



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ
ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

Πτυχιακή Εργασία

**ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗ
ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΤΙΡΙΑΚΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ**

ΜΑΡΚΟΥ ΕΛΕΝΗ

ΑΜ:05540

**ΕΠΙΒΛΕΠΟΝ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ
Β.ΠΑΓΟΥΝΗΣ**

Αθήνα Μάρτιος 2023



UNIVERSITY OF WEST ATTICA

SCHOOL ENGINEERING

DEPARTMENT OF SURVEYING AND GEOINFORMATICS ENGINEERING

Diploma Thesis

**GEODETTIC METHOLOGIES AND TECHNIQUES FOR BUILDING INFORMATION
MODELING**

MARKOY ELENI

AM: 05540

Supervisor name and surname:

V.Pagounis

Athens, March 2023



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗ
ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΤΙΡΙΑΚΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ

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

A/α	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
	Β.ΠΑΓΟΥΝΗΣ	ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΠΑΔΑ	
	Β.ΑΝΔΡΙΤΣΑΝΟΣ	ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΠΑΔΑ	
	Δ.ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΥ	ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ.	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/η κάτωθι υπογεγραμμένος/η ...ΜΑΡΚΟΥ ΕΛΕΝΗ.....
Του ΙΩΑΝΝΗ, με αριθμό μητρώου ...05540 φοιτητής/τρια του Πανεπιστημίου
Δυτικής Αττικής της Σχολής...Μηχανικών.. του Τμήματος Μηχανικών
Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής, 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*

Ο/Η Δηλών/ούσα

Μάρκου Ελένη



ΜΑΡΚΟΥ ΕΛΕΝΗ



* 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/η και συναινεί. Οι λόγοι χρονικού αποκλεισμού πρόσβασης περιγράφονται αναλυτικά στις πολιτικές του Ι.Α. (σελ. 6):*

https://www.uniwa.gr/wp-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.

Ευχαριστίες

Σε αυτό το σημείο θα θελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Παγούνη για την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος πτυχιακής, το οποίο με βοήθησε στην επαγγελματική μου κατάρτιση. Όπως επίσης για την άψογη συνεργασία και την καθοδήγηση του με την οποία έγινε δυνατή η ολοκλήρωση της διπλωματικής μου.

Επίσης ευχαριστώ την οικογένεια μου για την υποστήριξη της κατά την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας και τον ιδιοκτήτη του σπιτιού για την παραχώρηση του.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια, η τεχνολογία της τρισδιάστατης σάρωσης laser χρησιμοποιείται ως μια νέα μέθοδος αποτύπωσης. Οι σαρωτές laser χρησιμοποιούνται για την αποτύπωση κτιρίων, μνημείων, αντικειμένων με σκοπό την ψηφιοποίηση τους σε τρισδιάστατη μορφή. Τα τρισδιάστατα μοντέλα που δημιουργούνται μπορεί να έχουν πληροφορία σε σχέση με το χρώμα, το σχήμα και την εσωτερική δομή που αποτυπώνονται.

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται από το βιβλιογραφικό μέρος αλλά και από την μοντελοποίηση εσωτερικά και εξωτερικά του κτιρίου με την χρήση laser scanner.

Επίσης παρουσιάζεται η μεθοδολογία σάρωσης του κτιρίου, η συνένωση των σαρώσεων μας και τέλος η μοντελοποίηση του κτιρίου.

Η συλλογή των δεδομένων έγινε με laser scanner.

Η συλλογή των δεδομένων έγινε με laser BLK360 της εταιρείας Leica. Η συνένωση των νεφών έγινε με το πρόγραμμα Cyclone και τέλος η μοντελοποίηση έγινε στο λογισμικό Revit.

Πλαισιώσαμε την επεξεργασία των δεδομένων με την παρουσίαση των οργάνων σάρωσης που χρησιμοποιήσαμε και τις τεχνικές μέτρησης. Επίσης παρουσιάσαμε την μέθοδο μοντελοποίησης του κτιρίου (bim) και τα οφέλη αυτού.

ABSTRACT

In recent years of technology of laser scanning is being used to capture buildings, monuments and objects in order to be digitalized into 3d form.

The 3d models that are created contain informant about the color, the shape and the internal structure of the objects that are being captured.

The present dissertation consists of the bibliographic part but also of the modeling inside and outside of the building using a laser scanner.

Also presented is the methodology of scanning the building, the merging of our scans and finally the modeling of the building.

Data collection was done with laser scanner BLK360 of company Leica. The association of clouds done with the program Cyclone. Finally the modeling was done in the software.

We framed the data processing with the presentation of the scanning instruments we used and the measurement techniques. We also presented the building modeling method (bim) and its benefits

Πίνακας περιεχομένων

.....	1
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ	1
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ.....	1
Πτυχιακή Εργασία	1
Ευχαριστίες.....	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	7
ABSTRACT	8
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	12
2. BUILDING INFORMATION MODELING, BIM	14
2.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΕΞΕΛΙΞΗΣ BIM	14
2.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ SCAN TO BIM ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ.....	18
2.3 ΟΡΙΣΜΟΣ BIM.....	21
2.4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ BIM	22
2.5 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ BIM.....	23
3. ΕΠΙΓΕΙΟΣ ΣΑΡΩΤΗΣ LASER	26
3.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΕΠΙΓΕΙΟΥ ΣΑΡΩΤΗ	26
3.2 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΣΑΡΩΤΗ	26
3.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΕΠΙΓΕΙΟΥ ΣΑΡΩΤΗ	28
3.4 ΕΙΔΗ ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΣΑΡΩΤΩΝ.....	30
3.4.1. ΣΑΡΩΤΕΣ ΕΠΑΦΗΣ	31
3.4.2. ΣΑΡΩΤΕΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ.....	32
4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΣΑΡΩΤΗ ΣΤΗΝ ΜΕΛΕΤΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗΣ	34
5. ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....	36
6. ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 3D ΣΑΡΩΣΕΩΝ	37
7. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ BIM.....	41
ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ BIM ΑΠΟ ΝΕΦΟΣ ΣΗΜΕΙΩΝ	41
8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ -ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	50
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	51

Λίστα εικόνων

Εικόνα 1: διαφορές παλαιότερων και σύγχρονων μεθόδων σχεδιασμού

<https://www.breakwithanarchitect.com/post/bim-autodesk-revit>

Εικόνα 2 : Μεθοδολογία για ιστορικό κτίριο. [Πηγή:[https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLII-5-](https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLII-5-W2/1/2019/isprs-archives-XLII-5-W2-1-2019.pdf)

[W2/1/2019/isprs-archives-XLII-5-W2-1-2019.pdf](https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLII-5-W2/1/2019/isprs-archives-XLII-5-W2-1-2019.pdf)]

Εικόνα 3 : Μεθοδολογία για βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

[Πηγή:<https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLII-5-W2/1/2019/isprs-archives-XLII-5-W2-1-2019.pdf>]

Εικόνα 4 : Παραδοσιακές επικοινωνίες έναντι επικοινωνιών μέσω BIM (Model the Planet Corp 2016)17

Εικόνα 5 : Τα πλεονεκτήματα του BIM. [Πηγή:

<https://www.teetkm.gr/bim-kataskevnh-ergwn/>]

Εικόνα 6 : Είδη τρισδιάστατων σαρωτών.

Εικόνα 7 : Παράδειγμα λειτουργίας Σαρωτή Τριγωνισμού –[Πηγή: researchgate.net.]

Εικόνα 8 : Μέθοδος τριγωνισμού με χρήση ενός ή δυο αισθητήρων τεχνολογίας CCD –[Πηγή: ecourses.dbnet.ntua.gr]

Εικόνα 9 : <https://www.survtechsolutions.com/how-does-laser-scanning-work>

Εικόνα 10:μέθοδος bim

Εικόνα 11 : Πίνακας RMS

Εικόνα 12 : Τομή

Εικόνα 13 : Level Υπόγειο

Εικόνα 14 : Level 1

Εικόνα 15: Level 2

Εικόνα 16 : Δημιουργία Family

Εικόνα 17:Νοτιοδυτική πλευρά του κτιρίου

Εικόνα 18:Βορειοδυτική πλευρά του κτιρίου

Εικόνα 19: όψη του τρισδιάστατου μοντέλου

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο τομέας των κατασκευών λόγω των τεχνολογικών εξελίξεων που επιβάλλει η εποχή μας έχει οδηγηθεί σε ένα ψηφιακό κόσμο δεδομένων και παραμέτρων. Έχουν δημιουργηθεί προγράμματα για τρισδιάστατη αποτύπωση του κτιρίου από τα οποία παράγονται 3d μοντέλα .

Έχει αλλάξει ο τρόπος σχεδίασης μελέτης ,καταγραφής και διαχείρισης των κτιρίων.

Τα τελευταία χρόνια στον κατασκευαστικό τομέα έχει ενταχθεί η χρήση του BIM για την κατασκευή ,διαχείριση , επανάχρηση και κατεδάφιση των κτιρίων.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι κλασικές μέθοδοι να έχουν αντικατασταθεί με μεθόδους που προάγουν την αυτοματοποίηση και την ψηφιοποίηση. Δηλαδή έχει αντικατασταθεί ο τρόπος αποτύπωσης ενός κτιρίου με την χρήση τρισδιάστατης αποτύπωσης (νέφος κτιρίου) γιατί για να σχεδιαστεί ένα μοντέλο BIM απαιτείται μεγάλη ακρίβεια χωρίς λάθη , έτσι εξοικονομούμε χρόνο και χρήμα. Επίσης ότι αλλαγή προκύψει στο κτίριο μου μπορεί εύκολα να επικαιροποιηθεί.

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε και αναλύθηκε την χρήση του τρισδιάστατου σαρωτή και τη μεθοδολογία της μοντελοποίησης κτιριακής πληροφορίας.

Πολλά πλεονεκτήματα προκύπτουν από τη χρήση του τρισδιάστατου σαρωτή στη καταγραφή ήδη υπαρχόντων κτιρίων όσον αναφορά την ακρίβεια των μετρήσεων σε σχέση με τις απλές μεθόδους αποτύπωσης όπου μας δίνει ένα δισδιάστατο αρχείο cad χωρίς εξακριβωμένες πληροφορίες.

Έτσι συνδυάζοντας τη χρήση του επίγειου τρισδιάστατου σαρωτή με τη μέθοδο BIM παράγουμε μια τρισδιάστατη απεικόνιση βοηθώντας τους μελετητές να επεξεργαστούν με ακρίβεια τρισδιάστατα τις πληροφορίες του μοντέλου.

Η παραδοσιακή μέθοδος μας έδινε ελλιπείς πληροφορίες και ήταν ένας στόχος για τους μελετητές να βρουν ένα σύγχρονο τρόπο αποτύπωσης η οποία να δίνει γρήγορα και άμεσα πληροφορίες για ένα κτίριο παράγοντας δισδιάστατα και τρισδιάστατα μοντέλα με ευκολία.

Τα τρισδιάστατα μοντέλα που δημιουργούνται μετά τη επεξεργασία του νέφους μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αστικοποίηση ,σχεδιασμό ,κατασκευή και αναλύσεις. Επίσης μας δίνεται η δυνατότητα ενσωμάτωσης στα τρισδιάστατα μοντέλα του χρόνου και του κόστους βελτιώνοντας την αποτελεσματικότητα και την αποδοτικότητα της διαδικασίας του σχεδιασμού και της κατασκευής.

Ο σκοπός αυτής της εργασίας είναι η παρουσίαση της χρήσης και της εφαρμογής του τρισδιάστατου σαρωτή laser scanner με την χρήση της μεθοδολογίας μοντελοποίησης (BIM) συγκεκριμένα εφαρμόζεται σε οικία στην περιοχή της Λυκόβρυσης Αττικής όπου δημιουργήθηκε μια βάση δεδομένων για το συγκεκριμένο κτήριο. Η καταγραφή των πληροφοριών έγινε μέσω της χρήσης του νέφους σημείων που λήφθηκε από την σάρωση του επίγειου σαρωτή. Η αποτύπωση έγινε εσωτερικά και εξωτερικά του κτιρίου και ύστερα συνενώθηκαν τα νέφη των σημείων και είχαμε ένα ολοκληρωμένο εσωτερικά και εξωτερικά τρισδιάστατο μοντέλο.

Η δομή της εργασίας μου ορίζεται ως εξής αρχικά ξεκινάμε με μια εισαγωγή για όπου αναπτύσσονται οι στόχοι και το αντικείμενο της εργασίας.

Το δεύτερο κεφάλαιο αφορά τον ορισμό του bim,τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα ,την ιστορική του εξέλιξη και την μεθοδολογία του.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναπτύσσετε η τεχνολογία του τρισδιάστατου σαρωτή, τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τα είδη των σαρωτών και στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφεται η σάρωση στην δική μας μελέτη. Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται μια παρουσίαση της περιοχής που έγιναν οι μετρήσεις. Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται η συλλογή και η επεξεργασία δεδομένων, περιγράφονται οι εργασίες πεδίου. Στο έβδομο κεφάλαιο γίνεται η μοντελοποίηση των δεδομένων μας . Και τέλος βγαίνουν κάποια συμπεράσματα και γίνονται κάποιες προτάσεις σε σχέση με το αποτέλεσμα της μελέτης μας.

