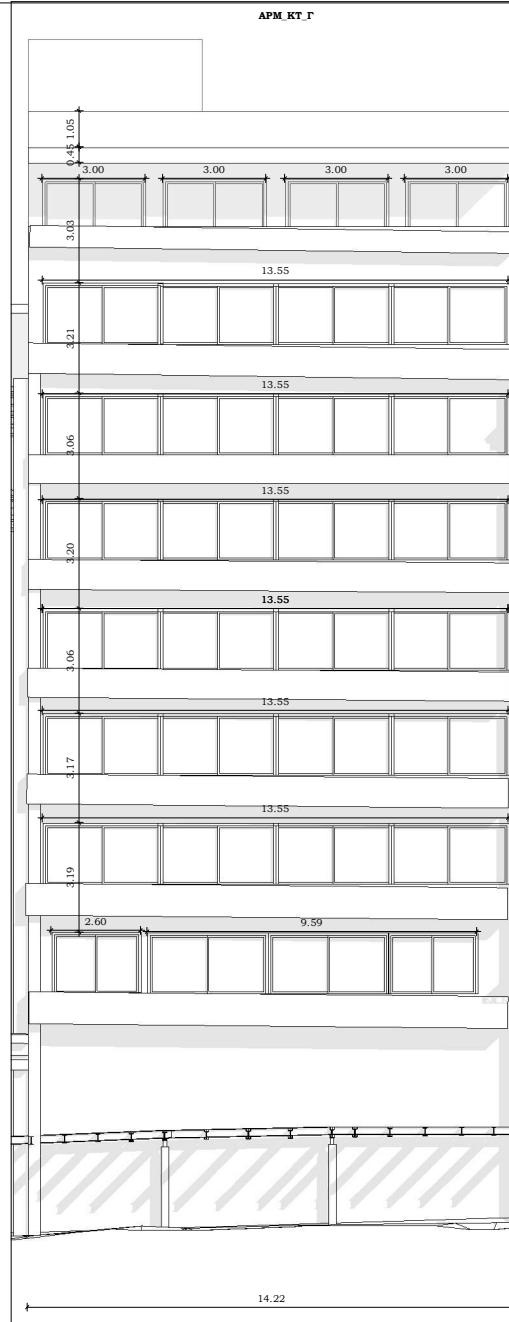
No Έργου 0001  
 Ημερομηνία 08/11/2024  
 Σχεδιαστής Κ.ΒΟΥΚΕΛΑΤΟΥ

**Λ-ΑΡΜ\_Β-1**

Κλίμακα 1:50



① ΑΡΜ\_ΚΤ\_Γ\_ΝΕΦΟΣ  
1 : 50



② ΑΡΜ\_ΚΤ\_Γ  
1 : 50

Νο.	Περιγραφή	Ημερ.

**ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΜΟΝΤΕΛΑ  
ΔΟΜΙΚΩΝ  
ΠΑΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΑΠΟ  
ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ: Η  
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ  
ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΒΑΡΒΑΚΕΙΟΥ  
ΑΓΟΡΑΣ, ΑΘΗΝΑ**

**Αρσοδίου Κτήριο  
Γ\_Λεπτομέρεια**

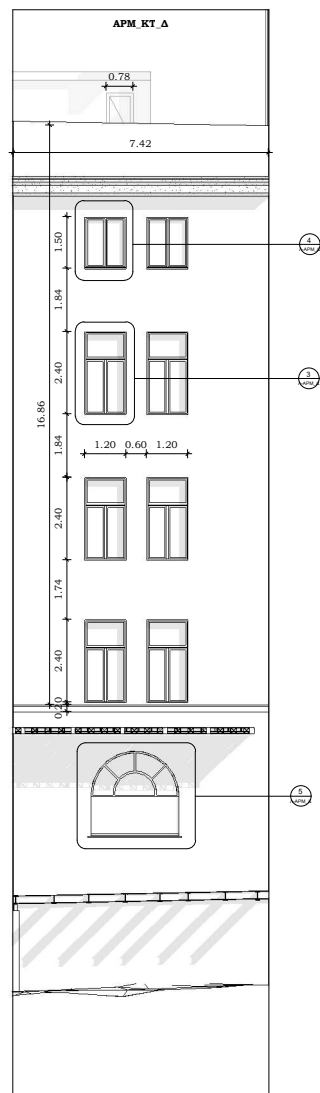
Νο Τίτλου	0001
Ημερομηνία	08/11/2024
Σχεδιαστής	Κ.ΒΟΥΚΕΛΑΤΟΥ

**Λ-ΑΡΜ\_Γ**

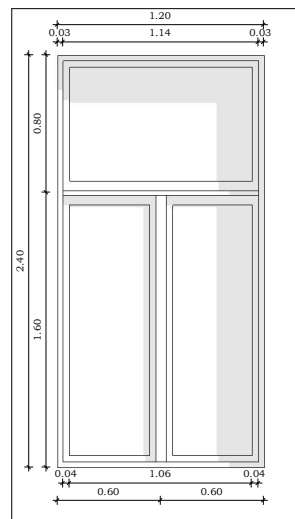
Κλίμακα	1 : 50
---------	--------



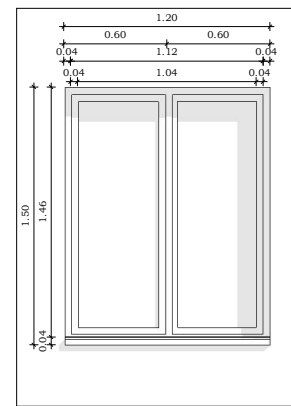
1 APM\_KTΔ\_ΝΕΦΟΣ  
1:50



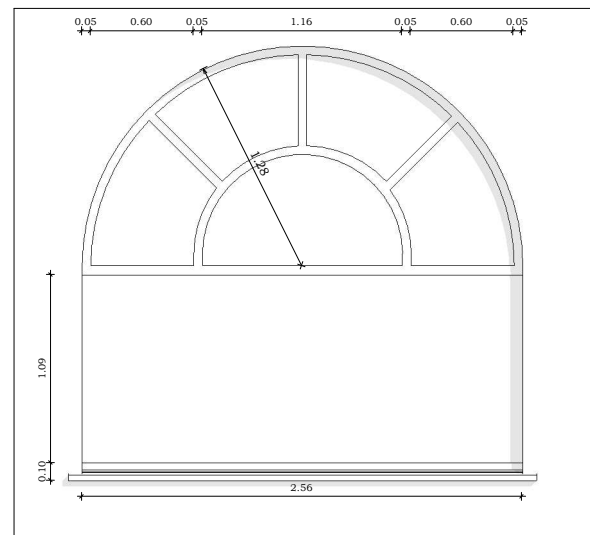
2 APM\_KTΔ  
1:50



3 APM\_KTΔ Π1  
1:10



4 APM\_KTΔ Π2  
1:10



5 APM\_KTΔ Π3  
1:10

No.	Περιγραφή	Ημερ.

**ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΜΟΝΤΕΛΑ  
ΔΟΜΙΚΩΝ  
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΑΠΟ  
ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ: Η  
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ  
ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΒΑΡΒΑΚΕΙΟΥ  
ΑΓΟΡΑΣ, ΑΘΗΝΑ**

**Αρμόδιου Κτήριο  
Δ.Λεπτομέρεια**

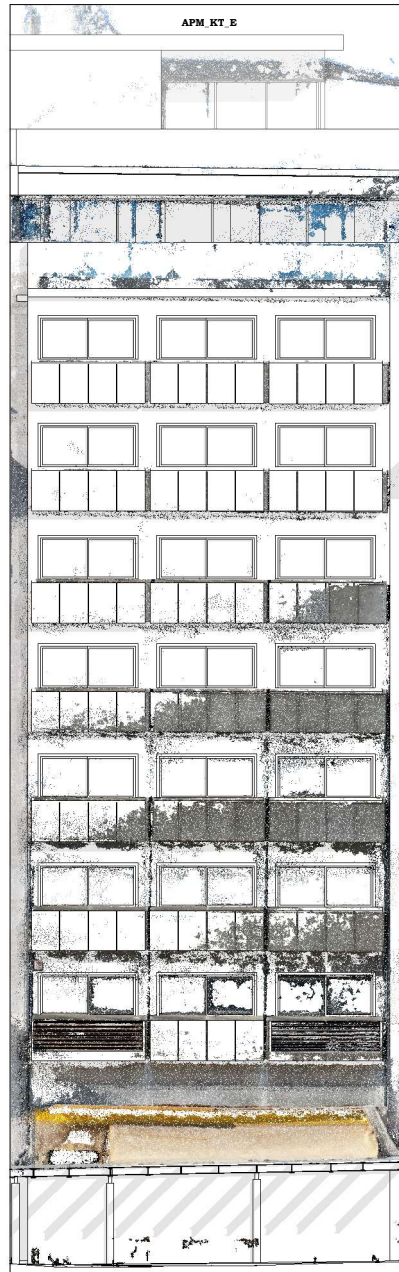
No Έργου 0001

Ημερομηνία 08/11/2024

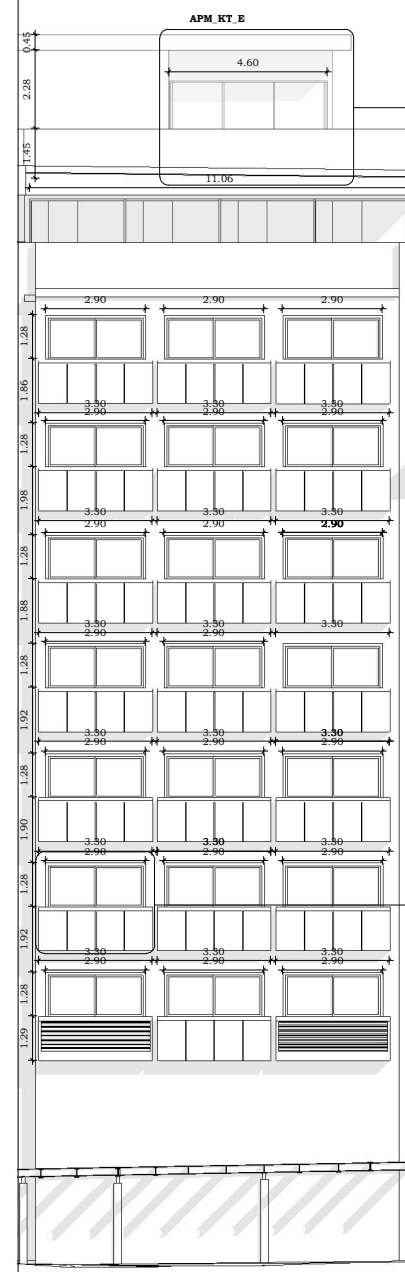
Σχεδιαστής Κ.ΒΟΥΚΕΛΑΤΟΥ

**Λ-APM\_Δ**

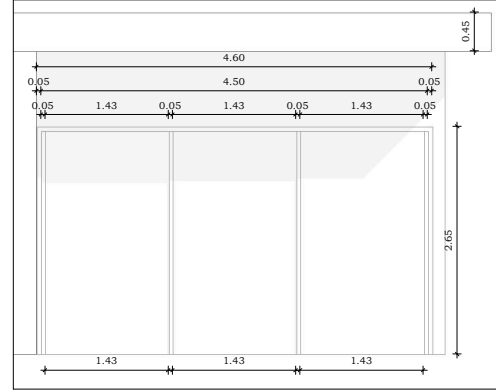
Κλίμακα As indicated



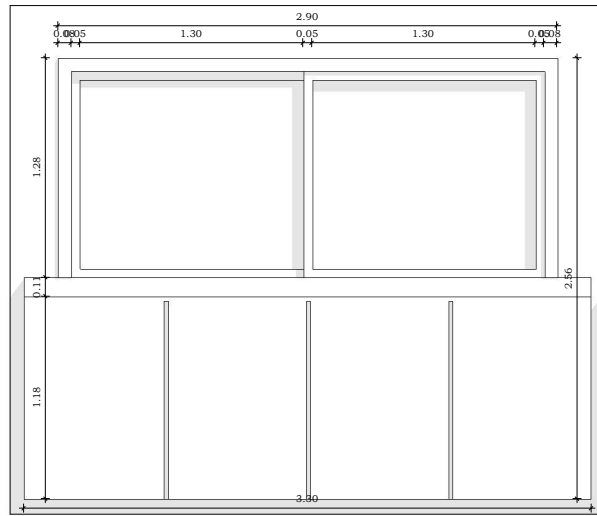
1 ΑΡΜ\_ΚΤ\_Ε\_ΝΕΦΟΣ  
1:50



2 ΑΡΜ\_ΚΤ\_Ε  
1:50



3 ΑΡΜ\_ΚΤ\_Ε\_Π2  
1:20



4 ΑΡΜ\_ΚΤ\_Ε\_Π1  
1:10

No.	Περιγραφή	Ημερ.

