



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ & ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Διπλωματική Εργασία

**ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΤΙΡΙΑΚΗΣ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΣΑΡΩΤΗ ΛΕΙΖΕΡ ΤΥΠΟΥ
SLAM ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ BIM**

ΟΝΟΜΑ ΑΝΤΖΕΛΟ ΣΚΡΕΠΗ

A.M.: 19391090

Επιβλέπων

Αθανάσιος Ηλιοδρομίτης

Δρ. Αγρονόμος Τοπογράφος Μηχανικός

Ακαδημαϊκός Υπότροφος ΠΑ.Δ.Α.

Αιγάλεω, Οκτώβριος 2024



UNIVERSITY OF WEST ATTICA

FACULTY OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF SURVEYING & GEOINFORMATICS ENGINEERING

Diploma thesis

**MODELING AN EXISTING BUILDING CONSTRUCTION
USING SLAM-TYPE LASER SCANNER AND BIM
TECHNOLOGY**

SHKREPI ANXHELO

Registration Number:19391090

Supervisor

Athanasios Iliodromitis

Dr. Rural & Surveying Engineer

Egaleo, October2024



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ & ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΤΙΡΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΣΑΡΩΤΗ
ΛΕΙΖΕΡ ΤΥΠΟΥ SLAM ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ BIM**

(ΑΝΤΖΕΛΟ ΣΚΡΕΠΙ)

A.M.: 19391090

Η διπλωματική εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την κάτωθι τριμελή εξεταστική επιτροπή:

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ / ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΗΛΙΟΔΡΟΜΙΤΗΣ	Επιβλέπων Ακαδημαϊκός Υπότροφος ΠΑΔΑ	
ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΠΑΓΟΥΝΗΣ	Καθηγητής ΠΑΔΑ	
ΕΛΙΣΑΒΕΤ ΤΣΙΛΙΜΑΝΤΟΥ	Ακαδημαϊκή Υπότροφος ΠΑΔΑ	

Copyright ©, Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/Η κάτωθι υπογεγραμμένος/η ...ANTZELO ΣΚΡΕΠΙ., με αριθμό μητρώου ...19391090... φοιτητής/τρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής, **δηλώνω υπεύθυνα ότι:**

«Είμαι συγγραφέας αυτής της 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.»

Ο/Η Δηλών/ούσα

ANTZELO ΣΚΡΕΠΙ



(ΥΠΟΓΡΑΦΗ ΣΕ JPEG)

Ευχαριστίες

Μέσα από την περάτωση της διπλωματικής εργασίας μου, ολοκληρώνεται παράλληλα και η ακαδημαϊκή μου πορεία στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής (ΠΑ.Δ.Α.). Έπειτα από πέντε χρόνια γεμάτα αφοσίωση, σκληρή δουλειά, χαρών και λυπών, συνοδευόμενα με νέες γνωριμίες, μου δίνεται η ευκαιρία να ευχαριστήσω τα άτομα τα οποία ήταν μαζί μου σε όλο αυτό το ταξίδι και με την στήριξη τους με βοήθησαν να συνεχίσω να προσπαθώ και να ονειρεύομαι.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Αθανάσιο Ηλιοδρομίτη, ακαδημαϊκό υπότροφο του ΠΑ.Δ.Α., ο οποίος είναι ένας από τους βασικούς κρίκους στην πορεία μου στη σχολή, καθώς πέρα από το γεγονός ότι με βοήθησε κατά την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας, ήταν και ένας από τους καθηγητές που μου μετέδωσαν αρκετές γνώσεις στο αντικείμενο της τοπογραφίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Αλέξανδρο Καρδισά, όπου με αφορμή ουσιαστικά αυτόν, ξεκίνησε η ενασχόληση μου με την τεχνολογία του BIM. Με την εργασία μου σε δικό του έργο υλοποιήθηκε η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία.

Τέλος και πιο σημαντικό για εμένα είναι να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους δικούς μου ανθρώπους, μιας και χωρίς αυτούς δε θα είχε τίποτα νόημα. Αυτά τα άτομα είναι η οικογένεια μου - οι γονείς μου και η αδερφή μου, η Τζένη - και ο κολλητός φίλος, μου ο Άγγελος.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	IV
Περιεχόμενα	1
Περίληψη.....	3
Abstract	5
Σχήματα.....	6
Εικόνες.....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	9
Εισαγωγή στην τεχνική μοντελοποίησης κατασκευαστικών πληροφοριών (Building Information Modeling)	9
1.1 Η τεχνολογία του BIM.....	9
1.2 Χαρακτηριστικά της μοντελοποίησης μέσω BIM.....	10
1.2.1 Επίπεδα παραμετροποίησης.....	10
1.2.2 Επίπεδα ανάπτυξης της πληροφορίας.....	11
1.2.3 Εφαρμογές και εμπλεκόμενοι	13
1.2.4 Διαστάσεις	14
1.3 Πλεονεκτήματα BIM συγκριτικά με άλλες συμβατικές μεθόδους.....	17
1.4 Δυσκολίες εφαρμογής του BIM.....	18
1.5 Οι παρεμβάσεις του BIM κατά τη διάρκεια του έργου	18
1.5.1 Επίπεδα ωριμότητας	20
1.5.2 Παραδείγματα πραγματοποίησης έργων με τη βοήθεια BIM στην Ελλάδα .	22
1.5.3 Παραδείγματα πραγματοποίησης BIM στο εξωτερικό.....	24
1.5.4 Χαρακτηριστικές κατασκευές με χρήση BIM	25
1.6 Λογισμικά κατασκευής μοντέλων BIM.....	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	31
Ανάλυση λειτουργίας σαρωτών λέιζερ.....	31
2.1 Λειτουργία σαρωτών λέιζερ	31
2.2 Κατηγοριοποίηση σαρωτών.....	32
2.3 Κλάδοι άμεσα συνδεδεμένοι με τους σαρωτές.....	37
2.4 Επίγειοι σαρωτές λέιζερ.....	38
2.5 Σαρωτές λέιζερ τύπου Slam.....	39

2.6	Ακρίβειες και σφάλματα τρισδιάστατων σαρωτών λέιζερ.....	40
2.7	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα χρήσης τους.....	44
2.8	Σαρωτής laser LEICA RTC360	45
2.9	Σαρωτής laser NAvVis VLX	47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....		50
Γεωμετρική τεκμηρίωση υφιστάμενης κατασκευής με χρήση σαρωτών λέιζερ τεχνολογίας SLAM για παραγωγή μοντέλων BIM.....		50
3.1	Περιοχή της υπάρχουσας υφιστάμενης κατασκευής	50
3.2	Ανάλυση της υφιστάμενης κατασκευής	52
3.3	Γεωδαιτική μεθοδολογία γεωμετρικής τεκμηρίωσης κατασκευών....	55
3.4	Ίδρυση τρισδιάστατου γεωδαιτικού δικτύου και μεθοδολογία	56
3.4.1	Το εσωτερικό δίκτυο.....	58
3.5	Εξωτερικό δίκτυο	59
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....		60
Επεξεργασία σαρώσεων και μοντελοποίηση		60
4.1	Επεξεργασία παρατηρήσεων και νέφους σημείων	60
4.2	Εισαγωγή νέφους στο Revit.....	60
4.2.1	Δημιουργία επιπέδων	62
4.2.2	Ορατότητα νέφους σημείων.....	63
4.3	Μοντελοποίηση του κτιρίου	64
4.3.1	Κολώνες-Τοιχεία-Πλάκες.....	65
4.4	Εξαγωγή τελικού προϊόντος(τομές,όψεις,κατόψεις,3D)	68
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....		75
Συμπεράσματα - Προτάσεις		75
5.1	Συμπεράσματα	75
Βιβλιογραφία.....		77

Περίληψη

Η εξέλιξη της επιστήμης και κατ' επέκταση της τεχνολογίας έχει εξαπλωθεί ραγδαία σε όλους τους τομείς της ζωής και αυτό προφανώς είναι ολοφάνερο αν συγκρίνουμε τις προηγούμενες δεκαετίες με το σήμερα. Στον κατασκευαστικό τομέα όπου και ασχολούμαστε ως τοπογράφοι μηχανικοί, οι μηχανές και τα εργαλεία που έχουν εφευρεθεί έχουν διευκολύνει ιδιαίτερα τις εργασίες και τις μελέτες και τις έχουν καταστήσει πιο αξιόπιστες μέσα από τις ακρίβειες που προσφέρουν.

Μια τεχνολογία που έχει αρχίσει να διαδίδεται και να χρησιμοποιείται τα τελευταία χρόνια είναι αυτή της αποτύπωσης αντικειμένων όπως κτιρίων, μνημείων, δρόμων, σηράγγων, γεφυρών, κλπ. μέσω της χρήσης σαρωτή λέιζερ. Ως αποτέλεσμα εκτός από τα τυπικά αρχιτεκτονικά σχέδια (κατόψεις, όψεις, τομές), μπορεί να προκύψουν ακόμα και τρισδιάστατα μοντέλα. Τα μοντέλα αυτά μέσω της τεχνολογίας BIM αποδίδουν πολλές και διαφορετικές πληροφορίες σε σχέση με το αντικείμενο της αποτύπωσης. Ουσιαστικά η τεχνολογία BIM προσφέρει ψηφιοποιημένη πληροφορία αναφορικά με τα κατασκευαστικά στοιχεία του αντικείμενου αποτύπωσης, όπως διαστάσεις, υλικά κατασκευής, κόστη, τύπους αρχιτεκτονικών αντικειμένων κλπ.

Γενικότερα μέσα από ένα τρισδιάστατο μοντέλο μιας κατασκευής, οι μελετητές που αναλαμβάνουν το έργο καταφέρνουν να αναλύσουν καλύτερα τις ιδιαιτερότητες του χώρου και να προγραμματίσουν με μεγαλύτερη ευχέρεια τις ανερχόμενες εργασίες που θα γίνουν για να ανακαινισθεί ο χώρος. Επίσης μέσα από ένα τέτοιο μοντέλο, οι μηχανικοί και οι εργολάβοι μπορούν και αντιλαμβάνονται καλύτερα τις μελλοντικές διαφοροποιήσεις που θα γίνουν, μιας και αποκτούν μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα για τις εργασίες που θα γίνουν. Τέλος, ο αισθητά μειωμένος χρόνος αποτύπωσης ενός μεγάλου έργου με άλλες συμβατικές/παραδοσιακές μεθόδους, όπως ο γεωδαιτικός σταθμός αποτελεί καθοριστικό παράγοντα.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η παρουσίαση μιας ολοκληρωμένης μελέτης αποτύπωσης μιας υφιστάμενης κτιριακής οντότητας μέσω σύγχρονων τεχνολογιών και εργαλείων όπως είναι ένας σαρωτής λέιζερ τύπου SLAM με απώτερο σκοπό την παραγωγή αρχιτεκτονικών σχεδίων σε κλίμακα 1:50 και τρισδιάστατου μοντέλου σε κατάσταση BIM (Building Information Modeling).

Γενικότερα στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι η ανάλυση της τεχνολογία BIM και η επεξεργασία που πραγματοποιήθηκε, τόσο στο πεδίο όσο και στην απόδοση των σχεδίων για το κτίριο που μελετήθηκε.

Αναλυτικότερα η δομή της εργασίας έχει ως εξής: στο πρώτο κεφάλαιο εξηγείται η τεχνολογία του BIM, στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται η λειτουργία των σαρωτών Laser, στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται το κτίριο που αποτυπώθηκε σε συνδυασμό με την μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, στο τέταρτο κεφάλαιο αναπτύσσεται η διαδικασία δημιουργίας των σχεδίων στο λογισμικό του REVIT και στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα και οι προτάσεις που προκύπτουν με την περάτωση της εργασίας.

Λέξεις κλειδιά: σαρωτές Laser, τεχνολογία SLAM, BIM

Abstract

The evolution of science and, by extension, technology has rapidly spread across all fields of life, and this is evident when comparing previous decades to the present. In the construction sector, where we are involved as surveyor engineers, the machines and tools that have been invented have significantly facilitated work and studies, making them more reliable due to the precision they offer.

One technology that has started to spread and be utilized in recent years is that of capturing objects such as buildings, monuments, roads, tunnels, bridges, etc., through the use of laser scanners. As a result, in addition to the typical architectural plans (floor plans, elevations, sections), even three-dimensional models can be created. These models, through BIM technology, provide various and different information regarding the object being captured. Essentially, BIM technology offers digital information related to the construction elements of the object being documented, such as dimensions, construction materials, costs, types of architectural objects, etc.

Generally, through a three-dimensional model of a structure, the designers who undertake the project can better analyze the particularities of the space and plan upcoming work with greater ease to renovate the area. Additionally, with such a model, engineers and contractors can better understand the future modifications that will be made, as they gain a more comprehensive view of the work to be done. Finally, the significantly reduced time required to document a large project compared to other conventional/traditional methods, such as the total station, is a decisive factor.

Key words: Laser scanners, SLAM technology, BIM

Σχήματα

Σχήμα 1.1: Επίπεδα ανάπτυξης σχεδιασμού του BIM(https://catenda.com/glossary/level-of-development-lod/).....	12
Σχήμα 1.2: Οι διαστάσεις του BIM(https://www.qebimservices.com/blogs/bim-and-its-dimensions-3d-to-10d/).....	16
Σχήμα 1.3: Σχέδιο ανάδειξης ταξινομημένων επιπέδων ωριμότητας(https://www.archetype.gr/blog/arthro/building-information-modeling-bim-i-thesi-tis-elladas-sto-psifiako-topio-tou-mellontos)	22
Σχήμα 2.1: Ταξινόμηση κατηγοριών σαρωτών λέιζερ (Συμεωνίδης,2007) ...	32
Σχήμα 2.2: Αρχή λειτουργίας μέτρησης παλμού (Golubeva, 2022).....	34
Σχήμα 2.3: Αρχή μέτρησης διαφοράς φάσης (Golubeva, 2022)	35
Σχήμα 2.4: Αρχή λειτουργίας τριγωνισμού (Loprencipe, Moretti, 2018)	36

Εικόνες

Εικόνα 1.1: Μοντελοποίηση Κέντρου Πολιτισμού Ιδρύματος Σταύρος Νιάρχος	23
Εικόνα 1.2: Εργοτάξιο Riviera Tower Ελληνικό, Απρίλιος 2024	24
Εικόνα 1.3: Lakhta Center.....	25
Εικόνα 1.4: Tottenham Spur Stadium	26
Εικόνα 1.5: Τομή επιφάνειας της Γέφυρας Queensferry Crossing.....	27
Εικόνα 1.6: Περιβάλλον εργασίας του Revit (https://www.autodesk.com/products/revit/features)	28
Εικόνα 1.7: Απόσπασμα σχεδίου στο λογισμικό Archicad	28
Εικόνα 2.1: Σαρωτής επαφής(https://www.eurosupplies.com.gr/barcode-scanners-touchscreen-taggers/barcode-scanners/barcode-scanner-netum-nt-m2-2-4g-wireless-laser-0760354545175-76963/)	33
Εικόνα 2.2: Σαρωτής χειρός(https://www.topomarket.gr/el/3d-%CE%B1%CF%80%CE%BF%CF%84%CF%8D%CF%80%CF%89%CF%83%CE%B7/1055-omniasphere-janusexplore-handheld-mobile-laser-scanner.html)	37
Εικόνα 2.3: Σαρωτής τύπου terrestrial LEICA BLK 360 (https://www.noartechnologies.com/laserscanning/blk360)	39
Εικόνα 2.4: RTC 360 συνδεδεμένο με το λογισμικό του Leica Cyclon Register	45

Εικόνα 2.5: Χάρτογραφηση των στάσεων σάρωσης μέσω του λογισμικού Leica Cyclone Register εν ώρα πεδίου	46
Εικόνα 2.6: NavVis VLX.....	47
Εικόνα 2.7: Περιήγηση με το λέιζερ σκάνερ NavVis(https://www.treecomp.gr/navvis-vlx.html).....	48
Εικόνα 2.8: Χαρακτηριστικά NavVis VLX (https://www.aprella.com/wp-content/uploads/2021/12/NavVis-VLX-Data-Sheet-EN.pdf)	49
Εικόνα 3.1: Θέση του προς αποτύπωση κτιρίου.....	50
Εικόνα 3.2: Το κτίριο πριν την ανακαίνιση	51
Εικόνα 3.3: Το κτίριο το 2024	51
Εικόνα 3.4: Υφιστάμενη κατάσταση εσωτερικά του κτιρίου (1)	53
Εικόνα 3.5: Υφιστάμενη κατάσταση εσωτερικά του κτιρίου (2)	53
Εικόνα 3.6: Υφιστάμενη κατάσταση εσωτερικά του κτιρίου (3)	54
Εικόνα 3.7: Υφιστάμενη κατάσταση εσωτερικά του κτιρίου (4)	54
Εικόνα 3.8: Τρέχουσα κατάσταση εσωτερικά του κτιρίου (5).....	55
Εικόνα 3.9: Ο γεωδαιτικός σταθμός Topcon OS	56
Εικόνα 3.10: Ο δέκτης GNSS Topcon HYPER VR	56
Εικόνα 3.11: Παράδειγμα ειδικών στόχων (Fryskowska A.,2018)	58
Εικόνα 3.12: Τοποθέτηση και αρίθμηση των στόχων	58
Εικόνα 3.13: Η θέση και οι συντεταγμένες των σημείων που ιδρύθηκαν.....	59
Εικόνα 4.1: Εισαγωγή νέφους στο λογισμικό Revit	61
Εικόνα 4.2: Τοποθέτηση νέφους σημείων στο Revit.....	61
Εικόνα 4.3: Το κτίριο μέσα από το νέφος σημείων στο Revit.....	62
Εικόνα 4.4: Τομή του κτιρίου (1).....	63
Εικόνα 4.5: Τομή του κτιρίου (2).....	63
Εικόνα 4.6: Παράθυρο προσαρμογής εύρους ορατότητας του νέφους	64
Εικόνα 4.7: Τοποθέτηση της κάμερας στον χώρο στο περιβάλλον του Revit.....	65
Εικόνα 4.8: Άποψη από την κάμερα του Revit.....	65
Εικόνα 4.9: Διαστασιολόγηση υποστηλώματος	66
Εικόνα 4.10: Επιλογή υλικών απόδοσης.....	67
Εικόνα 4.11: Ρύθμιση πυκνοτήτων και ιδιοτήτων των υλικών	67
Εικόνα 4.12: Πορεία εργασιών και σύσταση υποστηλωμάτων	68
Εικόνα 4.13: Κάτοψη 1 ^{ου} ορόφου	69
Εικόνα 4.14: Κάτοψη 2ου ορόφου.....	69
Εικόνα 4.15: Κάτοψη 3ου ορόφου.....	70
Εικόνα 4.16: Κάτοψη 4ου ορόφου.....	70
Εικόνα 4.17: Κάτοψη 5ου ορόφου.....	71
Εικόνα 4.18: Κάτοψη 6ου ορόφου.....	71
Εικόνα 4.19: Κάτοψη 7ου ορόφου.....	72

Εικόνα 4.20: Κάτοψη δώματος	72
Εικόνα 4.21: Δυτική όψη κτιρίου.....	73
Εικόνα 4.22: Τομή Α-Α'.....	73
Εικόνα 4.23: Τρισδιάστατο μοντέλου του κτιρίου	74

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Εισαγωγή στην τεχνική μοντελοποίησης κατασκευαστικών πληροφοριών (Building Information Modeling)

1.1 Η τεχνολογία του BIM

Το μοντέλο δομικών πληροφοριών ή αλλιώς BIM (Building Information Modeling) αποτελεί μία καινοτόμο τεχνολογία απόδοσης δομικών πληροφοριών για πάσης φύσεως κατασκευές μέσα από την οποία διευκολύνεται και ελέγχεται η διαχείριση και η εξέλιξη ενός έργου. Η σύγχυση που υπάρχει σε γενικότερο πλαίσιο είναι το γεγονός ότι πολλοί έχουν αφομοιώσει τον όρο σαν κάποιο εργαλείο και πιο συγκεκριμένα λογισμικό, ενώ στην πραγματικότητα αποτελεί έναν ακόμη τρόπο δημιουργίας μιας μελέτης όπου σαν τελικό προϊόν παράγονται ψηφιακά μοντέλα χάρη στα οποία αντλούμε πληροφορίες που είναι αναγκαίες για την μακροζωία του έργου. Η συγκεκριμένη τεχνική έχει την δυνατότητα να παράγει τρισδιάστατα μοντέλα από δεδομένα που έχουν προκύψει κατά την αποτύπωση με σαρωτές λέιζερ παρέχοντας μεγάλη ακρίβεια και ταυτόχρονα ραδιομετρική πληροφορία υψηλής ανάλυσης.

Ο όρος BIM πρωτοεμφανίστηκε σε ένα άρθρο των G.A. Van Nederveen και F.P. Tolman το 1992. Ωστόσο οι έννοιες «Building Information Model» και «Building Information Modeling» έγιναν δημοφιλείς το 2002 όταν η εταιρία λογισμικού Autodesk δημοσίευσε το άρθρο με τίτλο «Building Information Modeling». Έπειτα ακολούθησαν και άλλες εταιρείες με παρόμοιες δημοσιεύσεις με αποτέλεσμα να φτάσουμε στο σήμερα όπου χιλιάδες μελετητικές εταιρείες και ελεύθεροι επαγγελματίες στον κόσμο ασχολούνται κατά κύριο λόγο με αυτό το κομμάτι και άλλοι τόσοι ασχολούνται με την εμβάθυνση του. [Van Nederveen and Tolman, Modeling Multiple Views on Buildings, 1992]

Η τεχνολογία αντιμετωπίζει όλα τα συστατικά μέρη μιας κατασκευής σαν ξεχωριστά «αντικείμενα» με μοναδικές ιδιότητες. Πιο συγκεκριμένα, τα «αντικείμενα» διαφέρουν, στα λογισμικά σχεδιασμού BIM, ανάλογα με το χρώμα τους, την γεωμετρία τους, τα υλικά κατασκευής τους, τους κατασκευαστές τους, ακόμα και στις πιστοποιήσεις τους. Όλα αυτά τα επιχειρήματα απαντούν και σε όσους έχουν την απορία αναφορικά με τις

διαφορές ενός μοντέλου BIM και ενός 3D CAD. Με άλλα λόγια αυτό που επιχειρεί να πετύχει το BIM είναι να αποτελέσει μια πρακτική μεθοδολογία λειτουργιών που θα οδηγεί σε ενημερωμένες αποφάσεις αντί να εστιάζει απλά στην παραγωγή τρισδιάστατων σχεδίων. Η πλήρης εφαρμογή του BIM περιλαμβάνει πληροφορίες και στοιχεία για όλη την κατασκευή καλύπτοντας όχι μόνο τα τεχνικά χαρακτηριστικά αλλά εξίσου τα μηχανολογικά. Σήμερα το BIM έχει τη δυνατότητα να επαναπροσδιορίσει τους κανόνες στον τομέα των κατασκευών μιας και αποτελεί τη μοναδική τεχνική στην οποία τα δεδομένα ενσωματώνονται με τέτοιον τρόπο και έχουν προοπτικές βελτίωσης μέσα από προδιαγραφές.

1.2 Χαρακτηριστικά της μοντελοποίησης μέσω BIM

Η συγκεκριμένη τεχνολογία έχει γνωρίσει ραγδαία άνοδο και εφαρμογή, ενώ πολυπλοκότητά της σχετίζεται άμεσα με το γεγονός ότι όλες αυτές οι πτυχές που διαθέτει συμπληρώνουν η μία την άλλη με αποτέλεσμα να εξαλείφουν την έννοια του λάθους και να καταφέρνουν να παίρνουν μέρος από την αρχή μέχρι και το πέρας του έργου. Το πιο αξιοσημείωτο χαρακτηριστικό της τεχνολογίας αυτής είναι η περίσσεια των αντικειμένων που καθορίζουν το τελικό προϊόν πιο ρεαλιστικό και πιο αξιόπιστο σε σχέση με τα άλλα λογισμικά. [Γκρέκας,2023]

1.2.1 Επίπεδα παραμετροποίησης

Ένα βασικό χαρακτηριστικό αυτών των συστημάτων είναι η δυνατότητα διαχωρισμού των αντικειμένων τους σε διαφορετικές «ομάδες». Πιο συγκεκριμένα, τα λογισμικά που χρησιμοποιούνται για αυτά τα μοντέλα διαθέτουν βάσεις δεδομένων οι οποίες περιέχονται από κλάσεις κτιριακών αντικειμένων που έχουν γεωμετρικές και περιγραφικές πληροφορίες σε σχέση με τις ιδιότητες τους και τα χαρακτηριστικά τους. Τα λογισμικά δίνουν τη δυνατότητα στο χρήστη να δημιουργήσει ο ίδιος μια κλάση, με τροποποιημένες τιμές και περιγραφές, άρρηκτα συνδεδεμένες με την αρχική, μέσα από συγκεκριμένες προδιαγραφές και παραμέτρους. Αυτή η δυνατότητα αποτελεί μεγάλο όφελος για το μηχανικό που αναλαμβάνει να σχεδιάσει ένα έργο μιας και ποτέ δεν υπάρχουν σταθερές περιπτώσεις στον κατασκευαστικό τομέα και πάντα ο μηχανικός οφείλει να δημιουργήσει μία νέα ιδέα. [Λέκκας,2023]

1.2.2 Επίπεδα ανάπτυξης της πληροφορίας

Τα επίπεδα πληροφορίας στο BIM αποτελούν ένα σύστημα οργάνωσης πληροφοριών για κτιριακά έργα και αποτελούν άμεσα κριτήρια για τον καθορισμό της ακρίβειας και της αξιοπιστίας των λεπτομερειών. Κάθε επίπεδο παρέχει διαφορετικό βαθμό λεπτομέρειας και πληροφοριών σχετικά με το κτίριο και τα στοιχεία του. Τα επίπεδα σύμφωνα με τον οργανισμό AIA (AIA-G202-2013) έχουν την ακόλουθη διάταξη:

LOD100: Αυτό το επίπεδο περιλαμβάνει την πιο στοιχειώδη γεωμετρική αναπαράσταση των στοιχείων ενός κτιρίου ή ενός έργου, χωρίς να περιέχει λεπτομέρειες σχετικά με τα υλικά, τις διαστάσεις ή άλλες τεχνικές πληροφορίες. Στο επίπεδο αυτό τα στοιχεία παρουσιάζονται με σχετικά χαμηλή ανάλυση συχνά ως απλές γεωμετρικές μορφές, όπως κύβοι, κύλινδροι ή πρίσματα, προκειμένου να δείξουν μόνο τη θέση και τον όγκο των αντικειμένων ενώ οι διαστάσεις δεν αντικατοπτρίζονται με ακρίβεια. Επιπλέον το LOD100 δεν εμφανίζει λεπτομέρειες αναφορικά με τα υλικά τις αντοχές και τις υφές των αντικειμένων.

LOD200: Το LOD200 αν και με χαμηλή ανάλυση περιέχει παραπάνω λεπτομέρεια σε σχέση με το προηγούμενο επίπεδο και σε γεωμετρική πληροφορία και στις διαστάσεις. Επίσης σε αυτό το επίπεδο παρουσιάζονται κανονικά λεπτομέρειες όπως υλικά αντοχές υφές κ.λπ. Τέλος για το LOD200 υπάρχουν και κάποια παραπάνω πλεονεκτήματα όπως το γεγονός ότι τα μοντέλα παρουσιάζονται εικονικά δίνοντας έτσι στον χρήστη μια πιο ρεαλιστική κατανόηση του έργου και επιπροσθέτως διατίθενται παραπάνω επιλογές για την απεικόνιση των επιφανειών.

LOD300: Στο LOD300 ως πιο προηγμένο μοντέλο περιέχονται πιο ακριβείς πληροφορίες αναφορικά με την γεωμετρία και τα υλικά. Παρόλο αυτά οι διαφορές σε σχέση με τα άλλα δύο είναι περισσότερες μιας και στο συγκεκριμένο επίπεδο συμπεριλαμβάνονται ειδικά στοιχεία και λεπτομέρειες που αφορούν συγκεκριμένα μέρη του κτιρίου, όπως στις συνδέσεις και τα διακοσμητικά στοιχεία, περιλαμβάνονται πληροφορίες σχετικά με τις εγκαταστάσεις και τα συστήματα που εγκαθίστανται στο κτίριο όπως τα πρόσθετα και τις σωληνώσεις.