2. BUILDING INFORMATION MODELING, BIM

2.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΕΞΕΛΙΞΗΣ BIM

Το τοπίο στην βιομηχανία και της κατασκευής αλλάζει καθώς νέες τεχνολογίες βελτιώνουν τις διαδικασίες σχεδιασμού αυξάνοντας την ακρίβεια και την ταχύτητα παραγωγής.

Παραδοσιακά, ο μελετητής ενός έργου έφτιαχνε σχέδια με το χέρι, κατόψεις αρχικά και εν συνέχεια όψεις, τομές και λεπτομέρειες, μια διαδικασία αρκετά επίπονη, χρονοβόρα και με μεγάλο κόστος καθώς απαιτούσε πολλές εργατοώρες και μεγάλο αριθμό προσωπικού. Με την πάροδο του χρόνου, οι μέθοδοι γραφικής αναπαράστασης ενός αρχιτεκτονικού έργου χρειάστηκαν να εξελιχθούν και να προσαρμοστούν στις νέες ανάγκες του κατασκευαστικού κλάδου.

Κατά αυτό τον τρόπο, έγινε η πλήρης μετάβαση από τον σχεδιασμό στο χέρι στο ψηφιακό σχεδιασμό, αρχικά με την εμφάνιση της τεχνολογίας σχεδιασμού με υπολογιστή (Computer aided Design, CAD) και στην συνέχεια, με τη χρήση της τεχνολογίας προσομοίωσης κτιρίων (Building Information Modeling, BIM) για τον σχεδιασμό, την κατασκευή και την διαχείριση μιας εγκατάστασης, καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής της. Εξαιτίας αυτού, η ταξινόμηση της διαδικασίας παραγωγής σχεδίων χωρίζεται σε τρεις φάσεις: τον σχεδιασμό στο χέρι, τον ψηφιακό σχεδιασμό (CAD) και τον σχεδιασμό με BIM, με την μετάβαση από την μια φάση στην άλλη, όπως είναι φυσικό, να απαιτεί πάντα μια περίοδο αναγκαστικής προσαρμογής και εξοικείωσης.

Το CAD (Computer Aided Design) αναφέρεται στη χρήση ψηφιακών συστημάτων για την δημιουργία σχεδίων, πιο γρήγορα και με μεγαλύτερη λεπτομέρεια. Σύμφωνα με την Autodesk, το CAD είναι «η χρήση της τεχνολογίας των υπολογιστών για τον σχεδιασμό και την παραγωγή σχεδίων με μια αυτοματοποιημένη διαδικασία. Έτσι λοιπόν, η μετάβαση από την χειρωνακτική διαδικασία σχεδιασμού στην ψηφιακή εποχή, αποτέλεσε μια τεχνολογική εξέλιξη στην διαδικασία διεκπεραίωσης μιας μελέτης. Τα συστήματα CAD διασφάλισαν καλύτερα αποτελέσματα και μεγαλύτερη αποδοτικότητα από άποψη ταχύτητας και ακρίβειας, παρ'

όλα αυτά, η χρήση CAD δεν αποτελεί παρά μια ψηφιακή προσομοίωση της σχεδίασης με το χέρι.

Η ψηφιακή προσέγγιση μέσω CAD συστημάτων, στηρίζεται στην παραδοσιακή μεθοδολογία όπου η αναπαράσταση ενός έργου γίνεται μέσω πολλών και ανεξάρτητων σχεδίων 2D (ή σπανίως 3D), τα οποία μπορούν αργότερα να τροποποιηθούν από τον μελετητή. Λόγω του ότι όλα τα σχέδια είναι ξεχωριστά, δεν υπάρχει διαδραστικότητα και συσχέτιση μεταξύ των σχεδίων, με αποτέλεσμα την μέριμνα και την ευθύνη όλων των αλλαγών και του συντονισμού των μελετών και σχεδίων να την έχει ο σχεδιαστής. Οποιαδήποτε αλλαγή σε ένα σχέδιο, η οποία επηρεάζει και άλλα σχέδια, πρέπει να εφαρμοστεί με χειροκίνητα μέσα χωρίς να υπάρχει η δυνατότητα αυτόματης ενημέρωσης.

Λαμβάνοντας υπόψη τη δυσκολία για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των τροποποιήσεων, τα 2D λογισμικά CAD δεν έχουν καταφέρει να ελαχιστοποιήσουν την εμφάνιση των σφαλμάτων σχεδιασμού στο έργο. Ως εκ τούτου, η διαδικασία ενημέρωσης σχεδίων μέσω εργαλείων CAD ακολουθεί παρόμοιες μεθόδους αν όχι ίδιες με την παραδοσιακή μέθοδο σχεδιασμού στο χέρι .

Οι παλιές μεθοδολογίες όμως δεν αποδίδουν κυρίως σε μεγάλα έργα υποδομής, ιδιαίτερης πολυπλοκότητας και τα συστήματα CAD αδυνατούν να συμβαδίσουν με την τεράστια εισροή πληροφοριών που περιέχουν. Εδώ εισέρχεται το Building Information Modelling (BIM). Η καινοτομία του βασίζεται στην συνεργατικότητα και την μέγιστη αποδοτικότητα. Συγκεντρώνει όλες τις πληροφορίες, μοντέλα και σχέδια σε μια κοινή βάση δεδομένων και τα συνδέει μεταξύ τους, βελτιώνοντας την ακρίβεια και ελαχιστοποιώντας τυχόν λάθη και αποκλίσεις στα σχέδια που παράγονται. Αν πραγματοποιηθεί μια αλλαγή σε ένα μοντέλο τότε αυτομάτως η αλλαγή μεταφέρεται στα αντίστοιχα μοντέλα και τα σχέδια ενημερώνονται αναλόγως. Εάν τροποποιηθεί για παράδειγμα η διατομή μιας κολώνας, ενημερώνονται αυτόματα όλα τα σχέδια, οι τομές, οι κατόψεις, οι πίνακες προσμέτρησης, κ.ο.κ.. Το 3D BIM μοντέλο αναπαριστά πλέον ένα συγκεντρωτικό μοντέλο με λεπτομερή ανάλυση της κατασκευαστικής διαδικασίας πριν την ολοκλήρωση της πραγματικής κατασκευής. Η εμφάνιση του Building Information Modelling και η ανάπτυξη προηγμένων τεχνολογικών μέσων για την εξυπηρέτηση της κατασκευαστικής βιομηχανίας, δεν έγινε τυχαία. Ο κλάδος της

κατασκευής είχε μείνει πίσω τα τελευταία 40 χρόνια σε σχέση με άλλους κλάδους και βιομηχανίες , οι οποίες από πολύ νωρίς απολάμβαναν τα οφέλη της τεχνολογίας και της αυτοματοποίησης και την συνακόλουθη αύξηση της παραγωγικότητας και ανταγωνιστικότητας τους .

Επιπλέον, οι σύγχρονες απαιτήσεις στον κατασκευαστικό τομέα, ώθησαν την εξέλιξη καινοτόμων εργαλείων και μεθοδολογιών με σκοπό την συντονισμένη διαχείριση της κατασκευής και την βελτίωση της συνεργασίας μεταξύ των συντελεστών ενός έργου. Τα εργαλεία του BIM, αποκτούν ολοένα και μεγαλύτερη εφαρμογή λόγω των καλύτερων αποτελεσμάτων που προσφέρουν επίπεδο αποδοτικότητας, επικοινωνίας και καλύτερης διαχείρισης του τεράστιου όγκου πληροφορίας που συνοδεύει ένα έργο.

Η μεθοδολογία αυτή, απέχει κατά πολύ από τις παραδοσιακές μεθόδους σχεδίασης και κατασκευής και επιτρέπει στην ομάδα των μελετητών και εργολάβων να αντιληφθούν τυχόν θέματα πριν αυτά να φτάσουν στην κατασκευή. Παρ' όλα αυτά, όπως και η υιοθέτηση του CAD χρειάστηκε αρκετά χρόνια μέχρι τελικά να επικρατήσει στον κατασκευαστικό κλάδο (AEC Industry, Architectural, Engineering, Construction), <<έτσι και η μεθοδολογία του BIM αρχίζει δειλά δειλά να αποκτά έδαφος, ιδίως σε Mega Projects και να γίνεται ήδη απαιτητή σε εφαρμογές δημοσίων έργων σε χώρες όπως Ηνωμένο Βασίλειο, Ηνωμένες Πολιτείες, Σκανδιναβικές χώρες, κλπ>> [ΛΑΙΟΥ Π.,2019]

Computer Aided Design



Building Information Modeling

Based on 2D

Basic graphics
(polylines, arcs, circles)

3D for visualization

Electronic drafting

Basic measuring

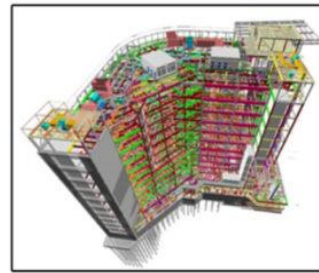
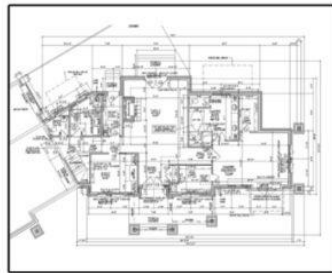
3D, 4D, 5D, 6D, 7D, 8D?

Intelligent objects
(walls, floors, doors, windows, columns)

Virtual construction

Quantities, schedules, estimations

Life cycle building management



Εικόνα 1 : διαφορές παλαιότερων και σύγχρονων μεθόδων σχεδιασμού

[Πηγή: <https://www.breakwithanarchitect.com/post/bim-autodesk-revit>]

2.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ SCAN TO BIM ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Το bim βοηθάει τους πολιτικούς μηχανικούς και τους διαχειριστές περιουσιακών στοιχείων γιατί υποστηρίζει όλες τις πληροφορίες για τον κύκλο της ζωής του κτιρίου από τη αρχή έως την κατεδάφιση.

Οι πληροφορίες σε μοντέλα BIM είναι βασικοί παράγοντες επιτυχίας. Τα περισσότερα ήδη υπάρχοντα κτίρια δεν έχουν κανένα μοντέλο BIM όπως και στη περίπτωση της μελέτης μας, για την επίλυση αυτού του θέματος μας βοηθούν οι τεχνολογίες σάρωσης με laser. Τα μοντέλα BIM βασίζονται σε δεδομένα σάρωσης laser που χρησιμοποιούνται για ακριβείς κτιριακές παραμέτρους, κυρίως γεωμετρικές.

Αυτή η διαδικασία ονομάζεται διαδικασία σάρωσης σε BIM. Χαρακτηρίζεται από πολύ υψηλή ακρίβεια. Τα αποτελέσματα της σάρωσης laser είναι παρόμοια με φωτογραμμετρικές μεθόδους ,περιλαμβάνει εικόνες υψηλής ανάλυσης, τρισδιάστατα σύννεφα σημείων με τριγωνικά μοντέλα επιφανειών με υφή.

Το κόστος των τεχνολογιών σάρωσης για το υπάρχον κατασκευασμένο κτίριο έχει πτωτική τάση με αποτέλεσμα να αυξάνονται οι μελέτες BIM.

Η σάρωση σε bim μεθοδολογία περιλαμβάνει διαφορετικές εφαρμογές δημιουργίας μοντέλων BIM για υπάρχουσες βιομηχανικές εγκαταστάσεις και για ιστορικά κτίρια.

Η μεθοδολογία έχει 6 βήματα:

- 1)Ταξινόμηση στοιχείων που θα ληφθούν υπόψη για την δημιουργία BIM ενός υπάρχον κτιρίου.
- 2)Ορισμός απαιτούμενου επιπέδου λεπτομερειών για στοιχεία συμπεριλαμβανομένου το επίπεδο ακρίβειας γεωμετρίας και χαρακτηριστικών πληροφοριών.
- 3)Ορισμός παραμέτρων σάρωσης (τύπος σαρωτή, αριθμό θέσεων σάρωσης)

4) Οι σαρώσεις που προέκυψαν να καταχωρηθούν σε ένα ενιαίο σύστημα συντεταγμένων για πλήρες νέφος σημείων .

5) Επεξεργασία νέφους σημείων με πληροφορίες για τις 3D συντεταγμένες ,ένταση ανακλώμενων ακτινών laser, του χρώματος RGB

6)Ανάλυση και χρήση BIM

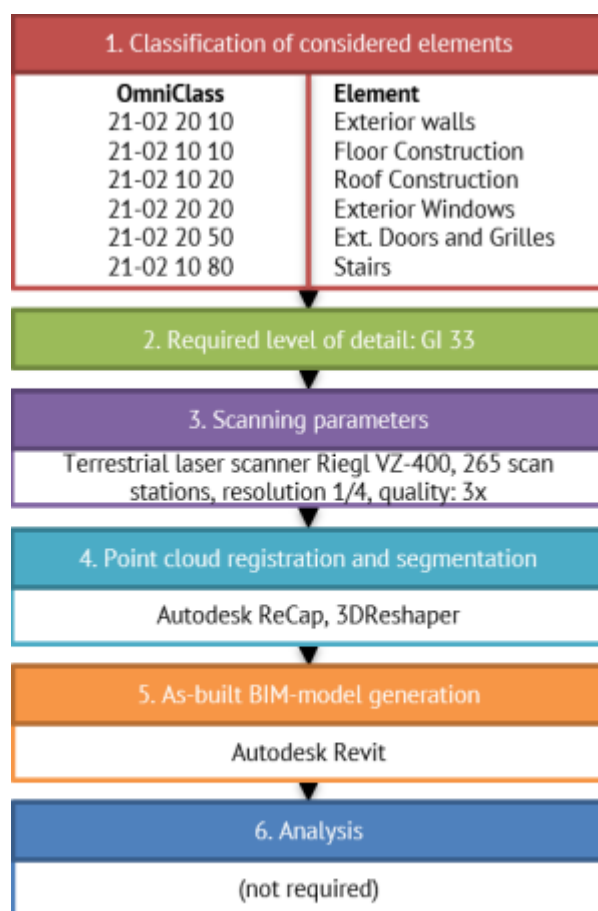


Figure 3. Scheme of the proposed methodology for historical heritage case study

Εικόνα 2 : Μεθοδολογία για ιστορικό κτίριο.