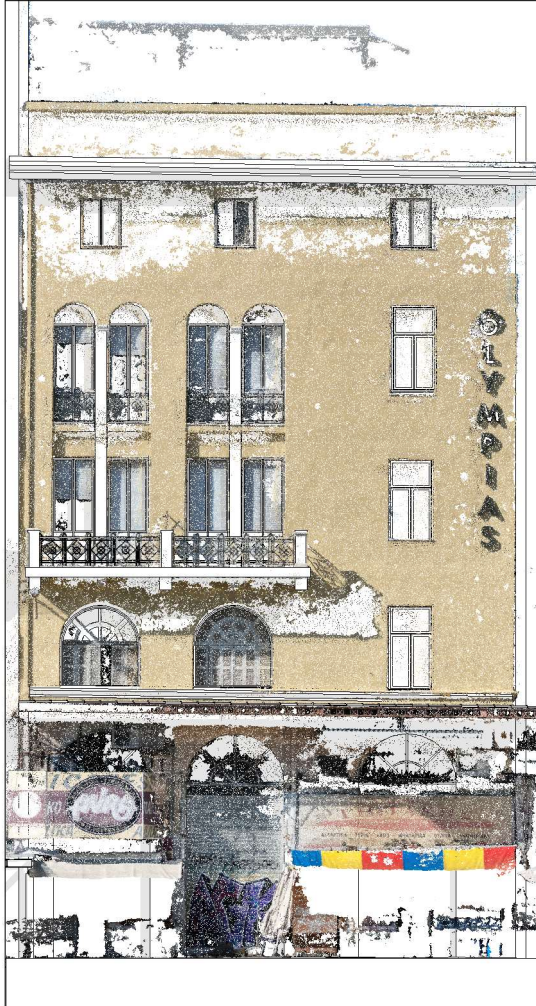
**ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΜΟΝΤΕΛΑ  
ΔΟΜΙΚΩΝ  
ΠΑΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΑΠΟ  
ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ: Η  
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ  
ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΒΑΡΒΑΚΕΙΟΥ  
ΑΓΟΡΑΣ, ΑΘΗΝΑ**

**Αρμοδίου Κτήριο  
Ε Λεπτομέρεια 1**

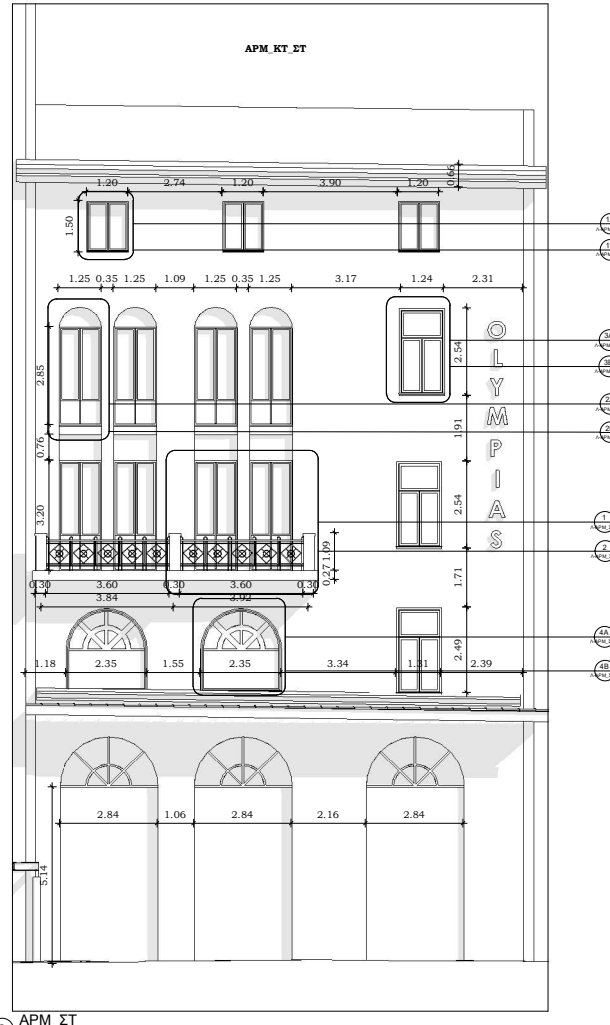
Νο Τίτλου	0001
Ημερομηνία	08/11/2024
Σχεδιαστής	Κ.ΒΟΥΚΕΛΛΑΤΟΥ

**Λ\_ΑΡΜ\_Ε-1**

Κλίμακα	As indicated
---------	--------------



1 ΑΡΜ\_ΣΤ\_ΝΕΦΟΣ  
1 : 50



2 ΑΡΜ\_ΣΤ  
1 : 50

Νο.	Περιγραφή	Ημερ.

**ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΜΟΝΤΕΛΑ  
ΔΟΜΙΚΩΝ  
ΠΑΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΑΠΟ  
ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ: Η  
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ  
ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΒΑΡΒΑΚΕΙΟΥ  
ΑΓΟΡΑΣ, ΑΘΗΝΑ**

**Αρμοδίου Κτήριο  
ΣΤ\_Δελτομέρεια 1**

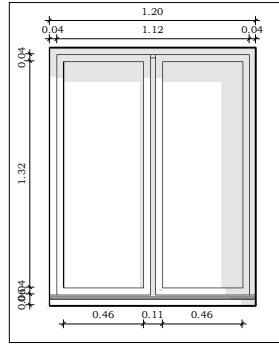
Νο Τίτλου	0001
Ημερομηνία	08/11/2024
Σχεδιαστής	K.ΒΟΥΚΕΛΑΤΟΥ

**Λ-ΑΡΜ\_ΣΤ-1**

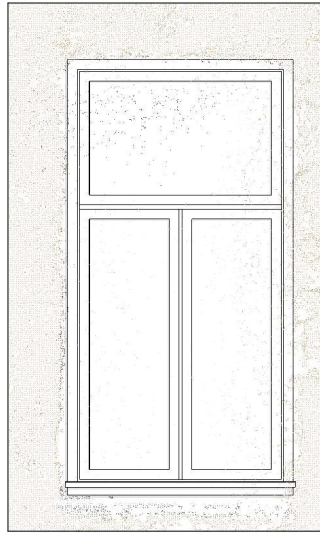
Κλίμακα	1 : 50
---------	--------



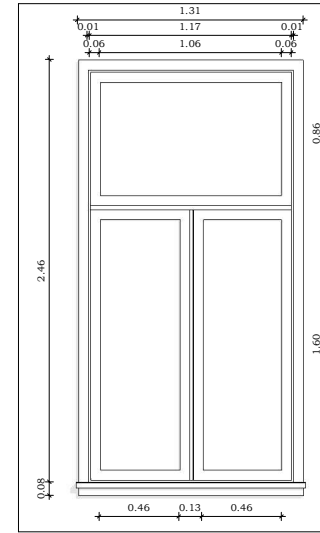
1A ARM\_ΣΤ\_Π1\_ΝΕΦΟΣ  
1:10



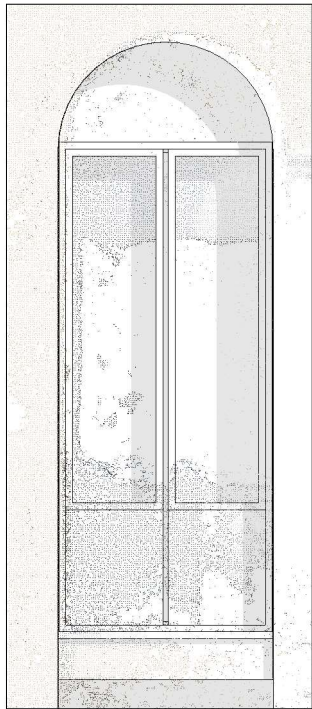
1B ARM\_ΣΤ\_Π1  
1:10



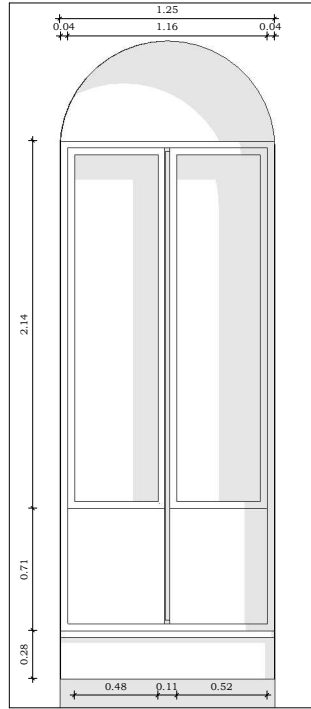
3A ARM\_ΣΤ\_Π3\_ΝΕΦΟΣ  
1:10



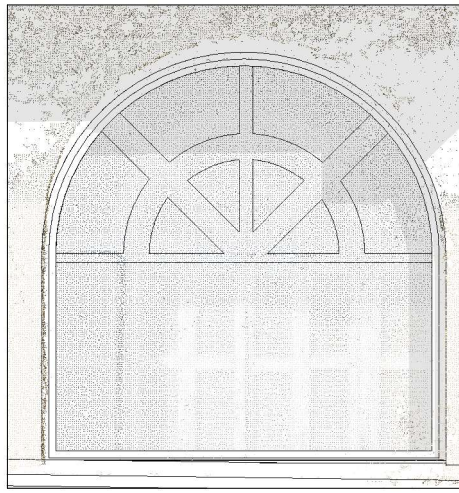
3B ARM\_ΣΤ\_Π3  
1:10



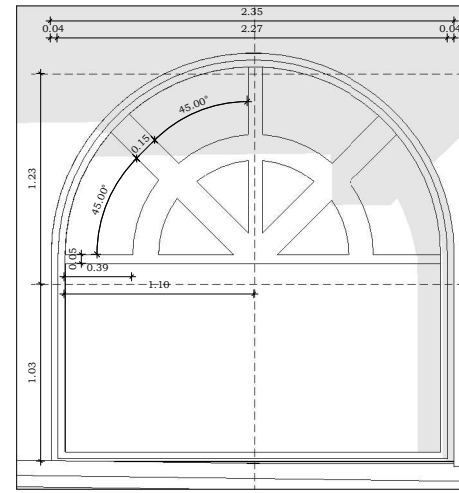
2A ARM\_ΣΤ\_Π2\_ΝΕΦΟΣ  
1:10



2B ARM\_ΣΤ\_Π2  
1:10



4A ARM\_ΣΤ\_Π4\_ΝΕΦΟΣ  
1:10



4B ARM\_ΣΤ\_Π4  
1:10

Νο.	Περιγραφή	Ημερ.

**ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΜΟΝΤΕΛΑ  
ΔΟΜΙΚΩΝ  
ΠΑΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΑΠΟ  
ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ: Η  
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ  
ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΒΑΡΒΑΚΕΙΟΥ  
ΑΓΟΡΑΣ, ΑΘΗΝΑ**

**Αρμόδιου Κτήριο  
ΣΤ\_Δεπτομέρεια 2**

Νο Τίτλου 0001  
 Ημερομηνία 08/11/2024  
 Σχεδιαστής Κ.ΒΟΥΚΕΛΑΤΟΥ

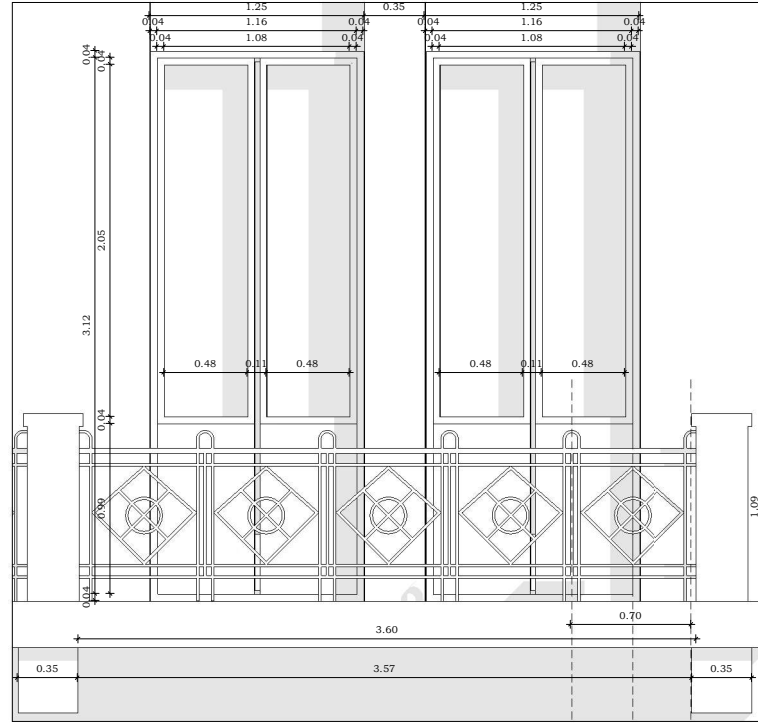
**Λ-ΑΡΜ\_ΣΤ-2**

Κλίμακα 1 : 10





① ΑΡΜ ΣΤ ΕΞΩΣΤΗΣ ΝΕΦΟΣ  
1 : 10



② ΑΡΜ ΣΤ ΕΞΩΣΤΗΣ  
1 : 10

Νο.	Περιγραφή	Ημερ.

**ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΜΟΝΤΕΛΑ  
ΔΟΜΙΚΩΝ  
ΠΑΡΟΦΟΡΙΩΝ ΑΠΟ  
ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ: Η  
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ  
ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΒΑΡΒΑΚΕΙΟΥ  
ΑΓΟΡΑΣ, ΑΘΗΝΑ**

**Αρμοδίου Κτήριο  
ΣΤ Δελητομέρεια 3**

Νο Έργο	0001
Ημερομηνία	08/11/2024
Σχεδιαστής	Κ.ΒΟΥΚΕΛΑΤΟΥ

**Λ-ΑΡΜ\_ΣΤ-3**

Κλίμακα	1 : 10
---------	--------



① ΑΡΙΣΤΟΓΕΙΤΟΝΟΣ  
1 : 100



② ΑΡΙΣΤΟΓΕΙΤΟΝΟΣ\_ΝΕΦΟΣ  
1 : 100

No.	Περιγραφή	Ημερ.

ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΜΟΝΤΕΛΑ  
ΔΟΜΙΚΩΝ  
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΑΠΟ  
ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ: Η  
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ  
ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΒΑΡΒΑΚΕΙΟΥ  
ΑΓΟΡΑΣ, ΑΘΗΝΑ

Όψη Αριστογείτονος

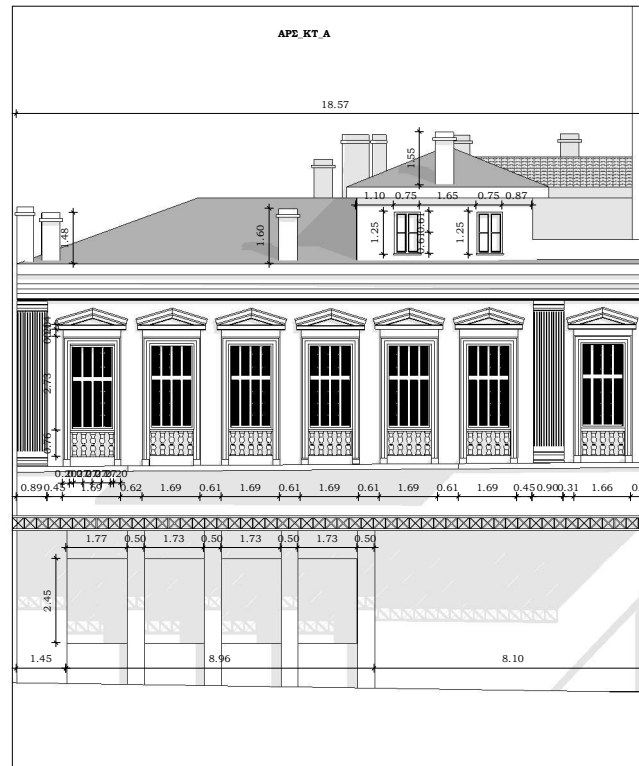
Νο Τίτλου	0001
Ημερομηνία	08/11/2024
Σχεδιαστής	Κ.ΒΟΥΚΕΛΑΤΟΥ

O-101

Κλίμακα	1 : 100
---------	---------



① ΑΡΣ\_ΚΤ\_Α\_ΝΕΦΟΣ  
1:50



② ΑΡΣ\_ΚΤ\_Α  
1:50

No.	Περιγραφή	Ημερ.

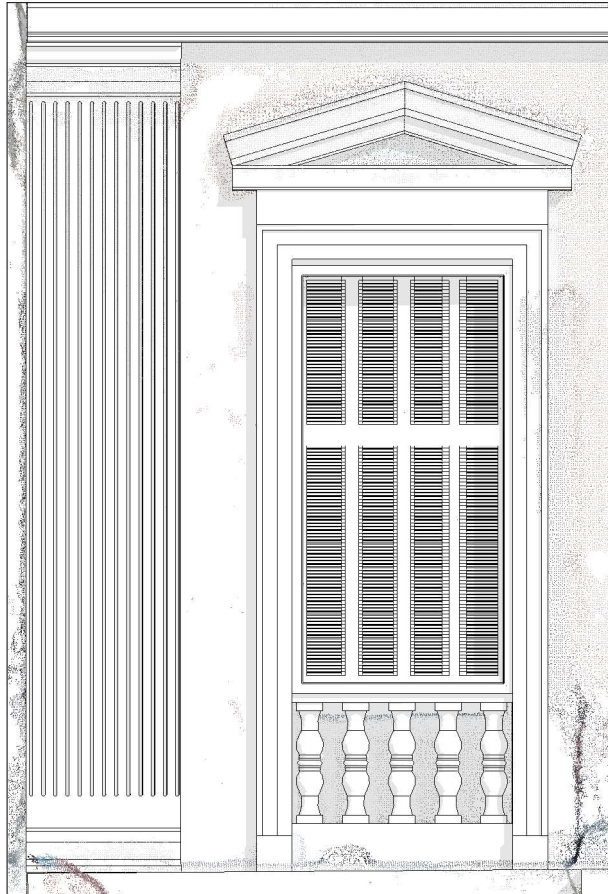
**ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΜΟΝΤΕΛΑ  
ΔΟΜΙΚΩΝ  
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΑΠΟ  
ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ: Η  
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ  
ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΒΑΡΒΑΚΕΙΟΥ  
ΑΓΟΡΑΣ, ΑΘΗΝΑ**

**Αριστογείτονος\_Κτήριο  
Α\_Δεπτομέρεια 1**

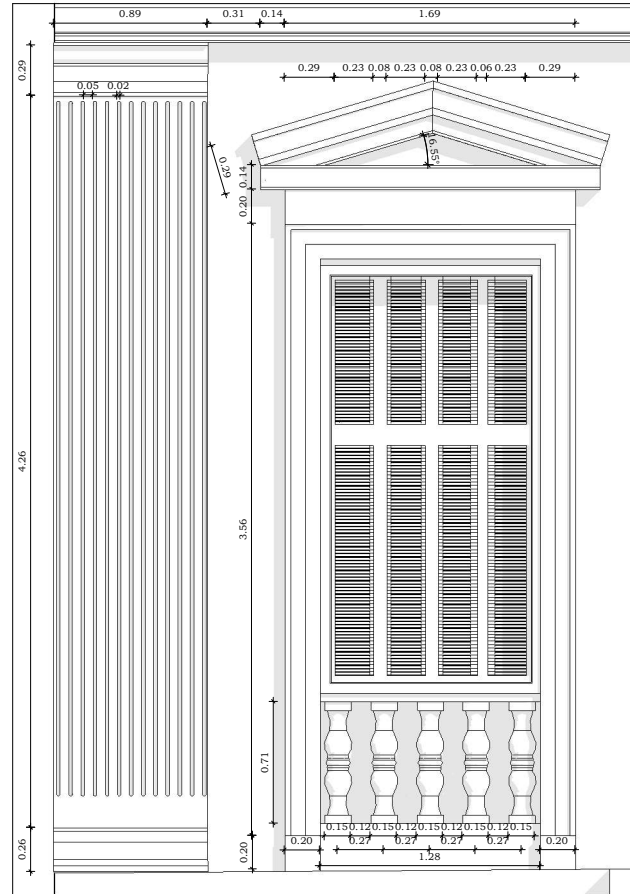
Νο. Έργου	0001
Ημερομηνία	08/11/2024
Σχεδιαστής	Κ.ΒΟΥΚΕΛΛΑΤΟΥ

**Λ-ΑΡΣ\_Α-1**

Κλίμακα	1:50
---------	------



1 ΑΡΣ\_ΚΤ\_Α\_Π1\_ΝΕΦΟΣ  
1:10



2 ΑΡΣ\_ΚΤ\_Α\_Π1  
1:10

Νο.	Περιγραφή	Ημερ.

**ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΜΟΝΤΕΛΑ  
ΔΟΜΙΚΩΝ  
ΠΑΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΑΠΟ  
ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ: Η  
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ  
ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΒΑΡΒΑΚΕΙΟΥ  
ΑΓΟΡΑΣ, ΑΘΗΝΑ**

**Αριστογείτονος\_Κτήριο  
Α\_Δεπτομέρεια 2**

Νο Τίτλου	0001
Ημερομηνία	08/11/2024
Σχεδιαστής	Κ.ΒΟΥΚΕΛΑΤΟΥ

**Λ-ΑΡΣ\_Α-2**

Κλίμακα	1:10
---------	------



① ΑΡΣ\_ΚΤ\_Β\_ΝΕΦΟΣ  
1:50

Νο.	Περιγραφή	Μητρ.

**ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΜΟΝΤΕΛΑ  
ΔΟΜΙΚΩΝ  
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΑΠΟ  
ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ: Η  
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ  
ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΒΑΡΒΑΚΕΙΟΥ  
ΑΓΟΡΑΣ, ΑΘΗΝΑ**

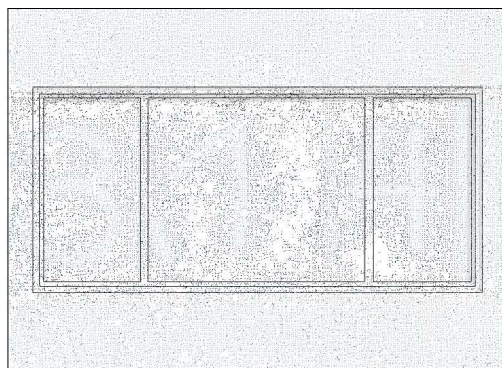
**Αριστογείτονος\_Κτήριο  
Β\_Δεπτομέρεια 1**

Νο Έργο	0001
Ημερομηνία	08/11/2024
Σχεδιαστής	Κ.ΒΟΥΚΕΛΛΑΤΟΥ

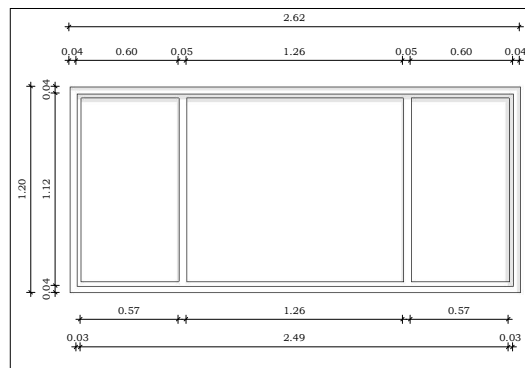
**Λ\_ΑΡΣ\_Β-1**

Κλίμακα	1:50
---------	------

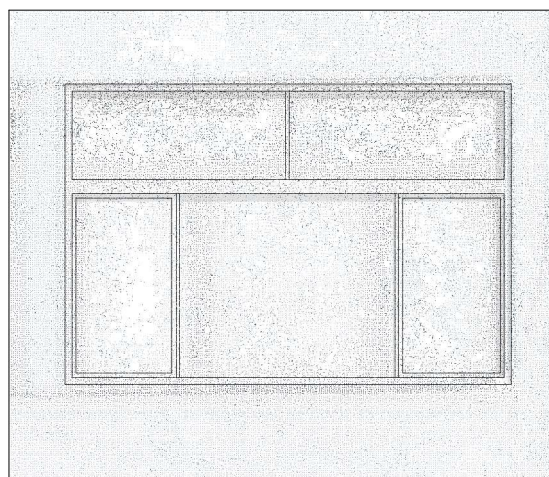




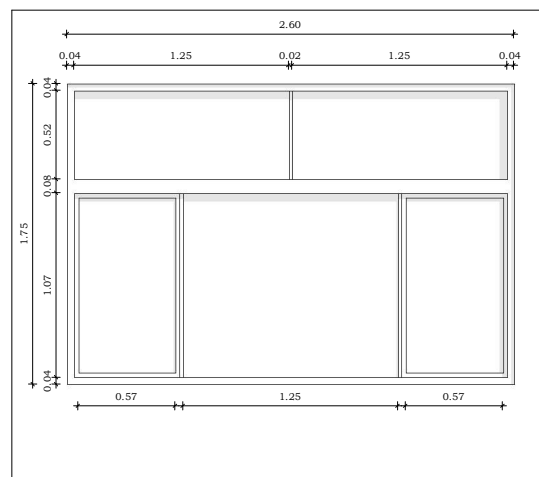
1 APΣ\_KT\_B\_Π1\_ΝΕΦΟΣ  
1:10



2 APΣ\_KT\_B\_Π1  
1:10



3 APΣ\_KT\_B\_Π2\_ΝΕΦΟΣ  
1:10



4 APΣ\_KT\_B\_Π2  
1:10

Νο.	Περιγραφή	Ημερ.

**ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΜΟΝΤΕΛΑ  
ΔΟΜΙΚΩΝ  
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΑΠΟ  
ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ: Η  
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ  
ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΒΑΡΒΑΚΕΙΟΥ  
ΑΓΟΡΑΣ, ΑΘΗΝΑ**

**Αριστογείτονος\_Κτήριο  
B\_Δεπτομέρεια 3**

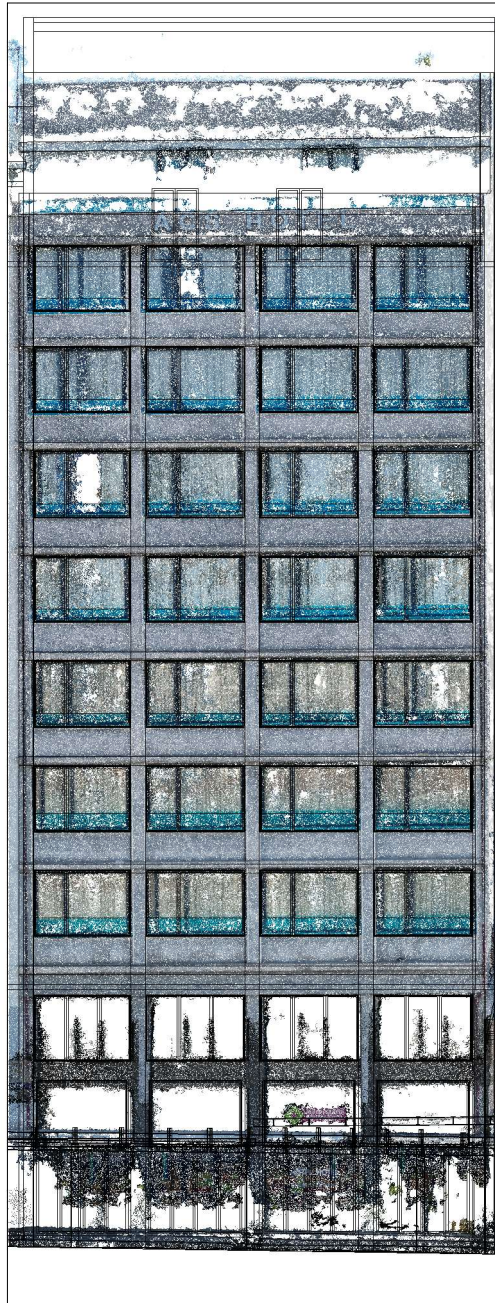
Νο Τίτλου 0001

Ημερομηνία 08/11/2024

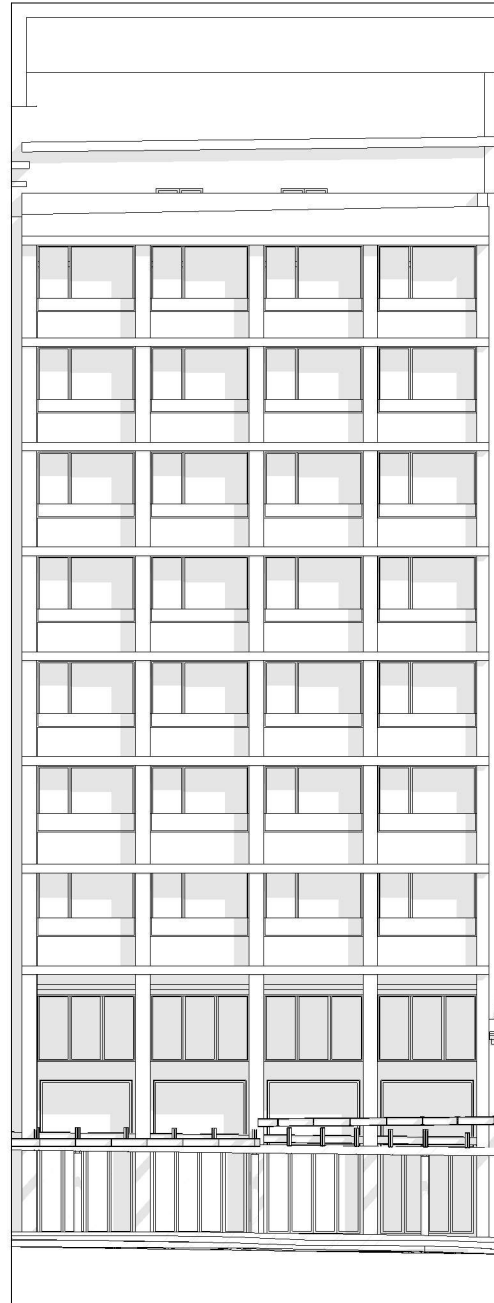
Σχεδιαστής Κ.ΒΟΥΚΕΛΑΤΟΥ

**Λ\_ΑΡΣ\_B-3**

Κλίμακα 1:10



1 ΑΡΣ\_ΚΤ\_Γ\_ΝΕΦΟΣ  
1 : 50



2 ΑΡΣ\_ΚΤ\_Γ  
1 : 50

Νο.	Περιγραφή	Ημερ.

**ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΜΟΤΕΛΑ  
ΔΟΜΙΚΩΝ  
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΑΠΟ  
ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ: Η  
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ  
ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΒΑΡΒΑΚΕΙΟΥ  
ΑΓΟΡΑΣ, ΑΘΗΝΑ**

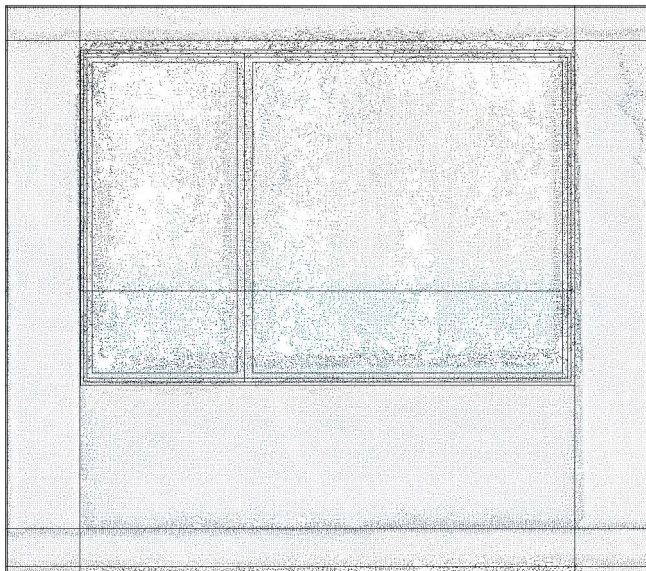
**Αριστογείτονος\_Κτήριο  
Γ\_Δεπτομέρεια 1**

Νο Έργο	0001
Ημερομηνία	08/11/2024
Σχεδιαστής	Κ.ΒΟΥΚΕΛΛΑΤΟΥ

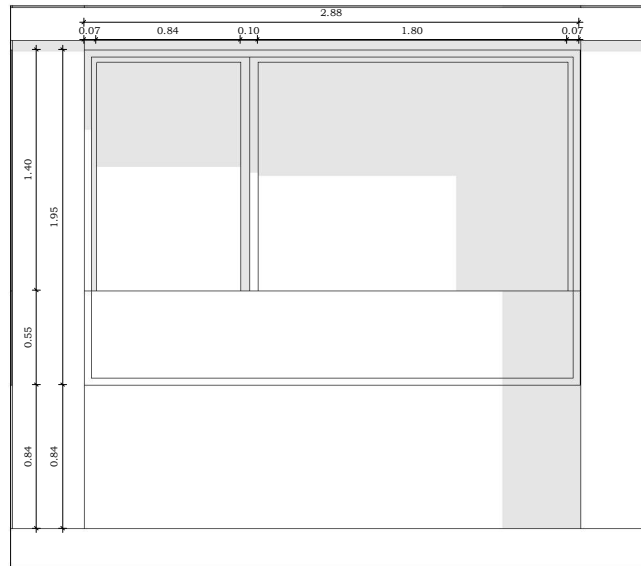
**Λ\_ΑΡΣ\_Γ-1**

Κλίμακα	1 : 50
---------	--------





① ΑΡΣ\_ΚΤ\_Γ\_Π1\_ΝΕΦΟΣ  
1:10



② ΑΡΣ\_ΚΤ\_Γ\_Π1  
1:10

Νο.	Περιγραφή	Ημερ.