LOD350: Πρόκειται για μια αναβάθμιση του προηγούμενου επιπέδου που αποσκοπεί στην διευκόλυνση-προετοιμασία του έργου. Ουσιαστικά μας

πληροφορεί για κατασκευαστικές διαδικασίες όπως λεπτομέρειες σχετικά με τον τρόπο κατασκευής, την τοποθέτηση των υλικών, τα εργαλεία που θα χρειαστούν και διάφορες διαδικασίες ελέγχου ποιότητας και ασφάλειας.

LOD400: Σε αυτό το επίπεδο, το μοντέλο περιλαμβάνει όλες τις λεπτομέρειες που απαιτούνται για την κατασκευή, συμπεριλαμβανομένων αναλυτικών σχεδίων και προδιαγραφών. Για την ακρίβεια αυτό που κάνει μοναδικό το LOD400 σε σχέση με τα προηγούμενα είναι ότι στο συγκεκριμένο υπάρχει η ενσωμάτωση όλων των συστημάτων και των εγκαταστάσεων που απαιτούνται για τη λειτουργία του κτιρίου, όπως ηλεκτρικά, υδραυλικά, κλιματισμός κλπ. Εν κατακλείδι μας προσφέρει μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα του έργου τόσο για την κατασκευή όσο και για την εκτέλεση.

LOD500: Το πιο εξελιγμένο επίπεδο είναι το LOD500 αφού έχει την δυνατότητα να μας δώσει πληροφορίες σχετικά με όλο τον κύκλο της ζωής του έργου. Η μοναδικότητα του στηρίζεται στο γεγονός ότι μας παρέχει διαρκής ενημερώσεις για την κατάσταση του έργου και γενικότερα για την συντήρηση του σε όλους τους τομείς της κατασκευής. Είναι δηλαδή μια βάση δεδομένων που συνεχώς ανανεώνεται ανάλογα της ζωής του έργου. [<https://architectis.it/onewebmedia/AIA%C2%AE%20Document%20G202TM%20%E2%80%93%202013.pdf>]



Σχήμα 1.1: Επίπεδα ανάπτυξης σχεδιασμού του BIM (<https://catenda.com/glossary/level-of-development-lod/>)

Η ύπαρξη των LOD είναι πολύ σημαντική ως προς την τεχνολογία του BIM. Τα LOD έχουν βασικό ρόλο αφού σε παράλληλο χρόνο συντονίζουν το έργο μειώνοντας κόστος και παρεξηγήσεις ενώ ταυτόχρονα ενημερώνονται έχοντας περιθώρια για βελτίωση.

1.2.3 Εφαρμογές και εμπλεκόμενοι

Η τεχνολογία του BIM έχει μεγάλο εύρος εφαρμογών μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μεγάλο πλήθος εφαρμογών από την αρχή έως και το τέλος οποιουδήποτε τεχνικού έργου. Πιο αναλυτικά, ορισμένοι βασικοί εμπλεκόμενοι είναι μηχανικοί όλων των ειδικοτήτων, όπως αρχιτέκτονες, πολιτικοί μηχανικοί, τοπογράφοι μηχανικοί κ.α. Σύμφωνα με τον Succar οι εμπλεκόμενοι μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με την χρήση τους σε τρεις συγκεκριμένες ομάδες οι οποίες είναι άμεσα εξαρτώμενες η μία με την άλλη. [Succar, BIM FIELDS, 2009]

Πρώτη κατηγορία είναι η BIM policy field ή αλλιώς το πεδίο πολιτικής του BIM. Η κατηγορία αυτή αναφέρεται στο πεδίο που αφορά τις πολιτικές και τους κανονισμούς που αφορούν στη χρήση, την εφαρμογή και την ανάπτυξη της τεχνολογίας BIM σε μια χώρα. Η κύρια αρμοδιότητα τους είναι ο καθόρισμος της στρατηγικής που αφορά την εφαρμογή του BIM, καθώς και τα πρότυπα που πρέπει να ακολουθούνται για να επιτευχθούν αυτοί οι στόχοι. Το πεδίο πολιτικής BIM μπορεί να περιλαμβάνει θέματα όπως η εκπαίδευση και η ενημέρωση του προσωπικού, η προμήθεια λογισμικού και εργαλείων BIM, η διαχείριση δεδομένων και η ανάπτυξη προτύπων εργασίας. Επιπλέον, το πεδίο πολιτικής BIM μπορεί να περιλαμβάνει την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της εφαρμογής του BIM και την προώθηση της βελτίωσης και της εξέλιξής του.

Δεύτερη είναι αυτή του BIM process field δηλαδή το πεδίο επεξεργασίας του BIM . Αυτό το πεδίο περιλαμβάνει την ανάπτυξη και την υλοποίηση διαδικασιών που επιτρέπουν την αποτελεσματική χρήση του BIM σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής ενός κτιρίου, από την αρχική σχεδίαση έως την κατασκευή, τη λειτουργία και τη συντήρηση. Οι διαδικασίες BIM μπορεί να περιλαμβάνουν την ανάπτυξη προτύπων εργασίας, την εκπαίδευση του προσωπικού, τη διαχείριση δεδομένων και τη συνεργασία μεταξύ διαφορετικών εμπλεκόμενων στο έργο. Μια πιο απλή προσέγγιση για να χαρακτηριστεί αυτό το πεδίο είναι ότι επιδιώκει την βελτιστοποίηση της απόδοσης και συνάμα της ποιότητας.

Τελευταία κατηγορία είναι αυτή του BIM technology field δηλαδή το πεδίο του BIM που ασχολείται με τις τεχνολογίες και τα μέσα που διαμεσολαβούν για την διαχείριση του BIM. Το πεδίο αυτό εστιάζει κατά κύριο λόγο στο λογισμικό δηλαδή τα προγράμματα σχεδίασης και μοντελοποίησης δίνοντας μεγάλη βάση σε όλες τις πλατφόρμες και εξίσου στον τομέα της οπτικοποίησης μέσω της επαυξημένης και εικονικής πραγματικότητας.

1.2.4 Διαστάσεις

Οι διαστάσεις του BIM αναφέρονται στα διάφορα επίπεδα πληροφοριών που εμπεριέχονται σε ένα μοντέλο BIM. Το κάθε επίπεδο προσθέτει περισσότερες λεπτομέρειες στη μοντελοποίηση, καθιστώντας το μοντέλο πιο χρήσιμο σε διαφορετικές φάσεις του κτιρίου. Το BIM είναι κατά βάση ένα εργαλείο διαχείρισης πληροφοριών για κτίρια, και οι διαστάσεις του αντιπροσωπεύουν τα διάφορα επίπεδα πληροφοριών που μπορούν να περιληφθούν σε ένα τέτοιο μοντέλο. Αρχικά, εστιάζαμε στα υλικά κατασκευής, αλλά τώρα το BIM μπορεί να διαχειριστεί και άλλες πτυχές όπως το πρόγραμμα, το κόστος, και οι λειτουργίες, παρέχοντας ένα πλήρες εικονικό μοντέλο του κτιρίου και της διαδικασίας κατασκευής. Έτσι το BIM διαθέτει δέκα διαστάσεις μέσω των οποίων επεξεργάζεται και διαμορφώνει πληροφορίες.

3D: 3D είναι η βασική και πιο κοινή χρήση του BIM και αντιπροσωπεύει τη βασική δομή ενός κτιρίου. Για του λόγου το αληθές αποτελεί την πιο εξελιγμένη έκδοση του 2D σχεδίου ενώ τα σχέδια αποτελούνται από έναν άξονα X και έναν άξονα Y, το 3D BIM προσθέτει μια ακόμη διάσταση τον άξονα Z. Βασικά το 3D BIM επιτρέπει την δημιουργία και την οπτικοποίηση του σχεδιασμού του κτιρίου περιλαμβάνοντας τη γεωμετρία της δομής, όπως τοίχους, δάπεδα, οροφές και άλλα αρχιτεκτονικά στοιχεία, καθώς και διάφορα υλικά και φινιρίσματα. Επιπλέον το μοντέλο βρίσκεται σε ένα κοινό περιβάλλον δεδομένων (CDE), επιτρέποντας στις ομάδες να συνεργάζονται στο cloud και να εργάζονται στο έργο χρησιμοποιώντας ενημερωμένες πληροφορίες. Μία από τις καλύτερες χρήσεις του 3D BIM είναι ο ρόλος του στην ανίχνευση σύγκρουσης δηλαδή αντί να ελέγχουν χειροκίνητα τα σχέδια για συγκρούσεις στον σχεδιασμό, οι ομάδες μπορούν να εφαρμόσουν την ανίχνευση σύγκρουσης BIM για να αναγνωρίσουν και να επιλύσουν αυτόματα πιθανές συγκρούσεις στον σχεδιασμό, εξοικονομώντας έτσι χρόνο και χρήματα κατά την προετοιμασία του έργου.

4D: Το 4D μοντέλο ουσιαστικά θεωρείται μια εξέλιξη του 3D μοντέλου διαθέτοντας τέταρτη διάσταση αυτή του χρόνου. Ο ορισμός της τέταρτης αυτής διάστασης του χρόνου μας δίνει πληροφορίες για όλο τον κύκλο ζωής του έργου και οι χρήστες του έχουν την δυνατότητα να διαχειριστούν εικονικά χρονοδιαγράμματα σχετικά με την λειτουργία του έργου. Μέσα από τον χρονικό εντοπισμό των σταδίων της κατασκευής οι εμπλεκόμενοι (εργολάβοι,

μηχανικοί κ.λ.π) μπορούν και αντιμετωπίζουν πιθανά προβλήματα και να οργανώνουν την εργασία μεταξύ τους με καλύτερο τρόπο.

5D: Η πέμπτη διάσταση συνδυάζει την τρίτη και την τέταρτη διάσταση επεκτείνοντας το μοντέλο στο επίπεδο του κόστους του έργου. Τα δεδομένα που διαχειρίζονται στο 5D περιλαμβάνουν το κόστος των υλικών, την εργατική αμοιβή, τα ενοίκια εξοπλισμού, τα έξοδα λειτουργίας και συντήρησης . Αυτές οι πληροφορίες επιτρέπουν στις ομάδες να προγραμματίζουν και να παρακολουθούν το κόστος του έργου με μεγαλύτερη ακρίβεια και αποτελεσματικότητα περιλαμβάνουν το κόστος των υλικών, την εργατική αμοιβή, τις ενοίκια εξοπλισμού, τα έξοδα λειτουργίας και συντήρησης . Αυτές οι πληροφορίες επιτρέπουν στις ομάδες να προγραμματίζουν και να παρακολουθούν το κόστος του έργου με μεγαλύτερη ακρίβεια και αποτελεσματικότητα και μηδενίζουν τις πιθανότητες να ξεφύγει ένα έργο από τον προϋπολογισμό τους.

6D: Το BIM πέρα από το γεγονός ότι μπορεί και προβλέπει μελέτες χρόνου και κόστους αναλύει επίσης το έργο ως προς την βιωσιμότητα. .Μέσα λοιπόν από το μοντέλο βιωσιμότητας οι χρήστες έχουν την ικανότητα να αξιολογούν τις αποφάσεις τους έχοντας σαν βάση την περιβαλλοντική αειφορία , την ενεργειακή απόδοση σε συνάρτηση με τις οικονομικές επιπτώσεις σε βάθος χρόνου. Για την εκτίμηση αυτών των αποφάσεων η διάσταση αυτή εκτιμά παραμέτρους όπως την χρήση νερού, τα υλικά κατασκευής και τις διαδικασίες κατασκευής.

7D: Η έβδομη διάσταση αφορά με αγγλικούς όρους το facility managment δηλαδή την διαχείριση και συντήρηση των εγκαταστάσεων του εργοταξίου γενικότερα. Η πρόληψη είναι το κύριο μέλημα αυτού του επιπέδου και το επιτυγχάνει δίνοντας την επιλογή στους ανάδοχους του έργου να καταγράφουν στοιχεία όπως ο εξοπλισμός και άλλες τεχνικές προδιαγραφές με αποτέλεσμα την μείωση του κόστους και την καλύτερη δυνατή λειτουργία του εργοταξίου.

8D: Όγδοη και αρκετά σημαντική είναι η διάσταση που αφορά την ασφάλεια του εργοταξίου εστιάζοντας στην αποφυγή οποιουδήποτε σοβαρού ατυχήματος. Η ευημερία του έργου στοχεύει πρωταρχικά σε εργασία με σωστές συνθήκες προασπίζοντας την υγεία των εργαζομένων .Το BIM το καταφέρνει αυτό αναγνωρίζοντας τους πιθανούς κινδύνους και εν συνεχεία λαμβάνοντας μέτρα για την πρόληψη τους όπως τοποθέτηση σημάνσεων-πινακίδων ελέγχοντας των εξοπλισμό σύμφωνα με προδιαγραφές μέχρι και δημιουργώντας προσωρινές κατασκευές .

9D: Η ένατη διάσταση προτείνεται για ελαφριές κατασκευές και στόχος της είναι η μεγιστοποίηση της απόδοσης του έργου.Κύριο χαρακτηριστικό της είναι η ψηφιοποίηση που γίνεται με απώτερο σκοπό την διαχείριση των πόρων και την εξάλειψη των αποβλήτων.

10D: Το τελευταίο επίπεδο μπορεί να θεωρηθεί μια κατηγορία από μόνη του σε σύγκριση με τα εννέα αφού η εφαρμογή του αφορά κυρίως βιομηχανικές εγκαταστάσεις θέτοντας ως πρωταρχικό στόχο την αύξηση της παραγωγικότητας με ταυτόχρονη μείωση του κόστους. Ένα άλλο μέρος της υποστηρίζει ότι η χρήση του συνδέεται με την ενσωμάτωση σχεδίων διαχείρισης καταστροφών και εκτάκτων αναγκών.



Σχήμα 1.2: Οι διαστάσεις του BIM(<https://www.qebimservices.com/blogs/bim-and-its-dimensions-3d-to-10d/>)

1.3 Πλεονεκτήματα BIM συγκριτικά με άλλες συμβατικές μεθόδους

Τα οφέλη της χρήσης του BIM αφορούν πολλούς τομείς και παράλληλα διαφορετικούς φορείς και μπορούμε να πούμε ότι αποτελούν μεγάλο βήμα στον κατασκευαστικό κλάδο διευκολύνοντας σε μεγάλο βαθμό την διαχείριση του. Όπως έχουμε προαναφέρει το BIM βρίσκεται στο έργο σε όλες τις φάσεις του από την μελέτη σκοπιμότητας έως και το πέρας της κατασκευής έχοντας την ευθύνη της συντήρησης. Το BIM μέσα από το τρισδιάστατο μοντέλο που δημιουργείται μας παρέχει αξιόπιστη ακρίβεια και ποιότητα αποφεύγοντας έτσι τις λανθασμένες εκτιμήσεις και αστοχίες σε ένα έργο. Μέσω αυτών των σχεδίων οι μηχανικοί και οι εργολάβοι καταφέρνουν να βελτιώνουν την αποδοτικότητα τους αφού τους δίνεται η δυνατότητα να συνδυάζουν τις εργασίες και να αυτοματοποιούν άλλες σε ίδιο χρόνο. Ένα εξίσου σημαντικό όφελος του BIM που ένα CAD μοντέλο σίγουρα δεν μπορεί να προσφέρει είναι η διαχείριση του χρόνου και του κόστους. Το BIM μέσα από τις διαστάσεις του χτίζει χρονοδιαγράμματα σχετικά με εργασίες και μελέτες που γίνονται οργανώνοντας έτσι ένα πιο συντονισμένο πρόγραμμα και σίγουρα πιο γρήγορο. Ο χρόνος όμως παίζει σημαντικό ρόλο και στο κόστος που προκύπτει στο τέλος και αν λάβουμε υπόψη μας ότι εκτιμούνται και δαπάνες σχετικά με υλικά και μισθούς τότε το θετικό πρόσημο αυξάνεται. Το μοντέλο δομικών πληροφοριών πέρα αυτών των δυνατοτήτων αυτών θέτει τον πήχη υψηλότερα προάγοντας τον τομέα της βιωσιμότητας και της αειφορίας μέσω των υλικών και γενικότερα των τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται πράγμα που είναι αξιοσημείωτο στην εποχή μας και σίγουρα πολύ θετικό. Άλλοι τομείς γύρω από τους οποίους το BIM καινοτομεί είναι η ασφάλεια που παρέχει και ανανεώνει διαρκώς βάζοντας παραμέτρους προδιαγραφών και κανονισμών για εξοπλισμούς και μέτρα προστασίας.

Πέραν όμως από τα χαρακτηριστικά του έργου πάνω στα οποία το BIM επιδρά θετικά υπάρχει και ο παράγοντας των εμπλεκόμενων. Η δράση του BIM βοηθάει στον συντονισμό των εργασιών μέσα από τα διάφορα σχέδια που υπάρχουν για όλους του εμπλεκόμενους του έργου ανάλογα με την ειδικότητα. Ουσιαστικά μειώνεται η πιθανότητα ασυνεννοησίας μεταξύ τους αφού ο μόνος μεσάζοντας που αποτελεί συνδετικό κρίκο για όλους είναι τα μοντέλα του BIM. Τέλος μέσα από την συγχρονισμένη συνεργασία των χρηστών με κοινό παρονομαστή τα σχέδια του BIM λιγοστεύουν τα ενδεχόμενα λάθη μιας και τα σχέδια ελέγχονται από περισσότερα από ένα άτομα.

Όλα αυτά τα πλεονεκτήματα του BIM δεν μπορεί να τα προσφέρει καμία άλλη συμβατική μέθοδος μόνη της και το πιο πιθανό να μην μπορούν να

συνδυαστούν ούτε μεταξύ τους για να έρθει αυτό το αποτέλεσμα. Οι διαστάσεις του BIM σίγουρα δεν μπορούν να ανταγωνιστούν από κανένα άλλο μοντέλο αυτό όμως που είναι πιο εντυπωσιακό είναι ότι το BIM πλέον προσφέρει εξίσου ιδιαίτερα υψηλές προσδοκίες από τους χρήστες της και στο κομμάτι της ακρίβειας των μετρήσεων συγκριτικά με τις υπόλοιπες μεθόδους.

1.4 Δυσκολίες εφαρμογής του BIM

Η λήψη ενός έργου αξιοποιώντας το μοντέλο BIM κρύβει και κάποιες δυσκολίες ως προς την εφαρμογή που αξίζει να αναφερθούν. Μία βασική αδυναμία αυτών των εργασιών είναι ότι προϋποθέτουν έναν αρκετά μεγάλο προϋπολογισμό για την αγορά του κατάλληλου εξοπλισμού που θα χρησιμοποιηθεί εντός και εκτός πεδίου όπως σαρωτές λέιζερ (laser scanner), γεωδαιτικοί σταθμοί (total station), υπολογιστές με υψηλές προδιαγραφές και λογισμικά κατάλληλα για την επεξεργασία των νεφών σημείων (point clouds) και την απόδοση των σχεδίων. Μάλιστα η έννοια των υπολογιστών με υψηλές προδιαγραφές έχει ιδιαίτερη σημασία μιας και η διαχείριση του όγκου των δεδομένων για τέτοια λογισμικά μπορεί να είναι προβληματική αν δεν υπάρχουν οι κατάλληλες μνήμες και δεν ενημερώνονται τακτικά.

Επιπλέον οι χρήστες να είναι εξοικειωμένοι με μοντέλα τύπου BIM τόσο στο πεδίο όσο και στο γραφείο αφού οι πλατφόρμες του θεωρούνται πολύ εξελιγμένες παρά το φιλικό περιβάλλον.

Τέλος ένα πρόβλημα το οποίο δεν είναι αξεπέραστο, είναι ότι σε ένα εργοτάξιο δεν μπορούν να υπολογιστούν όλες οι παράμετροι με αποτέλεσμα να απαιτούνται πολύ τακτικά διορθώσεις και αναπροσαρμογές, οι οποίες μπορεί να είναι χρονοβόρες.

1.5 Οι παρεμβάσεις του BIM κατά τη διάρκεια του έργου

Οι παρεμβάσεις του BIM είναι διαφορετικές ανάλογα το εργοτάξιο που αναλύει και τη φάση την οποία επεξεργάζεται. Ένα έργο σύμφωνα με τον Arayici (2015) έχει τρία στάδια μέσα από τα οποία ένας μηχανικός διερευνά και επομένως και το BIM.

Αυτά είναι η Φάση Σχεδιασμού, Φάση Κατασκευής και η Φάση Λειτουργίας.

Η Φάση Σχεδιασμού είναι το πρώτο στάδιο που αφορά την υλοποίηση ενός έργου. Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης, οι σχεδιαστές, οι μηχανικοί και άλλοι εμπλεκόμενοι εργάζονται για να αναπτύξουν τα αρχικά σχέδια και τα σχέδια προδιαγραφών για το έργο. Αυτό περιλαμβάνει τη συλλογή των απαιτήσεων, τον σχεδιασμό της δομής και των λειτουργιών του έργου, και τη δημιουργία αρχικών σχεδίων και μοντέλων. Η φάση σχεδιασμού είναι κρίσιμη για την επιτυχή υλοποίηση του έργου, καθώς ορίζει τις βασικές παραμέτρους και τα χαρακτηριστικά που θα καθορίσουν την πορεία του έργου σε μετέπειτα στάδια.

Η Φάση Κατασκευής αναφέρεται στο στάδιο ενός έργου όπου οι μηχανικοί οι εργάτες και οι άλλοι εργαζόμενοι πραγματοποιούν την πραγματική κατασκευή του έργου με βάση τα σχέδια και τις προδιαγραφές που αναπτύχθηκαν στη φάση σχεδιασμού. Σε αυτό το στάδιο οι εργολάβοι χτίζουν το έργο κατασκευής σύμφωνα με το πρόγραμμα και τον προϋπολογισμό που έχει. Αυτή η φάση περιλαμβάνει την επιλογή υλικών, την ανέγερση δομών, την εγκατάσταση συστημάτων και την εφαρμογή άλλων στοιχείων που απαιτούνται για την ολοκλήρωση του έργου. Το έργο προφανώς παρακολουθείται προσεκτικά για να εξασφαλιστεί η συμμόρφωση με τις προδιαγραφές και την ασφάλεια των εργαζομένων.

Η Φάση Λειτουργίας είναι το τελευταίο στάδιο υλοποίησης του έργου και ουσιαστικά συμβολίζει την ολοκλήρωση της κατασκευής ενός έργου όταν το κτίριο ή η υποδομή τίθεται σε λειτουργία και χρησιμοποιείται. Στην φάση λειτουργίας το κτίριο πρέπει να παρέχει τις αναγκαίες υπηρεσίες και περιβαλλοντικές συνθήκες για την εκτέλεση των εργασιών ή δραστηριοτήτων για τις οποίες έχει σχεδιαστεί ή με άλλα λόγια να είναι απόλυτα λειτουργικό. Σε αυτήν τη φάση μπορεί να πραγματοποιούνται συντηρήσεις, επισκευές και αναβαθμίσεις για τη διασφάλιση της αποτελεσματικής λειτουργίας και της διάρκειας ζωής του κτιρίου. Επιπλέον, η φάση λειτουργίας συχνά περιλαμβάνει τη διαχείριση των ενεργειακών και λειτουργικών συστημάτων του κτιρίου, καθώς και την παροχή υποστήριξης και εξυπηρέτησης των χρηστών.

Μέσα σε αυτά τα τρία στάδια το BIM επεμβαίνει άμεσα με βασικό «κλειδί» την τρισδιάστατη μοντελοποίηση. Ας αναφέρουμε ορισμένες βασικές παρεμβάσεις του πάνω στο έργο:

-Στατικές μελέτες: Το BIM μπορεί να συνεισφέρει στην απόδοση δομικής πληροφορίας περιλαμβάνοντας όλες τις τεχνικές οδηγίες για την ασφαλή

κατασκευή του έργου τα οποία ελέγχονται από στατικούς μηχανικούς για την αξιοπιστία τους αλλά και για την υπακοή τους στους κανονισμούς της κάθε χώρας.

-Αρχιτεκτονικά σχέδια: Κατόψεις όψεις και τομές με δυνατότητες εμφάνισης μέσω οπτικοποίησης σε εικονικά σχέδια με την βοήθεια των οποίων γίνεται πιο κατανοητό το έργο σε μηχανικούς, εργολάβους και συνεργεία.

-Ενεργειακές μελέτες: Το BIM θεωρείται μία πρωτοπόρα ιδέα στον κλάδο λόγω των βιώσιμων λύσεων που προσφέρει μέσα από ένα σύνολο ερευνών και δοκιμών με απώτερο στόχο την υποβολή προτάσεων για ένα πλήρως ενεργειακά αναβαθμισμένο έργο.

- Εκτιμήσεις κόστους και χρόνου: Τα λογισμικά που αντιπροσωπεύουν την τεχνολογία μπορούν και κατασκευάζουν διαγράμματα κοστολογικά που διαμορφώνονται έπειτα από συγχώνευση εκτίμησης υλικών και εργασίας και χρονοδιαγράμματα τα οποία ταξινομούν την σειρά των εργασιών από την αρχή μέχρι και το τέλος του έργου.

-Συστήματα συντήρησης: Άλλη εφαρμογή των λογισμικών είναι η δυνατότητα ανίχνευσης πιθανών προβλημάτων της υποδομής και κατ' επέκταση η ευχέρεια της να δίνει λύσεις για την επίλυση ή αλλιώς ανακαίνιση τους.

-Σχέδια εκκένωσης: Η όγδοη διάσταση του BIM που αφορά την προάσπιση της ασφάλειας και της υγείας των εργαζομένων της θεμελιώνει την παρούσα σκέψη μιας και με την βοήθεια τους διαμορφώνονται οι κατάλληλες προσομοιώσεις για περιπτώσεις κινδύνου.

1.5.1 Επίπεδα ωριμότητας

Το BIM αποτελεί μία εξειδικευμένη τεχνική που στοχεύει στην διευκόλυνση της μελέτης, διαχείρισης και λειτουργίας ενός έργου . Πολλοί όμως αγνοούν το γεγονός ότι το μοντέλο αυτό είναι αρκετά σύνθετο ως προς την κατασκευή του. Την δουλειά της ταξινόμησης λοιπόν αναλαμβάνουν να διαμορφώσουν τα επίπεδα ωριμότητας του τα οποία συμβολίζουν την δυσκολία διαχείρισης ανά κατηγορίες αναλογικά των χαρακτηριστικών τους. Ως βασικά χαρακτηριστικά των επιπέδων ωριμότητας νοούνται η συνεργασία μεταξύ των εμπλεκόμενων μέσω των ανταλλαγών απόψεων και πληροφοριών οι οποίες αποτελούν επιπλέον χαρακτηριστικό αφού με την σωστή λειτουργία

τους επιτυγχάνεται η απαραίτητη ψηφιοποίηση ,και τέλος η ενσωμάτωση τους η οποία γίνεται σε όλη την διάρκεια του έργου. Το σύνολο των επιπέδων ωριμότητας είναι τέσσερα και το κάθε ένα απαρτίζεται από δικές του ιδιότητες. [Γκρέκας 2023]

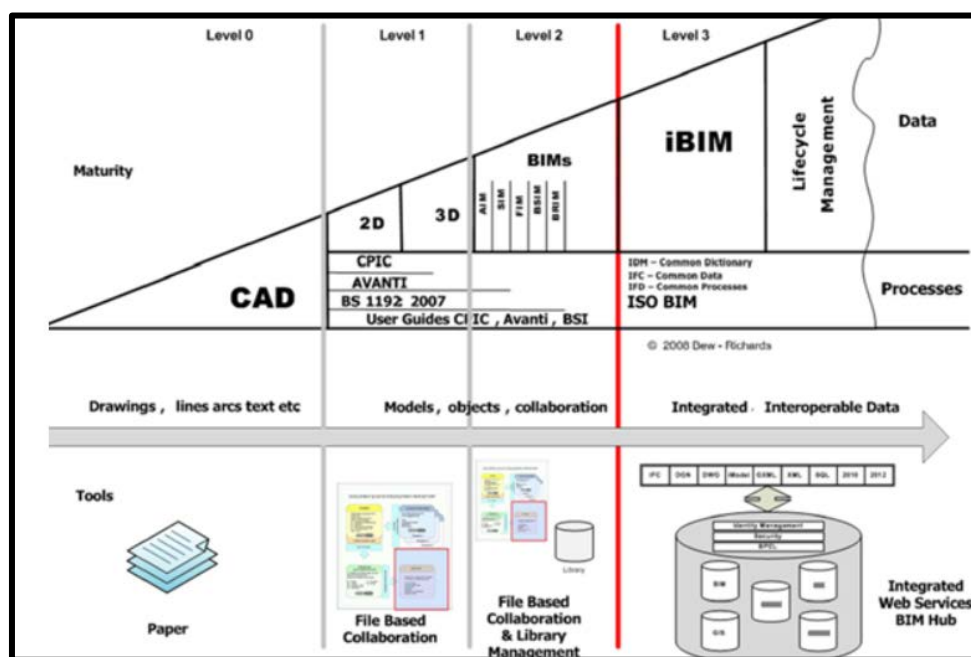
Επίπεδο 0: Το επίπεδο 0 είναι το επίπεδο ωριμότητας πάνω στο οποίο η ενέργειες της τεχνολογίας του BIM είναι απειροελάχιστες έως και μηδαμινές. Το επίπεδο 0 αντλεί πληροφορίες και δεδομένα από σχέδια δισδιάστατα και μέσα από μεθόδους οι οποίες είναι συμβατικές και όχι πάντα ψηφιακές με αποτέλεσμα οι φορείς να μην μπορούν να δουν παράλληλα μία δουλειά.