[Πηγή:<https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLII-5-W2/1/2019/isprs-archives-XLII-5-W2-1-2019.pdf>]

Παραπάνω βλέπουμε τις παραμέτρους της μεθοδολογίας όταν πρόκειται για ένα ιστορικό κτίριο. Και στο επόμενο σχήμα βλέπουμε πως αλλάζουν οι παράμετροι όταν πρόκειται για βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

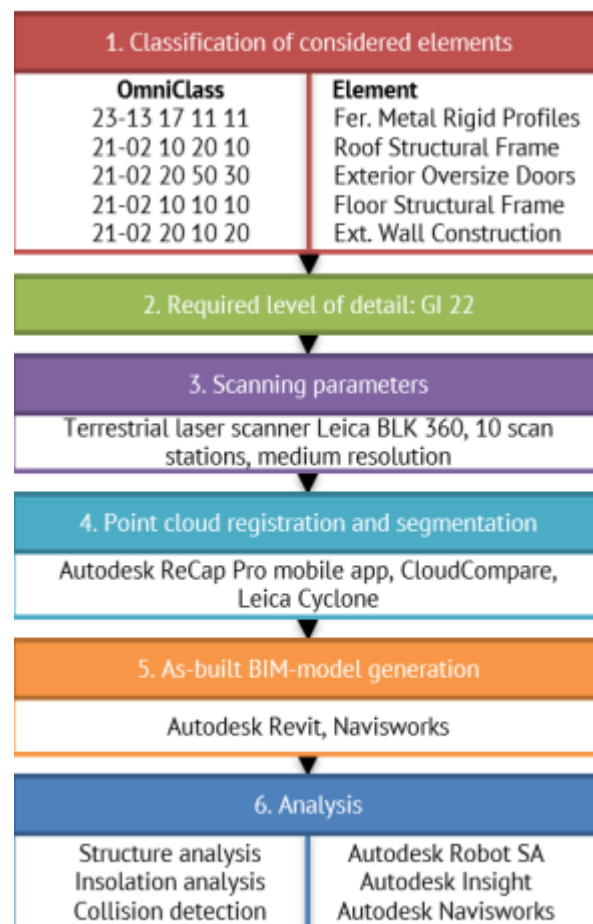


Figure 7. Scheme of the proposed methodology, which is tuned for the case study for existing industrial sites

Εικόνα 3 : Μεθοδολογία για βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

[Πηγή:<https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLII-5-W2/1/2019/isprs-archives-XLII-5-W2-1-2019.pdf>]

2.3 ΟΡΙΣΜΟΣ BIM

Το ακρωνύμιο BIM λοιπόν, είναι σχετικά καινούριο στα πεδία ενασχόλησης επαγγελματιών όπως αρχιτέκτονες και κατασκευαστές,

παρέχοντας πλεονεκτήματα και δυνατότητες που εντοπίζονται σε όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του κτιρίου.

Ο όρος BIM λοιπόν, αποτελεί δυνητικά ένα χρήσιμο εργαλείο στα χέρια των εμπλεκομένων σε έργα. Σχετικά με τη Μοντελοποίηση κτιριακής πληροφορίας (BIM) δεν υπάρχει παγκοσμίως αποδεκτός ορισμός. (Matejka P., Tomek A., 2017).

Το BIM (Building Information Modeling), ορίζεται από την Επιτροπή Πληροφοριών σχετικά με τα κατασκευαστικά έργα (Construction Project Information Committee), ως η τέχνη της διαχείρισης πληροφοριών, μια διαδικασία η οποία διατρέχει όλο τον κύκλο ζωής ενός έργου. (Howard & Bjork, 2008, Rezgui et al., 2012).

Σύμφωνα με άλλους ορισμούς, αποτελεί μια ψηφιακή αναπαράσταση φυσικών και λειτουργικών στοιχείων και χρησιμοποιείται για τη λήψη αποφάσεων. (National Institute of Building Sciences, 2012).

Η Διεθνής Επιτροπή Προτύπων Μοντελοποίησης Κτιριακής Πληροφορίας (National Building Information Model Standard Project Committee), προτείνει τον παρακάτω ορισμό για το BIM: «Μοντελοποίηση κτιριακής πληροφορίας με 5D BIM προσομοίωση ενεργειακά αποδοτικού κατασκευαστικού έργου» .

Η μοντελοποίηση κτιριακής πληροφορίας (BIM), είναι η ψηφιακή αναπαράσταση των φυσικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών ενός έργου. Ένα μοντέλο BIM, συνιστά μια πηγή γνώσης και πληροφορίας σχετικά με ένα έργο, σχηματίζοντας μια αξιόπιστη βάση για λήψη αποφάσεων κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του, ο οποίος οριοθετείται από την αρχική σύλληψη του έργου μέχρι την κατεδάφισή του. (National BIM standard, 2014). Κοινό πεδίο όλων των ορισμών, αποτελεί ότι η έννοια του BIM είναι συνυφασμένη με τέσσερα βασικά συστατικά στοιχεία, τη συνεργασία, την αναπαράσταση, τη διαδικασία υλοποίησης και τον κύκλο ζωής, τα οποία όλα αλληλεπιδρούν μεταξύ

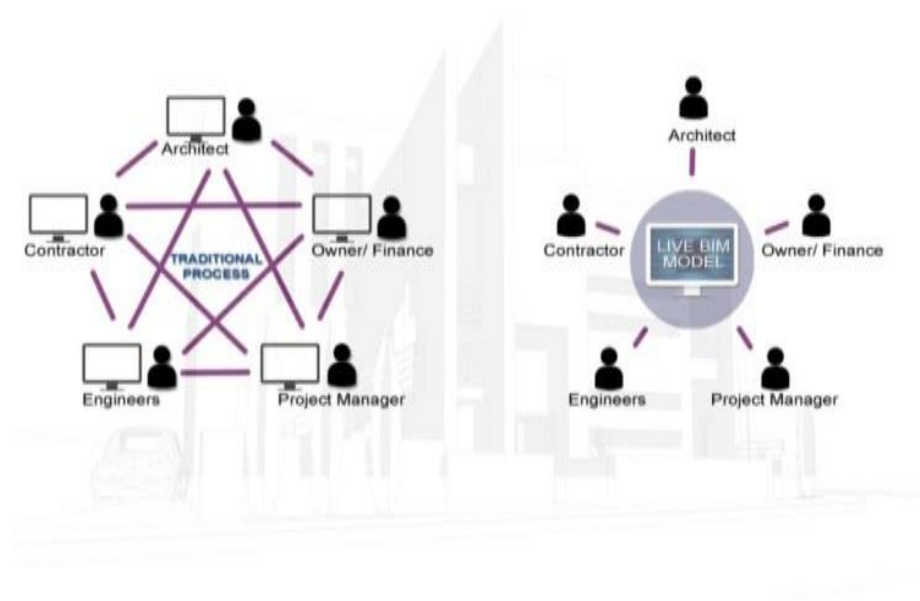
τους δημιουργώντας ένα καινοτόμο και αποτελεσματικό περιβάλλον εργασίας (Bradley et al., 2016).

2.4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ BIM

Το Building Information Modeling είναι μία από τις πιο πρόσφατες εξελίξεις στην αρχιτεκτονική και τη βιομηχανία της κατασκευής. Η μεθοδολογία BIM χρησιμοποιεί ένα ψηφιακό μοντέλο που ενσωματώνει πληροφορίες και παραμέτρους που σχετίζονται με τη μορφή, τη δομή και τα συστήματα του πραγματικού κτιρίου.

Μετά την ολοκλήρωση της σχεδίασης, το BIM ψηφιακό μοντέλο αντιπροσωπεύει την ακριβή γεωμετρία και τα δεδομένα που απαιτούνται για τον σχεδιασμό, την οργάνωση και την αξιοποίηση του κτιρίου.

Επιπλέον, μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής, το ψηφιακό μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την διαχείριση και την συντήρηση του πραγματικού κτιρίου δηλαδή είναι διαχειριστής της πληροφορίας καθ' όλη την διάρκεια ζωής του κτιρίου.(BIM manager).

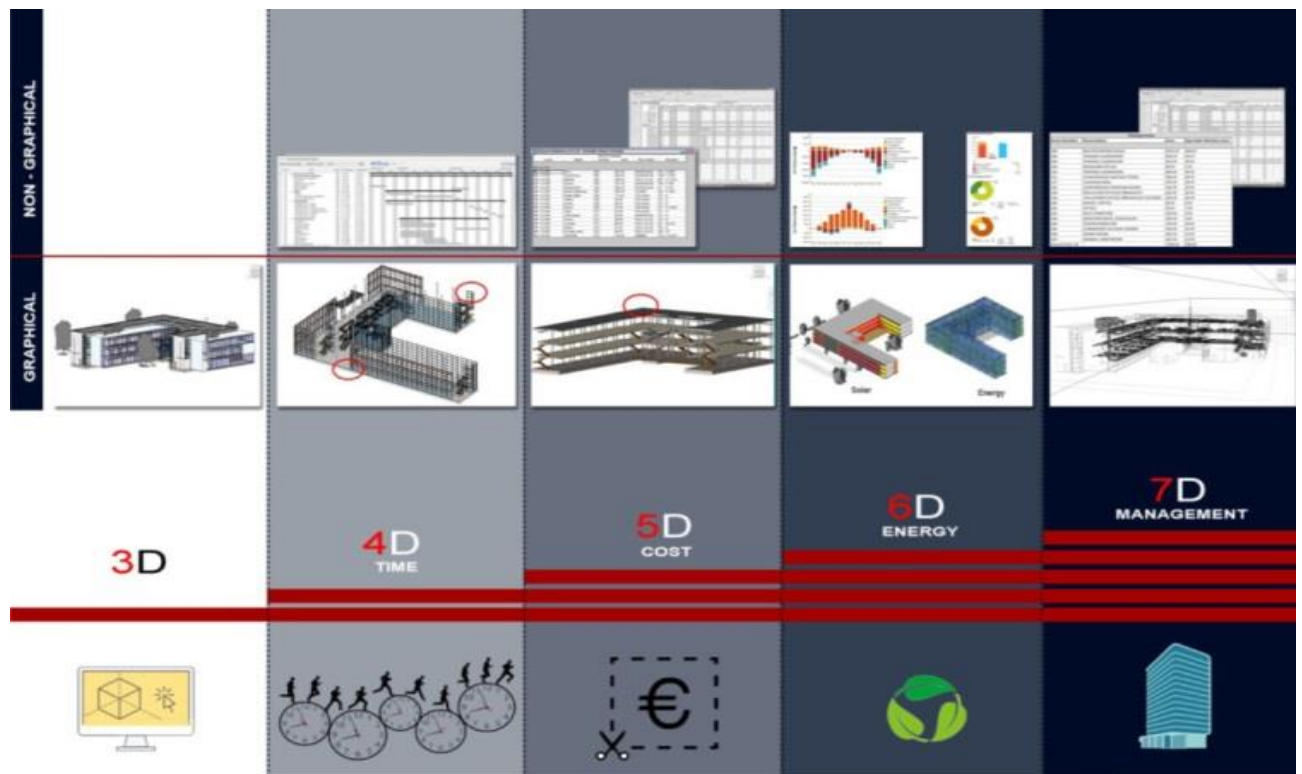


Εικόνα 4 : Παραδοσιακές επικοινωνίες έναντι επικοινωνιών μέσω BIM
 [Model the Planet Corp 2016]

2.5 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ BIM

Τα πλεονεκτήματα της εφαρμογής bim είναι τα εξής

- Μείωση κόστους κατασκευής
- Χρόνος παράδοσης
- Αύξηση παραγωγικότητας
- Αύξηση ποιότητας
- Έλεγχος του κόστους
- Διαχείριση κύκλου ζωής του κτιρίου
- Οργάνωση της μελέτης κατασκευής



Εικόνα 5 : Τα πλεονεκτήματα του BIM.

[Πηγή: <https://www.teetkm.gr/bim-kataskevnh-ergwn/>]

3D: τρισδιάστατη παρουσίαση

4D: Ακριβές στάδιο κατασκευής κάθε χρονική στιγμή ,πληροφορίες όπως τι, πότε και με ποια σειρά.

5D: Έλεγχος συνολικού ή μερικού κόστους εργασιών και υλικών σε οποιαδήποτε στιγμή κατασκευής /μελέτης.