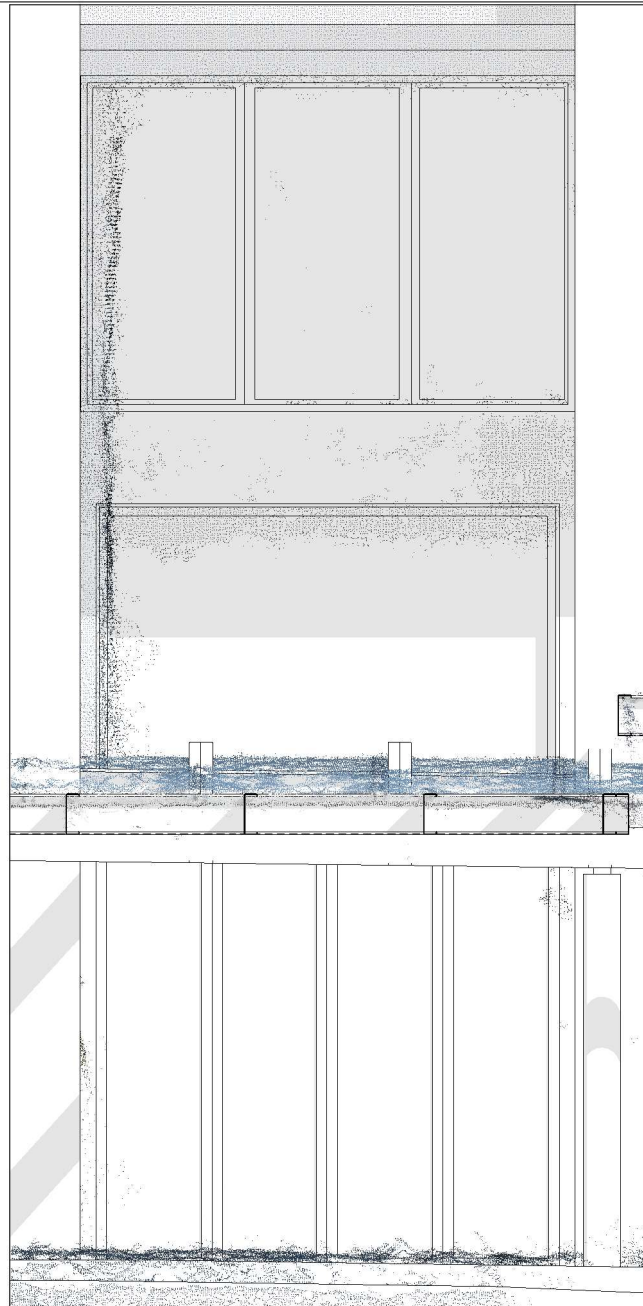
**ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΜΟΝΤΕΛΑ  
ΔΟΜΙΚΩΝ  
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΑΠΟ  
ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ: Η  
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ  
ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΒΑΡΒΑΚΕΙΟΥ  
ΑΓΟΡΑΣ, ΑΘΗΝΑ**

**Αριστογείτονος\_Κτήριο  
Γ\_Δεπτομέρεια 2**

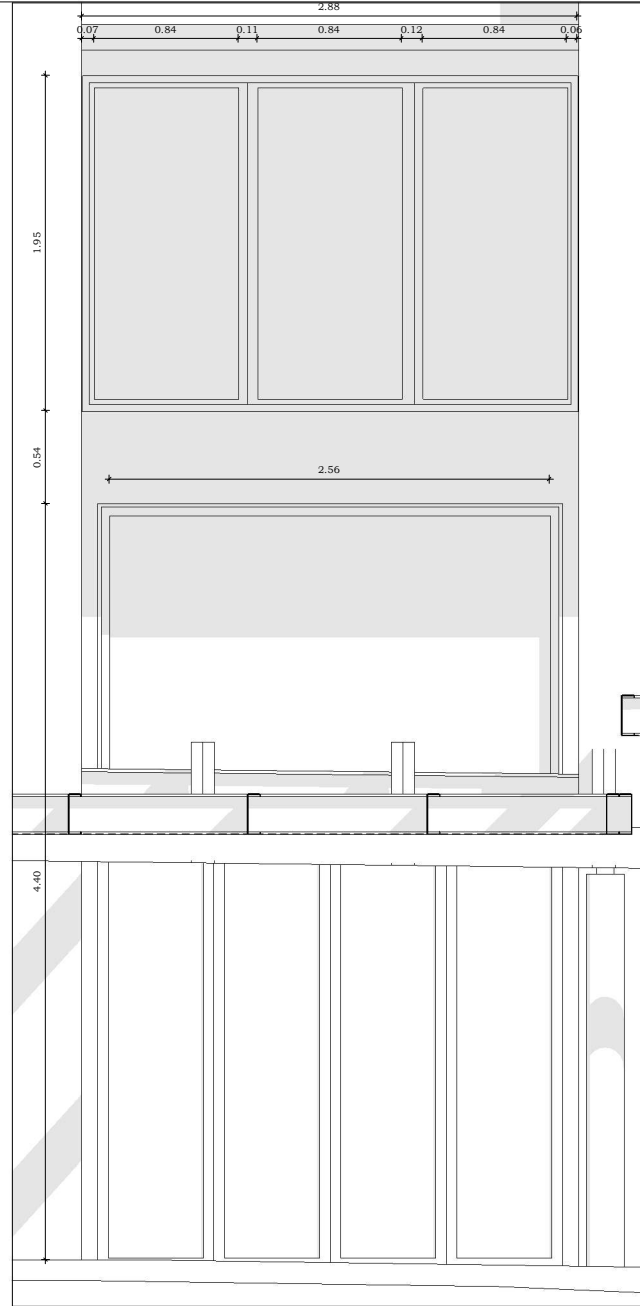
Νο Έργο	0001
Ημερομηνία	08/11/2024
Σχεδιαστής	Author

**Λ\_ΑΡΣ\_Γ-2**

Κλίμακα	1 : 10
---------	--------



① ΑΡΣ\_ΚΤ\_Γ\_Π2\_ΝΕΦΟΣ  
1:10



② ΑΡΣ\_ΚΤ\_Γ\_Π2  
1:10

Νο.	Περιγραφή	Ημερ.

**ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΜΟΝΤΕΛΑ  
ΔΟΜΙΚΩΝ  
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΑΠΟ  
ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ: Η  
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ  
ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΒΑΡΒΑΚΕΙΟΥ  
ΑΓΟΡΑΣ, ΑΘΗΝΑ**

**Αριστογείτονος\_Κτήριο  
Γ\_Δεπτομέρεια 2**

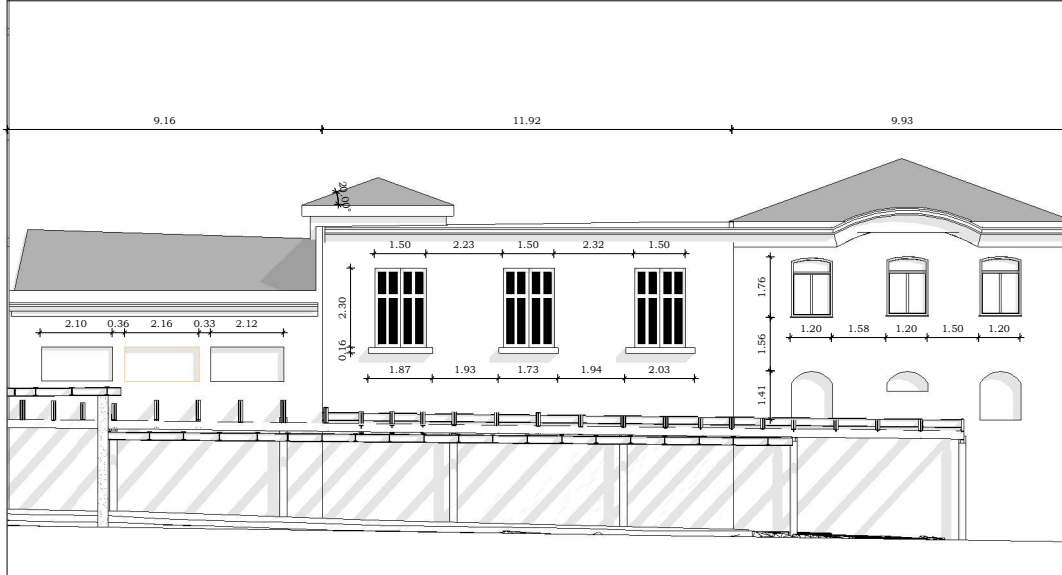
Νο Έργο	0001
Ημερομηνία	08/11/2024
Σχεδιαστής	Author

**Λ\_ΑΡΣ\_Γ-3**

Κλίμακα	1:10
---------	------



① ΑΡΣ\_ΚΤ\_Δ-Ε-ΣΤ\_ΝΕΦΟΣ  
1:50



② ΑΡΣ\_ΚΤ\_Δ-Ε-ΣΤ  
1:50

No.	Περιγραφή	Ημερ.

**ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΜΟΝΤΕΛΑ  
ΔΟΜΙΚΩΝ  
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΑΠΟ  
ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ: Η  
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ  
ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΒΑΡΒΑΚΕΙΟΥ  
ΑΓΟΡΑΣ, ΑΘΗΝΑ**

**Αριστογείτονος\_Κτήριο  
Δ-Ε-ΣΤ\_Λεπτομέρεια**

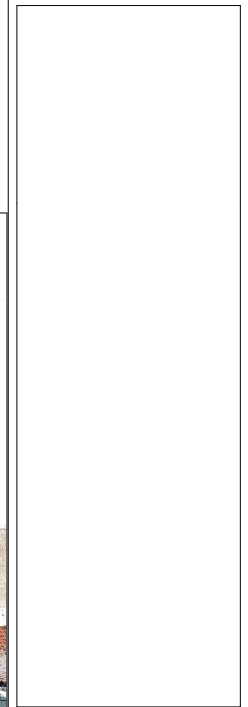
Νο Έργο	0001
Ημερομηνία	08/11/2024
Σχεδιαστής	Κ.ΒΟΥΚΕΛΑΤΟΥ

**Λ\_ΑΡΣ\_Δ-Ε-ΣΤ**

Κλίμακα	1:50
---------	------



1 ΠΡΟΟΠΤΙΚΗ ΑΠΟΨΗ



Νο.	Περιγραφή	Ημερ.

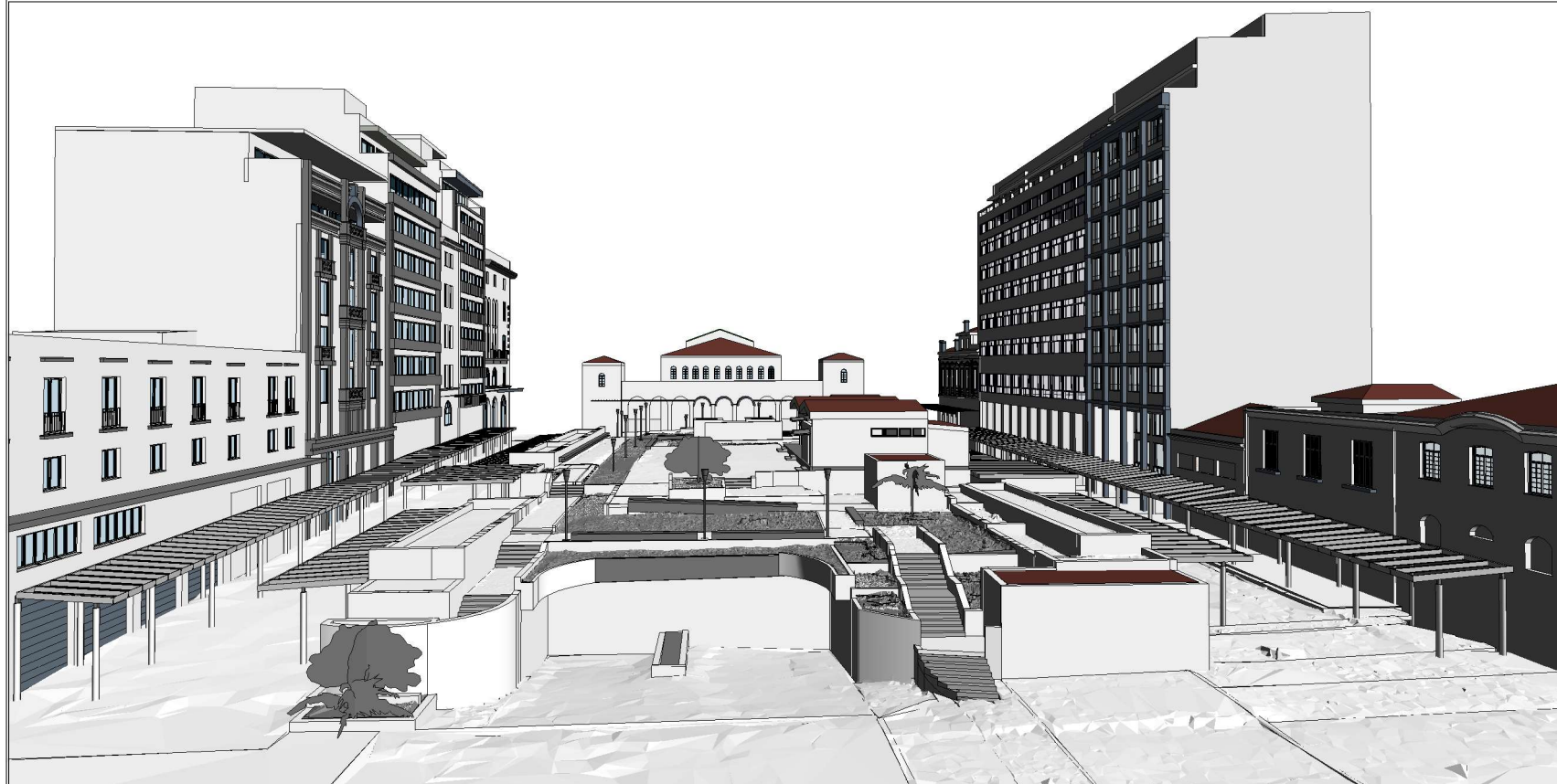
**ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΜΟΤΕΛΑ ΔΟΜΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΑΠΟ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ: Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΒΑΡΒΑΚΕΙΟΥ ΑΓΟΡΑΣ, ΑΘΗΝΑ**

**Προοπτική Άποψη από οδό Σωκράτους**

Νο Τίτλος 0001  
 Ημερομηνία 08/11/2024  
 Σχεδιαστής Κ.ΒΟΥΚΕΛΛΑΤΟΥ

**Π-100**

Κλίμακα



1 ΠΡΟΟΠΤΙΚΗ ΑΠΟΨΗ

Νο.	Περιγραφή	Ημερ.

**ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΜΟΝΤΕΛΑ  
ΔΟΜΙΚΩΝ  
ΠΑΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΑΠΟ  
ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ: Η  
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ  
ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΒΑΡΒΑΚΕΙΟΥ  
ΑΓΟΡΑΣ, ΑΘΗΝΑ**

**Προοπτική Άποψη από  
οδό Σωκράτους**

Νο Έργο	0001
Ημερομηνία	08/11/2024
Σχεδιαστής	Κ.ΒΟΥΚΕΛΑΤΟΥ

**Π-101**

Κλίμακα



1 ΠΡΟΟΠΤΙΚΗ ΑΠΟΨΗ 2

Νο.	Περιγραφή	Ημερ.

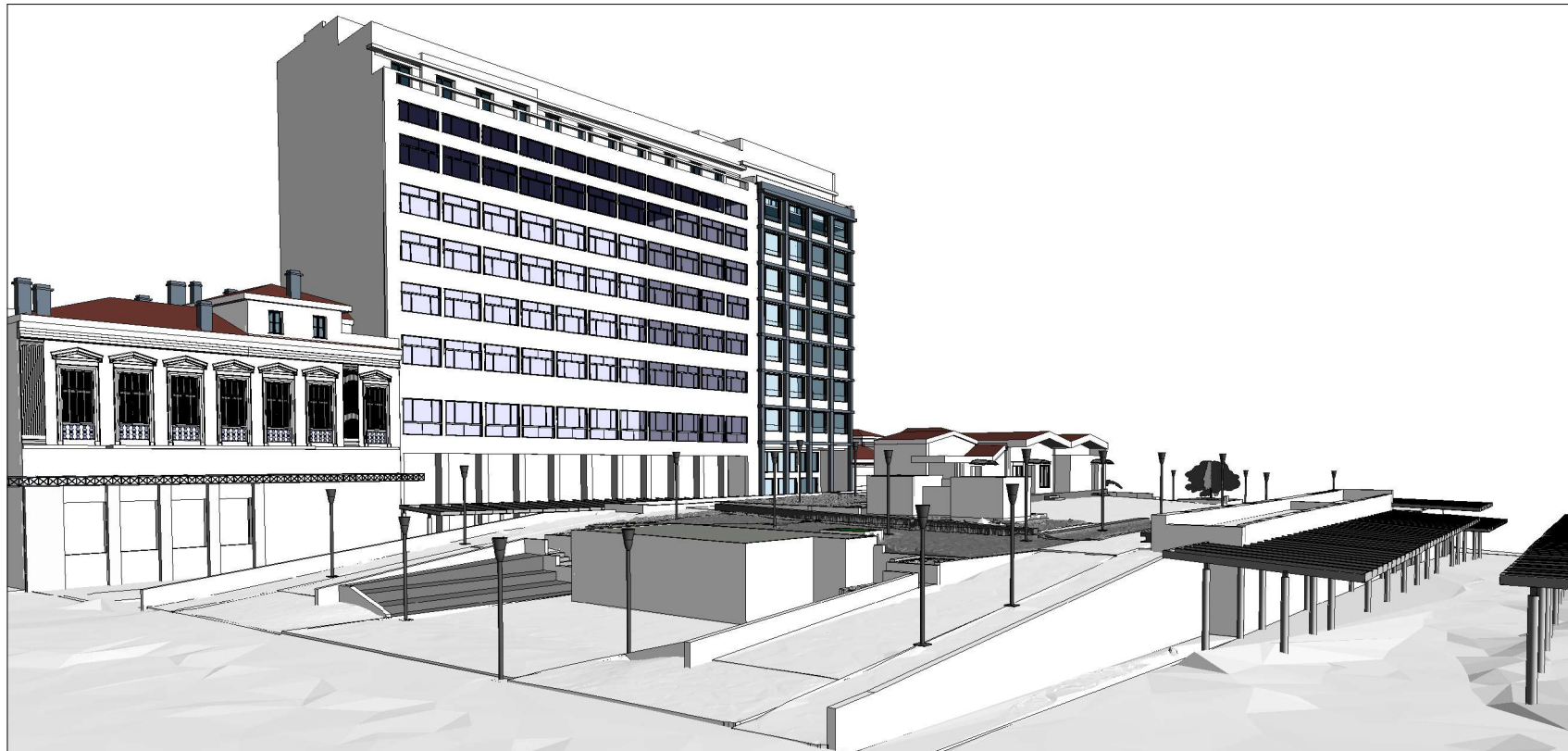
**ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΜΟΝΤΕΛΑ  
ΔΟΜΙΚΩΝ  
ΠΑΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΑΠΟ  
ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ: Η  
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ  
ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΒΑΡΒΑΚΕΙΟΥ  
ΑΓΟΡΑΣ, ΑΘΗΝΑ**

**Προοπτική Άποψη από  
οδό Αθηνάς προς οδό  
Αριστοτελείωνος**

Νο Έργο	0001
Ημερομηνία	08/11/2024
Σχεδιαστής	Κ.ΒΟΥΚΕΛΛΟΥ

**Π-102**

Κλίμακα



1 ΠΡΟΟΠΤΙΚΗ ΑΠΟΨΗ 2

Νο.	Περιγραφή	Ημερ.

**ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΜΟΝΤΕΛΑ  
ΔΟΜΙΚΩΝ  
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΑΠΟ  
ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ: Η  
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ  
ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΒΑΡΒΑΚΕΙΟΥ  
ΑΓΟΡΑΣ, ΑΘΗΝΑ**

**Προοπτική Άποψη από  
οδό Αθηνάς προς οδό  
Αριστογείτονος**

Νο. Έργου	0001
Ημερομηνία	08/11/2024
Σχεδιαστής	Κ.ΒΟΥΚΕΛΛΑΤΟΥ

**Π-103**

Κλίμακα



Νο.	Περιγραφή	Ημερ.

**ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΜΟΝΤΕΛΑ  
ΔΟΜΙΚΩΝ  
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΑΠΟ  
ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ: Η  
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ  
ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΒΑΡΒΑΚΕΙΟΥ  
ΑΓΟΡΑΣ, ΑΘΗΝΑ**

**Προοπτική Άποψη από  
οδό Αθηνάς προς οδό  
Αρμούδιου**

Νο Έργο	0001
Ημερομηνία	08/11/2024
Σχεδιαστής	Κ.ΒΟΥΚΕΛΛΟΥ

**Π-104**

Κλίμακα





Νο.	Περιγραφή	Ημερ.

**ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΜΟΝΤΕΛΑ  
ΔΟΜΙΚΩΝ  
ΠΑΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΑΠΟ  
ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ: Η  
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ  
ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΒΑΡΒΑΚΕΙΟΥ  
ΑΓΟΡΑΣ, ΑΘΗΝΑ**

**Προοπτική Άποψη από  
οδό Αθηνάς προς οδό  
Αρροδίου**

Νο Έργο	0001
Ημερομηνία	08/11/2024
Σχεδιαστής	Κ.ΒΟΥΚΕΛΑΤΟΥ

**Π-105**

Κλίμακα

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Bregianni, A. (2013) *BIM Development for Cultural Heritage Management*, Diploma Thesis, National Technical University of Athens: School of Rural & Surveying Engineering Lab of Photogrammetry & Politecnico di Milano: School of Architecture B.E.S.T Department
- [2] Ελληνική Δημοκρατία Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών (2024) *Εθνική Στρατηγική και οδικός χάρτης για την εφαρμογή του Building Information Modelling (BIM)*, Ελληνική Δημοκρατία-Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών, Αθήνα, σ.4-5
- [3] Ο.π.
- [4] One Step Open DBL Solution (openDBL) (2021). Available at: (<https://www.edi.lv/en/projects/one-step-open-dbl-solution-opensdb/>) (Accessed: 2 September 2024).
- [5] Aber, J., A., Marzloff, I., Ries, B., J. (2010) 'Photogrammetry', in *Small-Format Aerial Photography: Principles, Techniques and Geoscience Applications*. 1<sup>st</sup> edn. Elsevier, pp. 23-29.
- [6] Thompson, M. (ed.) (1966) *Manual of Photogrammetry*, 3rd edn. Falls Church, VA: American Society of Photogrammetry.
- [7] Τσιώνης, Γ., (2017) *Φωτογραμμετρικές Μέθοδοι Αποτύπωσης και ελέγχου του Αιγαίου*. Διπλωματική Εργασία. Α.Π.Θ Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας και Ανάπτυξης.
- [8] Geodetic Systems, (2023) *Basics of Photogrammetry*. Available at: <https://www.geodetic.com/basics-of-photogrammetry/#:~:text=Photogrammetry%20uses%20the%20basic%20principle,th%20pictures%20in%20the%20set> (Accessed: 2 September 2024).
- [9] Pinho, L. B., (2021) *Scan-to-BIM workflow: an overview and case study*, Master Thesis. Politecnico Milano.
- [10] Nassar, A., Y., A., M., (2020) *Photogrammetry: Stereoscopy and Parallax*. Available at: <https://www.slideshare.net/AhmedNassarJr/photogrammetry-stereoscopy-and-parallax> (Accessed: 2 September 2024).
- [11] *Stereo Photogrammetry: Principles of Aerial Photographs and Photogrammetry*, (Handout to PG Diploma in RS & GIS), Dr. Shyama Prasad Muckherjee University, Available at: <https://dspmuranchi.ac.in/pdf/Blog/Aerial%20Photograph%20Types%20and%20Characteristics.pdf> (Accessed 2 September 2024)
- [12] Πατιάς, Π. (2009), *Φωτογραμμετρία και Τεκμηρίωση Αρχαιολογικών χώρων με απλά λόγια*, Θεσσαλονίκη: Ζήτη.
- [13] Doumit, J. A. (2019). From Drones to Geospatial Data. 1<sup>st</sup> ed. Kuban State University, p. 1-109  
Available at: [https://www.researchgate.net/publication/330555127\\_From\\_drones\\_to\\_geospatial\\_analysis](https://www.researchgate.net/publication/330555127_From_drones_to_geospatial_analysis) (Accessed: 18 August 2024).
- [14] ArcMap, (2021) Fundamentals about lidar. What is lidar data?. Available at: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/manage-data/las-dataset/what-is-lidar-data-.htm> (Accessed: 18 August 2024)
- [15] Tan, Y., Li, S., & Wang, Q. (2020). Automated Geometric Quality Inspection of Prefabricated Housing Units Using BIM and LiDAR. *Remote Sensing*, 12(15). Available at: <https://doi.org/10.3390/RS12152492> (Accessed: 18 August 2024)
- [16] Abreu, N.; Pinto, A.; Matos, A., Pires, M. (2023) Procedural Point Cloud Modelling in Scan-to-BIM and Scan-vs-BIM Applications: A Review. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.*, 12, 260. <https://doi.org/10.3390/ijgi12070260>
- [17] Hu, Q., Luo, J., Hu, G., Duan, W., Zhou, H. (2018) *3D Point Cloud Generation using Incremental Structure-from-Motion*, proceedings of the First International

Conference on Advanced Algorithms and Control Engineering, Pingtung, Taiwan, 10-12 August 2018, IOP Conf. Series: Journal of Physics. Volume 1087.