Επίπεδο 1: Το δεύτερο επίπεδο ωρίμανσης δηλαδή το επίπεδο 1 εισάγει πέρα της δισδιάστατης σχεδίασης και την τρισδιάστατη μοντελοποίηση της κατασκευής. Οι βασικές έννοιες που αφορούν αυτό το επίπεδο είναι η μηδενική αυτοματοποίηση που προσφέρουν μιας και για οποιαδήποτε διόρθωση που μπορεί να προκύψει οι αλλαγές πρέπει να γίνουν χειροκίνητα από αυτόν που θα τις παρατηρήσει. Επίσης μέσα από αυτό το πεδίο δεν υπάρχει η έννοια του κοινού παρονομαστή για τους ενδιαφερόμενους με συνέπεια την χρονοτριβή της μελέτης και την αναστάτωση μεταξύ των εμπλεκόμενων. Όπως και να έχει αυτό το επίπεδο αποτελείται από μία βάση σύμφωνα με την οποία το BIM έχει βασικό ρόλο.

Επίπεδο 2: Το τρίτο επίπεδο είναι ουσιαστικά η εξέλιξη του δεύτερου αφού καταφέρνει και διατηρεί τα περιεχόμενα του προηγούμενου με την μόνη διαφορά ότι αναβαθμίζεται ως προς την συνεργασία μεταξύ των χρηστών των λογισμικών. Το επίπεδο 2 αναλύει την δυνατότητα που έχουν οι χρήστες να φτιάξουν μοντέλα και να τα εξάγουν σε συγκεκριμένο μορφότυπο κοινό για όλους με απώτερο σκοπό να μπορούν όλοι να επεξεργαστούν τα στοιχεία ,ο καθένας από τον υπολογιστή του και συγκεκριμένα από το λογισμικό του. Η εφαρμογή όμως αυτού του επιπέδου είναι εφικτή εφόσον τα λογισμικά είναι διαμορφωμένα σύμφωνα με διαλειτουργικά πρότυπα όπως είναι το IFC (Industry Foundation Class) ή COBie (Construction Operations Building information exchange). [ΛΑΪΟΥ2019]

Επίπεδο 3: Τέλος το επίπεδο 3 ή αλλιώς IBIM(Integrated BIM) διαμορφώνει την κορυφή της πυραμίδας των επιπέδων ωριμότητας και διατυπώνει μια πιο καινοτόμα ιδέα αναφορικά με το κομμάτι της συννενόησης των εμπλεκόμενων. Συγκεκριμένα το επίπεδο 3 κάνει λόγο για ένα πληροφοριακό μοντέλο το οποίο είναι μία πλατφόρμα με βάση δεδομένων

στην οποία θα συγκεντρώνονται όλα τα αρχεία-δεδομένα-πληροφορίες και θα έχει πρόσβαση από όλους τους χρήστες σε ίδιο χρόνο. Αυτή η ιδέα αν και έχει πολλά οφέλη όπως η διαλειτουργικότητα, η μείωση χρόνου η ευκολία συνεργασίας ανάμεσα στους μελετητές περιείχε και κάποιες σημαντικές ασάφειες ως προς την εφαρμογή νομικών ζητημάτων πνευματικών ιδιοκτησιών και η κατασκευή ενός ακριβούς συστήματος για την διαχείριση τόσο μεγάλου όγκου πληροφοριών. [Αδαμάκης 2019]



Σχήμα 1.3: Σχέδιο ανάδειξης ταξινομημένων επιπέδων ωριμότητας(<https://www.archetype.gr/blog/arthro/building-information-modeling-bim-i-thesi-tis-elladas-sto-psifiako-topio-tou-mellontos>)

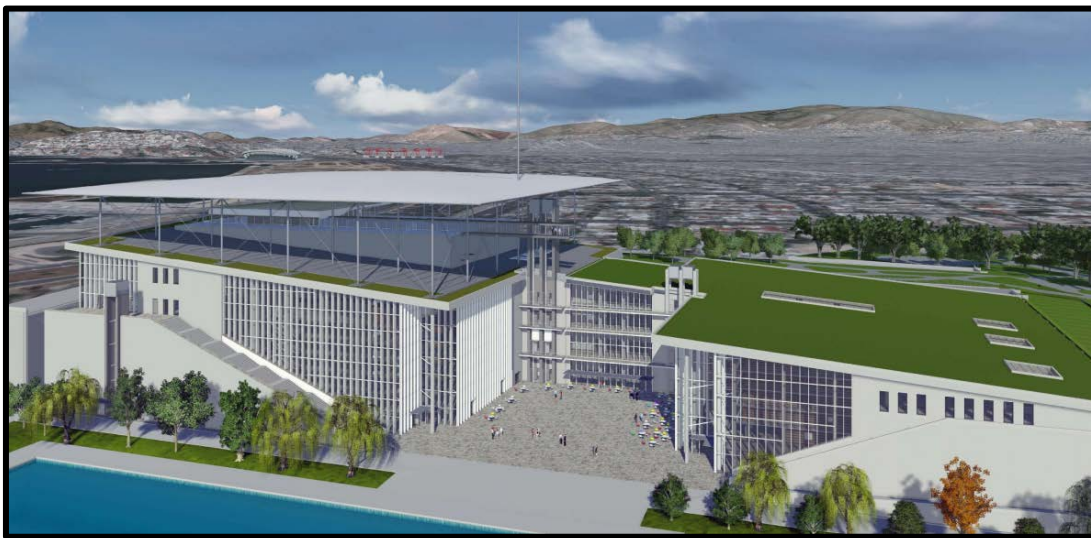
1.5.2 Παραδείγματα πραγματοποίησης έργων με τη βοήθεια BIM στην Ελλάδα

Τα συστήματα BIM παρά τη μεγάλη επιρροή τους σε όλο τον κόσμο του κατασκευαστικού κλάδου, στην Ελλάδα δεν έχουν γνωρίσει την ίδια άνθηση σε σχέση με το εξωτερικό. Δυστυχώς, το BIM εφαρμόζεται στην Ελλάδα μόνο σε ιδιαίτερα έργα τα οποία χρειάζονται πολύ χρόνο για να αποτυπωθούν και να απεικονισθούν με συμβατικές μεθόδους.

Στην Ελλάδα η λειτουργία του BIM χρησιμοποιείται κυρίως σε επίπεδα 0 και σπάνια 1. Εκτός από την πλειοψηφία ορισμένες εταιρείες και μελετητικά γραφεία έχουν αρχίσει να αντιλαμβάνονται την ιδέα και να την υλοποιούν,

γεγονός που αντικατοπτρίζεται σε ορισμένα έργα που έχουν ήδη τελειώσει ή σε άλλα που είναι σε εφαρμογή.

Ένα αξιοσημείωτο παράδειγμα είναι στο Κέντρο Πολιτισμού Ίδρυμα Σταύρος Νιάρχος, η Εθνική Λυρική Σκηνή η οποία μελετήθηκε σύμφωνα με τις προδιαγραφές του BIM συμπεριλαμβάνοντας οχτώ από τις διαστάσεις του, δηλαδή μελετώντας την κατασκευή ως προς τη στατικότητα, τη βιωσιμότητα, τους χρόνους, τα κόστη, τις ποσότητες την ασφάλεια και την υγεία των εργαζομένων και κατ' επέκταση του έργου, αποτελώντας σήμα κατατεθέν για έργο BIM στον ελλαδικό χώρο επιπέδου ωριμότητας έως και 3 [Λέκκας, 2023].



Εικόνα 1.1: Μοντελοποίηση Κέντρου Πολιτισμού Ίδρυματος Σταύρος Νιάρχος

Επίσης σημαντικό έργο το οποίο πρόκειται να αποτελέσει προϊόν τεχνολογίας BIM είναι το Riviera Tower στο Ελληνικό, ο υψηλότερος πράσινος πύργος της Μεσογείου, ύψους 200 μέτρων, που θα περιλαμβάνει 50 ορόφους. Σύμφωνα με ειδικούς θα αποτελέσει αρχιτεκτονικό ορόσημο για την Ελλάδα και υπόδειγμα για μελλοντικές μελέτες βιώσιμων κατασκευών.

Μία ακόμα σημαντική παράμετρος για την πορεία του BIM σε μία χώρα είναι οι κανονισμοί και οι οδηγίες για τα έργα. Στην Ελλάδα με το Ν. 4412/2016 περί δημοσίων συμβάσεων έργων, προμηθειών και υπηρεσιών εισάχθηκε η χρήση του BIM στα δημόσια έργα έπειτα από τις οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης 2014/24/EU και 2014/25/EU για όλα τα μέλη κράτη της παρόλο αυτά όπως έχει διαπιστωθεί το BIM δεν είναι άμεσα εμπλεκόμενο με εργασίες που γίνονται στην χώρα μας. Η κατάσταση αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι το BIM αντιμετωπίζεται σαν ένα εργαλείο το οποίο έχει βάση μόνο

για έργα τεραστίων διαστάσεων και ιδιαίτερων χαρακτηριστικών και άρα ενστερνίζοντας την άποψη ότι μόνο μεγάλες εταιρείες με μεγάλους προϋπολογισμούς μπορούν να φέρουν εις πέρας τέτοιου είδους μελέτες [Γκρέκας, 2023].



Εικόνα 1.2: Εργοτάξιο Riviera Tower Ελληνικό, Απρίλιος 2024

1.5.3 Παραδείγματα πραγματοποίησης BIM στο εξωτερικό

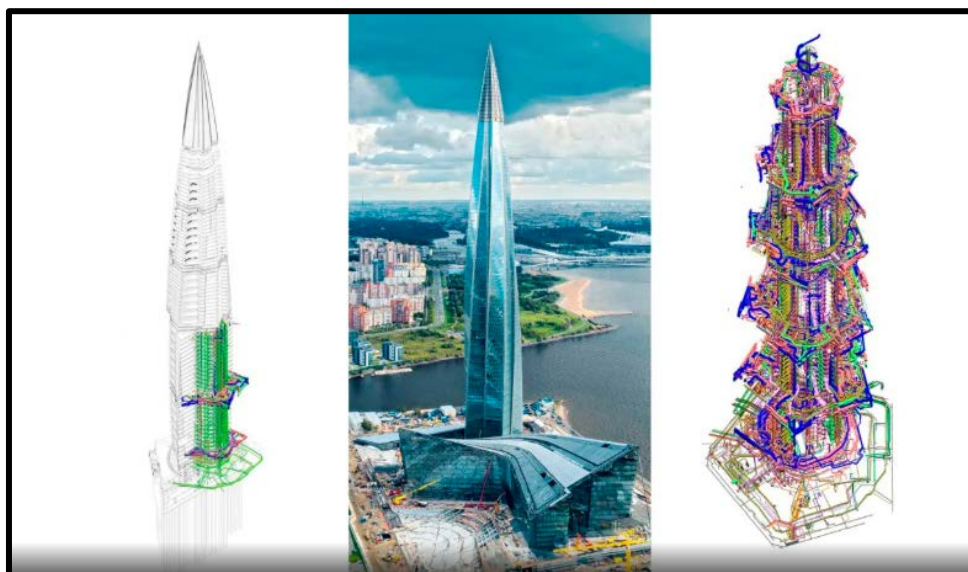
Η εξέλιξη του BIM σε βάθος χρόνων στο εξωτερικό συνεχώς αναβαθμίζεται σε όλο και περισσότερες χώρες ραγδαία. Τα έργα στα οποία λαμβάνει μέρος η τεχνολογία του BIM είναι στην πλειοψηφία του τα πιο σύνθετα γεγονός που υποδεικνύει την αξιοπιστία του μέσου αυτού και την μελλοντική άνοδο του. Στην παρότρυνση των μεγάλων εταιρειών να χρησιμοποιήσουν αυτό το εργαλείο έχουν συμβάλλει στην Ευρώπη οι οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης η οποία πιστεύει ότι με τέτοιες πρακτικές διαλειτουργικότητας μεταξύ των χωρών επιτυγχάνονται καλύτερες συνεργασίες μιας και όλα τα κράτη της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχουν κοινό κώδικα.

Οι πιο μεγάλοι πρόοδοι ανάμεσα σε χώρες Ευρώπης σχετικά με εφαρμογές BIM σημειώνουν χώρες όπως το Ηνωμένο Βασίλειο, η Γερμανία, η Γαλλία, η Ελβετία, η Ολλανδία και διάφορες σκανδιναβικές. Το Ηνωμένο Βασίλειο

αποτελεί το πιο τρανό παράδειγμα και την χώρα στην οποία το μοντέλο αυτό είναι το πιο διαδεδομένο μιας και το κράτος τους απαιτεί πλέον τουλάχιστον πιστοποίηση επιπέδου 2 για εταιρείες ή τεχνικά γραφεία ή ακόμα και ελεύθερους επαγγελματίες για την διαχείριση δημοσίων έργων. Μάλιστα στην Αγγλία σύμφωνα με έρευνες το 80% των μεγάλων εργοληπτικών γραφείων αναλαμβάνει έργα με αυτή την τεχνολογία. Η Γερμανία έχει θέσει όρους για υποχρεωτική χρήση BIM για την πλειονότητα των βασικών κτιρίων της, ομοίως έχει πράξει και η κυβέρνηση της Γαλλίας. [Paul Shimonti, 2018] [Ishveena Singh, 2017]

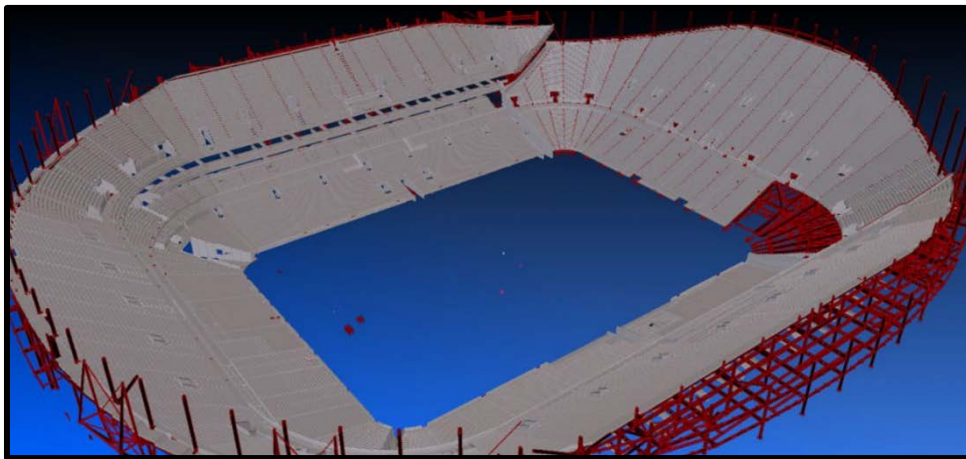
1.5.4 Χαρακτηριστικές κατασκευές με χρήση BIM

Lakhta Center, Αγία Πετρούπολη, Ρωσία: Το Lakhta Center στην Αγία Πετρούπολη έχει αναδειχθεί ως ένας από τους πιο φανταχτερούς ουρανοξύστες στην Ευρώπη τοποθετώντας την χώρα στον χάρτη με τους πιο σπουδαίους ουρανοξύστες και κατακτώντας την πρώτη θέση ανάμεσα στους πιο ψηλούς ουρανοξύστες της Ευρώπης. Με ύψος που αγγίζει τα 462 μέτρα, επιφάνεια 75000 (τ.μ) το Lakhta Center έχει σχεδιαστεί ως ένα πολυλειτουργικό κέντρο το οποίο θα είναι βιώσιμο. Η κατασκευή του ξεκίνησε το 2012 και ολοκληρώθηκε το 2018. Οι αρχιτέκτονες και οι μηχανικοί χρησιμοποίησαν την προηγμένη τεχνολογία BIM για τον σχεδιασμό και την κατασκευή του, επιτυγχάνοντας υψηλά επίπεδα ακρίβειας και ασφάλειας σε όλα τα στάδια του έργου. Χαρακτηριστικό αυτής της κατασκευής είναι τα γυάλινα «φτερά» της τα οποία έχουν μια στροφή της τάξης του 0.82 μοιρών από το κέντρο τους.



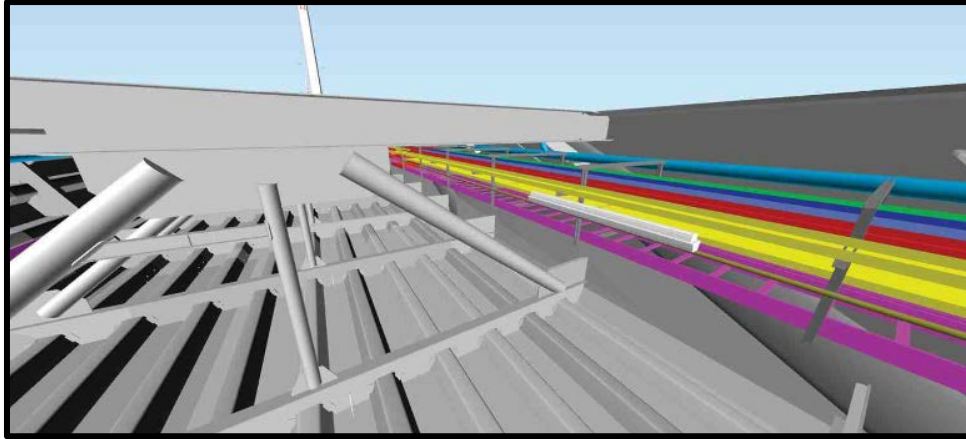
Εικόνα 1.3: Lakhta Center

Tottenham Spur Stadium, Λονδίνο, Ηνωμένο Βασίλειο: Το γήπεδο Tottenham Hotspur Stadium είναι η έδρα της ομάδας ποδοσφαίρου Tottenham Hotspur στο βόρειο Λονδίνο και περιέχει 62062 θέσεις καθιστώντας το, το μεγαλύτερο στάδιο ποδοσφαίρου στο Λονδίνο. Η σχεδίασή του έγινε με τη χρήση της τεχνολογίας BIM (Building Information Modeling) η οποία επέτρεψε τη δημιουργία ενός λεπτομερούς ψηφιακού μοντέλου του σταδίου πριν από την κατασκευή του. Παράχθηκαν ποικίλλα σχέδια για την τελειοποίηση του έργου, συμπεριλαμβάνοντας μοντέλα για όλες τις κερκίδες, τις δοκούς στήριξης, τους τοίχους και τις σκάλες. Όλα τα μοντέλα βασίστηκαν σε επίπεδα πληροφορίας LOD300 τα οποία για την εποχή κατασκευής του σταδίου(2019) θεωρήθηκαν ριζοσπαστικά.



Εικόνα 1.4: Tottenham Spur Stadium

Γέφυρα Queensferry Crossing, Σκωτία: Η Queensferry Crossing είναι μια εντυπωσιακή γέφυρα, σχεδιασμένη για να αντέξει τις αυξημένες ανάγκες της κυκλοφορίας και να παρέχει ασφαλέστερη διέλευση για τα οχήματα. Έχει μήκος περίπου 2,7 χιλιόμετρα και περιλαμβάνει τρεις πύργους ανύψωσης. Η γέφυρα είναι σχεδιασμένη για αντιστέκεται σε δυνατούς ανέμους και άλλες καιρικές συνθήκες και αποτελεί ένα από τα συγχρονότερα προϊόντα υποδομής με μοντέλα BIM.. Η εφαρμογή του BIM στην Queensferry Crossing επέτρεψε τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου ψηφιακού μοντέλου της γέφυρας πριν και κατά τη διάρκεια της κατασκευής. Η μεθοδολογία που χρησιμοποίησαν οι μηχανικοί ήταν η προκατασκευή της γέφυρας η οποία με την βοήθεια του κτιριακού μοντέλου πληροφοριών μείωσε τον χρόνο κατασκευής από 100000 ώρες σε 75000 ώρες και κατά συνέπεια το κόστος της και την πρόληψη της υγείας και της ασφάλειας σε περίπτωση που γινόταν στο πεδίο.



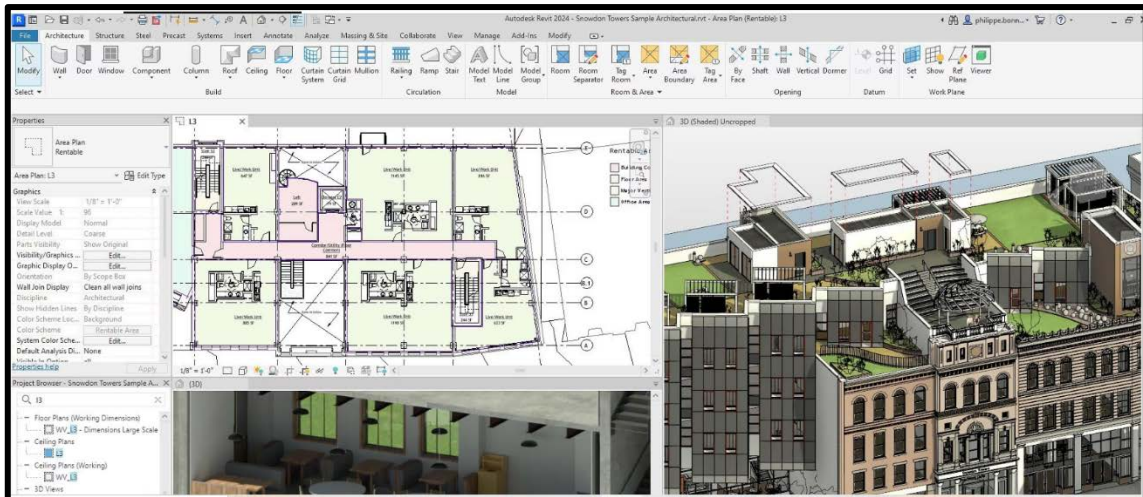
Εικόνα 1.5: Τομή επιφάνειας της Γέφυρας Queensferry Crossing

1.6 Λογισμικά κατασκευής μοντέλων BIM

Autodesk Revit: Το πιο γνωστό λογισμικό επεξεργασίας τρισδιάστατων μοντέλων BIM είναι αυτό της Autodesk Revit. Η Autodesk μάλιστα ήταν αυτή η οποία με ένα άρθρο της σχετικά την λειτουργία και τις προόψεις του BIM απογείωσε την φήμη του σε πιο ευρύ κοινό.

Το Revit προσφέρει ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον σχεδίασης BIM για τους χρήστες της και μπορεί και αντιμετωπίζει όλες τις διαστάσεις του μεμονωμένα ενώ ταυτόχρονα παρέχει τη δυνατότητα επεξεργασίας των πληροφοριών σε ίδιο χρόνο για παραπάνω από ένα άτομο. Η αυτοματοποίηση είναι αυτό που το διακρίνει μιας και το μοντέλο αναλύεται ενιαία και η κάθε αλλαγή που μπορεί να τροποποιηθεί σε κάποιο αντικείμενο επηρεάζει όλα τα υπόλοιπα σχέδια.

Επιπλέον ο αυτοματοποιημένος ρόλος που έχει να συντάσσει σχέδια, υλικά, χρόνους κλπ. προσδίδει ένα μεγάλο όφελος προς τον χρήστη αφού εξοικονομεί τεράστιο χρόνο. Ένα ισχυρό χαρακτηριστικό του Revit είναι ότι δεν εφαρμόζεται μόνο σε αρχιτεκτονικά σχέδια αλλά και σε μηχανολογικά και ηλεκτρολογικά.



Εικόνα 1.6: Περιβάλλον εργασίας του Revit (<https://www.autodesk.com/products/revit/features>)

Graphisoft Archicad: Το Graphisoft Archicad είναι ένα λογισμικό το οποίο μπορεί να διαχειριστεί τόσο μελέτες CAD όσο και BIM με την ίδια ευκολία. Το Archicad χρησιμοποιεί «έξυπνα αντικείμενα», δηλαδή αντικείμενα ενισχυμένα με πληροφορίες όπου με την βοήθεια τους δημιουργεί εικονικά δομικά στοιχεία μέσα από τα οποία εξάγει τρισδιάστατα και δισδιάστατα σχέδια.

Όσον αφορά στις υπόλοιπες ευελιξίες του, είναι παρόμοιες με αυτές του Revit τόσο σε επίπεδο αυτοματοποίησης όσο και παράλληλης επεξεργασίας από πολλούς υπολογιστές. Ιδιαιτερότητα του συγκεκριμένου είναι η ισχυρή εργαλειοθήκη του.



Εικόνα 1.7: Απόσπασμα σχεδίου στο λογισμικό Archicad

Trimble SketchUp: Το Trimble SketchUp είναι ένα πρόγραμμα σχεδίασης τρισδιάστατων μοντέλων BIM σε διάφορους τομείς και είναι γνωστό για την ευκολία του στην χρήση και στην ταχύτητα παραγωγής τους. Σε δεύτερη μοίρα ένα κύριο πλεονέκτημα του είναι οι φθηνές και διάφορες επεκτάσεις (plugins) που διαθέτει και προηδεάζουν την πλειοψηφία να το χρησιμοποιήσει.

Το κοινό στο οποίο η Trimble αναφέρεται κατά βάση είναι κόσμος ο οποίος πειραματίζεται με την τρισδιάστατη μοντελοποίηση και δεν αντιμετωπίζει το BIM για επαγγελματικούς σκοπούς.

Τέλος, άλλα σημαντικά λογισμικά BIM στην βιομηχανία του κατασκευαστικού κλάδου είναι:

- Το Bentley MicroStation είναι ένα λογισμικό CAD που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία 2D και 3D σχεδίων και μοντέλων. Αποτελεί ένα από τα πιο δημοφιλή εργαλεία στον τομέα της μηχανικής, της αρχιτεκτονικής και των κατασκευών, ιδιαίτερα για έργα μεγάλης κλίμακας, όπως υποδομές, κτίρια και γέφυρες. Το MicroStation προσφέρει δυνατότητες για μοντελοποίηση, απεικόνιση και ανάλυση, ενώ υποστηρίζει τη χρήση και διαχείριση αρχείων σε διάφορες μορφές (όπως DGN, DWG και DXF). (<https://www.bentley.com/>)

Χρησιμοποιείται ευρέως από τοπογράφους, αρχιτέκτονες, μηχανικούς και επαγγελματίες του κατασκευαστικού τομέα, λόγω της υψηλής ακρίβειας και ευελιξίας του, ενώ ενσωματώνεται εύκολα με άλλα εργαλεία και τεχνολογίες, όπως το BIM (Building Information Modeling).