6D: Εργαλεία δίνουν ενεργειακά δεδομένα για την απόδοση συστημάτων, σκίαση και τον φωτισμό.

7D: Λειτουργία και συντήρηση του έργου

Πληροφορίες για την συντήρηση και το προσδόκιμο ζωής, πότε και τι τοποθετήθηκε, πότε χρειάζεται συντήρηση. Πως πρέπει να λειτουργεί για να μην καταναλώνει ενέργεια όπως και το προσδόκιμο ζωής του.

Τα μειονεκτήματα του bim είναι ελάχιστα και αυτά έχουν να κάνουν με την μη αποδοχή της τεχνολογίας από τον κλάδο και τους πελάτες .Υπάρχει έλλειψη εμπειρίας και ανασφάλεια για το νέο. Η μερική εφαρμογή του bim οδηγεί σε ασυμβατότητα και δυσκολία στο να ανακτηθούν οι ελλείψεις πληροφορίες.

3. ΕΠΙΓΕΙΟΣ ΣΑΡΩΤΗΣ LASER

3.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΕΠΙΓΕΙΟΥ ΣΑΡΩΤΗ

Ο επίγειος σαρωτής κατασκευάστηκε το 1960 όμως άρχισε να λειτουργεί στον τομέα των κατασκευών περίπου το 1990. Από την ανακάλυψη του μέχρι σήμερα έχουν υπάρξει αρκετές αναβαθμίσεις και βελτιώσεις τροποποιώντας τους σαρωτές σε laser σαρωτές ακρίβειας.

Το βασικό μειονέκτημα από την ανακάλυψη του το οποίο μέχρι σήμερα έχει φέρει μεγάλη βελτίωση είναι ο μεγάλος όγκος αρχείων που προκύπτουν από την σάρωση .

Η τεχνολογία του τρισδιάστατου σαρωτή είναι μια πολύ σύγχρονη τεχνολογία που χρησιμοποιείται ακόμα και από την αρχαιολογία, την ιατρική, την τέχνη και κυρίως την κατασκευή.

3.2 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΣΑΡΩΤΗ

Τα τελευταία χρόνια κατασκευάζονται νέα όργανα, που έχουν τη δυνατότητα να αποτυπώνουν, σαρώνοντας μια επιφάνεια, δημιουργώντας το τρισδιάστατο μοντέλο της.

Τα όργανα αυτά είναι οι λέιζερ σαρωτές(laser scanners).Τα οποία έχουν την τεχνολογία να αποτυπώνουν στοιχεία του αντικειμένου τα οποία δεν είναι ορατά. Όπου συλλέγοντας αυτή την πληροφορία έχουμε σαν αποτέλεσμα ένα τρισδιάστατο μοντέλο.

Η αρχή της λειτουργίας τους είναι η ακόλουθη:

Ορίζονται τα όρια της επιφάνειας που πρόκειται να σαρωθεί καθώς και το βήμα σάρωσης (οριζόντια και κατακόρυφα). Μια CCD κάμερα, που βρίσκεται ενσωματωμένη στον σαρωτή ,στέλνει την εικόνα της επιφάνειας στον ηλεκτρονικό υπολογιστή με τον οποίο αυτός είναι συνδεδεμένος και ξεκινάει η εκπομπή παλμού λέιζερ προς το αντικείμενο. Ταυτόχρονα ολοκληρωμένοι οπτικοί κωδικοποιητές μετρούν τις γωνίες ανάκλασης και τον χρόνο μετάβασης και επιστροφής της ακτινοβολίας. Έτσι υπολογίζεται το μήκος για κάθε σημείο χωρίς τη

χρήση ανακλαστήρα. Οι πληροφορίες μεταφέρονται σε πραγματικό χρόνο στον ηλεκτρονικό υπολογιστή δημιουργώντας έτσι το τρισδιάστατο ανάγλυφο της επιφάνειας που σαρώθηκε.

Με την εκπομπή κάθε παλμού λέιζερ λαμβάνονται πολλές μετρήσεις από ένα σύνολο μοναδιαίων παλμών που εκπέμπεται. Από το νέφος σημείων (point cloud) που μετρούνται πάνω στο αντικείμενο ,περίπου 1000 έως 10000 σημεία το δευτερόλεπτο, παράγεται μια τρισδιάστατη εικόνα του αντικειμένου, αφού για κάθε σημείο προσδιορίζονται οι καρτεσιανές συντεταγμένες του x y z ως προς κάποιο αυθαίρετο τρισδιάστατο τοπικό σύστημα αναφοράς, που ορίζει ο χρήστης.

Υπάρχουν πολλοί τύποι σαρωτών που διαφοροποιούνται ως προς την εμβέλεια, την αβεβαιότητα ,τη διακριτική ικανότητα, την ταχύτητα και την πληρότητα του παραγόμενου τρισδιάστατου ανάγλυφου.

Το βεληνεκές μέτρησης των σαρωτών (απόσταση από το αντικείμενο) κυμαίνεται από 1.5μ-1500μ.η ονομαστική αβεβαιότητα προσδιορισμού των συντεταγμένων κυμαίνεται από +/- 6mm έως +/- 45mm και εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους όπως:

- Την απόσταση από το αντικείμενο
- Την ταχύτητα σάρωσης
- Το υλικό και το χρώμα της επιφάνειας που μετράται και στη οποία προσπίπτει η ακτινοβολία.
- Τη γωνία πρόσπτωσης σε κάθε σημείο του αντικειμένου.
- Τη μέθοδο σάρωσης που κάθε σύστημα χρησιμοποιεί

3.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΕΠΙΓΕΙΟΥ ΣΑΡΩΤΗ

Στην συγκεκριμένη εργασία ο επίγειος σαρωτής που χρησιμοποιήθηκε είναι Leica BLK 360.Ο οποίος λαμβάνει έγχρωμες εικόνες υψηλής ακρίβειας σύννεφο σημείων της σάρωσης. Ο μικρός και καθόλα αυτό εύχρηστος σαρωτής blk360 προσφέρει ακρίβεια ,ευελιξία ευκολία στη χρήση και συνδυάζει όλα τα απαραίτητα χαρακτηριστικά για την ολοκλήρωση εργασιών κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες και σε οποιαδήποτε εφαρμογή. Προσφέρει εκπληκτικά αποτελέσματα σάρωσης τόσο σε ακρίβεια όσο και σε ποιότητα με το απλό πάτημα ενός κουμπιού.

Το όργανο σάρωσης που χρησιμοποιήσαμε είναι ελαφρύ ,μικρό σε μέγεθος κάτι το οποίο το καθιστά εύκολο στην χρήση.

Σαρώνει έως 60μ με μεγάλη ακρίβεια, 360.000 σημεία/δευτερόλεπτο και φωτογραφίζει σφαιρικά 360 μοίρες.

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά του οργάνου αποτελούν πλεονεκτήματα.

Ο σαρωτής blk360 μεταδίδει δεδομένα (εικόνα και νέφος)μέσω wifi στο ipad ή ολόκληρο project στο cyclone register 360.

Οι αυτοματοποιημένες ροές διευκολύνουν την διαδικασία αποτύπωσης. Η άμεση εξαγωγή αρχείων .rcp καθιστά απλή και αποτελεσματική την εργασία επιτρέποντας στους χρήστες να δαπανούν λιγότερο χρόνο στην επεξεργασία δεδομένων.

Συνοψίζοντας τις ικανότητες/πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου μοντέλου επίγειου σαρωτή που είναι :

- Σαρώνει σε 3modes(high, standard &fast resolutions)
- Μια πλήρης σάρωση σε standard ανάλυση και 150 MP διαρκεί λιγότερο από 3 λεπτά
- Φωτογραφίζει με εύρος 360 μοίρες
- Λαμβάνει 360,000 σημεία /sec

- Απομακρυσμένη διαχείριση από ipad με χρήση της εφαρμογής leica cyclone field 360
- Αυτόματη καταγραφή και οπτικοποίηση των δεδομένων από το πεδίο
- Απλή και γρήγορη ανταλλαγή δεδομένων από το πεδίο στο γραφείο και μεταξύ των μελών της ομάδας.

Τα μειονεκτήματα του επίγειου σαρωτή είναι κυρίως η ανάκλαση της ακτινοβολίας laser σε επιφάνειες όπως το γυαλί επιστρέφει πολλαπλά σημεία που αποτελούν θόρυβο και πρέπει να εντοπισθούν και να αφαιρεθούν κατά τη διαδικασία της επεξεργασίας.

Η ποιότητα του νέφους σημείων που δημιουργείται εξαρτάται από τις συνθήκες φωτισμού και σκίασης κατά τη διάρκεια σάρωσης

Σε μεγάλες επιφάνειες ή αντικείμενα δημιουργείται μεγάλος όγκος δεδομένων εξαιτίας πολλαπλών σημείων με συνέπεια να κάνει πιο δύσκολη και αργή τη διαδικασία επεξεργασίας δεδομένων. Ακόμα αυξάνεται το κόστος και ο χρόνος των εργασιών γραφείου.

Επιπλέον το κόστος του λογισμικού και του η/υ για την επεξεργασία του νέφους είναι υψηλό.

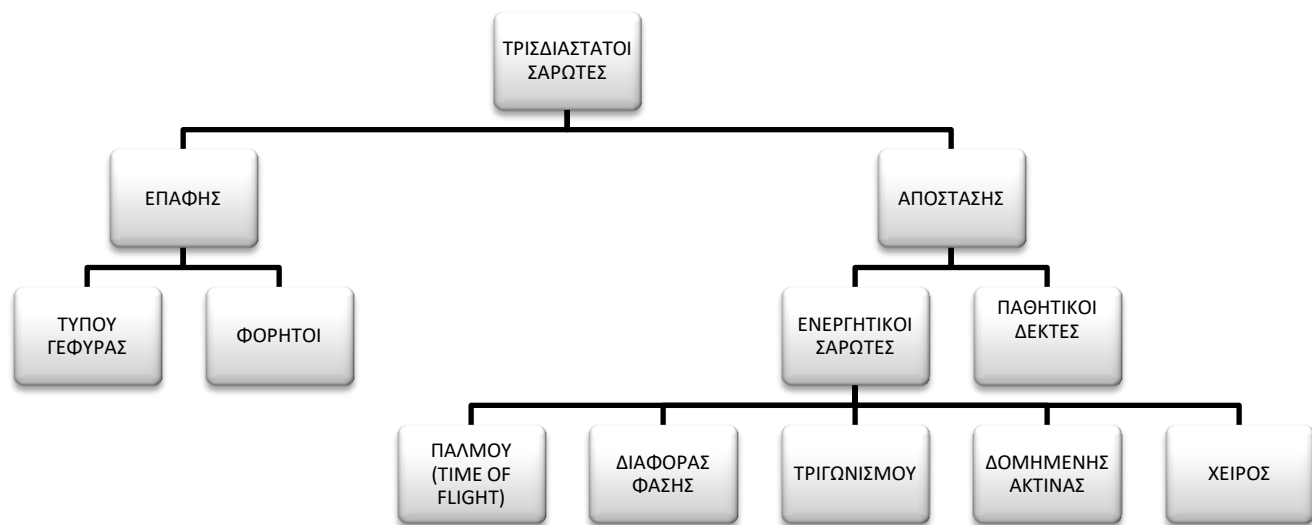
Τέλος δεν υπάρχει κάποιο κοινό πρότυπο για την ανταλλαγή δεδομένων που προέρχονται από διαφορετικά λογισμικά, προκειμένου να επιτευχθεί η διαλειτουργικότητα.

3.4 ΕΙΔΗ ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΣΑΡΩΤΩΝ

«Ο τρισδιάστατος σαρωτής είναι μια ανερχόμενη τεχνολογία που εξυπηρετεί στην αποτύπωση της φυσικής γεωμετρίας αντικειμένων σε αρχεία πληροφορίας που ονομάζεται νέφος σημείων»(Teicholz, BIM for facility managers).η τεχνολογία αυτή μπορεί να αποτυπώσει όλα τα μέρη ενός αντικειμένου, σε ένα κτίριο μπορεί να αποτυπώσει τα ορατά μέρη (τοιίχους, παράθυρα) αλλά και τα μη ορατά μέρη (υδραυλικά) σε αρχεία point cloud.

Η διαδικασία της σάρωσης είναι η εξής, στήνουμε τον επίγειο σαρωτή στις στάσεις από τις οποίες έχουμε καλή οπτική γωνία, ορίζουμε τα όρια της επιφάνειας που θέλουμε να σαρώσουμε και την πυκνότητα της σάρωσης . Στη συνέχεια ο σαρωτής εκπέμπει ένα παλμό προς το αντικείμενο που θέλουμε να αποτυπώσουμε. Ο παλμός ανακλάται στην επιφάνεια του αντικειμένου και επιστρέφει στον σαρωτή ,όπου υπολογίζονται οι γωνίες ανάκλασης και ο χρόνος μετάβασης και επιστροφής. Έτσι δημιουργείται ένα νέφος σημείων όπου έχουμε xyz όλων των σημείων του νέφους ως προς το σύστημα αναφοράς που έχουμε εμείς ορίσει, επίσης έχουμε πληροφορία RGB (χρωματική πληροφορία) και τιμή ανακλαστικότητας του κάθε σημείου του νέφους.