[18] Elkhachy, I. (2022), 3D Structure from 2D Dimensional Images Using Structure from Motion Algorithms. Sustainability, Switzerland

[19] Knudby, A. (2021) 'Photogrammetry and Structure-from-Motion', in *Remote Sensing*, Open Library Available from: <https://ecampusontario.pressbooks.pub/remotesensing/front-matter/welcome-to-remote-sensing/> (Accessed 2 September 2024)

[20] Elkhachy, I. (2022), 3D Structure from 2D Dimensional Images Using Structure from Motion Algorithms. Sustainability, Switzerland.

[21] Lobo, T. (2023) *Understanding Structures from Motion Algorithms: Obtaining the geometry of 3D scenes from 2D images*, Medium, Available at: <https://medium.com/@loboateresa/understanding-structure-from-motion-algorithms-fc034875fd0c> (Accessed: 14 July 2024)

[22] O.π.

[23] Lobo, T. (2023) *Understanding Structures from Motion Algorithms: Obtaining the geometry of 3D scenes from 2D images*, Medium, Available at: <https://medium.com/@loboateresa/understanding-structure-from-motion-algorithms-fc034875fd0c> (Accessed: 14 July 2024)

[24] Natan, M., Jim, C. H., & Lane, S. N., (2015) *Structure from Motion (SfM) Photogrammetry*, British society of geomorphology. Geomorphological Techniques, chapter 2.

[25] Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., & Reynolds, J. M. (2012) *Structure-from-Motion photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications*, *Geomorphology*, 179, p. 300-314.

[26] Lobo, T. (2023) *Understanding Structures from Motion Algorithms: Obtaining the geometry of 3D scenes from 2D images*, Medium, Available at: <https://medium.com/@loboateresa/understanding-structure-from-motion-algorithms-fc034875fd0c> (Accessed: 14 July 2024)

[27] O.π.

[28] Adekunle, S. A., Aigbavboa, C., Ejohwomu, O. A., (2021) SCAN TO BIM: a systematic literature review network analysis, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, IOP Publishing

[29] O.π.

[30] Song, W., Luo, J., Zhao, D., Fu, Y., Cheng, C., Furukawa, Y., (2021) *A-Scan2BIM: Assistive Scan to Building Information Modeling*, Simon Fraser University, Autodesk Research, Google Research

[31] Karabegovic, I., Kovacevic, A., Banjanovic-Mehmedovic, L., Dasic, P., (2020) *Handbook of Research on Integrating Industry 4.0 in Business and Manufacturing*, IGI Global.

[32] Colomina, I., Molina, P. (2014) 'Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review', *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92, pp.79-97. doi: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013>

[33] Saleri, R., Cappellini, V., Nony, N., De Luca, L., Pierrot-Deseilligny, M., Bardiere, E., Campi, M. (2013) 'UAV photogrammetry for archaeological survey: The Theaters area of Pompeii', *Digital Heritage International Congress (Digital Heritage)*. Marseille, France, 28 October-1 November 2013. 2, p. 497-502.

[34] Mouget, A., Lucet, G. 'Photogrammetric archeological survey with UAV', *ISPRS Technical Commission V. Symposium*, Riva del Garda, Italy, 23-25 June 2014, 2.

[35] Adami, A., Fregonese, L., Gallo, L., Helder, J., Pepe, M., Treccani, D., (2019) *Ultra light UAV systems for the metrical documentation of cultural heritage: Applications for architecture and archaeology* in proceedings of the 6th International

Workshop LowCost 3D-Sensors, Algorithms, Applications, Strasbourg, France, 2–3 December 2019, Volume 42, p. 15–21.

**[36]** Kadhim, I., Abed, F., M., (2021) The Potential of LiDAR and UAV-photogrammetric data analysis to interpret archaeological sites: A Case Study of Chun Castle in South-West England, *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 2021, 10, 41.

**[37]** Baiocchi, V., Onori, M., Scuti, M. (2021) Integrated Geomatic Techniques for the Localization and Georeferencing of Ancient Hermitages, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* 2021, 46, 31–37.

**[38]** Rocha, G., Mateus, L., Fernandez, J., Ferreira, V., (2020) ‘A Scan-to-BIM Methodology Applied to Heritage Buildings’, *Heritage* 2020, 3(1), p. 47-67.

**[39]** Pepe, M., Constantino, D. (2021), ‘UAV photogrammetry and 3D modelling of complex architecture for maintenance purposes: The case study of the masonry bridge on the Sele river, Italy’, *Period. Polytech. Civ. Eng.* 2021, 65, p. 191–203.

**[40]** Martínez-Carricondo, P., Carvajal-Ramírez, F., Yero-Paneque, L., Agüera-Vega, F. (2021) ‘Combination of HBIM and UAV photogrammetry for modelling and documentation of forgotten heritage. Case study: Isabel II dam in Nijar, Almería, Spain’, *Heritage Sci.* 2021, 9, p. 95.

**[41]** Dasari, S., Mesapam, S., Kumarapu, K., Mandla, V., R., (2021) ‘UAV in Development of 3D Heritage Monument Model: A Case Study of Kota Gullu, Warangal, India’, *J. Indian Soc. Remote Sens.* 2021, 49, pp. 1733–1737.

**[42]** Sabil, A., Mahmud, N.A.A., Utaberta, N., Amin, N.D.N., Asif, N., Yusof, H., (2022) ‘The Application of Photogrammetry in Architecture Historical Documentation: The measured drawing of Tanjung Sembrong Mosque and Teratak Selari Bonda’, *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 2022, 1022.

**[43]** Kanun, E., Alptekin, A., Karatas, L., Yakar, M. (2022) ‘The use of UAV photogrammetry in modeling ancient structures: A case study of “Kanytellis”’, *Adv. UAV* 2022, 2, p. 41-50.

**[44]** Badenko, V., Fedotov, A., Zotov, D., Lytkin, S., Volgin, D., Garg, R. D., Min, Liu (2019) ‘Scan-to-BIM methodology adapted for different application’, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-5/W2, p. 1-7.

**[45]** Kadhim, N., Mhmood, A. D., Abd-Ulabbas, A. H. (2021) ‘The creation of 3D building models using laser-scanning data for BIM modelling’, *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. Baghdad, Iraq*, 21-22 December. IOP Publishing, 1105, p. 012101.

**[46]** Ozimek, A., Ozimek, P., Skabek, K. Labedz\*\*, P. (2021) ‘Digital modelling and accuracy verification of a complex architectural object based on photogrammetric reconstruction’, *Buildings*, 11(5), p. 206.

**[47]** Song, W., Luo, J., Zhao, D., Fu, Y., Cheng, C., Furukawa, Y. ‘A-Scan2BIM: Assistive Scan to Building Information Modeling’, 2023. [Online]. Available at: <https://arxiv.org/abs/2311.18166>.

**[48]** Λαζαρίδου, Μ., Πάτμιος, Ε. (2010) *Φωτογραμμετρία-Γεωπληροφοριακά Συστήματα*, Πανεπιστημιακές Παραδόσεις, Τεύχος 1ο, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.

**[49]** Vision Aerial (2021) *What is Ground Sample Distance (GSD)?*. Available at: <https://visionaerial.com/what-is-ground-sample-distance/> (Accessed: 16 August 2024)

**[50]** Dhari, R. (2024) *GSD Calculator – Ground Sample Distance*. Available at: <https://www.omnicalculator.com/other/ground-sample-distance> (Accessed: 16 August 2024)

**[51]** Dhari, R. (2024) *GSD Calculator – Ground Sample Distance*. Available at: <https://www.omnicalculator.com/other/ground-sample-distance> (Accessed: 16 August 2024)

**[52]** PIX4D, *Ground sampling distance (GSD) in photogrammetry*. Available at: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202559809> (Accessed 08 September 2024)

[53] Abreu, N., Pinto, A., Matos, A., Pires, M. (2023) 'Procedural Point Cloud Modelling in Scan-to-BIM and Scan-vs-BIM Applications: A Review', *ISPRS Int. J. Geo-Inf.*, 12, 260.

[54] Ο.π.

[55] Abreu, N., Pinto, A., Matos, A., Pires, M. (2023) 'Procedural Point Cloud Modelling in Scan-to-BIM and Scan-vs-BIM Applications: A Review', *ISPRS Int. J. Geo-Inf.*, 12, 260.

[56] Zada, A.J., Tizani, W., Oti, A., H., Building Information Modelling (BIM)—Versioning for Collaborative Design *In Proceedings of the 2014 International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*, Orlando, FL, USA, 23–25 June 2014, p. 512–519.

[57] Nizam, R.S., Zhang, C., Current state of information exchange between the two most popular BIM software: Revit and Tekla. In *Proceedings of the 1st International Conference on Sustainable Buildings and Structures*, Suzhou, China, 29 October–1 November 2015; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2016, p. 175–181.

[58] ADB3D, (2020), *ADB3D Point Cloud to Surface*. Available at: <https://www.adb3d.com.au/pointcloudtosurfacesuite> (Accessed 19 October 2024)

## EYPETHPIO EIKONΩN

<b>Εικόνα 2.1.1:</b> Διάγραμμα απεικόνισης σχέσης αντικειμένου και αισθητήρα. Πηγή: Geodetic Systems.....	8
<b>Εικόνα 2.1.2:</b> Διάγραμμα εστίασης φακού σε συνάρτηση με το αντικείμενο. Πηγή: Geodetic Systems.....	9
<b>Εικόνα 2.1.3:</b> Τριγωνοποίηση με χρήση πολλαπλών δυσδιάστατων λήψεων του αντικειμένου από διαφορετικές ως προς αυτό θέσεις, Πηγή: European Commission...	10
<b>Εικόνα 2.1.4:</b> Στερεοσκοπικό ζεύγος εικόνων καταγραφής αντικειμένου, Πηγή: Nassar, 2020.....	11
<b>Εικόνα 2.1.5:</b> Φωτογραφία: μεταφορά τρισδιάστατου αντικειμένου στο δυσδιάστατο επίπεδο φωτογραφιών, Πηγή: Συγγραφέας.....	11
<b>Εικόνα 2.1.6:</b> Φωτογραμμετρία: μεταφορά δυσδιάστατων φωτογραφιών στο ψηφιακό τρισδιάστατο χώρο, Πηγή: Συγγραφέας.....	12
<b>Εικόνα 2.1.7:</b> Μέθοδοι φωτογραμμετρίας και τηλεπισκόπησης, Πηγή: European Commission.....	13
<b>Εικόνα 2.1.8:</b> (α) όργανα αεροφωτογραμμετρίας, (β) Όργανα επίγειας φωτογραμμετρίας, Πηγή: Geomatching.....	13
<b>Εικόνα 2.1.9:</b> (α) LiDAR laser σαρωτής, Πηγή: IFO Group, (β), Σχέσεις μεταξύ των παραμέτρων σάρωσης και της ποιότητας των παραγόμενων νεφών σημείων, Πηγή: Tan et al, 2020.....	14
<b>Εικόνα 2.2.1:</b> Εντοπισμός χαρακτηριστικών αντικειμένου Πηγή: Wikimedia Commons.....	17
<b>Εικόνα 2.2.2 :</b> (α) Εξαγωγή χαρακτηριστικών, (β) Αντιστοίχιση χαρακτηριστικών μεταξύ φωτογραφιών διαφορετικής προοπτικής, Πηγή: Lobo, T. 2023.....	17
<b>Εικόνα 2.2.3:</b> Επιπολική γεωμετρία στερεοσκοπικού ζεύγους, Πηγή: Lobo, T. 2023..	18
<b>Εικόνα 2.2.4:</b> Γραφική απεικόνιση διαδικασίας του bundle adjustment. Πηγή: Fraser, C., S. et al. (1995).....	19
<b>Εικόνα 2.3.1:</b> Παραμετρικός σχεδιασμός αντικειμένου σε περιβάλλον BIM. Πηγή: Autodesk.....	21
<b>Εικόνα 3.1.1:</b> Γραφική απεικόνιση αλληλοεπικάλυψης φωτογραφιών στους άξονες,	