-Το Tekla Structures είναι ένα λογισμικό μοντελοποίησης και διαχείρισης κατασκευαστικών έργων που εξειδικεύεται στη δημιουργία λεπτομερών 3D μοντέλων για κατασκευές από χάλυβα, σκυρόδεμα και άλλα υλικά. Αναπτύσσεται από την εταιρεία Trimble και αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο για τη διαχείριση του σχεδιασμού, της ανάλυσης και της κατασκευαστικής λεπτομέρειας, κυρίως σε έργα πολιτικού μηχανικού, όπως κτίρια, γέφυρες, εργοστάσια και βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

Με το Tekla Structures, οι χρήστες μπορούν να δημιουργήσουν πολύπλοκα και ακριβή μοντέλα που περιέχουν πληροφορίες για κάθε στάδιο της κατασκευής, από τη μελέτη έως και την κατασκευή. Το λογισμικό υποστηρίζει τη χρήση της τεχνολογίας BIM (Building Information Modeling), επιτρέποντας την καλύτερη συνεργασία μεταξύ όλων των εμπλεκόμενων φορέων ενός έργου

(μηχανικοί, αρχιτέκτονες, εργολάβοι) μέσω της ανταλλαγής πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο. (<https://www.tekla.com/products/tekla-structures>)

-Το CATIA (Computer-Aided Three-dimensional Interactive Application) της Dassault Systemes είναι ένα από τα πιο προηγμένα λογισμικά CAD που χρησιμοποιείται κυρίως για τη μοντελοποίηση, το σχεδιασμό και την προσομοίωση πολύπλοκων προϊόντων και κατασκευών ενώ παράλληλα παρέχει ολοκληρωμένες λύσεις για τη βιομηχανική παραγωγή, την αεροναυπηγική, την αυτοκινητοβιομηχανία, καθώς και άλλους κλάδους, καθιστώντας το ένα από τα κορυφαία εργαλεία για τη δημιουργία και τη διαχείριση τρισδιάστατων ψηφιακών μοντέλων προϊόντων. (<https://www.3ds.com/products/catia>)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Ανάλυση λειτουργίας σαρωτών λέιζερ

2.1 Λειτουργία σαρωτών λέιζερ

Ο σαρωτής λέιζερ είναι μια συσκευή που χρησιμοποιεί την τεχνολογία του λέιζερ για την ακριβή και γρήγορη απεικόνιση του περιβάλλοντος. Στόχος του είναι να μετρήσει τις αποστάσεις προς αντικείμενα ή επιφάνειες, παρέχοντας τρισδιάστατα σημεία δεδομένων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία ψηφιακών μοντέλων του περιβάλλοντος. Πιο συγκεκριμένα οι σαρωτές συλλέγουν τρισδιάστατα σημεία με συντεταγμένες τα οποία διαθέτουν επίσης ραδιομετρική πληροφορία (RGB). Αυτή είναι η διαφορά που τους ξεχωρίζει από τις φωτογραφικές μηχανές. Ουσιαστικά ορίζονται από ένα σύστημα σφαιρικών συντεταγμένων (αυθαίρετο) όπου η αρχή είναι το κέντρο του αισθητήρα $\varphi = 0$, $\theta = 0$ και r η απόσταση από αυτόν. Οι σαρωτές λέιζερ χρησιμοποιούνται σε πολλούς τομείς, όπως η κατασκευή, οι γεωτρήσεις, η τοπογραφία, η αρχιτεκτονική και η αρχαιολογία, για την ανάλυση και την αποτύπωση του περιβάλλοντος με υψηλή ακρίβεια [Συμεωνίδης 2007].

Τέτοιου είδους σαρωτές εκπέμπουν εκατομμύρια φωτόνια μέσω μιας ακτίνας λέιζερ προς έναν στόχο ή μια επιφάνεια. Η ακτίνα αυτή αντανακλάται και επιστρέφει στον αισθητήρα του σαρωτή, ο οποίος καταγράφει τον χρόνο που χρειάστηκε για να φτάσει και να επιστρέψει. Ένα ποσοστό αυτών των φωτονίων εισέρχονται με την βοήθεια των οπτικών διατάξεων μέσα στη συσκευή. Αυτός ο χρόνος συνδέεται με την απόσταση ανάμεσα στον σαρωτή και τον στόχο. Με βάση αυτές τις πληροφορίες, ο σαρωτής δημιουργεί ένα τρισδιάστατο μοντέλο του περιβάλλοντος, λαμβάνοντας υπόψη τις αποστάσεις προς τα αντικείμενα και τις επιφάνειες που σαρώνονται.

Η σωστή σάρωση των αντικειμένων και επιφανειών στα οποία ένας σαρωτής λέιζερ εκπέμπει την ακτίνα εξαρτάται άμεσα από την αντανακλαστικότητα τους και αυτή από συγκεκριμένες παραμέτρους:

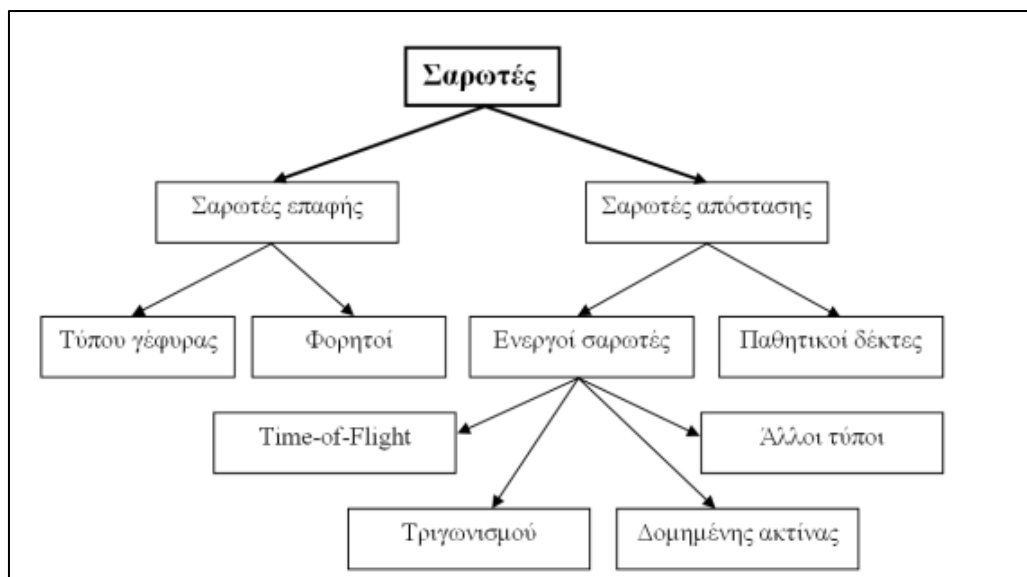
- **Αντικείμενα κατασκευής:** Τα αντικείμενα κατασκευής τους είναι άμεσα εμπλεκόμενα από τις υφές, τα χρώματα τα υλικά και τον συντελεστή ανακλαστικότητας. Για παράδειγμα τα μέταλλα έχουν πιο μεγάλη ανακλαστικότητα από μάτ επιφάνειες, αντικείμενα με ανοικτά χρώματα (όπως το λευκό) έχουν υψηλότερη αντανακλαστικότητα από αντικείμενα με σκούρα

χρώματα και γυαλισμένες επιφάνειες έχουν την τάση να αντανακλούν περισσότερο φως από ματ επιφάνειες.

-Γωνίες πρόσπτωσης: Ιδιαίτερα σημαντικές είναι και οι παρατηρήσεις που θα ληφθούν σε σχέση με τις γωνίες που θα μετρηθούν. Το φως του ήλιου παίζει εξίσου σημαντικό ρόλο.

2.2 Κατηγοριοποίηση σαρωτών

Το φάσμα των σαρωτών είναι ευρύ μιας και η χρήση τους εντοπίζεται σε διάφορους κλάδους γεγονός που δημιουργεί ειδικούς χειρισμούς και άρα συγκεκριμένους τύπους σαρωτών. Οι τύποι αλλάζουν ανάλογα την τεχνολογία που ενστερνίζεται ο κάθε σαρωτής και την σάρωση που κάνει. Οι δύο βασικές κατηγορίες απαρτίζονται από τους σαρωτές επαφής και του σαρωτές απόστασης.



Σχήμα 2.1: Ταξινόμηση κατηγοριών σαρωτών λέιζερ (Συμεωνίδης,2007)

Σαρωτής επαφής: Οι σαρωτές επαφής είναι σαρωτές οι οποίοι χρησιμοποιούν την ακτίνα λέιζερ λειτουργούν με την αφή του με το αντικείμενο. λειτουργούν με μια ποικιλία τεχνολογιών, συμπεριλαμβανομένων των οπτικών αισθητήρων, των λέιζερ και των αισθητήρων αφής. Κατά τη χρήση τους καταγράφουν την επιφάνεια του αντικειμένου με υψηλή ακρίβεια και ανάλυση, παρέχοντας ένα ψηφιακό αποτύπωμα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πολλές εφαρμογές. Οι σαρωτές επαφής είναι ιδιαίτερα χρήσιμοι σε περιβάλλοντα όπου η ψηφιοποίηση αντικειμένων ή επιφανειών με

ακρίβεια και λεπτομέρεια είναι κρίσιμη. Οι σαρωτές αυτοί συνήθως χρησιμοποιούν ένα εργαλείο επαφής, όπως μία γραφίδα, για να συλλέξουν δεδομένα από την επαφή τους με το αντικείμενο. Τα δεδομένα αυτά παρέχουν σχετικές συντεταγμένες σε ένα ενσωματωμένο σύστημα καταγραφής. Οι σαρωτές επαφής χρησιμοποιούν διάφορες τεχνολογίες για να λάβουν τρισδιάστατα δεδομένα. Μία από τις κοινές μεθόδους είναι η Μηχανή Μετρήσεων Συντεταγμένων (Coordinate Measuring Machine ή CMM). Μια CMM χρησιμοποιεί ένα μηχανικό βραχίονα με έναν αισθητήρα αφής στο άκρο του. Αυτός ο αισθητήρας αφής έρχεται σε φυσική επαφή με την επιφάνεια του αντικειμένου και η θέση του καταγράφεται για να δημιουργηθεί ένα νέφος σημείων [Πατούρας 2023].



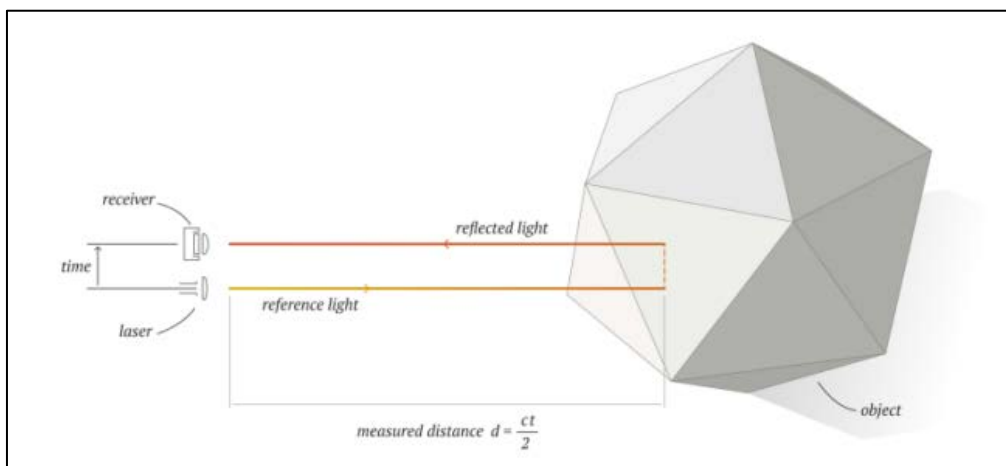
Εικόνα 2.1: Σαρωτής επαφής(<https://www.eurosupplies.com.gr/barcode-scanners-touchscreen-taggers/barcode-scanners/barcode-scanner-netum-nt-m2-2-4g-wireless-laser-0760354545175-76963/>)

Οι σαρωτές αυτού του τύπου είναι σχεδιασμένοι για να αποτυπώνουν περιοχές και χώρους μικρής κλίμακας με μεγάλη ακρίβεια, παρόλο αυτά το γεγονός ότι χρειάζονται επαφή για να γίνει η σάρωση στις επιθυμητές επιφάνειες δημιουργεί προβλήματα όπως την πιθανή καταστροφή τους και την μεμονωμένη απόδοση τους που χρονοτριβεί μια δουλειά μιας και ο συγκεκριμένος σαρωτής δεν είναι ευπροσάρμοστος.

Σαρωτές απόστασης: Οι σαρωτές απόστασης σε αντίθεση με τους σαρωτές επαφής χρησιμοποιούν ακτινοβολίες για να εντοπίσουν τα αντικείμενα ή τις επιφάνειες που προσπαθούν να μετρήσουν. Η διάκριση τους γίνεται σε ενεργητικούς σαρωτές οι οποίοι επεξεργάζονται τις ακτινοβολίες(οπτική, υπερηχητική , ακτίνες X) που οι ίδιοι εκπέμπουν και σε παθητικούς οι οποίοι απλά επεξεργάζονται την οπτική ακτινοβολία που δημιουργείται από κάποιο άλλο μέσο με τις κατάλληλες συνθήκες φωτισμού [Πατούρας,2023].

Οι σύγχρονοι ενεργητικοί σαρωτές λέιζερ απόστασης διαθέτουν ποικίλλες τεχνολογίες λειτουργίας που διαφοροποιούνται ανάλογα τον τύπο και την εφαρμογή τους, οι τρεις βασικότερες είναι οι εξής:

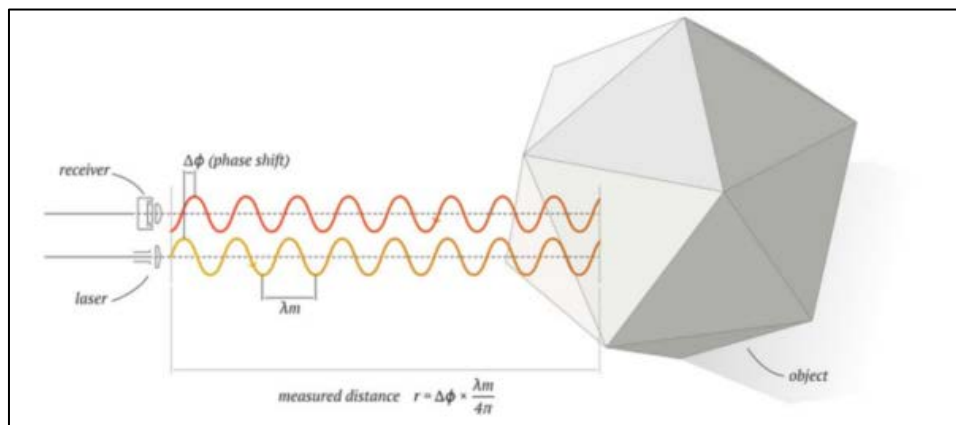
Σαρωτές μέτρησης παλμού (Time Of Flight Scanners): Οι σαρωτές μέτρησης παλμού ή αλλιώς Time of Flight (ToF) είναι η πιο διαδεδομένη έκδοση σαρωτών απόστασης και χρησιμοποιεί την τεχνολογία μέτρησης χρόνου πτήσης ενός παλμού laser δηλαδή αποστέλλουν έναν σύντομο παλμό laser και καταγράφουν τον χρόνο που χρειάζεται ο παλμός να επιστρέψει μετά την αντανάκλασή του από το αντικείμενο. Με βάση αυτόν τον χρόνο ο σαρωτής υπολογίζει την απόσταση μέχρι το αντικείμενο με χρήση της γνωστής ταχύτητας διάδοσης του φωτός. Ο χρόνος αυτός υπολογίζεται μέσα από τον τύπο $s=c*t/2$. Κάθε φορά που ο σαρωτής μετράει την απόσταση ενός σημείου στην επιφάνεια του αντικειμένου, είναι σημαντικό να αλλάζει συχνά την κατεύθυνση της ακτίνας. Αυτό επιτυγχάνεται είτε με την κίνηση της κεφαλής του οργάνου είτε με την κίνηση των κατόπτρων μέσα στο εσωτερικό του. Σε πραγματικές συνθήκες μέτρησης η αλλαγή αυτή πραγματοποιείται με την μετακίνηση των κατόπτρων που σαφώς είναι πιο γρήγορη και άρα πιο αποτελεσματική. Κατασκευαστικά οι σαρωτές κινούνται οριζόντια μέσα από την περιστροφή της κεφαλής του οργάνου και κατακόρυφα μέσα από αυτή των κατόπτρων. Αυτού του τύπου οι σαρωτές έχουν στην πλειοψηφία τους αμεσότερη χρήση σε τομείς όπως χαρτογράφηση, η αρχαιολογία, η βιομηχανία, η αυτόνομη οδήγηση και άλλες όπου απαιτείται ακριβής και αξιόπιστη μέτρηση απόστασης [Συμεωνίδης 2007].



Σχήμα 2.2: Αρχή λειτουργίας μέτρησης παλμού (Golubeva, 2022)

Σαρωτές μέτρησης φάσης (Phase Shift Scanners): Οι σαρωτές μέτρησης φάσης είναι συσκευές που χρησιμοποιούν φωτονική τεχνολογία για να

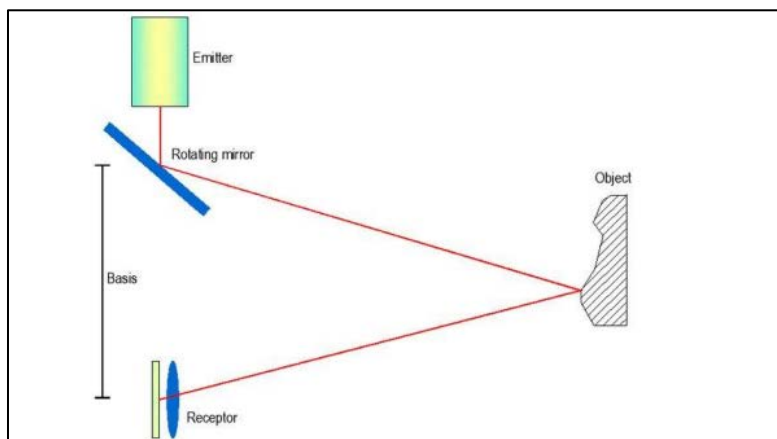
μετρήσουν την απόσταση από ένα σημείο σε μια επιφάνεια ή ένα αντικείμενο. Ο τρόπος λειτουργίας τους βασίζεται στην ανάλυση της φάσης του φωτός που επιστρέφεται από τον στόχο. Ο βασικός μηχανισμός που χρησιμοποιείται είναι η μέτρηση της φάσης του φωτός που εκπέμπεται από τον σαρωτή και επιστρέφεται από τον στόχο. Με την ανάλυση αυτής της φάσης, ο σαρωτής μπορεί να υπολογίσει την ακριβή απόσταση από τον στόχο. Αυτοί οι σαρωτές μπορούν να είναι σε θέση να μετρήσουν αποστάσεις με μεγάλη ακρίβεια και ταχύτητα, καθιστώντας τους κατάλληλους για πολλές εφαρμογές, όπως η μετρολογία, η βιομηχανία και η ρομποτική.



Σχήμα 2.3: Αρχή μέτρησης διαφοράς φάσης (Golubeva, 2022)

Σαρωτές Τριγωνισμού (Triangulations Scanners): Η αρχή του τριγωνισμού είναι μια βασική τεχνική που χρησιμοποιείται σε ενεργητικούς σαρωτές λέιζερ χωρίς επαφή για τη μέτρηση αποστάσεων από συγκεκριμένα σημεία. Σε αυτήν τη μέθοδο, μια δέσμη λέιζερ προβάλλεται από τον σαρωτή στην επιφάνεια του αντικειμένου και η γωνία μεταξύ της εκπεμπόμενης και της ανακλώμενης δέσμης χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί η απόσταση. Κατά τη μέθοδο τριγωνισμού ο σαρωτής εκπέμπει μια δέσμη λέιζερ στο αντικείμενο και η δέσμη ανακλάται πίσω στον αισθητήρα του. Η θέση της ανακλώμενης δέσμης ανιχνεύεται και η γωνία μεταξύ της εκπεμπόμενης και της ανακλώμενης δέσμης υπολογίζεται. Η απόσταση (S) από το σαρωτή έως κάθε σημείο του αντικειμένου υπολογίζεται χρησιμοποιώντας βασικές τριγωνομετρικές εξισώσεις. Η εξίσωση που προκύπτει λαμβάνει υπόψη όλες τις παραμέτρους όπως η απόσταση από το σαρωτή στο σημείο (S), η βάση (B) που αντιπροσωπεύει την απόσταση μεταξύ του πομπού λέιζερ και της κάμερας CCD, η θέση (b) όπου ανιχνεύεται η ανακλώμενη δέσμη λέιζερ και η γωνία (θ) μεταξύ της εκπεμπόμενης και της ανακλώμενης δέσμης.

Κατά την προβολή της δέσμης λέιζερ στην επιφάνεια του αντικειμένου και την ανάκλασή της, δημιουργείται ένα τρίγωνο μεταξύ της γραμμής βάσης και του σαρωμένου σημείου. Η βάση αναφέρεται στην απόσταση μεταξύ του πομπού λέιζερ και του αισθητήρα CCD (κάμερας). Κατόπιν, με βάση αυτό το τρίγωνο, υπολογίζεται η γωνία μεταξύ της εκπεμπόμενης και της ανακλώμενης δέσμης, ενώ καταγράφεται και η πλευρική μετατόπιση της ανακλώμενης δέσμης στον αισθητήρα. Μέσω της τριγωνομετρικής εξίσωσης που προαναφέρθηκε εκτιμάται με ακρίβεια η απόσταση από το σαρωτή στο σημείο του αντικειμένου. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται για πολλά σημεία στην επιφάνεια του αντικειμένου, επιτρέποντας στον σαρωτή να δημιουργήσει μια πυκνή και ακριβή αναπαράσταση του περιβάλλοντος με τα σημεία που έχουν καταγραφεί. Οι τριγωνομετρικοί σαρωτές διαθέτουν λόγω της κατασκευής τους δηλαδή της δυνατότητας που έχουν να δίνουν τεράστια σημασία στην γεωμετρία του πεδίου εξαιρετική ανταπόκριση για αποτύπωση περίπλοκων επιφανειών με πολλές ακμές και άρα θεωρούνται πιο κατάλληλοι για αποδόσεις χώρων με γεωμετρική δυσκολία όπως αρχαιολογικές μελέτες, εκκλησίες κλπ. [Πατούρας 2023].



Σχήμα 2.4: Αρχή λειτουργίας τριγωνισμού (Loprencipe, Moretti, 2018)

Σαρωτές χειρός: Οι σαρωτές χειρός είναι φορητές μικρού μεγέθους συσκευές σάρωσης κατάλληλες για αποτύπωση μεγάλων επιφανειών και χώρων οι οποίοι είναι δύσκολοι για απόδοση με άλλους συμβατικούς σαρωτές. Οι σαρωτές αυτοί είναι με γνώμονα την ευκολία μεταφοράς από τον χρήστη, καθιστώντας τους ελαφρούς και φορητούς. Η δυνατότητα τους στο πλαίσιο της μετακίνησης είναι το σημαντικότερο πλεονέκτημα τους αφού οι περισσότεροι το προτιμούν για να εισέρχονται πιο εύκολα σε στενούς χώρους ή δυσπρόσιτες περιοχές. Ενώ πολλοί από αυτούς τους σαρωτές έχουν την επιπρόσθετη ιδιότητα πραγματικού χρόνου απεικόνισης επιτρέποντας στους

χρήστες να παρακολουθούν τη σάρωση σε παράλληλο χρόνο. Αυτή η δυνατότητα βοηθά στον εντοπισμό πιθανών προβλημάτων και στην εξασφάλιση ολοκληρωμένης κάλυψης της επιφάνειας που σαρώνεται. Επιπλέον, χρησιμοποιούν προηγμένες τεχνολογίες σάρωσης λέιζερ και υψηλής απόδοσης αισθητήρες, επιτρέποντας τη γρήγορη και ακριβή λήψη δεδομένων. Η κατηγορία αυτή των σαρωτών λειτουργεί με τη μέθοδο του τριγωνισμού και εφόσον η συσκευή κινείται και συνεπώς και ο αισθητήρας δεν έχει ένα σταθερό σημείο αυτό επιτυγχάνεται με τη μέθοδο του SLAM (Simultaneous Localization And Mapping).



Εικόνα 2.2: Σαρωτής χειρός (<https://www.topomarket.gr/el/3d-%CE%B1%CF%80%CE%BF%CF%84%CF%8D%CF%80%CF%89%CF%83%CE%B7/1055-omniasphere-janusexplore-handheld-mobile-laser-scanner.html>)

2.3 Κλάδοι άμεσα συνδεδεμένοι με τους σαρωτές

Οι σαρωτές λέιζερ συνδέονται άμεσα με διάφορους κλάδους λόγω της ευρείας τους εφαρμογής και των πολλαπλών χρήσεων τους. Ανάλογα με την ειδική χρήση και τον τομέα, οι σαρωτές λέιζερ μπορούν να χρησιμοποιούνται σε διάφορους κλάδους, συμπεριλαμβανομένων, της ιατρικής, των κατασκευών-αρχιτεκτονικής, της χαρτογραφίας και της αυτοκινηβιομηχανίας.

Ιατρική: Στον τομέα της ιατρικής χρησιμοποιούνται οι σαρωτές λέιζερ με σκοπό τον έλεγχο την πρόληψη και ακόμη τα χειρουργεία σε μεθόδους όπως η απεικόνιση με τον τρισδιάστατο υπέρηχο και η χειρουργική με λέιζερ.

Κατασκευές-Αρχιτεκτονική: Στον τομέα των κατασκευών οι σαρώσεις με λέιζερ γίνονται με σκοπό την ακριβή μέτρηση αποστάσεων, τη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων κτιρίων, δομών, βιομηχανικών εγκαταστάσεων και γενικότερα την αποτύπωση.

Αυτοκινητοβιομηχανία: Στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας εφαρμόζονται σε συστήματα αυτόματης οδήγησης και αισθητήρες αποστάσεων για τον έλεγχο αποστάσεων και την αποφυγή συγκρούσεων. Μία νέα καινοτομία είναι η σάρωση λέιζερ έπειτα από τροχαίο ατύχημα για την ανάλυση της ζημιάς που υφίσταται το όχημα κυρίως για ερευνητικούς λόγους.

Οι σαρωτές λέιζερ έχουν επαναστατήσει τον τομέα της τοπογραφίας παρέχοντας γρήγορες, ακριβείς και αποτελεσματικές λύσεις για τη συλλογή γεωγραφικών δεδομένων. Η ακρίβεια τους σε συνδυασμό με την λεπτομέρεια που μπορούν να διακρίνουν σε εύλογο χρονικό διάστημα τους έχει αναδείξει και πλέον αποτελούν τεράστιο ανταγωνισμό για όλες τις άλλες συμβατικές μεθόδους αποτύπωσης κλασσικής τοπογραφίας. Αν συνυπολογιστεί η ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας του BIM που είναι προϊόν νέφους σημείων δηλαδή σαρώσεων με λέιζερ μπορεί να συνειδητοποιήσει κανείς ότι οι προοπτικές τους δεν έχουν όρια.

2.4 Επίγειοι σαρωτές λέιζερ

Terrestrial Laser Scanners (TLS) ή αλλιώς επίγειοι σαρωτές λέιζερ ονομάζονται οι ενεργητικοί σαρωτές λέιζερ οι οποίοι τοποθετούνται στο ύπαιθρο συνήθως μέσω ενός τρίποδα σε σταθερές θέσεις και χρησιμοποιούνται για τη λήψη λεπτομερών τρισδιάστατων δεδομένων αντικειμένων. Οι επίγειοι σαρωτές λέιζερ γνωστοί επίσης και ως επίγειοι LiDAR (Light Detection and Ranging) καταγράφουν τις συντεταγμένες XYZ πολλών σημείων στην επιφάνεια της γης εκπέμποντας παλμούς λέιζερ προς αυτά τα σημεία και μετρώντας την απόσταση από τη συσκευή προς τον στόχο (Vosselman και Maas, 2010). Πέρα από την υπαίθρια χρήση τους, αυτό που χαρακτηρίζει τέτοιου είδους σαρωτές είναι και η δυνατότητα που έχουν να μετρήσουν ένα πολύ μεγαλύτερο αριθμό σημείων μέσα σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Για την ακρίβεια μια σύγχρονη συσκευή αυτής της τεχνολογίας μπορεί να μετρήσει από 10^4 έως 10^6 σημεία ανά δευτερόλεπτο με ακρίβεια που κυμαίνεται από 10^{-1} έως 100 cm. Η χρήση τους αφορά απόδοση στοιχείων σε περιβάλλοντα χώρο με αξιόλογη ακρίβεια έπειτα επανειλημμένες μετρήσεις αποστάσεων με σκοπό την παραγωγή νέφους σημείων.

Οι συσκευές TLS κατηγοριοποιούνται σε τρεις κύριες ομάδες βάσει των δυνατοτήτων εμβέλειάς τους: σαρωτές κοντινής, μεσαίας και μακράς εμβέλειας. Τους σαρωτές TLS μεγάλης εμβέλειας, ικανούς να μετρήσουν

αποστάσεις από μερικές εκατοντάδες μέτρα έως χιλιόμετρα, συχνά χρησιμοποιούνται για την επισκόπηση μεγαλύτερων χωρικών περιοχών (Hunter κ.ά., 2003; Abellán κ.ά., 2006). Αντίθετα, οι σαρωτές μικρής εμβέλειας χρησιμοποιούνται για την καταγραφή μικρότερων χωρικών περιοχών (έως κάποιες εκατοντάδες μέτρα) με μεγαλύτερη λεπτομέρεια και ακρίβεια (Heritage και Large, 2009).



