



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
Π.Μ.Σ. «ΓΕΩΧΩΡΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ»

Διπλωματική Εργασία

« ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΣΤΗ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΤΗΣ ΙΕΡΑΣ ΜΟΝΗ ΒΟΥΛΚΑΝΟΥ ΜΕΣΣΗΝΙΑΣ»

ΔΡΟΥΓΚΑ ΣΟΦΙΑ

ΑΜ: 1907

Επιβλέπων:

ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΠΑΓΟΥΝΗΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΠΑ.Δ.Α.

Αθήνα,
Ιούλιος, 2024



UNIVERSITY OF WEST ATTICA SCHOOL OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF SURVEYING AND GEOINFORMATICS ENGINEERING

«3D Documentation of the Holy Volcano Monastery of Messinia»

Drougka Sofia

Registration Number: 1907

Pagounis Vassilios,
Professor at UNIWA

Athens, July 2024



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
Π.Μ.Σ. «ΓΕΩΧΩΡΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ»

«ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΣΤΗ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΤΗΣ ΙΕΡΑΣ ΜΟΝΗ ΒΟΥΛΚΑΝΟΥ ΜΕΣΣΗΝΙΑΣ»

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η πτυχιακή/διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

Α/α	ΟΝΟΜΑΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΠΑΓΟΥΝΗΣ	ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Π.Δ.Α. (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)	
2	ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΑΝΔΡΙΤΣΑΝΟΣ	ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Π.Δ.Α.	
3	ΔΗΜΗΤΡΗΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΥ	ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη **Δρούγκα Σοφία**...του...**Κων/νου**....., με αριθμό μητρώου ...**1907**..... φοιτήτριας του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής...Μηχανικών.....του Τμήματος.....Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής**Π.Μ.Σ. «ΓΕΩΧΩΡΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ»** ..., δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

**Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι και έπειτα από αίτηση μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντα καθηγητή*

Η Δηλούσα



*** Ονοματεπώνυμο/Ιδιότητα**

(Υπογραφή)

Ψηφιακή Υπογραφή Επιβλέποντα

** Σε εξαιρετικές περιπτώσεις και μετά από αιτιολόγηση και έγκριση του επιβλέποντα, προβλέπεται χρονικός περιορισμός πρόσβασης (embargo) 6-12 μήνες. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να υπογράψει ψηφιακά ο/η επιβλέπων/ουσα καθηγητής/τρια, για να γνωστοποιεί ότι είναι ενημερωμένος/ή και συναινεί. Οι λόγοι χρονικού αποκλεισμού πρόσβασης περιγράφονται αναλυτικά στις πολιτικές του Ι.Α. (σελ. 6):*

[content/uploads/2021/01/%CE%A0%CE%BF%CE%BB%CE%B9%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%B5%CC%81%CF%82_%CE%99%CE%B4%CF%81%CF%85%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CF%85%CC%81_%CE%91%CF%80%CE%BF%CE%B8%CE%B5%CF%84%CE%B7%CF%81%CE%B9%CC%81%CE%BF%CF%85_final.pdf](#)

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	σελ.7
Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή.....	σελ.8
Κεφάλαιο 2. Building Information Modeling	σελ.10
2.1 Ορισμός του BIM.....	σελ.10
2.2 Βασικά Χαρακτηριστικά του BIM.....	σελ.12
2.3 Ιστορική Εξέλιξη των BIM.....	σελ.15
2.4 Εφαρμογή των BIM σε νέες κατασκευές.....	σελ.18
Κεφάλαιο 3 Γεωμετρικοί μέθοδοι Τεκμηρίωσης Μνημείων.....	σελ.24
3.1 Τοπογραφική Μέθοδος Αποτύπωσης.....	σελ.25
3.2 Τοπομετρική Μέθοδος Αποτύπωσης	σελ.27
3.3 Φωτογραμμετρική Μέθοδος Αποτύπωσης.....	σελ.28
3.4 Σάρωση με Τρισδιάστατους Επίγειους Σαρωτές.....	σελ.34
Κεφάλαιο 4. Scan to BIM- HBIM.....	σελ.36
4.1 Scan to BIM- HBIM	σελ.36
4.2 Το HBIM στην Πολιτιστική Κληρονομιά.....	σελ.38
4.3 Παραδείγματα Πολιτιστικής Κληρονομιάς.....	σελ.39
Κεφάλαιο 5 Η περίπτωση της Ιεράς Μονής Βουλκάνου.....	σελ.49
5.1 Γενικά	σελ.49
5.2 Η Περιοχή του Ναού	σελ.50
5.3 Ιστορική Εξέλιξη.....	σελ.52
5.4 Ιερά Κειμήλια	σελ.54
Κεφάλαιο 6 Συλλογή και Επεξεργασία Δεδομένων.....	σελ.58
6.1 Εργασίες πεδίου- Συλλογή Δεδομένων.....	σελ.58
6.2 Επεξεργασία Δεδομένων.....	σελ.59
6.3 Τελικό Αποτέλεσμα.....	σελ.63

6.4 Δημιουργία Μοντέλου BIM.....σελ.69
Κεφάλαιο 7 Παρουσίαση Τελικών Προϊόντων -Συμπεράσματα.....σελ.89
Βιβλιογραφία.....σελ.96

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε για την ολοκλήρωση του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Γεωχωρικές Τεχνολογίες», του Τμήματος Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής (ΠΑ.Δ.Α.).

Η εργασία παρουσιάζει κυρίως την Ιερά Μονή Βουλκάνου στην Μεσσηνία. Επικεντρώνεται στην ανάλυση της Ιστορικά και εν συνέχεια αναλύεται η αναζήτηση και η εξέλιξη συγχρόνων μεθοδολογιών αποτύπωσης του Μνημείου, καταγραφής και απόδοσης της υπάρχουσας κατάστασης. Αυτό είναι απαραίτητο διότι τα μνημεία και τα σύνολα πολιτιστικής κληρονομιάς πρέπει να τεκμηριώνονται και ειδικότερα να αναλύονται τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που τα διέπουν, κάτι το οποίο τα κάνει ξεχωριστά. Παρουσιάζεται ένα ολοκληρωμένο μοντέλο BIM από τα νέφη σημείων που δημιουργήθηκαν από την διαδικασία αποτύπωσης με Laser Scanner.

Για την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας θα ήθελα να ευχαριστώ πρωτίστως τον Καθηγητή και Επιβλέποντα κ. Βασίλειο Παγούνη για την εμπιστοσύνη και υπομονή που έδειξε για να την ανάθεση της εργασίας αλλά και για την υποστήριξη και την βοήθεια του σε θέματα αποτύπωσης καθώς και για την απόδοση του Τρισδιάστατου Πληροφοριακού Μοντέλου, και στο χρόνο που αφιέρωσε ώστε να ολοκληρωθεί.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους δικούς μου ανθρώπους για την κατανόηση την υποστήριξη τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η πολιτισμική κληρονομιά συνδέεται άμεσα με τόσο με το παρελθόν όσο και το μέλλον ενός έθνους-κράτους και είναι είτε υλική (μνημεία και τοπία παγκόσμιας αξίας από άποψη της ιστορίας, της τέχνης και της επιστήμης κ.α.), είτε άυλη (παραδόσεις) και αποτελεί ουσιαστικά την ταυτότητα της κάθε χώρας. Όλα αυτά παρουσιάζουν ενδιαφέρον αρχαιολογικό, εθνολογικό, ιστορικό, καλλιτεχνικό αλλά και επιστημονικό-τεχνολογικό. Μπορεί να θεωρηθεί επίσης ως όρος άυλη κληρονομιά όπου δηλώνει τις παραδόσεις, τα ήθη και τα έθιμα τη γλώσσα μιας χώρας. Η προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς της κάθε χώρας πρέπει να ακολουθείται από πολλές εργασίες όπως, συντήρηση, ανεύρεση, συστηματική καταγραφή, μελέτη αποκατάσταση και την ανάδειξη των αγαθών. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται η μείωση των βλαβών και της καταστροφής τους αλλά και ο κίνδυνος κλοπής.

Με την ανάπτυξη ωστόσο των νέων εφαρμογών, εργαλείων και νέων τεχνολογικών μέσων ο ορισμός αυτός έχει αλλάξει σημαντικά και προσφέρει πλέον όλο και περισσότερες δυνατότητες καταγραφής, αναπαράστασης και ανάλυσης στον εκάστοτε χρήστη.

Στόχος της εργασίας είναι η καταγραφή, αποτύπωση και ανάδειξη μνημείων με χρήση σύγχρονων γεωδαιτικών μεθόδων όπως της επίγειας τρισδιάστατης σάρωσης και η ένταξη τους σε ένα περιβάλλον BIM και η δημιουργία BIM μοντέλου.

Η τρισδιάστατη αποτύπωση και αναπαράσταση των μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς είναι μια διαδικασία αρκετά συνθέτη και απαιτεί την προσέγγιση και οπτικοποίηση διαφορετικών δεδομένων, έρευνα και μελέτη, όπως στις τοπογραφικές μετρήσεις απαιτούνται φωτογραφίες, νέφη σημείων, διανυσματικά σχέδια, και φωτογραμμετρικές απεικονίσεις. Αναλύεται η έννοια του BIM που είναι μια νέα τεχνολογία σχεδιασμού και χρησιμοποιείται σε καινούργιες κυρίως κατασκευές και επιτρέπει την πλήρη άποψη ενός κτηρίου, μνημείου κλπ. Παρέχει μια διεπιστημονική γνώση και βάση για την διαχείριση του κύκλου ζωής τους.

Στην παρούσα διπλωματική εξετάζονται και αναλύονται όλα τα παραπάνω σε τομείς όπως η τεκμηρίωση διαχείρισης και απόδοσης, η τρισδιάστατη σάρωση με laser scanner και η δημιουργία μοντέλου BIM με πρακτική εφαρμογή στην Ιερά Μονή Βουλκάνου στη Μεσσηνία όπου είναι το ιστορικότερο και μεγαλύτερο Μοναστήρι στη Μεσσηνία. Η αρχική της θέση ήταν

στην κορυφή του όρους Ιθώμη, εκεί όπου υπήρχε αρχαίο ιερό του Δία Ιθωμάτα. Ιδρύθηκε σύμφωνα με την παράδοση το 725 από εικονολάτρες καλόγερους και το καθολικό της, αφιερωμένο στην Κοίμηση της Θεοτόκου. Πυρπολήθηκε από τα στρατεύματα του Ιμπραήμ πασά το 1825 και οι μοναχοί της κατέφυγαν στη Μάνη και στη Ζάκυνθο, παίρνοντας μαζί τους και την εικόνα της Παναγίας, αλλά επανήλθαν το 1828, από τότε η μονή λειτουργεί χωρίς διακοπή. Στην εργασία αυτή έχουμε ως στόχο την αναγνώρισή και εφαρμογή συγκεκριμένων εργαλείων για το είδος του Θρησκευτικού μνημείου με σκοπό την αποτύπωση του και την δημιουργία μιας πλήρους βάσης δεδομένων όπως συνίσταται και χρησιμοποιούνται ανεπτυγμένα νέα μέσα.

Στο κεφάλαιο 2 θα αναλυθεί η έννοια του BIM τι είναι ακριβώς, ποια τα βασικά του χαρακτηριστικά, και η ιστορική του εξέλιξη και πως εξυπηρετεί στις νέες κατασκευές.

Στο κεφάλαιο 3 Μελετάτε ο ορισμός της γεωμετρικής τεκμηρίωσης μνημείων και συνόλων. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι τεχνικές και μέθοδοι αποτύπωσης μνημείων με τα πλεονεκτήματά τους και τα μειονεκτήματά τους.

Στο κεφάλαιο 4 Γίνεται μια αναφορά στο BIM γενικά τι είναι και πως χρησιμοποιείται στα μνημεία με διάφορα άρθρα που αφορούν κυρίως στο κομμάτι των κτηρίων, Ιστορικών μνημείων, παρουσιάζονται δηλαδή παραδείγματα συγχρόνων τεχνικών και μέσων για την αποτύπωση επίγειας σάρωσης.

Στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζεται η Ιερά Μονή Βουλκάνου όπου γίνεται μια ιστορική αναδρομή στο μοναστήρι στην παλαιά και στη Νέα μονή αλλά και την αναστήλωση του και την εξέλιξη του μετέπειτα. Θα αναφερθούμε στην περιοχή του Ναού και στα ιερά κειμήλια της Μονής.

Στο κεφάλαιο 6 Περιγράφεται η εφαρμογή και η διαδικασία αποτύπωσης του Ναού, δηλαδή οι εργασίες πεδίου και η προ επεξεργασία που έγινε για να συλλέξουμε τα δεδομένα με αποτέλεσμα να έχουμε ένα ολοκληρωμένο μοντέλο έτσι ώστε να δημιουργήσουμε το BIM. Και Αναλύεται η επεξεργασία του BIM μέσω του προγράμματος Revit.

Στο κεφάλαιο 7 Γίνεται παρουσίαση των τελικών προϊόντων και αποτελεσμάτων συγκεντρωτικά όλης της εργασίας και τα συμπεράσματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Building Information Modeling

2.1 Ορισμός του BIM

Ο όρος "Building Information Modeling" (BIM) χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τον Αμερικάνο αρχιτέκτονα Phil Bernstein, μετέπειτα αντιπρόεδρο της εταιρίας λογισμικού Autodesk. Η κοινοποίηση του όρου έγινε αργότερα από τον Jerry Laiserin, αναφερόμενος στην αναπαράσταση της κατασκευαστικής διαδικασίας για την διευκόλυνση της ανταλλαγής και δια-λειτουργικότητας των πληροφοριών σε ψηφιακή μορφή.

Η πρώτη εφαρμογή της τεχνολογίας BIM έγινε το 1987, από την εταιρία Graphisoft, και πλέον αποτελεί την ισχυρότερη ένδειξη των επικείμενων αλλαγών στον τομέα του σχεδιασμού και των κατασκευών παγκοσμίως. Ο σκοπός του παρόντος άρθρου είναι να περιγράψει την τεχνολογία, τη χρήση και τα οφέλη της μεθοδολογίας του Building Information Modeling (BIM) αποσκοπώντας στο να δημιουργήσει μία συνοπτική βάση για πληροφόρηση και να ενθαρρύνει την περαιτέρω έρευνα για εφαρμογές στην Ελλάδα όσο και στην Ευρώπη.

Ο όρος BIM λοιπόν, αποτελεί ένα καινούργιο ακρωνύμιο στον χώρο της αρχιτεκτονικής και των κατασκευών, με τη δυνατότητα σημαντικών ωφελειών καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του κτιρίου (building life-cycle). Αποτελεί λοιπόν ένα δυναμικά πολύ σημαντικό εργαλείο για τους επαγγελματίες που δραστηριοποιούνται στον χώρο των μελετών, της αρχιτεκτονικής και των κατασκευών.

Ο προτεινόμενος ορισμός της Διεθνούς Επιτροπής Προτύπων BIM (National BIM Standards Committee - NBIMS), ορίζει το building ως «μια ολοκληρωμένη ψηφιακή αναπαράσταση των φυσικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών μιας υποδομής. Ένα μοντέλο BIM αποτελεί μια πηγή πληροφοριών για ένα κτίριο -υποδομή, δημιουργώντας έτσι μια αξιόπιστη βάση για λήψη βελτιωμένων αποφάσεων σε όλο τον κύκλο ζωής, που είναι διαθέσιμη από τα πιο πρώιμα στάδια της σχεδιαστικής σύλληψης έως την κατεδάφιση».

Αυτή η «εξυπνάδα» και η διάθεση πληροφορίας είναι που κάνει την εφαρμογή του BIM να διαφέρει από ένα απλό 3D CAD πρόγραμμα. Με άλλα λόγια, το Building Information Modeling είναι μια πρακτική, μια μεθοδολογία λειτουργιών (Operations Methodology) με σκοπό την λήψη καλά πληροφορημένων αποφάσεων, παρά ένα λογισμικό CAD όπως λανθασμένα το αντιλαμβάνονται πολλοί. Η ολοκληρωμένη εφαρμογή του BIM εμπεριέχει πληροφορίες και στοιχεία για ολόκληρο το κτίριο, από τοιχοποιίες και δομικά στοιχεία μέχρι μηχανολογικά συστήματα και μετρήσεις υλικών και στοιχεία προμηθευτών, για κάθε συγκεκριμένο έργο.

[πηγή:<http://www.designgroup.us.com/blog/2012/05/future-use-cases-for-using-bim-at-ohio-state%E2%80%99s-wexner-medical-center>-<https://www.e-archimedes.gr/>].

WHAT ARE BIM STANDARDS?



Εικόνα 1. Κύκλος Ζωής Κτίριου

Πηγή: <https://www.graebert.com/blog/tutorial/what-are-bim-standards/>

2.2 Βασικά Χαρακτηριστικά του BIM

Το Building Information Modeling είναι μια αναπαράσταση η οποία προσεγγίζει κυρίως την Αρχιτεκτονική, Μηχανική και την Κατασκευή κτηρίων (AEC-Architecture Engineering Construction), και ως δυνατότητα έχει την δημιουργία μοντέλων για να περιγράψει την αρχιτεκτονική και τεχνική των κατασκευαστικών έργων. Κατά τον κ. Βενέρη ο ορισμός του AEC χρησιμοποιείται για να καλύψει όλο τον κατασκευαστικό κλάδο, ενώ η βάση των συστημάτων αποτελεί ένα μέρος μιας ευρύτερης θεωρίας αναπαράστασης της συνολικής κατασκευαστικής πληροφορίας των κατασκευών αυτών, που δημιουργούνται από τα συστήματά BIM. Πιο συγκεκριμένα είναι μια ακριβής ψηφιακή τρισδιάστατη προσομοίωση της υπό μελέτη κατασκευής περιέχει όλα τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, τις χωρικές σχέσεις, των στοιχείων που την πλαισιώνουν, τις φυσικές ιδιότητες αλλά και τα χαρακτηριστικά του καθενός από αυτά. Είναι η πληροφορία η οποία μπορεί να συμβάλει στην ταξινόμηση των στοιχείων αλλά και της αναγνώρισης τους.

Κατά την κ Πέππα ορίζεται ως ένα μέσο το οποίο σχεδιάζονται κατασκευές με δομική μονάδα το ίδιο το κατασκευαστικό στοιχείο δηλαδή αντικειμενοστραφής σχεδιασμός, και οι γραμμές που ορίζουν το περίγραμμα αυτών. Το μέσο το οποίο λειτουργεί κατά αυτόν τον τρόπο είναι το περιβάλλον CAD το οποίο κάνει μαζί την παραμετρική προσέγγιση. Τα συστήματα αυτά είναι κυρίως γεωμετρικά συστήματα και χρησιμοποιούν κατά βάση γεωμετρικά αντικείμενα ούτως ώστε να περιγράψουν την γεωμετρική μορφή των αρχιτεκτονικών και τεχνικών έργων, ενώ τα AEC είναι πιο εξειδικευμένα στην πλήρη περιγραφή των κατασκευαστικών έργων. Βοηθούν στην μελέτη των παρεμφερών κλάδων των μηχανικών με σκοπό τα ειδικά αρχιτεκτονικά και τεχνικά κατασκευαστικά αντικείμενα.

Τα BIM επιπρόσθετα διαθέτουν την ικανότητα μηχανών τρισδιάστατης απόδοσης και render.

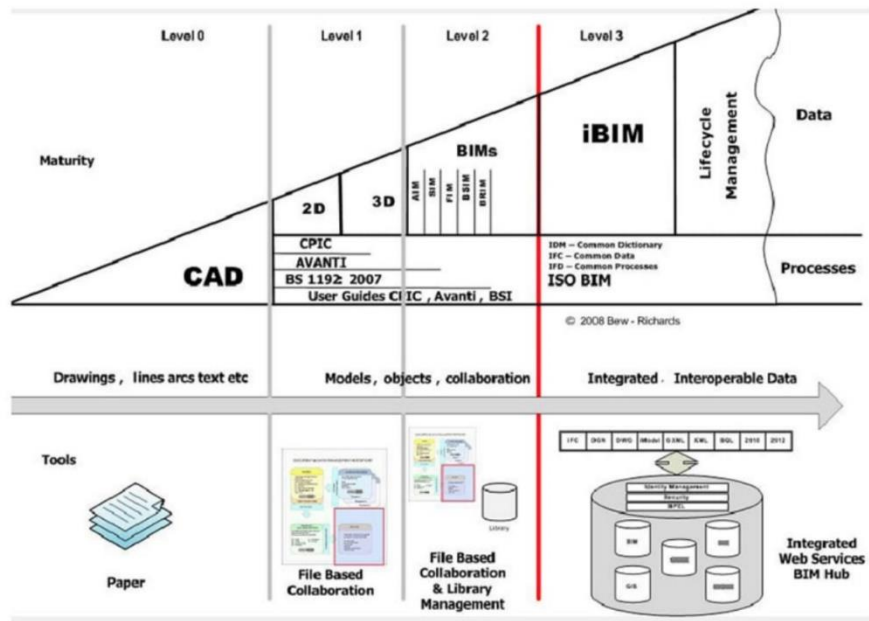
Ειδικά μπορεί ο χρήστης να παρακολουθεί και να έρχεται σε επαφή με το μοντέλο, και μπορεί να το επεξεργάζεται και σε στις διαστάσεις όπως ορθών προβολών, διαστάσεις κατόψεων και των τομών του. Καθώς βελτιώνεται το μοντέλο όλα τα σχέδια που παρουσιάζονται στη μελέτη προσαρμόζονται και ενημερώνονται αυτόματα.

Στα BIM υπάρχει η δυνατότητα να προσομοιωθεί και η διαδικασία της κατασκευής και όχι

μόνο το αποτέλεσμα της, έτσι παρουσιάζονται και χρησιμοποιούνται έννοιες όπως η Διασυνδεδεμένη Παράδοση Έργου (IPD: Integrated Practice/Project Delivery), η Διαλειτουργικότητα (Interoperability) και η Διαχείριση στο επίπεδο Κύκλου Ζωής (Life cycle Management) των έργων. Πιο αναλυτικά το IPD είναι ένα εργαλείο που βοηθάει ανεξάρτητα την συνεργασία μεταξύ διάφορων μελών και την ανταλλαγή σημαντικών δεδομένων και μετά δεδομένων. Τα δεδομένα αυτά είναι αποθηκευμένα και προσπελάσιμα σε κάθε μέρος-μηχανικό που περιλαμβάνεται στο έργο. Η Διαλειτουργικότητα ωστόσο είναι η λειτουργία όπου δυο ή περισσότερα συστήματα μπορούν να ανταλλάξουν και να χρησιμοποιήσουν πληροφορίες μεταξύ προτύπων κτιρίων που περιγράφονται, εργασιών που περιλαμβάνονται οι οντολογικές ιεραρχίες και αποτελούν το πεδίο αναφοράς του εκάστοτε αρχιτεκτονικού έργου, αντιστοιχεί σε δομές αναπαράστασης τεχνικής και αρχιτεκτονικής γνώσης που συνδέεται με την κατασκευή του έργου.

Ως δομές παρουσιάζονται οι Δομές Ανάλυσης Έργου (Work Breakdown Structures), αποτελούν ανεξάρτητα αντικείμενα της έρευνας για τον λόγο ότι οι ανάγκες εκτίμησης του προϋπολογισμού του κάθε έργου δηλαδή (εκτίμηση ποσοτήτων, ποσοτικός προϋπολογισμός - Bill of Quantities, προϋπολογισμός υλικών και εργασιών – Bill of Materials & Operational Bill), εμφανίζει διάφορες δυνατότητες εφαρμογής στο πεδίο του σχεδιασμού και την κατασκευή των έργων.

Τα κυριότερα πρότυπα που αναφέρονται στα BIM είναι το IFC (IFC:Industry Foundation Classes) που προέρχεται από την Building Smart και την International Alliance Interoperability. Σαν αποτέλεσμα έχει την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ προγραμμάτων και χρηστών για παράδειγμα IFD (IFD : International Framework Dictionaries), Omni Class.



Εικόνα 2. Μοντέλο ωριμότητας BIM (HB), των MarkBew and Mervyn Richards [πηγή :<https://www.archetype.gr/blog/arthro/building-information-modeling-bim-i-thesi-tis-elladas-sto-psifiako-topio-tou-mellontos/>]

2.3 Ιστορική Εξέλιξη των BIM

Η αρχή της δημιουργίας των BIM τοποθετείται χρονολογικά στο 1962 το οποίο προήλθε από μια δημοσίευση (προς τον αρχιτέκτονα του μέλλοντος) του Englebart ο οποίος πρότεινε τον αντικειμενοστραφή σχεδιασμό, τον παραμετρικό χειρισμό και την δημιουργία σχέσεων μέσα στη βάση δεδομένων. Είχε ένα όραμα για τους μηχανικούς του μέλλοντος, προσδιορίζοντας με μεγάλη ακρίβεια την παραμετρική σχεδίαση και τον ορισμό της μεθοδολογίας BIM, πολλά χρόνια πριν την εμφάνιση της.

Μεγάλο ρόλο έπαιξε επίσης σε αυτή την εξέλιξη και ο Charles Eastman. Ένας διορατικώς αρχιτέκτονας, ήταν ιδιαίτερα αντίθετος απέναντι στις παραδοσιακές μεθόδους της εποχής, το 1974 ανέπτυξε την μεθοδολογία BDS (Building Description System), εισάγοντας για πρώτη φορά τις βάσεις δεδομένων στην ψηφιακή σχεδίαση [V. Quirk, 2012]. Επόμενο βήμα του Eastman ήταν το GLIDE (Graphical Language for Interactive Design), το οποίο είχε ως βάση το BDS (Building Description System) και δημιουργήθηκε το 1977, έπειτα ακολουθήσε και το BPM (Building Product Model), το 1989 [C. Eastman, 1999]. Το 1995, λίγα χρόνια πριν η μεθοδολογία BIM είχε πάρει την σύγχρονη μορφή της, και εισάγεται το GBM (General Building Model), ενσωματώνοντας πληροφορίες που μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε όλο τον κύκλο ζωής του έργου [C. Eastman, 1994].

Στα πρώτα στάδια της εξέλιξης τους, τα λογισμικά που υποστήριζαν τη τεχνολογία BIM, δοθήκαν από τις εταιρίες ανάπτυξης και έγιναν γνωστά για τις δυνατότητες τρισδιάστατης (3D) μοντελοποίησης που παρείχαν. Σύντομα όμως άρχισαν να εξελίσσονται και άλλες ιδιότητες και διαστάσεις που δεν σχετίζονταν αποκλειστικά μόνο με την γραφική απεικόνιση, αλλά προσέθεταν στο μοντέλο πληροφορίες όπως τον χρόνο, το κόστος κ.α. [A. Koutamanis, 2020], φθάνοντας στο σήμερα, όπου γίνονται αναφορές ακόμα και για την δέκατη διάσταση (10D) του BIM, συνδέοντας την με την εκβιομηχάνιση των κατασκευών και την ενσωμάτωση στο μοντέλο της επαυξημένης πραγματικότητας (AR) και της τεχνητής νοημοσύνης.

Υπάρχουν δυο κυρίες μέθοδοι υπολογιστικής τρισδιάστατης γεωμετρίας όπου εξελίχθηκε την δεκαετία 70'-80' γεωμετρίας των στερέων. Η πρώτη κατηγορία είναι η Constructive Solid Geometry (CSG) δηλαδή κατασκευαστικό ομοίωμα. Όπου εδώ ο χώρος θεωρείται σημείο συνόλου και χρησιμοποιούνται με σειρά πρωτογενή στερεά σχήματα που επιτρέπουν τις πράξεις συνόλων όπως δηλαδή την ένωση, τομή, αφαίρεση. Και η δεύτερη κατηγορία είναι η Boundary Representation (BREP) δηλαδή

συνοριακό ομοίωμα. Στην κατηγορία αυτή η γεωμετρία των στερέων σχημάτων διαμορφώνεται με βάση τις έδρες, τις ακμές και τις κορυφές αυτών και δίνουν αναλογικούς χειρισμούς. Και στις δυο περιπτώσεις οι εφαρμογές στην πράξη χρησιμοποιούνται ανεξάρτητα από το υποκείμενο του πυρήνα που χρησιμοποιούν.

Τα BIM σήμερα εντάσσεται με αποτελεσματικότητα σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής του κτηρίου, έχοντας ως στόχο στην βελτίωση της παραγωγικότητας της ομάδας του έργου, καθώς και στην καλύτερη ποιότητα και την βιωσιμότητα της κατασκευής, δίνοντας του μεγαλύτερη αξία στο ολοκληρωμένο έργο [L. Doumbouya, et al., 2016]. Αυτή την αξία έχουν αντιληφθεί εδώ και χρόνια, πολλές από τις χώρες της Ε.Ε., ορίζοντας το BIM ως απαραίτητο εργαλείο για την ανάθεση δημοσίων συμβάσεων [EU BIM TaskGroup, 2017]. Ωστόσο στην Ελλάδα καθυστέρησε σημαντικά να αναπτυχθεί. Παράλληλα με την εξέλιξη του BIM, σύγχρονοι μέθοδοι αποτύπωσης και ψηφιακής αναπαράστασης, έχουν ενταχθεί δυναμικά στον κατασκευαστικό κλάδο.

Η δημιουργία νέφους σημείων προσφέρει πολλά οφέλη και μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για την αποτύπωση μεγάλων κατασκευών, όσο και να εξαγωγή σημαντικών πληροφοριών για το ανάγλυφο του εδάφους, ενώ πλέον χρησιμοποιείται και στην επιτόπια και ακριβή παρακολούθηση της προόδου ενός έργου. Το μοντέλο BIM συνδέεται με το νέφος σημείων και μέσα από το ενιαίο περιβάλλον, μπορούμε να εξαγάγουμε ασφαλή συμπεράσματα για την εξέλιξη των εργασιών [A. Braun, et al., 2015]. Η παραγωγή του νέφους μπορεί να προέλθει, είτε μέσω τις τρισδιάστατης σάρωσης με χρήση οργάνου τύπου laser scanner (τεχνολογία Lidar), είτε με την μέθοδο της φωτογραμμετρίας, δηλαδή με χρήση διαφόρων τύπων φωτογραφικών μηχανών, αλλά κυρίως στις μέρες μας, με την χρήση μη επανδρωμένων αεροσκαφών (UAV). Επιπλέον η εικονική VR (Virtual Reality), και η επαυξημένη πραγματικότητα AR (Augmented Reality), έχουν κάνει δυναμικά την εμφάνιση τους τα τελευταία χρόνια στον τομέα των κατασκευών. Η συνεχής αύξηση της υπολογιστικής ισχύς, σε συνδυασμό με την μείωση των τιμών σε συσκευές που υποστηρίζουν αυτές τις τεχνολογίες, κάνουν όλο και πιο προσιτές αυτές τις μεθόδους στο ευρύ κοινό. Η είσοδος και η συνεργασία αυτών των τεχνικών εικονικής αναπαράστασης με την τεχνολογία του BIM, αλλάζει τον τρόπο που μπορεί να έρθει σε επαφή ο ανθρώπινος παράγοντας (εργοδότες, μηχανικοί, κατασκευαστές) με το υπό κατασκευή έργο, ενώ ταυτόχρονα μειώνεται και η πιθανότητα ασυνεννοησίας μεταξύ των

εμπλεκόμενων, καθώς και η εμφάνιση σφαλμάτων στο στάδιο της κατασκευής.

[Πηγή: Η εφαρμογή του Building Information Model (BIM) στην κατασκευή κτηρίων. Μιχαήλ Γαδανάκης Πολιτικός Μηχανικός Τ.Ε., και Μεταπτ. Φοιτητής ΔΧΤ/ΣΘΕΤ, Άγγελος Λιώλιος.)
<file:///C:/Users/user/Downloads/%CE%95%CE%BA%CF%84%CE%B5%CF%84%CE%B1%CE%BC%CE%AD%CE%BD%CE%B7%CE%A0%CE%B5%CF%81%CE%AF%CE%BB%CE%B7%CF%88%CE%B7%CE%9C%CE%94%CE%95%138048%CE%93%CE%91%CE%94%CE%91%CE%9D%CE%91%CE%9A%CE%97%CE%A3%CE%9C%CE%99%CE%A7%CE%91%CE%97%CE%9B.pdf>].