Για να αποδοθεί μια τρισδιάστατη πληροφορία γίνονται αρκετές σαρώσεις και με την μέθοδο registration όλες οι σαρώσεις έχουν ένα ενιαίο σύστημα αναφοράς.



Εικόνα 6 : Είδη τρισδιάστατων σαρωτών.

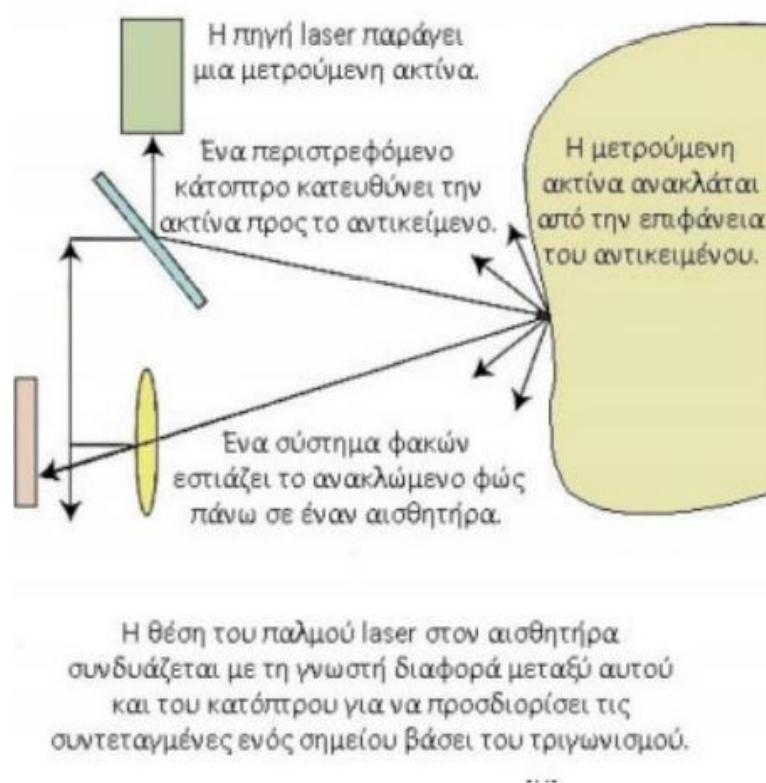
3.4.1. ΣΑΡΩΤΕΣ ΕΠΑΦΗΣ

Οι σαρωτές επαφής είναι όργανα που αποτυπώνουν ένα αντικείμενο μέσω της φυσικής επαφής, με την χρήση ενός ρομποτικού βραχίονα ο οποίος έχει αισθητήρα αφής γίνεται η ψηλάφιση του αντικειμένου. Λόγω της φυσικής επαφής που αναλύσαμε παραπάνω υπάρχει περίπτωση να καταστραφεί το αντικείμενο της σάρωσης γι' αυτό δεν χρησιμοποιείται σε όλες τις περιπτώσεις όπως σε αρχαία μνημεία είτε σε έργα τέχνης. Συνήθως έχουν εφαρμογή σε βιντεοπαιχνίδια ,σε βιομηχανικές εφαρμογές και στον κινηματογράφο που απαιτούν μεγάλη ακρίβεια στην αναπαράσταση τους. Αυτοί οι σαρωτές χωρίζονται σε σαρωτές επαφής και τύπου γέφυρας.

3.4.2. ΣΑΡΩΤΕΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ

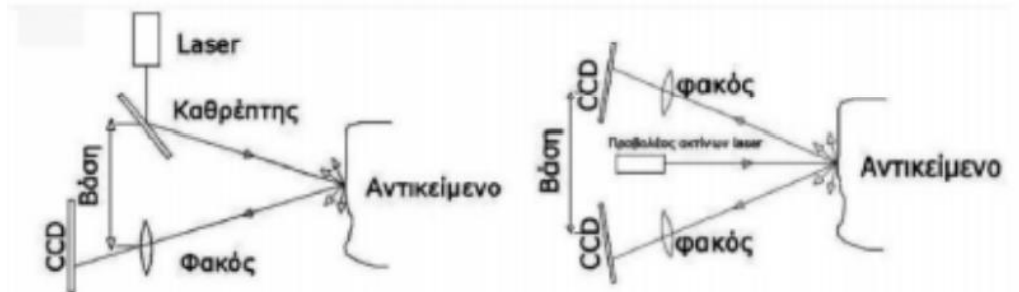
Οι σαρωτές απόστασης είναι οι σαρωτές οι οποίοι χρησιμοποιήσαμε στην δική μας μελέτη, είναι σαρωτές οι οποίοι αποτυπώνουν το αντικείμενο από απόσταση. Οι οποίοι χωρίζονται σε ενεργητικούς και παθητικούς.

- οι ενεργητικοί σαρωτές εκπέμπουν κάποιου είδους ακτινοβολία και μετρώντας την ανάκλαση από ένα ενσωματωμένο δέκτη οργάνου υπολογίζεται η απόσταση μεταξύ δέκτη και αντικειμένου
 - σαρωτές μέτρησης χρόνου πτήσης ενός παλμού laser (time of flight)
 - σαρωτές διαφορά φάσης (phase comparison scanners)
 - σαρωτές τριγωνισμού (triangulation scanners)

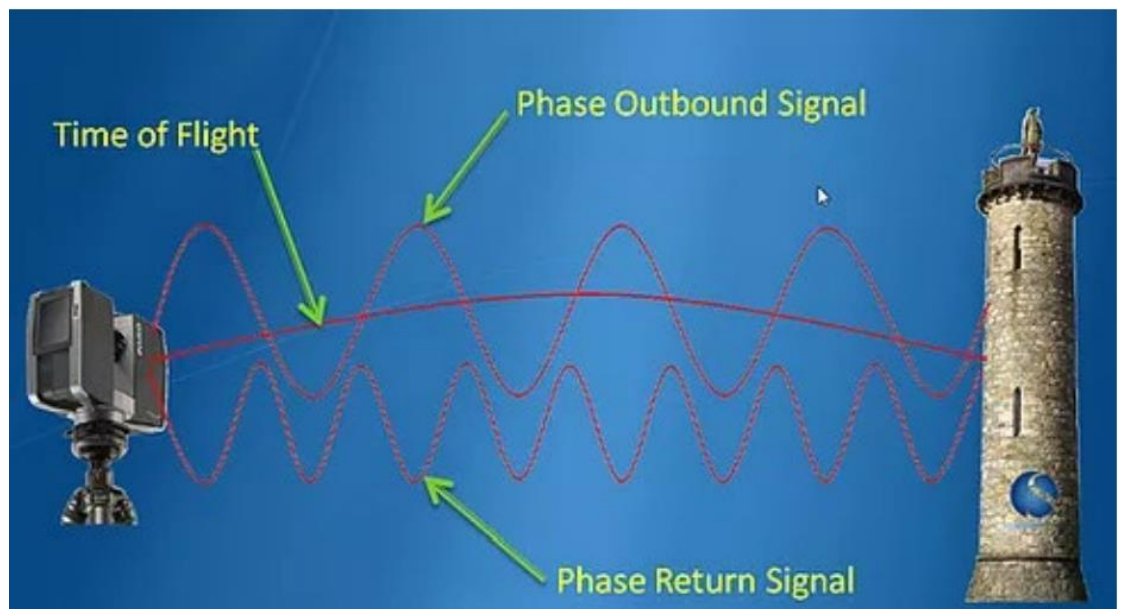


Εικόνα 7 : Παράδειγμα λειτουργίας Σαρωτή Τριγωνισμού – [Πηγή: researchgate.net.]

- παθητικοί σαρωτές εκμεταλλεύονται την ακτινοβολία που εκπέμπει το αντικείμενο με την μορφή φωτονίων και έτσι υπολογίζεται η απόσταση από τον δέκτη με την βοήθεια των γωνιών που σχηματίζουν.



Εικόνα 8 : Μέθοδος τριγωνισμού με χρήση ενός ή δυο αισθητήρων τεχνολογίας CCD – [Πηγή: ecourses.dbnet.ntua.gr]



Εικόνα 9 : [<https://www.survtechsolutions.com/how-does-laser-scanning-work>]

4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΣΑΡΩΤΗ ΣΤΗΝ ΜΕΛΕΤΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗΣ

Στην συγκεκριμένη εργασία αποτυπώθηκε ένα κτίσμα του 1960 χωρίς υποστυλώματα για την μελέτη της στατικότητας του κτιρίου.

Η μελέτη χρειαζόταν ακρίβεια και ταχύτητα και οι μετρήσεις έπρεπε να γίνουν τις ώρες που η οικογένεια δεν βρισκόταν στο σπίτι γιατί οι άνθρωποι δημιουργούν θόρυβο στην σάρωση. Ήταν αναγκαίο σε σύντομο χρονικό διάστημα να αποτυπωθεί η οικία η οποία περιέχει υπόγειο με τρεις ξεχωριστούς χώρους και έναν όροφο. Επίσης στον περιβάλλοντα χώρο υπήρχαν δέντρα που δημιουργούν θόρυβο στη σάρωση.

Μια τέτοια εφαρμογή ήταν αδύνατο να αποτυπωθεί εξολοκλήρου από παραδοσιακές μεθόδους αποτύπωσης σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα το οποίο είχε ζητηθεί από τον ιδιοκτήτη. Έτσι επιλέχθηκε το 3D LASER SCANNER LEICA BLK360 για να ολοκληρωθεί γρήγορα και με την απαιτούμενη ακρίβεια.

Επιλέχθηκε να πραγματοποιηθεί εσωτερική και εξωτερική αποτύπωση. Η διαδικασία ήταν πολύ απλή. Κάθε φορά που συγχρονιζόταν το scanner από το smartphone σε λιγότερο από ένα λεπτό και στην συνέχεια στηνόταν το scanner σε κάθε δωμάτιο με ανοιχτές τις πόρτες. Κάθε δωμάτιο ήταν και μια ξεχωριστή σάρωση και στην συνέχεια με το λογισμικό cyclone γινόταν συνένωση αρχικά του εξωτερικού χώρου, ύστερα των δωματίων μεταξύ τους στη συνέχεια το εσωτερικό με το εξωτερικό και τέλος τους ορόφους μεταξύ τους, τελικά προέκυπτε ένα αρχείο point cloud.

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων βλέπαμε στο smartphone που ήταν συνδεδεμένο με το scanner, σε πραγματικό χρόνο σε 2D και 3D τους χώρους που σαρώναμε. Αφού έγιναν οι αποτυπώσεις υπήρχαν στον υπολογιστή μας τα κτίρια σε έγχρωμο 3D point cloud και υπήρχε δυνατότητα να αποδοθούν τα σχέδια και να μετρηθούν. Ο όγκος των

point cloud ήταν αρκετά μεγάλος και η διάρκεια του export ήταν σχεδόν διπλάσια από τον χρόνο της αποτύπωσης.

5. ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η οικία η οποία μετρήθηκε και επεξεργάσθηκαν τα δεδομένα της βρίσκεται στην περιοχή Λυκόβρυση. Ο λόγος που επιλέχθηκε η συγκεκριμένη οικία είναι λόγω ηλικίας του κτιρίου για μια ενδεχόμενη πλήρης ανακαίνιση στην περίπτωση που έχει καλή στατικά κατάσταση.

Η Λυκόβρυση αποτελεί εδώ και πολλά χρόνια μια περιοχή αμφίσημη που οδηγεί προς την εθνική οδό Αθηνών-Λαμίας.

Πριν μερικά χρόνια άνηκε στις δημοτικές περιοχές Λυκόβρυσης και Πεύκης, πλέον όμως λειτουργεί ως ανεξάρτητος δήμος, που συνενώθηκε με την Πεύκη με το πρόγραμμα του Καλλικράτη.

Βρίσκεται στο βόρειο τμήμα του συγκροτήματος της πόλης των Αθηνών. Τοποθετείται στα περίχωρα της Κηφισιάς ,στις ανατολικές όχθες του Κηφισού ποταμού και καθίσταται προσβάσιμη από την εθνική οδό Αθηνών-Λαμίας, στο τμήμα της οποίας εκτείνεται η βιομηχανική ζώνη της περιοχής.

Η Λυκόβρυση επικοινωνεί άμεσα με την όμορο περιοχή της Μεταμόρφωσης, με την οποία συνδέεται με πλούσιο ιστορικό και εθνολογικό παρελθόν από την εποχή της μικρασιατικής καταστροφής. Πολλοί μάλιστα από τους αρχικούς κατοίκους που κατέφθασαν το 1922 στη Λυκόβρυση μετεγκαταστάθηκαν στη γειτονική περιοχή ώστε να βρίσκονται κοντά στον τόπο εργασίας τους με αποτέλεσμα να παρουσιάζει ο μικρός οικισμός εικόνες εγκατάλειψης. Σε αυτό συνέβαλαν αργότερα και οι καλύτερες συγκοινωνιακές υποδομές της Μεταμόρφωσης από την οποία διερχόταν το μεγαλύτερο τμήμα της βιομηχανικής ζώνης.