Εικόνα 2.3: Σαρωτής τύπου terrestrial LEICA BLK 360 (<https://www.noartechnologies.com/laserscanning/blk360>)

2.5 Σαρωτές λέιζερ τύπου Slam

Οι σαρωτές λέιζερ τύπου Slam είναι ουσιαστικά οι σαρωτές οι οποίοι χρησιμοποιούν για την σάρωση την τεχνολογία του slam (Simultaneous Localization and Mapping) ή στα ελληνικά (Ταυτόχρονος Προσδιορισμός Θέσης και Χαρτογράφησης) η οποία δίνει την δυνατότητα ανίχνευσης θέσης και παράλληλα χαρτογραφικού σχεδιασμού μέσω της σάρωσης σε πραγματικό χρόνο. Με πιο απλά λόγια το slam συλλέγει πληροφορίες από το περιβάλλον ενώ ταυτόχρονα σχεδιάζει έναν χάρτη. Η συγκεκριμένη διαδικασία γίνεται σε κάποιους σαρωτές ημιαυτόματα και σε άλλους τελείως αυτοματοποιημένα.

Η τεχνολογία SLAM λειτουργεί με τη χρήση αισθητήρων όπως λέιζερ κάμερες και αισθητήρες IMU που τοποθετούνται σε ρομπότ ή άλλες κινούμενες συσκευές. Οι αισθητήρες αυτοί συλλέγουν δεδομένα για το περιβάλλον καθώς η συσκευή κινείται μέσα σε αυτό. Ταυτόχρονα, η συσκευή χρησιμοποιεί αυτά τα δεδομένα για να κατασκευάσει έναν χάρτη του περιβάλλοντος και να προσδιορίσει τη θέση της σε αυτόν τον χάρτη.

-Οι σαρωτές λέιζερ μετρούν τις αποστάσεις από τη συσκευή σε διάφορα σημεία του περιβάλλοντος, χρησιμοποιώντας την ανάκλαση των λέιζερ από τις επιφάνειες. Αυτές οι μετρήσεις αποτελούν τη βάση για τον υπολογισμό των θέσεων των σημείων στον χώρο

-Οι κάμερες χρησιμοποιούνται για τη λήψη εικόνων του περιβάλλοντος κατά την κίνηση της συσκευής. Οι εικόνες αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον εντοπισμό σημείων αναφοράς όπως για παράδειγμα φωτοσταθερά, την αναγνώριση αντικειμένων και τη δημιουργία του χάρτη του περιβάλλοντος.

-Οι αισθητήρες IMU μετρούν την επιτάχυνση και τον επιταχυντήρα περιστροφής της συσκευής κατά την κίνησή της. Αυτά τα δεδομένα χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της θέσης και του προσανατολισμού της συσκευής καθώς κινείται στο περιβάλλον.

Η διαδικασία SLAM απαιτεί συνήθως δύο βασικά βήματα: την εκτίμηση της θέσης (Localization) και τη δημιουργία του χάρτη (Mapping). Κατά τη διάρκεια του βήματος της εκτίμησης της θέσης, η συσκευή χρησιμοποιεί τα δεδομένα από τους αισθητήρες της για να εκτιμήσει την τρέχουσα θέση και προσανατολισμό της. Στο βήμα της δημιουργίας του χάρτη, η συσκευή χρησιμοποιεί τα δεδομένα για να κατασκευάσει έναν αναπαραστατικό χάρτη του περιβάλλοντος. Εν κινήσει, η συσκευή δέχεται συνεχώς νέα δεδομένα από τους αισθητήρες της και επαναλαμβάνει τη διαδικασία εκτίμησης της θέσης και δημιουργίας του χάρτη. Με αυτόν τον τρόπο, η συσκευή μπορεί να κινηθεί σε ένα άγνωστο περιβάλλον, να εντοπίζει τη θέση της και να δημιουργεί έναν χάρτη του περιβάλλοντος ταυτόχρονα.

2.6 Ακρίβειες και σφάλματα τρισδιάστατων σαρωτών λέιζερ

Οι ακρίβειες των τρισδιάστατων σαρωτών λέιζερ θεωρούνται εξαιρετικά αξιόπιστες και σημαντικές για έργα μικρής και μεγάλης σημασίας αλλά πρακτικά και θεωρητικά υπάρχουν αρκετοί παράμετροι σφαλμάτων οι οποίοι μπορούν να επηρεάσουν την απόδοσή τους τόσο στο πεδίο όσο και στην μετέπειτα επεξεργασία τους. Τα σφάλματα διαφοροποιούνται με βάση τα είδη των σαρωτών που χειριζόμαστε, τις συνθήκες στις οποίες εργαζόμαστε και τα αντικείμενα τα οποία σκοπεύουμε να παρατηρήσουμε. Γενικότερα όλες οι κατασκευαστικές εταιρείες σαρωτών αναφέρουν για κάθε συσκευή τους μέσα από τις τεχνικές προδιαγραφές τους τις ακρίβειες και τα συστηματικά

σφάλματα από πλευράς κατασκευαστή δίνοντας έμφαση ακόμη και σε έννοιες όπως η τυπική ακρίβεια, η εμβέλεια και η χρήση.

Κατασκευαστικά σφάλματα: Τα κατασκευαστικά σφάλματα είναι συνήθως αυτά με την πιο αμελητέα δράση στο τελικό αποτέλεσμα ,ενώ για κάθε εταιρεία και κάθε μοντέλο της αυτά διαφέρουν. Ένα από τα κατασκευαστικά είναι αυτό της γωνιακής ακρίβειας η οποία επηρεάζεται από την διάταξη των καθρεφτών που βρίσκονται εσωτερικά του σαρωτή και είναι υπεύθυνοι για την αποστολή του παλμού λέιζερ στο αντικείμενο [Αναλύτη, 2023]. Οποιοσδήποτε αποκλίσεις θα οδηγήσουν σε σφάλματα κάθετα στη διεύθυνση διάδοσης του σήματος (Boehler et al., 2003). Δεύτερο στην ιεραρχία είναι το σφάλμα της καθετότητας (άξονας περιστροφής της κεφαλής) και οριζοντιότητας(άξονας περιστροφής του κατόπτρου) των αξόνων που είναι άμεσα συνδεδεμένο με την σωστή βαθμονόμηση. Τελευταίο αλλά όχι λιγότερο σημαντικό είναι το σφάλμα της κουκίδας του λέιζερ το οποίο αλλάζει από εταιρεία σε εταιρεία. Συγκεκριμένα το μέγεθος του λέιζερ είναι δυσανάλογο της ακρίβειας των σημείων, δηλαδή όσο μεγαλύτερο είναι το λέιζερ τόσο λιγότερη ακρίβεια έχουμε και αντίστοιχα. Το σφάλμα αυτό έχει άμεση επίδραση και με την απόσταση των επιφανειών που σκοπεύονται και σχετίζεται με την διασπορά της δέσμης [Πατούρας, 2023].

Σφάλματα σάρωσης: Ως σφάλματα σάρωσης νοούνται τα σφάλματα τα οποία δημιουργούνται κατά την διάρκεια των σαρώσεων και εναποθέτονται στις εργασίες που λαμβάνουν μέρος στο πεδίο. Τα κυριότερα σφάλματα είναι αυτά του θόρυβου και της πυκνότητας της σάρωσης.

Το σφάλμα θορύβου αναφέρεται στον θόρυβο που διαμορφώνεται στην σάρωση από αντικείμενα τα οποία αποτυπώνονται χωρίς την θέληση μας και μας είναι περιττά με συνέπεια ένα πολύπλοκο νέφος σημείων. Αυτές οι σαρώσεις συνήθως προκλείονται σε αποτυπώσεις εξωτερικών χώρων και στάσεων οι οποίες είναι κρίσιμες για το σχέδιο μας για την αποφυγή κρυφών σημείων. Παραδείγματα θορύβου αποτελούν δέντρα και θάμνοι οι οποίοι με την εκτροπή ανέμων αποδίδονται στο σχέδιο σε διπλές θέσεις.

Η πυκνότητα σάρωσης αναφέρεται στον αριθμό των σημείων που μετρούνται ή καταγράφονται από έναν σαρωτή σε μια μονάδα επιφάνειας. Αυτός ο αριθμός σημείων ανά μονάδα επιφάνειας προσδιορίζει πόσο αναλυτικά και λεπτομερώς αναπαρίσταται το περιβάλλον στον τελικό χάρτη.

Η υψηλή πυκνότητα σάρωσης σημαίνει ότι μετρούνται πολλά σημεία ανά μονάδα επιφάνειας, παρέχοντας μια πιο λεπτομερή αναπαράσταση του περιβάλλοντος. Αυτό μπορεί να είναι χρήσιμο για εφαρμογές που απαιτούν υψηλή ανάλυση, όπως η ανίχνευση μικρών αντικειμένων ή η δημιουργία λεπτομερών χαρτών. Από την άλλη πλευρά, η χαμηλή πυκνότητα σάρωσης σημαίνει ότι μετρούνται λιγότερα σημεία ανά μονάδα επιφάνειας, οδηγώντας σε έναν πιο γενικό χάρτη ή μοντέλο. Αυτό μπορεί να είναι αρκετό για εφαρμογές που δεν απαιτούν υψηλή λεπτομέρεια, όπως η γενική μελέτη του τοπίου ή η ανίχνευση μεγάλων χαρακτηριστικών.

Σε γενικά πλαίσια στόχος για την αποφυγή του σφάλματος πυκνότητας της σάρωσης επιλέγουμε να δουλεύουμε σε μεγαλύτερη πυκνότητα σάρωσης σε σχέση με αυτή των προδιαγραφών έτσι ώστε να έχουμε μία λεπτομερή εικόνα για το μοντέλο μας.

Σφάλματα αντικειμένων-επιφανειών: Η έννοια του σφάλματος των αντικειμένων και των επιφανειών είναι ένα σφάλμα το οποίο είναι αδύνατο να μην υπάρχει και δεν είναι σταθερό σε κανένα αντικείμενο καθώς οι παράγοντες που το περιέχουν είναι ποικίλλες και μεταβλητές. Το συγκεκριμένο σφάλμα πηγάζει από την αντανακλαστικότητα τους προς τον σαρωτή αφού μέσα από αυτήν επηρεάζεται το ποσοστό και η ένταση της ακτινοβολίας που θα επιστρέψει στον αισθητήρα [Πατούρας,2023]. Η αντανακλαστικότητα επηρεάζεται από :

- ιδιότητες υλικού
- χρώμα επιφάνειας
- μήκος κύματος της ακτίνας του λέιζερ
- τη γωνία πρόσπτωσης του λέιζερ
- την τραχύτητα της επιφάνειας πρόσπτωσης
- τη θερμοκρασία της επιφάνειας
- την υγρασία της επιφάνειας [Παππά,2012]

Σφάλματα περιβάλλοντος: Τα σφάλματα του περιβάλλοντος είναι τα σφάλματα που προκύπτουν κατά την μέτρηση και αφορούν την ατμόσφαιρα, τον καιρό και τις ακτινοβολίες. Τα σφάλματα αυτά είναι σφάλματα αμελητέας επιροής στο τελικό αποτέλεσμα μιας και σε πρώτη φάση οι συνθήκες για την

ισχυρή εμφάνιση τους πρέπει να είναι ακραίες περιπτώσεις αλλιώς παραμένουν συστηματικά.

Θερμοκρασία: Η θερμοκρασία στο περιβάλλον αποτελεί έναν παράγοντα παραγωγής σφάλματος για συγκεκριμένες συνθήκες μέτρησης. Όλοι σχεδόν οι σύγχρονοι σαρωτές λειτουργούν άριστα σε θερμοκρασίες από 0 C έως και 40 C, αν αυτό το όριο ξεπεραστεί τότε θα χρειαστεί να γίνει έλεγχος για εμφάνιση αυτού του τύπου των σφαλμάτων ,αφού οι πιθανότητες να προκληθούν αποκλίσεις μετρήσεις των αποστάσιομετρων είναι αρκετές.

Μάλιστα σύμφωνα με την Leica Geosystems AG(2017) η απότομη εναλλαγή της θερμοκρασίας στην οποία βρίσκεται το όργανο μπορεί να προκαλέσει συμπύκνωση στον καθρέφτη ή και στα εσωτερικά οπτικά με αποτέλεσμα την δημιουργία σφάλματος.

Ατμόσφαιρα: Οι ατμοσφαιρικές συνθήκες έχουν εξίσου σημαντικό ρόλο στην παραγωγή σφαλμάτων. Η ατμόσφαιρα περιέχει δεδομένα όπως η ατμοσφαιρική πίεση , οι σκόνες , οι υδρατμοί οι θερμοκρασίες και γενικότερα ο καιρός όπως βροχές, χιόνια άνεμοι κ.λπ. Αυτές οι μεταβλητές επηρεάζουν την ισχύ, τη μορφή του παλμού, το μήκος κύματος της δέσμης του laser και την ένταση του επιστρεφόμενου σήματος.[Ηλιοδρομίτης, 2008]

Ακτινοβολία: Η παρεμπόδιση του σήματος του σαρωτή από εξωτερικές ακτινοβολίες είναι ένα σπάνιο φαινόμενο που παρόλο αυτά αξίζει να ληφθεί υπόψη. Για την ακρίβεια η παρεμπόδιση οφείλεται σε ακτινοβολία που μπορεί να εκπέμπεται είτε από φυσικό είτε από τεχνητό φως και κάνει λόγο για το ενδεχόμενο αυτές οι ακτινοβολίες να είναι ισχυρότερες από το σήμα και να επηρεάσουν τον αισθητήρα.

Σφάλματα γεωαναφοράς: Τα σφάλματα αναφοράς αφορούν τα σφάλματα που συναντάμε κατά την επεξεργασία του νέφους σημείων και σχετίζονται με την γεωαναφορά του μοντέλου. Σύμφωνα με τους Lichti & Gordon, 2004 οι παράγοντες που παίζουν ρόλο στην ακρίβεια της γεωαναφοράς είναι οι εξής:

- ακρίβεια προσδιορισμού συντεταγμένων της θέσης του σαρωτή και του στόχου
- ακρίβεια προσδιορισμού του αζιμούθιου από την θέση του σαρωτή σε αυτό του στόχου
- σφάλματα εγκατάστασης , δηλαδή κέντρωση , οριζοντίωση , στόχευση [Παππά,2012]

2.7 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα χρήσης τους

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης των σαρωτών είναι αυτά τα οποία δελεάζουν την πλειοψηφία των μηχανικών και κατασκευαστικών πολυεθνικών να το μάθουν και να το εντάξουν στην εργασία τους ως βασικό εργαλείο για την διαμόρφωση μοντέλων και σχεδίων. Τα βασικότερα είναι τα εξής:

Γρήγορη Συλλογή Δεδομένων: Οι σαρωτές λείζερ επιτρέπουν την ταχεία και αποτελεσματική συλλογή δεδομένων για μεγάλες γεωγραφικές περιοχές. Η δυνατότητα αυτή επιτρέπει στους τοπογράφους και τους μηχανικούς να ολοκληρώνουν έργα μεγάλης κλίμακας με μεγαλύτερη ακρίβεια και ταχύτητα συγκριτικά με άλλες συμβατικές μεθόδους. Στην γρήγορη διεργασία συμβάλλει άμεσα και η φορητότητα τους καθιστώντας τους ιδανικούς για εφαρμογές στον ύπαιθρο.

Ακρίβεια και Αξιοπιστία: Οι σαρωτές λείζερ προσφέρουν υψηλή ακρίβεια και αξιοπιστία στη μέτρηση αποστάσεων και επιφανειών. Αυτό επιτρέπει στους τοπογράφους να αποκτήσουν εκτεταμένες και ακριβείς γεωγραφικές πληροφορίες για τη δημιουργία ψηφιακών χαρτών και μοντέλων εδάφους.

Κατασκευή Υψηλής Ανάλυσης Χαρτών: Οι σαρωτές λείζερ μπορούν να δημιουργήσουν ψηφιακούς χάρτες υψηλής ανάλυσης που περιλαμβάνουν λεπτομερείς πληροφορίες για το έδαφος, την κλίση του εδάφους και την κάλυψη της βλάστησης.

Μοντέλο BIM: Τέλος αποτελεί μοναδικό τρόπο για την κατασκευή μοντέλων τεχνολογίας BIM. Αν σκεφτούμε την εξέλιξη που έχει πλέον το BIM μπορούμε εύκολα να αναλογιστούμε το θετικό πρόσημο της υπόθεσης.

Τα μειονεκτήματα από την άλλη είναι κατά κύριο λόγο δύο και συνδέονται με το ρίσκο το οποίο προτίθεται να αναλάβει όποιος ασχοληθεί με αυτόν τομέα. Ο λόγος γίνεται για την οικονομική λειτουργία ενός τέτοιου έργου. Οι σαρωτές λείζερ θεωρούνται μια ακριβή επένδυση συνυπολογίζοντας μαζί και τα λογισμικά επεξεργασίας των νεφών σε συνάρτηση με τους κατάλληλους υπολογιστές που θα μπορούν να διαχειριστούν τέτοια λογισμικά (από θέμα ανάλυσης και ταχύτητας) και όγκου δεδομένων. Δεύτερος λόγος και με λιγότερη βαρύτητα είναι το γεγονός ότι η σάρωση με λείζερ αποτελεί μία νέα τεχνολογία η οποία διαφέρει αρκετά σε σχέση με άλλες ως προς την επεξεργασία με αποτέλεσμα να χρειαστεί από τους μελλοντικούς ενδιαφερόμενους να αφιερωθεί χρόνος για πειραματισμό και ίσως χρήματα για

σεμινάρια που θα τους φέρουν σε θέση να μπορούν να τα χειριστούν επαγγελματικά.

2.8 Σαρωτής laser LEICA RTC360

Ο επίγειος σαρωτής λέιζερ Leica RTC360 αποτελεί προϊόν τελευταίας τεχνολογίας και συνδυάζει τεχνολογίες SLAM(Simultaneous Location and Mapping)(Ταυτόχρονος Προσδιορισμός Θέσης και Χαρτογράφηση) ενσωματωμένο σε VIS(Visual Inertial System) (Οπτικό Αδρανές Σύστημα). Υψηλά φορητός, υψηλά αυτοματοποιημένος, εύχρηστος και σχεδιασμένος για μέγιστη παραγωγικότητα, ο RTC360 συνδυάζει αποτελεσματικά τον σαρωτή λέιζερ 3D RTC360, την εφαρμογή Leica Cyclone FIELD 360 για πραγματική εγγραφή σάρωσης σε πραγματικό χρόνο σε κινητές συσκευές, και το λογισμικό γραφείου Leica Cyclone REGISTER 360 PLUS για ομαλή ενσωμάτωση του τρισδιάστατου μοντέλου στις ροές εργασίας.[Leica Geosystems]



Εικόνα 2.4: RTC 360 συνδεδεμένο με το λογισμικό του Leica Cyclon Register

Κυριότερα χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν:

Γρήγορη καταγραφή σκαναρίσματος, συμπεριλαμβανομένης της πλούσιας σε δυναμικό εύρος εικόνας (HDR), σε λιγότερο από δύο λεπτά. Με ρυθμό μέτρησης έως και 2 εκατομμύρια σημεία ανά δευτερόλεπτο και προηγμένο σύστημα HDR εικονοληψίας, η δημιουργία έγχρωμων 3D νεφών σημείων μπορεί να ολοκληρωθεί σε λιγότερο από δύο λεπτά. Επιπλέον, η αυτόματη εγγραφή στο πεδίο χωρίς στόχους (βασισμένη στην τεχνολογία VIS) και η άψογη, αυτόματη μεταφορά δεδομένων από τον τόπο εργασίας στο

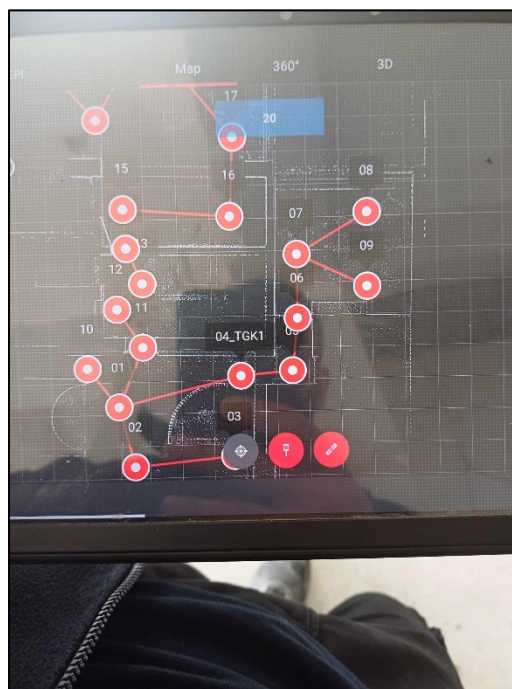
γραφείο μειώνουν το χρόνο που δαπανάται στο πεδίο και επιπλέον μεγιστοποιούν την παραγωγικότητα.

Αυτόματη καταγραφή των μετακινήσεων από σταθμό σε σταθμό για προεγγραφή των σκαν στο πεδίο χωρίς χειροκίνητη παρέμβαση.

Ενίσχυση της καταγραφής δεδομένων με ετικέτες πληροφοριών για βελτιωμένο σχεδιασμό, αντανάκλαση της πραγματικότητας του τόπου και αύξηση της ευαισθησίας της ομάδας .

Άμεση δημοσίευση των καταγεγραμμένων δεδομένων από το Cyclone FIELD 360 στο Leica TruView Cloud για γρήγορη ανταλλαγή πληροφοριών έργου πριν την εισαγωγή και την εγγραφή.

Μέσα από την εφαρμογή Leica Cyclone Register η οποία συνδέεται με τον σαρωτή ,μας δίνεται η δυνατότητα να ελέγχουμε ζωντανά τα νέφη σημείων και την τρισδιάστατη αναπαράσταση του χώρου. Αυτή η ευελιξία θεωρείται ιδιαίτερα σημαντική αφού μπορούμε να αναγνωρίσουμε αν έχουν σαρωθεί όλες οι λεπτομέρειες του χώρου μας απαλείφοντας όλα τα κρυφά σημεία. Τέλος μέσα από την εφαρμογή μειώνουμε την δουλειά στο γραφείο μιας και μπορούμε να κάνουμε 'link' δηλαδή σύζευξη, μεταξύ προηγούμενης και επόμενης στάσης με αποτέλεσμα στο γραφείο να πρέπει απλά να τις συνδέσουμε όλες μεταξύ τους.



Εικόνα 2.5: Χάρτογραφηση των στάσεων σάρωσης μέσω του λογισμικού Leica Cyclone Register εν ώρα πεδίου

2.9 Σαρωτής laser NAvVis VLX

Το NavVis VLX είναι ένας φορητός κινητός τρισδιάστατος σαρωτής ή αλλιώς ένα σύστημα χαρτογράφησης. Τέτοιοι σαρωτές 3D λέιζερ καταγράφουν δεδομένα καθώς κινούμαστε μέσα στο περιβάλλον. Με τις προηγμένες δυνατότητες σάρωσης Lidar και την ασυναγώνιστη τεχνολογία SLAM, το NavVis VLX αποτελεί τον γρηγορότερο τρόπο να αποκτήσουμε τα πιο αξιόπιστα χωρικά δεδομένα. Το NavVis VLX απαρτίζεται από δύο αισθητήρες πολλαπλών στρωμάτων LiDAR και τέσσερις κάμερες. Μπορεί να καταγράψει μια πανοραμική θέαση 360 μοιρών του χώρου, να αποτυπώσει επιφάνεια 1.000 - 4.500 τ.μ. δεδομένων υψηλής ποιότητας έρευνας σε ένα μόνο σύνολο δεδομένων, 10 φορές πιο γρήγορα από έναν επίγειο σαρωτή λέιζερ. [NavVis]



Εικόνα 2.6: NavVis VLX

Η φορητή σχεδίαση του NavVis VLX το καθιστά κατάλληλο για χρήση σε διάφορες εφαρμογές, όπως στην ανακαίνιση κτιρίων, την αποτύπωση χώρων και τη δημιουργία ψηφιακών διαδραστικών χαρτών εσωτερικών χώρων. Επιπλέον, η ενσωματωμένη τεχνολογία αντιστάθμισης κλίσης επιτρέπει τη σάρωση ακόμη και σε κλίσεις έως 30°, βοηθώντας στην αποτελεσματική κάλυψη των πιο δύσκολων περιβαλλοντικών συνθηκών.



Εικόνα 2.7: Περιήγηση με το λέιζερ σκάνερ NavVis (<https://www.treecomp.gr/navvis-vlx.html>)

Μερικά χαρακτηριστικά του NavVis VLX:

- Χρόνος λειτουργίας 1.5ώρες με ένα από τα δύο ζευγάρια μπαταρίας
- Διαστάσεις $108 \times 33 \times 56$ cm
- Δυνατότητα εξαγωγής φωτογραφιών τύπου JPEG εν ώρα σάρωσης
- Αποτύπωση $2 \times 300,000$ σημείων το δευτερόλεπτο
- Μέγιστη εμβέλεια σάρωσης 100μέτρα

PRODUCT DATA SHEET		NavVis VLX	
		2nd generation	
NavVis			
Physical			
Design	Wearable		
Dimensions (H x W x L)	108 x 33 x 56 cm		
Weight	8.7 kg		
Frame	Powder coated & anodized aluminum, carbon frame		
System operation			
Batteries	2 x 2 Li-ion V-Mount Micro, hot swappable		
Operating time	1.5 hours (with 1 set of 2 batteries)		
Storage	Portable SSD with 1 TB storage		
Sensors	WiFi, Bluetooth, IMU		
Field of view	360° horizontal, 360° vertical		
Laser Scanners			
Number of laser scanners	2 x 16-layer		
Laser class	1, eye-safe per IEC 60825-1:2007 & 2014		
Wavelength	903 nm		
Range	Max. 100 m		
Points per second	2 x 300,000		
Cameras			
Number of cameras	4		
Image resolution	4 x 20 megapixel		
Focus	Fixed		
Accuracy			
Accuracy of point cloud	6 mm in a dedicated test environment of 500 m ² (1)		
Control point support	Ground and wall		
Output			
Images	JPEG		
Point cloud	E57, LAS, PTS, XYZ, PLY		
Environment			
Operating temperature	0°C to 35°C extended temperature range -10° to 40° (2)		
Operating environment	Indoor and outdoor urban environments		
IP classification	IP 42		
Display			
Type	AMOLED capacitive multi-touch display		
Size	5.5"		
Resolution	1080 x 1920		
Transport Case			
Dimensions (H x W x L)	43 x 54 x 82 cm		
Weight (fully equipped)	24.8 kg		
Weight (excluding batteries)	22.6 kg		

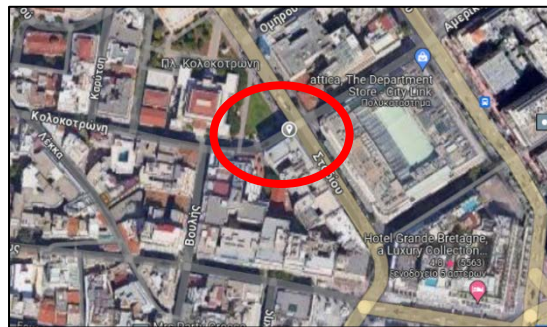
Εικόνα 2.8: Χαρακτηριστικά NavVis VLX (<https://www.apella.com/wp-content/uploads/2021/12/NavVis-VLX-Data-Sheet-EN.pdf>)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Γεωμετρική τεκμηρίωση υφιστάμενης κατασκευής με χρήση σαρωτών λέιζερ τεχνολογίας SLAM για παραγωγή μοντέλων BIM

3.1 Περιοχή της υπάρχουσας υφιστάμενης κατασκευής

Το κτίριο το οποίο σαρώθηκε με σκοπό την παραγωγή ενός BIM μοντέλου βρίσκεται στο κέντρο της Αθήνας και πιο συγκεκριμένα μεταξύ της οδού Κολοκοτρώνη και Σταδίου.



Εικόνα 3.1: Θέση του προς αποτύπωση κτιρίου

Η ζώνη αυτή φημίζεται για την ιστορία της και για την αξιέπαινη νεοκλασική αρχιτεκτονική που την διακατέχει καθώς υπάρχουν κτίρια τα οποία έχουν χτιστεί με ιδιαίτερη έμφαση στον σχεδιασμό τους επηρεασμένα από διάφορους πολιτισμούς της Ευρώπης. Έτσι και το κτίριο που μελετήσαμε το οποίο οικοδομήθηκε το 1907 από έναν Γάλλο αρχιτέκτονα και υπό την επίβλεψη του Ηλία Αγγελόπουλου για λογαριασμό του Αλέξανδρου Αφεντούλη.