Εικόνα 3. Διάγραμμα απεικόνισης των εμπλεκόμενων στην υλοποίηση του έργου μέσω BIM.
Πηγή: <https://grc.sika.com/el/bim/what-is-bim.html>], From NBS International BIM Report 2016.

2.4 Εφαρμογή των BIM σε νέες Κατασκευές

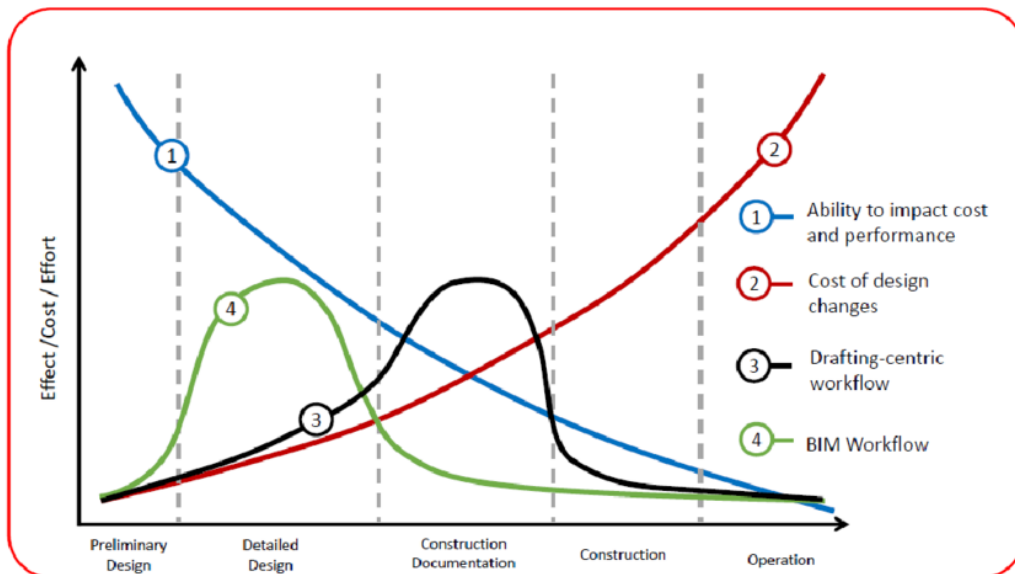
Μέρα με τη μέρα, η εφαρμογή του λογισμικού BIM (Building Information Modeling) πλέον θεωρείται αρκετά σημαντική για τη σύγχρονη βιομηχανία κατασκευών. Ήδη η πλειοψηφία των κρατών αξιοποιεί μεθόδους, ώστε να καταστεί πιο οικονομική και αποδοτική η διαδικασία κατασκευής, από το πρώιμο στάδιο σχεδιασμού, μέχρι και την τελική ολοκλήρωση του κάθε οικοδομήματος. Για τον σκοπό αυτό, η χρήση του BIM αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την εκπόνηση καινοτόμων έργων και υψηλών προδιαγραφών.

Μία από τις σημαντικότερες λειτουργίες του BIM είναι ότι μπορεί αναπαριστά ψηφιακά, σε τρισδιάστατη μορφή, δομικά μοντέλα. Ωστόσο η εφαρμογή αυτή, διαφέρει πολύ από μία απλή 3D προσομοίωση, που προσφέρει πλήθος ομοιών προγραμμάτων σχεδιασμού. Το BIM αποθηκεύει μεγάλο όγκο πληροφοριών για κάθε δομικό μέρος της κατασκευής, παρέχοντας έτσι μία πιστή απεικόνιση της τελικής μορφής του έργου. Λόγω της ευελιξίας του και των πλεονεκτημάτων που προσφέρει, το BIM μπορεί να χρησιμοποιηθεί σχεδόν παντού, τόσο σε έργα μεγάλης κλίμακας, όσο και σε μικρότερα έργα

Πλεονεκτήματα των BIM

Ένα από τα κυριότερα προτερήματα του BIM είναι ότι όλοι οι επαγγελματίες που ασχολούνται με το Project, εργάζονται σε ένα κοινό μοντέλο, το οποίο μπορούν να επεξεργάζονται σε πραγματικό χρόνο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, όλοι οι φορείς να είναι άμεσα ενημερωμένοι για τις μετατροπές που προκύπτουν και να αποφεύγονται σχεδιαστικά λάθη. Επομένως η πρόληψη σφαλμάτων, μειώνει την πιθανότητα απρόοπτων αναπροσαρμογών κατά την υλοποίηση του έργου και καθιστά εφικτή την τήρηση των προκαθορισμένων χρονοδιαγραμμάτων.

Η ορθή χρήση του BIM από τις αρχές του εκάστοτε Project, μειώνει αισθητά τον χρόνο σχεδιασμού και επιτρέπει τη δημιουργία ρεαλιστικών χρονοδιαγραμμάτων. Επιπλέον το λογισμικό BIM, αξιολογώντας τα τοπογραφικά δεδομένα και τις πληροφορίες που συλλέγει από τους συντελεστές του έργου, μπορεί να εξάγει ακριβείς μελέτες, οι οποίες αφορούν την ενεργειακή απόδοση και το κόστος κατασκευής. Πιο συγκεκριμένα, παρέχει πολύτιμες συμβουλές για την επιλογή κατάλληλων υλικών, που θα περιορίσουν τις δαπάνες και ταυτόχρονα θα ανταποκρίνονται στις υψηλές κατασκευαστικές προδιαγραφές.



Εικόνα 4 :McLeamy Διάγραμμα όπου είναι η συνάρτηση του κόστους με το αποτέλεσμα σε σχέση με την παραδοσιακή διαδικασία και την διαδικασία BIM.

Πηγή: https://www.researchgate.net/figure/MacLeamy-Curve-on-BIM-workflow-15_fig1_358669042.

Οφέλη του BIM πριν την κατασκευή.

- Σαν πρώτο στάδιο γίνεται ο προσδιορισμός σκοπιμότητας του έργου. Πριν το τελικό σχεδιασμό και την υλοποίηση του έργου είναι αναγκαίο να καθοριστεί το μέγεθος της κατασκευής, η ποιότητα του έργου τι θέλουμε σαν αποτέλεσμα από αυτό, και τις απαιτήσεις του. Για να υλοποιηθούν αυτά εξετάζουμε τους οικονομικούς πόρους που μας δίνονται καθώς και το χρονοδιάγραμμα που έχει ανατεθεί για την ολοκλήρωση του έργου. Όταν αυτά καλυφθούν τότε μπορούμε να προχωρήσουμε ώστε να επιτευχθεί ο στόχος. Σε αντίθετη περίπτωση ο προϋπολογισμός του έργου μπορεί να υπερβεί και χρηματικά και χρονικά.
- Έλεγχος εναλλακτικών λύσεων. Για το λόγο ότι αναλαμβάνεται πολύ πρώιμα το στάδιο των προσχέδιων του έργου μπορεί να γίνει μια αξιολόγηση πρώτα για το αν πληρούνται οι απαιτήσεις που ζητούνται, η βιωσιμότητα της κατασκευής και αν είναι εφικτό να υπάρχει εναλλακτική λύση σχεδιασμού με εργαλεία όπως ανάλυση και προσομοίωση ώστε να αυξηθεί η συνολική ποιότητα του έργου. Όπως αναφέρει ο Kjartansdóttir στο βιβλίο του είναι λιγότερο δαπανηρό για τον ιδιοκτήτη να εξερευνησει το έργο μέσα από ένα ψηφιακό περιβάλλον, παρά στο πεδίο κατά την υλοποίηση του έργου όπου οι αλλαγές πληρώνονται ακριβά. [I. B. Kjartansdóttir, etal., 2017].

Οφέλη στο στάδιου σχεδιασμού

Εδώ παρατηρούνται αρκετοί παράμετροι κατά τον Eastman καθώς είναι ένα από τα σημαντικότερα οφέλη. Αυτά είναι :

➤ Η ακρίβεια απεικόνισης του έργου

Με την χρήση του BIM, ο μηχανικός δεν είναι απαραίτητο να δημιουργήσει από την αρχή δισδιάστατα σχέδια και στη συνέχεια να τα μοντελοποιήσει σε τρισδιάστατα. Το 3D μοντέλο μπορεί να δημιουργηθεί απευθείας και μπορεί να δώσει στον μελετητή καλύτερες και πιο ακριβείς απεικονίσεις του κτηρίου σε όλα τα στάδια του έργου αλλά και σε όλα τα στάδια της διαδικασίας.

➤ Παραμετρικός Σχεδιασμός

Σημαντικό πλεονέκτημα είναι και ο παραμετρικός σχεδιασμός. Με την χρήση του τα αντικείμενα του μοντέλου έχουν μορφή που τους επιτρέπει να αναγνωρίζονται και να αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους. Εκτελούν συγκεκριμένους κανόνες και αυτό τα κάνει ικανά να υλοποιούν μόνα τους αυτόματες διορθώσεις και κάνει εύκολη την διαδικασία για τον χρήστη στις αλλαγές αυτές.

➤ Αυτόματη παραγωγή σχεδίων

Σε αυτή την κατηγορία μπορούν να παραχθούν και εξαχθούν ακριβείς δισδιάστατα σχέδια. Όταν πραγματοποιείται κάποια αλλαγή γίνεται στο βασικό μοντέλο, έχει γρήγορη ανταπόκριση σε όλη την σειρά σχεδίων του έργου. Η διαδικασία αυτή δε θέλει τροποποίηση και άλλες ενέργειες. Η διαδικασία γίνεται αυτοματοποιημένα, και με αυτόν τον τρόπο απαλείφονται τα σφάλματα τα οποία μπορεί να δημιουργηθούν από τον άνθρωπο και μειώνει σημαντικά τον χρόνο που θα ήθελε η διαδικασία αυτή.

➤ Συνεργασία μηχανικών

Οι μηχανικοί μέσα από τα BIM και από τις ειδικότητες τους έχουν την δυνατότητα να κάνουν την συνεργασία τους πιο εύκολη. Σε σχέση με άλλες μεθόδους που απαιτούν ανταλλαγή σχεδίων, ωστόσο το BIM έχει την δυνατότητα όλοι να εργαστούν ταυτόχρονα πάνω σε ένα κοινό τρισδιάστατο μοντέλο. Η απαραίτητη προϋπόθεση είναι το λογισμικό που χρησιμοποιείται να είναι στην ίδια γλώσσα, να έχουν κοινά πρότυπα όπως τα αρχεία IFC. Έτσι μειώνεται ο συνολικός χρόνος σχεδιασμού και αποφεύγονται σφάλματα και παραλήψεις, ενώ υπάρχει η δυνατότητα να εντοπιστούν νωρίτερα τα προβλήματα και αποφευχθούν. Αυτή η λεπτομερής κατανόηση του κτηρίου μέσω της συνεχής επαφής όλων

των συμμετεχόντων στο κοινό μοντέλο έχει καλύτερη ποιότητα του παραδοτέου αποτελέσματος.

➤ **Λειτουργικότητα και βελτιστοποίηση**

Σημαντικό κομμάτι επίσης στην λειτουργία των BIM, είναι και η λειτουργικότητα των χώρων και της ποσοτικοποίησης των υλικών για την επίτευξη της. Η δυνατότητα ακριβούς απεικόνισης των χώρων επιτρέπει την καλύτερη λύση στα θέματα λειτουργικότητας. Αυτή είναι μια ιδιαίτερη δυνατότητα διότι κάποια κτήριά έχουν συγκεκριμένες απαιτήσεις που πρέπει να πληρούνται και να προβλέπονται στη διαδικασία σχεδίασης. Τα BIM επιτρέπουν να γίνεται πιο εύκολα ο έλεγχος ,μέσω του τρισδιάστατου μοντέλου και ταυτόχρονα να ποσοτικοποιούνται οι ποσότητες των υλικών ώστε να έχουμε την καλύτερη λύση.

➤ **Ακριβής προσδιορισμός κόστους**

Το κόστος κατά τον σχεδιασμό είναι ένα από το πιο σημαντικά οφέλη στην τεχνολογία των BIM. Σε όποιο στάδιο και αν βρίσκεται η μελέτη ,τα υλικά υπολογίζονται άμεσα και έτσι μπορεί εύκολα να βγει ο προϋπολογισμός όλου του έργου. Όσο το έργο αναπτύσσεται προστίθενται και άλλες λεπτομέρειες που είναι ακριβής και λεπτομερής. Αυτή η λειτουργία παρέχει καλύτερη επίβλεψη ώστε να ληφθούν καλύτερες αποφάσεις πριν την εφαρμογή του έργου. [C.Eastman,etal.,2011].

➤ **Ενεργειακή Απόδοση Κτηρίου**

Τα κλασσικά εργαλεία σχεδίασης, δεν παρείχαν την δυνατότητα στον μελετητή να πάρει αποφάσεις που αφορούσαν την ενεργειακή απόδοση του κτηρίου στα πρώτα στάδια του σχεδιασμού. Η ενεργειακή ανάλυση του κτηρίου έπρεπε να πραγματοποιείται μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας της σχεδίασης και να θεωρείται ανεξάρτητη μελέτη.

Στα BIM αυτό επιτρέπεται, δηλαδή το ενεργειακό μέλος κατασκευής με την ταυτόχρονη σχεδίαση. Αυτό έχει ως δυνατότητα την λήψη αποφάσεων από την στιγμή της σχεδίασης.

[C.Eastman,etal.,2011]

Οφέλη στο Στάδιο Κατασκευής

- Παρακολούθηση της Προόδου της κατασκευής σε πραγματικό Χρόνο.

Με την βοήθεια της 3D και 4D διάστασης του BIM, έχουμε την δυνατότητα της προσομοίωσης και της παρακολούθησης της προόδου της κατασκευής σε οποιαδήποτε φάση και αν είναι. Μέσω αυτής της διαδικασίας παρέχονται σημαντικές πληροφορίες στην κατασκευή του κτήριου συνεχώς. Είναι εφικτό να βρεθούν πιθανά σημεία που θέλουν προσοχή και στο τεχνικό κατασκευαστικό κομμάτι αλλά και στο ανθρώπινο δυναμικό. Διάφορα αντικείμενα κατασκευαστικά όπως γερανοί, σκαλωσιές κτλπ. μπορούν να πάρουν μορφή και να συνδεθούν με το χρονοδιάγραμμα του έργου. [C.Eastman,etal.,2011].

- Ανίχνευση συγκρούσεων

Με τον λειτουργία των BIM, υπάρχει η δυνατότητα να βρεθούν λάθη και παραλήψεις που οδηγούν σε σύγκρουση αντικειμένων πριν την εκτέλεση των εργασιών. Με αυτόν τον τρόπο ο υπεύθυνος του έργου και ο εργολάβος έρχονται σε επαφή και έτσι επιταχύνεται σημαντικά η διαδικασία κατασκευής, μειώνεται η δαπάνη του έργου και η αντιπαράθεση του έργου μεταξύ της ομάδας.[C.Eastman,etal.,2011]. Βάση μελετών έχει αποδειχθεί ότι τα παλιά προγράμματα σχεδιασμού δίνουν λίγες πληροφορίες δηλαδή μια ώρα για την εύρεση και διόρθωση των συγκρούσεων αυτών πάνω στο έργο μπορεί να γίνει σε δέκα ώρες για την επιδιόρθωση στην διαδικασία κατασκευής.

- Καλύτερη επικοινωνία στο εργοτάξιο

Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας ο εργολάβος έχει την δυνατότητα να χρησιμοποιεί τελευταίας τεχνολογίας μέσα στο χώρο που πραγματοποιείται το έργο. Αυτά τα μέσα δίνουν πληροφορίες για το μοντέλο BIM και λειτουργούν ως βοήθημα για την λήψη αποφάσεων στο πεδίο. Επίσης είναι σημαντικό καθώς η προβολή του τρισδιάστατου μοντέλου βοηθάει την σωστή συνεργασία μεταξύ των εργαζομένων και έτσι ξεπερνιούνται οι δυσκολίες στην συνεννόηση.

➤ Πιθανή αναπροσαρμογή μελέτης

Λόγο πολλών θεμάτων σε τεχνικά θέματα ή αποφάσεις που παίρνονται τελευταία στιγμή μπορεί να δημιουργηθούν τροποποιήσεις στην μελέτη του έργου ενώ αυτό εξελίσσεται. Με την μέθοδο του BIM και την βοήθεια του παραμετρικού σχεδιασμού οι τροποποιήσεις αυτές γίνονται πλέον αυτόματα καθώς ενημερώνουν το βασικό μοντέλο. Με αυτή την διαδικασία επιτρέπεται σε όλα τα στάδια να τροποποιηθούν αυτόματα σε μικρό χρονικό διάστημα και να δοθούν στον εργολάβο γρήγορα ώστε να συνεχιστούν οι εργασίες χωρίς καθυστερήσεις.

➤ Εφαρμογή απλής κατασκευής

Για να έχουμε επιτυχής κατασκευή και απλή είναι απαραίτητο να υπάρχει καλή συνεργασία και προσεχτικός συντονισμός των εργαζομένων από τους εργολάβους έως και τους εργάτες ώστε να το έργο να εξελίσσεται με τους απαραίτητους πόρους. Μέσα από τα BIM είναι εφικτό να γίνεται η διαχείριση των υλικών και ανθρώπινων πόρων που χρειάζονται σε κάθε κατασκευή έργου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του κόστους και την καλύτερη συνεργασία στο χώρο του έργου. [\[C.Eastman.etal.2011\]](#).

Οφέλη μετά την κατασκευή

➤ Καλύτερη δυνατή διαχείριση εγκαταστάσεων.

Μέσω της τεχνολογίας BIM πριν το στάδιο του σχεδιασμού και της κατασκευής το έργο που έχει πραγματοποιηθεί περιέχει αρκετές πληροφορίες που συνδέονται με τα συστήματα και τις εγκαταστάσεις που περιέχει το έργο. Οι πληροφορίες αυτές αξιοποιούνται από τον τελικό χρήστη, με σκοπό την λήψη αποφάσεων για την λειτουργία της συντήρησης όταν το κτήριο θα βρίσκεται σε πλήρη λειτουργία.

➤ Τοποθέτηση συστημάτων παρακολούθησης λειτουργίας.

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω η κατασκευή ενός κτηρίου παρέχει αρκετές πληροφορίες με την βοήθεια των BIM. Με τον τρόπο αυτό έχουμε την δυνατότητα να γνωρίζουμε ακριβώς σε πραγματικό χρόνο τα δεδομένα για την σωστή λειτουργία των συστημάτων και των εγκαταστάσεων. Βοηθητικά επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι αισθητήρες και τα συστήματά ελέγχου. Με αυτήν την διαδικασία επιτυγχάνεται πλήρως η εποπτεία σε όλο τον κύκλο του έργου και της κατασκευής και προβλέπονται μελλοντικά προβλήματα.

[\[C.Eastman.etal.2011\]](#).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Γεωμετρικοί Μέθοδοι Τεκμηρίωσης Μνημείων

Η Προστασία των μνημείων θεσπίστηκε τον 20^ο αιώνα από τις διεθνείς συμβάσεις όπως χάρτα της Βενετίας άρθρο 16 του 1964. Συνεπώς με την αποτύπωση των μνημείων συλλέγονται πληροφορίες που αφορούν την εξέλιξη ενός ιστορικού τόπου ή μνημείου, την ιστορία του και την πορεία του κατά την πάροδο του χρόνου. Τα αποτελέσματα στα σχέδια απεικονίζουν κυρίως τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο, σε αυτή την περίοδο υλοποιούνται πρακτικά με τη σύνταξη οι κατόψεις, όψεις και οι τομές του μνημείου. Στα πρώτα στάδια της αποτύπωσης, οι εργασίες στους αρχαιολογικούς χώρους περιορίζονται σε μια σύντομη αποτύπωση του χώρου όπου γίνεται με την χρήση απλών μεθόδων χωρίς πολλές λεπτομέρειες.

Όσο με το πέρασμα του χρόνου δημιουργήθηκε η ανάγκη για την καταγραφή του υπάρχοντος με ένα πιο πραγματικό μοντέλο τρισδιάστατου σχεδίου. Αυτό πραγματοποιήθηκε με την εξέλιξη κυρίως της τεχνολογίας στον τομέα των τεχνικών και των οργάνων της φωτογραμμετρίας που είχε ως αποτέλεσμα την ακρίβεια και την ταχύτερη συλλογή μεθόδων και επεξεργασίας δεδομένων. Παρακάτω θα δούμε μερικές γενικές τεχνικές που γίνονται κατά την εφαρμογή μεθόδων τεκμηρίωσης των μνημείων, όπως και ο εξοπλισμός του.

Μέθοδοι Τεκμηρίωσης

Όταν γίνεται η επιλογή της μεθόδου τεκμηρίωσης ενός ιστορικού μνημείου-χώρου, σημαντικό ρόλο έχει η ακρίβεια, η κλίμακα προβολής, η μορφή-όψη του μνημείου και ο τύπος των προϊόντων ανάλογα την περίπτωση και την σημαντικότητα, αλλά και των επεμβάσεων που πρόκειται να γίνουν. Σημαντικός παράγοντας για την γεωμετρική τεκμηρίωση κάθε μνημείου είναι η μέθοδος συλλογής των δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν. Πιο κάτω αναφέρονται οι πιο σημαντικοί και ενδεδειγμένοι τρόποι δημιουργίας ψηφιακών αρχείων αρχαιολογικών και αρχιτεκτονικών μνημείων, όπως επίσης αναφέρονται και οι παραδοσιακοί μέθοδοι που χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με αυτοματοποιούμενες μεθόδους.

Οι κυριότεροι μέθοδοι συλλογής δεδομένων που χρησιμοποιούνται για αποτύπωση και ψηφιοποίηση ενός μνημείου είναι :

- Τοπογραφική

- Τοπομετρική
- Φωτογραφική
- Σάρωση με τρισδιάστατους επίγειους σαρωτές Laser

Όλοι οι μέθοδοι αυτοί αναλύονται παρακάτω με βάση τις τεχνικές, την χρησιμότητα, τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που έχει κάθε μέθοδος. Επιπρόσθετα, έχει παρατηρηθεί ότι ο συνδυασμός των παραπάνω τεχνικών μεθόδων αποτύπωσης φέρει ένα αξιόπιστο αποτέλεσμα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα εξειδικευμένες εργασίες όπου ο συνδυασμός των μεθόδων να έχει την δυνατότητα να καλύψει ολοκληρωμένα το τελικό αποτέλεσμα.

3.1 Τοπογραφική Μέθοδος Αποτύπωση

Η τοπογραφία ορίζεται ως η επιστήμη που προσδιορίζει το σχήμα, την θέση και το μέγεθος του κάθε αντικειμένου πάνω στη επιφάνεια της γης και θεωρείται επίπεδο. Ο ρόλος της τοπογραφίας είναι η τήρηση της γεωμετρικής αρμονίας καθολη την διάρκεια της κατασκευής, και συλλογής των δεδομένων για τον ορθό σχεδιασμό των έργων, ώστε να διασφαλίζεται η ποιητικότητα και ποσοτικότητα ελέγχου κατά την διάρκεια της κατασκευής και μετά αυτής.

Η συλλογή των δεδομένων τοπογραφικών πληροφοριών γίνεται με :

- Άμεσες μετρήσεις μηκών, γωνιών του αντικειμένου στο χώρο οι οποίες γίνονται και σε εικόνες.
- Προσδιορίζονται τρισδιάστατες συντεταγμένες των σημείων στο αντικείμενο σε ενιαίο σύστημα αναφοράς.
- Παρέχουν υψηλή, ενιαία και προκαθορισμένη ακρίβεια.
- Έχουν προσαρμοστικότητα ευελιξία, ταχύτητα, ασφάλεια και αποδοτικότητα.
- Είναι η πιο οικονομική μέθοδος διότι μπορεί να ανταποκριθώ σε κάθε προδιαγραφή με το ελάχιστο δυνατό κόστος και την μέγιστη ωφέλεια.

Η τοπογραφική ή αλλιώς ταχυμετρική μέθοδος εφαρμόζεται για μεγάλης έκτασης κτίρια και σύνολα κτιρίων, η μέθοδος αυτή βασίζεται στη χρήση των κλασικών τοπογραφικών οργάνων, και στην εξέλιξη τους. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι οι Γεωδαιτικοί σταθμοί με δυνατότητα μετρήσεων σε οριζόντιες και κατακόρυφες γωνίες, μηκόμετρησεις τριγώνων, διαγωνίων πλευρών αποκλίσεων και κεκλιμένων αποστάσεων. Οι συντεταγμένες των σημείων προσδιορίζονται με πολικές συντεταγμένες ή με εμπροσθοτομία στο χώρο. Τα

πλεονεκτήματα της διαδικασίας αυτής για την αποτύπωση των μνημείων είναι η δυνατότητα μέτρησης των σημείων με ακρίβεια και με αυτόματη καταγραφή αυτών με χαμηλό κόστος στον εξοπλισμό. Επιπρόσθετα η αποτύπωση μπορεί να είναι κατά περίπτωση αναγκαία, εξαρτώμενη από το πολυγωνομετρικό δίκτυο, ωστόσο υπάρχουν περιπτώσεις που αναφέρονται και σε αυθαίρετο σύστημα συντεταγμένων. Στο αυθαίρετο αυτό σύστημα συντεταγμένων ορίζεται από αυθαίρετη διεύθυνση ενός άξονα συντεταγμένων, η καταγραφή εδώ είναι αρκετά δύσκολη για ένα τρισδιάστατου αντικείμενο.

Η προϋπόθεση για να γίνει σωστά η αποτύπωση είναι η ίδρυση τριγωνομετρικού ή πολυγωνομετρικού δικτύου, αφού θα υπάρχει η δυνατότητα συνδεθούν οι επιμέρους χώροι αλλά και οι καταστάσεις που επικρατούν. Αυτό γίνεται με την συλλογή των στοιχείων στο πεδίο από επίγειες μετρήσεις και με εκτέλεση των απαραίτητων υπολογισμών. Για αρχή, οι επίγειες μετρήσεις γίνονται στο πλαίσιο των γεωδαιτικών εργασιών και είναι οι μετρήσεις που αφορούν γωνιακά μεγέθη δηλαδή οριζόντιες και κατακόρυφες γωνίες – διευθύνσεις, μετρήσεις μηκών και μετρήσεις υψομετρικών διαφορών. Όλα αυτά πραγματοποιούνται πάντα με κατάλληλους γεωδαιτικούς εξοπλισμούς, με γωνιακά μεγέθη και ολοκληρωμένους σταθμούς (totalstation), τα μήκη μετριοούνται με μετροταινίες, αποστασιόμετρα, γεωδαιτικούς σταθμούς, και με γεωμετρικές και φωτογραφικές πληροφορίες.



Εικόνα 5 : Total station (Πηγή: <https://www.ruide.xyz/totalstation>).

3.2 Τοπομετρική μέθοδος

Ως τοπομετρική μέθοδος αποτύπωσης έχει ως βάση τις μηκομετρήσεις τριγώνων, διαγώνιων πλευρών, την απόκλιση των υψομετρικών διαφορών χρησιμοποιώντας νήμα στάθμης, αλφαδολάστιχο, και η μετροταινία. Για αρχή δημιουργείται το σκαρίφημα στο οποίο γίνεται η καταγραφή μετρήσεων και έπειτα γίνεται μεταφορά των χαρακτηριστικών του μνημείου σε ψηφιακή μορφή όπως π.χ autocad το οποίο λειτουργεί με χειροκίνητη εισαγωγή δεδομένων. Ως σύστημα αναφοράς εδώ ορίζεται σε ένα αυθαίρετο σύστημα συντεταγμένων σε αυθαίρετη διεύθυνση ενός άξονα συντεταγμένων, για αυτό και η καταγραφή τους τρισδιάστατου αντικειμένου εδώ είναι εξαιρετικά δύσκολη. Κύριο πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι η μέτρηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών ενός χώρου με το χαμηλότερο κόστος εξοπλισμού. Στην εφαρμογή αυτή χρησιμοποιείται μετροταινία, ωστόσο για την πλήρη καταγραφή των μετρήσεων απαιτείται να γίνεται σε οριζόντιο επίπεδο ώστε να είναι το σχέδιο το τελικό σε κάτοψη.

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας υπάρχουν σήμερα συσκευές μέτρησης των αποστάσεων και γωνιών κλίσεων με την ικανότητα οριζοντίωσης κάνοντας χρήση ενσωματωμένου κλισίμετρου ώστε να φανούν τα χαρακτηριστικά σημεία κάτοψης του χώρου. Το ηλεκτρονικό αποστασιόμετρο χρησιμοποιείται στο σημείο αρχής της μετρούμενης απόστασης δηλαδή στο σημείο του παρατηρητή και η δέσμη laser εκπέμπεται από το πομπό του και ανακλάται από το σημείο μέχρι και την απόσταση από το σημείο που θέλουμε να μετρηθεί. Το αποστασιόμετρο είναι μικρό σε μέγεθος και εύκολο στην λειτουργία αφού μπορεί να γίνει από ένα μόνο άτομο. Οι μετρήσεις αυτές οδηγούν στην καταγραφή των αποστάσεων που ορίζουν τις διαστάσεις του χώρου ώστε να δημιουργηθεί το τρισδιάστατο μοντέλο. Σαν μειονέκτημα η μέθοδος αυτή έχει αρκετές φορές μελετητές που δεν μπορούν να συνεχίσουν τις μετρήσεις εύκολα στα διάφορα επίπεδα και χώρους. Με την τοπομετρική μέθοδο σαν αποτελέσματα μπορούν να υπάρχουν μεγάλα σφάλματα στο προσδιορισμό των συντεταγμένων των σημείων που μεταδίδονται από σημείο σε σημείο. Ένα άλλο μειονέκτημα είναι η αδυναμία σύνδεσης των επιμέρους χώρων του μνημείου, αλλά και ο μεγάλος χρόνος παραμονής στην ύπαιθρο για την εκτέλεση των μετρήσεων. Σαν αποτέλεσμα της λειτουργίας της είναι φανερό ότι η μέθοδος δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αποτυπώσει ένα πολυσύνθετο μνημείο, μπορεί μόνο να αποτυπώσει ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα μνημείου μικρών διαστάσεων, με επίπεδες όψεις και επιφάνειες.

Όμως σαν μέθοδος η τοπομετρική είναι χρήσιμη και σημαντική γιατί από τις μετρήσεις αυτές γίνεται ο τελικός έλεγχος ή ακόμη συμπληρώνονται ορισμένα στοιχεία στην μελέτη τα οποία ήταν ελλιπής.

3.3 Φωτογραμμετρική Μέθοδος Αποτύπωση

Η φωτογραμμετρία είναι επιστήμη καταγραφής και τεκμηρίωσης των γεωμετρικών, ποιοτικών χαρακτηριστικών αντικειμένων του πραγματικού κόσμου. [Πατίας Π.1991]. Η φωτογραμμετρία πέρα από επιστήμη είναι τέχνη, και τεχνολογία για την απόκτηση πληροφορίας σε σχέση με τα φυσικά αντικείμενα και το περιβάλλον αυτό γίνεται μέσα από τις διαδικασίες καταγραφής, μέτρησης και ερμηνείας φωτογραφικών εικόνων. Υπάρχει η δυνατότητα γεωμετρικής τεκμηρίωσης των αντικειμένων με τη χρήση φωτογραφικών μεθόδων οι οποίες κατατάσσουν τον Τοπογράφο Μηχανικό ως επιστήμονα που συμβάλλει στην αποτύπωση και τεκμηρίωση των μνημείων με στόχο να συμβάλει στην προστασία, συντήρηση και αποκατάσταση τους. Ως αναλογική φωτογραμμετρία ορίζεται η προσέγγιση και η απλοποίηση της πραγματικότητας καθώς και η μοντελοποίηση της διαδικασίας καταγραφής της εικόνας όπου γίνεται με οπτικομηχανικά μέσα. Η αναλυτική ωστόσο φωτογραμμετρία καθορίζεται από ένα σύνολο μεθόδων της φωτογραμμετρίας η οποία βασίζεται κυρίως στην χρήση αριθμητικών υπολογισμών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η μοντελοποίηση της διαδικασίας καταγραφής της εικόνας που γίνεται με εξισώσεις. Σαν χαρακτηριστικά της διαδικασίας αυτής είναι η αύξηση ακρίβειας στην οποία περιγράφεται ο πραγματικός χρόνος και το κόστος καθώς και η επεξεργασία καταγραφών από διαφορετικούς δέκτες.