Τα διοικητικά όρια του δήμου καταλαμβάνουν έκταση 1950 στρεμμάτων στα οποία κατοικούν σύμφωνα με την απογραφή του 2018,116 άτομα τουτέστιν 4162 κάτοικοι ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο. Το κέντρο της περιοχής τοποθετείται στην μικρή πεδιάδα που περιβάλλεται από τον Κηφισό, τον Πράσινο Λόφο Ηρακλείου και τα άγρια εδάφη του

6. ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 3D ΣΑΡΩΣΕΩΝ



Εικόνα 10: μέθοδος bim

ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΕΔΙΟΥ

Κατά τη φάση σχεδιασμού ο βασικός σκοπός ήταν η κατασκευή του βέλτιστου ποιοτικά δικτύου, δηλαδή η καλύτερη ακρίβεια και αξιοπιστία με γνώμονα και την μετέπειτα χρήση του για την τρισδιάστατη αποτύπωση με σαρωτή.

Στο πεδίο ιδρύθηκαν 6 στάσεις εκτός του κτίσματος και 12 στάσεις εντός του κτίσματος λόγω του ότι το συγκεκριμένο σπίτι αποτελείται από πολλά δωμάτια. Οι στάσεις επιλέχθηκαν να οριστούν σε σημεία ώστε να υπάρχει ορατότητα μεταξύ τους.

Η αποτύπωση έγινε με σαρωτή μοντέλου Leica BLK360 είναι ένας σαρωτής τύπου laser Time of Flight, ο οποίος σαρωτής είναι κατάλληλος για την αποτύπωση μεγάλων κτιρίων.

Συνολικά έγιναν 16 σαρώσεις 360 μοιρών από κάθε στάση για να καλυφτεί εσωτερικά και εξωτερικά το κτίριο. Όμως για να επιτευχθούν οι συνενώσεις των σαρώσεων πρέπει να υπάρχει μεγάλη επικάλυψη >35% και οι εσωτερικές σαρώσεις πρέπει να γίνονται με τέτοιο τρόπο ώστε να δημιουργούνται ομολογίες, τουλάχιστον 5 ομόλογα σημεία. Η συνένωση των νεφών έγινε με το λογισμικό Cyclone της Leica Geosystems.

Στην συγκεκριμένη φάση της εργασίας ,την συνένωση νεφών μας η δυσκολία που προέκυψε ήταν στο σημείο που έπρεπε να συνενωθεί το εσωτερικό με το εξωτερικό νέφος των σημείων, γιατί τα ομόλογα σημεία φαινόταν μέσα από τα παράθυρα, όπου υπήρχε το τζάμι που αντανακλούσε.

Δημιουργήθηκε η συνένωση των 2 επικαλυπτόμενων εικόνων και το αποτέλεσμα το συνενώθηκε με τον ίδιο τρόπο με την επόμενη επικαλυπτόμενη σάρωση, μέχρι να συνενωθούν όλες οι σαρώσεις και να προκύψει το αποτέλεσμα μιας τρισδιάστατης εικόνας εσωτερικά και εξωτερικά του κτιρίου.

Το επιτρεπόμενο σφάλμα είναι $RMS < 0,02$ και στη περίπτωση μας διατηρήθηκε σε όλες τις συνενώσεις. Η συνένωση των νεφών βασίζεται στην επίλυση του αλγορίθμου ICP(Interactive Closest Point).

Η συνένωση βάση αυτού του αλγορίθμου προϋποθέτει αρκετά ομόλογα σημεία(5 στην δική μας περίπτωση) και σωστά κατανομημένα σε σχήμα κύβου. Οι παρακάτω τιμές RMS παρουσιάζονται στον πίνακα Cloud Constraint Diagnostics.

Registration	RMS
Setup105-setup107	0,009 m
Setup106-registration1	0,009 m
Setup109-setup110	0,008 m
Registration3-setup108	0,008 m
Setup111-setup112	0,011 m
Setup113-registration6	0,014 m
Setup114-setup115	0,015 m
Setup116-registration7	0,011 m
Registration8-setup117	0,012 m
Registration9-setup1	0,012 m
Registration10-setup2	0,014 m
Registration11-setup3	0,014 m
Registration 12-setup4	0,012m
Setup5-setup6	0,011 m
Registration2-Registration4	0,007m
Registration6- Registration13	0,015 m
Registration16- Registration14	0,012 m
Registration15- Registration17	0,021 m

Εικόνα 11 : Πίνακας RMS

Επιπλέον το RGB (χρωματική πληροφορία)πραγματοποιείται αυτόματα από το λογισμικό γιατί ο συγκεκριμένος σαρωτής περιέχει κάμερα και έχει δυνατότητα λήψης φωτογραφιών.

Τέλος ,οι αποστάσεις από τον σαρωτή στο νέφος των σημείων ήταν όλες 0.1μ και η μέγιστη απόσταση δεν ξεπέρασε τα 10μ πράγμα που επιβεβαιώνει πως είμαστε εντός των ορίων της φυσιολογικής και αναμενόμενης ακρίβειας με βάση τον κατασκευαστή 6mm/10m & 8mm/20m.

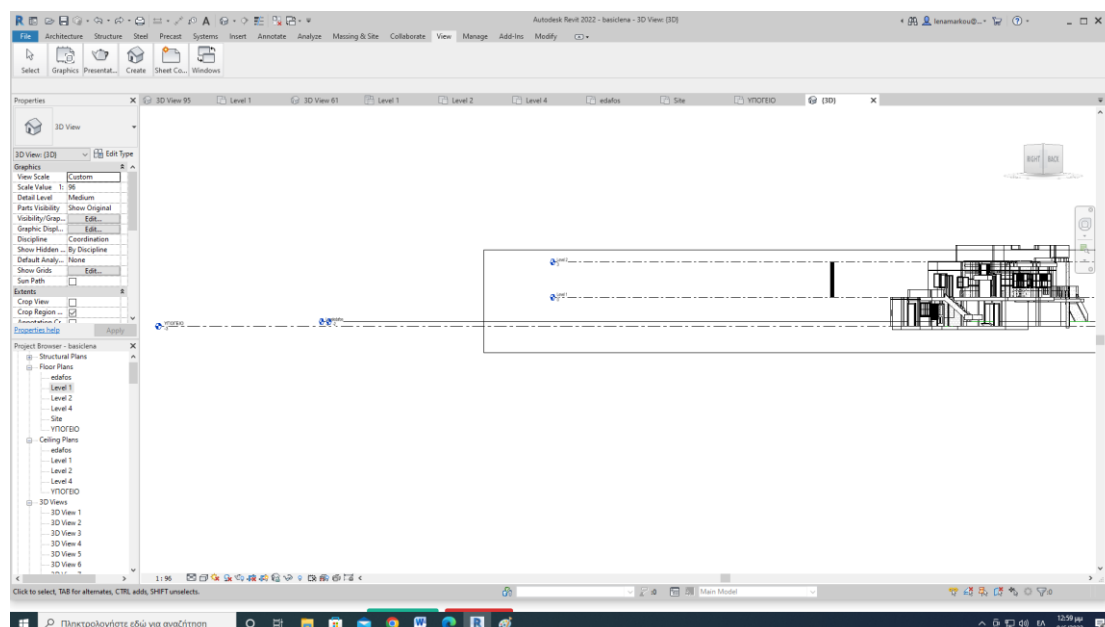
7. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ BIM

Για να γίνει η μοντελοποίηση του έργου μελέτης υπήρχε αρχικά μια σάρωση από τον τρισδιάστατο σαρωτή Ieica BLK 360 και στην συνέχεια για την διευκόλυνση μας δόθηκαν τα σχέδια του σπιτιού από τον ιδιοκτήτη. Τα μοντέλα BIM σχεδιάστηκαν στο λογισμικό Revit 2022 .

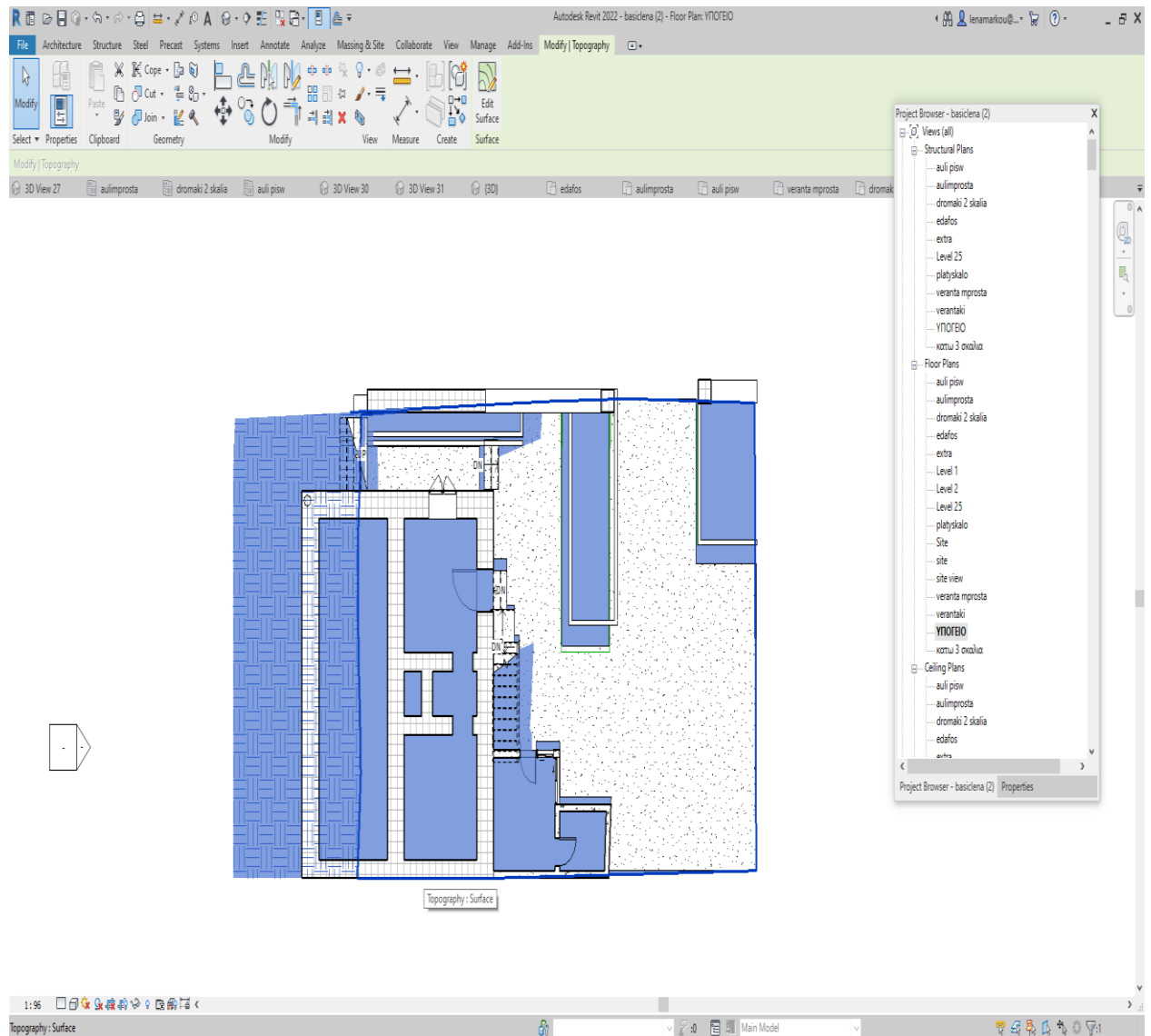
ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ BIM ΑΠΟ ΝΕΦΟΣ ΣΗΜΕΙΩΝ

Αρχικά εισήχθη στο πρόγραμμα μας το νέφος των σημείων το οποίο είχε αποτυπωθεί σε μορφή.rcp. Το κτίσμα τοποθετήθηκε σε ύψος 0.00. Τα μέρη του κτιρίου σχεδιάστηκαν με διαφορετικά families για το κάθε είδος ξεχωριστά π.χ. τοίχοι, παράθυρα, πόρτες, τοιχία κτλ. Το κάθε family συμπεριλαμβάνει χαρακτηριστικά όπως πάχη ύψη υλικό κ.α.