Η πρόσοψη του κτιρίου επιμελήθηκε από τον Αριστείδη Μπαλάνο. Το κτίριο αποτελεί σήμα κατατεθέν για την ιστορία της χώρας μας και αποτελεί την πρώτη κατασκευή στην οποία εφαρμόστηκε χρήση οπλισμένου σκυροδέματος. Η λειτουργία του ήταν κατά κύριο λόγο ξενοδοχείο που μάλιστα άλλαξε διάφορα ονόματα όπως «Γεώργιος», «Ίλιον Παλλάς», «Σπλέντιτ» και «Ατενέ Παλλάς» ενώ στο ισόγειο του στεγαζόταν η «Πανελλήνιος Αγορά».

Το κτίριο μέχρι και το 1950 (μετά τον πόλεμο) αποτελούταν από έξι ορόφους μέχρι που έγινε μια ολική ανακαίνιση με επικεφαλής τον Εμμανουήλ Βουρέκα και υψώθηκε στους οχτώ. Η κατασκευή έχει χαρακτηριστεί ως κλασικομοντέρνα.



Εικόνα 3.2: Το κτίριο πριν την ανακαίνιση



Εικόνα 3.3: Το κτίριο το 2024

Σήμερα, έπειτα από συμφωνία της Eurobank με την οικογένεια Μπαμουτζαλί, οι εργασίες ανακαίνισης έχουν ξεκινήσει κανονικά με στόχο μέχρι το 2028 να είναι έτοιμοι να εγκατασταθούν. (<https://www.newmoney.gr/roh/palmos-oikonomias/business-stories/i-eurobank-agorase-me-e52-ekat-apo-tous-araves-to-athineon-melathron-pics/>)

3.2 Ανάλυση της υφιστάμενης κατασκευής

Το κτίριο το οποίο μελετάται, αποτελείται από 8 ορόφους επιπλέον του υπερυψωμένου ισόγειου, στο οποίο εδράζονται επώνυμα μαγαζιά. Είναι γωνιακό με πρόσοψη επί των οδών Κολοκοτρώνη και Σταδίου, ενώ όλοι οι όροφοι έχουν εξώστες και στις δύο πλευρές. Η ταράτσα είναι ανοιχτή χωρίς κάποιο σκέπαστρο παρά μόνο με μόνωση από ασφαλτόπανα. Η εξωτερική όψη του κτιρίου είναι καλά διατηρημένη και πρόσφατα ανακαινισμένη. Οι εργασίες οι οποίες έλαβαν χώρα κατά την διάρκεια των μετρήσεων αφορούν στον εσωτερικό πυρήνα της εγκατάστασης και συγκεκριμένα από τον πρώτο όροφο έως και την ταράτσα.

Η ανακαίνιση η οποία πραγματοποιήθηκε αφορά σε ολόκληρη την κατασκευή όπως υδραυλικά, ηλεκτρολογικά, εσωτερικά τοιχία, ψευδοροφές από γυψοσανίδα, πατώματα κλπ. Η κατάσταση που επικρατούσε κατά την περίοδο των μετρήσεων καθιστούσε αδύνατη ή τουλάχιστον αρκετά δύσκολη οποιαδήποτε άλλη προσπάθεια μέτρησης εκτός από αυτήν σαρωτή τύπου SLAM, μιας και οι συνθήκες ήταν πιο δύσκολες από αυτές ενός απλού εργοταξίου.

Το κτίριο εσωτερικά, αν και αρκετά παλαιό, ήταν καλά συντηρημένο μιας και δεν υπήρχε κάποια χαρακτηριστική διάβρωση οπλισμού γεγονός που πιθανώς οφείλεται στις μονώσεις που έχουν γίνει για αποφυγή της υγρασίας και στις επανειλημμένες ανακαινίσεις.



Εικόνα 3.4: Υφιστάμενη κατάσταση εσωτερικά του κτιρίου (1)



Εικόνα 3.5: Υφιστάμενη κατάσταση εσωτερικά του κτιρίου (2)



Εικόνα 3.6: Υφιστάμενη κατάσταση εσωτερικά του κτιρίου (3)



Εικόνα 3.7: Υφιστάμενη κατάσταση εσωτερικά του κτιρίου (4)



Εικόνα 3.8: Τρέχουσα κατάσταση εσωτερικά του κτιρίου (5)

3.3 Γεωδαιτική μεθοδολογία γεωμετρικής τεκμηρίωσης κατασκευών

Για την γεωμετρική τεκμηρίωση κατασκευών όπως το οποίο μελετήθηκε, είναι ιδιαίτερα σημαντική η κατάλληλη επιλογή τεχνικής και εξοπλισμού για την αποφυγή σφαλμάτων.

Ο εξοπλισμός που θα χρησιμοποιηθεί σε συνάρτηση με την τεχνική η οποία θα ακολουθηθεί εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την πολυπλοκότητα του αντικειμένου, την επιθυμητή ακρίβεια και το τελικό παραδοτέο προϊόν.

Η μέθοδος αποτύπωσης που εφαρμόστηκε είναι αυτή της σάρωσης με λέιζερ σκάνερ τύπου Slam με εξάρτηση από κάθε όροφο. Για τη σάρωση χρησιμοποιήθηκε ο σαρωτής λέιζερ NavVis VLX που είναι φορητός και αγγίζει ακρίβεια λίγων χιλιοστών.

Η τεχνική που χρησιμοποιήθηκε με την εξάρτηση για κάθε όροφο έδωσε την δυνατότητα να ελαχιστοποιηθούν τα σφάλματα που θα προέκυπταν εάν η εξάρτηση ήταν μια για όλους τους ορόφους, αν ξεκινούσε από τον πρώτο όροφο. Για την εξάρτηση της αποτύπωσης πέρα από την χρήση του NavVis VLX χρησιμοποιήθηκαν ο γεωδαιτικός σταθμός Topcon OS 200-series και ένας δέκτης Topcon GPS που έδωσε συντεταγμένες για τα σταθερά σημεία.



Εικόνα 3.9: Ο γεωδαιτικός σταθμός Topcon OS



Εικόνα 3.10: Ο δέκτης GNSS Topcon HYPER VR

3.4 Ίδρυση τρισδιάστατου γεωδαιτικού δικτύου και μεθοδολογία

Όπως προαναφέρθηκε, η ίδρυση του δικτύου έγινε με σκοπό την εξάρτηση από κάθε όροφο. Στόχος του γεωδαιτικού δικτύου είναι να προσανατολισθούν οι σαρώσεις οι οποίες έγιναν με το NavVis VLX, από το αυθαίρετο σύστημα του σαρωτή, στο σύστημα ΕΓΣΑ 87, ώστε να συνδεθούν οι στάσεις μεταξύ τους και να προσανατολισθεί ολόκληρο το μοντέλο. Ένας σαρωτής λέιζερ χρειάζεται τουλάχιστον 3 σημεία με γνωστές συντεταγμένες (x, y, z) για κάθε

επιφάνεια που σαρώνει ώστε να προσανατολιστεί στον χώρο. Αντίστοιχα για την εξάρτηση αυτών των σημείων δημιουργήθηκε ένα δίκτυο το οποίο με γνώμονα την αποφυγή μεγάλων σφαλμάτων έλαβε χώρα στον εξωτερικό χώρο του κτιρίου σε ακτίνα η οποία θα ήταν ορατή από τους εξώστες του κάθε ορόφου. Στη συνέχεια ο γεωδαιτικός σταθμός τοποθετήθηκε σε κάθε εξώστη και πραγματοποιήθηκαν παρατηρήσεις τόσο προς τα εσωτερικά, όσο και προς τα εξωτερικά σημεία.

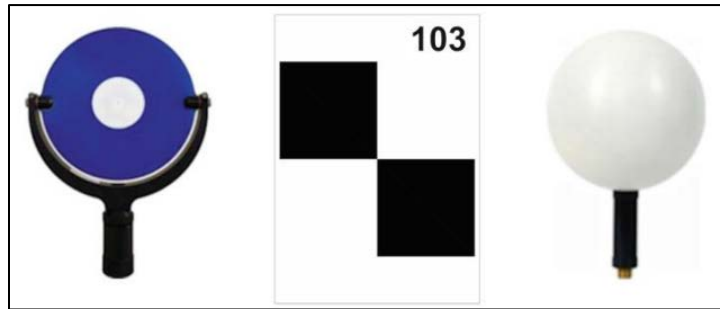
Οι εξωτερικές στάσεις του δικτύου τοποθετήθηκαν σε όσο το δυνατόν καλύτερη θέση για τους δέκτες GNSS. Δηλαδή, σε σημεία με ανοιχτό ορίζοντα και όσο το δυνατόν μακρύτερα από άλλα κτίρια τα οποία θα παρεμπόδιζαν το σήμα.

Για αυτή την δουλειά χρησιμοποιήθηκαν ειδικοί στόχοι, οι οποίοι βοηθούν στην συνένωση των νεφών. Τέτοιου είδους στόχοι είναι συνηθισμένοι σε αντίστοιχες εργασίες μιας και το χρώμα τους με την αντίθεση τους, τα καθιστά ευδιάκριτα στους αισθητήρες των σαρωτών.

Οι στόχοι είναι αυτά είναι σημαντικό να τοποθετούνται σε τέτοιες θέσεις στον χώρο, ώστε να καλύπτεται όλη την επιφάνεια του χώρου σε συνδυασμό με την επιθυμητή ορατότητα για τους σαρωτές από τις στάσεις τους και θέσεις οι οποίες δεν είναι συνευθειακές μεταξύ τους. Οι επίγειοι σαρωτές λέιζερ έχουν την ικανότητα να ανιχνεύουν τους στόχους μέσω της κάμερας τους και έπειτα στο λογισμικό επεξεργασίας τους να καθορίζουν την περιστροφή ($\Delta\omega, \Delta\phi, \Delta\kappa$) και μετάθεση ($\Delta x, \Delta y, \Delta z$) τους για την ακριβή συνένωση τους.

Σε αντίθεση με αυτά, το NavVis VLX μπορεί και σκανάρει – φωτογραφίζει μεμονωμένα τον κάθε στόχο κατά τη διάρκεια της σάρωσης, γεγονός που διευκολύνει την επεξεργασία στο γραφείο.

Η διαδικασία των μετρήσεων στο πεδίο τόσο της σάρωσης όσο και της μέτρησης του δικτύου διήρκεσαν μία μέρα. Η κατάσταση αυτή υπό διαφορετικές συνθήκες θα είχε καθυστερήσει πολύ περισσότερο τις μετρήσεις. Λέγοντας και αναφέροντας διαφορετικές συνθήκες εννοούμε την μέτρηση του κτιρίου χωρίς σαρωτή λέιζερ ή την σάρωση με επίγειο σαρωτή λέιζερ ή την ίδρυση ενός τελείως διαφορετικού δικτύου. Μάλιστα ο εξοπλισμός ο οποίος αξιοποιήθηκε μας βοήθησε και στην αποφυγή άσκοπης δουλειάς στο πεδίο μιας και ο ρομποτικός γεωδαιτικός σταθμός που χρησιμοποιήθηκε υπολόγιζε αυτόματα τις συντεταγμένες των σημείων που αποτύπωνε και ο σαρωτής NavVis VLX έχει σαφώς πιο εύκολη μετεπεξεργασία του νέφους των σημείων σε σύγκριση με άλλους.



Εικόνα 3.11: Παράδειγμα ειδικών στόχων (Fryskowska A., 2018)

3.4.1 Το εσωτερικό δίκτυο

Η ίδρυση του δικτύου χωρίστηκε σε δύο τομείς, στο εσωτερικό και στο εξωτερικό δίκτυο. Το εσωτερικό δίκτυο είναι αυτό από το οποίο προσανατολίσθηκαν οι σαρώσεις. Για κάθε όροφο χρειάζονται τουλάχιστον 3 στόχοι για να εξασφαλισθεί η γεωαναφορά του μοντέλου, τοποθετήθηκαν 2 ή 3 επιπλέον στόχοι ώστε να επιτευχθεί συνόρθωση αυτών.

Οι στόχοι τοποθετήθηκαν ομοιόμορφα σε όλη την επιφάνεια κάθε ορόφου. Προκειμένου να διευκολυνθεί η διαδικασία της γεωαναφοράς, οι στόχοι συμβολίσθηκαν με τρόπο που υποδηλώνουν τον όροφο και την αρίθμηση τους.

Η τελευταία παράμετρος για την σωστή προσέγγιση του εσωτερικού χώρου ήταν η σωστή εγκατάσταση των στάσεων του οργάνου για να μπορεί σε παράλληλο χρόνο να πραγματοποιεί την διαδικασία της οποισθοτομίας προς το εξωτερικό δίκτυο για τον προσδιορισμό της θέσης του και η ταυτόχρονη αποτύπωση των στόχων για προσδιορισμό των συντεταγμένων.



Εικόνα 3.12: Τοποθέτηση και αρίθμηση των στόχων

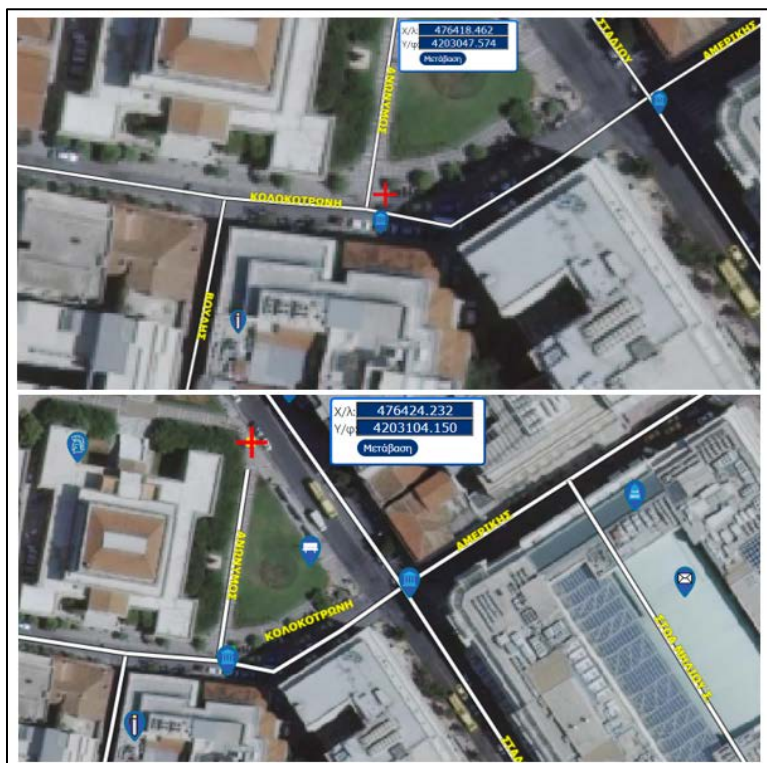
3.5 Εξωτερικό δίκτυο

Η ίδρυση του εξωτερικού δικτύου αποσκοπεί στον προσδιορισμό των συντεταγμένων από τις οποίες έγινε η μέτρηση του εξωτερικού δικτύου. Ο προσδιορισμός των συντεταγμένων έγινε με γεωδαιτικό δέκτη GNSS και αναφέρονται στο σύστημα ΕΓΣΑ 87.

Το πλεονέκτημα του συγκεκριμένου κτιρίου, είναι ότι βρίσκεται σε διασταύρωση οδών και απέναντι από αυτό υπάρχει μεγάλη πλατεία. Συνεπώς είναι δυνατή η χρήση δεκτών GNSS, από άποψης ορατότητας.

Τοποθετήθηκαν αυτοκόλλητοι στόχοι σε τέσσερις κολώνες φωτισμού, οι οποίες μετρήθηκαν από τα 2 τριγωνομετρικά σημεία. Οι στόχοι ήταν ορατοί και από τις δύο προσόψεις του κτιρίου. Επιπλέον κριτήριο στην επιλογή των θέσεων, ήταν η ομοιόμορφη κατανομή των σημείων γύρω από το κτίριο και σε υπό γωνίες ώστε να είναι όσο πιο δυνατό ευδιάκριτες από όλους τους ορόφους του κτιρίου.

Γενικότερα στόχος σε αυτού του είδους τις εργασίες είναι να ιδρύνονται στάσεις σε μέρη τα οποία θα παραμένουν αμετακίνητα καθ' όλη τη διάρκεια του έργου και ανεπηρέαστα από τυχόν μικρομετακινήσεις και προφανώς να είναι ορατά από τις στάσεις που θα χρησιμοποιηθούν για τις αποτυπώσεις.



Εικόνα 3.13: Η θέση και οι συντεταγμένες των σημείων που ιδρύθηκαν

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Επεξεργασία σαρώσεων και μοντελοποίηση

4.1 Επεξεργασία παρατηρήσεων και νέφους σημείων

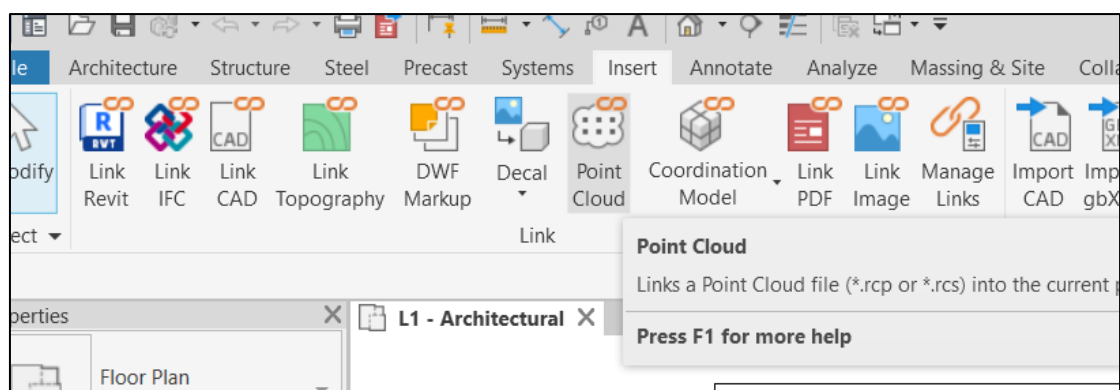
Μετά τη συλλογή δεδομένων στο πεδίο, ακολουθεί η επεξεργασία του με τα κατάλληλα εργαλεία - λογισμικά. Από την επίλυση των μετρήσεων GNSS προέκυψαν οι συντεταγμένες των τριγωνομετρικών σημείων, ενώ από την επίλυση των μετρήσεων με το γεωδαιτικό σταθμό προέκυψαν οι συντεταγμένες των φώτοσταθερών εξαρτημένα από το σύστημα ΕΓΣΑ 87.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η επεξεργασία των σαρώσεων, η οποία ήταν διαφορετική για κάθε όροφο. Για την πιο εύκολη διαχείριση των σαρώσεων στο λογισμικό του Revit ασχοληθήκαμε και με το λογισμικό του Recap το οποίο μας βοήθησε να συγχωνεύσουμε τις σαρώσεις όλων των ορόφων σε ένα ενιαίο για την πιο εύκολη διαχείριση του στο κομμάτι της σχεδίασης. Οι ενέργειες που έγιναν σε αυτό το λογισμικό ήταν συγκεκριμένες και αυτοματοποιημένες.

Ένας ακόμη λόγος για τον οποίο η σάρωση με το NavVis VLX είναι ακόμα πιο απλή συγκριτικά με άλλους σαρωτές είναι το γεγονός ότι το καθάρισμα του νέφους παράλληλα με την γεωαναφορά του γίνεται αυτοματοποιημένα από την εταιρεία του NavVis μέσα από μια πλατφόρμα της, όπου γίνεται η εισαγωγή των συντεταγμένων και του αρχείου του σκάνερ εξάγοντας έτσι ολοκληρωμένη τη σάρωση για οποιαδήποτε χρήση.

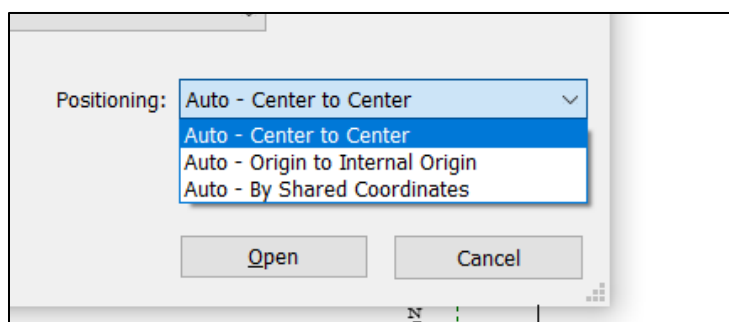
4.2 Εισαγωγή νέφους στο Revit

Η πρώτη εργασία που γίνεται για την παραγωγή ενός έργου σε ένα λογισμικό όπως το Revit για τη δημιουργία ενός BIM μοντέλου είναι η εισαγωγή του νέφους μετά το πέρας της γεωαναφοράς και της συγχώνευσης των σαρώσεων όπως αναφέρθηκε προηγουμένως.



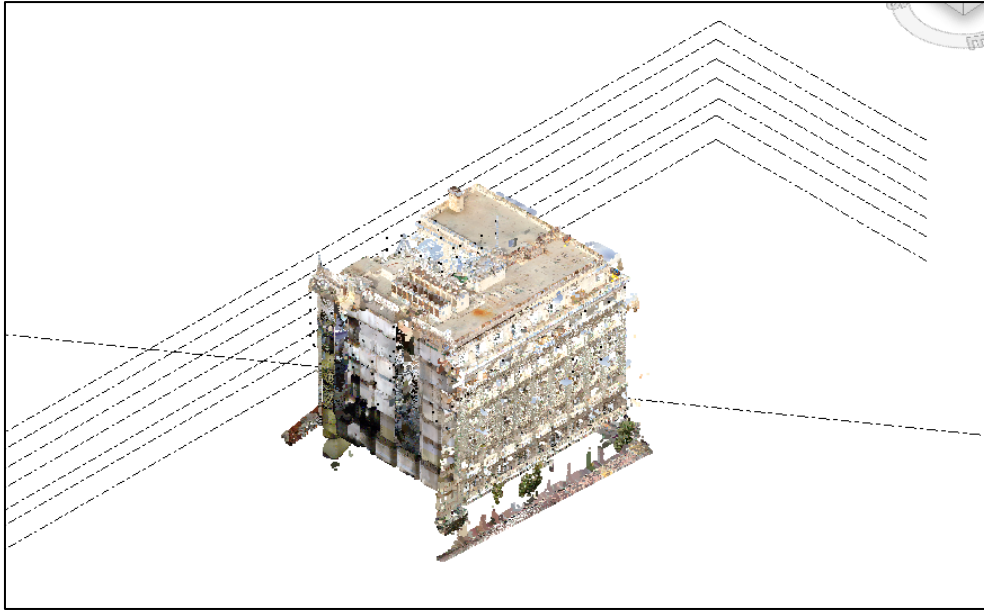
Εικόνα 4.1: Εισαγωγή νέφους στο λογισμικό Revit

Μέσα από την επιλογή του Insert → Point Cloud δίνεται η δυνατότητα να εισαχθεί το .rcp αρχείο με τρεις διαφορετικούς τρόπους. Οι τρεις αυτές επιλογές σχετίζονται με το πώς να εισαχθεί το νέφος των σημείων στον χώρο. Η πρώτη επιλογή είναι η **Center to Center** η οποία αφορά την εισαγωγή του κέντρου του νέφους με αυτήν του κέντρου του Revit στον χώρο. Η δεύτερη επιλογή είναι η **Origin to Internal Origin** που αφορά την εισαγωγή σε ένα αυθαίρετο σύστημα και η τρίτη και αυτή η οποία τελικά χρησιμοποιήθηκε είναι η **By Shared Coordinates** όπου το νέφος κατανέμεται σύμφωνα με τις πραγματικές του συντεταγμένες.



Εικόνα 4.2: Τοποθέτηση νέφους σημείων στο Revit

Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, από την εσωτερική αποτύπωση που έκανε ο σαρωτής έγινε δυνατό από τους εξώστες του κτιρίου (όπου υπήρχαν) να συγκεντρωθεί πληροφορία και για την όψη του κτιρίου. Στην νοτιοανατολική όψη του κτιρίου όπως φαίνεται, δεν αποδίδεται τέτοιου είδους πληροφορία αφού το κτίριο μας βρίσκεται σε μεσοτοιχεία με άλλο με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η καταγραφή πληροφορίας, για το πάχος του τοίχου.

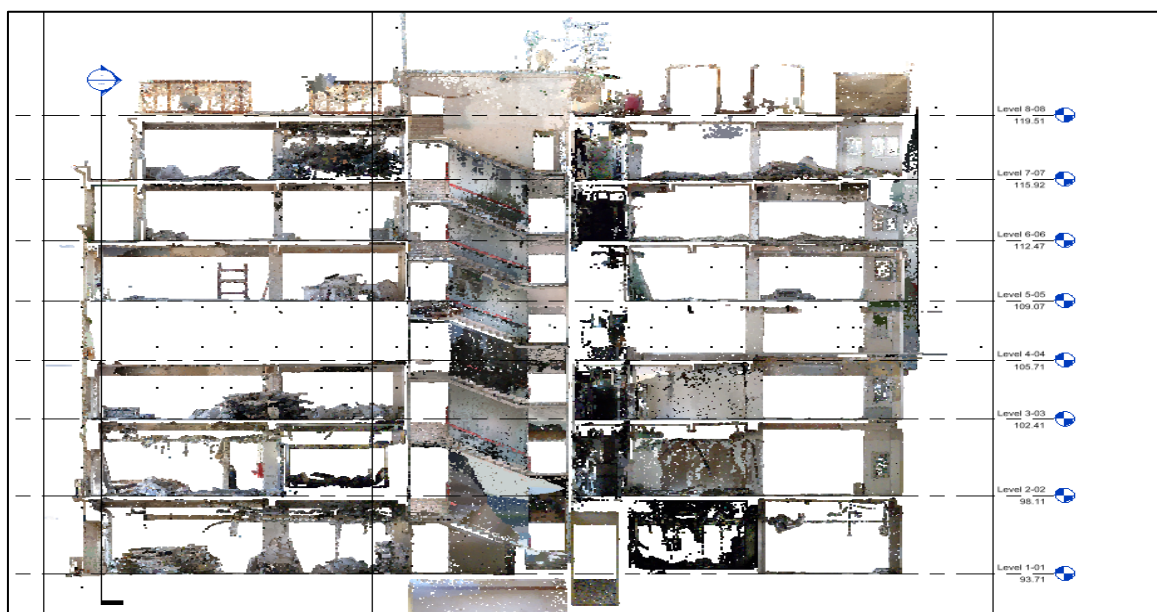


Εικόνα 4.3: Το κτίριο μέσα από το νέφος σημείων στο Revit

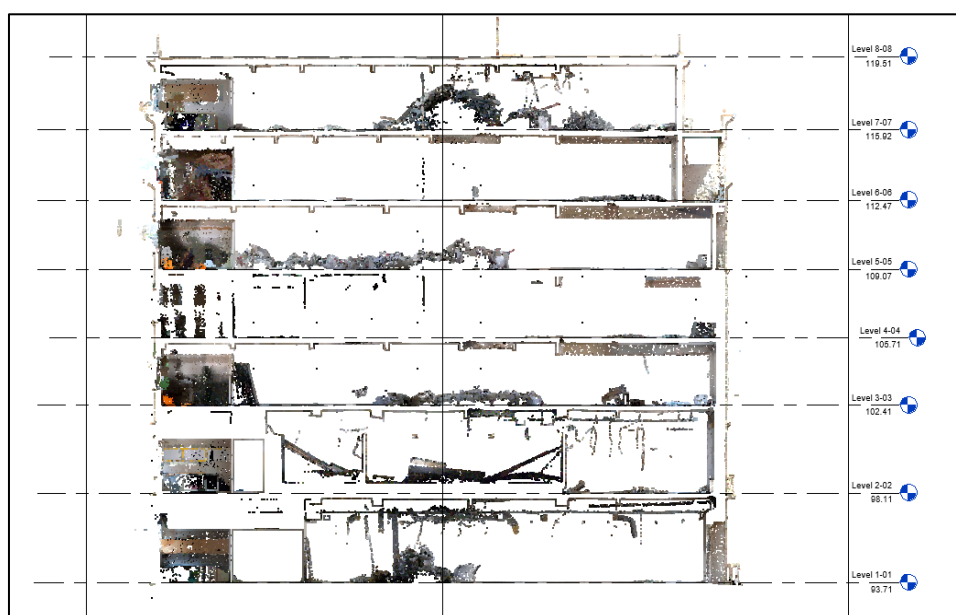
4.2.1 Δημιουργία επιπέδων

Για την μοντελοποίηση του νέφους υπάρχουν κάποιες βασικές παρεμβάσεις που πρέπει να γίνονται για την διευκόλυνση της διαδικασίας. Το πρώτο βήμα είναι η στροφή του μοντέλου σε ένα ορθοκανόνικο σύστημα έτσι ώστε ο σχεδιασμός των αντικειμένων να είναι όσο το δυνατόν πιο εύκολος για τον χρήστη και παράλληλα ακριβής σε σχέση με τις προδιαγραφές του σαρωμένου έργου. Το βήμα αυτό αποτελεί κανόνα για έναν έμπειρο χρήστη του λογισμικού μιας και σκοπός σε κάθε τέτοια μελέτη είναι η απόδοση της σωστής γεωμετρίας του αντικειμένου που σχεδιάζεται. Με την παράλειψη της συγκεκριμένης ενέργειας και απόδοση του μοντέλου στραμμένο ως προς τον πραγματικό Βορρά ο χρήστης καταλήγει να μην μπορεί να σχεδιάσει με ακρίβεια με απόρροια την παραγωγή ενός αδύναμου μοντέλου.