Κύρια σημεία της αναλυτικής φωτογραμμετρίας είναι η ψηφιακή επεξεργασία εικόνας, όραση των υπολογιστών, ψηφιακή εικόνα, αυτοματισμός στη διαδικασία ηλεκτρονικού υπολογιστή με τον χειριστή αλλά και τα ψηφιακά δεδομένα.

Η φωτογραμμετρία σαν επιστήμη έχει αναπτυχθεί σημαντικά. Πλέον μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την δημιουργία χαρτών της γήινης επιφάνειας, της αρχιτεκτονικής αλλά και για την δημιουργία σχεδίων ιστορικών κτηρίων και μνημείων, καθώς και αρχαιολογικών ανασκαφών όπως για παράδειγμα τοπογραφία, γεωδαισία και χαρτογραφία. Σήμερα οι μελετητές έχουν την δυνατότητα να ανταποκριθούν και να κατανοήσουν τις σύγχρονες και εργασίες που τους αφορούν. Οι μέθοδοι και οι ενέργειες πλέον έχουν γίνει

προσιτές και εύκολες με την εξέλιξη της τεχνολογίας.

Επιπρόσθετα, η ανάπτυξη της πληροφορικής και των αλγορίθμων σε σχέση με την ψηφιακή επανάσταση και τις ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές, επέτρεψαν την αυτοματοποίηση δύσκολων και πολύπλοκων διαδικασιών για τον Τοπογράφο Μηχανικό. Σαν αποτέλεσμα αυτό έχει την δυνατότητα χρήσης ενός φθηνότερου και ελαφρύτερου εξοπλισμού ο οποίος αντιμετωπίζει καταστάσεις που παλαιότερα δεν θα μπορούσε καθώς ήταν δύσκολες, χρονοβόρες και με μεγάλο κόστος. Θεωρείται σημαντική μέθοδος καθώς είναι γρήγορη και με ακρίβεια. Πριν από κάθε διαδικασία, απαραίτητο είναι να υπάρχει η καλή κατανόηση των μεθόδων και της θεωρητικής γνώσης, αλλά και η εξασφάλιση απαραίτητων συνθηκών ώστε να μπορούν να εφαρμοστούν αξιόπιστα τα εργαλεία που μας δίνονται.

Η μέθοδος της φωτογραμμετρίας είναι κατάλληλη σε περιπτώσεις πολύπλοκων αντικειμένων όταν έχουμε αρκετές πληροφορίες και λεπτομέρειες που αποτυπώνονται στις ψηφιακές εικόνες. Χρησιμοποιείται συγκεκριμένα για αποτυπώσεις μνημείων που έχουν μεγάλη κλίμακα και μπορεί να διατηρήσει την ακρίβεια, την πληρότητα και το ποσό της πληροφορίας. Εφαρμόζεται όταν διατίθεται αρκετός χώρος μπροστά ή πάνω από το μνημείο-κτήριο. Συνιστάται επίσης όταν υπάρχει δυσκολία στην προσπέλαση των λεπτομερειών του μνημείου ή δεν είναι δυνατή η άμεση επαφή με το αντικείμενο μελέτης. Επίσης είναι χρήσιμη για να χρησιμοποιείται στην διαχρονική παρακολούθηση των μνημείων ή όταν είναι απαραίτητο η συστηματική καταγραφή των φάσεων της εξέλιξης σε εργασίες που αφορούν την αναστήλωση και την ανασκαφή. Τα αποτελέσματα είναι άμεσα και με την χρήση στεροσκοπικών μεθόδων είναι δυνατό να προβληθεί το μοντέλο του μνημείου-κτηρίου τρισδιάστατα. Κύριο χαρακτηριστικό που μας δίνει η φωτογραμμετρική αποτύπωση είναι ένα ενιαίο σύνολο του αντικειμένου από την τμηματική και σημειακή διακριτοποίηση. Το κόστος της συλλογής της μεθόδου αυτής είναι οικονομικό ενώ η επεξεργασία και η απόδοση είναι ακριβή.

Για το γεωγραφικό υπόβαθρο το οποίο είναι απαραίτητο παρέχετε ο συνδυασμός των φωτογραμμετρικών με τις τοπογραφικές μεθόδους. Ένα άλλο βασικό παράγωγο της μεθόδου είναι η ορθοφωτογραφία και η αναγωγή εικόνων που τα προϊόντα τους μπορεί να είναι και γραμμικά (π.χ ψηφιοποίηση), εικονιστικά ή τρισδιάστατα μοντέλα. Όλα τα χαρακτηριστικά και τα ζητούμενα του αντικειμένου είναι εξαρτημένα από την κατάλληλη επιλογή των φωτογραμμετρικών μεθόδων. Η μέθοδος αυτή της ανάγωγης αποδίδει επίπεδα αντικείμενα, ενώ με την μέθοδο της στερεοαπόδοσης αποδίδονται τα μη επίπεδα ή με τα ανάγλυφα

στοιχεία αντικειμένων.

Ο αναγκαίος εξοπλισμός των φωτογραφικών τεχνικών για να γίνει η ψηφιοποίηση μνημείων-αντικειμένων είναι τόσο οι φωτογραφικές μηχανές όσο και εξειδικευμένα υπολογιστικά συστήματα που ονομάζονται Ψηφιακοί Φωτογραφικοί Σταθμοί, αλλά και οι εφαρμογές λογισμικού με δυνατότητα επεξεργασίας της εικόνας και δημιουργίας τρισδιάστατων μοντέλων ή δημιουργίας ανοιγμένων εικόνων από τα προγράμματα ψηφιακής αναγωγής.



Εικόνα 5 : Φωτογραφική Μηχανή

➤ Ανάγωση με προβολικό μετασχηματισμό

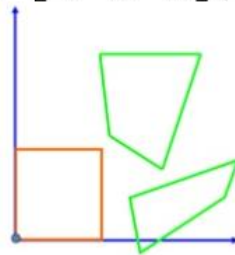
Η φωτογραφική αναγωγή με την χρήση του προβολικού μετασχηματισμού γίνεται για την παραγωγή ορθοφωτογραφίας με μόνο εικονική διαδικασία, δηλαδή μετασχηματίζεται η κεντρική προβολή σε ορθή της φωτογραφίας. Βασική προϋπόθεση για να παραχθεί η ορθοφωτογραφία χρειάζεται το αντικείμενο που μας ενδιαφέρει να βρίσκεται σε επίπεδο, αντίθετα πρέπει να υπάρχει και το ψηφιακό μοντέλο της επιφάνειας ή τα γεωμετρικά σχήματα του. Όταν γίνεται η λήψη της φωτογραφίας χάνεται η Τρίτη διάσταση αφού η τρισδιάστατη πραγματικότητα μπορεί να καταγράψει σε ένα επίπεδο. Με την λήψη μιας μονοεικονικής φωτογραφίας δεν γίνεται να υπολογιστεί η Τρίτη διάσταση του αντικειμένου, εκτός

και αν το αντικείμενο αυτό είναι σε ένα επίπεδο. Σε αυτή την περίπτωση εφαρμόζεται αναγωγή στην διδιάστατη εικόνα. Σαν διαδικασία η αναγωγή μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς τα στοιχεία του εσωτερικού προσανατολισμού αφού πρόκειται για σχέσεις μεταξύ επιπέδων που εφαρμόζεται ο προβολικός μετασχηματισμός.

Για να υπολογιστεί ο προβολικός μετασχηματισμός χρησιμοποιούνται ομολογίες τεσσάρων τουλάχιστον σημείων της εικόνας με τέσσερα γνωστά σημεία επιπέδου. Για κάθε ζεύγος ομόλογων σημείων χρειάζονται κυρίως δύο εξισώσεις όπως ακολουθούν παρακάτω.

Projective transformation

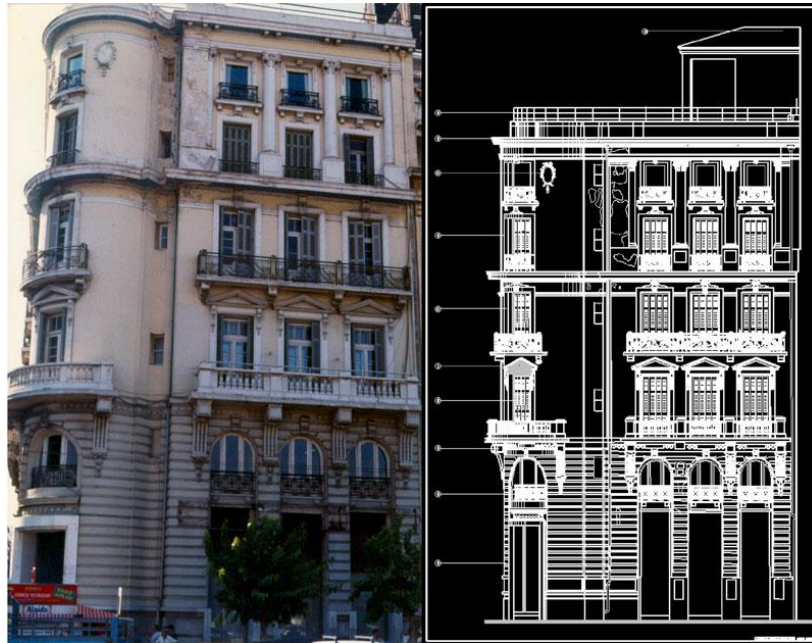
$$c \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$$



Properties Also referred to as homography matrix

- Cross ratio preserved
- Though it has 9 parameters, it has **8** degrees of freedom, since only the ratio is important in the homogeneous coordinates

Εικόνα 6: Προβολικός Μετασχηματισμός (πηγή : <https://science.fandom.com/el/wiki.>)



Εικόνα 7 : Παράδειγμα επίγειας φωτογραμμετρίας

➤ Δεικονική απόδοση και ορθοφωτογραφία

Μια διαφορετική αναγωγή αποτελεί και την μέθοδο που παράγεται από την ορθή προβολή αντικειμένων με έντονο ανάγλυφο. Για την αποκατάσταση του εσωτερικού και εξωτερικού προσανατολισμού εφαρμόζεται η δεικονική απόδοση για τον προσδιορισμό των γεωδαιτικών συντεταγμένων στο κάθε σημείο της φωτογραφίας και εφαρμόζεται η επίλυση της εμπροσθοτομίας. Τα στοιχεία του εσωτερικού προσανατολισμού είναι η σταθερά της μηχανής (c), οι συντεταγμένες (x_0, y_0) του πρωτεύοντος σημείου (H) και οι τιμές της ακτινικής διαστρόφης (Δr), η οποία υπολογίζεται με το $\Delta r = k_0r + k_1r^3 + k_2r^5$. Είναι στοιχεία του εσωτερικού προσανατολισμού της φωτογραφικής μηχανής και καθορίζουν το μοντέλο της κεντρικής προβολής, που περιγράφει την συγκεκριμένη φωτογραφική μηχανή και προσδιορίζονται με την βαθμονόμηση της μηχανής. [Πηγή: Πατιάς Π, 1991].

Ο εξωτερικός προσανατολισμός αποκαθίσταται με τον προσδιορισμό της θέσης και της λήψης φωτογραφίας. Η θέση του κέντρου προβολής και οι στροφές ω , φ , κ των αξόνων του επίγειου συστήματος, ώστε να συμπέσουν με τους άξονες του συστήματος συντεταγμένων της φωτογραφικής μηχανής, αποτελούν στοιχεία της θέσης και του προσανατολισμού της φωτογραφικής λήψης στο επίγειο σύστημα συντεταγμένων. Ο εξωτερικός προσανατολισμός ονομάζεται ο προσδιορισμός των έξι αυτών παραμέτρων και περιγράφεται από την συνθήκη της συγγραμμικότητας. Η συνθήκη της συγγραμμικότητας περιγράφεται από τις πιο κάτω σχέσεις. [Mikhail et al. 2001].

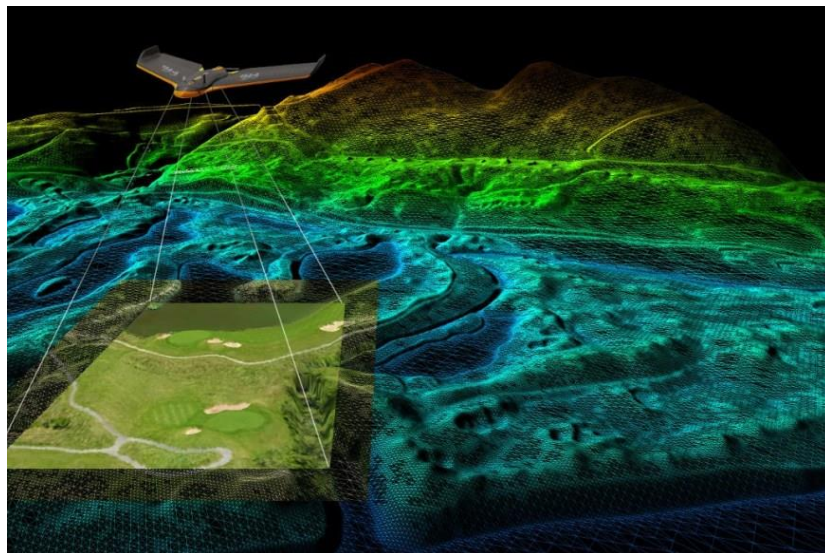
Η παραπάνω συνθήκη συγγραμμικότητας συνδέει τις φωτογραφικές συντεταγμένες x, y , του σημείου της εικόνας στο φωτογραφικό επίπεδο, με τις επίγειες συντεταγμένες του X, Y, Z μέσω των παραμέτρων της εσωτερικής γεωμετρίας της φωτογραφικής c, x_0, y_0 , των συντεταγμένων X_0, Y_0, Z_0 της φωτογραφικής στο επίγειο σύστημα συντεταγμένων και γωνιών στροφής ω, φ, κ ανάμεσα σε αυτά τα δύο τρισδιάστατα συστήματα συντεταγμένων. Άρα για τον υπολογισμό των γεωδαιτικών συντεταγμένων που βρίσκονται περιμετρικά της εικόνας. Κυρίως επιλέγεται ο σχετικός και απόλυτος προσανατολισμός όταν δυο φωτογραφίες αποτελούνται από στερεοζευγός, παρά εξωτερικός προσανατολισμός. Με την μέθοδο αυτή οι δυο εικόνες σχετίζονται, αντιθέτως αν με δύο ανεξάρτητους προσανατολισμούς, αν και θα χρησιμοποιηθούν τα ίδια φωτοσταθερά δεν μπορεί να απαλειφθεί η Y -παράλλαξη και οι δύο εικόνες τελικά δεν συσχετίζονται. Στοχεύοντας στα ομόλογα σημεία στις δύο φωτογραφίες έχει αποτέλεσμα την αποκατάσταση του σχήματος του αντικείμενου που απεικονίζεται κατά τον σχετικό προσανατολισμό. Όμως κατά τον απόλυτο προσανατολισμό γνωρίζουμε τον προσανατολισμό και μέγεθος του αντικείμενου. Αυτό γίνεται με τρεις μεταθέσεις, τρεις στροφές και μια κλίμακα. Άρα για την αποκατάσταση του, απαιτούνται τουλάχιστον δύο πλήρη γεωδαιτικά και ένα υψομετρικό σημείο. Μπορεί να προσδιοριστεί η γεωδαιτική θέση κάθε σημείου με την επίλυση της εμπροσθοτομίας αφού με την αποκατάσταση των προσανατολισμών (εσωτερικός, σχετικός και απόλυτος) οι δύο δέσμες έχουν την ακριβή θέση κατά τη στιγμή της λήψης. Η συλλογή του ψηφιακού μοντέλου της επιφάνειας στο τμήμα του στερεοζεύγους γίνεται με τη μέθοδο της διεικονικής απεικόνισης καθώς και παραγωγή ορθοφωτογραφίας ή γραμμική απόδοση. Ακολούθως η διαδικασία παραγωγής της ορθοφωτογραφίας (διαφορική αναγωγή) υλοποιείται με την ακόλουθη σειρά:

- Από την τελική ακρίβεια του προϊόντος, καθορίζεται το μέγεθος του εικονοστοιχείου που έχει η τελική εικόνα.
- Εφαρμόζεται η συνθήκη συγγραμμικότητας με στοιχεία εισόδου τα στοιχεία του εσωτερικού προσανατολισμού (οι συντεταγμένες X, Y του εικονοστοιχείου της ορθοφωτογραφίας και Z) με αυτό προκύπτουν οι εικονοσυντεταγμένες του φατνίου της αρχικής εικόνας που αντιστοιχεί στο φατνίο της ορθοφωτογραφίας.
- Πραγματοποιείται ο αντίστροφος αφινικός μετασχηματισμός για να καταλήξει σε ένα φατνίο στην αρχική εικόνα ψηφιακή εικόνα.

- Υπολογίζεται η τιμή του χρώματος μέσω κάποιας μεθόδου παρεμβολής. Η διαδικασία παραγωγής της ορθοφωτογραφίας φαίνεται διαγραμματικά στην πιο κάτω εικόνα. [Πηγή: Πατιάς Π, 1991].

3.4 Εναέρια φωτογραμμετρία με τη χρήση μη επανδρωμένου αεροσκάφους

Η λειτουργία ενός μη επανδρωμένου αεροσκάφους για την λήψη αεροφωτογραφιών μπορούν να αναδημιουργηθούν και σε τρισδιάστατο μοντέλο. Η διαδικασία είναι ίδια με την επίγεια αλλά εδώ έχουμε σαν αποτέλεσμα πιο ποιοτικά αποτελέσματα καθώς είναι μια πιο οργανωμένη μέθοδος καθώς χρησιμοποιεί προγράμματα που είναι προκαθορισμένα. Σαν πλεονέκτημα η λειτουργία αυτή μπορεί να έχει πρόσβαση σε δύσβατα και σημεία δύσκολα στη πρόσβαση τα οποία χρειάζονται καταγραφή.



Εικόνα 8: Παράδειγμα εναέριας φωτογραμμετρίας. [πηγή:<https://planosla.gr/service/efarmoges-fotogrammetrias/>].

3.5 Σάρωση με Τρισδιάστατους Επίγειους Σαρωτές Laser

Τα πρώτα λέιζερ σάρωσης εφαρμοστήκαν στις αρχές του 21^{ου} συστηματικά για την πολιτιστική κληρονομία. Ωστόσο με το πέρασμα των χρόνων δημιουργήθηκαν όργανα που έχουν την δυνατότητα να μετρούν και να κατασκευάζουν τον τρισδιάστατο χώρο. Ακόμα έχουν και την δυνατότητα να απεικονίζουν τα αντικείμενα με διάφορες μορφές και διάφορα μεγέθη με έναν γρήγορο και οικονομικό τρόπο. Ειδικά καθιστά ένα τεράστιο πλεονέκτημα τους ο μειωμένος χρόνος εργασίας στο πεδίο αλλά και στο γραφείο συγκριτικά με το λεπτομερές αποτέλεσμα. Παρά όλα αυτά για την απόκτηση του απαραίτητου εξοπλισμού το

κόστος είναι αρκετά υψηλό. Τα όργανα που χρησιμοποιούνται βασίζονται κυρίως στην τεχνολογία και είναι γνωστά ως Τρισδιάστατοι Σαρωτές Laser (3D laser scanners).

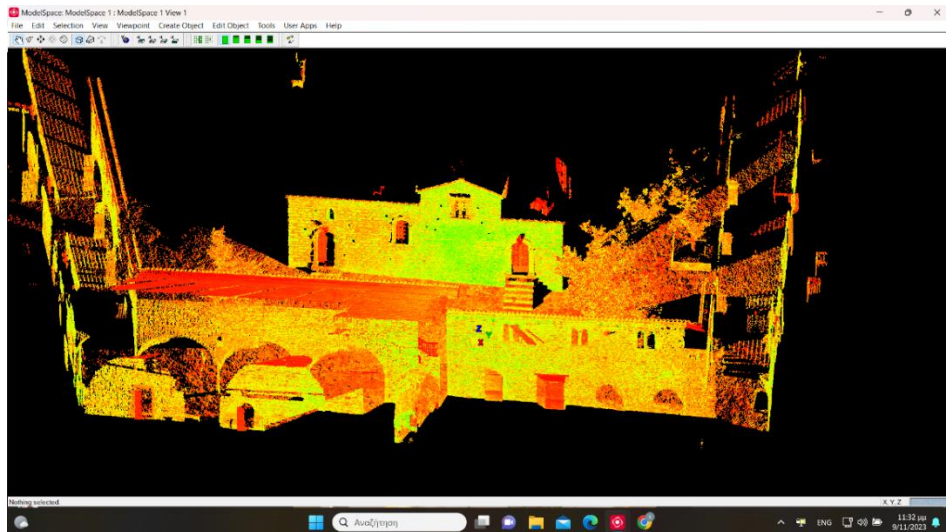
Η δημιουργία του 3D Laser Scanner δημιουργήθηκε για την μελέτη αρχαιολογίας και της αρχιτεκτονικής με την τρισδιάστατη χρήση σάρωσης λέιζερ. Ωστόσο με την εξέλιξη της τεχνολογίας το λέιζερ 3D scanner αναπτύσσεται όσον αφορά την ταχύτητα, την ανάλυση, την κινητικότητα και η μετακίνηση των σύγχρονων συστημάτων σάρωσης. Το Laser Scanner είναι επίσης το σύστημα που μπορεί να μετρά απόσταση με τον συνδυασμό του κάτοπτρου, για την έκτροπη της δέσμης του laser και την κατεύθυνση προς το αντικείμενο. Γίνεται δυνατή αποτύπωση των σημείων σε 360 μοίρες όπου βασίζεται σε ένα συγκεκριμένο σύστημα που αποτελείται από μια περιστρεφόμενη βάση κατά τον οριζόντιο άξονα.

Ένας επίγειος σαρωτής δημιουργεί ένα νέφος σημείων τα οποία περιγράφουν τις επιφάνειες αντικειμένων. Τα κυρία κριτήρια έχουν καθοριστικό ρολό στην διαδικασία λήψης δεδομένων και αναφέρονται παρακάτω :

- Ταχύτητα καταγραφής δεδομένων
- Οπτικό εύρος
- Χωρική ανάλυση
- Βάρος και διαστάσεις συσκευής
- Χρόνος λειτουργίας
- Ακρίβεια του συστήματος
- Φιλικό προς τον χρήστη
- Συνδυασμός με άλλες συσκευές (π.χ GIS, φωτογραφικές μηχανές κ.α).

Επιπρόσθετα, συνδυάζοντας τον γεωδαιτικό σταθμό με τον επίγειο σαρωτή λέιζερ μπορούν να δημιουργηθούν και τα παρακάτω σφάλματα :

- Σφάλμα οριζόντιου άξονα
- Σφάλμα εκκεντροτήτας
- Σφάλμα ευθυγράμμισης αξόνων
- Γωνία πρόσπτωσης της ακτινοβολίας και υλικού κατασκευής της επιφάνειας.



Εικόνα 9: Σάρωση τρισδιάστατου Σαρωτή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Scan to BIM-HBIM

4.1 Scan to BIM-HBIM

Στην σημερινή εποχή προσπαθούμε να αναλύσουμε τα συστήματα Πληροφοριακής Μοντελοποίησης δηλαδή τα συστήματα για την δημιουργία μοντέλων BIM. Αρχικά σημαντικό είναι να γνωρίζουμε την προέλευση τους πχ. CAD (Computer Aided Design). Όλα τα συστήματα αυτά δημιουργούν ψηφιακά αρχεία με διάφορες παραμέτρους δηλαδή γραμμές συνδεδεμένες μεταξύ τους με τύπους, διανύσματα κτλπ. Όσο εξελίσσονται τα συστήματα αυτά ωστόσο ολοένα και περισσότερες πληροφορίες θα προστίθενται. Η εξέλιξη του CAD σε συνδυασμό με την αυξημένη χρήση χρηστών έχει πλέον αρκετό ενδιαφέρον στα τρισδιάστατα μοντέλα με αποτέλεσμα να παράγεται ένα σύστημα BIM το οποίο είναι ικανό να υποστηρίξει ένα μεγάλο σύνολο δεδομένων τα οποία ενσωματώνονται το ένα με το άλλο και έχουμε δισδιάστατα και τρισδιάστατα μοντέλα [Eastman 2011]. Η Μοντελοποίηση Πληροφοριών Κτιρίου (BIM) είναι η διαδικασία για την εφαρμογή πληροφοριών και τεχνολογίας στην οικοδομική βιομηχανία όπως:

- Χρήση δεδομένων σάρωσης λέιζερ για τη λήψη ενός δομημένου περιβάλλοντος, επιτρέπει ταχύτερα περισσότερα ακριβής δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου BIM. Ιδανικό για έργα ανακαίνισης ή ρετρό τοποθέτησης, σάρωση τόσο εξωτερικών όσο και

εσωτερικών εκδόσεων για μια τρισδιάστατη έρευνα υψηλής ακρίβειας από την οποία δημιουργείται το ευφύες μοντέλο.

➤ Η εφαρμογή πληροφοριών κτιρίου

Οι λύσεις μοντελοποίησης έχουν ως αποτέλεσμα υψηλότερη ποιότητα εργασίας, μεγαλύτερη ταχύτητα και παραγωγικότητα και χαμηλότερο κόστος για την οικοδομική βιομηχανία επαγγελματικού σχεδιασμού, την κατασκευή, και λειτουργία των κτιρίων.

ΟΦΕΛΗ

- Βελτιωμένη επικοινωνία, συνεργασία & διαφάνεια
- Χαμηλότερο κόστος κατασκευής
- Αξιόπιστα στα δεδομένα ελεγμένης ποιότητας (μοντέλο ενάντια στη σάρωση)
- Ταχύτερη λήψη αποφάσεων, υλοποίηση των τροποποιήσεων του έργου
- Λιγότερο χρόνος, χαμένα δεδομένα, επανεργασία, οικοδομικές συγκρούσεις
- Λιγότερα λάθη & δαπανηρά λάθη, σχέδιο πρακτικό
- Σταδιακή σάρωση & μοντελοποίηση τμημάτων του έργου όταν και εάν αν απαιτείται
- Καλύτερη βιωσιμότητα, χρησιμοποιώντας το BIM σε όλη τη διάρκεια της ζωής του κτιρίου.
- «What if» – σχέδια και ακολουθίες μπορούν να είναι βελτιστοποιημένα εικονικά.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

- Σύννεφο σημείου σάρωσης λείζερ 3D
- Δεδομένα Leica Tru View – πρόσβαση μέσω web πρόγραμμα περιήγησης
- Τρισδιάστατο έξυπνο μοντέλο BIM
- Απεικονίσεις και διασκέψεις

- Τοπογραφική αποτύπωση της γύρω περιοχής
- Δισδιάστατες κατόψεις, όψεις & τομές (από μοντέλο BIM)
- Τρισδιάστατα αρχεία PDF πρόσβαση δωρεάν μέσω της Adobe Λογισμικό ανάγνωσης.

Το HBIM παρόλα αυτά αφορά αποκλειστικά για να τεκμηριωθούν τα ιστορικά κτίρια-μνημεία είναι ιδιαίτερα σημαντικό καθώς μπορεί να έχει την διαχείριση της Πολιτιστικής κληρονομιάς θεωρείται μια πηγή πληροφοριών και αρχείων τα οποία βοηθούν στις μελλοντικές έρευνες διαδικασίες και παρεμβάσεις των μνημείων. Πρώτη φορά εμφανίστηκε το 2017 από τον M.Murphy ήταν ο πρώτος που ανέλυσε και ανέπτυξε περισσότερο την θεωρία του BIM από την διδακτορική του διατριβή με τίτλο «Historic Building Information Modelling» (HBIM). Ήταν μια προτεινόμενη μέθοδος μοντελοποίησης ιστορικών μνημείων και κατασκευών η οποία περιλάμβανε την τρισδιάστατη αποτύπωση τους με την χρήση Laser Scanner σε συνδυασμό με την φωτογραμμετρία δηλαδή την αλληλεπίδραση και επεξεργασία σημείων και φωτογραφείων μαζί με την βοήθεια της χαρτογράφησης. Πρόκειται δηλαδή για μια νέα γλώσσα προγραμματισμού GDL (Geometric Descriptive Language) σε ένα σύστημα που διατυπώνει νέφη σημείων σε λογισμικό CAD. Αυτό έχει ως σκοπό την αντιστροφή διαδικασία μιας κανονικής κατασκευής.

4.2 Το HBIM στην Πολιτιστική Κληρονομιά

Το HBIM είναι μια νέα ιδέα στην οποία η πολιτιστική κληρονομιά μπορεί να αναπαρίσταται σε ψηφιακό περιβάλλον δηλαδή BIM με βάση την συλλογή των απαιτούμενων δεδομένων από την σάρωση δείχνοντας τα στάδια συντήρησης ή μη του κτηρίου-μνημείου. Στην περίπτωση της Πολιτιστικής Κληρονομιάς απαιτούνται στοιχεία και υλικά τα οποία δεν μπορούν να προέρθουν από κάποιο λογισμικό αυτά μπορεί να είναι η γεωμετρία ή τα υλικά από τα οποία αποτελείται. Αυτό είναι μια ειδική βιβλιοθήκη του BIM ειδικά σχεδιασμένη για την διατήρηση και διαχείριση της Πολιτιστικής Κληρονομιάς. [Lopezetal. 2018]. Το HBIM έχει την δυνατότητα να αναπαριστά τα αρχιτεκτονικά στοιχεία και τις λεπτομέρειές των παραμετρικών αντικειμένων βασίζονται κυρίως σε αρχιτεκτονικά σχέδια ή χειρόγραφα. Γίνεται ακριβής χαρτογράφηση τους ούτως ώστε να κατασκευαστούν τα παραμετρικά αντικείμενα, με την βοήθεια της τεχνολογίας πλέον έχουμε την δυνατότητα να αποτυπώσουμε πολλά διαφορά

και πολύπλοκα σύνολα με την μέθοδο της σάρωσης και της φωτογραμμετρίας. Το HBIM ανάλογα με τις απαιτήσεις του εκάστοτε μνημείου -κτηρίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα εργαλείο για πολλούς λόγους όπως :

- Παρακολούθηση της κατάστασης του υπό μελέτη αντικειμένου
- Προληπτική Συντήρηση
- Δημιουργία Χώρου αποθήκευσης πληροφοριών για τεκμηρίωση και καταχώρηση δραστηριοτήτων
- Προγραμματισμό Συντήρησης του
- Ερμηνεία και διαχείριση της Κληρονομιάς
- Διαχείριση των περιουσιακών στοιχείων του
- Διαχείριση επισκεπτών
- Διαχείριση Έργου
- Προγραμματισμό εργασιών συντήρησης, διατήρησης η συντήρησης
- Ετοιμότητα και σχέδιο αντιμετώπισης καταστροφών.

4.3 Παραδείγματα HBIM στην Πολιτιστική Κληρονομιά

Κατασκευή και Γεωμετρική Επαλήθευση Όπερα Ferrocement Canopy Panels, Σταύρος Νιάρχος, Πολιτιστικό Κέντρο Ιδρύματος

- Δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου από σκυρόδεμα.
 - Μετρήσεις των γεωμετρικών πληροφοριών από τα εγκάρσια και διαμήκη τμήματα στα προκαθορισμένα σημεία.
 - Υψηλές απαιτήσεις ακρίβειας για την κατασκευή και έλεγχος των πάνελ με όριο 2mm
 - Η γεωμετρική επαλήθευση του κάθε πίνακα
- Οι ακόλουθοι παράμετροι:
- Απόσταση μεταξύ των νευρώσεων (κάθετες δοκοί)
 - Αποκλίσεις αξόνων νευρώσεων
 - Πλάτος των νευρώσεων

- Απόσταση μεταξύ των δοκών
- Αποκλίσεις αξόνων δοκών
- Πλάτος των δοκών
- Πάχος φλάντζας



Εικόνα 10. Παράδειγμα εργασίας στο Σταύρος Νιάρχος

https://www.aksm.gr/wp-content/uploads/2017/10/laser_scanningbim_brochure-1.pdf

Το βρετανικό πρότυπο PAS 1192-2:2013 ορίζει την Μοντελοποίηση Πληροφοριών Κτιρίου (BIM) ως «η διαδικασία σχεδιασμού, κατασκευής ή λειτουργίας κτιρίου ή περιουσιακού στοιχείου υποδομής χρησιμοποιώντας ηλεκτρονικές αντικειμενοστραφείς πληροφορίες. Αλλιώς, το BIM ορίζεται ως «ψηφιακό μοντέλο αναπαράστασης φυσικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών μιας εγκατάστασης. Ένα μοντέλο BIM είναι ένας κοινός πόρος γνώσης για πληροφορίες σχετικά με μια εγκατάσταση που αποτελεί αξιόπιστη βάση για αποφάσεις κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής της, ορίζεται ως υφιστάμενη από την πρώτη σύλληψη έως την κατεδάφιση». Ανεξάρτητα από τον επίσημο ορισμό, οι περισσότεροι ειδικοί συμφωνούν ότι

το BIM περιγράφει μια διαδικασία, παρά ένα συγκεκριμένο λογισμικό ή ακόμα και ένα ψηφιακό αντικείμενο (μοντέλο). Το BIM αναφέρεται ως ένα πλαίσιο για την «κοινή χρήση δομημένων πληροφοριών» μεταξύ των ενδιαφερόμενων μερών του έργου.