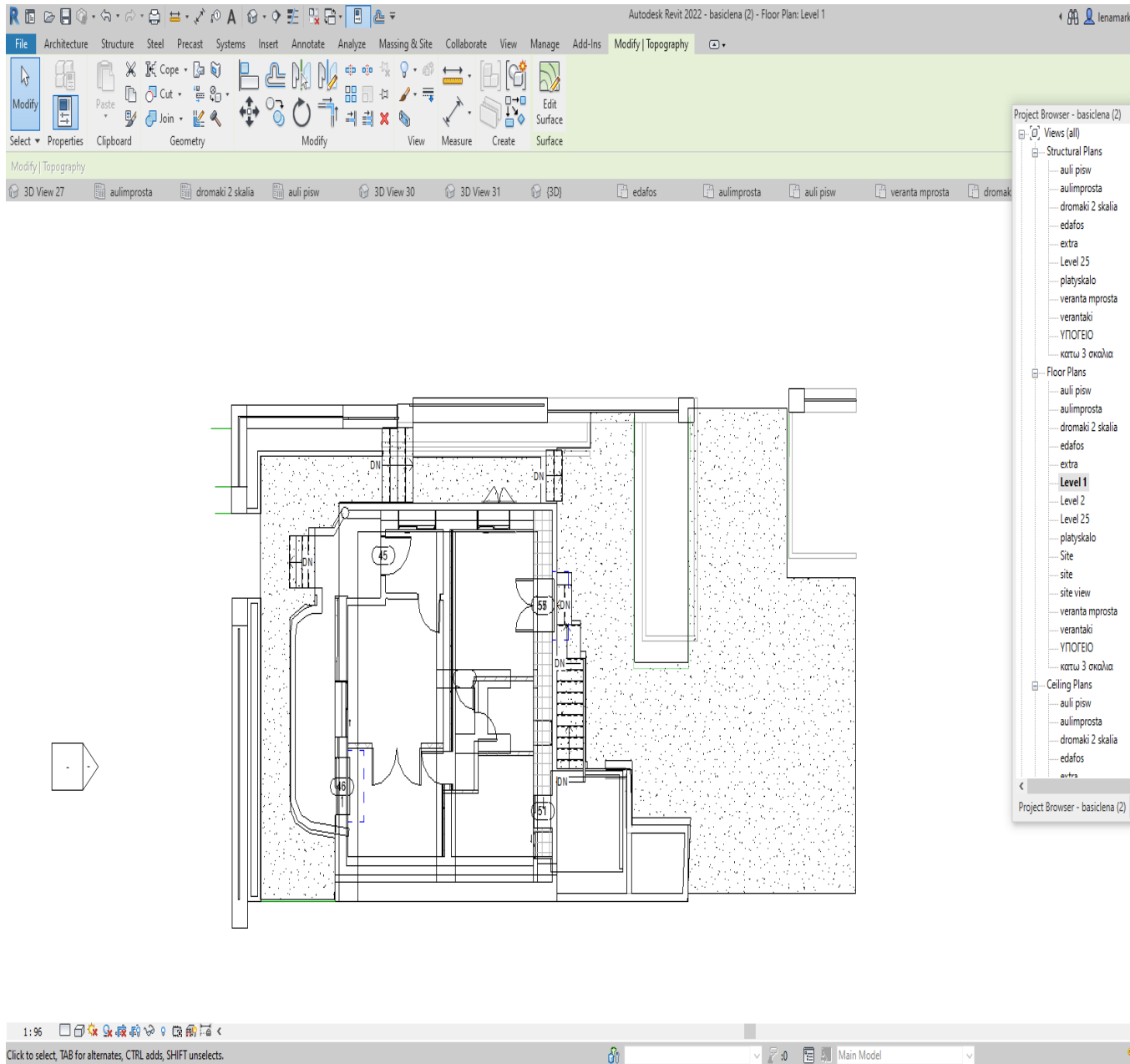
Στην συνέχεια εισήχθησαν levels δηλαδή ύψη του κάθε ορόφου για να επεξεργαστούν οι κατόψεις του κάθε ορόφου ξεχωριστά.



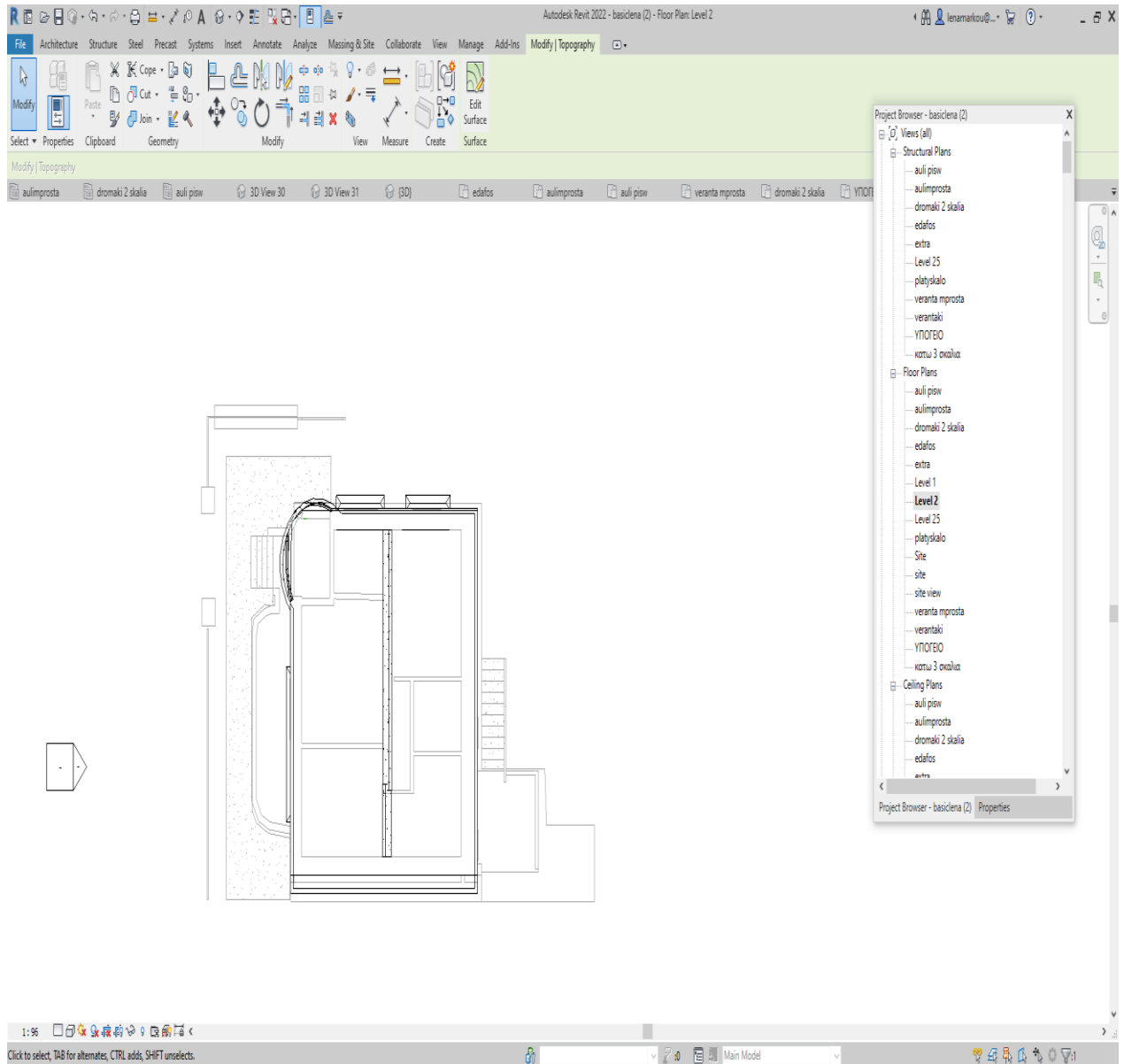
Εικόνα 12 : Τομή



Εικόνα 13 : Level Υπόγειο



Εικόνα 14 : Level 1

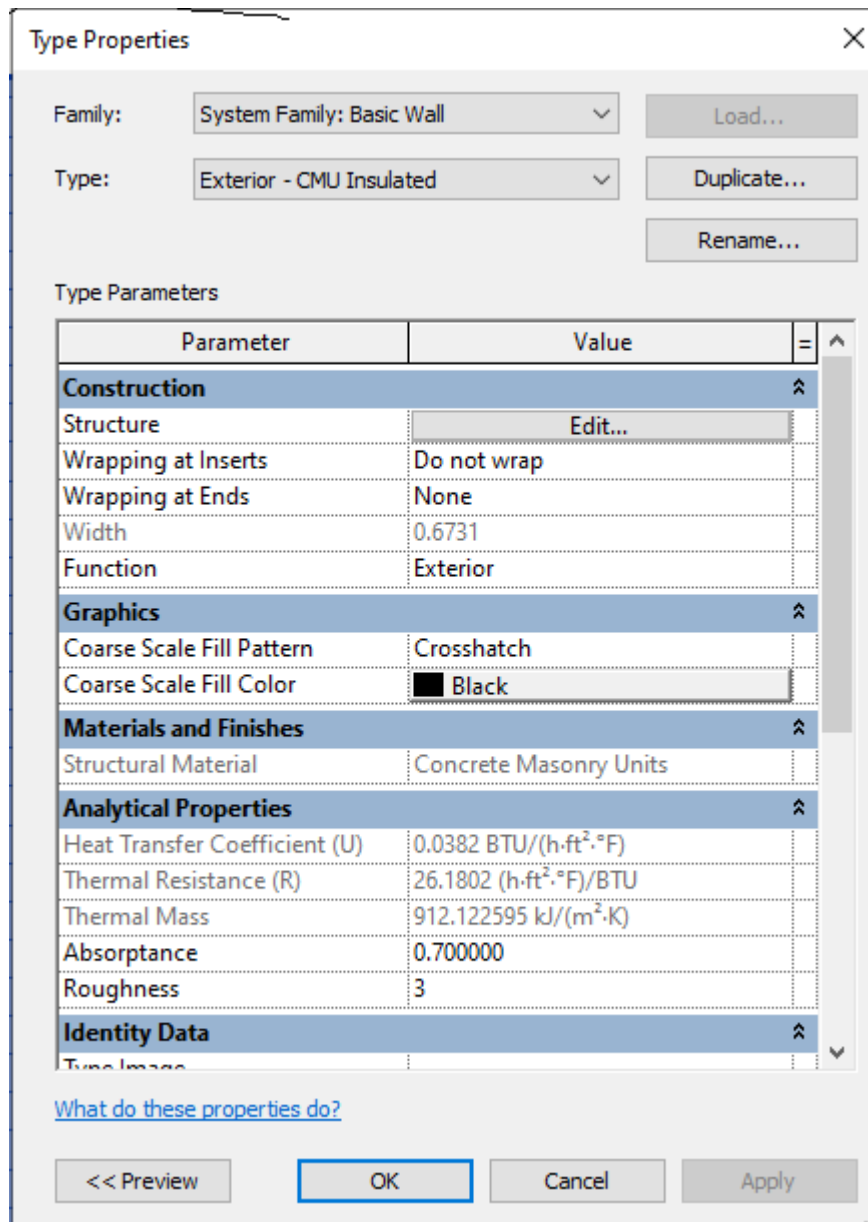


Εικόνα 15: Level2

Το λογισμικό revit περιέχει την βιβλιοθήκη που συμπεριλαμβάνει families τα οποία στη συνέχεια τροποποιήθηκαν, και δημιουργήθηκαν πολλά families δηλαδή στην ουσία χρησιμοποιήθηκε η επιλογή family editor και άλλαξαν τα χαρακτηριστικά με βάση τα δεδομένα που υπήρχαν. Πιο αναλυτικά:

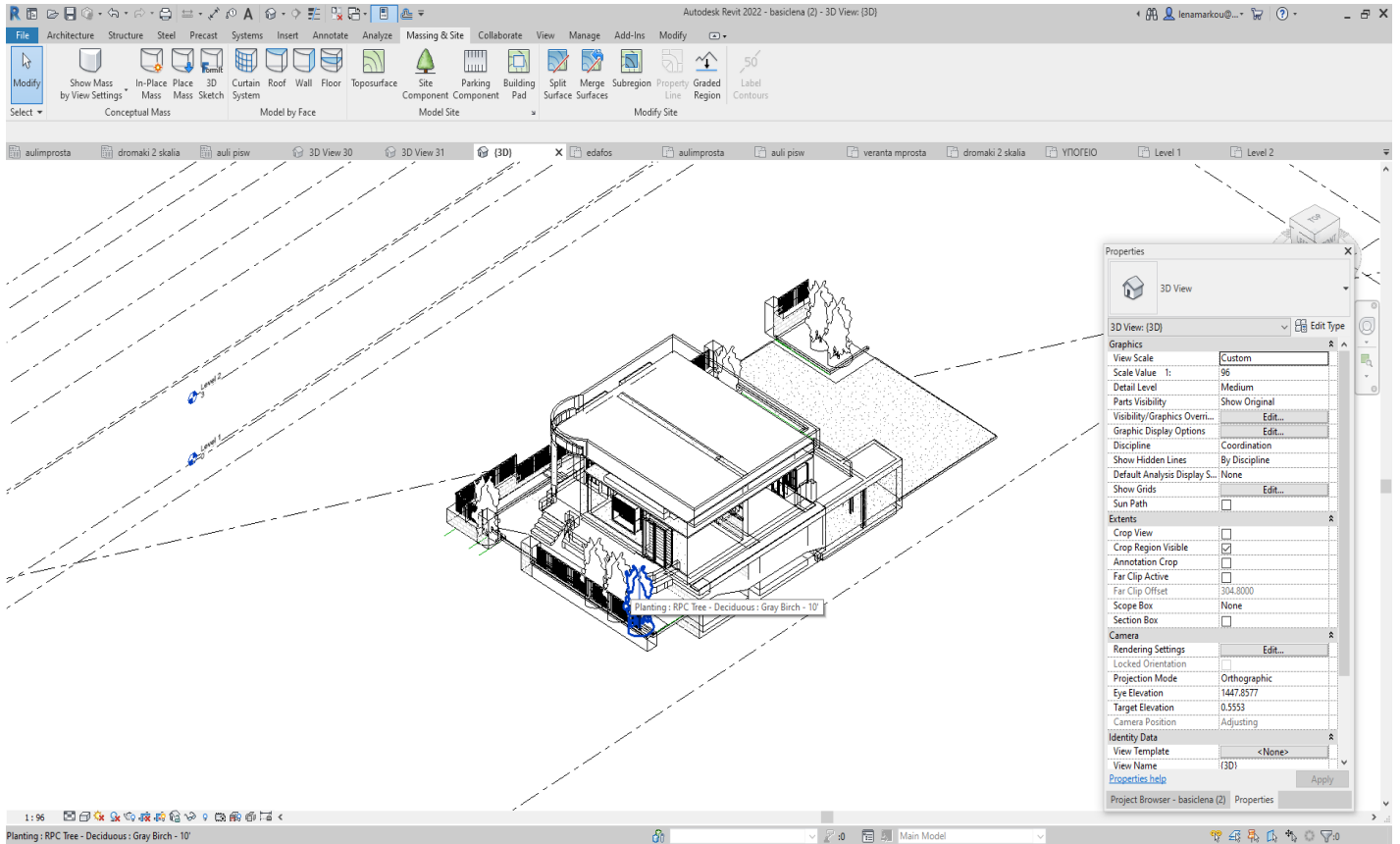
- Basic wall : για την σχεδίαση των τοίχων
- Cast in place stair monolithic stair : για την σχεδίαση των σκάλων και για το πλατύσκαλο
- Doors : για την σχεδίαση πορτών
- Basic roof : για τα στέγαστρα των παραθύρων
- Floor : για την σχεδίαση πατωμάτων
- Concrete round colomn : για τις κολώνες
- Window louvers : για τα εξώφυλλα
- Window : για τα παράθυρα
- Wall : για τα τοιχία της βεράντας

Παρακάτω, παρουσιάζεται ένα family από αυτά που μόλις αναφέρθηκαν.