Στη συνέχεια για τον σχεδιασμό του τρισδιάστατου μοντέλου το κτίριο αντιμετωπίστηκε μεμονωμένα για κάθε διαφορετικό όροφο ξεχωριστά. Αφού ρυθμίστηκε ο βορρά του κτιρίου δημιουργήθηκε η κύρια τομή κάθετα του έργου. Μέσα από την τομή του έργου και την επιλογή των επιπέδων (level) ορίστηκαν οριζόντιες τομές οι οποίες οριοθέτησαν τους ορόφους με σκοπό τη δημιουργία ξεχωριστών κατόψεων για κάθε όροφο. Οι τομές των επιπέδων τοποθετήθηκαν σε σχέση με τα όρια των πλακών με την καλύτερη δυνατή επικάλυψη.



Εικόνα 4.4: Τομή του κτιρίου (1)

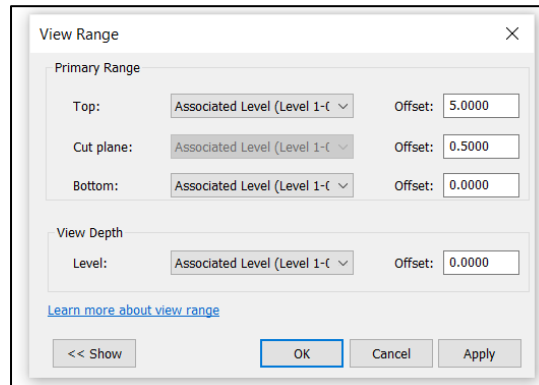


Εικόνα 4.5: Τομή του κτιρίου (2)

4.2.2 Ορατότητα νέφους σημείων

Η ορατότητα του νέφους (visibility) είναι μια επιλογή η οποία εξυπηρετεί ιδιαίτερα τον χρήστη στη διαχείριση του όγκου των εκατομμυρίων σημείων του νέφους. Η διαμόρφωση της προβολής του νέφους διαφέρει ανάλογα την πυκνότητα με την οποία έχει προγραμματιστεί να σαρώνει ο κάθε σαρωτής.

Για παράδειγμα, ένας σαρωτής τύπου RTC 360 είναι ρυθμισμένος να αποτυπώνει σε ήπια, μέτρια ή έντονη πυκνότητα. Μέσα από το Revit υπάρχει η δυνατότητα της ρύθμισης της πυκνότητας του νέφους, μέσω της επιλογής cut plane. Η επιλογή cut plane είναι κατάλληλη για τον καθορισμό της περικοπής της πυκνότητας του νέφους στο ύψος που μας ενδιαφέρει. Πιο συγκεκριμένα μέσω των ρυθμίσεων, είναι δυνατό ο χρήστης να εστιάσει στο ύψος στο οποίο θέλει να σχεδιάσει, απομονώνοντας το υπόλοιπο νέφος που βρίσκεται εκτός του επιθυμητού εύρους.



Εικόνα 4.6: Παράθυρο προσαρμογής εύρους ορατότητας του νέφους

4.3 Μοντελοποίηση του κτιρίου

Αφού γίνει η εισαγωγή του νέφους και γίνουν οι κατάλληλες ρυθμίσεις, σειρά έχει η μοντελοποίηση του κτιρίου. Η σχεδίαση του κτιρίου ξεκίνησε από τον πρώτο όροφο και έφτασε έως τον όγδοο.

Για την σωστή τοποθέτηση των σχεδιαστικών αντικειμένων στις ακριβείς οριζοντιογραφικές θέσεις τους έγινε αντιστοίχιση με τις κατόψεις, ενώ από τις τομές αντλήθηκε η υψομετρική πληροφορία.

Ένα ακόμη χρήσιμο εργαλείο είναι η κάμερα του Revit. Η κάμερα λειτουργεί σε τρεις διαστάσεις και ο χρήστης έχει την ευελιξία να περιηγηθεί. Η κάμερα τοποθετείται στις κατόψεις και μάλιστα δίνεται η δυνατότητα της περιήγησης μέσα από μια διαδρομή που μπορεί να καθοριστεί έχοντας σαν αποτέλεσμα ένα κολλάζ φωτογραφιών σαν βίντεο.



Εικόνα 4.7: Τοποθέτηση της κάμερας στον χώρο στο περιβάλλον του Revit



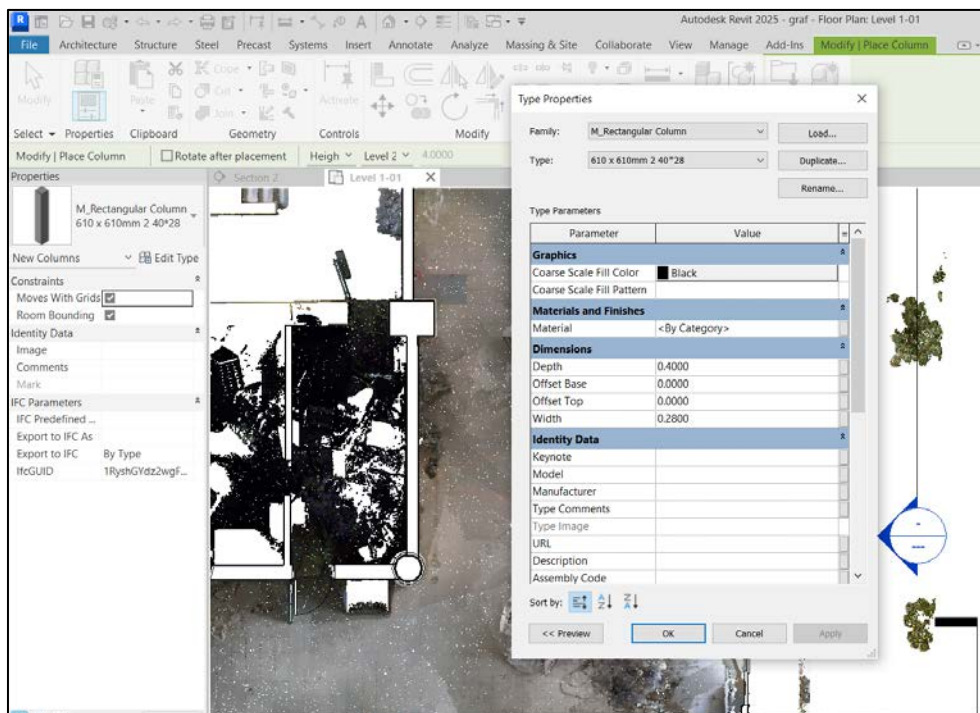
Εικόνα 4.8: Αποψη από την κάμερα του Revit

4.3.1 Κολώνες-Τοιχεία-Πλάκες

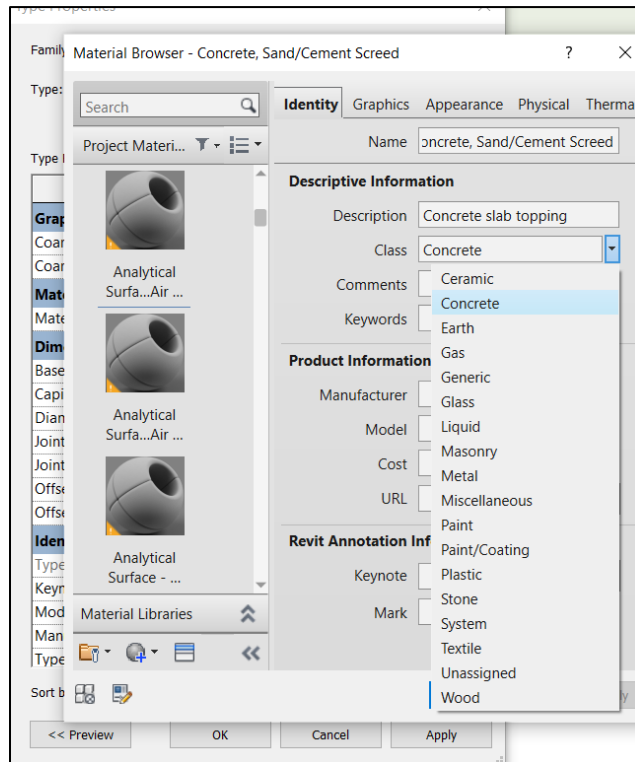
Το πρώτο στάδιο της σχεδίασης του κτιρίου είναι η τοποθέτηση των κολώνων σε όλο το μήκος του. Το κτίριο απαρτίζεται τόσο από παραλληλόγραμμες τόσο και από κυκλικές κολώνες. Σε όλη την πορεία του έργου, οι κολώνες σχεδιάστηκαν σε κάθε όροφο μεμονωμένα και με τις διαστάσεις τις οποίες είχαν σε κάθε όροφο. Ο λόγος για τον οποίο αναφέρεται αυτό είναι διότι το revit δίνει την δυνατότητα να γίνει ουσιαστικά επέκταση

των στοιχείων. Μια τέτοια τεχνική προφανώς δεν είναι εύλογη για ένα σοβαρό αποτέλεσμα αποτύπωσης αφήνοντας τελείως τις τυχόν αστοχίες και βασίζοντας όλη την αποτύπωση σε ένα επίπεδο.

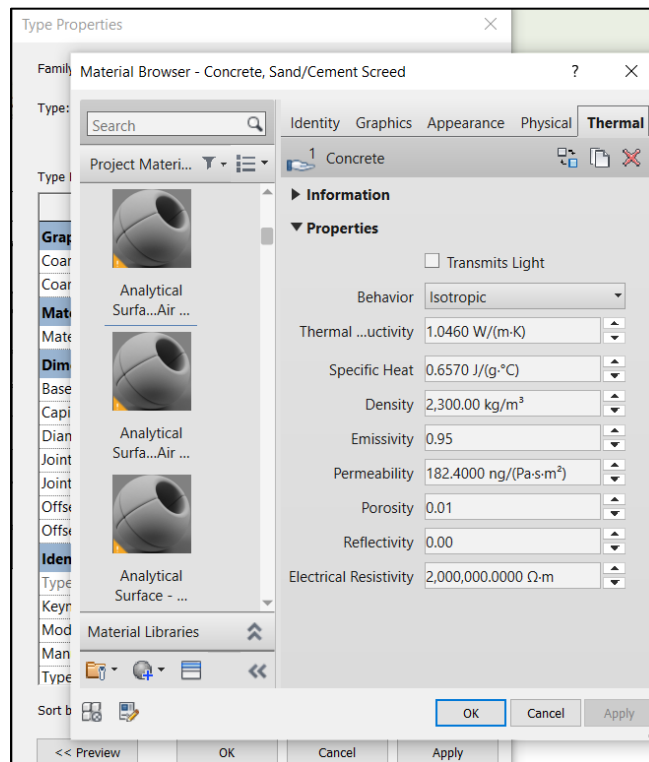
Με αυτή τη λογική ξεκίνησε η σχεδίαση των δομικών στοιχείων του κτιρίου. Όπως είναι λογικό, δεν είχαν όλες οι κολώνες ίδιες διαστάσεις γεγονός που οδήγησε στο να δημιουργείται νέο αντικείμενο για κάθε κολώνα. Η δημιουργία αυτών έγινε από την επιλογή των αρχιτεκτονικών κολώνων και συγκεκριμένα στο edit types. Το revit από μόνο του έχει κάποιους βασικούς θεμελιώδεις τύπους κολώνων με βασικές διαστάσεις, επί των οποίων γίνεται κάθε φορά η επεξεργασία ανάλογα τα υλικά κατασκευής, τις διαστάσεις κλπ. δημιουργώντας αντίγραφα. Ομοίως για τις κυκλικές κολώνες με την διαφορά ότι εκεί διαφοροποιείται η διάμετρος και όχι το μήκος και το πλάτος.



Εικόνα 4.9: Διαστασιολόγηση υποστηλώματος



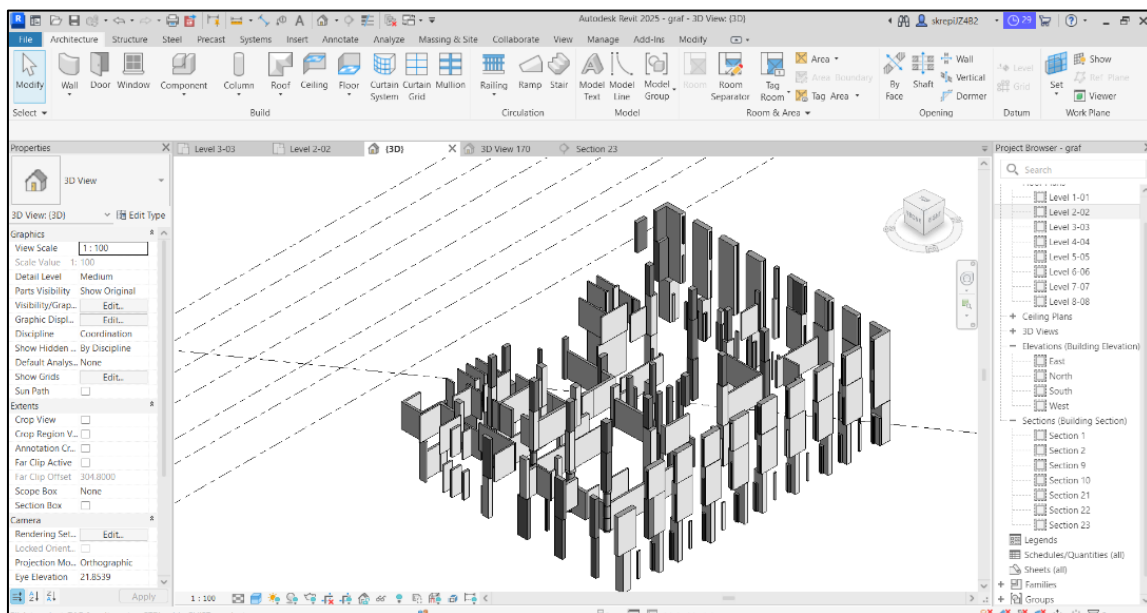
Εικόνα 4.10: Επιλογή υλικών απόδοσης



Εικόνα 4.11: Ρύθμιση πυκνοτήτων και ιδιοτήτων των υλικών

Η διαμόρφωση των υλικών και οι γενικότερες πληροφορίες σχετικά με τις ιδιότητες των υλικών είναι ιδιαίτερα κρίσιμες για την παραγωγή ενός BIM μοντέλου. Τέτοια στοιχεία είναι σημαντικά για την συνεργασία μηχανικών από διάφορους κλάδους με σκοπό την παραγωγή ενός βιώσιμου ενεργειακά κτιρίου με όσο το δυνατόν μικρότερο κόστος.

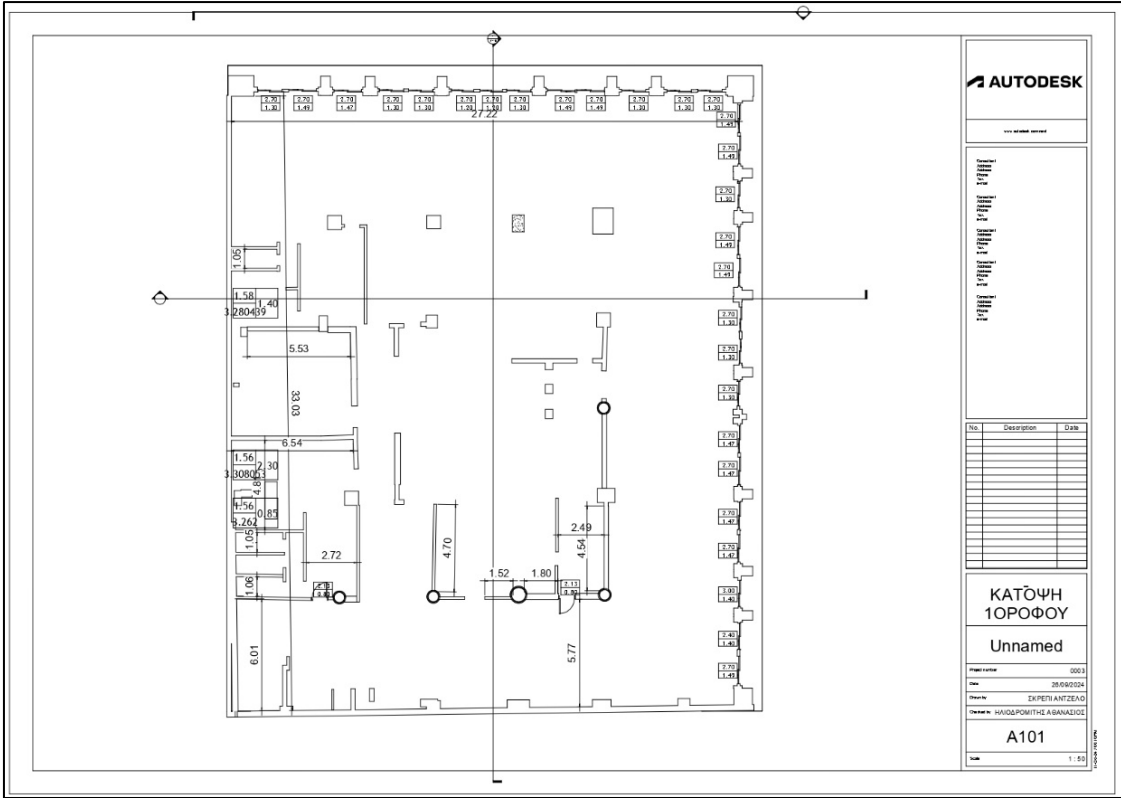
Με την ίδια λογική σχεδιάστηκαν και τα τοιχία του κτιρίου με γνώμονα το νέφος των σημείων ανεξαρτήτως της θεωρητικής καθετότητας τους. Στόχος ήταν να δοθεί η καλύτερη δυνατή θέση των σημείων. Ο σχεδιασμός των πλακών πραγματοποιήθηκε μέσα από την επιλογή floor και συγκεκριμένα architectural όπου επιλέχθηκε το είδος της πλάκας και το πάχος το οποίο είχε το δάπεδο.



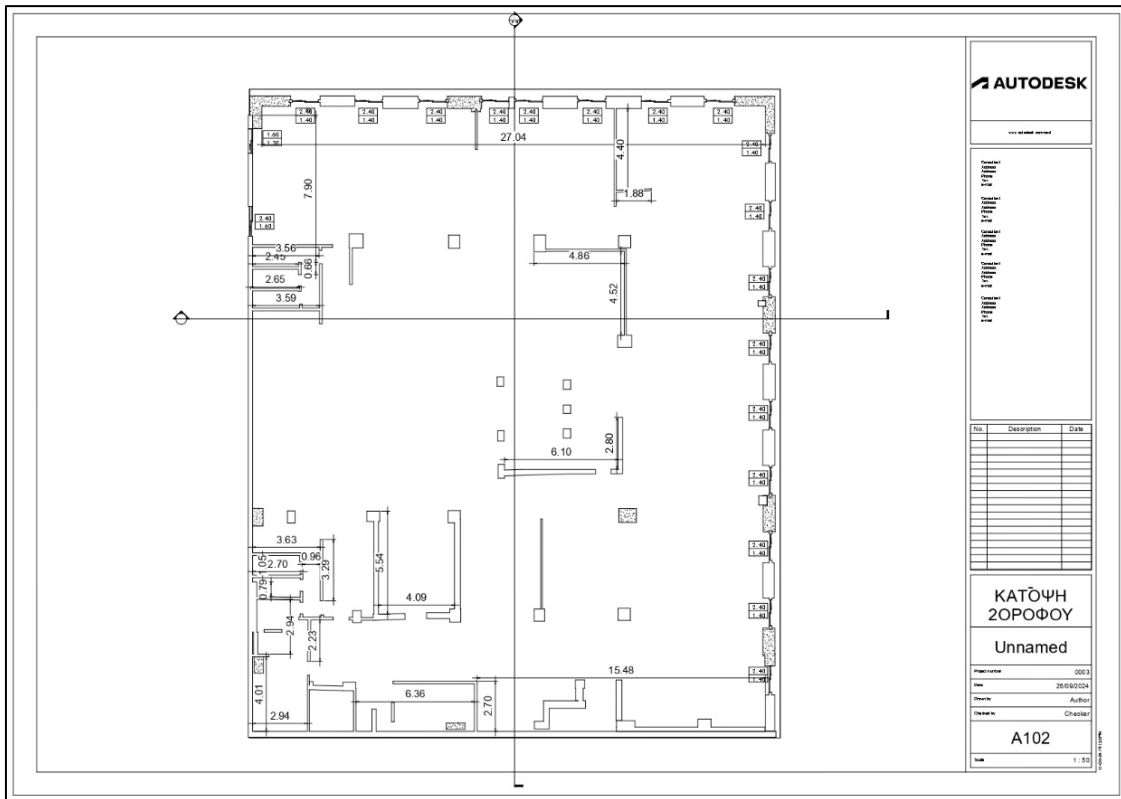
Εικόνα 4.12: Πορεία εργασιών και σύσταση υποστηλωμάτων

4.4 Εξαγωγή τελικού προϊόντος(τομές,όψεις,κατόψεις,3D)

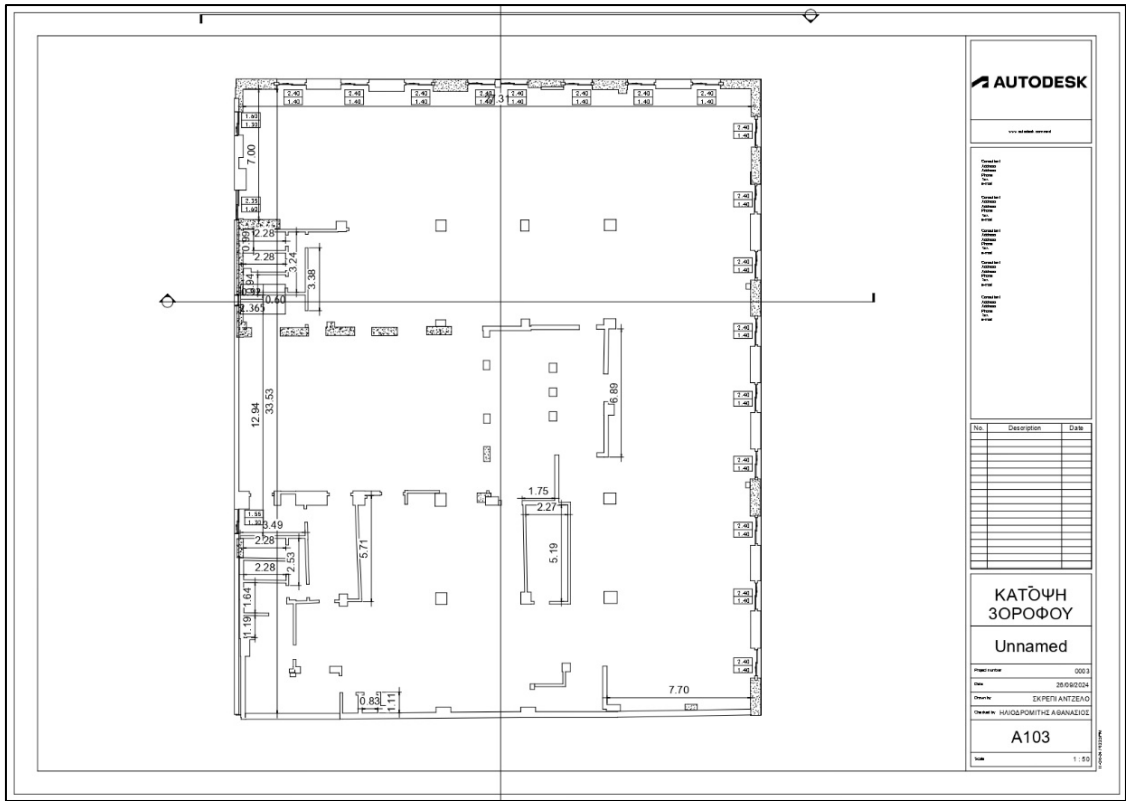
Παρακάτω παρουσιάζονται τα αρχιτεκτονικά σχέδια τα οποία εκτυπώθηκαν σε κλίμακα 1:50. Οι πινακίδες στις οποίες αναγράφονται οι πληροφορίες των σχεδίων είναι προϊόν του Revit.