Με τεχνικούς όρους, το BIM μπορεί να περιγράφει ως παραμετρική μοντελοποίηση με βάση το αντικείμενο, είναι ψηφιακό όπου η τεχνολογία είναι η αφετηρία για το σχεδιασμό μηχανικών συστημάτων. Η διαδικασία μοντελοποίησης περιλαμβάνει την συναρμολόγηση «ευφρών» παραμετρικών αντικειμένων σε μια εικονική αναπαράσταση του κτίριου ή της εγκατάστασης. Η χρήση παραμετρικών συνιστωσών, που κυρίως «αποτελούνται από γεωμετρικούς ορισμούς και σχετικά δεδομένα και κανόνες», είναι σημαντικά στη φιλοσοφία του BIM.

Διάφοροι τύποι πληροφοριών, συμπεριλαμβανομένων υλικών, ιδιοτήτων, κόστους, δομικών και περιβαλλοντικών αποδόσεων, ενσωματώνονται με δομημένο τρόπο έτσι ώστε το κτιριακό μοντέλο να αποτελεί ένα ψηφιακό πληροφοριακό σύστημα.

Είναι προφανές ότι το BIM διαφέρει από Λογισμικό CAD και το 3D μοντελοποίησης, τα οποία περιορίζονται κυρίως στην ψηφιακή αναπαράσταση γεωμετρικών πληροφοριών. Ένα μοντέλο BIM είναι εξουσιοδοτημένο από τις πληροφορίες που του δίνονται τα δομικά στοιχεία, λειτουργεί σαν ένα εικονικό διάγραμμα για το πώς είναι το πραγματικό κτίριο που αναμένεται να εκτελέσει. [<http://all3d.gr/pdf/3DSurveyOfANeoclassicalBuilding.pdf>].

Το ερευνητικό έργο 3D4Delphi έχει αναπτύξει καινοτόμες μεθόδους τεκμηρίωσης, ανάλυσης, αποκατάστασης και ανάδειξης μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς, συνδυάζοντας τις σύγχρονες τεχνικές τρισδιάστατης (3D) αποτύπωσης και τη μαθηματική μοντελοποίηση της αρχαιολογικής αβεβαιότητας σε αρχαιολογικά μνημεία των Δελφών.

Τα στάδια και τα αποτελέσματα του έργου είναι:

- Η 3D τεκμηρίωση με συνδυασμό σύγχρονων μεθόδων 3D αποτύπωσης του αρχαιολογικού χώρου Δελφών, επιλεγμένων μνημείων – εκθεμάτων του, καθώς και η ανοιχτή διάθεση των ψηφιακών αρχείων ώστε να είναι άμεσα διαχειρίσιμα και αξιοποιήσιμα, μέσω ελεύθερων λογισμικών εποπτείας και διαχείρισης.
- Η ανάπτυξη αλγορίθμων για 3D ανακατασκευές, βασισμένες στη μαθηματική μοντελοποίηση της αρχαιολογικής αβεβαιότητας, σε συνδυασμό με τη 3D τεκμηρίωση.
- Η εγκατάσταση ψηφιακής εμπειρίας στο Μουσείο των Δελφών, όπου ο επισκέπτης έχει τη δυνατότητα να περιηγείται στον αρχαιολογικό χώρο και να λαμβάνει 3D πληροφορίες σε

σχέση με τα αρχαιολογικά μνημεία όπως θα μπορούσαν να ήταν στο παρελθόν, ενθαρρύνοντας και προωθώντας την ανάπτυξη του βιώματος της «πολιτιστικής εμπειρίας».

Οι επισκέπτες του Μουσείου των Δελφών έχουν επίσης την ευκαιρία να δουν, στις ειδικές προθήκες στον προθάλαμο του Μουσείου, το αντίγραφο της Σφίγγας των Ναξίων σε μικροκλίμακα, μαζί με το 3D μοντέλο του Ναού του Απόλλωνα, καθώς και τα 3D αντίγραφα από 25 μετόπες του Θησαυρού των Αθηναίων.



Εικόνα 11. ενδεικτικό παράδειγμα

Η σύμπραξη του έργου αποτελείται από την «Αστρολάβος Τεχνική Ο.Ε.», το Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο, την Εφορεία Αρχαιοτήτων Φωκίδας (Υπουργείο Πολιτισμού και Αθλητισμού), το Πολυτεχνείο Κρήτης, τη Δημιουργική Σκέψη Ανάπτυξης και την «JGC Συστήματα Γεωπληροφορικής Α.Ε.».

Η Δράση συγχρηματοδοτείται από το ΕΠΑνΕΚ (Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης της Ευρωπαϊκής Ένωσης και από εθνικούς πόρους) και υλοποιείται μέσω της Γενικής Γραμματείας Έρευνας και Καινοτομίας (ΓΓΕΚ) – (Κωδικός έργου Τ6ΥΒΠ-00190).

Το έργο και τα αποτελέσματα αυτού παρουσιάστηκαν στο Τρίτο Διεθνές Συνέδριο για τη Διεπιστημονική Πολυφασματική Μοντελοποίηση και Συνεργασία για τη Διατήρηση της Πολιτιστικής Κληρονομιάς, με τίτλο «Transdisciplinary Multispectral Modelling and Cooperation for the Preservation of Cultural Heritage– Recapturing the World in Conflict through Culture promoting mutual understanding and Peace», το οποίο έλαβε χώρα στο Ίδρυμα Ευγενίδου στην

Αθήνα τον Μάρτιο του 2023, στο «International workshop on Digital Tools for Built Heritage diagnosis and monitoring (DT4BH)», το οποίο διεξήχθη στις 19-20 Απριλίου 2023, στην Ορλεάνη της Γαλλίας, καθώς και σε επιστημονικά συνέδρια και περιοδικά. [πηγή :<https://enypografa.gr>.]

Αναμφίβολα, ο 21ος αιώνας αντιπροσωπεύει την προσαρμογή μας στην ψηφιακή εποχή, στις περιβαλλοντικές, κοινωνικές και πολιτιστικές αλλαγές, αναγκάζοντάς μας να επανεξετάσουμε τη σημασία της μνήμης.

Τα τελευταία χρόνια υπάρχουν ηχηρά παραδείγματα απώλειας και καταστροφής μνημείων, όπως η πυρκαγιά στον Καθεδρικό ναό της Παναγίας των Παρισίων το 2019, ο ισχυρός σεισμός στη Σάμο και τη Χίο που προκάλεσε ζημιές σε μνημεία και εκθέματα το 2020, οι καταστροφές και οι λεηλατήσεις που συνεχίζονται στις Τουρκοκρατούμενες εκκλησίες της Κύπρου το 1974 και οι αναπόφευκτες φυσικές φθορές από τις απότομες και απρόβλεπτες κλιματικές αλλαγές.

Τέτοιου είδους καταστροφές προκαλούν ανυπολόγιστη απώλεια στην πολιτιστική κληρονομία, η οποία αφή στιγμής σταματά να υφίσταται στη συλλογική μνήμη, κινδυνεύει με ολοσχερή αφανισμό. Επομένως, θα μπορούσαμε να προστατεύσουμε και να διατηρήσουμε τη μνήμη και τα αρχιτεκτονικά επιτεύγματα των προγόνων μας, εφαρμόζοντας διεπιστημονικές μεθόδους τεκμηρίωσης και ανάδειξης της πολιτιστικής κληρονομιάς. Τέτοιες μέθοδοι θα μπορούσαν να διατηρήσουν και να προστατεύσουν τα μνημεία μας από τις καταστροφές.

Η πολυτάραχη ιστορία της Κύπρου και η συχνή εναλλαγή κατακτητών αποδεικνύει, μέχρι και σήμερα, τη στρατηγική και σημαντικότερη θέση του νησιού στην περιοχή της Ανατολικής Μεσόγειου. Ως εκ τούτου, η Κύπρος είναι διάσπαρτη από αρχιτεκτονικά, κι όχι μόνο, κατάλοιπα πολιτιστικής κληρονομιάς διαφορετικών περιόδων. Τα μνημεία αρχιτεκτονικής, όμως, αναλόγως της τοποθεσίας τους και ανάλογα με την κατασκευαστική τους τεχνική, επέζησαν εκατοντάδες, ακόμα και χιλιάδες, χρόνια και μεταφέρουν τη μνήμη των γεγονότων που διαμόρφωσαν την ταυτότητα του νησιού, την οποία έχουμε χρέος να προστατεύσουμε και να την κληροδοτήσουμε στις επόμενες γενεές.



Εικόνα 12. Τεκμηρίωση Πολιτιστικής Κληρονομιάς

Η Έδρα της ΟΥΝΕΣΚΟ στην Ψηφιακή Πολιτιστική Κληρονομιά του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου [<https://digitalheritagelab.eu/>], υπό τη διεύθυνση του Δρα. Μαρίνου Ιωαννίδη, μελετά μία πρωτοπόρα μέθοδο τεκμηρίωσης μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς. Η μεθοδολογία βασίζεται στη χρήση καινοτόμων τεχνολογιών αποτύπωσης και στην 'Ολιστική Ιστορική Ψηφιακή Μοντελοποίηση Δομικών Πληροφοριών Μνημείων' (H-BIM – Heritage Building Information Model). Η προτεινόμενη μεθοδολογία βασίζεται σε τέσσερις βασικούς πυλώνες:

1. Διαχείριση και προγραμματισμός των μεθόδων συλλογής των δεδομένων
2. Συλλογή και ψηφιοποίηση των τεκμηρίων ιστορικότητα του μνημείου και του οικοδομήματος με τη συμβολή της διεπιστημονικής κοινότητας.

Τρισδιάστατη ψηφιακή αναπαράσταση με τη μέθοδο 'Ολιστικής Ιστορικής Ψηφιακής Μοντελοποίησης Δομικών Πληροφοριών Μνημείων (H-BIM – Heritage Building Information Modeling).

3. Εξαγωγή των ψηφιακών δεδομένων στις ανάλογες μορφές και ανάγκες των επιστημόνων και επαγγελματιών της διεπιστημονικής κοινότητας.

Αναλυτικά, ο πρώτος πυλώνας αναφέρεται στη διαχείριση και τον προγραμματισμό των μεθόδων συλλογής των δεδομένων. Στα δεδομένα αυτά συμπεριλαμβάνονται οι απαιτούμενες προσεγγίσεις της διεπιστημονικής κοινότητας, όπως η μέθοδος συλλογής των ιστορικών πηγών και υλικού από φωτογραφίες της τρισδιάστατης φυσικής γεωμετρίας από τον αρχαιολογικό χώρο ή το κτήριο, περιβαλλοντικές μετρήσεις, τεχνικές συλλογής υλικών και δορυφορικές απεικονίσεις.

Ο δεύτερος πυλώνας επικεντρώνεται στη συλλογή και ψηφιοποίηση όχι μόνο των τεκμηρίων που αφορούν στην ιστορικότητα του μνημείου, αλλά και του ίδιου του οικοδομήματος με τη συμβολή πολλών και διαφορετικών γνωστικών πεδίων. Συγκεκριμένα, οι ερευνητές πραγματοποιούν μια εις βάθος έρευνα σχετικά με την ιστορία του κτηρίου, μεταξύ άλλων, συλλέγοντας έντυπα έγγραφα, φωτογραφίες, σχέδια, γκραβούρες, καρτ ποστάλ, γραμματόσημα και οποιοδήποτε άλλου είδους τεκμήρια αναφέρονται στο μνημείο. Έπειτα, ακολουθεί η ψηφιοποίηση των ίδιων των μνημείων από ειδικούς του κλάδου της μηχανικής. Η δισδιάστατη και τρισδιάστατη ψηφιοποίηση πραγματοποιείται με τη χρήση σύγχρονων τεχνολογιών αποτύπωσης/σάρωσης, όπως επίγειο 3D σαρωτή λέιζερ, εναέρια και θερμική φωτογραμμετρία, χρησιμοποιώντας συστήματα μη επανδρωμένων αεροσκαφών (ΣμηΕΑ – UAV/RPAS). Η χρήση τεχνολογιών αιχμής αποσκοπεί στη συλλογή και επεξεργασία μετρητικής πληροφορίας, η οποία προσδιορίζει τη θέση, την πραγματική μορφή, το σχήμα και το μέγεθος του μνημείου στον χώρο των τριών διαστάσεων, τη δεδομένη χρονική στιγμή.

Στην συνέχεια, τα δεδομένα από τον σαρωτή απεικονίζονται σε διαφορετικά νέφη σημείων τα οποία βρίσκονται στο δικό τους, μοναδικό σύστημα συντεταγμένων. Βασικός παράγοντας για την αξιοποίησή τους ως σύνολο και για την δημιουργία ενός ενιαίου 3D νέφους σημείων είναι η ταυτοποίηση (registration). Η ταυτοποίηση επιτυγχάνεται όταν η θέση και ο προσανατολισμός των μεμονωμένων νεφών διαμορφωθεί με τέτοιο τρόπο ώστε όλα τα νέφη να αποκτήσουν κοινή θέση και κοινό προσανατολισμό. Τέλος, το ενιαίο 3D νέφος σημείων μπορεί να γεωαναφερθεί με τη χρήση κοινών σταθερών σημείων στο Κυπριακό Γεωδαιτικό Σύστημα Συντεταγμένων Αναφοράς, του οποίου η πραγματοποίηση έγινε το 1993.

Ο τρίτος βασικός πυλώνας επικεντρώνεται στη τρισδιάστατη ψηφιακή αναπαράσταση με τη μέθοδο 'Όλιστικής Ιστορικής Ψηφιακής Μοντελοποίησης Δομικών Πληροφοριών Μνημείων'(H-BIM – Heritage Building Information Modeling) και με προχωρημένα λογισμικά

δημιουργίας μοντέλων επιφανειών (mesh model). Με τη χρήση σχεδιαστικών μεθόδων εξασφαλίζεται η ολιστική εισαγωγή, παραμετροποίηση και διαχείριση των δεδομένων, όπως γεωμετρική μετρητική πληροφορία, σεισμικές αναλύσεις, χαρακτηριστικά υλικότητας και περιβαλλοντικά δεδομένα. Για τη δημιουργία του Ολιστικού Ιστορικού Ψηφιακού Μοντέλου Δομικών Πληροφοριών τα αποτελέσματα από το ενιαίο νέφος των σημείων εισάγονται σε ένα από τα πολλά προγράμματα σχεδιασμού (π.χ. Autodesk Revit 2024). Τα αρχιτεκτονικά στοιχεία διαχωρίζονται σε δυο κατηγορίες, της ιστορικής και μη-ιστορικής σημασίας. Ανάλογα με τις ανάγκες της ομάδας μελέτης ο τρόπος μοντελοποίησης δύναται να προσεγγίζεται με πολλαπλούς βαθμούς λεπτομέρειας. Η ολιστική μεθοδολογία μοντελοποίησης επιτρέπει την εισαγωγή δεδομένων που αφορούν στα αντικείμενα πολιτιστικής αξίας και τον δυναμικό εμπλουτισμό της τρισδιάστατης αναπαράστασης του αρχαιολογικού χώρου, καθώς και του μνημείου. Επίσης, ο συνδυασμός του ψηφιακού μοντέλου δοκιμής πληροφορίας με συμπληρωματικά δεδομένα από την πανοραμική κάμερα 360° και επιπρόσθετα μοντέλα επιφανειών σημαντικών αρχαιολογικών λεπτομερειών οδηγούν σε πιο ρεαλιστική παρουσίαση της υλικότητας των μνημείων.

Ο τέταρτος και τελευταίος βασικός πυλώνας επικεντρώνεται στην εξαγωγή των ψηφιακών, πλέον, δεδομένων στις ανάλογες μορφές και ανάγκες των επιστημόνων και επαγγελματιών της διεπιστημονικής κοινότητας. Για παράδειγμα, η μετρητική πληροφορία από την ψηφιακή μοντελοποίηση συμβάλλει στην παραγωγή λεπτομερών δισδιάστατων αρχιτεκτονικών και κατασκευαστικών σχεδίων όπως κατόψεις, όψεις, τομές και αξονομετρικά. Ένας από τους τελικούς στόχους της ψηφιοποίησης είναι η παρουσίαση και έκθεση των δεδομένων σε ψηφιακά αποθετήρια, όπου όλες οι πληροφορίες σχετικά με οποιοδήποτε μνημείο είναι διαθέσιμες σε παγκόσμιο επίπεδο.

Δυο από αυτές τις πλατφόρμες είναι η Apsida [<https://apsida.cut.ac.cy>], η οποία δημιουργήθηκε ειδικά για αντικείμενα πολιτιστικού χαρακτήρα από το Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου, αλλά και η Europeana [<https://www.europeana.eu/en>] η Ευρωπαϊκή Ψηφιακή Βιβλιοθήκη.



Εικόνα 13 :Διαδικασία Ψηφιοποίησης [πηγή :<https://ellas2.wordpress.com>
https://anaskafi.blogspot.com/2020/12/blog-post_36.html]

Με την ολοκληρωμένη καταγραφή όλων των δεδομένων μέσω της διαδικασίας ψηφιοποίησης και μοντελοποίησης, όπως ο οδηγός διαχείρισης, προγραμματισμού και τα σημεία σάρωσης, οι παράμετροι επεξεργασίας των δεδομένων, οι τεχνικές δόμησης από διαφορετικές ιστορικές περιόδους και ο βαθμός λεπτομέρειας της μοντελοποίησης, καθίσταται δυνατή η συνεχής αξιολόγηση της φυσικής κατάστασης του μνημείου. Για παράδειγμα, στο πλαίσιο της ολιστικής τεκμηρίωσης του Κάστρου της Πάφου, παρουσιάζεται η βορειοδυτική πλευρά του τοίχου. Η όψη, η οποία ψηφιοποιήθηκε με τη μέθοδο της φωτογραμμετρίας, και το παραγόμενο δισδιάστατο αρχιτεκτονικό σχέδιο (CAD) που προκύπτει, ενσωματώνεται με τη χρήση προχωρημένης σχεδιαστικής τεχνικής στο τρισδιάστατο σχεδιαστικό πρόγραμμα 'Μοντελοποίησης Δομικών Πληροφοριών'. Η διαδικασία αυτή επιτρέπει την τρισδιάστατη ολιστική αποτύπωση της τοιχοποιίας και τη διερεύνηση της παθολογίας της επιφάνειας και των διαφόρων φάσεων οικοδόμησης, οι οποίες διακρίνονται σε οκτώ διαφορετικές τυπολογίες σε σχέση με το μέγεθος, τον τρόπο τοποθέτησης και την παρούσα κατάσταση των λίθων. Η διαδικασία αυτή επιτρέπει τη συνεχή επίβλεψη της κατάστασης του μνημείου, καθώς και διάφορες τεχνικές επισκευής, διατήρησης, ψηφιοποίησης και μοντελοποίησης του μνημείου.

Η ολιστική τεκμηρίωση των μνημείων είναι αναμφισβήτητα η τεχνολογία του μέλλοντος που θα μπορούσε να υιοθετηθεί από κυβερνητικούς οργανισμούς, επαγγελματίες και ερευνητικά κέντρα για τη διαχείριση των πολύπλευρων δεδομένων. Για παράδειγμα, τα δεδομένα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν από την επιστημονική κοινότητα, όπως αρχαιολόγοι, αρχιτέκτονες, τοπογράφοι, πολιτικοί και χημικοί μηχανικοί, αναστηλωτές και άλλες ειδικότητες, για τη διαχείριση και την εξασφάλιση της βιωσιμότητας του μνημείου. Ταυτόχρονα, το ψηφιοποιημένο υλικό, εάν τύχει επεξεργασίας από ειδικούς από τον κλάδο των πολυμέσων, δύναται η παραγωγή υλικού με εκπαιδευτικό-ψυχαγωγικό χαρακτήρα, όπου ο χρήστης θα έχει τη δυνατότητα να πλοηγείτε και να επισκέπτεται εικονικά τα μνημεία και να ενημερώνεται αυτοπροσώπως. Αυτή η διαδραστική εμπειρία έχει την ικανότητα να παρουσιάζει όλα τα δεδομένα προωθώντας τον τομέα της Ψηφιακής Πολιτιστικής Κληρονομιάς.

Τα παραδείγματα που αναφέρονται υποστηρίχθηκαν από το ερευνητικό πρόγραμμα Interreg “DigiArc” Ψηφιακό Τόξο Πολιτισμού Ελλάδος-Κύπρου: Διάσωση και ανάδειξη της μεσαιωνικής πολιτιστικής κληρονομιάς στη νησιωτική περιοχή του Αιγαίου και της Κύπρου, που συγχρηματοδοτείται 85% από το Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης και 15% από εθνικούς πόρους της Ελλάδας και της Κύπρου, [<https://www.digiarc.eu/el/>].

Δρ. Γιώργου Τρύφωνος, κ. Αντρέα Μαρκομάλλη, κα. Μαρίας Κατίρη, κα. Ελεάννας Αβούρη

Πηγή: Πολίτης Παράθυρο [πηγή :<https://ellas2.wordpress.com>
https://anaskafi.blogspot.com/2020/12/blog-post_36.html.]

Κεφάλαιο 5 Η Περίπτωση της Ιεράς Μονής Βουλκάνου

5.1 Γενικά

Η Ιερά Μονή Κοιμήσεως της Θεοτόκου Βουλκάνου είναι το ιστορικότερο και μεγαλύτερο Μοναστήρι στη Μεσσηνία. Η Μονή έχει μεγάλη εθνική και εκκλησιαστική δράση. Στο διάβα του χρόνου εγκαταβίωσαν σε αυτή πλειάδα Μοναχών, οι οποίοι διακρίθηκαν για την ενάρετη άσκηση και την θαυμαστή του βίου διαγωγή τους. Περί τους 10 πατέρες εξ' αυτών έχουν προαχθεί σε Επισκόπους. Η αρχική της θέση ήταν στην κορυφή του όρους Ιθώμη, εκεί όπου υπήρχε αρχαίο ιερό του Δία Ιθωμάτα. Ιδρύθηκε σύμφωνα με την παράδοση το 725 μ.χ από εικονολάτρες καλόγερους και το καθολικό της, αφιερωμένο στην Κοίμηση της Θεοτόκου, είναι διακοσμημένο με αξιόλογες τοιχογραφίες του 1608, έργα των αδελφών Μόσχου από το Ναύπλιο. Στις αρχές του 17ου αιώνα, λόγω των δυσκολιών διαβίωσης, οι καλόγεροι την εγκατέλειψαν και μεταφέρθηκαν χαμηλότερα, στη σημερινή θέση. Η Ιερά Μονή Βουλκάνου Μεσσηνίας Στα χρόνια της Τουρκοκρατίας η μονή γνώρισε μεγάλη ακμή, ήταν σταυροπηγιακή και διέθετε μεγάλη περιουσία και μετόχια στη Μεσσηνία αλλά και στη Σμύρνη. Ήταν καταφύγιο αρματολών και κλεφτών και στην επανάσταση του 1821 είχε σημαντική συμβολή, με την προσφορά χρημάτων και τροφίμων. Πυρπολήθηκε από τα στρατεύματα του Ιμπραήμ πασά το 1825 και οι μοναχοί της κατέφυγαν στη Μάνη και στη Ζάκυνθο, παίρνοντας μαζί τους και την εικόνα της Παναγίας, αλλά επανήλθαν το 1828. Από τότε η μονή λειτουργεί χωρίς διακοπή. Το συγκρότημα περιβάλλεται από κτίσματα κελιών και βοηθητικών χώρων. Το καθολικό κτίστηκε το 1701 και πήρε τη σημερινή του μορφή στις αρχές του 20ού αιώνα. Είναι σταυροειδής ναός με τρούλο και στο εσωτερικό του διέθετε αξιόλογες τοιχογραφίες, που καταστράφηκαν από τον Ιμπραήμ και επικαλύφθηκαν με ασβέστη το 1882. Στον ναό φυλάσσεται η εξαιρετικής τέχνης θαυματουργή εικόνα της Παναγίας Βουλκανιώτισσας ή Οδηγήτριας, που λέγεται ότι είναι έργο του Ευαγγελιστή Λουκά. Η μονή διαθέτει λείψανα αγίων και πολλά κειμήλια, που εκτίθενται σε μουσειακό χώρο.

5.2 Η Περιοχή του Ναού.

Η παλαιά μονή

Ο Πρόδρομος της Εκκλησιάς είναι η Ιερά Μονή της " Παναγίας της Κορυφής", σήμερα ονομάζεται "καθολικό" και βρίσκεται στην κορυφή της Ιθώμης όπου θεωρείται από παλιά η ακρόπολη της Αρχαίας Μεσσηνίας. Η παλαιά μονή της Κορυφής θεωρείται ότι κτίστηκε τον 8^ο αι. την περίοδο της Εικονομαχίας όπου θεωρείται εκεί βρέθηκε η θαυματουργή εικόνα της Παναγίας κρεμασμένη σε ένα πουρνάρι και με συντρόφια ένα αναμμένο καντήλι. Ο παλαιός ναός είναι βυζαντινής μορφής με τρίκλιτη θολωτή βασιλική, σήμερα δίκλιτη με αρκετές σήμερα παρεμβάσεις. Έχει χτιστεί πάνω στον ειδωλολατρικό ναό "Ιθώματα" Δια. Ιδιαίτερες παρουσιάζονται οι τοιχογραφίες του Καθολικού που έχουν αγιογραφηθεί από τους Ναυπλιώτες αδελφούς Δημήτριο και Γεώργιο Μόσχου, το έτος 1608. Στη συμβολή της μεσημβρινής με τη δυτική πτέρυγα των κελιών του μοναστηριού υπάρχει το βυζαντινό "φωτάνασμα", που ήταν ειδικός χώρος με εστία φωτιάς και πεζούλια γύρω από αυτή στα οποία κάθονταν οι μοναχοί και ζεσταίνονταν τον χειμώνα.



Εικόνα 14: Η Παλαιά Μονή (πηγή <https://www.monastiria.gr/iera-moni-panagias-voulkanou/>).

Η Νέα μονή

Το καινούργιο μοναστήρι της Παναγίας Κορυφής εγκαταλείφτηκε από τους Πατέρες το 1625 λόγω ψύχους των χειμερινών μηνών αλλά και της δυσκολίας των προσκυνητών να φτάσουν σε αυτό και αναζήτησαν τόπο νοτιότερα και το βρήκαν στο σημερινό χώρο αφού πρώτα το αγόρασαν από τον Πατέρα του Τούρκου αγα Ανδρούσης με το αντίτιμο των 10.500 γροσίων. Στον χώρο αυτόν βρήκαν και μια πηγή ύδατος γνωστή και ως σήμερα “Μάνα του νερού” εκεί υπήρχε και ένας διώροφος πύργος όπου και έγινε η αρχή του νέου μοναστηριού. Στη συνέχεια εκεί οι Πατέρες έκτισαν τον σημερινό Ναό. Ο ναός της νέας μορφής κτίστηκε το 1701 και είναι βυζαντινού ρυθμού., σταυροειδής μετά τρούλου.

Στη καινούργια μονή βρίσκονται τα κελιά του παλαιού συγκροτήματος τα οποία στερεώθηκαν και ανακαινίσθηκαν το 1972 με τη φροντίδα του μακαριστού μητροπολίτη Χρυσόστομου Θέμελη και έχουν υπέροχη θέα την απέναντι κορυφή του όρους Εύα έχοντας στις υπώρειες της τα ερείπια της Αρχαίας Μεσσήνης. Μετόχι της μονής σήμερα αποτελεί το Ανδρομονάστηρο. Στην μονή της Ιθώμης αλλιώς μονή Βουλκάνου φυλάσσονται στο κειμήλια αρχείωντης, βιβλία, κώδικες, χειρόγραφα καθώς και άμφια, σταυροί αγιασμού και ιερά σκεύη. Υπάρχει πλούσια βιβλιοθήκη όπου υπάρχουν παλαιά και νέα βιβλία, ιδιόχειρα συγγράμματα, ή Τουρκικά έγγραφα και τέσσερα Σιγίλλια των κατά καιρούς Πατριαρχών Κωνσταντινουπόλεως, που αναγνωρίζουν ή επικυρώνουν τα προνόμιά του.

(πηγή: BOPBΛAΣ, Μονή Βουλκάνου, σ. 9).



Εικόνα 15: Η νέα Μονή (πηγή: <https://www.saint.gr/4335/saint.aspx#LiturgicalTexts>)

5.3 Ιστορική ανάδρομη και εξέλιξη

Ο ακριβής χρόνος ίδρυσης του Ανδρομονάστηρου παραμένει αβέβαιος, λόγω της έλλειψης σχετικών ιστορικών ή επιγραφικών μαρτυριών. Η παράδοση παραδίδει ως πρώτο κτήτορα της μονής τον αυτοκράτορα Ανδρόνικο Β΄ Παλαιολόγο (1282-1328), χωρίς ωστόσο κάτι τέτοιο να βασίζεται σε ιστορικά στοιχεία. Ο αρχικός πυρήνας του συγκροτήματος, που περιλαμβάνει το καθολικό και την πρώτη οικοδομική φάση της τράπεζας, μπορεί να χρονολογηθεί, βάσει κατασκευαστικών και μορφολογικών κριτηρίων, στην δέκατη τρίτη εκατονταετία. Η τουρκική κατάκτηση της Πελοποννήσου, στα μέσα του 15ου αιώνα, φαίνεται πως προκάλεσε τη διάλυση και την επακόλουθη ερήμωση της μονής.

Σε σιγίλιο του 1612, που εκδόθηκε από τον πατριάρχη Κωνσταντινουπόλεως Νεόφυτο Β΄, αναφέρεται ότι, λίγα χρόνια πριν, και με πρωτοβουλία και χορηγία του ιερομόναχου Ανθίμου από τα Κύθηρα, μοναχού της παλαιάς μονής του Βουλκάνου η όπως αλλιώς ονομάζεται και Παναγίας της Επανωκαστριτίσσης που ανακαινίσθηκε και επανδρώθηκε η διαλυμένη σταυροπηγιακή μονή των βυζαντινών χρόνων «έντη τοποθεσία του Ἡλίου», που ταυτίζεται βάσιμα με το Ανδρομονάστηρο. Το ανακαινισμένο μοναστήρι έγινε και πάλι σταυροπηγιακό και προσαρτήθηκε ως μετόχι στην παλαιά μονή Βουλκάνου. Λίγο αργότερα, σε απογραφή της μοναστηριακής περιουσίας της επισκοπής Ανδρούσας που συντάχθηκε από τον επίσκοπο Παρθένιο κατά την περίοδο της Β΄ Ενετοκρατίας (1699), γίνεται εκτενής αναφορά στη μονή και στα περιουσιακά της στοιχεία.