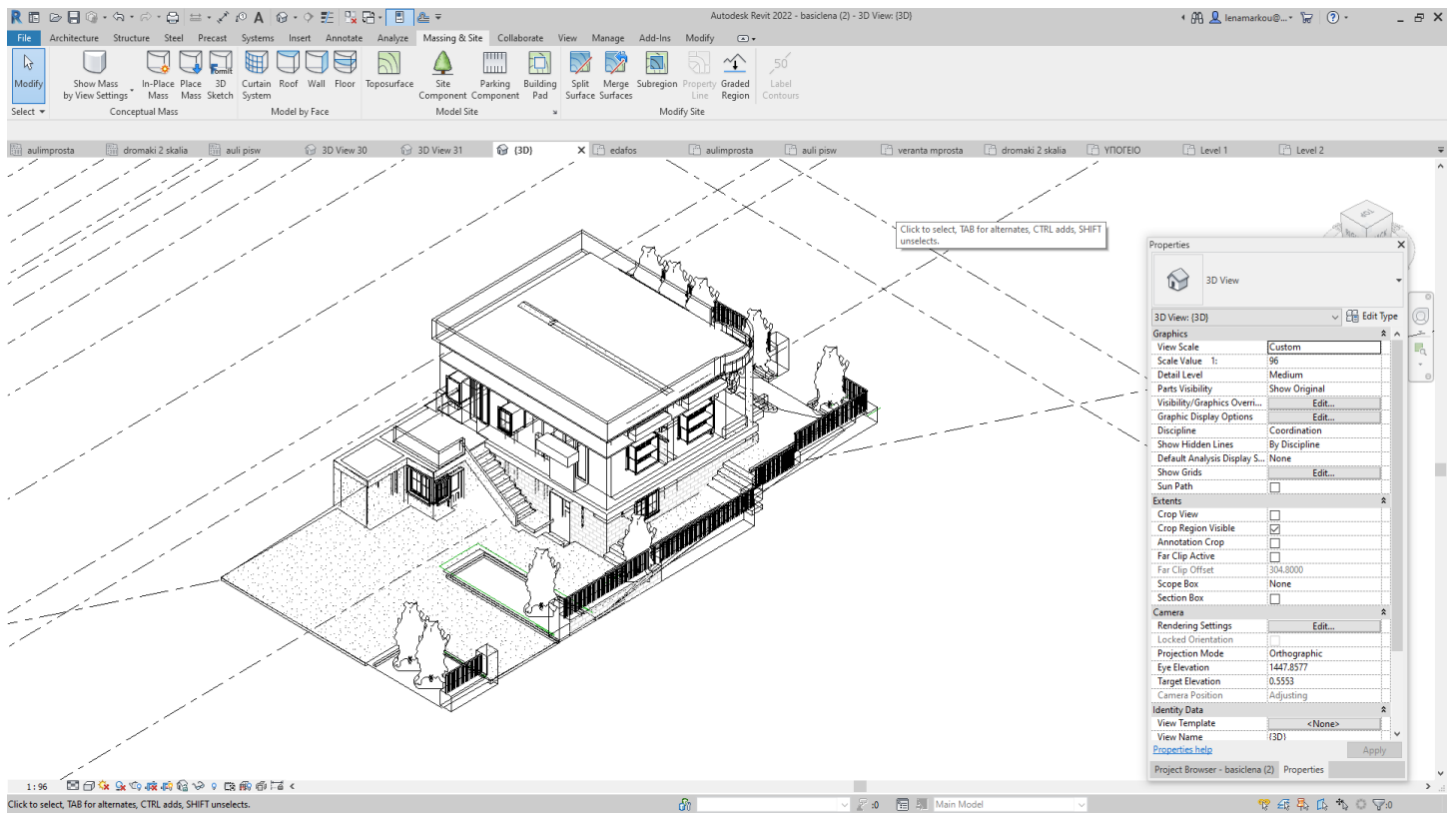


Εικόνα 16 : Δημιουργία Family

Παρακάτω παρουσιάζεται το 3D αποτέλεσμα εξωτερικά του κτιρίου:

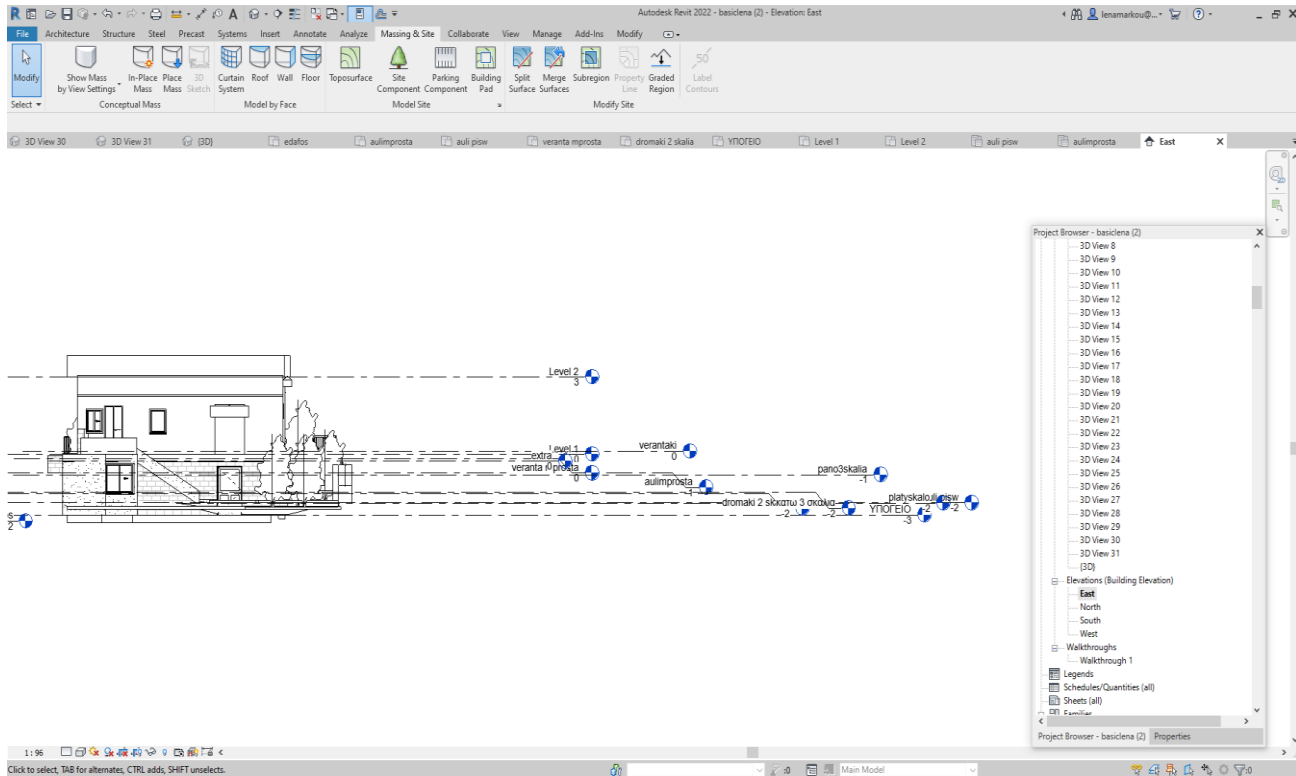


Εικόνα 17:Νοτιοδυτικη πλευρά του κτιρίου



Εικόνα 18:Βορειοδυτική πλευρά του κτιρίου

Συμπληρωματικά, ενώ αρχικά για να φτιαχτεί το κτίσμα δημιουργήθηκαν 3 levels, όταν χρειάστηκε να διαμορφωθούν τα επίπεδα του οικοπέδου χρειάστηκε να δημιουργηθούν πολλά levels με σκοπό να αποτυπωθούν τα επίπεδα. Παρακάτω φαίνονται όλα τα levels.



Εικόνα 19: όψη του τρισδιάστατου μοντέλου

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ -ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει σκοπό να αναλύσει την χρήση του τρισδιάστατου σαρωτή και την διαδικασία μοντελοποίησης κτιριακής πληροφορίας.

Ολοκληρώνοντας την παρούσα εργασία μπορούμε να εντοπίσουμε τα πλεονεκτήματα της τρισδιάστατης μοντελοποίησης του κτιρίου αλλά και της αποτύπωσης με την χρήση laser scanner.

Τα οφέλη της αποτύπωσης με laser scanner έχουν να κάνουν με την ακρίβεια που είχαν οι μετρήσεις σε σχέση με τις κλασσικές μεθόδους αποτύπωσης . Το νέφος των σημείων είναι υψηλής ακρίβειας δεδομένα και μας εξασφαλίζουν μια φωτογραφική εικόνα του χώρου.

Ο χρόνος σάρωσης ο οποίος ήταν περίπου 3 λεπτά. Να επισημανθεί πως το laser scanner απαιτεί μόνο χονδροειδή κέντρωση άρα εξοικονομείται αρκετός χρόνος και για την προετοιμασία των μετρήσεων. Όπως επίσης οι διαστάσεις , το βάρος του τρισδιάστατου σαρωτή αλλά και η ασύρματη επικοινωνία με το ipad για την μεταφορά και την επεξεργασία δεδομένων το καθιστά εύχρηστο και ταχύτατο.

Έχοντας σαν δεδομένο το νέφος των σημείων δημιούργησα το BIM μοντέλο το οποίο επεξεργάστηκα με το λογισμικό Autodesk Revit. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα βασίζεται σε μια μεθοδολογία όπου γίνεται ο σχεδιασμός του μοντέλου βάση των families τα οποία υπάρχουν έτοιμα στο πρόγραμμα ,κάποια από αυτά τα τροποποίησα με βάση τα υλικά και τις διαστάσεις .

Η πρόταση που θα μπορούσε να γίνει μετά την συγκεκριμένη μελέτη είναι ο συγκεκριμένος σαρωτής να μπορεί να συνεργάζεται με περισσότερες εταιρείες κατασκευής συσκευών εξωτερικού ελέγχου (TABLET) γιατί συνεργάζεται μόνο με προϊόντα της Apple και Autodesk σε σχέση με το λογισμικό μοντελοποίησης.

Όπως επίσης μια πρόταση θα ήταν να δημιουργηθούν μοντέλα από διαφορετικού τύπου σαρωτές και να συγκριθούν τα τρισδιάστατα μοντέλα μεταξύ τους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Π.ΛΑΙΟΥ(2019) Αξιοποίηση ης τεχνολογίας Building Information Modeling BIM σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής ενός τεχνικού έργου. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Αρχιτεκτονική-Σχεδιασμός του Χώρου» στον τομέα Πολεοδομία Χωροταξία

Χ.ΜΠΑΚΑΡΑΤΣΑ(2017)Μοντελοποίηση κτιριακής πληροφορίας με 5D BIM προσομοίωση ενεργειακά αποδοτικού κατασκευαστικού έργου. Νομική Σχολή Διατμηματικό πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Δίκαιο και Μηχανική της Ενέργειας»

Παναγιωτίδου Νικολέτας, Architect Msc, BIM specialist, Founder at BIM Design Hub & breakwithanarchitect

Ε.ΑΣΒΟΣ (2019) 3D Μοντελοποίηση εσωτερικού κτιρίου με χρήση laser scanner. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Χ.ΒΟΥΡΕΞΑΚΗ Τρισδιάστατη αποτύπωση Ιερά Μονής Υπεραγίας Θεοτόκου Άτρου Κεφαλληνίας, ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ,ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ, ΤΜΗΜΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Δ.Λυκορόπουλος Σύγχρονες Γεωδαιτικές Μεθοδολογίες Αποτύπωσης και Ανάδειξης Μνημείων. Η Έννοια της πολιτιστικής Δραστηριότητας. ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ,ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ, ΤΜΗΜΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

www.metrica.gr

<https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLII-5-W2/1/2019/isprs-archives-XLII-5-W2-1-2019.pdf>