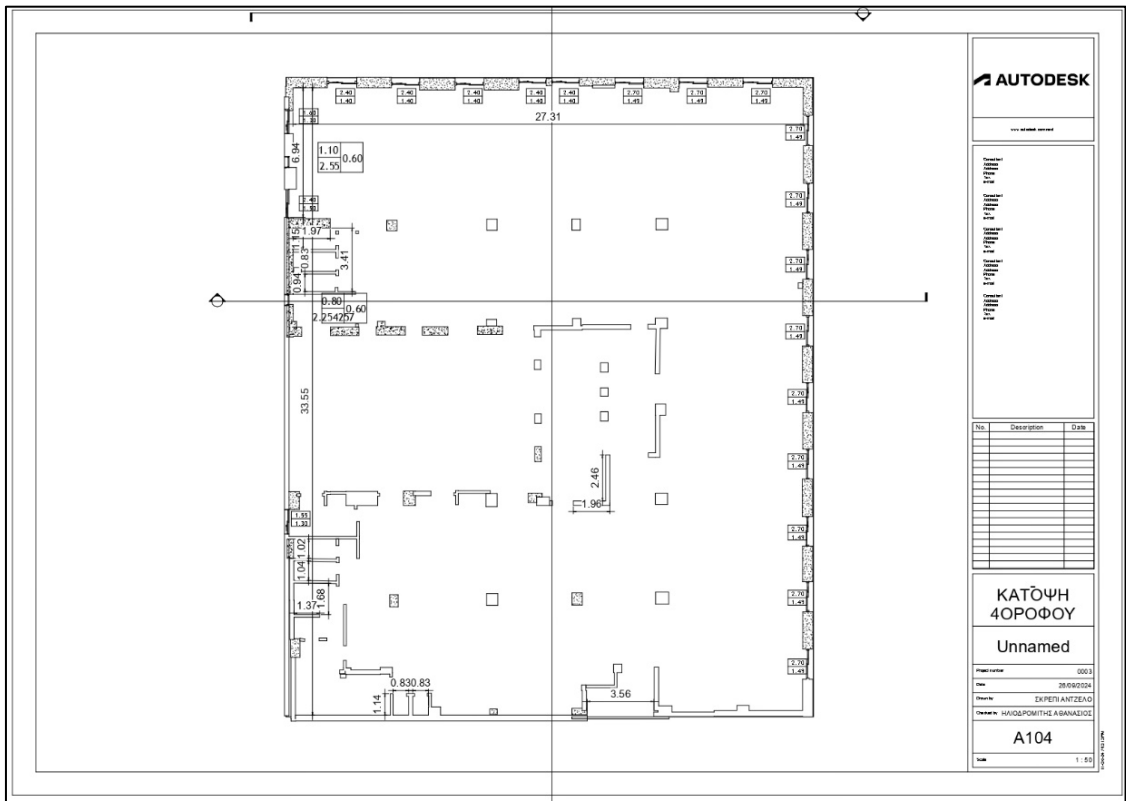
Εικόνα 4.13: Κατόψη 1^{ου} ορόφου



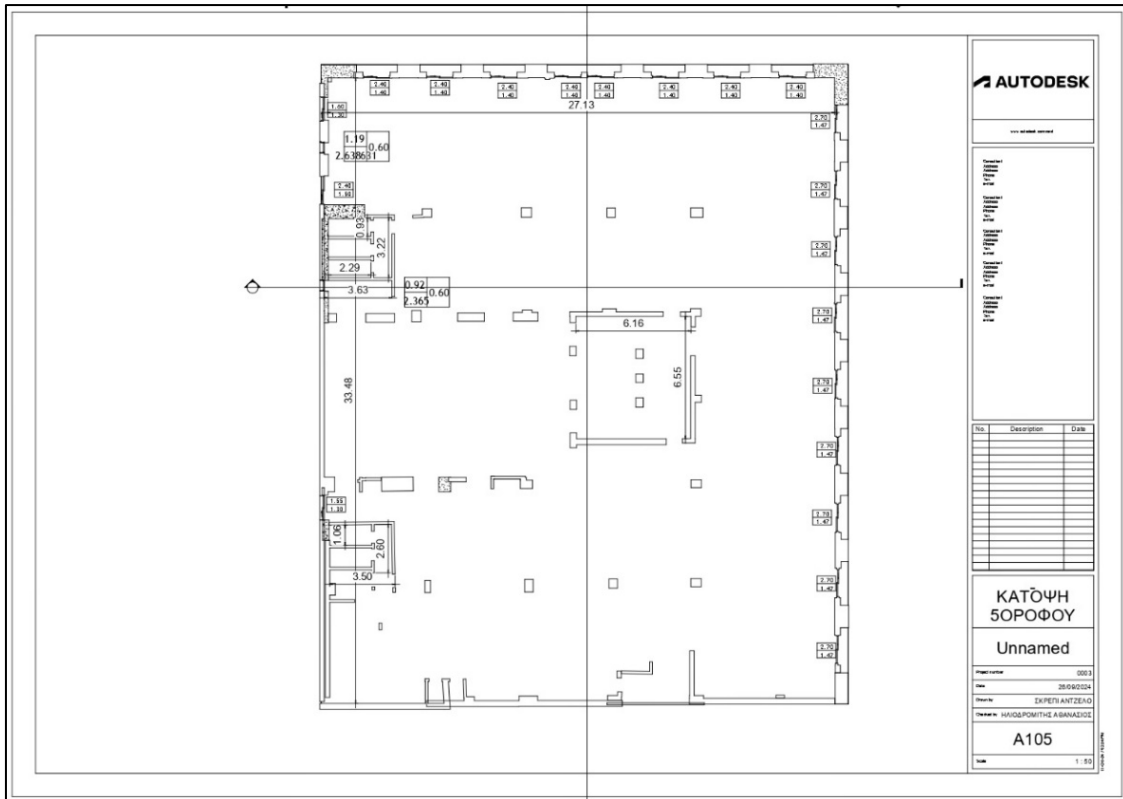
Εικόνα 4.14: Κατόψη 2^{ου} ορόφου



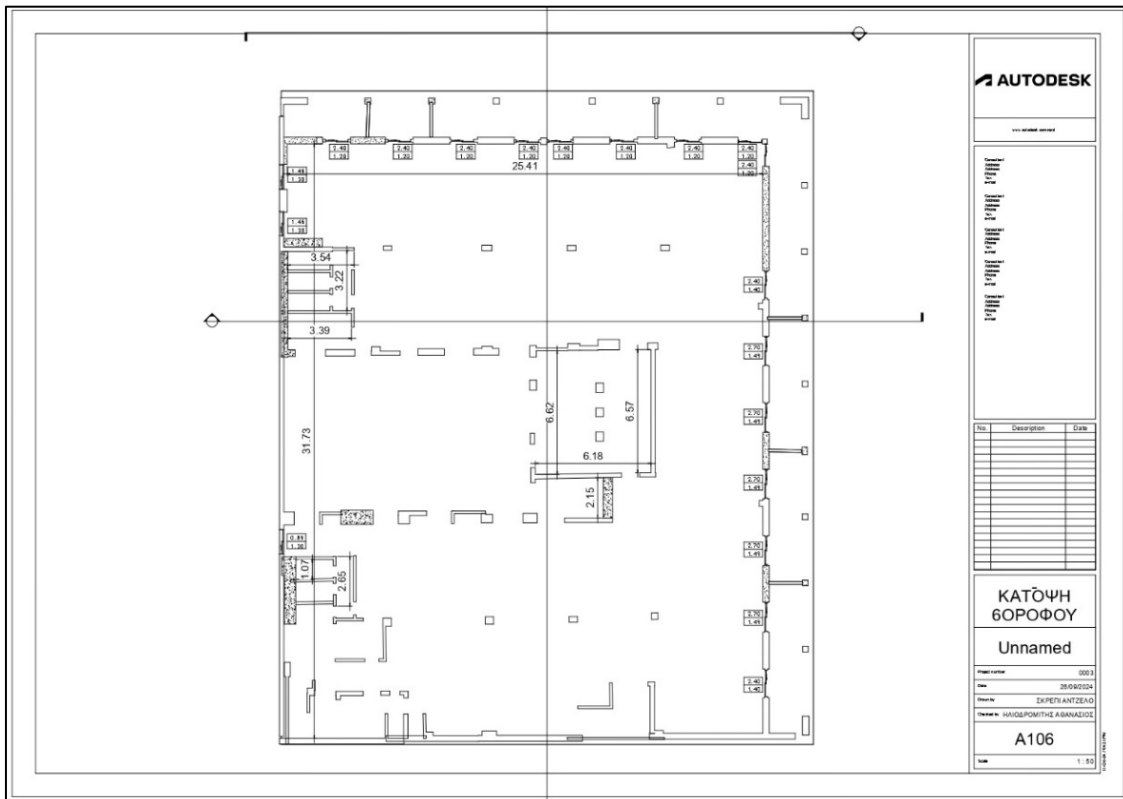
Εικόνα 4.15: Κατόψη 3ου ορόφου



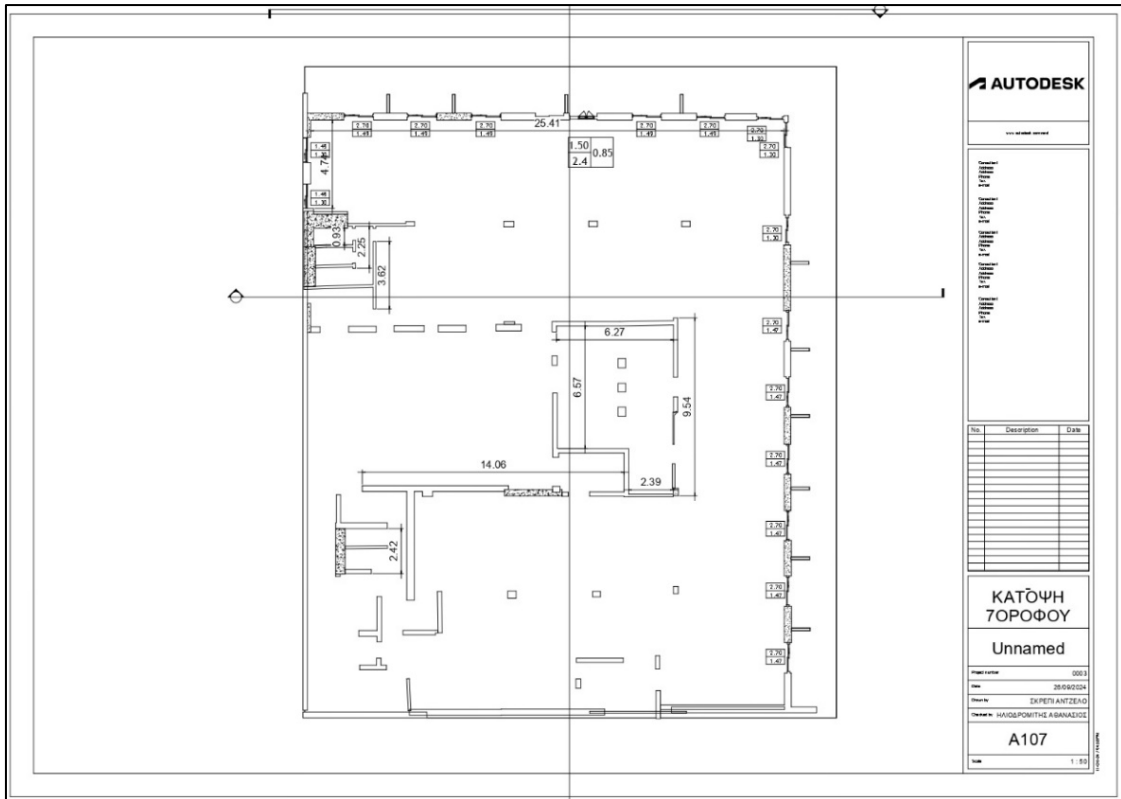
Εικόνα 4.16: Κατόψη 4ου ορόφου



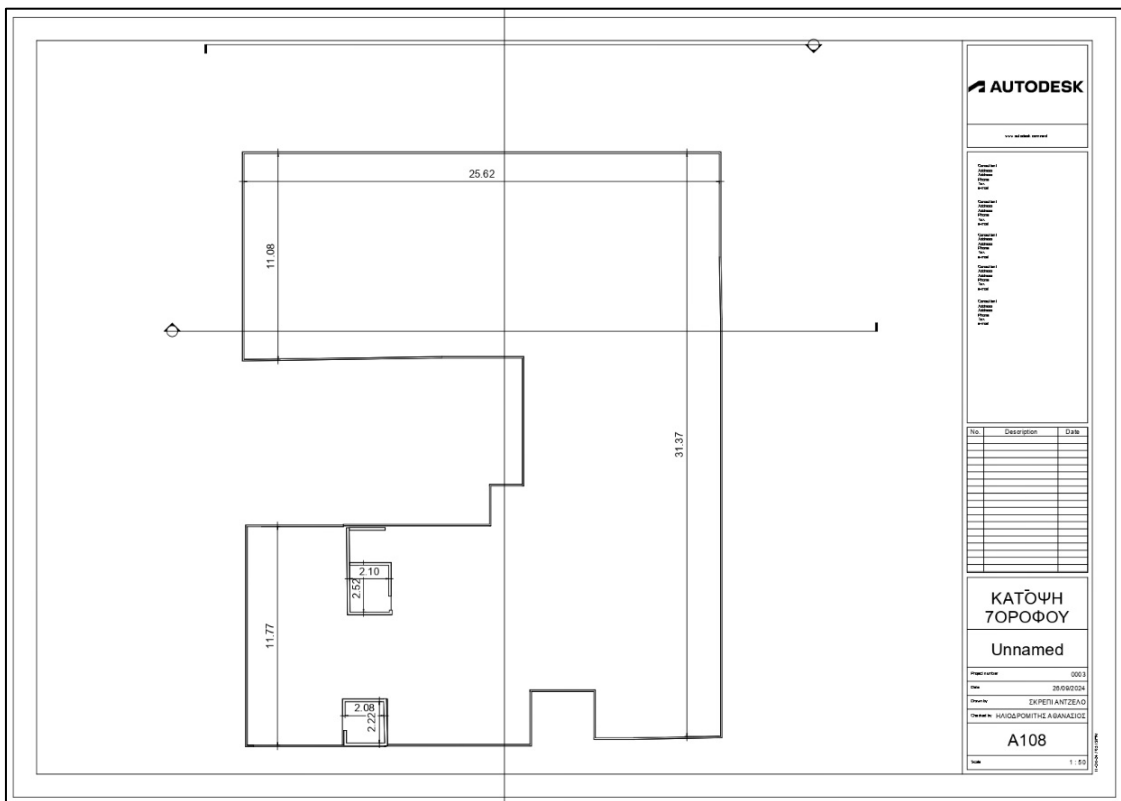
Εικόνα 4.17: Κατόψη 5ου ορόφου



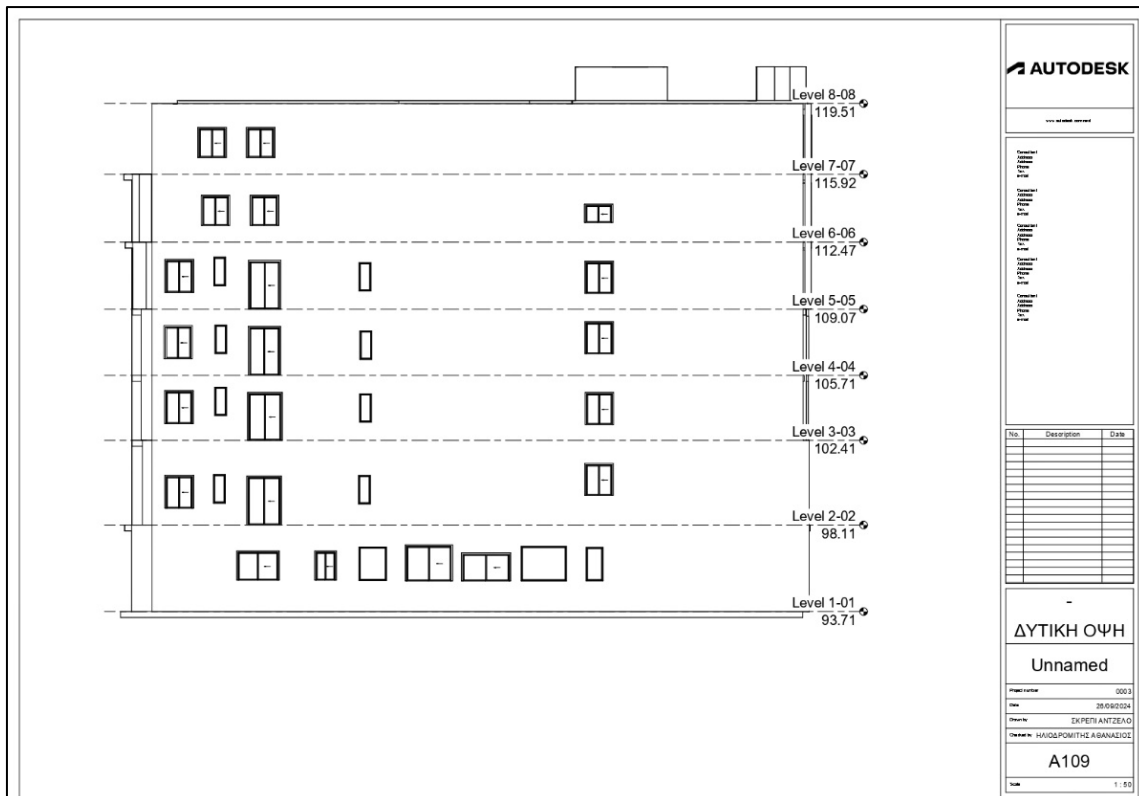
Εικόνα 4.18: Κατόψη 6ου ορόφου



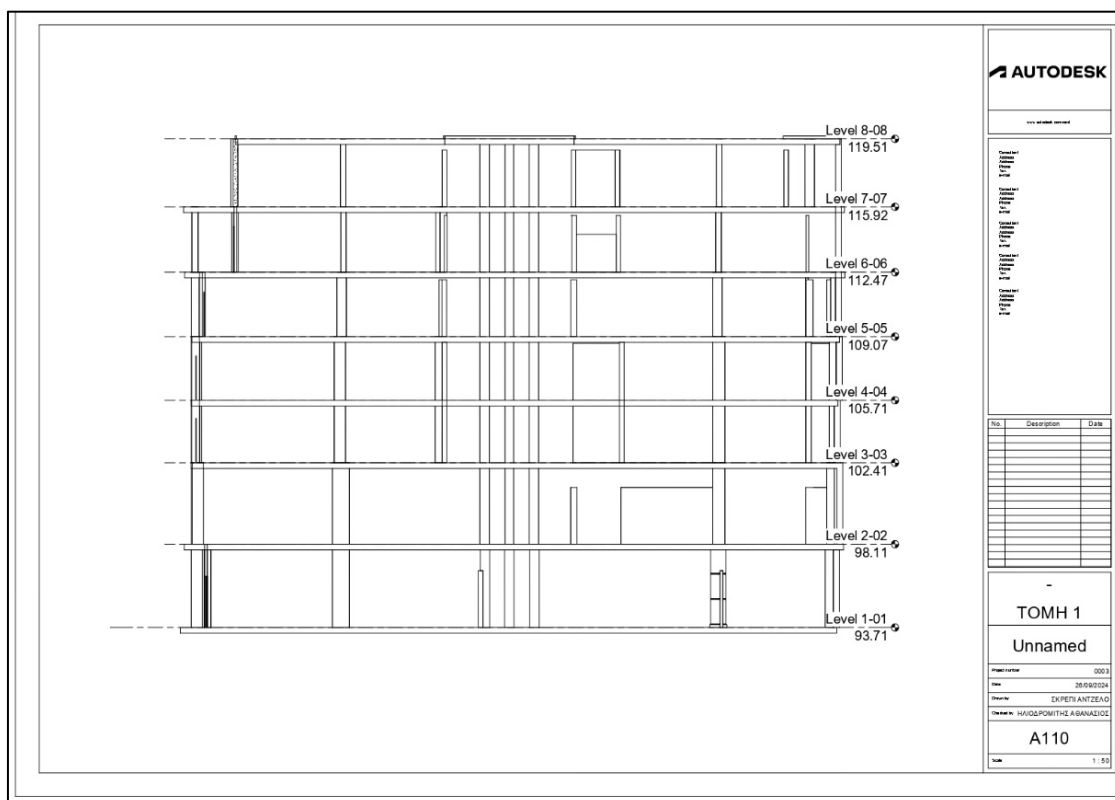
Εικόνα 4.19: Κατόψη 7ου ορόφου



Εικόνα 4.20: Κατόψη δόματος



Εικόνα 4.21: Δυτική όψη κτιρίου



Εικόνα 4.22: Τομή A-A'



Εικόνα 4.23: Τρισδιάστατο μοντέλο του κτιρίου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Συμπεράσματα - Προτάσεις

5.1 Συμπεράσματα

Η διπλωματική εργασία που εκπονήθηκε ανέδειξε τη σημασία της χρήσης των σαρωτών λέιζερ στην κατασκευαστική βιομηχανία και τον καθοριστικό τους ρόλο στη δημιουργία ακριβών και λεπτομερών BIM μοντέλων. Η σάρωση λέιζερ προσφέρει εξαιρετικά υψηλή ακρίβεια και αποτύπωση της πραγματικότητας, επιτρέποντας τη δημιουργία ψηφιακών τρισδιάστατων μοντέλων με γεωμετρική και χωρική ακρίβεια. Μέσα από τη διαδικασία μοντελοποίησης στο λογισμικό Revit, επιβεβαιώθηκε ότι η ενσωμάτωση δεδομένων από σάρωση λέιζερ διευκολύνει σημαντικά τη διαδικασία σχεδιασμού και ανάλυσης, προσφέροντας στους μηχανικούς και τους αρχιτέκτονες τη δυνατότητα να διαχειριστούν αποτελεσματικότερα πολύπλοκα έργα.

Η παραγωγή ενός BIM μοντέλου από δεδομένα σάρωσης επιτρέπει την ενσωμάτωση πλήθους πληροφοριών, όπως διαστάσεις, υλικά, κόστη και άλλες κρίσιμες παραμέτρους του έργου. Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα της χρήσης σαρωτών λέιζερ είναι η μείωση του χρόνου αποτύπωσης και η βελτίωση της ακρίβειας σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους, όπως γεωδαιτικοί σταθμοί ή μετροταινίες. Αυτό οδηγεί σε καλύτερο προγραμματισμό και συντονισμό των έργων, καθώς και στην αποφυγή σφαλμάτων που μπορεί να προκύψουν κατά τη διάρκεια της υλοποίησης. Επιπλέον, η χρήση του Revit για τη δημιουργία BIM μοντέλων προσέφερε ευελιξία στην οπτικοποίηση και ανάλυση των δεδομένων. Η δυνατότητα ενσωμάτωσης σημείων σάρωσης και η μετατροπή τους σε λεπτομερή τρισδιάστατα μοντέλα παρέχει στους μελετητές ένα ισχυρό εργαλείο για τη διαχείριση του κύκλου ζωής των κατασκευών, από τον σχεδιασμό μέχρι τη συντήρηση και τη λειτουργία τους.

Τέλος, η χρήση σαρωτών λέιζερ σε συνδυασμό με το Revit για την παραγωγή BIM μοντέλων μπορεί να αποτελέσει έναν πολύτιμο σύμμαχο στη βελτιστοποίηση της διαδικασίας ανακαίνισης και αποκατάστασης υπαρχόντων κτιρίων, καθώς επιτρέπει την ακριβή αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασης και τον σχεδιασμό προσαρμογών με βάση ακριβή δεδομένα.

Συμπερασματικά, η υιοθέτηση των σαρωτών λέιζερ και του Revit στη δημιουργία BIM μοντέλων προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα στον τομέα της μηχανικής και της αρχιτεκτονικής, καθιστώντας τη διαδικασία σχεδιασμού πιο αξιόπιστη, ακριβή και αποδοτική.

Η αποτύπωση και μετέπειτα η σχεδίαση δισδιάστατων και τρισδιάστατων μοντέλων μέσα από το BIM (Building Information Modeling) αποτελεί πλέον έναν σύγχρονο τρόπο διαχείρισης μελετών μεγάλου μεγέθους που αποσκοπούν στην δημιουργία άρτιων και αξιόπιστων έργων με υψηλές προδιαγραφές. Στόχος είναι βέβαια τέτοιου είδους εργασίες να πραγματοποιούνται ακόμα και σε έργα μικρότερης κλίμακας και να αποτελέσουν κανόνα σύμφωνα με διεθνή πρότυπα.

Ο λόγος για τον οποίο αυτή η μεθοδολογία καθίσταται δύσκολη ως προς την εφαρμογή της είναι το υψηλό κόστος που απαιτούν τα όργανα και τα λογισμικά τα οποία απαιτούνται. Σε πολλές χώρες του εξωτερικού η τεχνολογία του BIM σε όλο και περισσότερα έργα.

Υπάρχουν πολλές εφαρμογές για τις οποίες η συγκεκριμένη τεχνική κρίνεται ενδεδειγμένη, με πολλά πλεονεκτήματα.

Το BIM μπορεί να δώσει μεγάλο εύρος πληροφοριών σε μελέτες παρακολούθησης (monitoring) κατασκευών σχετικά με τη στατικότητα τους. Επιπλέον μπορεί να παρέχει πληροφορία σχετικά με ρήγματα - ρωγμές που μπορεί να διαθέτει κάποια επιφάνεια προάγοντας έτσι την συνεργασία διάφορων κλάδων πέρα από τους μηχανικούς.

Τέλος, ένα τέτοιο εργαλείο διαθέτει τη δύναμη να στηρίζει μεγάλες έννοιες όπως η αειφορία, οι έξυπνες πόλεις και η βιωσιμότητα με καλύτερες συνθήκες ζωής.

Βιβλιογραφία

Ελληνική Βιβλιογραφία

1. Λαΐου Π. Μ., «Αξιοποίηση της τεχνολογίας Building Information Modelling (BIM) σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής ενός Τεχνικού Έργου», Σχολή Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., Αθήνα 2019
2. Συμεωνίδης Π., «Σαρωτές Laser. Τεχνολογία, τεχνικές και εφαρμογές.», Τμήμα Γεωπληροφορικής και Τοπογραφίας Τ.Ε.Ι. Σερρών, Σέρρες 2007
3. Ασβός Ε., «3D Μοντελοποίηση εσωτερικού κτιρίου με χρήση laser scanner», Σ.Α.Τ.Μ. Ε.Μ.Π., Αθήνα 2019
4. Κεφεκέ Μ., «Εφαρμογές BIM στη Διαχείριση Τεχνικών Έργων με χρήση των λογισμικών REVIT και NAVISWORKS», Σχολή Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., Αθήνα 2014
5. Παγούνης Β., Καλυκάκης Σ. & Μπιζά Π. (2004). Η χρήση της Τρισδιάστατης Σάρωσης ως Μεθοδολογία στην Αποτύπωση Σπηλαίων. Εφαρμογή στο σπήλαιο Αγ. Γεωργίου Κιλκίς. Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας (τ.ΧΧΧVI), Πρακτικά 10ου Διεθνούς Συνεδρίου, Θεσ/νίκη Απρίλιος 2004.
6. Λάμπρου, Ε. & Πανταζής, Γ. (2010). Εφαρμοσμένη Γεωδαισία. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη
7. Γουλιελμάκης Εμ. Α., «Building Information Modelling (BIM) ως εργαλείο διαχείρισης κινδύνων στα τεχνικά έργα», Σχολή Θετικών Επιστημών & Τεχνολογίας Ε.Α.Π., Πάτρα 2018
8. Πατούρας Β., « Ολοκληρωμένη Γεωμετρική Τεκμηρίωση του Καθολικού της Ι.Μ Δαφνίου με Χρήση Τρισδιάστατου Σαρωτή », Σχολή Μηχανικών , Τμήμα Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής , ΠΑ.Δ.Α, Αθήνα 2023
9. Αναλύτη Μ., « Μοντελοποίηση της Ιστορικής Γέφυρας Adži-raša με Χρήση Δεδομένων Τρισδιάστατου Σαρωτή. », Σχολή Μηχανικών , Τμήμα Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής , ΠΑ.Δ.Α, Αθήνα 2023
10. Γκρέκας Γ., «Η χρήση του Building Information Modeling (BIM) στην κατασκευή έργων υποδομής » „Τμήμα Διαχείρισης Τεχνικών Έργων, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο , Σεπτέμβριος 2023

11. Παππά Π., «Μετρολογικός Έλεγχος Επίγειου Σαρωτή Laser Τύπου TOF», Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών Ε.Μ.Π, Αθήνα 2012

Ξένη Βιβλιογραφία

1. Borrmann A. – König M. – Koch C. – Beetz Eds, “Building Information Modelling, Technology Foundations and Industry Practice”, Springer Vieweg 2015.
2. Ershadi M., Jefferies M., «A Building Information Modelling (BIM) Approach to the Systematic Management of Construction Projects», IOP, 2021.
3. Barber D., Mills J., Bryan PG, (2001). Laser Scanning and Photogrammetry: 21st century metrology. In: Proceedings of 18th International Symposium CIPA 2001, Potsdam, Germany.
4. Schulz T., (2007). Calibration of a Terrestrial Laser Scanner for Engineering Geodesy, Technical University of Berlin.
5. Guarnieri, A., Remondino, F., Vettore, A. (2006). Digital Photogrammetry and TLS Data Fusion Applied to Cultural Heritage 3D Modeling. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences.
6. Klapa, P., Mitka, B. (2017). Edge Effect and its Impact Upon the Accuracy of 2D and 3D Modelling Using Laser Scanning. Geomatics, Landmanagement and Landscape.
7. Mills J. & Barber D., (2003). An Addendum to the Metric Survey Specifications for English Heritage – the collection and archiving of point cloud data obtained by terrestrial laser scanning or other methods.
8. Runne H., Niemeier W., Kern F., (2001). Application of Laser Scanners to Determine the Geometry of Buildings, in A. Grun and H. Kahmen, eds, 'Optical 3-D Measurement Techniques V, Vienna, Austria.
9. Van Nederveen, G.A and Tolman, Modeling Multiple Views on Buildings, 1992, Automation in Construction

Ηλεκτρονικές Πηγές

<https://www.linkedin.com/pulse/bim-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CE%B5%CE%BB%CE%BB%CE%B7%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AE-%CF%80%CF%81%CE%B1%CE%B3%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1-%CE%BC%CE%AD%CF%81%CE%BF%CF%82-%CE%B1-building-greek-katsibokis>

<https://digitalconstructions.eu/en/dcp-blog/130-building-information-modeling-bim-%CE%BF%CF%81%CE%B9%CF%83%CE%BC%CF%8C%CF%82,-%CF%84%CE%B1-%CE%BF%CF%86%CE%AD%CE%BB%CE%B7-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CE%BF%CE%B9-%CE%B5%CF%86%CE%B1%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%B3%CE%AD%CF%82>

<https://geo-matching.com/categories/terrestrial-laser-scanners>

<https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/terrestrial-laser-scanning>

<https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/scanners/leica-rtc360>

<https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/scanners/slam-in-terrestrial-laser-scanning-white-paper>

<https://www.aprella.com/wp-content/uploads/2021/12/NavVis-VLX-Data-Sheet-EN.pdf>

<https://www.noartechnologies.com/laserscanning/blk360>

https://archaeologia.eie.gr/archaeologia/gr/arxeio_more.aspx?id=146

<https://www.newmoney.gr/roh/palmos-oikonomias/business-stories/i-eurobank-agorase-me-e52-ekat-apo-tous-araves-to-athineon-melathron-pics/>

<https://www.treecomp.gr/os-200.html>

https://www.topconpositioning.com/content/dam/topcon_digital_asset_hub/collateral/datasheets/topcon_hipervr_7010-2322_enUS23data.pdf