Πολύτιμες πληροφορίες για μία ακόμη σημαντική οικοδομική φάση του Ανδρομονάστηρου παρέχει μαρμάρινη κτητορική επιγραφή, τοποθετημένη εντός ορθογώνιου αψιδώματος πάνω από τη μοναδική είσοδο στον μεγάλο νοτιοδυτικό πύργο, που αναφέρει τα εξής: «Γρώσια χιλιάδες 2 και ακόμα 500. 1753 έν μηνί Μαΐω 10 ἀνακαινίσθησαν ό πύργος και τὰ κελία μέ τὸ χαγιά τη παρὰ Θεοδοσίου Ἀνδρωσης ἡγούμενος Ἡσαΐας Μαϊστόρων Παναγιώτου καὶ Γεωργίου Τόκα». Η επιγραφή αυτή είχε αφαιρεθεί τη δεκαετία του 1960 από τον μητροπολίτη Μεσσηνίας Χρυσόστομο Θέμελη και φυλασσόταν στο συνοδικό μέγαρο της μητροπόλεως Μεσσηνίας. Μετά το πέρας των αναστηλωτικών εργασιών επανατοποθετήθηκε στην αρχική της θέση.

Κατά τα Ορλωφικά, το 1770, το Ανδρομονάστηρο φαίνεται ότι υπέστη εκτεταμένες καταστροφές. Το 1785 και προκειμένου να ανακοπεί η φθίνουσα πορεία της μονής, αφιερώθηκε, ως μετόχι, στο φημισμένο μοναστήρι της Αγίας Αικατερίνης του όρους Σινά,

όπως πιστοποιεί συνοδικό γράμμα του Οικουμενικού Πατριάρχη Προκοπίου Πελεκάση. Το 1929 η μονή Σινά πούλησε το συγκρότημα στον ιδιώτη Δημήτριο Κατσάρα, ο οποίος το 1962 με συμβολαιογραφική πράξη το παραχώρησε εκ νέου στη μονή Βουλκάνου. Οι τελευταίες, μεγάλης κλίμακας, εργασίες στον χώρο χρονολογούνται πιθανόν στα τέλη του 19ου αιώνα. Σήμερα η διαλυμένη μονή εξαρτάται ακόμη ως μετόχι από τη γειτονική μονή Βουλκάνου. [πηγή <https://www.culture.gov.gr/el/ministry/SitePages/viewyphresia.aspx>].

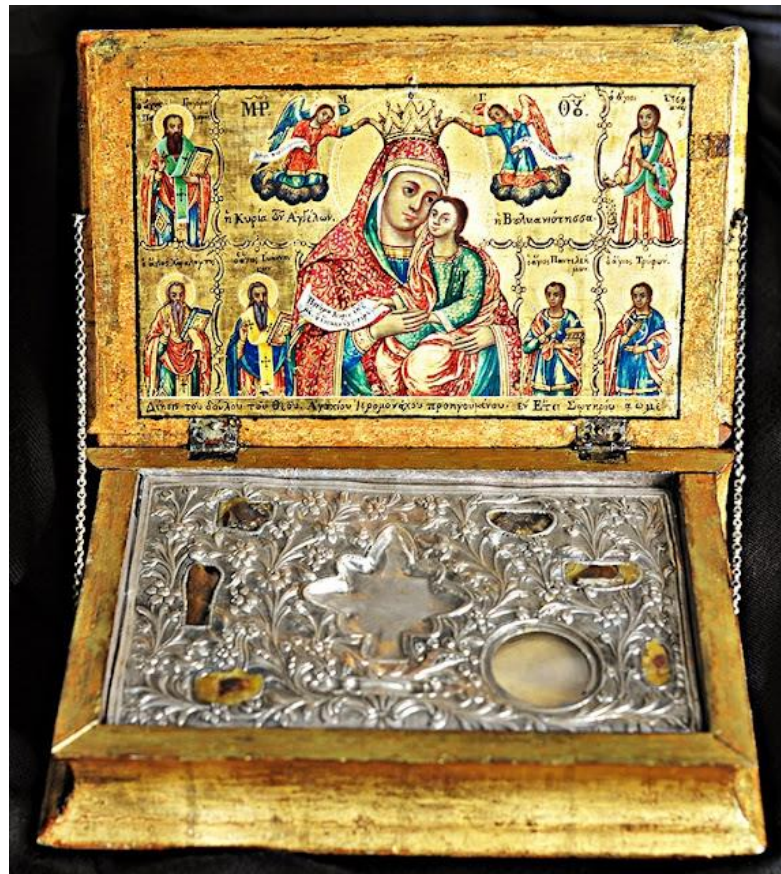
Πρόκειται για βυζαντινό ναό, σταυροειδή με τρούλο. Εδώ φυλάσσεται η εικόνα της Παναγίας της Βουλκανιώτισσας, που θεωρείται θαυματουργή. Κάθε χρόνο στις 15 Αυγούστου η εικόνα μεταφέρεται τελετουργικά στην παλαιά Μονή, όπου ξεκινούν οι εορτασμοί. Επίσης, τη νύχτα της 19ης προς 20ή Σεπτεμβρίου η εικόνα μεταφέρεται στην πόλη της Μεσσήνης, συνοδεία πολλών πιστών. Ύστερα από 20 χλμ. πεζοπορίας, η εικόνα εναποτίθεται σε οκταήμερο προσκύνημα. Η λιτανεία αυτή γίνεται εις ανάμνηση της θείας παρέμβασης της Παναγίας σε λοιμό που είχε πλήξει όλη τη Μεσσηνία περί το 1755. Στη νέα Μονή επίσης φυλάσσονται αρκετά λείψανα αγίων, ενώ υπάρχει και αξιόλογη βιβλιοθήκη, με παλιά και νέα συγγράμματα. Η Μονή εξακολουθεί να λειτουργεί ως τις μέρες μας ως ανδρικό μοναστήρι, με πλούσια και αξιόλογη δραστηριότητα.

[Πηγή <https://www.culture.gov.gr/el/ministry/SitePages/viewyphresia.aspx>].

5.4 ΙΕΡΑ ΚΕΙΜΗΛΙΑ



Εικόνα 16 : Η θαυματουργή Εικόνα της Παναγίας Βουλκανιώτισσας.
Φέρει επιγραφή "Η Οδηγήτρια η επονομαζόμενη τω όρει Βουλκάνω" (πηγή
<https://www.gargalianoionline.gr>)



Εικόνα 17 : Λειψανοθήκη από την Μονή Βουλκάνου. (πηγή <https://www.gargalianoionline.gr>).



Εικόνα 18 : Λεπτομέρειες από τις παραστάσεις που κοσμούν την Λειψανοθήκη του Αγίου Διονυσίου (πηγή <https://www.gargalianoionline.gr>)



Εικόνα 19: Το μεγαλύτερο τεμάχιο ιερού λειψάνου «τμήμα της ιεράς Κεφαλής» του Αγίου Διονυσίου (πηγή <https://www.gargalianoionline.gr>)



Εικόνα 20: Ιερή Σφραγίδα. [Πηγή: FB ΙΕΡΑ ΜΟΝΗ ΒΟΥΛΚΑΝΟΥ]



Εικόνα 21: Κατά τον Λαό και τις Ιστορίες Θεωρείται ότι η εικόνα αυτή είναι τα πόδια ενός κλεφτή καθώς πήγε να κλέψει το Μοναστήρι και έμεινε εκεί. Εικόνα 20: Ιερή Σφραγίδα. [Πηγή: FB ΙΕΡΑ ΜΟΝΗ ΒΟΥΛΚΑΝΟΥ]

Κεφάλαιο 6 Εφαρμογή

6.1 Εργασίες Πεδίου -Συλλογή Δεδομένων

Έχοντας ως θέμα μελέτης την Ιερά Μονή Βουλκάνου όπου αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, στο παρόν κεφάλαιο θα δούμε την παρούσα κατάσταση του κτηρίου χρησιμοποιώντας μεθόδους όπως επίγεια τρισδιάστατη σάρωση laser, την επεξεργασία και συλλογή δεδομένων που προέκυψαν μέσω του BIM. Αρχικά για την σωστή αποτύπωση έγινε μια επιτόπια έρευνα στην περιοχή της Μονής όπου με την βοήθεια τρισδιάστατου σαρωτή έγινε μέτρηση του χώρου σε τρισδιάστατη μορφή και καταγράφηκε το πυκνό νέφος σημείων σε ορισμένο χρονικό διάστημα. Εν συνεχεία έχουμε το τελικό νέφος σημείων που θέλουμε ώστε να αρχίσουμε να το επεξεργαζόμαστε καταλληλά. Η πιο συχνή διαδικασία είναι να ορίσουμε για αρχή το εξωτερικό μέσο δηλαδή τα όρια της επιφάνειας που θέλουμε να σαρωθούν καθώς και την πυκνότητα της σάρωσης. Αφού πραγματοποιηθούν αυτά τα στάδια αρχίζει η εκπομπή παλμού laser από τον σαρωτή στην περιοχή μελέτης. Ο παλμός αυτός αφού ανακλασθεί στην επιφάνεια που αποτυπώνει επιστρέφει πίσω στον σαρωτή ούτως ώστε να επεξεργαστεί και να υπολογιστεί ο χρόνος μετάβασης και επιστροφής των γωνιών ανάκλασης δέσμης ώστε να έχουμε το επιθυμητό νέφος σημείων. Για τα σημεία αυτά για το καθένα προσδιορίζονται τρισδιάστατες συντεταγμένες προς στο σύστημα αναφοράς (X,Y,Z), καθώς και η ανακλαστικότητα και η χρωματική πληροφορία (RGB). Σε αρκετές περιπτώσεις θα χρειαστούν παραπάνω από μια σάρωση διότι το αντικείμενο μελέτης ενδέχεται να έχει πολλές γωνίες και όψεις και θα πρέπει να απεικονιστεί σωστά ώστε να μην έχουμε απόκρυψη πληροφοριών σημαντικών του αντικειμένου. Όταν πραγματοποιηθούν όλες οι σαρώσεις θα αναφερθούν στο ενιαίο σύστημα αναφοράς για να ενταχθούν στο κλασσικό μοντέλο.

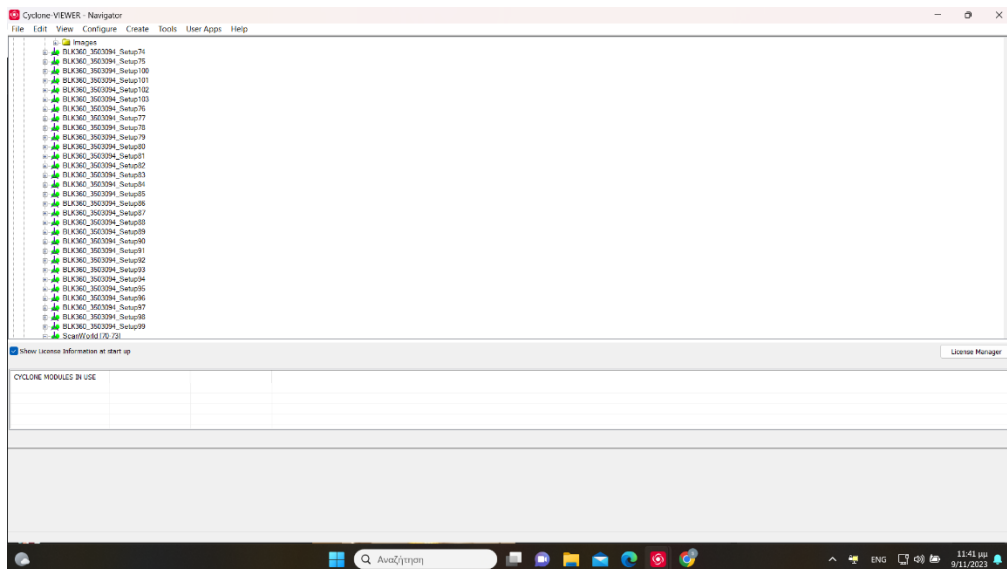
6.2 Επεξεργασία Δεδομένων

Η συλλογή των 3D δεδομένων στην Ιερά Μονή Βουλκάνου έγινε τον Φεβρουάριο του 2021 με την χρήση επίγειου laser scanner για την γεωμετρική τεκμηρίωση των εσωτερικών και εξωτερικών τμημάτων της εκκλησίας. Οι σαρώσεις πραγματοποιήθηκαν με τον σαρωτή Leica Geosystems BLK 360 και με την χρήση GPS. Οι σαρώσεις πραγματοποιήθηκαν με βήμα 4 mm και σε απόσταση μεταξύ σαρωτή και αντικειμένου μικρότερη από 10 μέτρα. Το ποσοστό που καλύφθηκε είναι μεταξύ 30%-50%. Οι σαρώσεις που έγιναν συνολικά ήταν 69, από τις σαρώσεις αυτές τα νέφη σημείων υποβλήθηκαν στο λογισμικό πρόγραμμα (Leica Geosystems Cyclone). Η ένωση των μεμονωμένων σαρώσεων πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας κοινά χαρακτηριστικά σημεία σύνδεσης σε ένα ανεξάρτητο σύστημα αναφοράς. Για την ακρίβεια του συνενωμένου νέφους σημείων, το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMS) κυμαίνεται από 0.8 έως 2 εκατοστά. Η ένταξη του μοντέλου έγινε στο ελληνικό σύστημα αναφοράς (Ε.Γ.Σ.Α. 87) έγινε με την χρήση αυτοκόλλητων στόχων στην είσοδο του μοναστηριού όπως φαίνεται και παρακάτω. Οι συντεταγμένες υπολογιστή με Total station Leica Geosystems tcrp 1202 με μετρήσεις που εξαρτήθηκαν στο πολυγωνομετρικό δίκτυο που ιδρύθηκε σε προηγούμενο στάδιο.

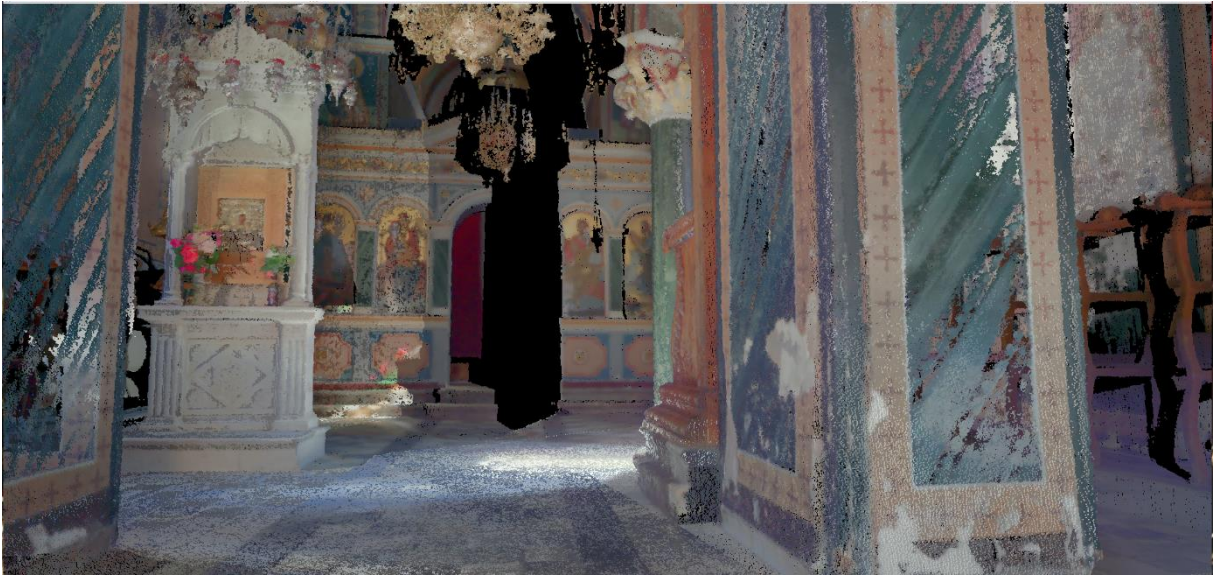
Σε συνέχεια του παραπάνω αφού υλοποιήθηκαν οι 69 σαρώσεις και σε 360° από κάθε πλευρά του μνημείου και αφού καλύφθηκε και το εξωτερικό και το εσωτερικό κομμάτι τα δεδομένα περάστηκαν στο πρόγραμμα Leica δηλαδή (**Leica Cyclone**) με χρήση του μοντέλου Leica Geosystems BLK 360. Για τις εξωτερικές μετρήσεις είναι απαραίτητο να καλυφτεί μεγάλη επιφάνεια του κτηρίου δηλαδή >40% ώστε να υπάρχει ομοιογένεια στην πυκνότητα του νέφους των σημείων, για τις σαρώσεις στο εσωτερικό κομμάτι ο σχεδιασμός θα πρέπει να γίνει με το λιγότερο έξι ομολογίες δηλαδή έξι ομόλογα σημεία. Πάρα όλα αυτά το εσωτερικό κομμάτι θεωρείται λίγο δύσκολο καθώς υπάρχουν εσωτερικοί διαχωριστικοί τοίχοι και γωνίες και υπάρχει ο κίνδυνος απόκρυψης σημείων και κοινών ομόλογων σημείων ώστε να πραγματοποιηθεί η συνένωση του τελικού νέφους των σημείων. Η συνένωση των νεφών είναι απαραίτητη για την ολοκλήρωση της σάρωσης καθώς μετά την ολοκλήρωση γίνεται ένταξη στο ενιαίο σύστημα αναφοράς στο λογισμικό Leica το οποίο χρησιμοποιεί ICP (Iterative Closest Point) αλγόριθμό ο οποίος μπορεί να ταυτίσει τουλάχιστον δυο νέφη σημείων σε ένα σύστημα αναφοράς. Με αυτόν τον τρόπο βελτιώνεται ο μετασχηματισμός επαναληπτικά με

διαδοχική ελαχιστοποίηση της απόστασης στα κοντινότερα σημεία των νεφών. Στην περιοχή μελέτης επιλέχθηκαν τουλάχιστον 6-7 ομόλογα σημεία, αυτά ήταν κυρίως γωνίες του μνημείου σε τοίχους, πόρτες και παράθυρα εξωτερικά και εσωτερικά, εσωτερικά χρειάστηκε να γίνει και αυτό σε κάποια αντικείμενα του Ναού όπως Αγιά Τράπεζα, το Ιερό, στον Τρούλο κ.α.

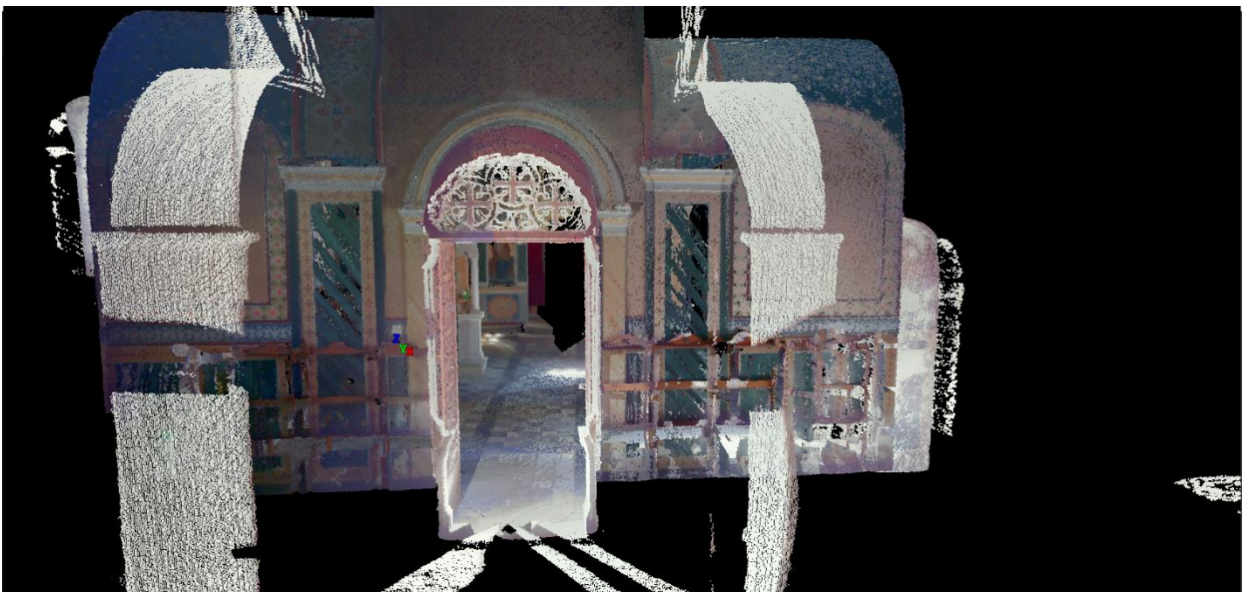
Εν συνεχεία αφού πραγματοποιήθηκε αυτή η διαδικασία γίνεται διόρθωση ελαχιστοτετραγωνική (registration) του συνενωμένου νέφους, γίνεται σταδιακά για να μπορέσουν να προστεθούν όλες οι επιμέρους σαρώσεις και να προσανατολιστούν στο κοινό νέφος σημείων.



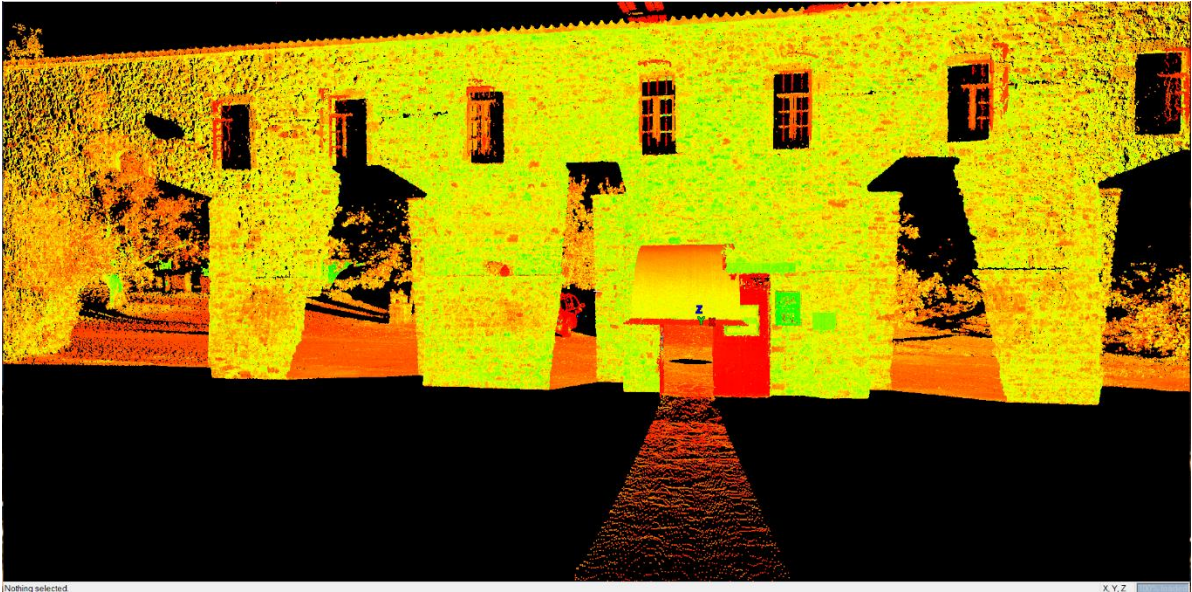
Εικόνα 22 : Εισαγωγή σαρώσεων στο πρόγραμμα Leica



Εικόνα 23 :Εσωτερική Σάρωση



Εικόνα 24 :Εξωτερική σάρωσης



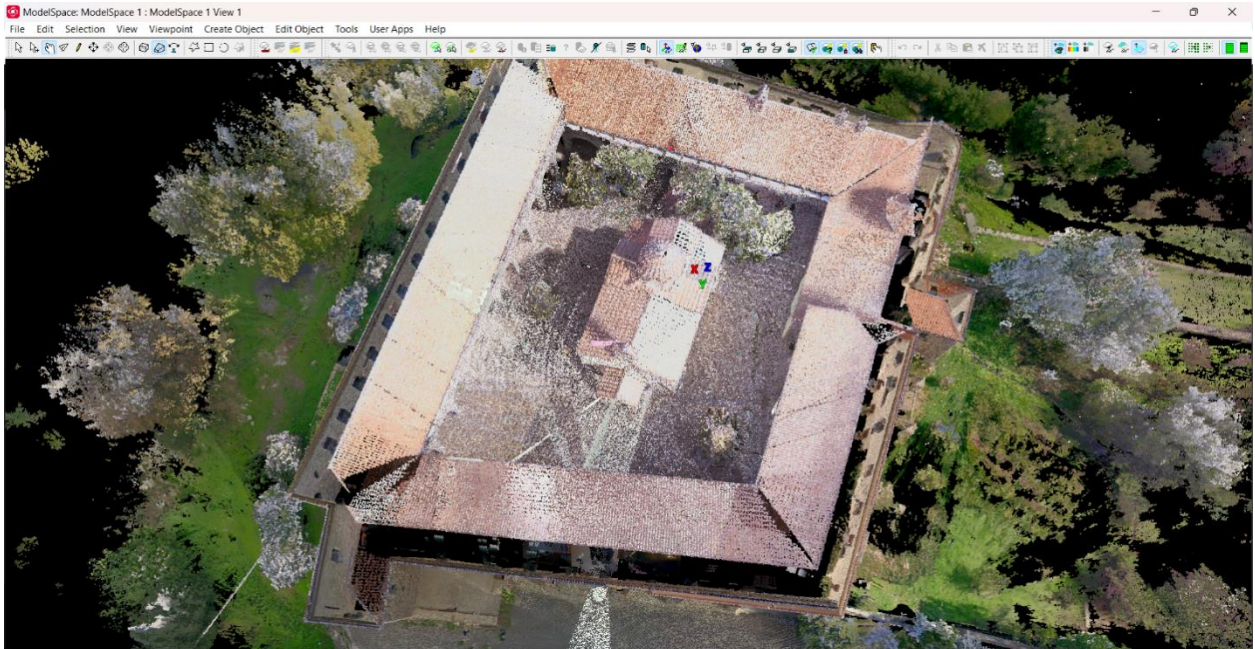
Εικόνα 25 :Επιμέρους εξωτερική σάρωση



Εικόνα 26: Αποτύπωση Κεντρικής Εισόδου της Μονής έπειτα από την συνένωση των νεφών σημείων.

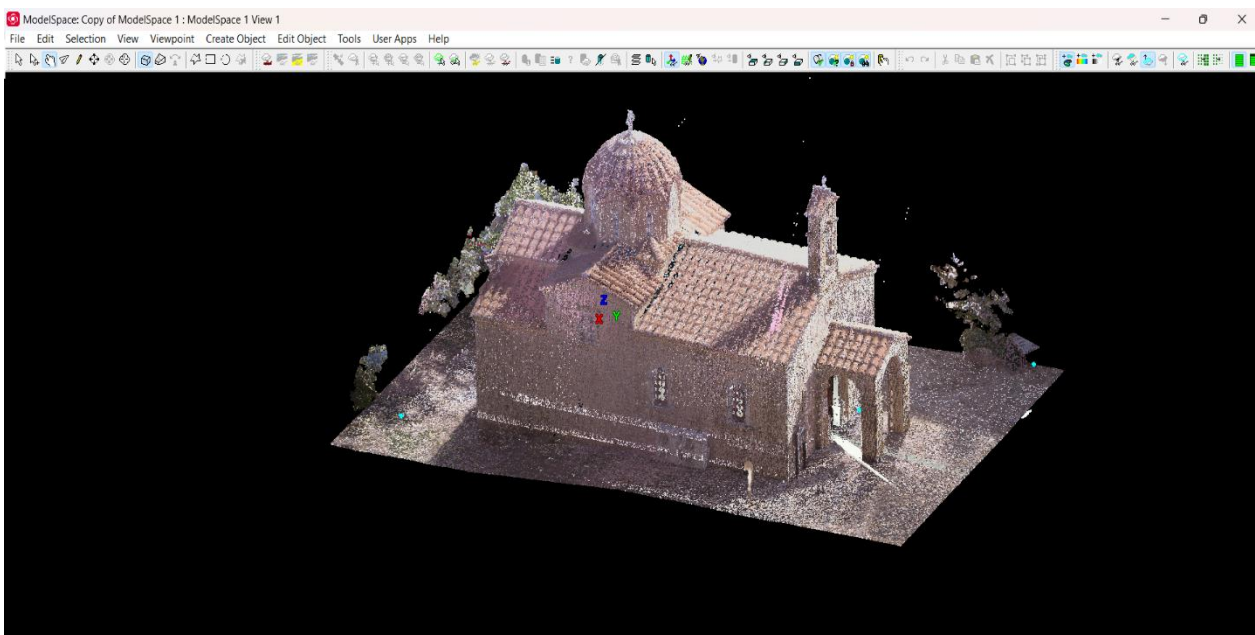
6.3 Τελικό Αποτέλεσμα

Αφού ολοκληρωθήκαν οι σαρώσεις και η συνένωση από τα νέφη σημείων, δημιουργήθηκε το τελικό μοντέλο τελικής συνένωσης. Η Συνένωση έγινε με τα Scanworld70-129-140 και 70-131-141 αφού έγινε το registration παρακάτω φαίνεται το συνολικό μοντέλο ολοκληρωμένο.

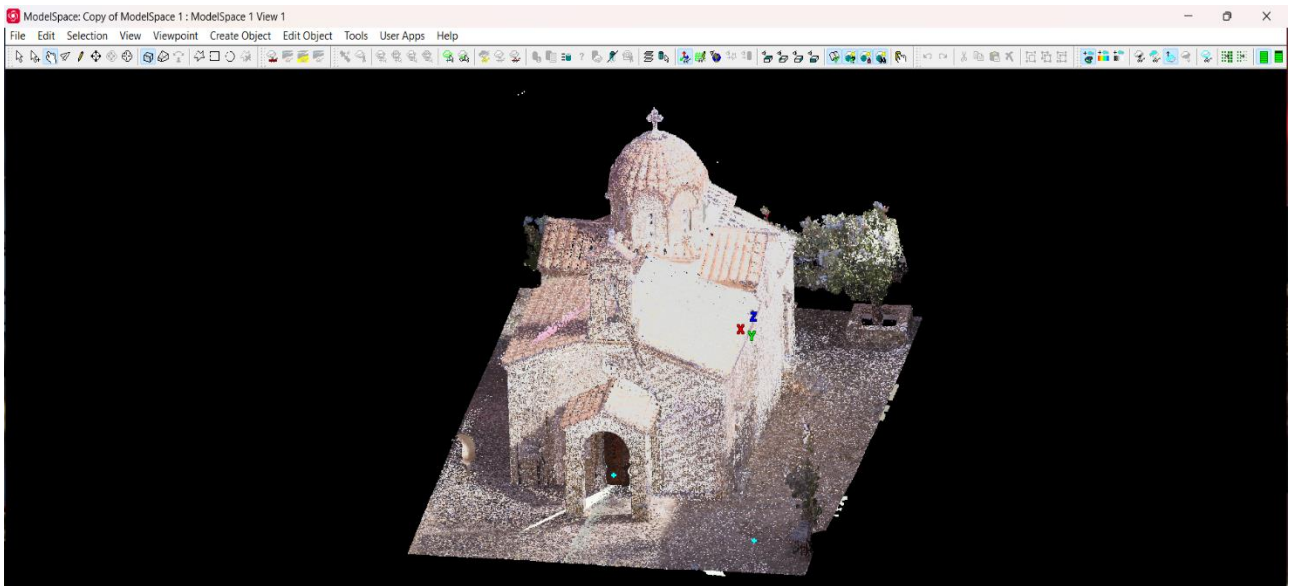


Εικόνα 27: Ολοκληρωμένο μοντέλο συνένωση

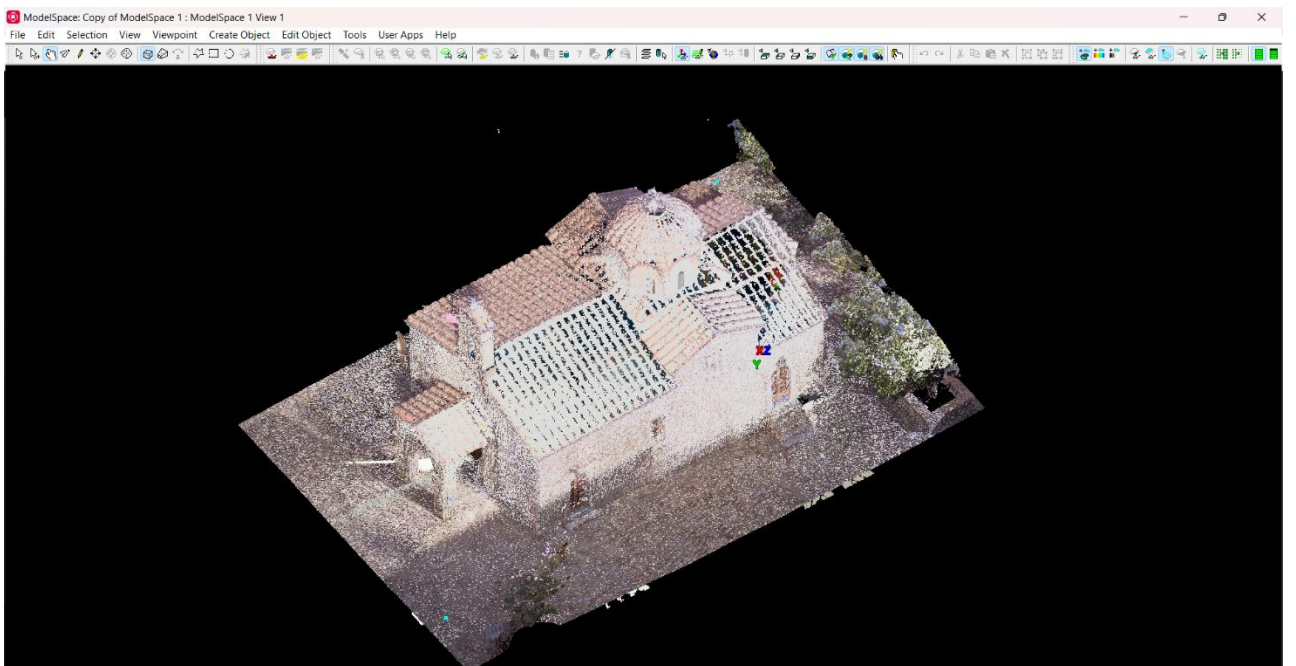
Για να μπορέσουμε ωστόσο να δημιουργήσουμε σε BIM το μοντέλο που θέλουμε δηλαδή ακριβώς μόνο την εκκλησιά για επεξεργασία χωρίς το γύρω κομμάτι έγινε σπορστο μοντέλο.