Πηγή: Συγγραφέας.....	29
<b>Εικόνα 3.1.2:</b> Γραφική απεικόνιση ορθής και μη ορθής κίνησης της κάμερας ως προς μια όψη, Πηγή: Συγγραφέας.....	30
<b>Εικόνα 3.1.3:</b> Γραφική απεικόνιση πορείας καταγραφής αντικειμένου με αλληλεπικαλυπτόμενες λήψεις στους δύο άξονες, Πηγή: Συγγραφέας.....	31
<b>Εικόνα 3.1.4:</b> Γραφική απεικόνιση περιμετρικής πορείας καταγραφής αντικειμένου σε διαφορετικά ως προς το αντικείμενο ύψη για επίτευξη μεγαλύτερης λεπτομέρειας, Πηγή: Συγγραφέας.....	32
<b>Εικόνα 3.1.5:</b> (α) Οπτικοποίηση της παραμέτρου GSD, Πηγή: Skycatch, Επεξεργασία: Συγγραφέας, (β) Υπολογισμός παραμέτρου GSD, Πηγή: PIX4D, Επεξεργασία: Συγγραφέας.....	33
<b>Εικόνα 3.2.1:</b> (α) Επιλογή αντικειμένου για «μάσκα», Πηγή: Agisoft, (β) «Μασκαρεμένες» περιοχές, Πηγή: Agisoft.....	36
<b>Εικόνα 3.2.2:</b> Παράθυρο διαλόγου παραμέτρων ευθυγράμμισης εικόνας, Πηγή: Agisoft.....	36
<b>Εικόνα 3.2.3:</b> Παράθυρο διαλόγου παραμέτρων παραγωγής πυκνού νέφους σημείων, Πηγή: Agisoft.....	38
<b>Εικόνα 3.2.4:</b> Παράθυρο διαλόγου παραμέτρων ανασύνθεση πολυγωνικού πλέγματος, Πηγή: Agisoft.....	39
<b>Εικόνα 3.3.1:</b> Ροή εργασιών αποτύπωσης και ψηφιακής καταγραφής αντικειμένων, Πηγή: Συγγραφέας.....	42
<b>Εικόνα 4.1.1:</b> Αστικό πεδίο αποτύπωσης: πλατεία Βαρβακείου Αγοράς, Πηγή: Google Earth, Επεξεργασία: Συγγραφέας.....	43
<b>Εικόνα 4.1.1:</b> (α) Η πλατεία της Βαρβακείου Αγοράς εντός του ιστορικού τριγώνου των Αθηνών και η σχέση της με το βασικό οδικό δίκτυο και τα σημεία Πεδίον του Άρεως, λόφο του Λυκαβηττού, Εθνικό Κήπο, Ακρόπολη και λόφο του Φιλοπάππου, κλ. 1:40000, Πηγή: Συγγραφέας.....	44
<b>Εικόνα 4.1.1:</b> (β) Επισήμανση Πλατείας Βαρβακείου 1:10000, Πηγή: Συγγραφέας.....	45
<b>Εικόνα 4.1.2:</b> (α-β) Οπτική συσχέτιση πλατείας με την Ακρόπολη και το Λυκαβηττό, Πηγή: Google Earth.....	45
<b>Εικόνα 4.1.3:</b> Πλατεία Βαρβακείου και περιμετρικές αυτής όψεις, Πηγή: Google Earth, Επεξεργασία: Συγγραφέας.....	46
<b>Εικόνα 4.2.1:</b> DJI Mini 3 Pro με ενσωματωμένη FC3582 ψηφιακή κάμερα, Πηγή: DJI.....	47
<b>Εικόνα 4.2.2:</b> Θέσεις λήψεων και γραφική αναπαράσταση ποσοστού αλληλοεπικάλυψης: θέσεις λήψεων συμβολίζονται με μαύρες κουκίδες, μπλε χρώμα αποτυπώνει υψηλά επίπεδα αλληλοεπικάλυψης, κάθε σημείο εμφανίζεται σε περισσότερες από εννέα λήψεις, Πηγή: Συγγραφέας.....	47
<b>Εικόνα 4.2.3:</b> Θέσεις λήψεων και υπολογισμός σφάλματος: αναπαράσταση σφάλματος στον z' άξονα με το χρώμα, αναπαράσταση σφάλματος στους x' και y' άξονες με το σχήμα της έλλειψης, εκτιμώμενες θέσεις λήψεων συμβολίζονται με μαύρη κουκίδα, Πηγή: Συγγραφέας.....	48
<b>Εικόνα 4.2.4:</b> Υπολογισμός παραμέτρου ακριβείας καταγραφής, GSD, Πηγή: Pilotbyte.....	49
<b>Εικόνα 4.2.5:</b> Εισαγωγή φωτογραφιών στο Agisoft Metashape®, Πηγή: Συγγραφέας.....	49
<b>Εικόνα 4.2.6:</b> Ευθυγράμμιση φωτογραφιών ( <i>Align Photos</i> ) στο Agisoft Metashape®, Πηγή: Συγγραφέας.....	50
<b>Εικόνα 4.2.7:</b> Προηγμένες επιλογές ευθυγράμμισης και παραγωγή του αραιού νέφους σημείων, Πηγή: Συγγραφέας.....	50

<b>Εικόνα 4.2.8:</b> Αραιό νέφος σημείων, Πηγή: Συγγραφέας.....	51
<b>Εικόνα 4.2.9:</b> Αναδύομενο παράθυρο φιλτραρίσματος, Πηγή: Συγγραφέας.....	52
<b>Εικόνα 4.2.10:</b> Αφαιρούμενα σημεία φιλτραρίσματος με Gradual Selection, Πηγή: Συγγραφέας.....	52
<b>Εικόνα 4.2.11α:</b> Βελτιστοποίηση ευθυγράμμισης καμερών - ρυθμίσεις, Πηγή: Συγγραφέας.....	52
<b>Εικόνα 4.2.11β:</b> Βελτιστοποίηση ευθυγράμμισης καμερών, Πηγή: Συγγραφέας.....	53
<b>Εικόνα 4.2.12:</b> Παράμετροι βαθμονόμησης καμερών, Πηγή: Συγγραφέας.....	53
<b>Εικόνα 4.2.13:</b> Προσδιορισμός πλαισίου οριοθέτησης (Region box), Πηγή: Συγγραφέας.....	54
<b>Εικόνα 4.2.14:</b> (α) Προσδιορισμός παραμέτρων παραγωγής Dense cloud, (β) Καταγραφή αποτελεσμάτων επεξεργασίας, (γ) Dense point cloud πλατείας, Πηγή: Συγγραφέας.....	55
<b>Εικόνα 4.2.15:</b> (α) Προσδιορισμός παραμέτρων παραγωγής Mesh, (β) 3D μοντέλο πλατείας, Πηγή: Συγγραφέας.....	56
<b>Εικόνα 4.2.16:</b> Εισαγωγή πυκνού νέφους σημείων στο Autodesk ReCap®: τυχαίος προσανατολισμός, Πηγή: Συγγραφέας.....	56
<b>Εικόνα 4.2.17:</b> Ευθυγράμμιση νέφους σημείων τροποποιώντας την αρχή των αξόνων (update origin point) στο Autodesk ReCap®, Πηγή: Συγγραφέας.....	57
<b>Εικόνα 4.2.18:</b> Ευθυγράμμιση νέφους σημείων και ρύθμιση του προσανατολισμού, Πηγή: Συγγραφέας.....	58
<b>Εικόνα 4.3.1:</b> Προσδιορισμός τυπικών στάθμεων (Levels) στο Autodesk Revit®, Πηγή: Συγγραφέας.....	59
<b>Εικόνα 4.3.2:</b> (α) Τομή ενδεικτικού τοιχείου: προσαρμογή προφίλ τοιχείου ώστε να ταυτίζεται με το αποτύπωμά του στο νέφος, (β) Τοίχιο χωρίς το νέφος, Πηγή: Συγγραφέας.....	60
<b>Εικόνα 4.3.3:</b> (α) Διαμήκης τομή κλίμακας (β) Αξονομετρική άποψη κλίμακας, Πηγή: Συγγραφέας.....	61
<b>Εικόνα 4.3.4:</b> PointCloudToSurface 2023® Plug-in into Autodesk Revit®, Πηγή: Συγγραφέας.....	61
<b>Εικόνα 4.3.5:</b> (α) Αξονομετρική τρισδιάστατη άποψη ενδεικτικού τμήματος δαπέδου και περιορισμός Section Box, (β) Χρήση PointCloudToSurface 2023: καθορισμός δημιουργίας δαπέδου και πυκνότητας υποδιαίρεσεων παραγόμενης επιφάνειας, Πηγή: Συγγραφέας.....	62
<b>Εικόνα 4.3.6:</b> (α) Φωτογραφίες κάτω από το στέγαστρο στις οποίες φαίνεται η κατασκευαστική λογική της μεταλλικής δομής, (β) Τυπική εγκάρσια τομή: επικλινής μεταλλική δομή, (γ) Αξονομετρική άποψη τυπικού τμήματος μεταλλικής δομής, Πηγή: Συγγραφέας.....	63
<b>Εικόνα 4.3.7:</b> Τύποι δομικών στοιχείων που σχεδιάστηκαν για την μοντελοποίηση των μεταλλικών δομών στέγασης των υπαίθριων αγορών, Πηγή: Συγγραφέας.....	64
<b>Εικόνα 4.3.8:</b> Ενδεικτική περίπτωση κτηρίου: συμβολή οδών Σωκράτους και Αρμοδίου – ενδεικτικές περιπτώσεις ανοιγμάτων, Πηγή: Συγγραφέας.....	65
<b>Εικόνα 4.3.9:</b> Ενδεικτικές περιπτώσεις τυπικών ανοιγμάτων: (α) Τροποποίηση τυπικής οικογένειας πορτών, (β) Προσαρμογή παραμέτρων ύψους και πλάτους τυπικής οικογένειας παραθύρων, Πηγή: Συγγραφέας.....	65
<b>Εικόνα 4.3.10:</b> Ενδεικτική περίπτωση ανοίγματος για το οποίο σχεδιάστηκε οικογένεια: (α) φωτογραφία ανοίγματος και ψηφιακού διδύμου του, (β) Σχεδιασμός Οικογένειας-διαστάσεις, Πηγή: Συγγραφέας.....	66
<b>Εικόνα 4.3.11:</b> Ενδεικτική περίπτωση σχεδίασης διακόσμου: (α) Φωτογραφία τμήματος όψης νεοκλασικού, (β) BIM μοντελοποιημένο τμήμα όψης, (γ) Λεπτομέρεια	

διακόσμου, Πηγή: Συγγραφέας.....	67
<b>Εικόνα 4.3.12:</b> Στέψη model-in-place, Πηγή: Συγγραφέας.....	68
<b>Εικόνα 5.1.1:</b> Προοπτική άποψη πλατείας: (α) Ενεργοποιημένο νέφος σημείων, (β) Απενεργοποιημένο νέφος σημείων - BIM μοντέλο, Πηγή: Συγγραφέας.....	69
<b>Εικόνα 5.1.2:</b> Κάτοψη πλατείας: (α) Ενεργοποιημένο νέφος σημείων, (β) Απενεργοποιημένο νέφος σημείων - BIM μοντέλο, Πηγή: Συγγραφέας.....	70
<b>Εικόνα 5.1.3:</b> Προοπτική άποψη πλατείας: Οδός Αρμοδίου (α) Ενεργοποιημένο νέφος σημείων, (β) Απενεργοποιημένο νέφος σημείων - BIM μοντέλο, Πηγή: Συγγραφέας.....	71
<b>Εικόνα 5.1.4:</b> Προοπτική άποψη πλατείας: Οδός Αριστογείτονος (α) Ενεργοποιημένο νέφος σημείων, (β) Απενεργοποιημένο νέφος σημείων - BIM μοντέλο, Πηγή: Συγγραφέας.....	72





Νοέμβριος 2024