Εικόνα 28. Πλάγια όψη από αριστερά

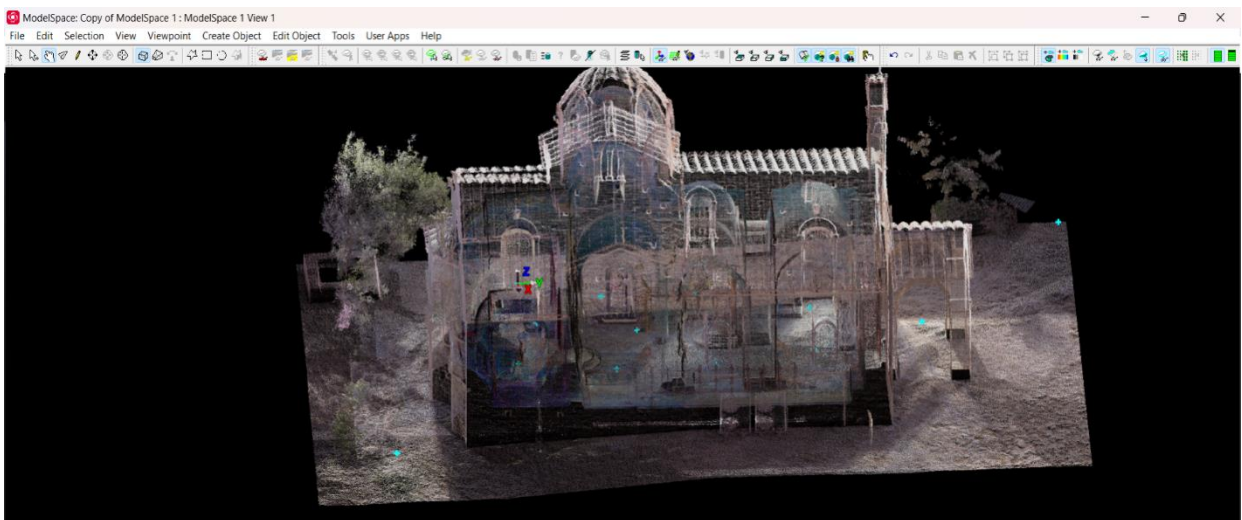


Εικόνα 29 μπροστινή όψη

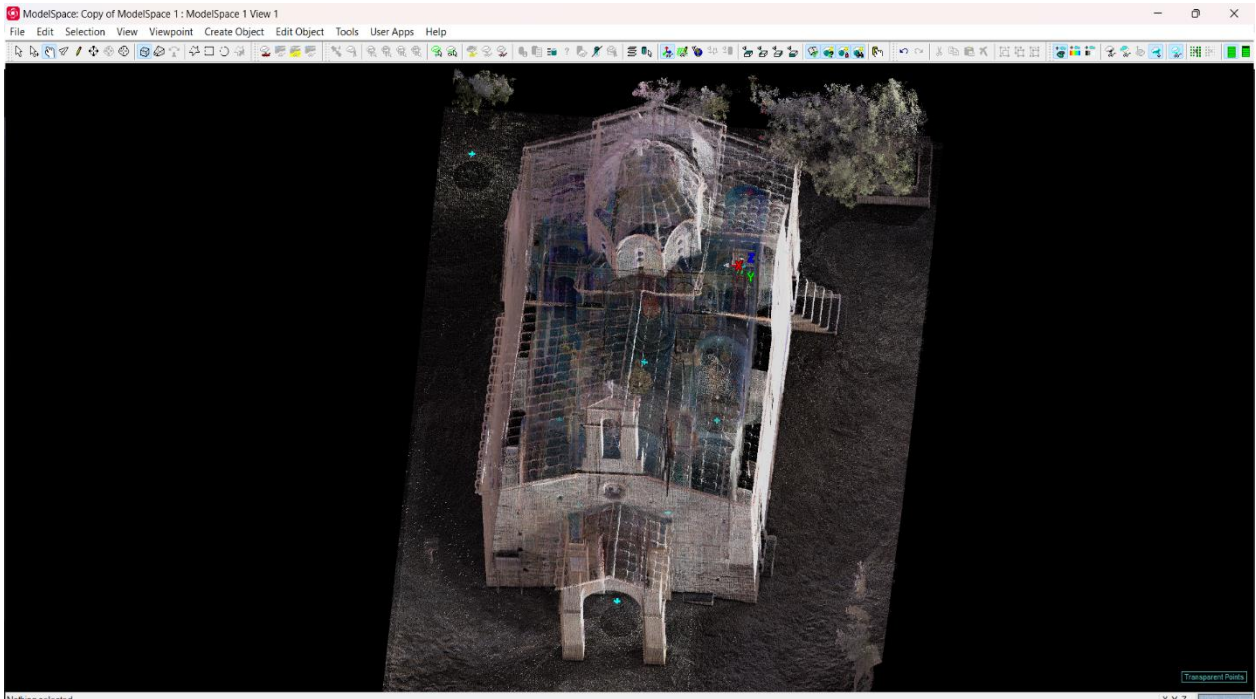


Εικόνα 30 Πλαγία όψη δεξιά

Αφού έγινε η περικοπή των περιττών σημείων ούτε ως ώστε να δουλέψουμε το κομμάτι που θέλουμε για επεξεργασία μπορούμε να δούμε την εσωτερική και εξωτερική σάρωση παρακάτω έτσι ώστε αργότερα να γίνει η επεξεργασία για την ανάπτυξη του BIM στο πρόγραμμα Revit. Ο σαρωτής αφού απομακρύναμε τα περιττά σημεία μας έχει δώσει τα εσωτερικά και εξωτερικά σημεία του περιβάλλοντος του, εκτός από τα σημεία που κρίνονται από αποκρύψεις λόγω θορύβου ή διάφορων άλλων λαθών. Γίνεται τμηματοποίηση των νεφών κατά τμήματα που μας ενδιαφέρουν για καλύτερη και γρήγορη επεξεργασία.



Εικόνα 31 εσωτερική τμηματοποιηση



Εικόνα 32 εσωτερική τακτοποίηση

Αφού συλλέξαμε το κομμάτι που θέλουμε για επεξεργασία γίνετε συνένωση στα σημεία του στόχου που θέλουμε με γραμμικούς περιορισμούς και μας δίνονται σαν αποτελέσματα τα παρακάτω.

```
Status: VALID Registration
Mean Absolute Error:
  for Enabled Constraints = 0.000 m
  for Disabled Constraints = 0.000 m
Date: 2023.12.17 16:22:44
Database name : teliko

ScanWorlds
ScanWorld [131_139-140]
ScanWorld [70_129-130]

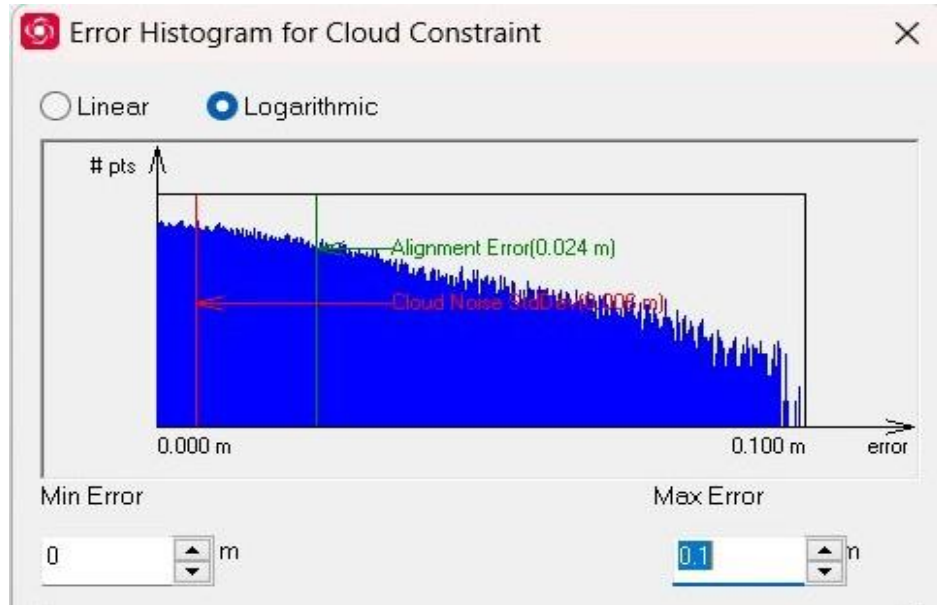
Constraints
Constraint ID ScanWorld ScanWorld Type Status Weight Overlap Points Error Error Vector HorizVert
Cloud/Mesh 1 ScanWorld [70_129-130] ScanWorld [131_139-140] Cloud: Cloud/Mesh - Cloud/Mesh On 1.0000 34800 0.000 m aligned [0.024 m]
Cloud/Mesh 1 [ScanWorld [70_129-130] ScanWorld [131_139-140]]
Objective Function Value: 0.000446868 sq m
Iterations: 100
Overlap Point Count: 34800
Overlap Error Statistics
RMS: 0.0243577 m
AVG: 0.0187047 m
MIN: 1.37229e-05 m
MAX: 0.0903759 m
Overlap Center: (-2.830, -26.824, 0.170) m
Error after global registration: 4.05748e-29 sq m
Translation: (13.823, -28.437, -0.795) m
Rotation: (0.0276, -0.0272, 0.9992):91.006 deg

ScanWorld Transformations
ScanWorld [131_139-140]
translation: (0.000, 0.000, 0.000) m
rotation: (0.0000, 1.0000, 0.0000):0.000 deg
ScanWorld [70_129-130]
translation: (28.666, 13.343, -0.789) m
rotation: (-0.0276, 0.0272, -0.9992):91.006 deg

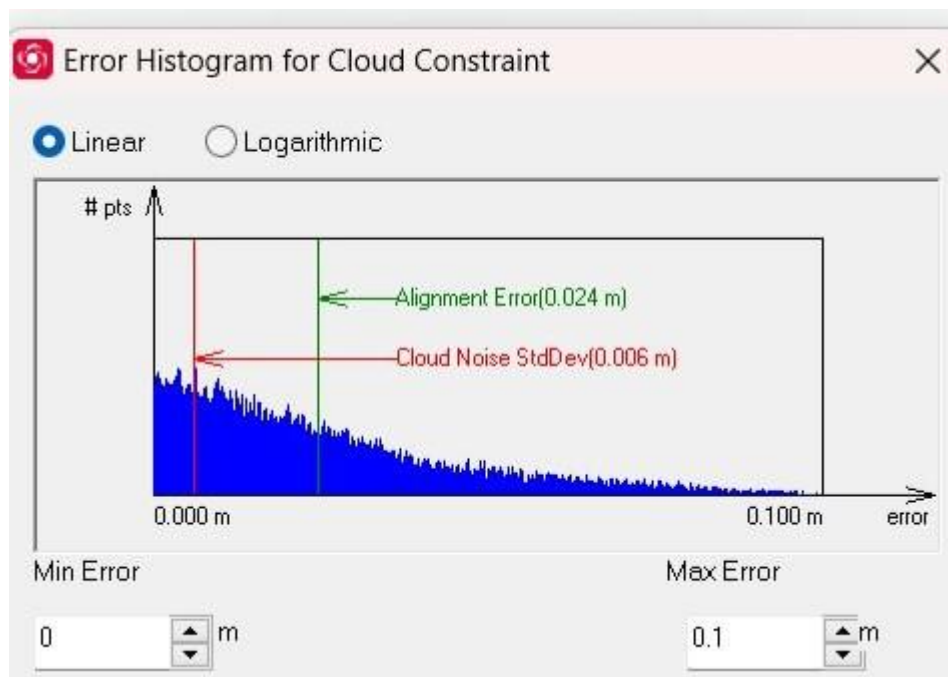
Unused ControlSpace Objects
ScanWorld [131_139-140]
Vertex : unlabeled
Vertex : unlabeled
Vertex : unlabeled
Vertex : unlabeled
Vertex : unlabeled
Vertex : unlabeled
Vertex : unlabeled
```

Εικόνα 33: Αποτέλεσμα συνένωσης νεφών σημείων.

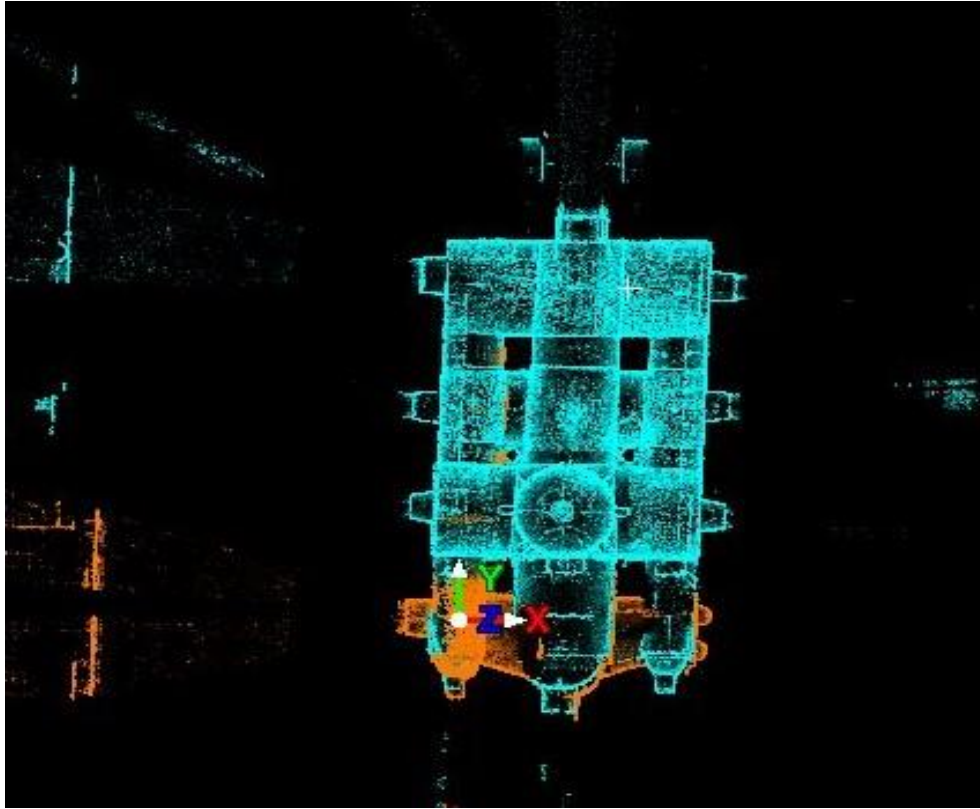
Όλα τα αποτελέσματα των συνενώσεων παρουσιάζονται από τον πίνακα του προγράμματος Cloud Constraint Diagnostics/View Diagnostics όπου εξαγάγαμε τα αποτελέσματα. Εν συνέχεια έχουμε το ιστόγραμμα σφαλμάτων των συνενώσεων.



Εικόνα 34: Λογαριθμικό ιστόγραμμα Σφαλμάτων συνένωσης.



Εικόνα 35: Γραμμικό Ιστόγραμμα Σφαλμάτων Συνένωσης.

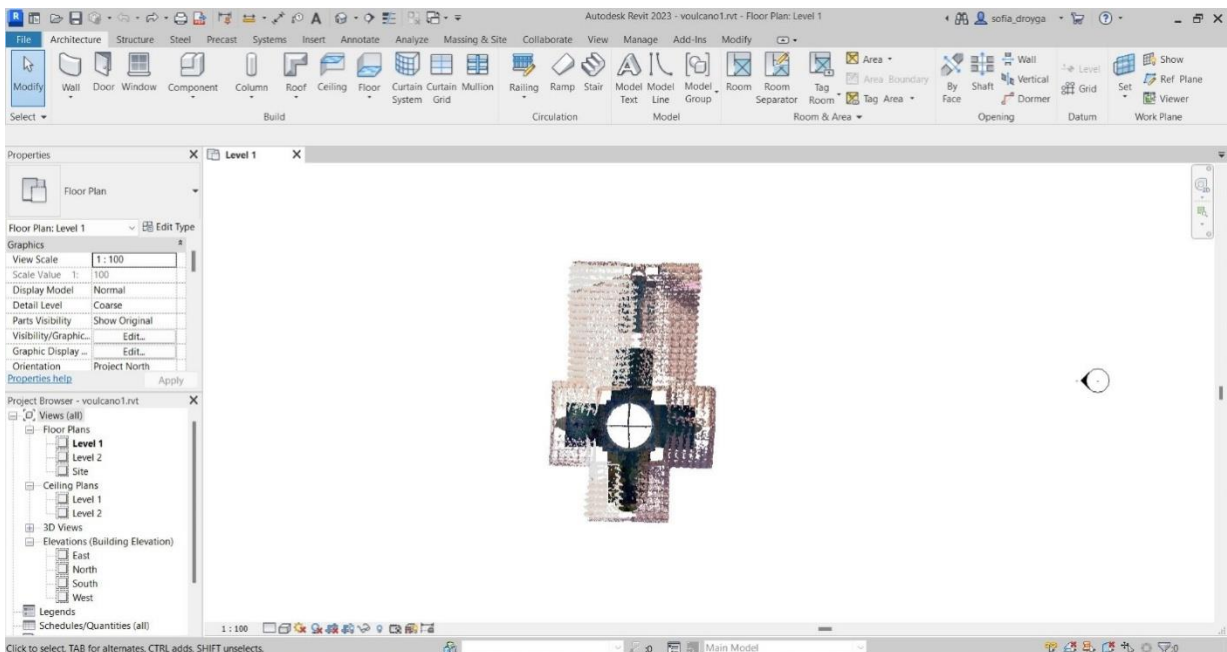


Εικόνα 36: Αποτέλεσμα τελικής επικάλυψης σαρώσεων.

Τέλος, αφού γίνονται όλες οι απαραίτητες διαδικασίες γίνεται εξαγωγή του αρχείου σε μορφή .scr δηλαδή Recap για να γίνει στην συνέχεια η επεξεργασία στο λογισμικό πρόγραμμα Revit 2024.1.

6.4 Δημιουργία Μοντέλου BIM

Για την δημιουργία του μοντέλου BIM επιλέξαμε το λογισμικό Revit 2024, στο οποίο θα γίνει μια μελέτη για την γεωμετρική μορφή του Ναού, ειδικά θα δημιουργηθεί ένα μοντέλο με βάση τα σχεδιαστικά εργαλεία του προγράμματος. Εν συνεχεία θα μελετηθεί η χρήση του μοντέλου για την διαχείριση και ολοκλήρωση της υφιστάμενης κατάστασης του Ναού. Ξεκινώντας το Project γίνονται κάποιες ρυθμίσεις και εισάγουμε το τελικό αποτέλεσμα από την προηγούμενη εφαρμογή δηλαδή την τρισδιάστατη σάρωση laser.

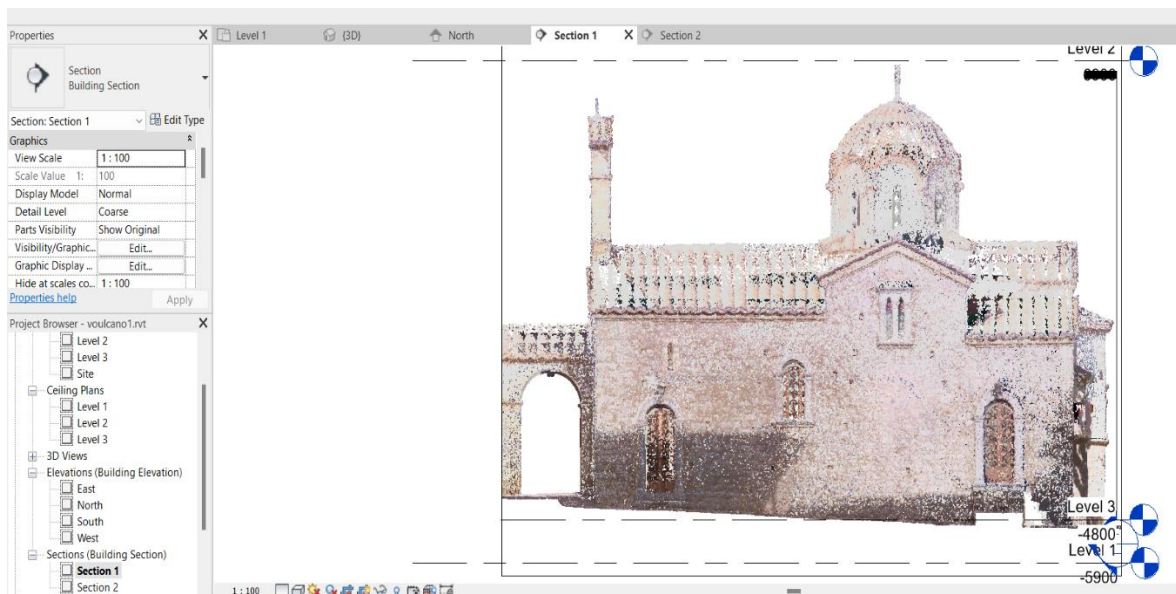


Εικόνα 37. Αρχή επεξεργασίας στο πρόγραμμα Revit.

Αρχικά αφού περάσαμε το point cloud στο πρόγραμμα βλέπουμε το νέφος σημείων δηλαδή την εκκλησιά πριν μπουν τα level και ξεκινήσει η επεξεργασία του μοντέλου.

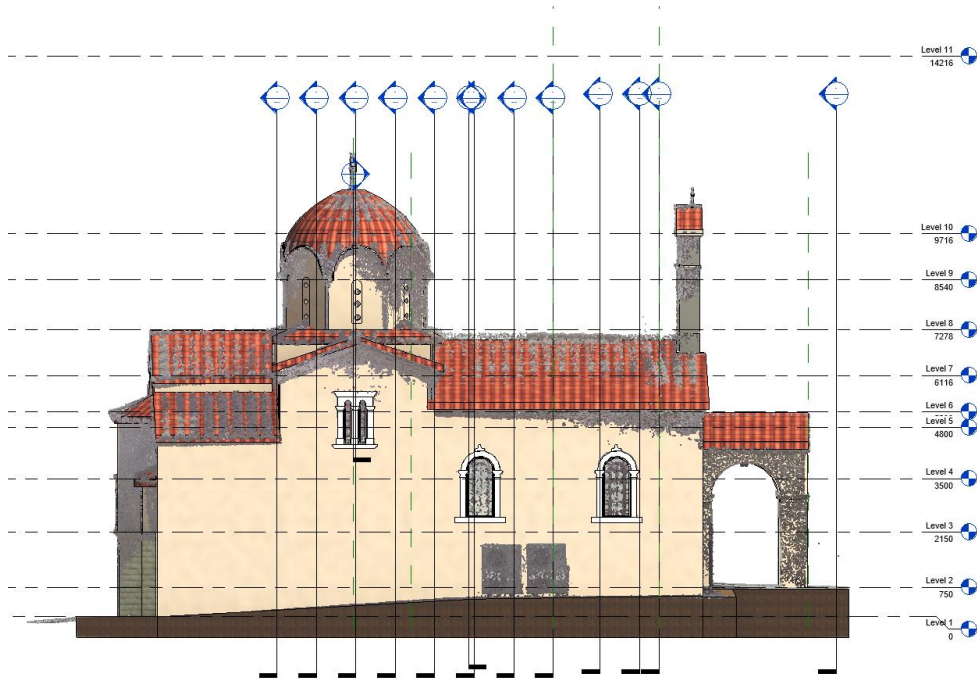


Εικόνα 38. Αρχικό μοντέλο



Εικόνα 39. Αρχικό μοντέλο

ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ

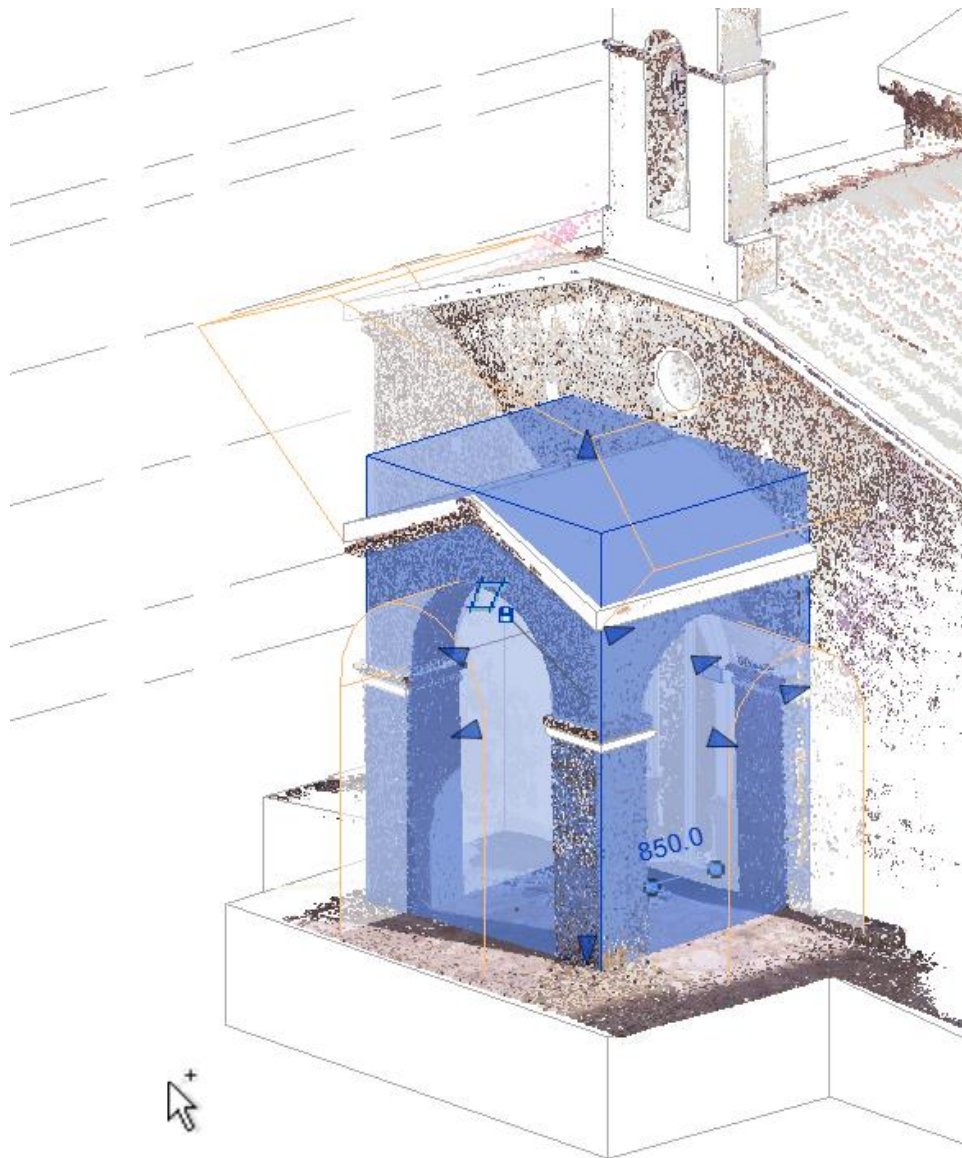


Εικόνα 40. levels

Στην παραπάνω εικόνα σαν αρχή βάλαμε τα level πράγμα το οποίο θα μας βοηθήσει στην συνέχεια στο μοντάρισμα των κυριών στοιχείων του ναού όπως για παράδειγμα οι στέγες οι οποίες προσδιορίζουν τα ύψη των τοίχων. Τα level γίνανε για τις διαφορετικές θέσεις των στεγών- οροφών των Dome, αλλά και σαν όρια (Constraints των τοίχων). Πιο συγκεκριμένα ένας τοίχος κατά βάση πάει από ένα level σε ένα άλλο υπάρχουν κάποιες εντολές οι οποίες μπορούν να αλλάξουν το σχήμα- όψη του η εντολή αυτή είναι attach top/ base.

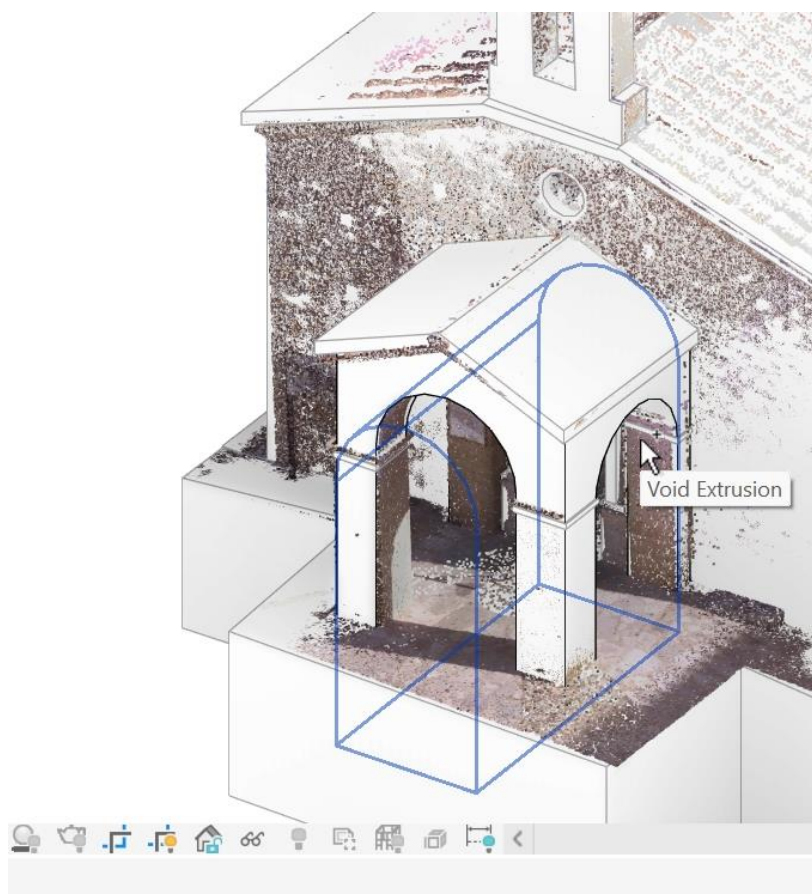
Συνολικά έχουμε στην εργασία 11 level. Τα level στην ουσία είναι οριζόντια επίπεδα στα οποία μπορούμε να σχεδιάσουμε στοιχεία του Revit για παράδειγμα ένας τοίχος πηγαίνει από ένα level σε ένα άλλο. Χρειάζεται level για να σχεδιαστεί.

Επίσης πέρα από τα level έχουμε και sections δηλαδή επαληθεύεται με τις τομές ότι το πλήθος των τομών ακολουθεί την γεωμετρία του point cloud. Γίνανε κυρίως για επαλήθευση αλλά και σε περίπτωση που θέλουμε να πάμε πίσω.



Εικόνα 41. Void extrusion

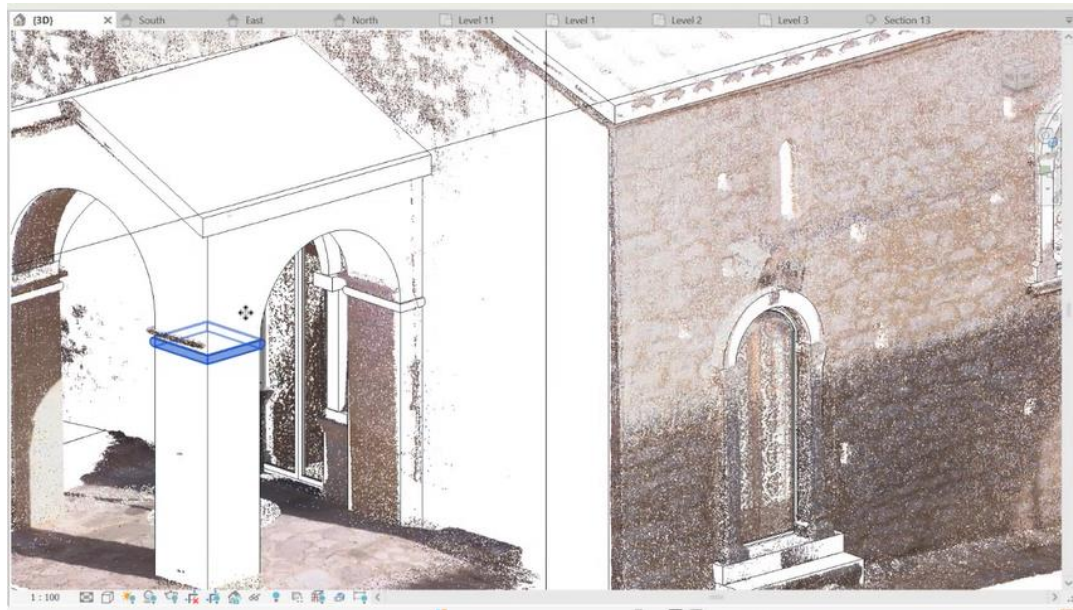
Η Είσοδος του ναού έγινε με ένα in place model δηλαδή ένα στοιχείο του Revit το οποίο βοηθάει πολύ σε περιπτώσεις που υπάρχει ένα custom σενάριο όπου δηλαδή δεν υπάρχει συμβατική κατασκευή. Η είσοδος φτιάχτηκε από ένα κουτί στο οποίο αφαιρέθηκε ο όγκος (voids) εσωτερικά για να γίνουν τα σταυροθόλια



Εικόνα 42. Void Extrusion

Δημιουργήθηκε ένα σχήμα μεγαλύτερο από την πραγματική είσοδο (in place extrusion), έπειτα με την εντολή extrusion επειδή τα δομικά στοιχεία του revit δεν μπορούσαν να εξυπηρετήσουν αυτή την κατασκευή βάλουμε την σωστή κατηγορία δηλαδή τοίχος με το όνομα και αρχίσαμε την μοντελοποίηση. Αυτό δημιουργήθηκε διότι οι διαστάσεις δεν ήταν ίδιες. Παρόλα αυτά και ίδιες διαστάσεις να υπήρχαν αφού κόψουμε σε μια διεύθυνση θα πρέπει να κοπεί και στην άλλη σε κάθε περίπτωση.

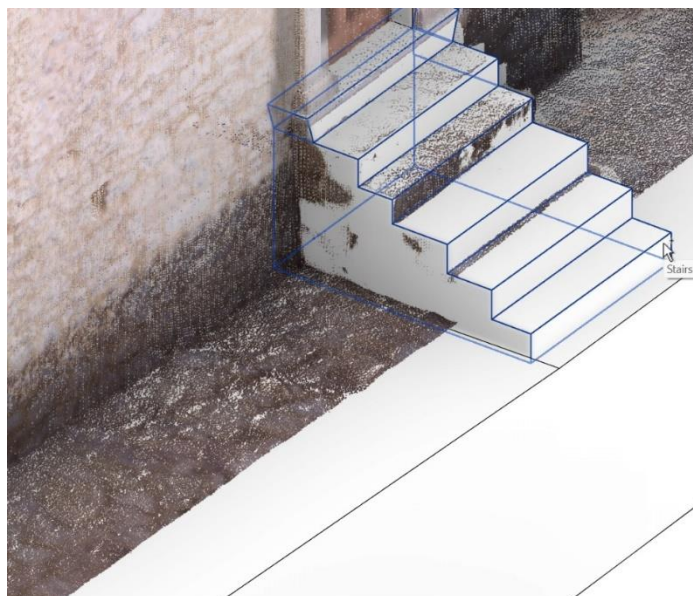
Αφού φτιάχτηκε λοιπόν το σχήμα και το σκάψαμε με δυο void extrusion στις διευθύνσεις που θέλαμε, και τέλος δημιουργήθηκε και ένα τρίτο για να ακολουθήσει το σχήμα της στέγης.



Εικόνα 43. κόγχες

Για να δημιουργηθούν οι κόγχες χρησιμοποιήσαμε την εντολή Sweep/in place sweep που είναι στην ουσία ένα in place model το οποίο παίρνει μια διατομή που τρέχει σε ένα Path. Το path εδώ είναι τα όρια της κολώνας το περίγραμμα δηλαδή από το οποίο αφού διαλέξουμε τις γωνίες δημιουργούμε το προφίλ όπως φαινότανε από το cloud.

ΣΚΑΛΕΣ



Εικόνα 44 Δημιουργία σκάλας

Στην δημιουργία της σκάλας δεν μπορέσαμε να χρησιμοποιήσουμε το μοντέλο σκάλας του revit γιατί το εργαλείο αυτό έχει ένα τυπικό πάτημα, στο μοντέλο μας δεν υπήρχε το κάθε σκαλάκι ήταν λίγο διαφορετικό από τα άλλα όσον αφορά το πάτημα, την διάσταση και το

πάχος του καθενός. Κάναμε ένα in place model δηλαδή σε μια πλάγια όψη σχεδιάστηκε η τομή που βλέπαμε στο cloud τοποθετήσαμε και ένα επιπλέον σκαλάκι ώστε να μην είναι στο αέρα και επιλέξαμε την κατηγορία stairs.

Δάπεδο



Εικόνα 45 Δάπεδο



Εικόνα 46 δάπεδο

Χρησιμοποιήσαμε την εντολή Floor το οποίο είναι ένα επίπεδο το οποίο χρησιμοποιείται σαν

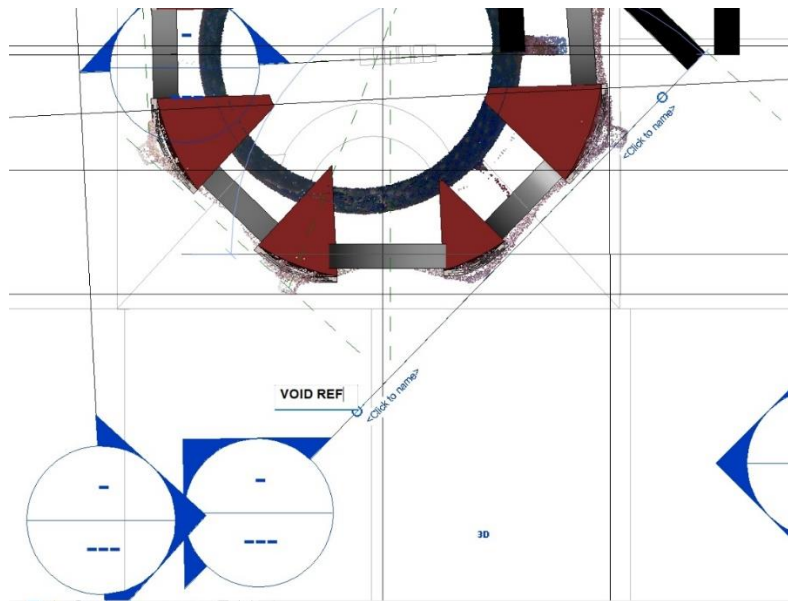
δάπεδο είτε και σαν έδαφος. Είναι δηλαδή μια πλακά στην οποία μπορούμε στο καινούργιο revit να αλλάξουμε το υλικό. Μπορούμε να δημιουργήσουμε Split lines και δίνουμε συγκεκριμένα υψόμετρα. Στο μοντέλο έγινε τοποθέτηση του ναού στο περιβάλλοντα χώρο.

Τρούλος

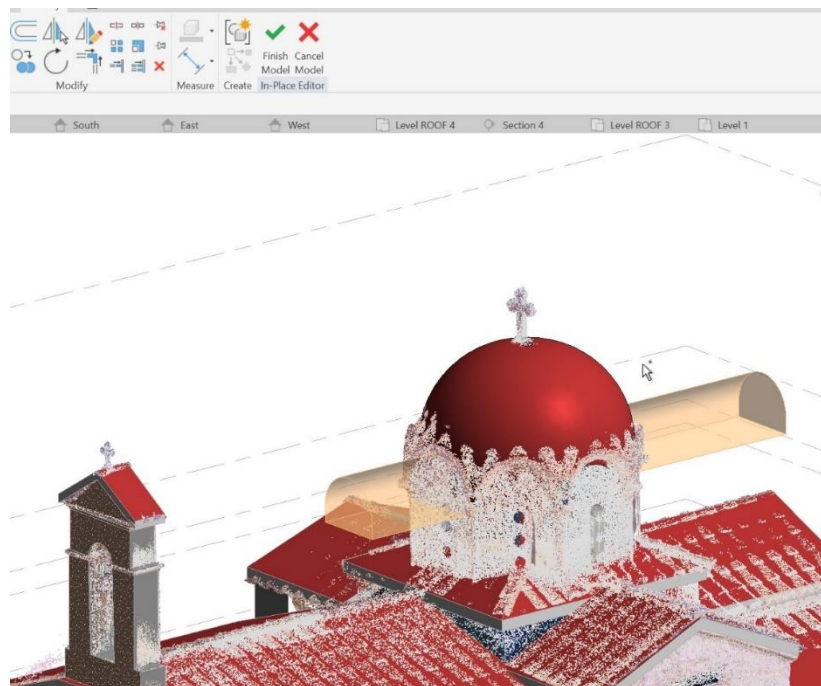


Εικόνα 47 revolve

Στον τρούλο δημιουργήθηκε ένα in place model κατηγορία οροφή (roof) είναι ένα revolve δηλαδή μια περιστροφή μιας διατομής γύρω από έναν άξονα, αφού δημιουργήθηκε γίνανε σκαψίματα ώστε να δημιουργηθούν τα παράθυρα γύρω γύρω και μέσα (voids). Για να μπορέσει ο τρούλος να είναι σωστά τοποθετημένος στην στέγη έγινε ένα κενό (μια τρύπα) με vertical opening στην στέγη.

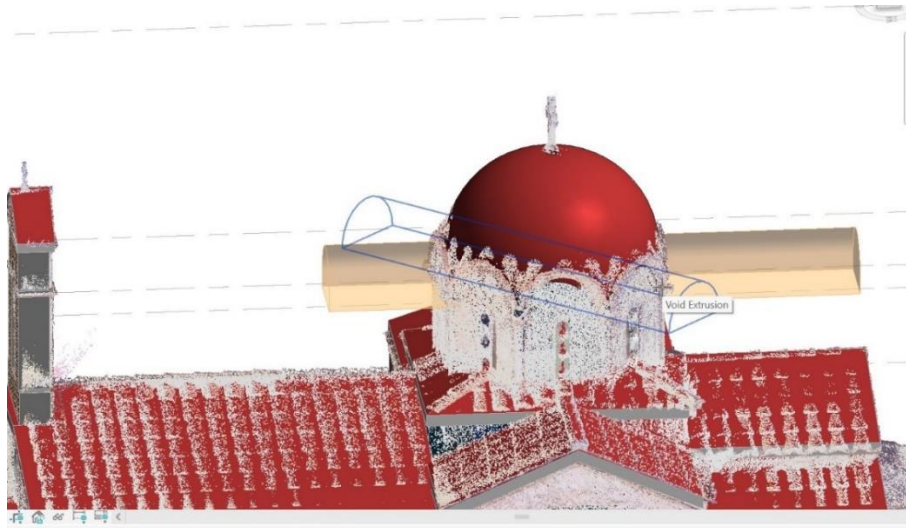


Εικόνα 48 Δημιουργία σκαψιμάτων

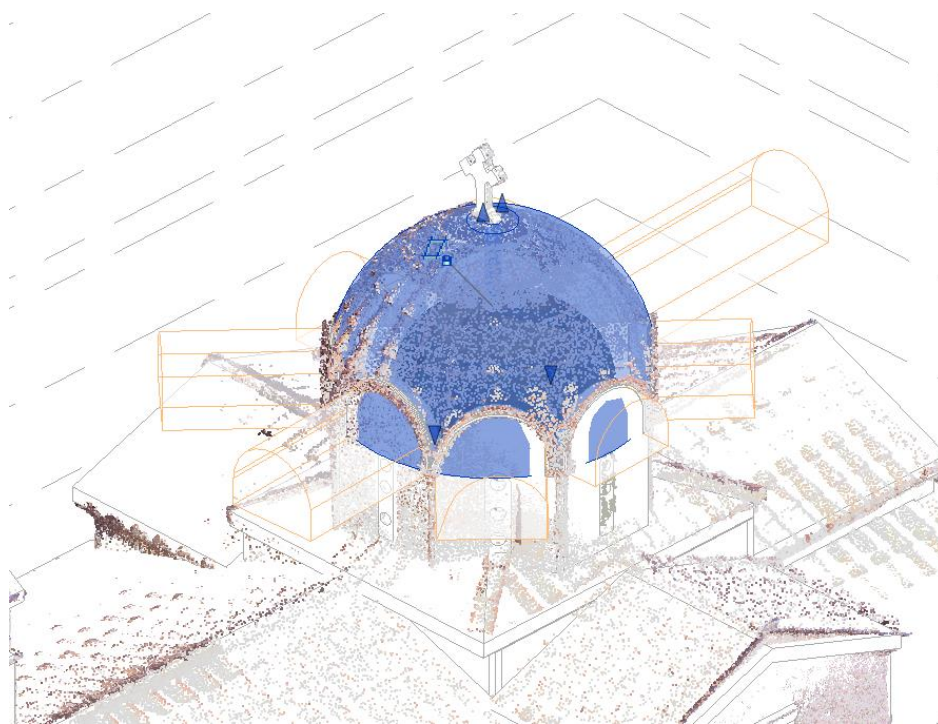


Εικόνα 49 Δημιουργία τρούλου

Έγινε δημιουργία τομών επειδή στο revit δεν μπορούμε να σχεδιάσουμε όπου θέλουμε δημιουργούμε ένα reference plane στις τομές για να γίνουν τα σκαψίματα, όπως φαίνονται παρακάτω.

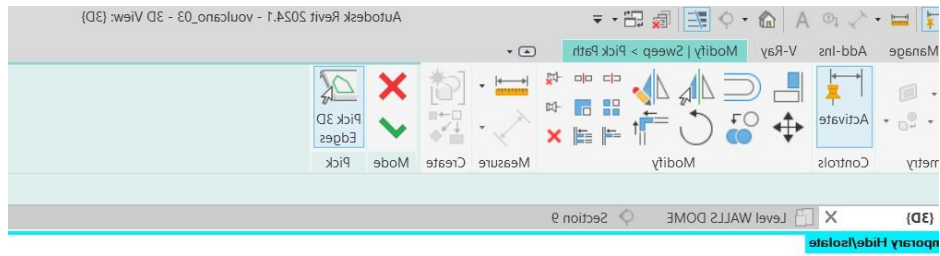


Εικόνα 50 Δημιουργία τρούλου

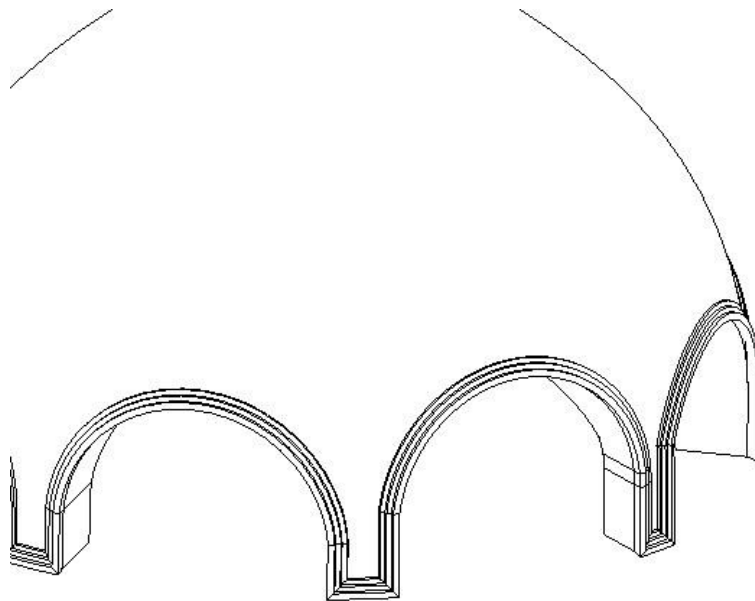


Εικόνα 51 Δημιουργία ακμών

Αφού φτιάχτηκε ο Τρούλος σχεδιάστηκαν οι τοίχοι στο level στους οποίους αλλάχτηκε το προφίλ από την προηγούμενη διαδικασία. Δηλαδή έγινε μια άλλη τεχνική για να φανούν οι ακμές με pick tool όριο δηλαδή μέσα στο όριο.



Εικόνα 52 Δημιουργία ακμών



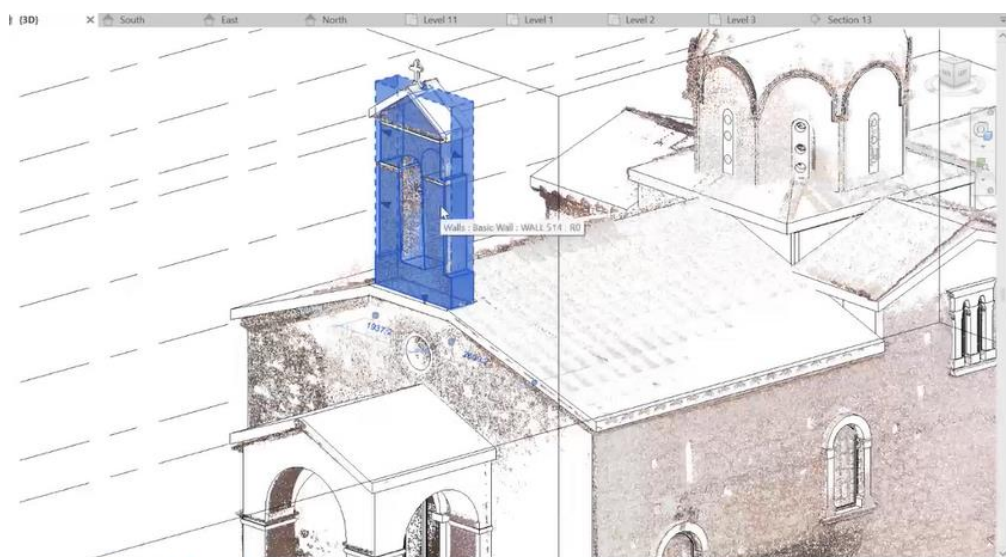
Εικόνα 53 .Δημιουργία ακμών

Καμπαναριό



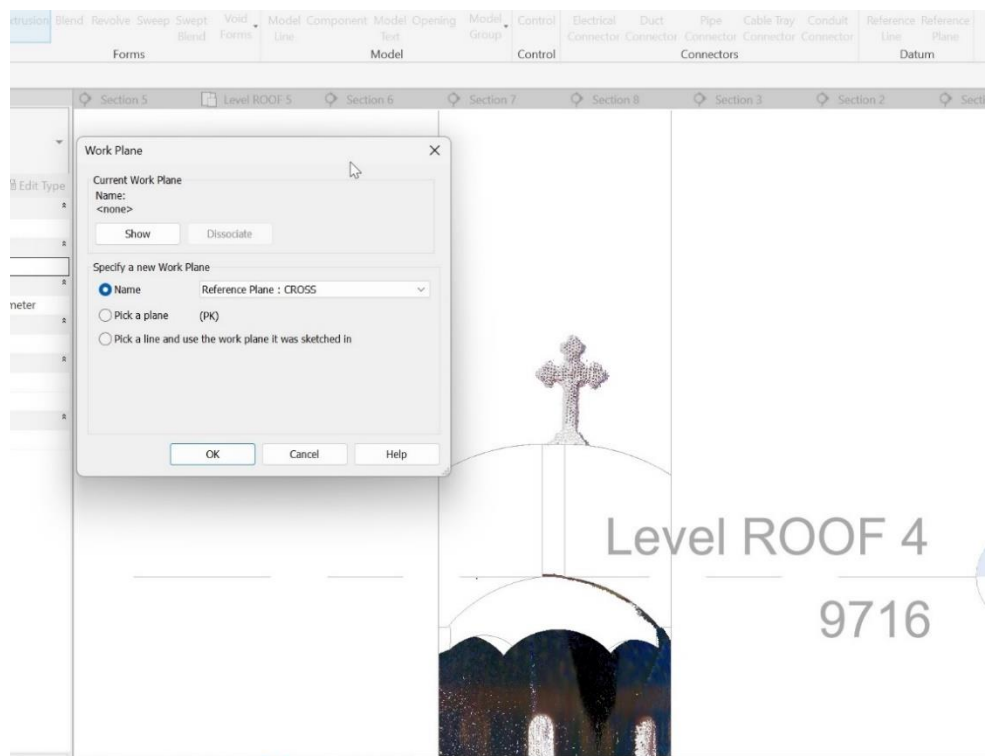
Εικόνα 54 Δημιουργία καμπαναριού

Στο καμπαναριό δημιουργήσαμε εκ νέου έναν ακόμα τοίχο. Με το pick line αλλάξαμε το προφίλ του τοίχου με βάση την σκεπή του και κάναμε τα σκαψίματα (voids) στο νέφος σημείων και κάναμε όριο μέσα στο όριο. Το πάχος του συγκεκριμένου τοίχου ήταν πιο λεπτό από τους υπολοίπους.



Εικόνα 55. Δημιουργία καμπαναριού

Στέγες



Εικόνα 56 δημιουργία Σταυρού

Σταυρός

Ο Σταυρός στο Καμπαναριό και στον Τρούλο δημιουργήθηκε με in place extrusion σχεδιάστηκε περιμετρικά και μετρήθηκε το ύψος και το πάχος του.



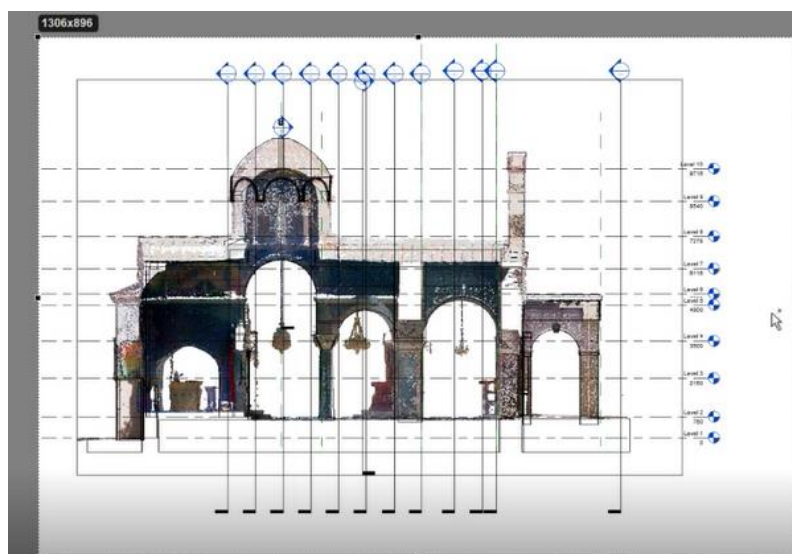
Εικόνα 57 Δημιουργία στεγών πριν μπει ο Τρούλος.

Οι στέγες είναι οι κανονικές στέγες του revit όπου δίνουμε την κλίση τους δηλαδή τις μοίρες τους ύστερα από διάφορες τιμές. Είχαμε μια τετράριχτη στέγη αυτή που είναι ο Τρούλος και οι υπόλοιπες ήταν δίριχτες στέγες μετρήσαμε το πάχος τους και φτιάξαμε τις μοίρες.

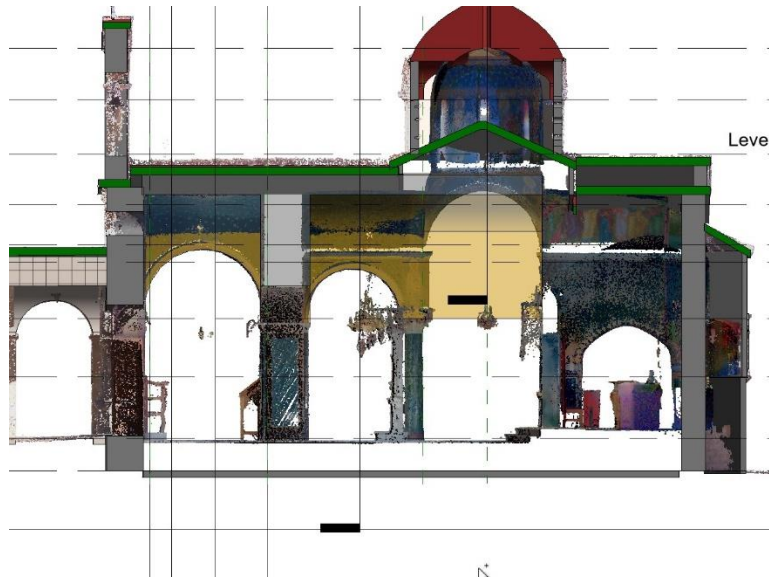


Εικόνα 58 Δημιουργία στεγών και τρούλου

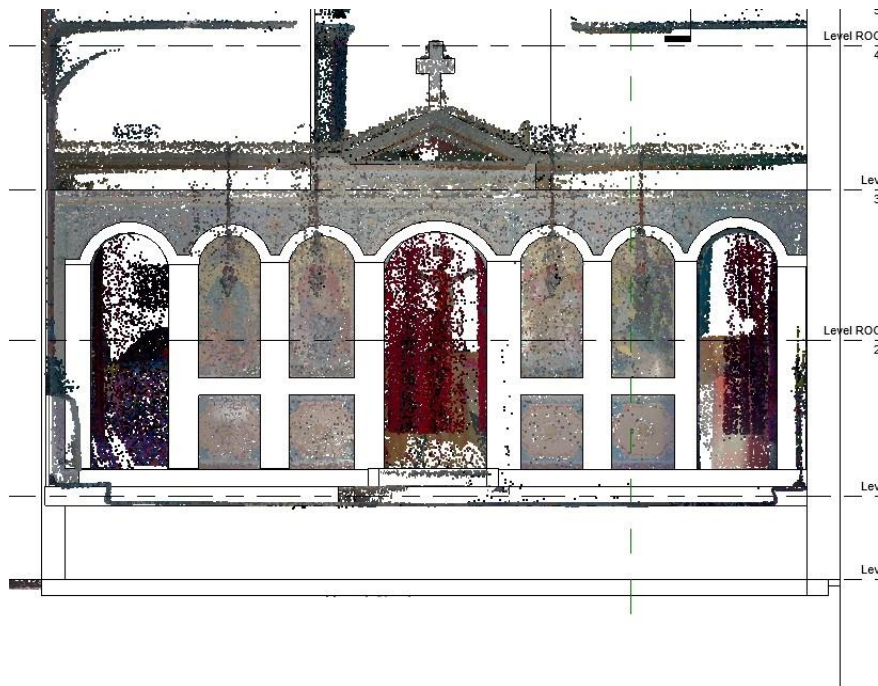
ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ



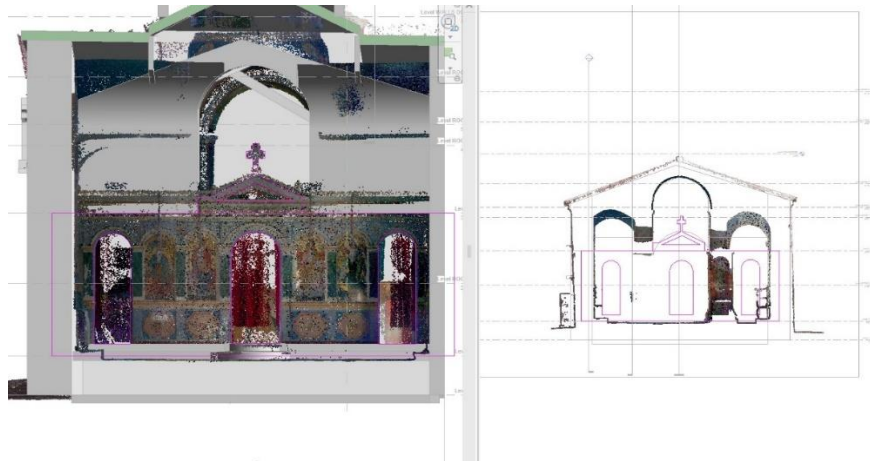
Εικόνα 59 Εσωτερική εικόνα Ναού πριν επεξεργαστεί.



Εικόνα 60 Εσωτερική εικόνα Ναού πριν επεξεργαστεί.



Εικόνα 61 Εσωτερική εικόνα Ναού πριν επεξεργαστεί.



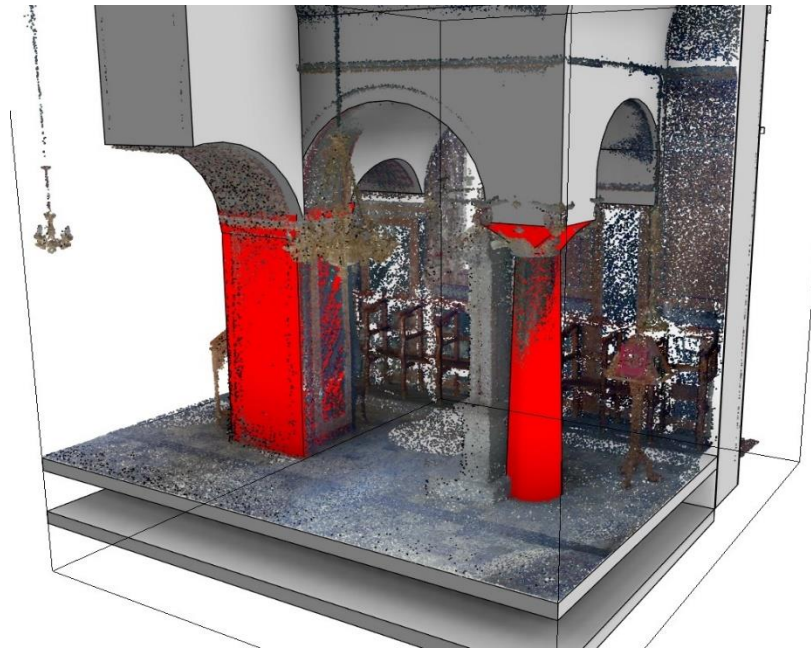
Εικόνα 62 Εσωτερική εικόνα Ναού πριν επεξεργαστεί.

Τα στραυθόλια δημιουργήθηκαν με τον ίδιο τρόπο όπως η είσοδος του ναού αφού φτιάχτηκε λοιπόν το σχήμα (τοίχος) το σκάψαμε εσωτερικά εδώ χρειάστηκαν περισσότερα voids extrusion σε αυτή την περίπτωση διότι ήταν στο εσωτερικό του ναού κάτι που δυσκόλεψε την αρκετά την διαδικασία.

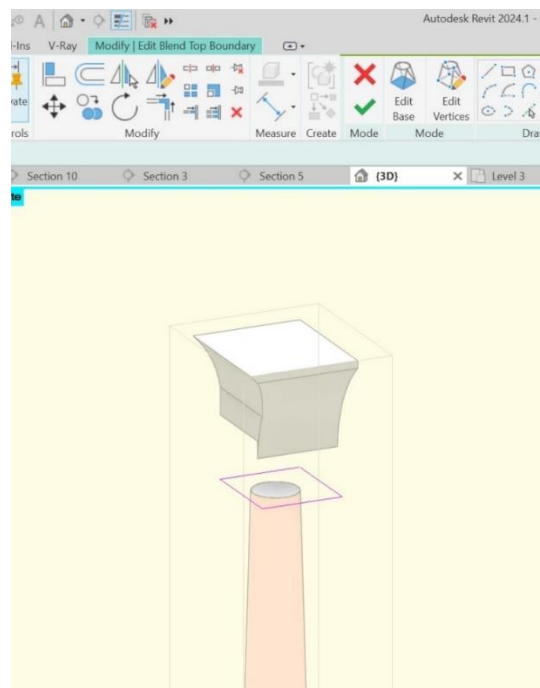
Κολόνες



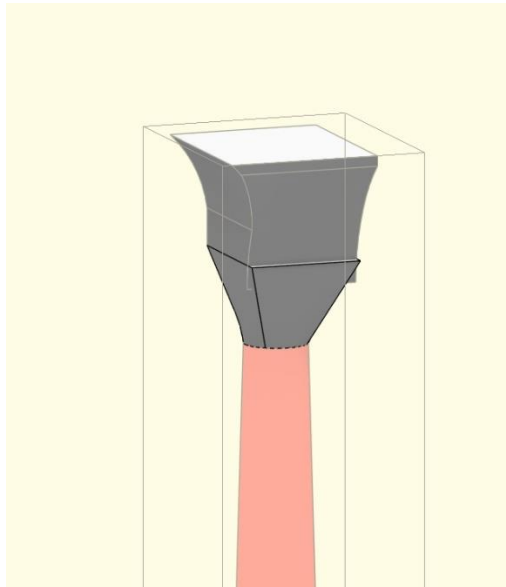
Εικόνα 62 Δημιουργία κολόνων και σταυροθόλια.



Εικόνα 63 Δημιουργία κολόνων και σταυροθόλια



Εικόνα 64 Δημιουργία κολόνας. (Blend)



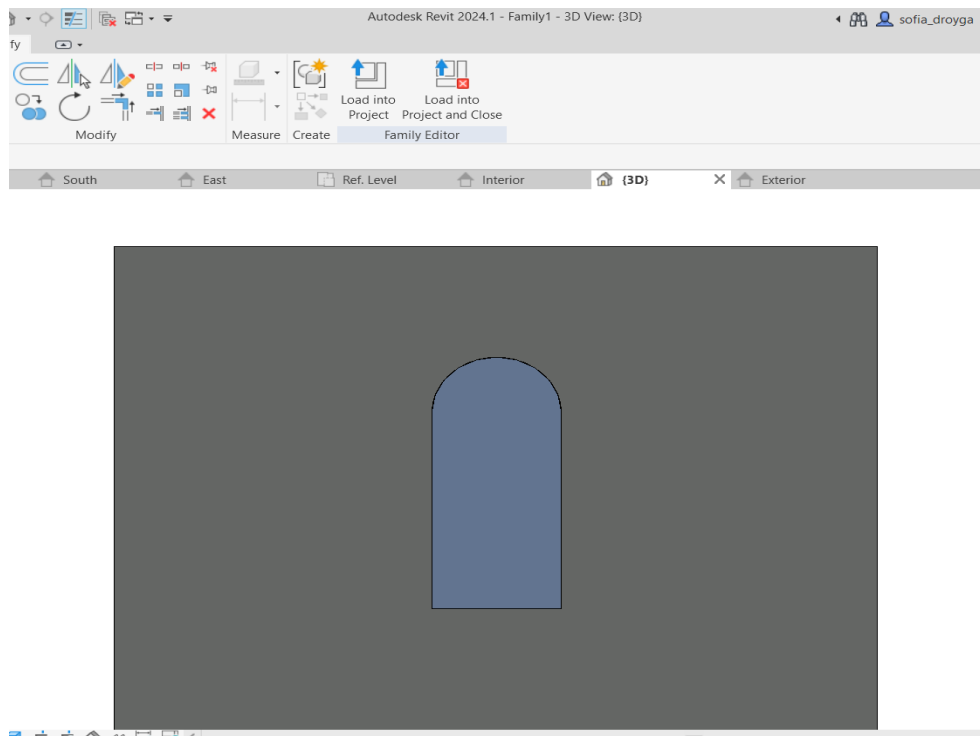
Εικόνα 65 Δημιουργία κολόνας. (Blend)

Οι κολόνες δημιουργήθηκαν με ένα Blend δηλαδή ξεκινήσαμε από την διατομή του κύκλου δώσαμε άλλη μια διατομή δηλαδή στο τετράγωνο το οποίο πάει από την μια διατομή στην άλλη. Δηλαδή ενώνει το βάθος με το ύψος.

Πόρτες- Παράθυρα

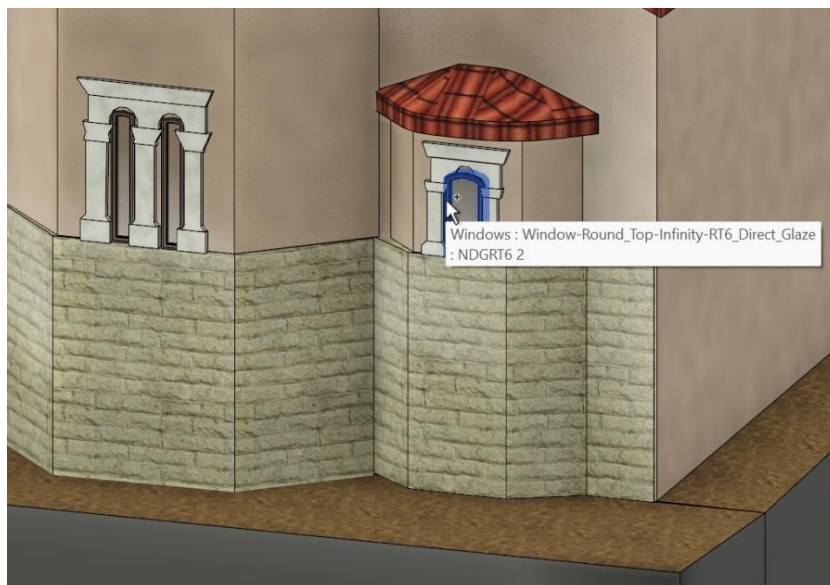


Εικόνα 66 Δημιουργία Παραθύρου

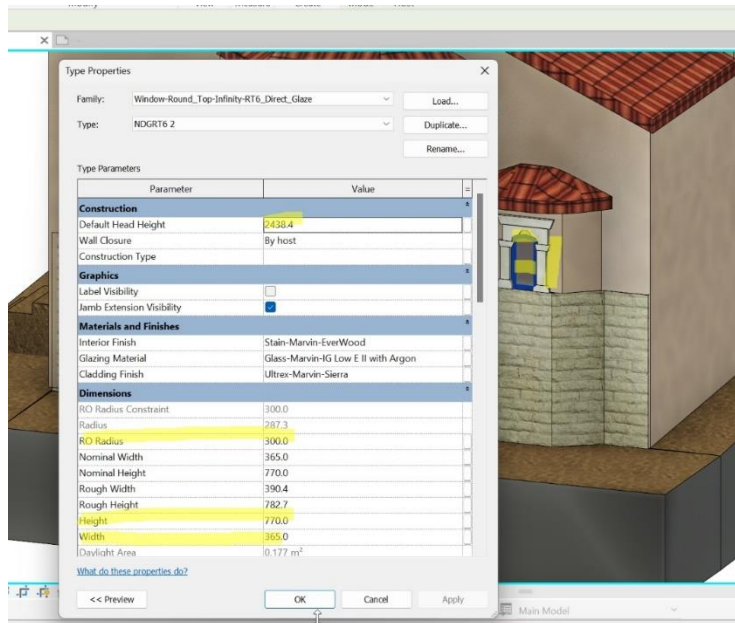


Εικόνα 67 Δημιουργία Παραθύρου

Οι πόρτες και τα παράθυρα αρχικά δημιουργήθηκαν με families αφού μετρήθηκαν οι διαστάσεις τους, ωστόσο στην πορεία για να είναι πιο κοντά στο μοντέλο κατέβηκαν από ένα site δωρεάν (BIM store) και αλλάξαμε τις παραμέτρους τους με family parameters για να έχουν τις διαστάσεις του Ναού



Εικόνα 68. Τοποθέτηση τυποποιημένων παραθύρων στις διαστάσεις σχεδόν της πραγματικότητας του Ναού.



Εικόνα 69 Αλλαγή διαστάσεων παραθύρου.

Κεφάλαιο 7 Παρουσίαση Τελικών Προϊόντων- Συμπεράσματα

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα τελικά αποτελέσματα της τεκμηρίωσης του BIM, που αφορούν το κομμάτι της εκκλησίας που μελετήσαμε και μοντελοποιήσαμε καθώς και τα προβλήματα που αντιμετωπίσαμε. Χρησιμοποιώντας το BIM μπορούμε να έχουμε την πλήρη κατανόηση των επίπεδων 2D και 3D της εκκλησίας αλλά και του εκάστοτε μνημείου που χρειάζεται μελέτη. Τα σχέδια που είχαμε στο συγκεκριμένο project σαν αποτελέσματα είναι όσον το δυνατόν πιο κοντά στο πραγματικό κομμάτι μελέτης με κάποιες αποκλίσεις βέβαια. Οι πληροφορίες που είχαμε ήταν από την τρισδιάστατη σάρωση η οποία έγινε με επιτόπια ερευνά και καταγραφή.

Στο μοντέλο υπήρχαν κάποιες ατέλειες οι οποίες ήταν αναμενόμενες λόγω παλαιότητας του μνημείου. Αυτό οφείλεται στο ότι φτιάχτηκε από μάστορες οι οποίοι δεν είχαν τα καταλληλά μέσα και τα τοπογραφικά μηχανήματα κλπ. Αυτά στο Revit δεν μπορούσαν να υλοποιηθούν ορθά. Για παράδειγμα σε σχέση με την κατακόρυφη το RCP μας παρεκκλίνει από την ευθεία δηλαδή δεν έχει σταθερή απόκλιση η μια γωνιά με την άλλη. Αυτό δυσκόλεψε στην σωστή τοποθέτηση των στεγών στην εκκλησία οι οποίες δεν τοποθέτησαν ακριβώς στο μοντέλο, αλλά και στο δάπεδο όπου αναγκαστικά δημιουργήθηκε μια πλάκα εκ νέου σε όλο το επίπεδο κάτωθεν του μοντέλου ώστε να μην βρίσκεται κάποιο σημείο του στο κενό. Οι κολόνες επίσης δεν είχαν την σωστή κλίση έγιναν κατά προσέγγιση ώστε να είναι πιο κοντά στο μοντέλο στην πραγματικότητα.

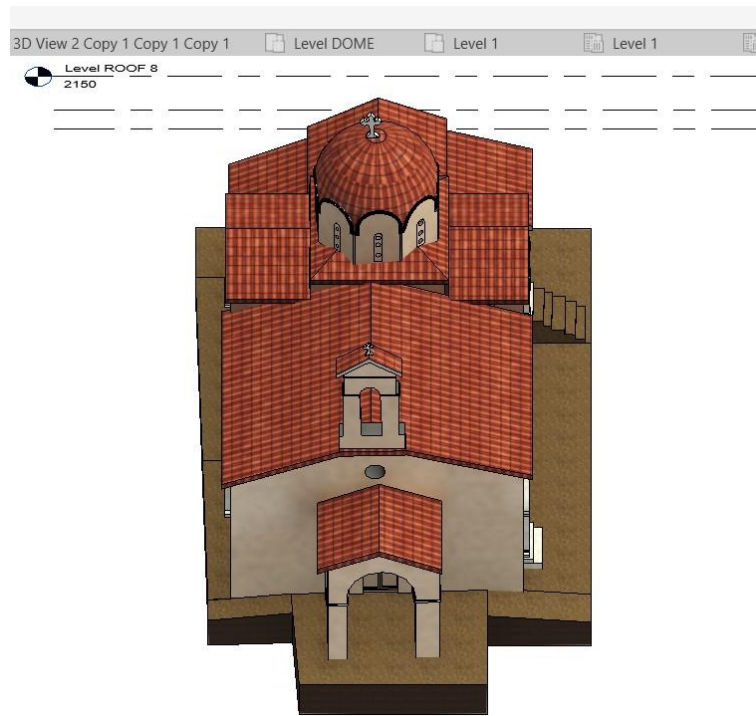
Αφού ολοκληρώθηκε η μοντελοποίηση επιλέχτηκαν και τα καταλληλά materials δηλαδή μπλε τζαμιά, πόρτες σίδηρο με τζάμι, τα στοιχεία του τοίχου δηλαδή πέτρες άμμος με το χρώμα όπως στην πραγματικότητα, η σκεπή δηλαδή τα κεραμιδιά να είναι το σωστό χρώμα μπορντό είναι χειροποίητα κεραμιδιά βυζαντινού τύπου κανονικά εμείς χρησιμοποιήσαμε τα κλασσικά που υπήρχαν στο πρόγραμμα.



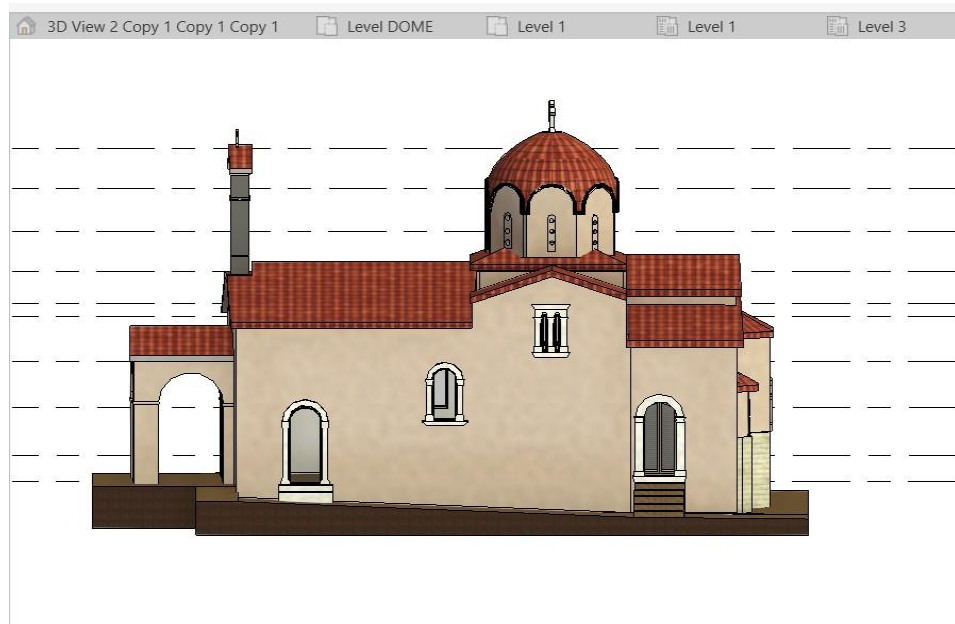
Εικόνα 70. Εικόνα Παρουσίασης προβλημάτων.



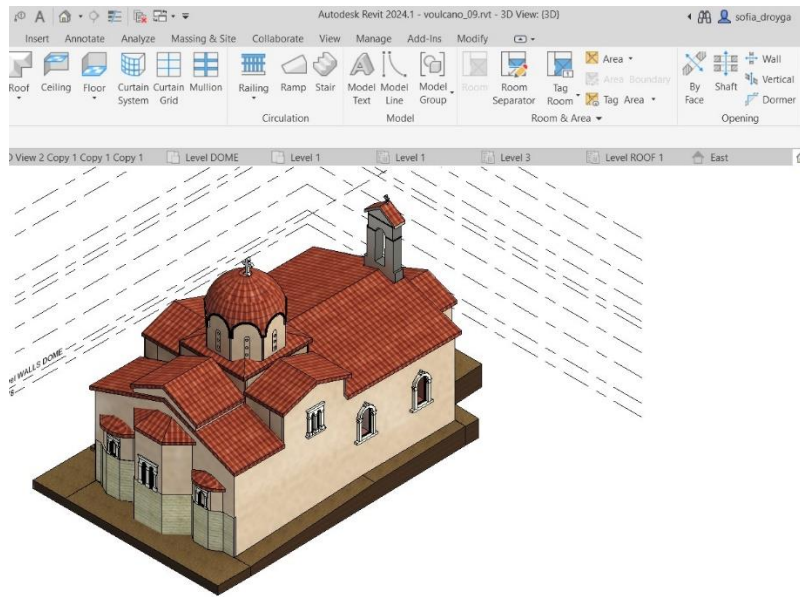
Εικόνα 71 Ολοκληρωμένο μοντέλο



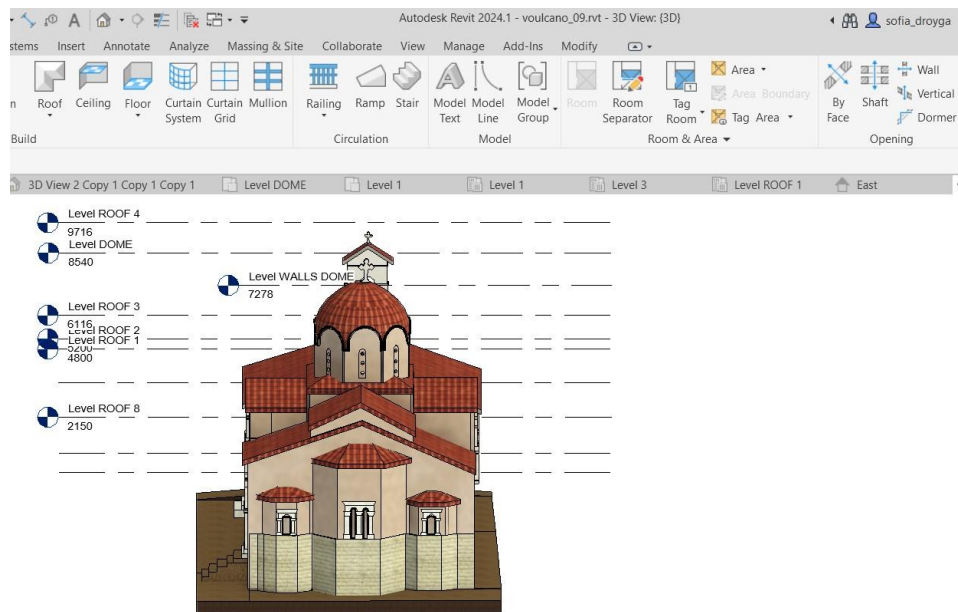
Εικόνα 72 Ολοκληρωμένο μοντέλο



Εικόνα 73 Ολοκληρωμένο μοντέλο



Εικόνα 74 Ολοκληρωμένο μοντέλο



Εικόνα 75 Ολοκληρωμένο μοντέλο

Συμπερασματικά η παρούσα διπλωματική εργασία είχε ως στόχο την μελέτη και κατανόηση των γεωδαιτικών μεθόδων και των εργαλείων για μια ολοκληρωμένη και τεκμηριωμένη εικόνα των μνημείων μέσω της επεξεργασίας και μεθοδολογίας των Laser Scanners και την μεθοδολογία του BIM. Αυτό έχει ως στόχο την ψηφιοποίηση και παρακολούθηση των Ιστορικών Μνημείων στον σχεδιασμό ώστε να μπορέσουμε στο μέλλον να κάνουμε μια μελλοντική επέμβαση όπου χρειαστεί. Από τις παραπάνω διαδικασίες δίνετε η δυνατότητα να δούμε μια ολοκληρωμένη εικόνα για το εκάστοτε μνημείο στην παρούσα κατάσταση του αλλά και ίσως για μελλοντική κατάσταση με βάση οι τεχνικές και οι μέθοδοι που ακολουθήθηκαν.

Ειδικότερα με την τρισδιάστατη σάρωση που είχε προηγηθεί απέδωσε μεγάλη ακρίβεια και ταχύτητα στα αρχικά δεδομένα του Μνημείου μελέτης. Η χρήση του του σαρωτή Leica BLK 360, έχει την δυνατότητα της ευελιξίας στη διαδικασία της μέτρησης αυτό προκύπτει από τις μικρές αποστάσεις αλλά και στην καλή απόδοση του οργάνου μέτρησης. Για να έχουμε μια ολοκληρωμένη εικόνα οι λήψεις έγιναν σε όλο το κτήριο γύρω γύρω αλλά και εσωτερικά και επεξεργάστηκαν στο πρόγραμμα Leica Cyclone. Ο φωτισμός κυρίως εξωτερικά ήταν αρκετά ικανοποιητικός ενώ εσωτερικά υπήρχαν κάποια πιο σκοτεινά σημεία. Τα υλικά του ναού εξωτερικά είναι άμμος με πέτρα και λάσπη κυρίως και στις σκέπες και στον Τρούλο υπάρχουν κεραμιδιά.

Ως αποτέλεσμα αυτών καθώς έγιναν όλες οι απαιτούμενες ενέργειες δημιουργήθηκε ένα νέφος σημείων πράγμα που βοήθησε στην κατανόηση του χώρου καθώς και των δομικών του στοιχείων. Παρ όλα αυτά σε συγκεκριμένα σημεία κάπως πιο σκοτεινά δηλαδή εντός της εκκλησίας κυρίως που παρατηρείτε χαμηλός φωτισμός υπάρχει παρουσία θορύβου βέβαια αυτό δεν εμπόδισε την τρισδιάστατη αποτύπωση σε γενικές γραμμές. Έπειτα αφού έγιναν οι απαιτούμενες διαδικασίες έγινε συνένωση (Registration) των νεφών σημείων από όλες τις σαρώσεις (όσες είχαμε) και σαν αποτέλεσμα είχαμε το τελικό νέφος σημείων. Από το τελικό νέφος σημείων περιορίσαμε (κόψαμε) το κομμάτι μελέτης δηλαδή την εκκλησιά μόνο ούτως ώστε να μπορέσουμε στην συνέχεια να το μοντελοποιήσουμε στο Revit.

Ως προς την χρήση του λογισμικού Revit και διαχείριση και καταγραφή μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς σε προηγούμενα κεφάλαια έχουμε αναφέρει τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που δημιουργούνται κατά την εργασία μοντελοποίησης γίνετε γνωστό ότι υπάρχουν αρκετές δυσκολίες όσον αφορά την γεωμετρία τους. Τα περισσότερα κτήρια

τέτοιου είδους έχουν πολύπλοκη γεωμετρία όπως για παράδειγμα η Μονή Βουλκάνου. Απαιτούν αρκετά καλή εξοικείωση με το συγκεκριμένο πρόγραμμα έτσι ώστε η διαδικασία να είναι όσο πιο σωστή γίνετε και λιγότερο προβληματική διότι διαφορετικά θα είναι αρκετά χρονοβόρα.

Το πρόγραμμα Revit είναι ένα νέο πρόγραμμα σχεδιασμού με διαφορετικές δυνατότητες και μεθοδολογίες και παρέχει μια διαφορετική οπτική στον σχεδιαστικό κλάδο. Οι πιο συχνές λειτουργίες είναι η δισδιάστατη σχεδίαση, η 3d μοντελοποίηση μοντέλου επιφάνειας. Γίνονται μια σειρά από εργασίες όπως η χρήση Families που αφορούν πόρτες παράθυρα κουφώματα τοίχους κοκ, με αυτό τον τρόπο το λογισμικό ανταποκρίνεται στις ιδιαίτερες απαιτήσεις του Project. Χρησιμοποιείται ως υπόβαθρο η πληροφορία που έχουμε από το νέφος σημείων. Παρ όλα αυτά αρκετές φορές κάποια δεδομένα είναι ανέφικτα να δημιουργηθούν ωστόσο γίνετε εκ νέου σχεδίαση με τυποποιημένα Families όπως για παράδειγμα φουρούσια από τις κολόνες, τζάμια, κουφώματα κλπ., υπάρχουν βοηθητικοί τύποι οι οποίοι μεταφέρονται από νέφος σημείων μέσα στην εργασία, αυτό βέβαια καθυστερεί αρκετά την διαδικασία και ολοκλήρωση της μοντελοποίησης.

Στην παρούσα εργασία τα διαθέσιμα σχέδια παράγωγα κλπ. είναι αποτέλεσμα του λογισμικού αρχικά Leica Cyclone και έπειτα του προγράμματος Revit όπου δώσαμε ιδιαίτερη βάση καθώς έχει διαφορετική δυνατότητα και άλλα εργαλεία για την οργάνωση δημιουργία και ολοκλήρωση του μοντέλου στις δισδιάστατες απόψεις αυτού. Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα σκοπός του αντικειμένου της εργασίας είναι η μελέτη η κατανόηση και η τεκμηρίωση ενός BIM που αφορά την γενική κατάσταση του κτηρίου στην παρούσα φάση του. Κατά την εργασία ωστόσο υπάρχουν αρκετά κενά στο νέφος σημείων καθώς λείπουν κάποιες σαρώσεις ώστε να γίνει ακριβής σάρωση του νέφους σημείων. Ένας ακόμα παράγοντας που λίγο μας δυσκόλεψε είναι τα αρχιτεκτονικά σχέδια τα οποία δεν τα είχαμε. Σαν κτήριο όμως μπορούμε να δούμε ότι δεν έχει φθορές σε σχέση με τον πρώτο ναό που καταστράφηκε καθώς είναι νέας σχετικά κατασκευής πράγμα που βοηθά ωστόσο στην καλύτερη τεκμηρίωση και την σχεδόν τέλεια μοντελοποίηση του σε μορφή BIM.

Εν κατακλείδι, από τις παραπάνω εφαρμογές τεκμηρίωσης και μοντελοποίησης (Cyclone-Revit) της Ιεράς Μονής Βουλκάνου μπορούμε να δούμε μια τρισδιάστατη μορφή του μνημείου με την χρήση Laser Scanner καθώς και την μετέπειτα επεξεργασία του μέσω του λογισμικού

BIM που μπορεί να οδηγήσει πέρα από την κατανόηση και χρήση των προγραμμάτων σε επόμενα Έργα, στην ολοκληρωμένη μελέτη και διαχείριση ενός μνημείου υψηλής σημασίας. Πρόκειται για τις πιο σύγχρονες πλέον μορφές ανακατασκευής και διαχείρισης έργων ως προς την αποτύπωση και μοντελοποίηση μνημείων αλλά και την διαχείριση τους, τα οποία θα είναι αρκετά χρήσιμα σε βάθος χρόνου αν χρειαστεί κάποια μελλοντική εργασία. Με τα καταλληλά μηχανήματα και την σωστή καθοδήγηση είναι δυνατόν να εξαχθούν σωστά αποτελέσματά και να παρέχουμε χρήσιμες πληροφορίες για πολλά θέματα μελέτης όπως τοπογραφικά, αρχιτεκτονικά, θρησκευτικά κ.α.

Βιβλιογραφία- Πηγές

Ε. Βουκλαρή (2015). Διπλωματική εργασία: Αποκατάσταση και επανάχρηση του «Σάρλιτζα Παλλάς» στη Θερμή Μυτιλήνης. Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών.

Ε. Βουκλαρή (2018). Διπλωματική εργασία: Γεωδαιτικές Μεθοδολογίες για την Ολοκληρωμένη Τεκμηρίωση Μνημείων και Συνόλων « Η περίπτωση του Σάρλιτζα Παλλάς στη Θέρμη Λέσβου. Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, τμήμα Μεταπτυχιακών σπουδών – Γεωργικές Τεχνολογίες.

Τσιριμώνας Βασίλειος: ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ BIM
ΙΕΡΟΥ ΚΑΘΟΛΙΚΟΥ ΝΑΟΥ ΑΓΙΟΥ ΛΟΥΚΑ ΗΡΑΚΛΕΙΟ
ΑΤΤΙΚΗΣ (Αθήνα-Αιγάλεω, Μάρτιος 2024) ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Eastman, C., Eastman, C. M., Teicholz, P. Etal. (2011). BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owner, Manager, Designer, Engineers and Contractors (p. 243). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.

Alexandros Karditsas & partners Surveying Consulting Services' AKSM 392 Mesogeion Avenue | 15341 Agia Paraskevi, (https://www.aksm.gr/wp-content/uploads/2017/10/laser_scanningbim_brochure-1.pdf).

Facundo José López et al., Int. J. of Herit. Archit., Vol. 2, No. 2 (2018) 293–302. SEMI-AUTOMATIC GENERATION OF BIM MODELS FOR CULTURAL HERITAGE.
(https://www.researchgate.net/publication/325726696_Semi-automatic_generation_of_bim_models_for_cultural_heritage).

A Brief History of BIM Written by Vanessa Quirk Published on December 07, 2012
This brief history of BIM ("the software that has disrupted traditional methods of representation and collaboration in architecture") comes to us thanks to our friend at the Architecture Research Lab, Michael S Bergin. (<https://www.archdaily.com/302490/a-brief-history-of-bim>).

Computer Environments Supporting Design and Construction)] [By (author) Charles M. Eastman] published on (July, 1999) Hardcover – 29 July 1999.

Dasu, S., Eastman, C. (Eds.). (1994). Management of Design: Engineering and Management Perspectives. Springer.

Augenbroe, G., Eastman C. (Eds.). (1999). Computers in Building: Proceedings of the CAADfutures'99 Conference: Proceedings of the 8th International Conference on Computer Aided Architectural Design Futures. Atlanta, Georgia, USA on June 7–8, 1999. Kluwer Academic Publishers.

Review Dimensionality in BIM: Why BIM cannot have more than four dimensions? Alexander Koutamanis Faculty of Architecture & the Built Environment, Delft University of Technology, the Netherlands Automation in Construction
Volume 114, June 2020, 103153.

Eastman, C. Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). BIM handbook 2nd edition: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors. Wiley.

Adoption of the Building Information Modeling (BIM) for Construction Project Effectiveness: The Review of BIM Benefits, January 2016 DOI:10.12691/ajcea-4-3-1 Authors: Lancine Doumbouya

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μιχαήλ Γαδανάκης, ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ, ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ, ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ
Η εφαρμογή του Building Information Model (BIM) στην κατασκευή κτηρίων.

BUILDING INFORMATION MODELLING BIM Ingibjörg Birna Kjartansdóttir Stefan Mordue Paweł Nowak David Philp Jónas Thór Snaebjörnsson, Iceland, Great Britain, 2017.

Η Εν Μεσσηνία Ιερά Μονή Βουλκάνου, Βορβιλιάς Μ. Ιωάννης, Καλαμάτα 1989.

<https://pergamos.lib.uoa.gr/uoa/dl/object/1519091/file.pdf>

Ηλεκτρονικές Πηγές

<https://www.efamess.gr>

https://www.aksm.gr/wp-content/uploads/2017/10/laser_scanningbim_brochure-1.pdf

<https://enypografa.gr>

<https://apsida.cut.ac.cy>

<https://www.europeana.eu/en>

<https://www.digiarc.eu/el/>

<https://ellas2.wordpress.com>

https://anaskafi.blogspot.com/2020/12/blog-post_36.html

<http://www.designgroup.us.com/blog/2012/05/future-use-cases-for-using-bim-at-ohio-state%E2%80%99s-wexner-medical-center-https://www.e-archimedes.gr>

<https://www.graebert.com/blog/tutorial/what-are-bim-standards/>

<https://www.archetype.gr/blog/arthro/building-information-modeling-bim-i-thesi-tis-elladas-sto-psifiako-topio-tou-mellontos>

<https://grc.sika.com/el/bim/what-is-bim.html>,

https://www.researchgate.net/figure/MacLeamy-Curve-on-BIM-workflow-15_fig1_358669042

<https://www.culture.gov.gr/el/ministry/SitePages/viewyphresia.aspx?ilD=1665>

<https://www.gargalianoionline.gr>

<http://infoik.arch.duth.gr/%CE%9D%20%CE%9B%CE%99%CE%91%CE%9D%CE%9F%CE%A3%20%CE%99%CE%94%CE%9A2%2012-5-17.pdf>